Metallurgia e processi di saldatura – Parte 1

“Richiami di metallurgia”

“Proprietà meccaniche dei metalli”

“Classificazione degli acciai”

“Trattamenti termici degli acciai”

Move Forward with Confidence

BUREAU VERITAS

RICHIAMI DI METALLURGIA E DIAGRAMMI DI STATO

- Struttura cristallina dei solidi
- Leghe metalliche
- Diagrammi di stato
- Il diagramma Fe-C
- Proprietà meccaniche dei metalli

STRUTTURA CRISTALLINA DEI SOLIDI

I metalli puri, allo stato solido, sono costituiti da un aggregato di atomi uguali, disposti in un certo ordine ben determinato e costante per ogni metallo.

A differenza delle sostanze amorfe nelle quali le particelle elementari (molecole o atomi) sono casualmente disposte nello spazio, la distribuzione spaziale degli atomi dei metalli è regolata dalle leggi ben definite della simmetria cristallografica: i metalli hanno dunque struttura cristallina.

Gli atomi che la individuano sono disposti in punti singolari in un ambiente fondamentale caratteristico della struttura cristallina: la cella elementare.

Ogni cella può idealmente essere considerata come un poliedro, la cui forma è individuata dagli atomi metallici posti ai suoi vertici.

Ogni cella elementare è circondata da un certo numero di celle identiche e isorientate, con le quali mette in comune un certo numero di atomi costituendo le maglie di un reticolo cristallino tridimensionale.

STRUTTURA CRISTALLINA DEI SOLIDI

I reticoli dei metalli puri industriali appartengono salvo poche eccezioni ai tre seguenti sistemi cristallografici:

- sistema cubico a corpo centrato

- sistema cubico a facce centrate

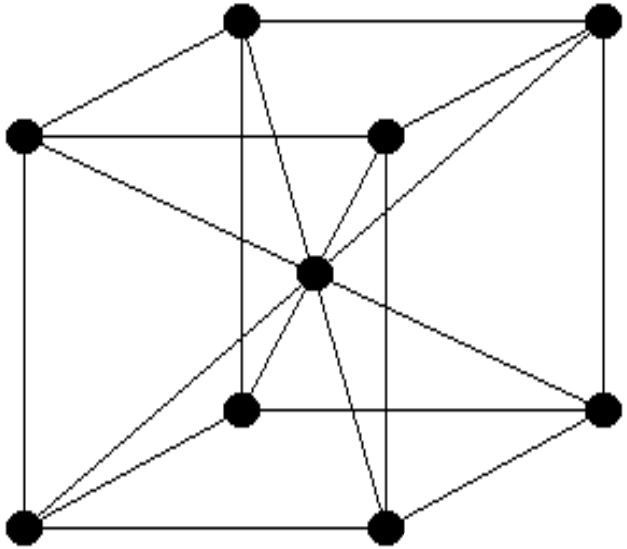
- sistema esagonale compatto

Il reticolo cubico a corpo centrato ha celle cubiche con 8 atomi ai vertici e un atomo al centro del cubo.

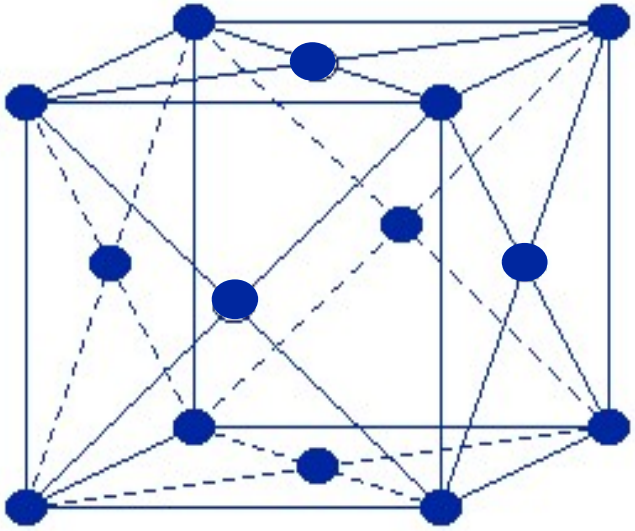
Il reticolo cubico a facce centrate ha celle cubiche con 8 atomi ai vertici del cubo e 6 atomi, uno per faccia al centro delle facce.

Il reticolo esagonale compatto presenta celle a forma di prisma esagonale dotate di 6 atomi ai vertici di ogni base del prisma più un atomo al centro di ogni base e tre atomi disposti a metà altezza del prisma ai vertici di un triangolo equilatero interno al prisma esagonale.

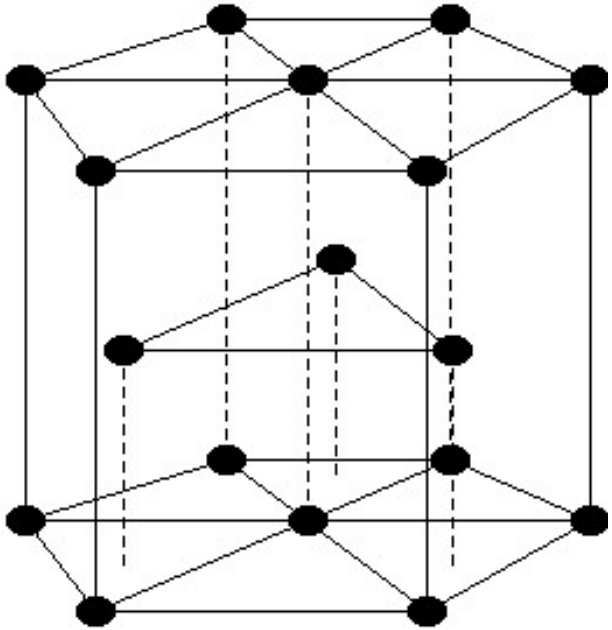
STRUTTURA CRISTALLINA DEI SOLIDI



Struttura cubica
a corpo centrato
(CCC)



Struttura cubica
a facce centrate
(CFC)



Struttura esagonale
compatta
(HCP)

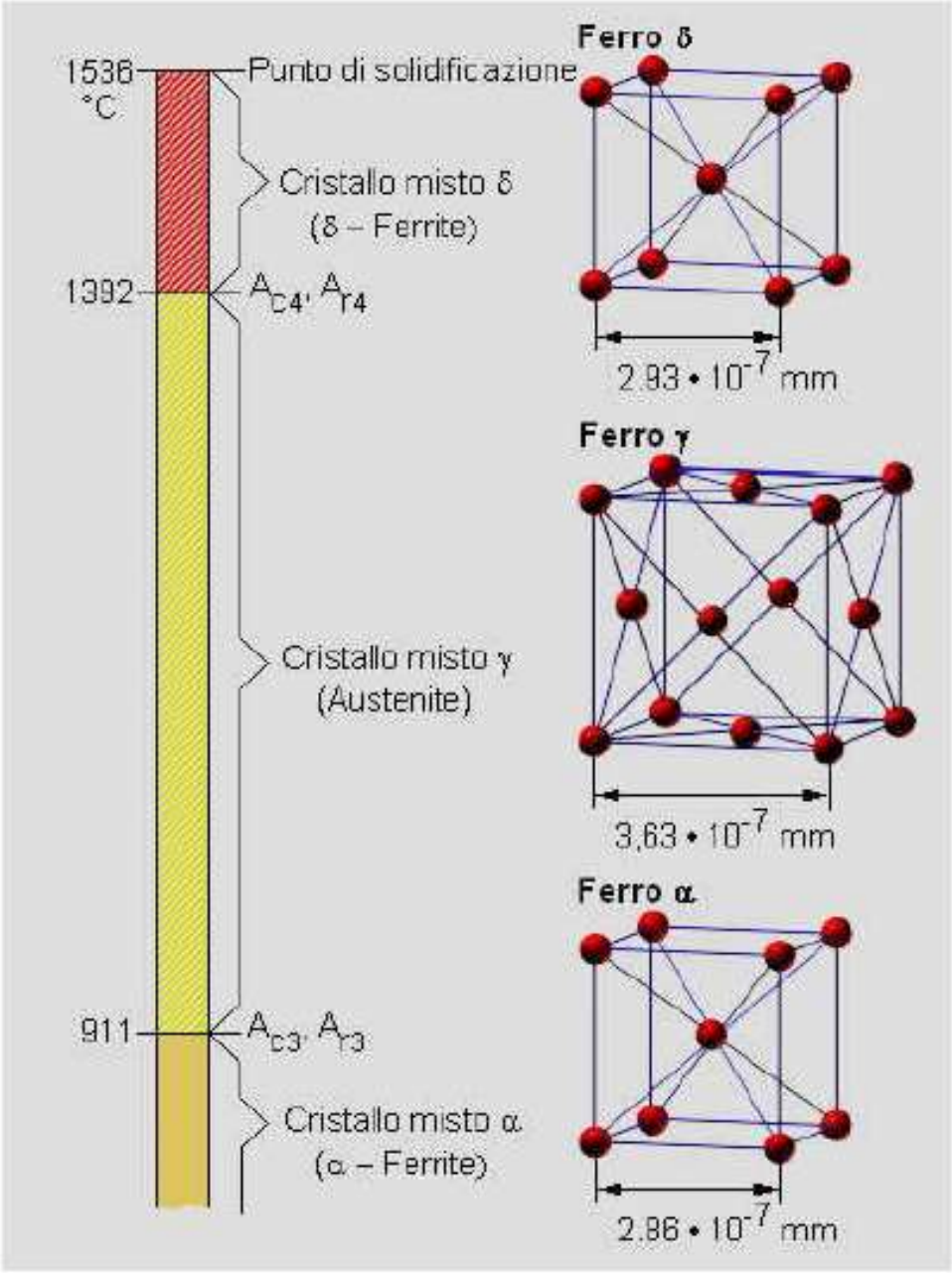
STATI ALLOTROPICI DEL FERRO

L'allotropia consiste nell'esistenza di forme cristalline diverse di una stessa specie chimica: ciascuna di esse esiste stabilmente in determinate condizioni di pressione e temperatura.

Il ferro è un elemento chimico che può presentarsi allo stato solido in tre forme allotropiche stabili a differenti temperature.

Il ferro alfa, stabile da temperatura ordinaria fino a 910° C, cristallizza nel sistema cubico a corpo centrato.

Il ferro alfa è magnetico a temperatura ordinaria, ma a 770° C perde le proprietà magnetiche.



STATI ALLOTROPICI DEL FERRO

Il ferro gamma è stabile tra 910 e 1440° C ed è una vera forma allotropica del Fe in quanto il suo reticolo è cubico a facce centrate. Non è magnetico ed ha un potere solvente per il C assai maggiore del ferro alfa.

Il ferro delta si ottiene per trasformazione allotropica del ferro gamma riscaldandolo oltre 1440 ° C ed è stabile fino a 1539° C, temperatura di fusione del ferro puro. Ha reticolo cubico a corpo centrato, come il Fe alfa, ma non è magnetico.

LEGHE METALLICHE

Nella pratica ben difficilmente si utilizzano i metalli puri: allo scopo di ottenere determinate proprietà meccaniche, fisiche e chimiche si impiegano generalmente miscele di due o più metalli che vengono chiamate leghe metalliche.

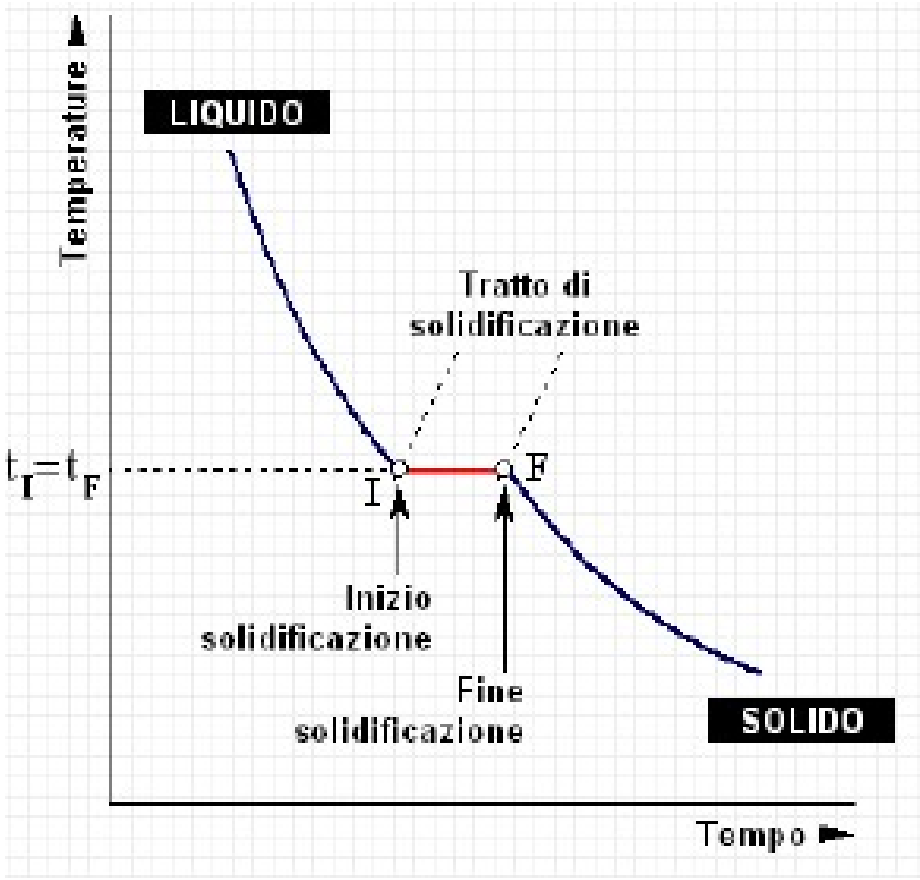
Nelle leghe possono anche entrare elementi che normalmente non sono considerati metallici, quali carbonio, fosforo, silicio, ecc.

Vi sono due tipi fondamentali di leghe:
- soluzioni solide
- leghe di giustapposizione

DIAGRAMMI DI STATO

Se un metallo puro viene raffreddato o riscaldato la curva temperatura-tempo corrispondente non ha un andamento costante ma presenta due punti singolari tra i quali la temperatura nel corso del raffreddamento resta costante.

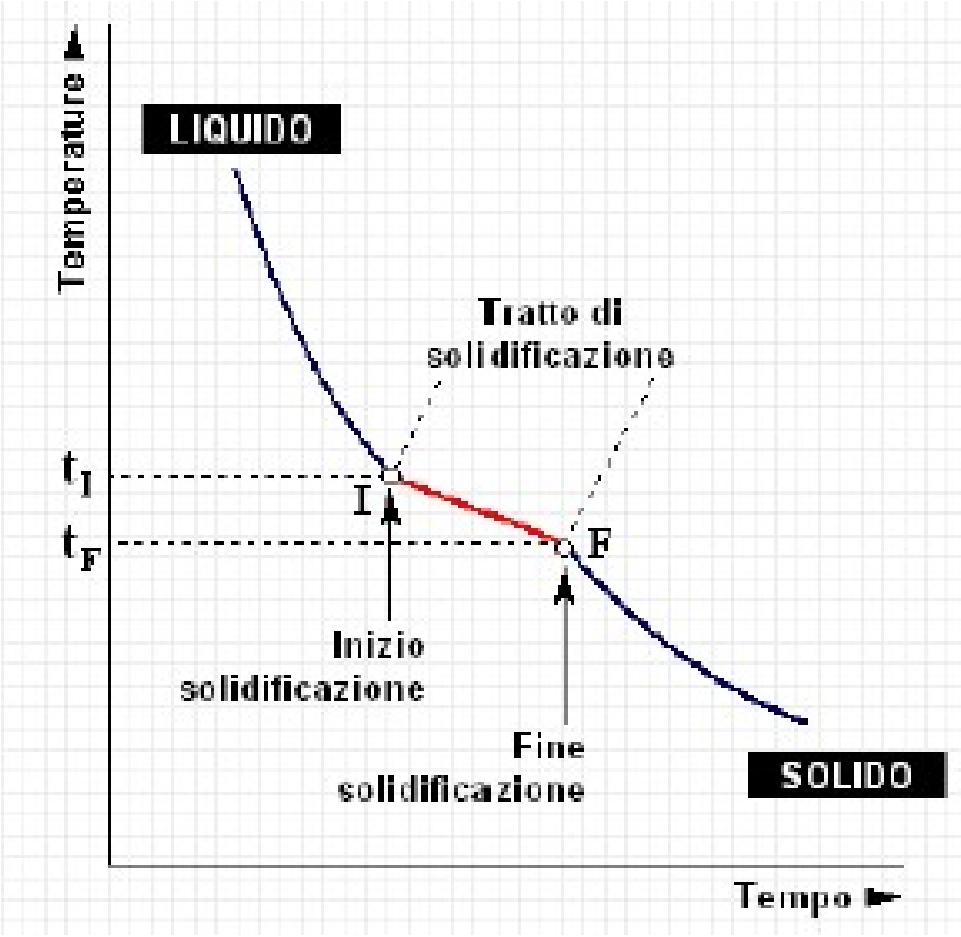
I punti singolari sono l'indice dei cambiamenti che avvengono a certe temperature (passaggio dallo stato liquido a quello solido; da uno stato allotropico ad un altro, cioè da una forma cristallografica ad un'altra ecc…).



DIAGRAMMI DI STATO

Considerando il raffreddamento di una lega binaria (composta da due elementi) si nota che la curva della temperatura cambia pendenza tra i due punti singolari senza assumere un andamento orizzontale.

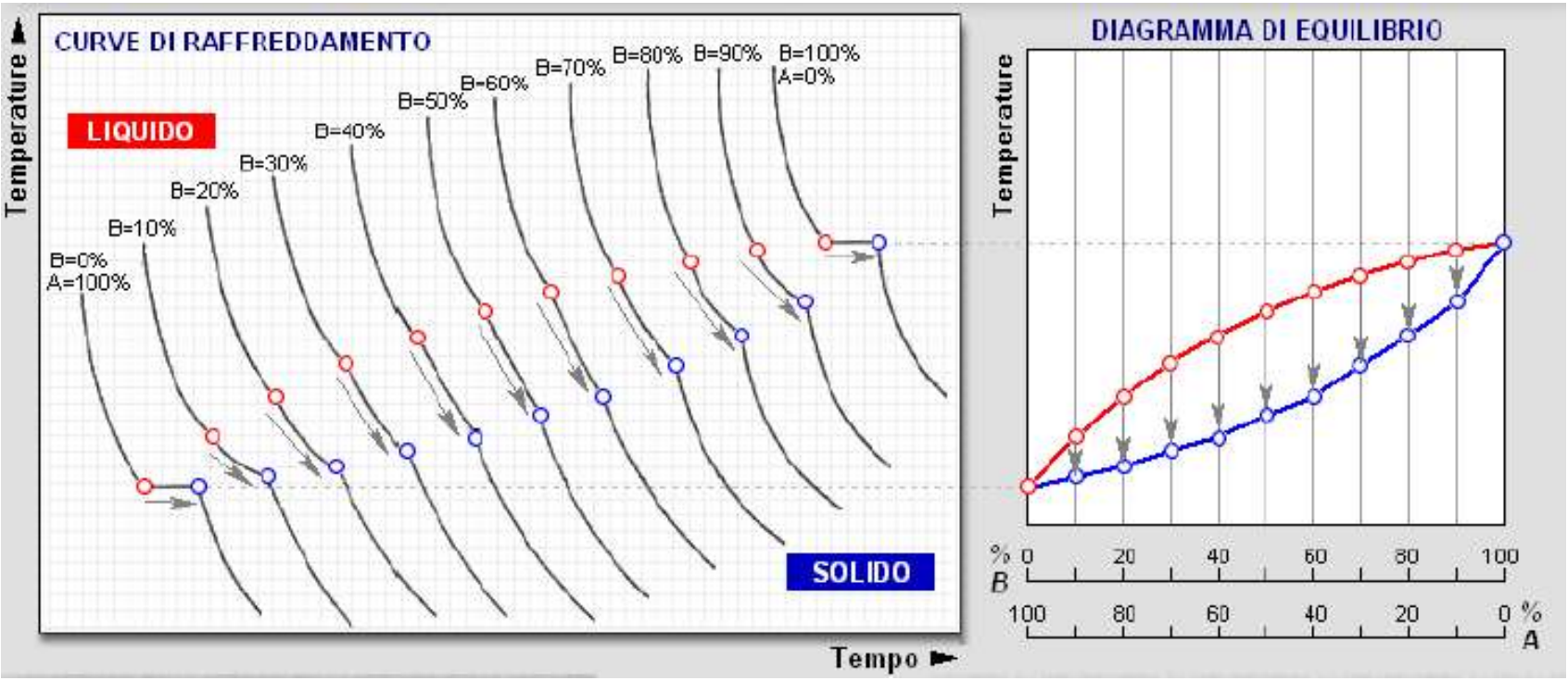
Inoltre variando la composizione della lega si
nota come si abbia conseguentemente una variazione della posizione dei punti singolari;
pensando allora di tracciare delle curve che uniscano questi punti in funzione della concentrazione percentuale dei componenti la lega stessa, si ottengono dei diagrammi temperatura-concentrazione le cui linee separano i campi di esistenza dei vari stati delle leghe e che perciò sono detti **DIAGRAMMI DI STATO**.



DIAGRAMMI DI STATO

Il diagramma di stato delle leghe binarie è costruito riportando in ascisse la concentrazione percentuale dei due componenti e in ordinate la temperatura; ai due estremi del campo avremo i metalli puri e per ogni lega intermedia le caratteristiche saranno individuate dalla intersezione della ordinata relativa alla lega in esame con la linea del diagramma.

Il diagramma di stato si presenta in modo sostanzialmente diverso a seconda della maggior o minor miscibilità allo stato solido dei due componenti. Esamineremo il caso di leghe binarie con solubilità totale allo stato solido e liquido.



IL DIAGRAMMA Fe-C

Il diagramma di stato Fe-C è la rappresentazione grafica delle trasformazioni allotropiche in funzione della temperatura.

Permette quindi di individuare il campo di esistenza delle diverse strutture che può presentare un acciaio, tenendo conto del tenore di C che contiene e della temperatura alla quale si trova.

Le indicazioni ricavabili da questo diagramma sono valide solo per velocità di riscaldamento e raffreddamento molto lente.

In ascisse sono indicate le percentuali di C e in ordinate le temperature.

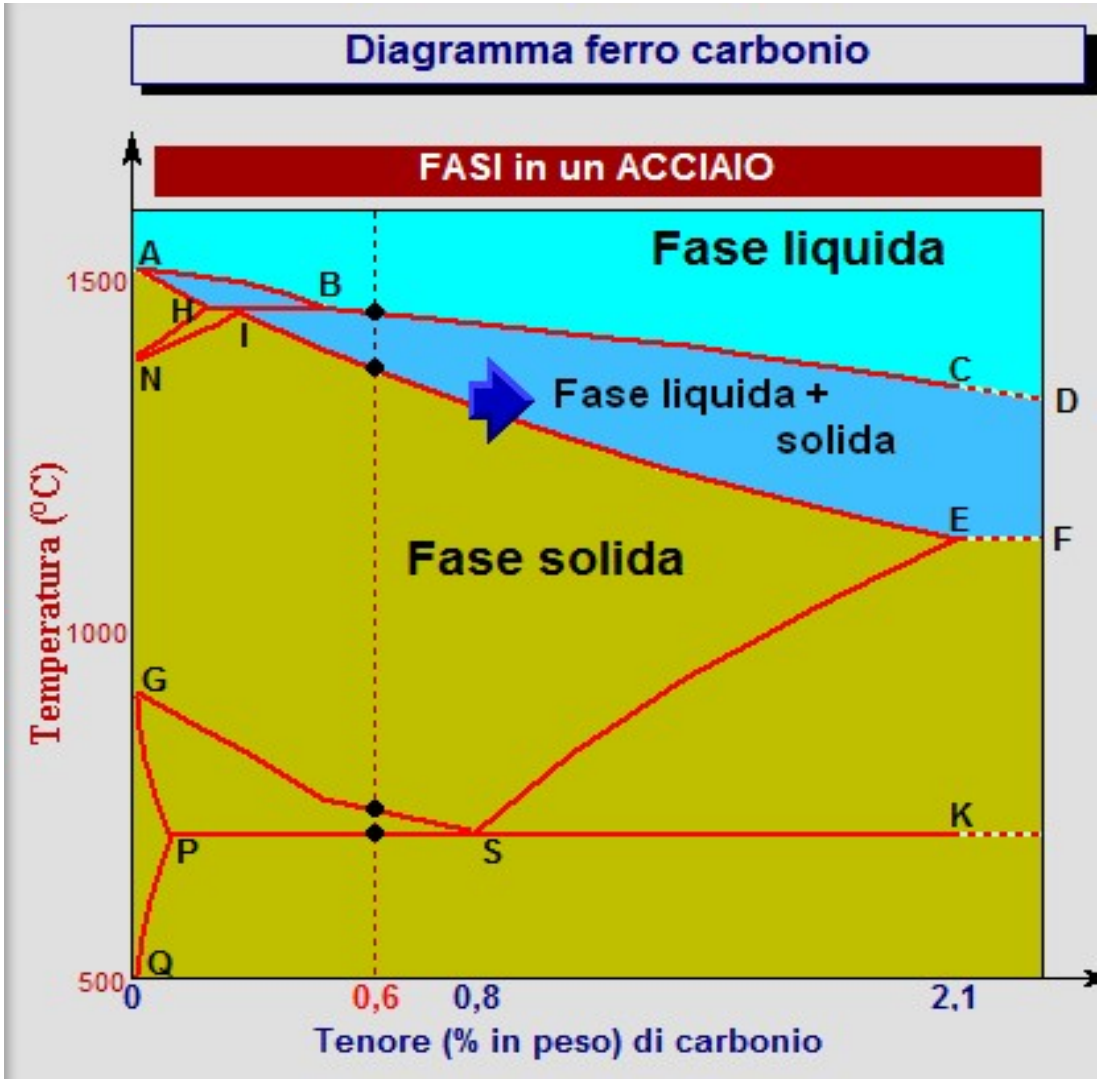
Dal diagramma si nota subito che quando il tenore di C è inferiore al 2% siamo nel campo di esistenza degli acciai; per percentuali superiori si entra nel campo delle ghise.

Gli acciai con percentuale di C inferiore allo 0,8% sono detti ipoeutettoidi mentre quelli con percentuale compresa tra lo 0,8 e il 2% sono chiamati ipereutettoidi.

IL DIAGRAMMA Fe-C

Le linee presenti indicano la separazione tra le diverse fasi:

- al di sopra della linea ABCD si ha la **fase liquida**
- al di sotto della linea AHIEF si ha la **fase solida**
- gli spazi compresi fra le due linee rappresentano la contemporanea presenza della **fase liquida e di quella solida**.



PROPRIETA' MECCANICHE DEI METALLI

Per proprietà meccaniche dei metalli si intende quel complesso di proprietà che le sostanze solide (in questo caso i metalli) manifestano quando su di esse agisce uno sforzo e che, pertanto, indicano la possibilità di utilizzare un metallo per determinati scopi.

I metalli sono materiali molto apprezzati perché sono resistenti, duri, duttili e tenaci; la combinazione di queste loro proprietà può inoltre essere variata entro ampi limiti, mediante aggiunta di elementi di lega o mediante trattamenti termici o azioni meccaniche.

PROPRIETA' MECCANICHE DEI METALLI

- Resistenza - Prova di trazione
- Duttilità – Prova di piega
- Durezza - Prova di durezza
- Tenacità – Prova di resilienza
- Esame macrografico
- Prova di frattura

RESISTENZA – PROVA DI TRAZIONE

Il termine resistenza, nel caso dei materiali metallici, indica il complesso delle conoscenze sulla relazione tra carichi applicati, forze interne (tensioni) e deformazioni.

La prova di trazione monoassiale è, tra le prove meccaniche, una delle meglio definite concettualmente per stabilire questa relazione, poiché si ha, almeno in via teorica, la completa uniformità di sollecitazione in una zona di materiale abbastanza ben definita, detta tratto utile L0 della provetta.



RESISTENZA – PROVA DI TRAZIONE

La ***prova di trazione*** consiste nel sottomettere una provetta di sezione cilindrica o prismatica a un carico progressivo e costante fino alla rottura del pezzo di prova. Questo test è realizzato su un'attrezzatura che registra gli sforzi e gli allungamenti.

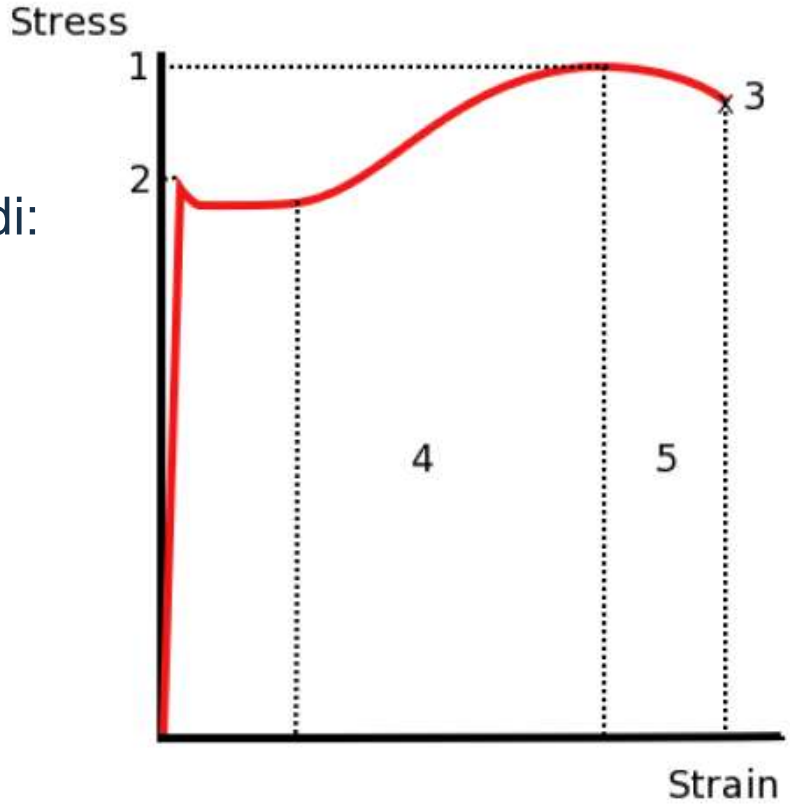


PROVA DI TRAZIONE

Affinché siano realizzate le condizioni di uniforme distribuzione della sollecitazione nel tratto utile, occorre che questo sia a sezione rigidamente costante e che il carico sia applicato ai suoi estremi attraverso due zone dette teste, raccordate alla sezione del tratto utile in maniera molto graduale.

La provetta usata nella prova di trazione monoassiale può essere a sezione circolare, quadrata, rettangolare o essere costituita da uno spezzone di tubo nel caso di prove di trazione su prodotti tubolari.

In generale nel corso della prova di trazione di una lega metallica si possono distinguere quattro periodi:
- carico di rottura (1)
- carico di snervamento (2)
- carico ultimo (3)
- periodo degli allungamenti elastici
- periodo dello snervamento
- periodo degli allungamenti plastici uniformi (4)
-periodo degli allungamenti plastici non uniformi o di strizione (5)



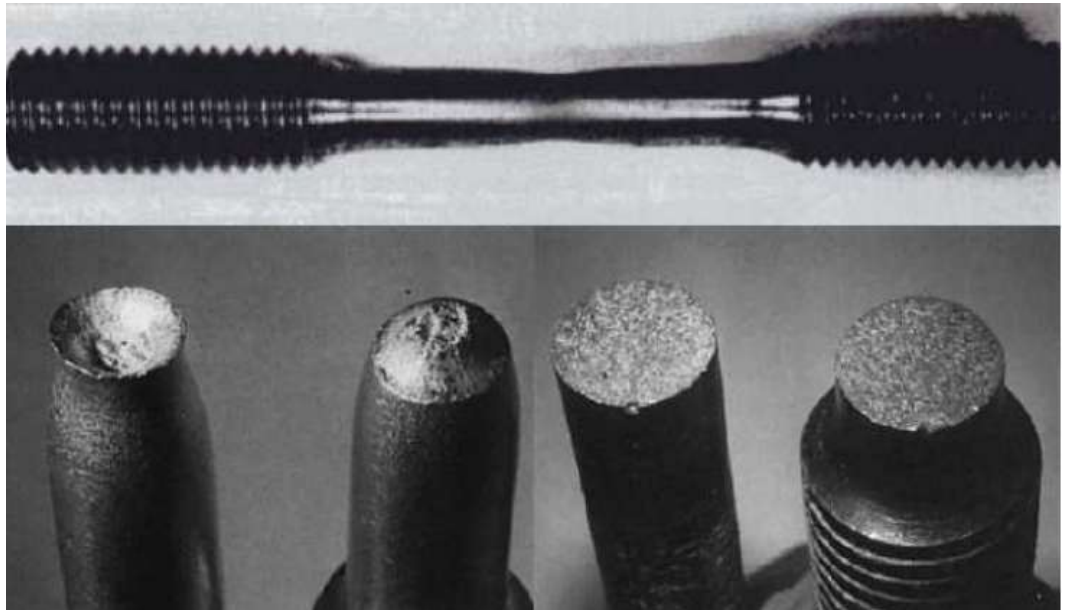
PROVA DI TRAZIONE

Nel periodo degli allungamenti elastici scaricando la provetta si annulla la deformazione.

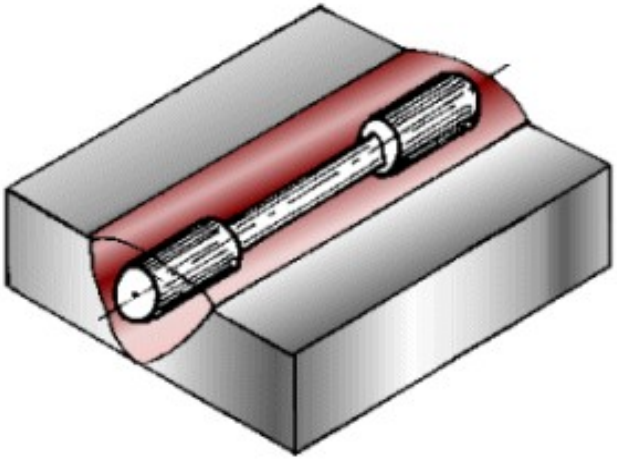
Il periodo dello snervamento rappresenta il passaggio da comportamento elastico a comportamento plastico; si definisce carico di snervamento Rs il carico in corrispondenza del quale per la prima volta, avviene un incremento di allungamento senza contemporaneo incremento di sollecitazione o con un decremento di questa.

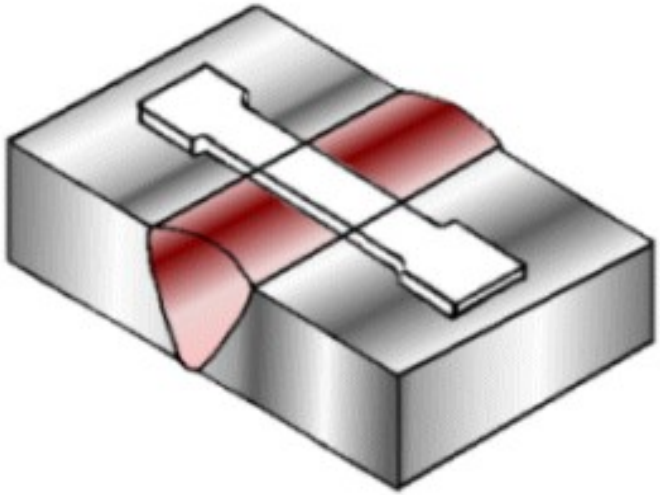
Il periodo degli allungamenti plastici comincia subito dopo il manifestarsi dello snervamento e termina in corrispondenza del raggiungimento del carico massimo o 'carico di rottura'.

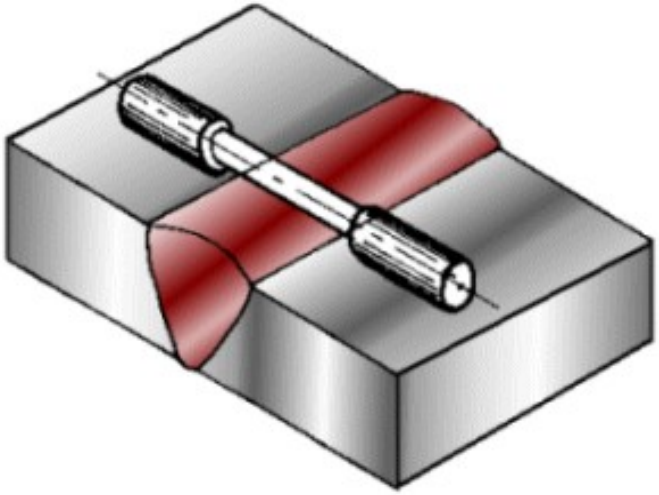
Nel periodo della strizione l'allungamento della provetta si localizza in un breve tratto di essa, tratto dove si manifesta una deformazione trasversale (strizione) che si accentua fino alla rottura.



Localizzazione delle provette







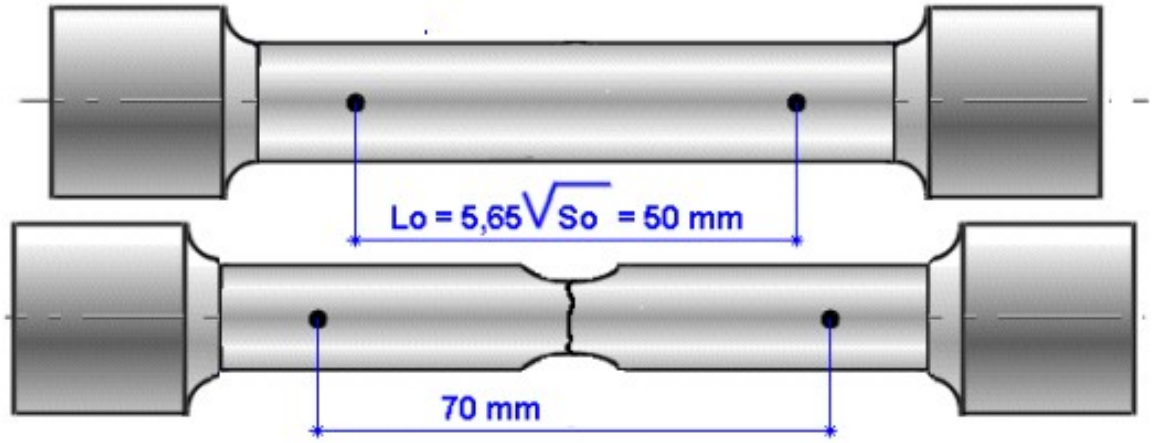
PROVA DI TRAZIONE - ALLUNGAMNETO

Determinazione dell'allungamento A in % :

L'allungamento è la capacità di un materiale a deformarsi e allungarsi senza rottura (duttilità del materiale).
La lunghezza di riferimento è determinata da due riferimenti effettuati prima della trazione.

Allungamento (in %) = ((**Lf**in- **Lo**) / **Lo**) x **100**

Esempio



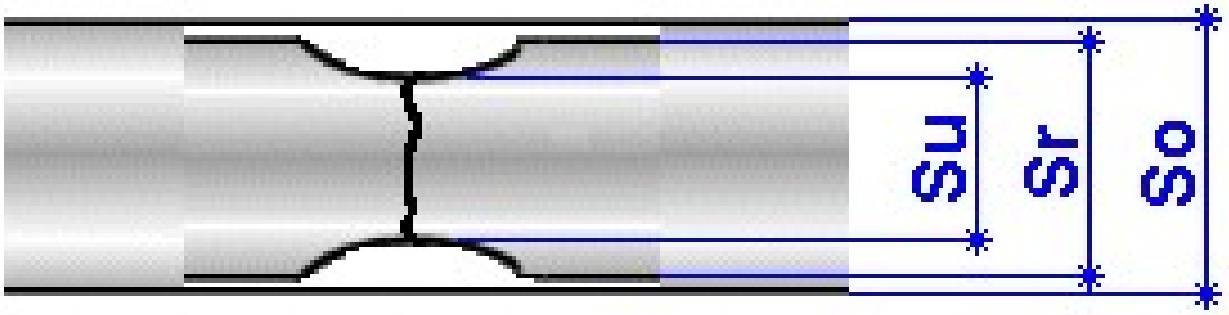
l'allungamento è del 40%

PROVA DI TRAZIONE - STRIZIONE

Determinazione della strizione in % :

La strizione è il fenomeno acceleratore della parte calibrata della provetta.
La strozzatura della parte calibrata inizia quando il carico massimo di rottura sarà raggiunto (Fm).
L'allungamento della provetta aumenta molto rapidamente in quel momento, fino alla rottura del provino di trazione

Strizione (%) = ((So - Su) / So) x 100



So = dimensione provetta iniziale
Sr = dimensione provetta dopo rottura
Su = dimensione della strizione dopo rottura

DUTTILITA’ – PROVA DI PIEGA

La duttilità è normalmente definita come la capacità di un metallo di deformarsi plasticamente senza rompersi ed è indicata dall'ammontare della deformazione plastica di un provino sottoposto a prova di trazione fino a rottura.

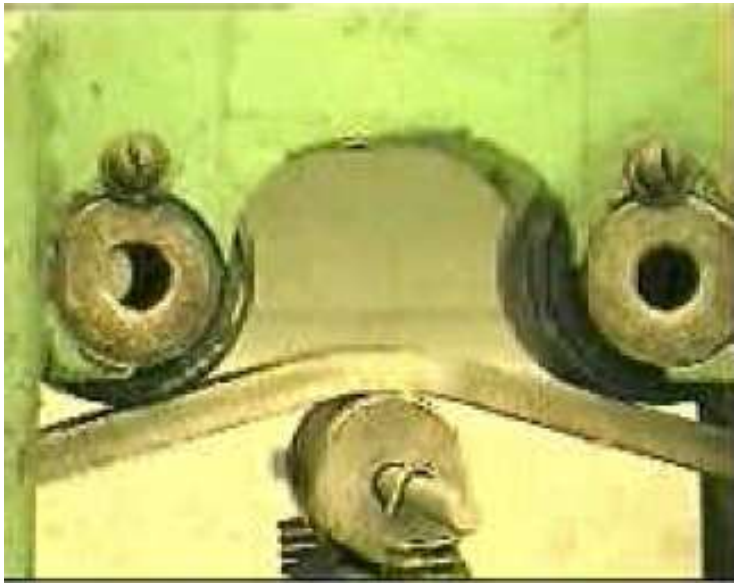
Una buona duttilità è molto importante per un materiale metallico poiché:
- è un indice della capacità di un materiale di sopportare deformazioni a freddo;
- dà un'idea della riserva di plasticità sfruttabile per contrastare fratture dovute a sovraccarichi imprevisti;
- consente di non preoccuparsi troppo per le tensioni residue che accompagnano inevitabilmente l'esecuzione di un giunto saldato;
-dà un'idea della resistenza al fenomeno degli strappi lamellari.

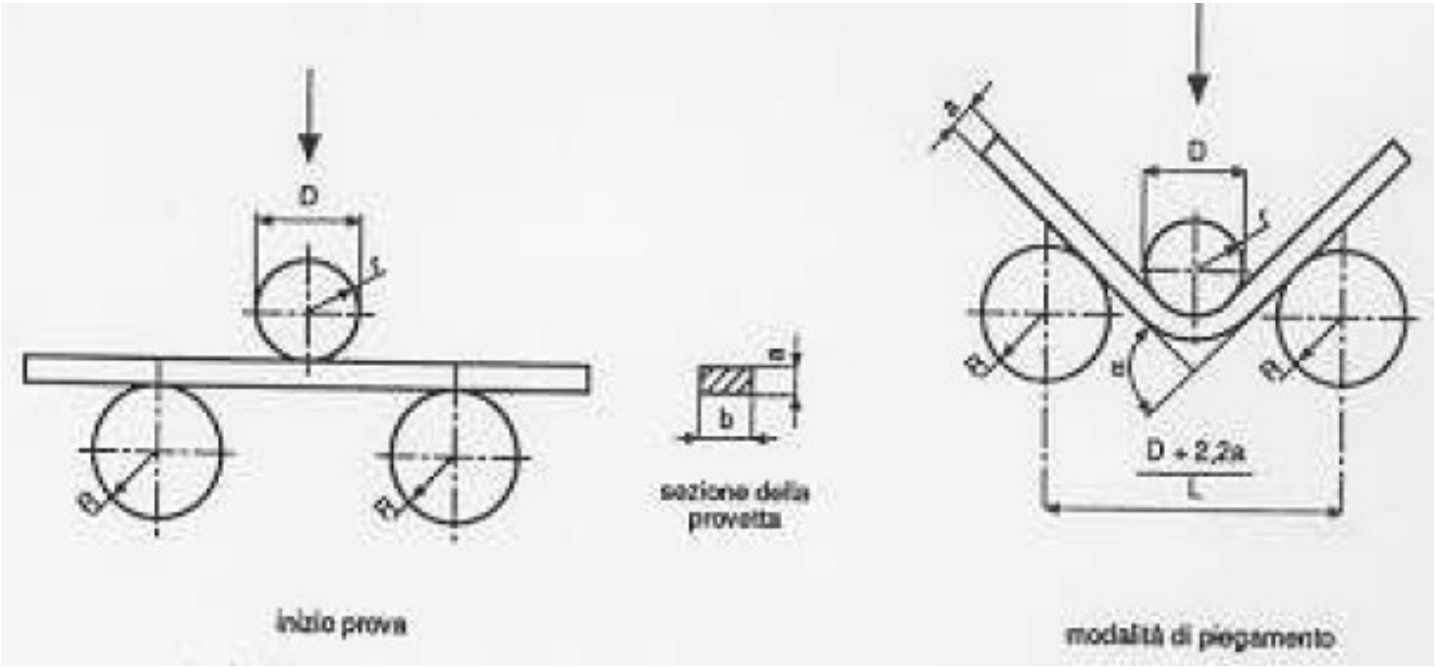
La verifica della duttilità di un materiale si esegue anche sottoponendo un provino a sezione rettangolare ad una prova di piegamento. Dal buon esito della prova si può dedurre che il materiale è sufficientemente plastico in quanto gli strati di materiale dell'estradosso (esterni) si sono allungati.

Molto importante ai fini di una buona duttilità è la dimensione del grano: al diminuire di questa aumenta la duttilità del materiale.

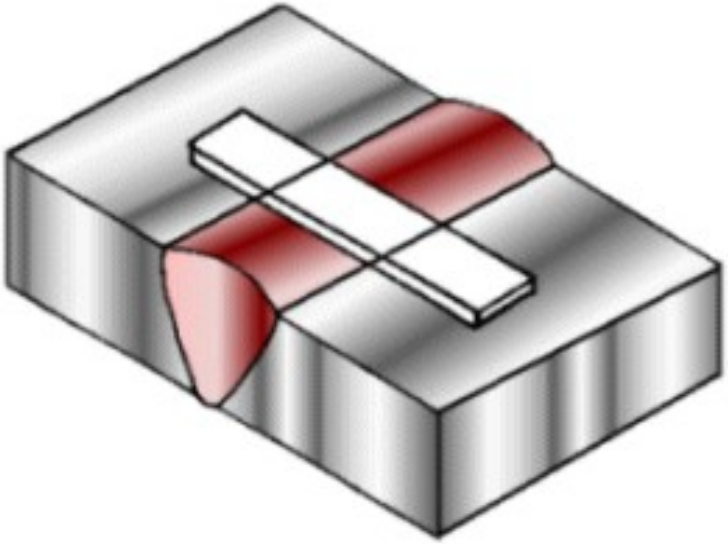
PROVA DI PIEGA

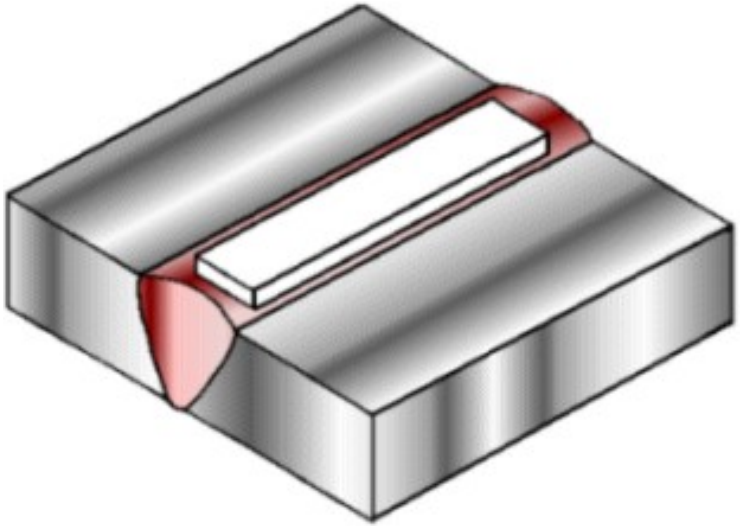
La ***prova di piega*** consiste nell'esercitare, su un provino a temperatura ambiente, una deformazione plastica per piega.
I pezzi vengono prelevati perpendicolarmente o longitudinalmente alla saldatura. Un lato del provino è posto in estensione (a testa in giù o posto lateralmente).
La piegatura è fatta per uno specifico angolo.



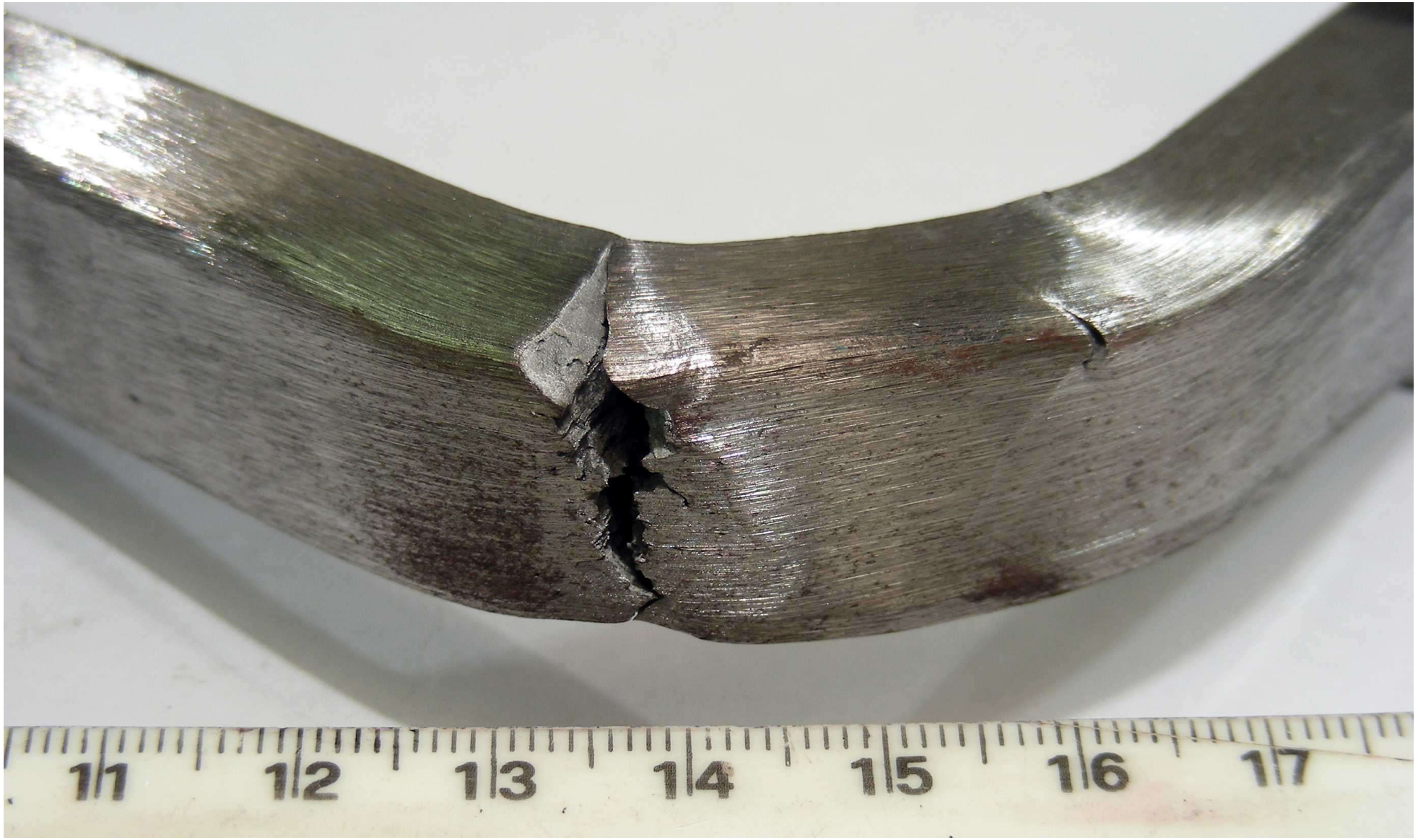


Localizzazione delle provette





PROVA DI PIEGA



PROVA DI DUREZZA

La durezza può essere definita come la capacità di un materiale metallico di opporsi a un corpo (penetratore) che cerca di penetrare nel materiale metallico deformandolo plasticamente (per compressione).

La durezza di un pezzo si misura partendo dalle dimensioni di una impronta impressa dal penetratore al quale è applicata una determinata forza.



Esistono diversi metodi di misura che differiscono per:

-forme del penetratore;

-entità della forza applicata;

- metodo di valutazione della durezza.

Differenti tipi di prova di durezza :

UNI EN ISO 6506-1 (2006)	Materiali metallici – Prova di durezza Brinell - Parte 1 : metodo di prova
UNI EN ISO 6508-1 (2006)	Materiali metallici – Prova di durezza Rockwell - Parte 1 : metodo di prova
UNI EN ISO 6507-1 (2006)	Materiali metallici – Prova di durezza Vickers - Parte 1 : metodo di prova
UNI EN 1043-1 (1997)	Prove distruttive delle saldature su materiali metallici - Prova di durezza - Parte 1 : prove di durezza su assemblaggi saldati all'arco

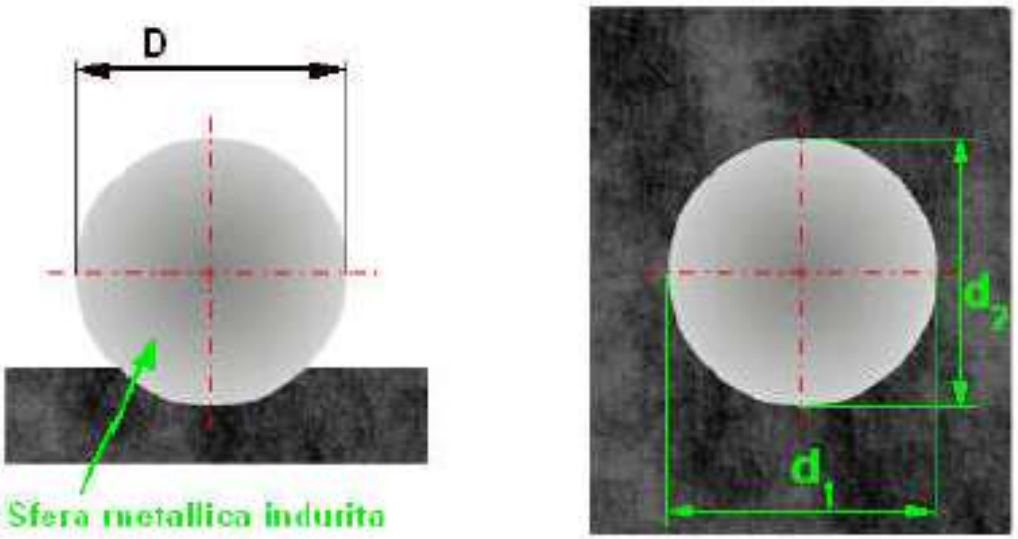
DUREZZA BRINELL

Si applica un carico F su un penetratore in acciaio temprato di forma sferica e lo si tiene per un certo tempo.

Trascorso l' intervallo di tempo, il carico viene tolto e si misura il diametro del cerchio massimo dell'impronta che la sfera ha lasciato sul materiale.

La durezza Brinell è data dal rapporto F/S tra il carico e l'area della calotta ed è indicata dal simbolo HB.

La prova Brinell non è attendibile con materiali aventi valori di HB superiori a 450.



Prova di durezza Brinell

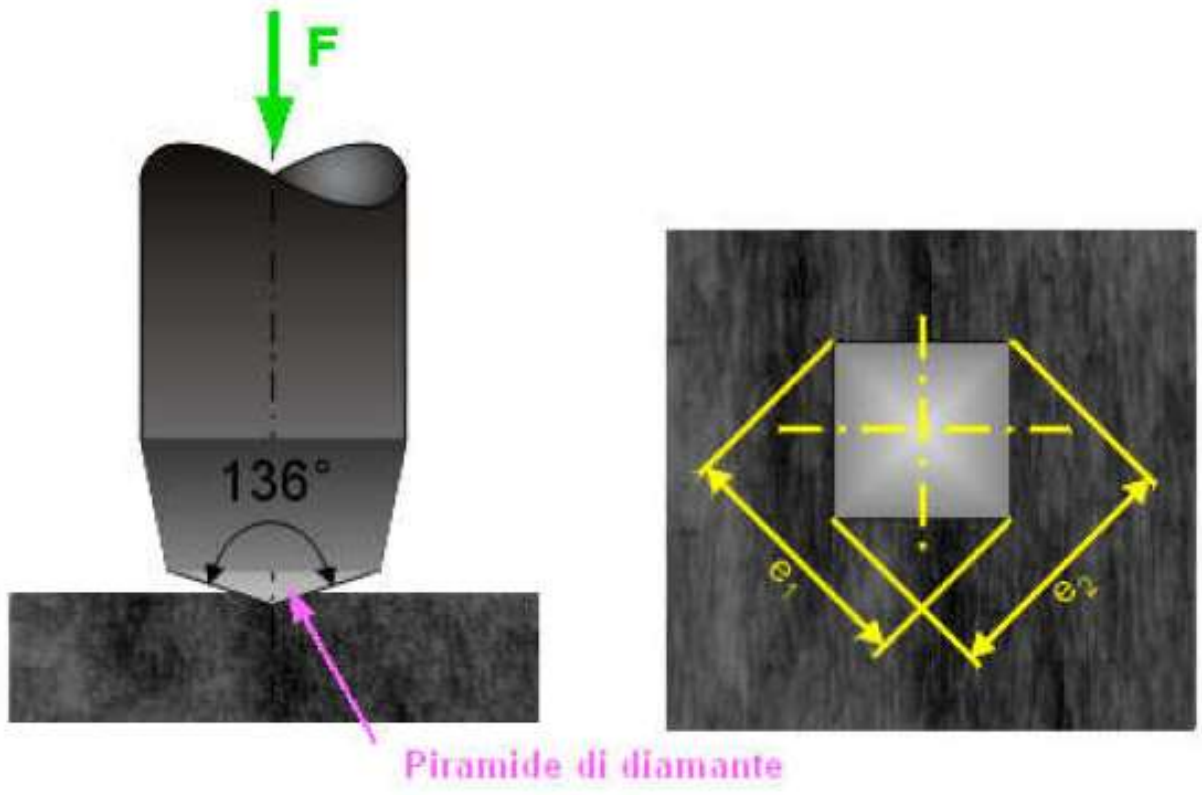
Da d_1 e d_2 si forma il valore medio: $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

DUREZZA VICKERS

Si applica un carico F su un penetratore di diamante avente forma di piramide retta a base quadrata e angolo al vertice di 136° e lo si tiene applicato per un certo tempo.

Si rimuove il carico F e si ottiene un'impronta che viene considerata come una piramide retta a base quadrata avente al vertice lo stesso angolo del penetratore.

Si calcola quindi l'area dell'impronta dopo aver misurato la diagonale della base della piramide; la durezza Vickers è il rapporto F/S tra il carico e l'area dell'impronta ed è indicata dal simbolo HV.

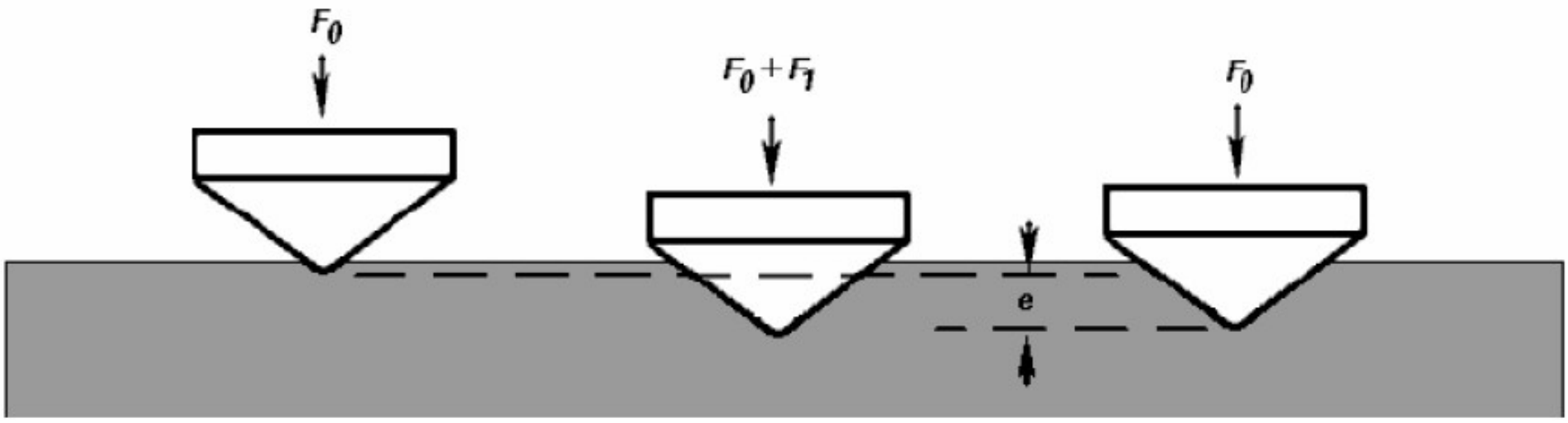


DUREZZA ROCKWELL B e C

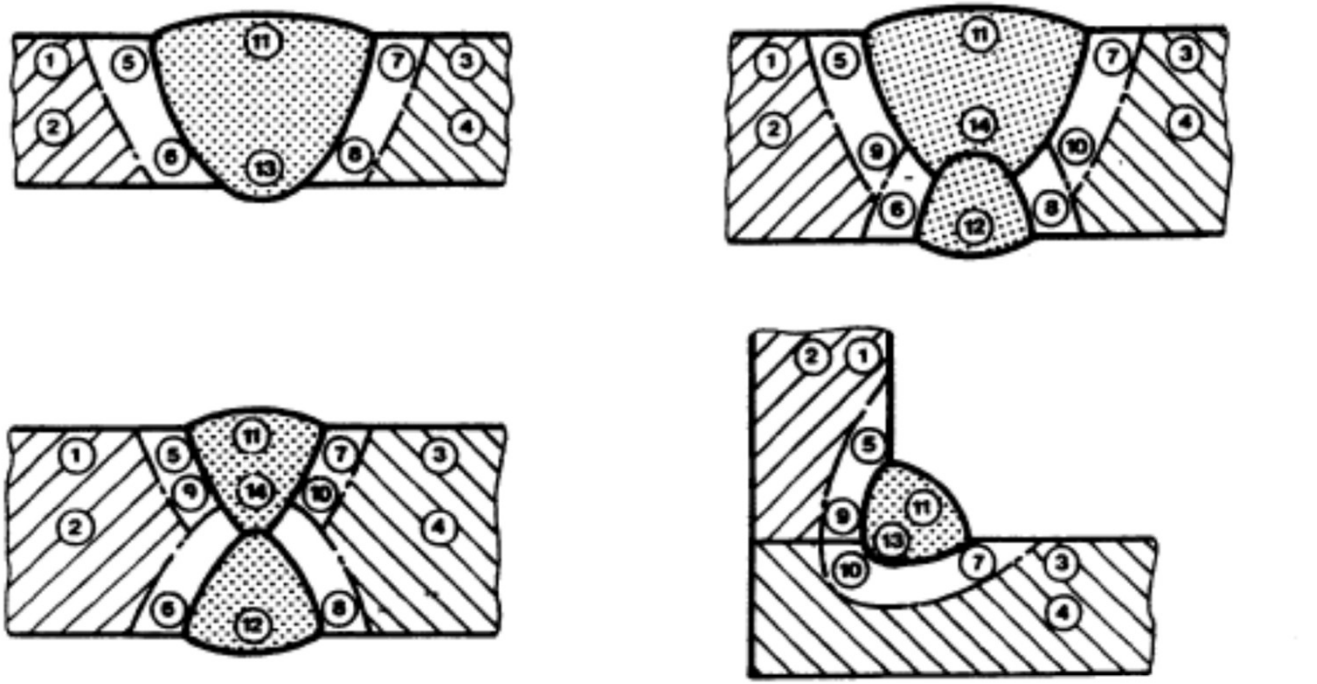
Sul penetratore si applica un carico iniziale F0 che viene mantenuto per un certo tempo t0 e provoca una certa impronta di profondità e0; poi a F0 si aggiunge F1 per un tempo t1 e l'impronta arriva al valore e1.

Si toglie F1 lasciando ancora F0: l'impronta assume un valore e2 inferiore a e1 ma anche maggiore di e0 a causa di fenomeni di plasticizzazione.

La differenza (e2 - e0) è indicativa della durezza: al suo diminuire si hanno materiali più duri. e scale più importanti sono quelle B e C ottenute utilizzando penetratori rispettivamente sferici e conici.



Localizzazione delle impronte nelle saldature



TENACITA' – PROVA DI RESILIENZA

La tenacità può essere definita come la capacità di un metallo di resistere alla rottura quando viene sottoposto a sollecitazioni dinamiche e pertanto in condizioni sfavorevoli per l'assorbimento dell'energia di deformazione plastica.

L'esperienza ha infatti dimostrato che un materiale giudicato duttile in seguito a normali prove di trazione o di piega si può comportare fragilmente (cioè non tenacemente, ovvero rompersi con pochissima deformazione) quando è sottoposto a sollecitazioni di tipo dinamico diverse quindi da quelle delle due prove suddette.

Si è visto infatti che un materiale duttile può, in certe condizioni, non essere tenace, mentre generalmente un materiale poco duttile è anche poco tenace.

Tre sono le condizioni che influenzano la tenacità di un metallo:
- la velocità di applicazione del carico;
- il tipo di sollecitazione imposta (monoassiale o multiassiale);
- la temperatura del metallo.

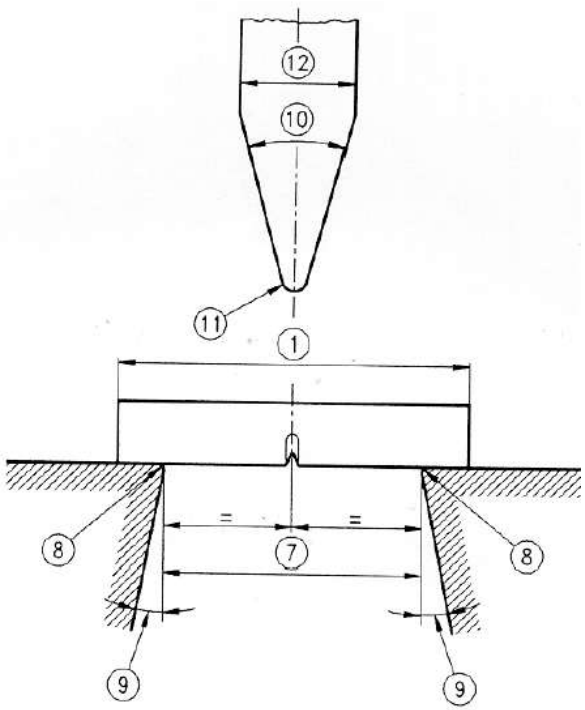
TENACITA' – PROVA DI RESILIENZA

Un metallo duttile se viene sollecitato rapidamente, in modo multiassiale e a bassa temperatura, può comportarsi in modo poco tenace.

Dette condizioni sono simulate, per quanto possibile, con la prova di resilienza che, per la sua semplicità e facilità di esecuzione è la prova più usata per la misura della tenacità dei materiali.

Tale prova è basata sull'impatto di un peso contro una provetta intagliata (l'intaglio causa un aumento locale della sollecitazione e la trasformazione da uno stato di tensione monoassiale in uno multiassiale) ed è effettuata ad una certa temperatura che è in relazione a quella di esercizio del materiale in esame.

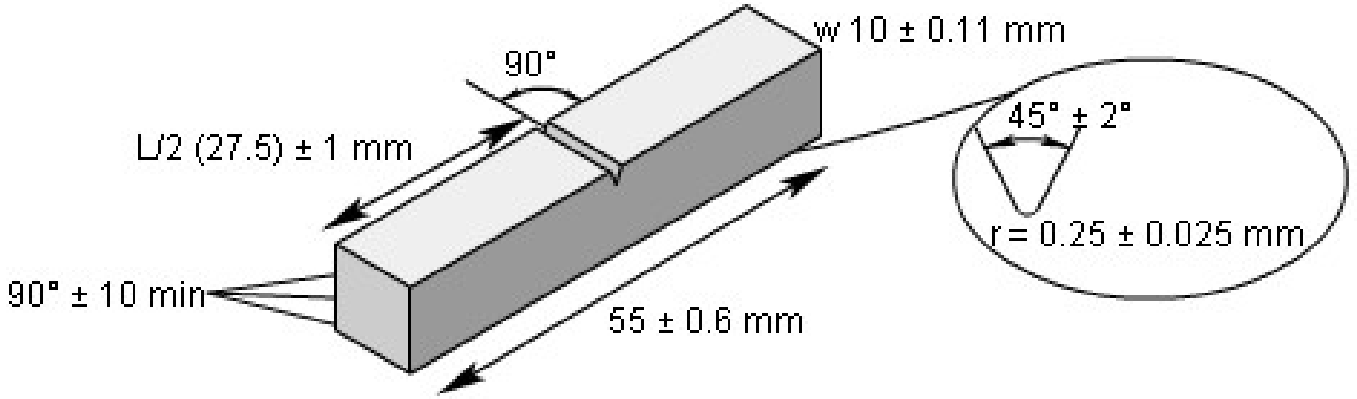




TENACITA' – PROVA DI RESILIENZA

Il peso è costituito da una mazza pendolare che urta una provetta (55 x 10 x 10mm) appoggiata a due scontri distanti 40mm; si misura l'energia (Joule) assorbita dalla provetta per rompersi.

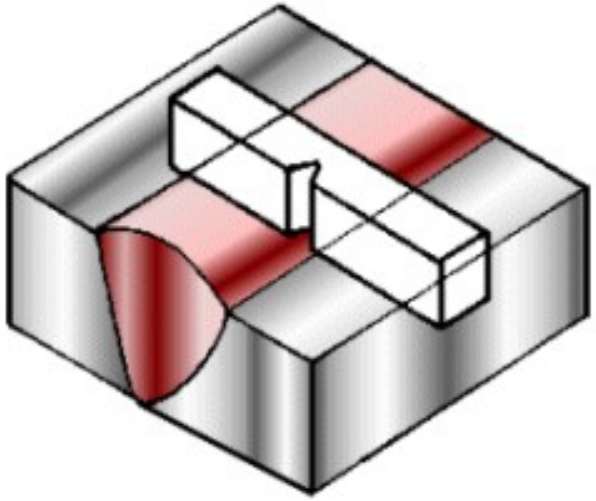
La provetta più usata per le prove di resilienza è la cosiddetta provetta Charpy V dove l'intaglio è a V con angolo di apertura 45° , profondità 2 mm e raggio di fondo intaglio 0,25 mm.



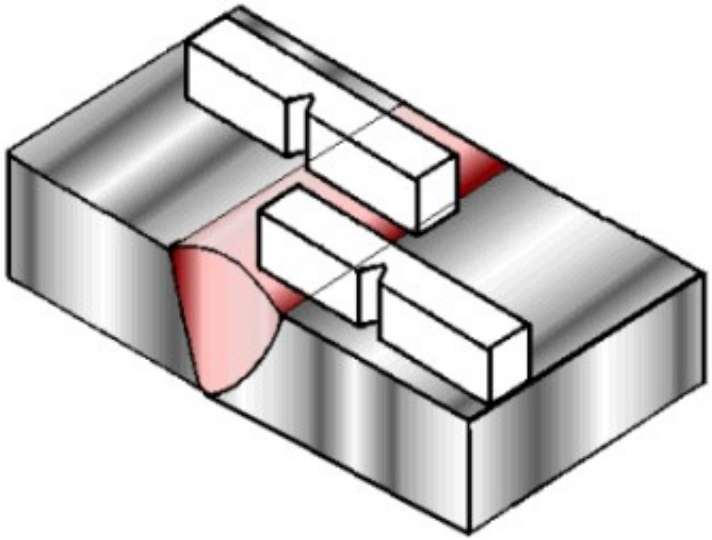
Anche ai fini di una buona resilienza è basilare la dimensione del grano: grani piccoli aumentano le caratteristiche di tenacità.

In generale non è possibile prevedere il comportamento di un materiale ad una temperatura anche di poco inferiore a quella di prova a causa del fenomeno della transizione della tenacità che vedremo durante la trattazione della rottura fragile nelle costruzioni saldate.

Localizzazione delle provette in un giunto saldato



Zona fusa

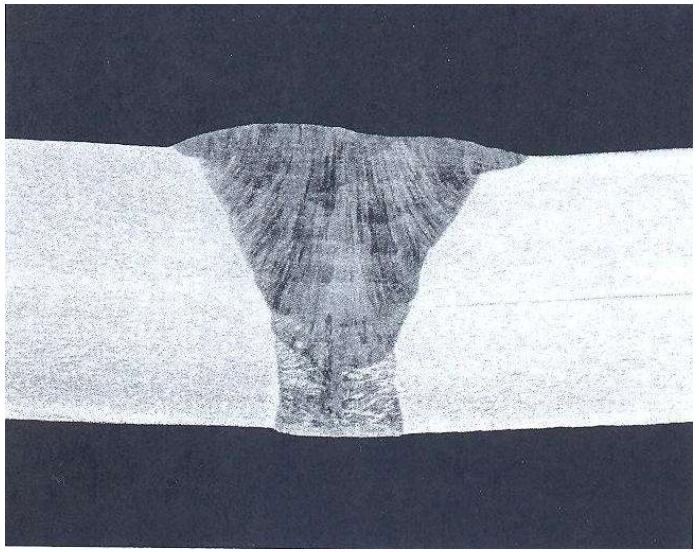


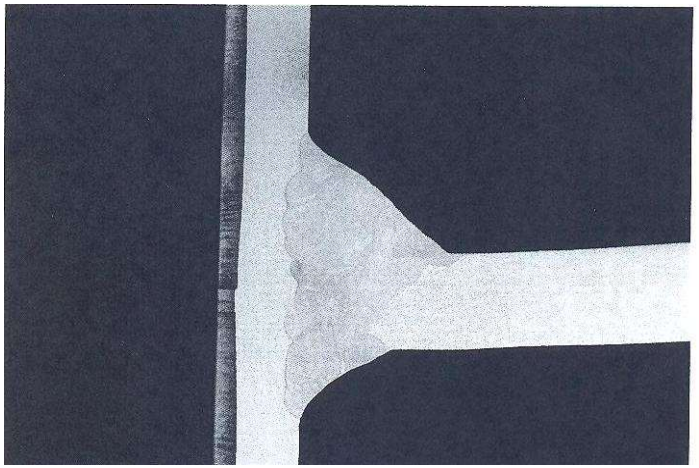
Zona termicamente alterata

MACROGRAFIA – PRINCIPIO DELLA PROVA

Caratterizzare la struttura metallografica di un materiale

L'***esame macroscopico*** (esame a l'occhio nudo) o ***macrografia*** (esame con microscopio ottico) permette di rilevare la struttura metallografica di una sezione trasversale di una provetta saldata.
L' agente chimico applicato sulla superficie lucidata del campione rivela, per dissoluzione a velocità irregolare, l'eterogeneità fisiche e chimiche della superficie del metallo in esame.
Il valore di ingrandimento è minore di X 100.





Preparazione delle provette d'esame

- Il taglio è eseguito, in genere in direzione trasversale alla saldatura con una mola sotto l'acqua per evitare il surriscaldamento.

- Una lavorazione meccanica della è necessaria nel caso di taglio con senza il raffreddamento del pezzo, per eliminare la zona riscaldata del taglio.

Pulitura delle provette d'esame :

- La pre-pulitura della superficie da esaminare è fatta sotto l'acqua con disco abrasivo di granulometria circa P120 e P400 e P600.

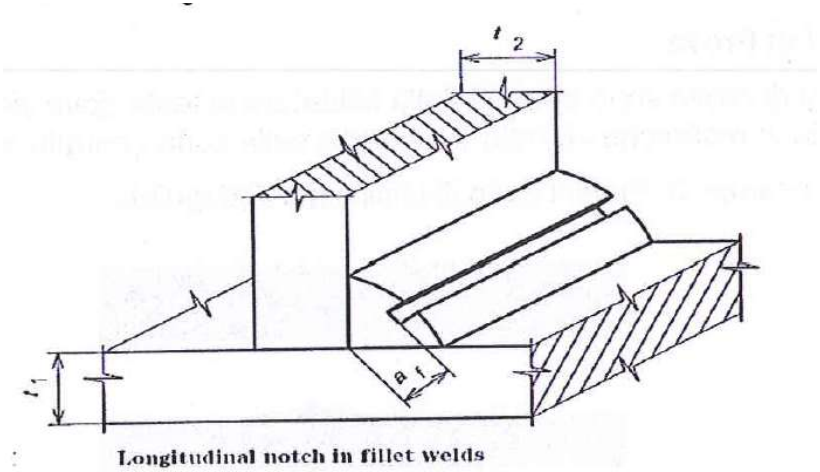
- La velocità di rotazione è compreso tra 150 e 300 giri / min circa.

- Il campione viene ruotato di 90 gradi ad ogni cambio di granulometria per cancellare le linee di lucidatura precedente

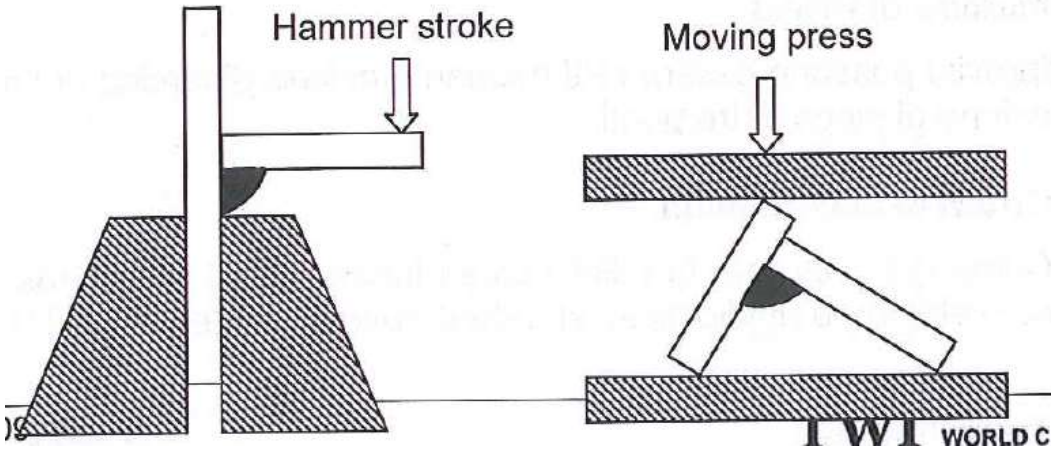
- Il tempo di lucidatura è di circa 2 minuti per ogni granulometria

PROVA DI FRATTURA – SALDATURA AD ANGOLO

- La bontà di una saldatura ad angolo può essere verificata attraverso la valutazione dell'aspetto della superficie di frattura di un provino opportunamente preparato.
- Sulla saldatura viene praticato un intaglio di forma a V, ad U o quadro.
- Successivamente il provino viene fratturato o attraverso l'azione dinamica prodotta da un martello o sotto una pressa.



Longitudinal notch in fillet welds



CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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 ≥ 27 J R = resilienza garantita a + 20° C

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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 basso-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

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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 autocicatrizzante e garantisce la protezione del metallo, anche se localmente si verificano abrasioni o asportazioni della pellicola.

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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 martesitici: 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.*

CLASSIFICAZIONE DEGLI ACCIAI

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).

TRATTAMENTI TERMICI DEGLI ACCIAI

Rassegna dei trattamenti termici di interesse applicativo

- Ricottura
- Normalizzazione
- Tempra
- Bonifica
- Rinvenimento

TRATTAMENTI TERMICI

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.

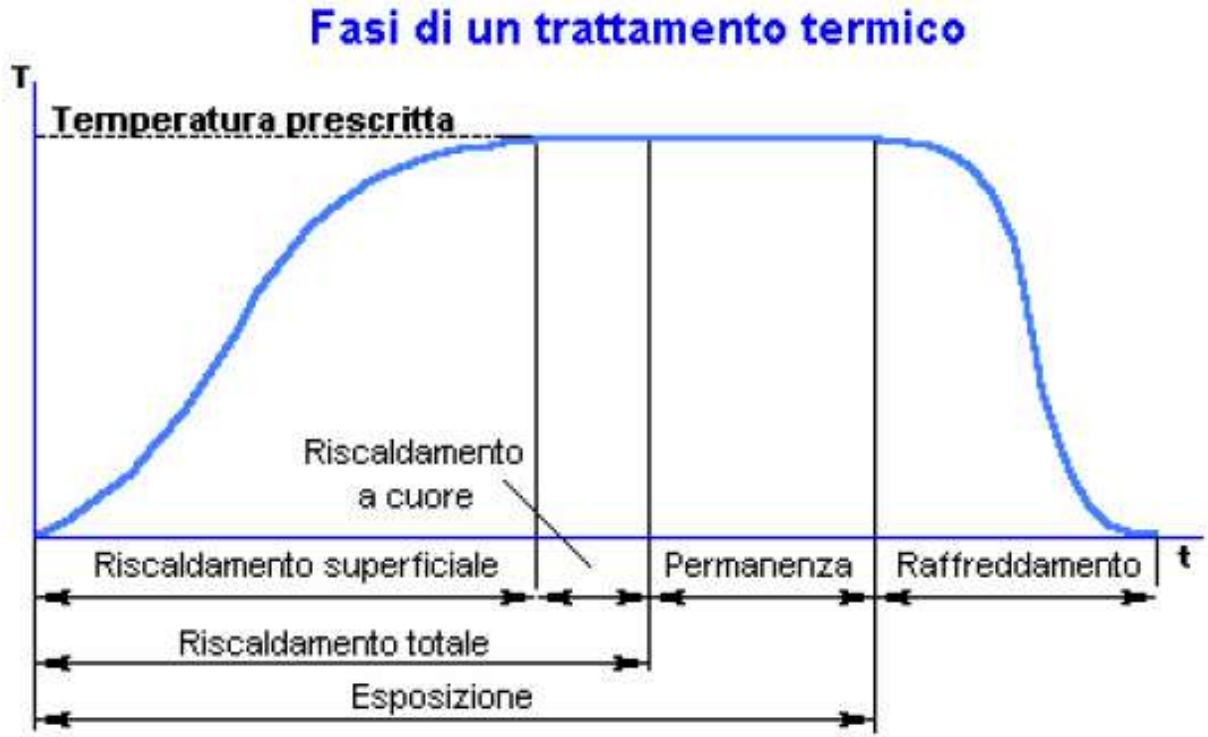
Un generico trattamento termico si compone delle seguenti fasi:

-riscaldamento superficiale

-riscaldamento a cuore

-permanenza

-raffreddamento



TRATTAMENTI TERMICI

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.

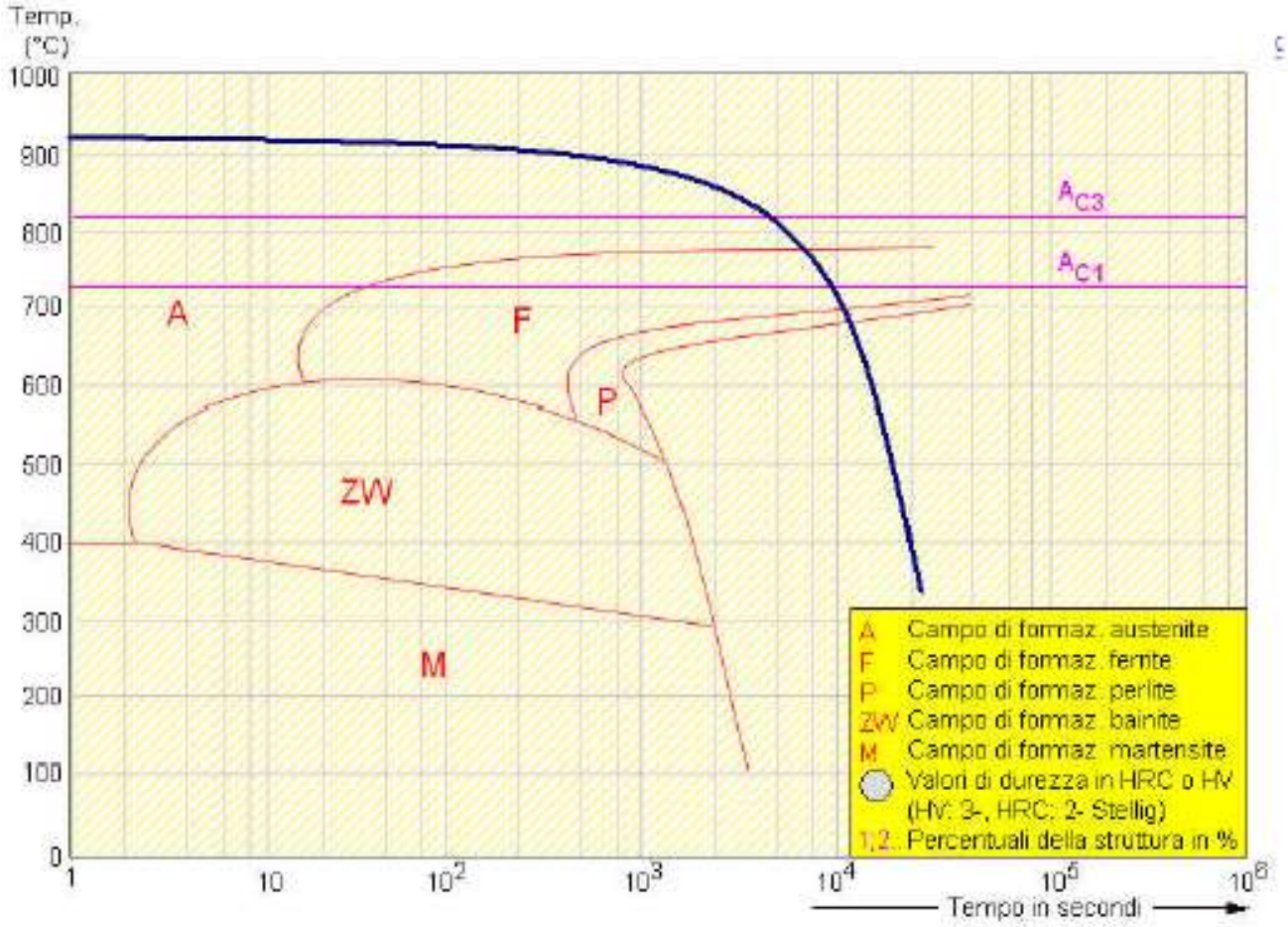
Raffreddamento
Diminuzione della temperatura di un pezzo.

RICOTTURA

È un trattamento termico che si realizza riscaldando il materiale sopra A3; la struttura micrografica di partenza si trasforma in una struttura austenitica tanto più fine quanto meno si spinge la temperatura oltre A3. Si deve fare in modo però 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, cioè meno plastiche delle strutture ricristallizzate.



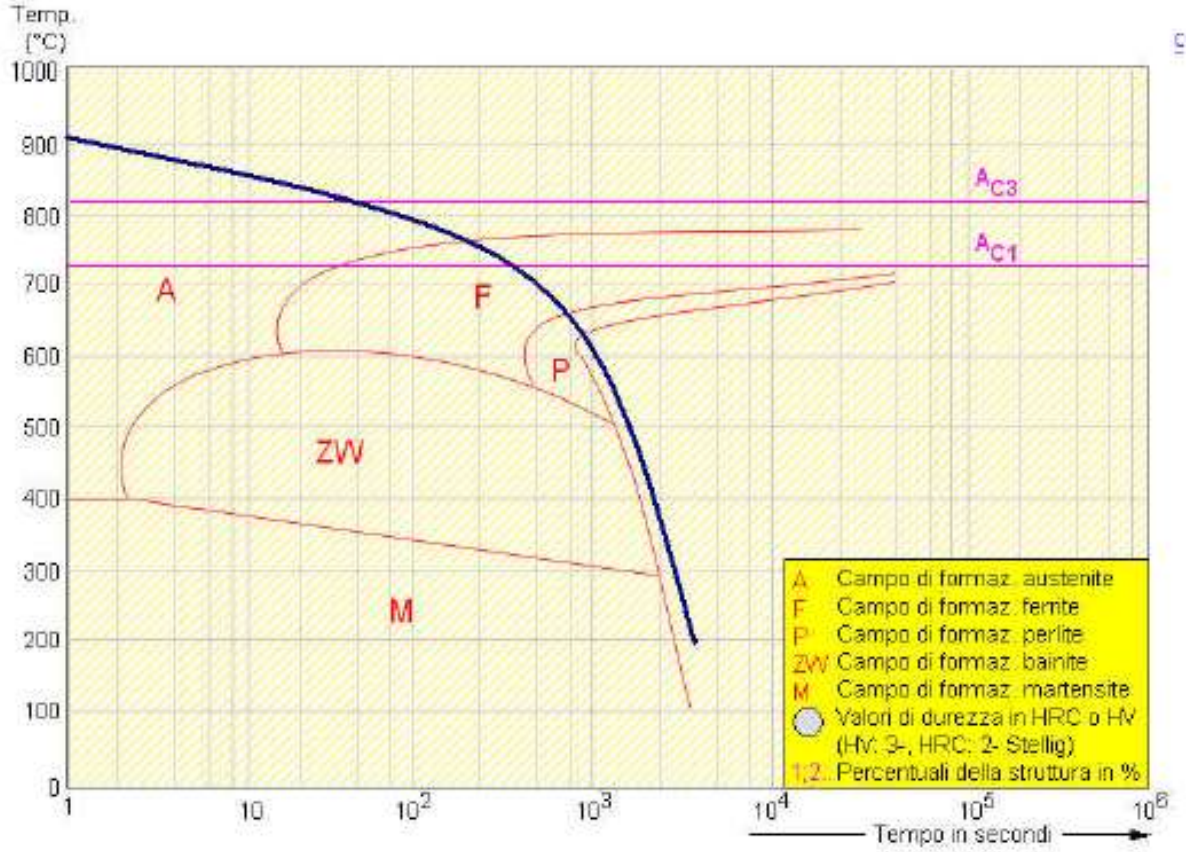
NORMALIZZAZIONE

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.



NORMALIZZAZIONE

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

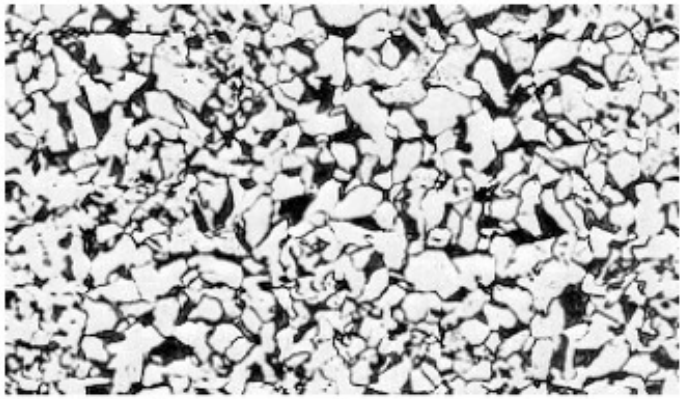


Fig. 61b fuso normalizzato

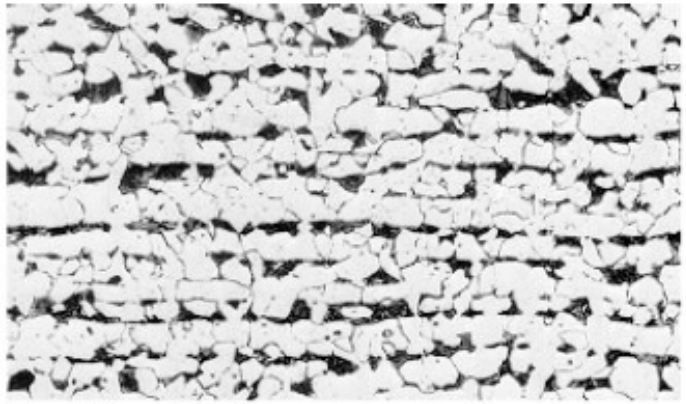


Fig. 62a – lamiera allo stato "as rolled"

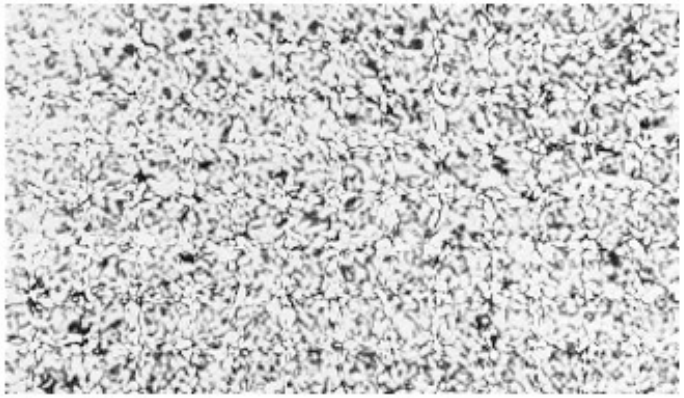


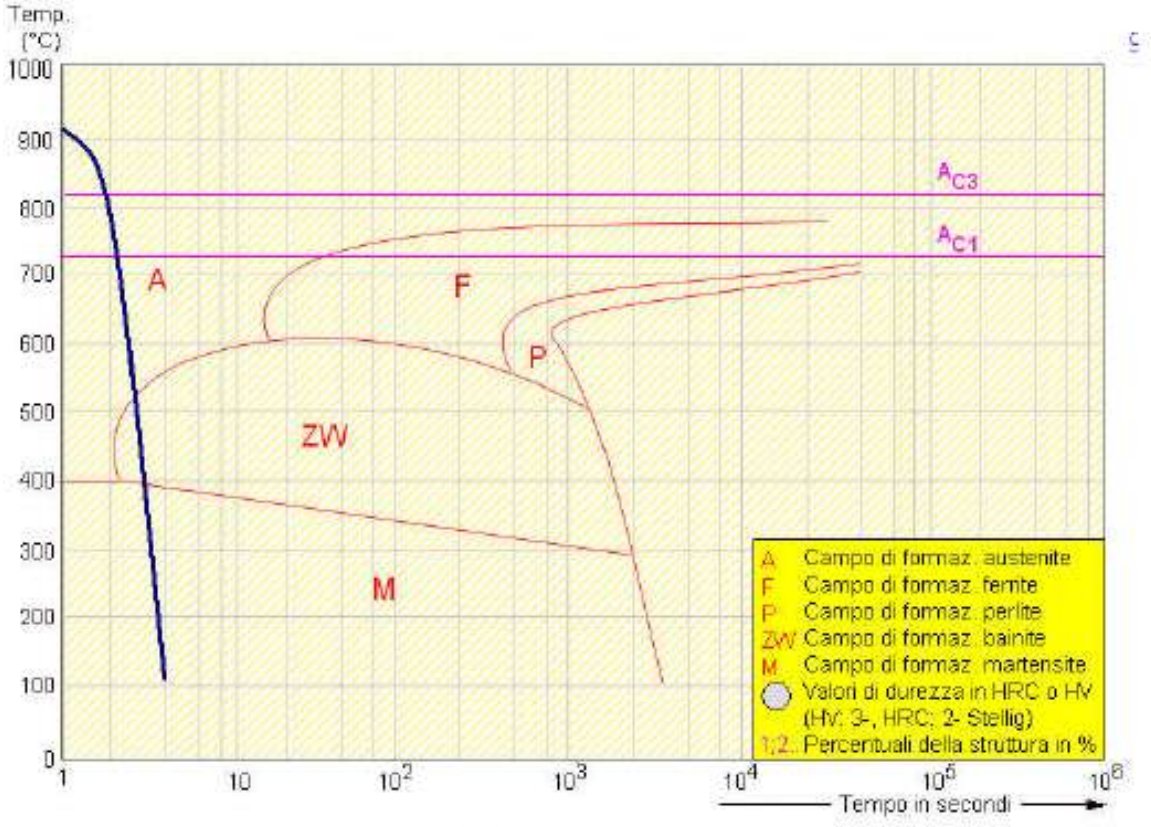
Fig. 62b lamiera normalizzata

TEMPRA

La tempra è un trattamento termico che 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.



TEMPRA

Oltre alla velocità di raffreddamento quindi 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:

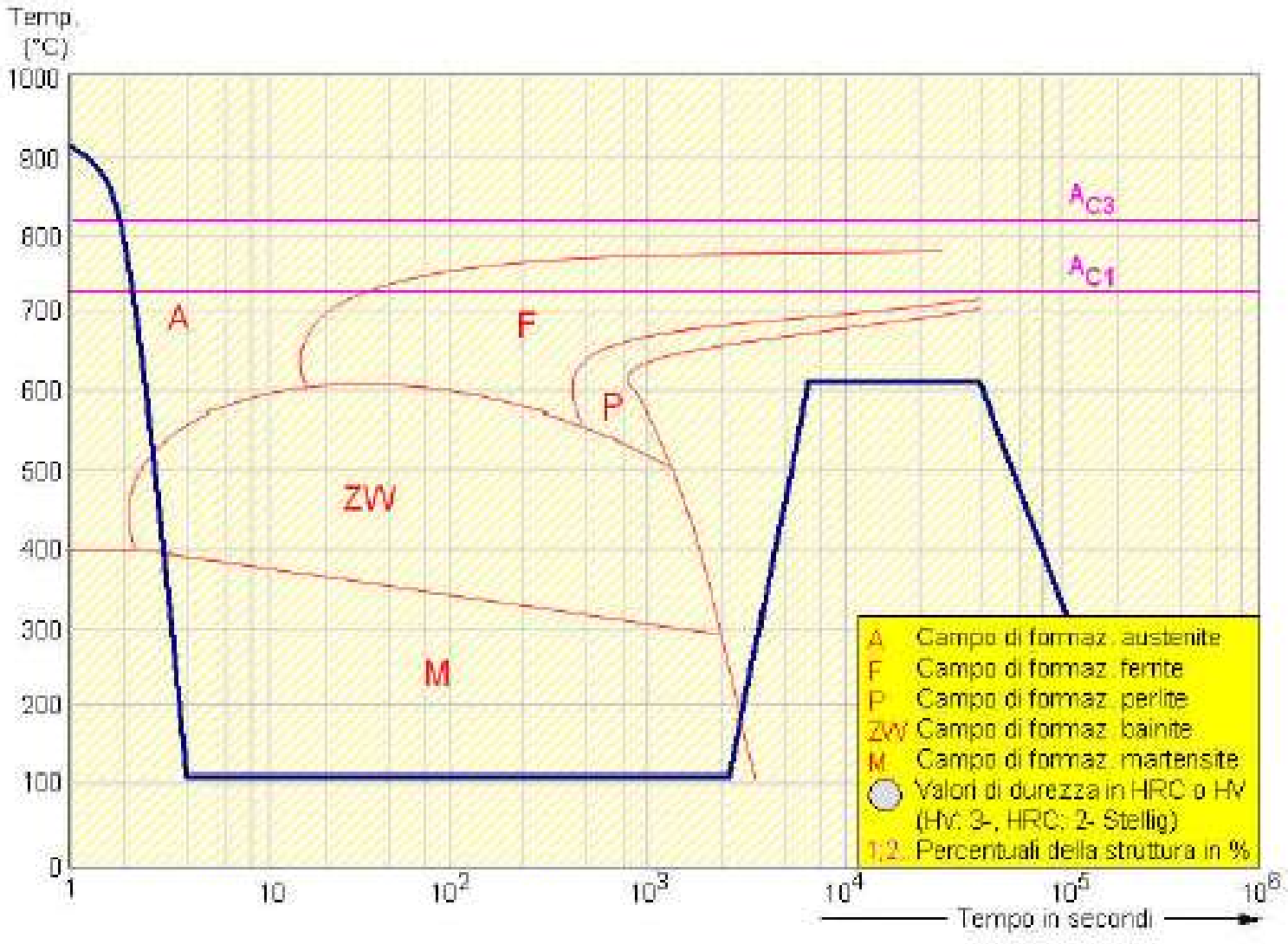
Ceq= C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15

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.

BONIFICA

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



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.

