Corso di metallurgia e saldatura – Parte 1
“Richiami di metallurgia, diagrammi di stato”
“Proprietà meccaniche dei metalli”

Move Forward with Confidence

RICHIAMI DI METALLURGIA E DIAGRAMMI DI STATO

- Struttura cristallina dei solidi
- Leghe metalliche
- Diffusione allo stato solido
- Solidificazione
- Diagrammi di stato
- Il diagramma Fe-C
- Comportamento dei metalli alle alte e basse temperature

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

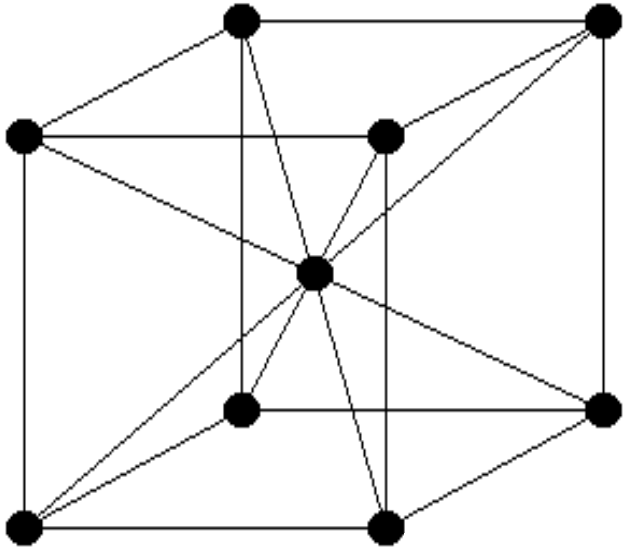
- sistema esagonale compatto

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

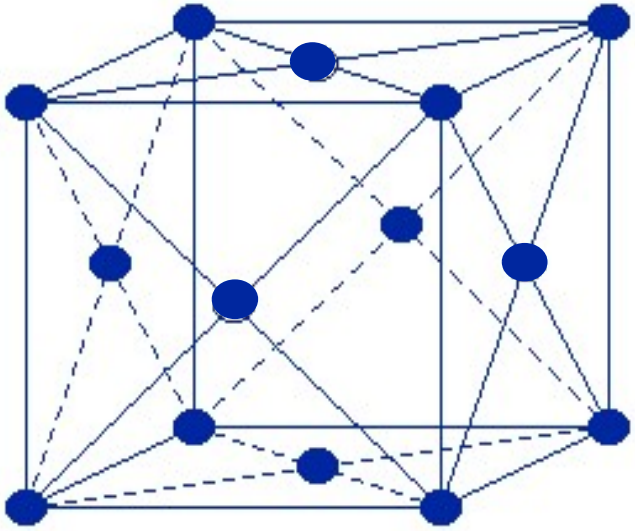
Il reticolo cubico a facce centrate ha celle cubiche con 8 atomi ai vertici del cubo e 6 atomi, uno per faccia al centro delle facce.

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.

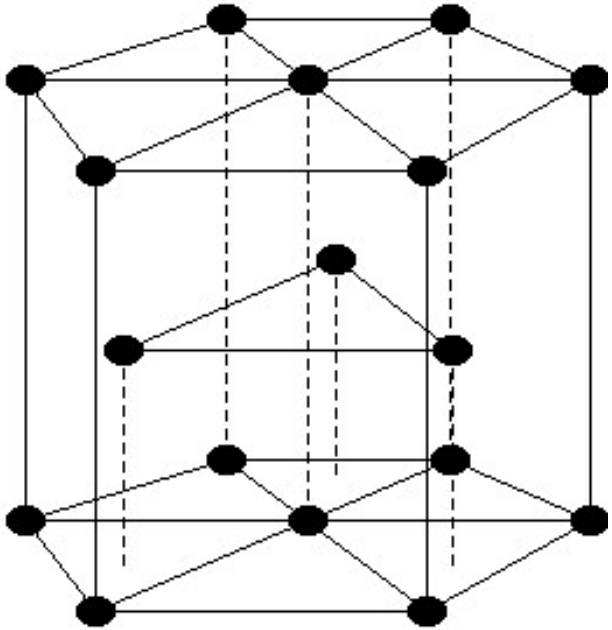
STRUTTURA CRISTALLINA DEI SOLIDI



Struttura cubica
a corpo centrato
(CCC)

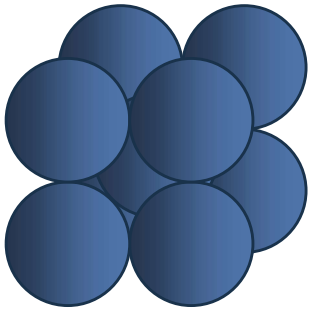


Struttura cubica
a facce centrate
(CFC)



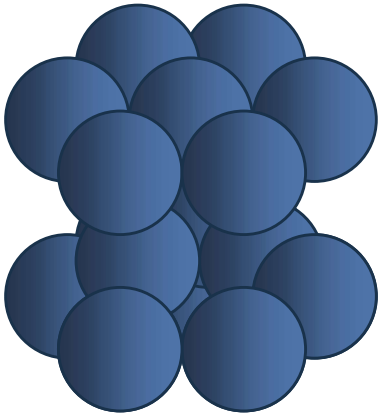
Struttura esagonale
compatta
(HCP)

Metalli allo stato solido: struttura cristallina



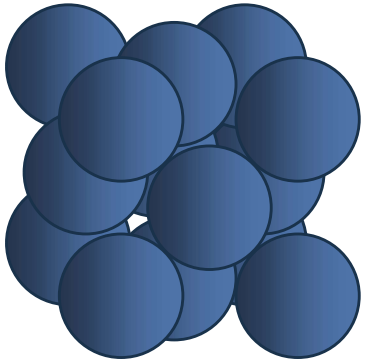
Struttura cubica
a corpo centrato
(CCC)

Ba, Cr,
Fe-α, Fe-δ
Li, Mo, Nb,
Ta, V, W, Zr



Struttura esagonale
compatta
(HCP)

Be, Co,
Mg, Ti, Zn



Struttura cubica
a facce centrate
(CFC)

Al, Ag, Au,
Cu, Fe-γ,
Ni, Pb, Pt

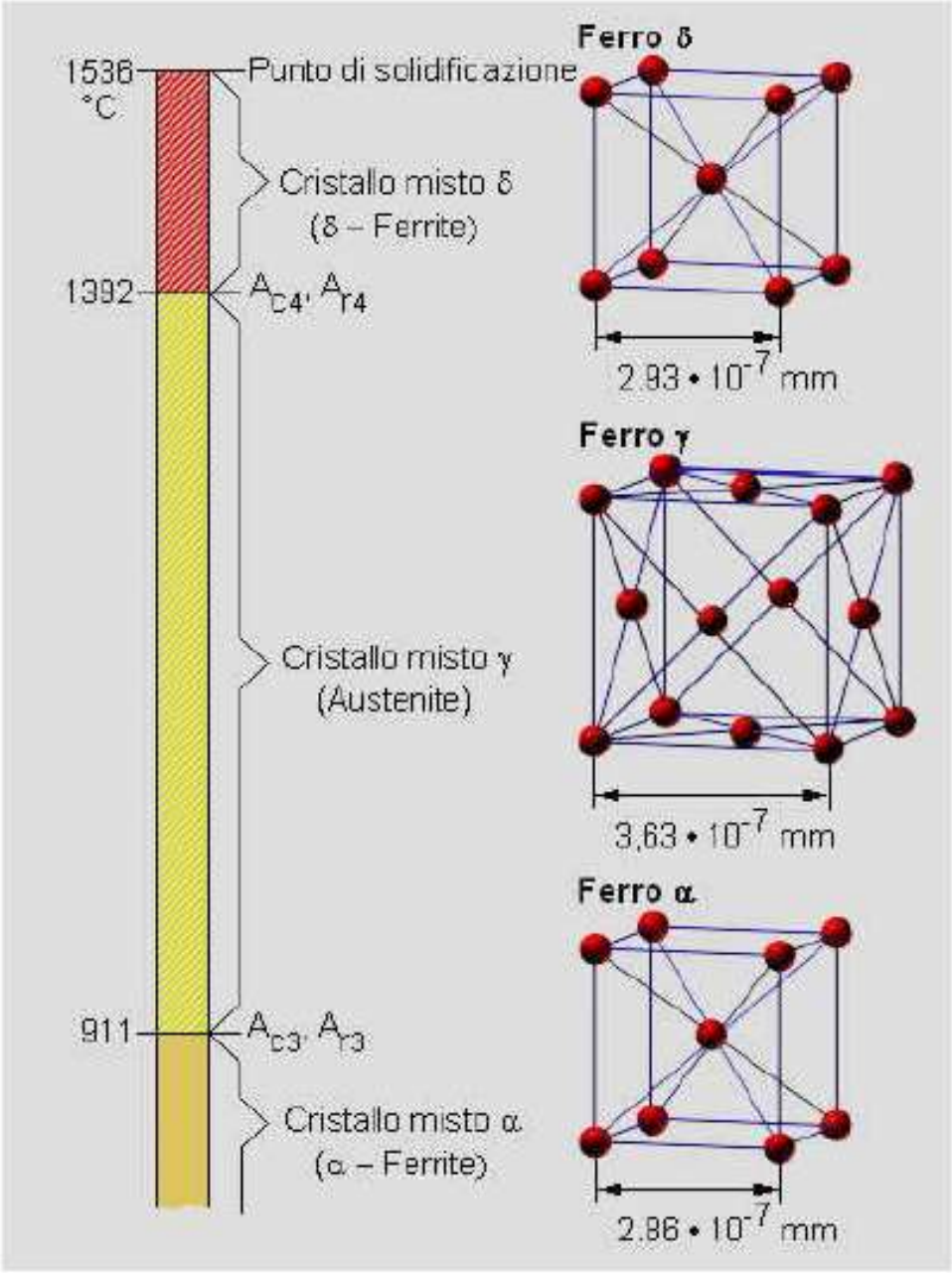
STATI ALLOTROPICI DEL FERRO

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

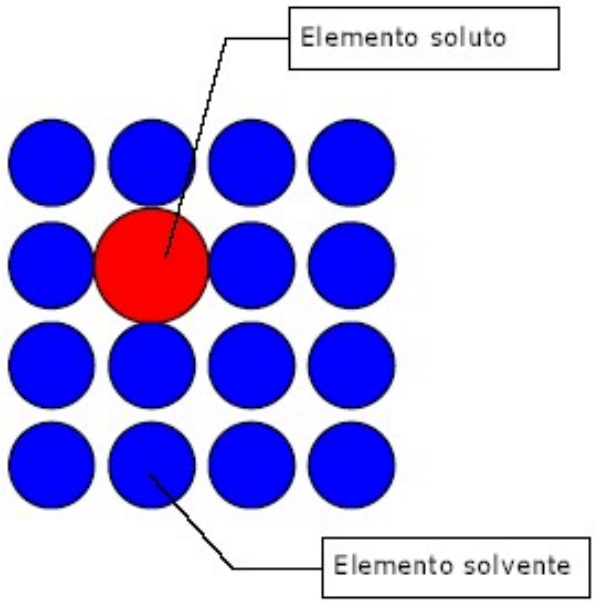
SOLUZIONI SOLIDE

Le soluzioni solide possono ottenersi in due modi:
- per sostituzione
- per inserzione

Soluzioni solide di sostituzione

Le soluzioni solide di sostituzione sono il caso più generale di soluzioni solide tra i metalli ed avvengono per sostituzione di alcuni atomi del reticolo cristallino del metallo solvente con altrettanti atomi del metallo disciolto.

In genere il campo di solubilità è più ampio per quei metalli che hanno volumi atomici pressoché uguali, che tendono a cristallizzare in sistemi cristallografici identici e che sono abbastanza vicini nella serie elettrochimica degli elementi.



È stato dimostrato sperimentalmente che a parità di struttura cristallina e vicinanza nella serie elettrochimica formano leghe di sostituzione con vasti campi di solubilità i metalli i cui diametri atomici non differiscono di più del 15%.

SOLUZIONI SOLIDE

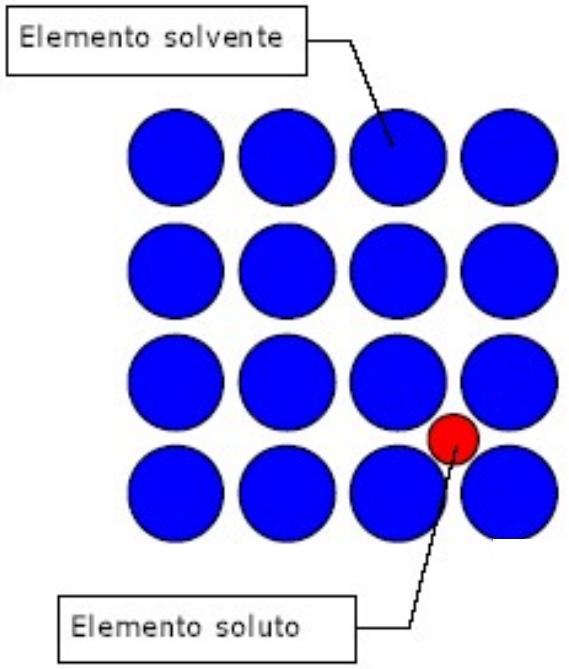
Soluzioni solide di inserzione

Le soluzioni solide di inserzione avvengono per inserzione di uno o più atomi dell'elemento disciolto nelle maglie del reticolo cristallino del metallo solvente.

Perché ciò avvenga l'elemento soluto deve avere un diametro atomico alquanto inferiore (minore del 60%) di quello del metallo solvente; l'elemento da sciogliere si inserisce infatti tanto più facilmente nel reticolo cristallino del metallo che costituisce la matrice fondamentale quanto più il suo atomo è piccolo rispetto alle distanze interatomiche del solvente.

Soltanto pochi elementi possono soddisfare la suddetta condizione nei riguardi del ferro; i più importanti sono idrogeno, carbonio, azoto e boro.

Si è anche verificato sperimentalmente che le strutture cristalline che favoriscono maggiormente le soluzioni di inserzione sono quella cubica a facce centrate e quella esagonale compatta



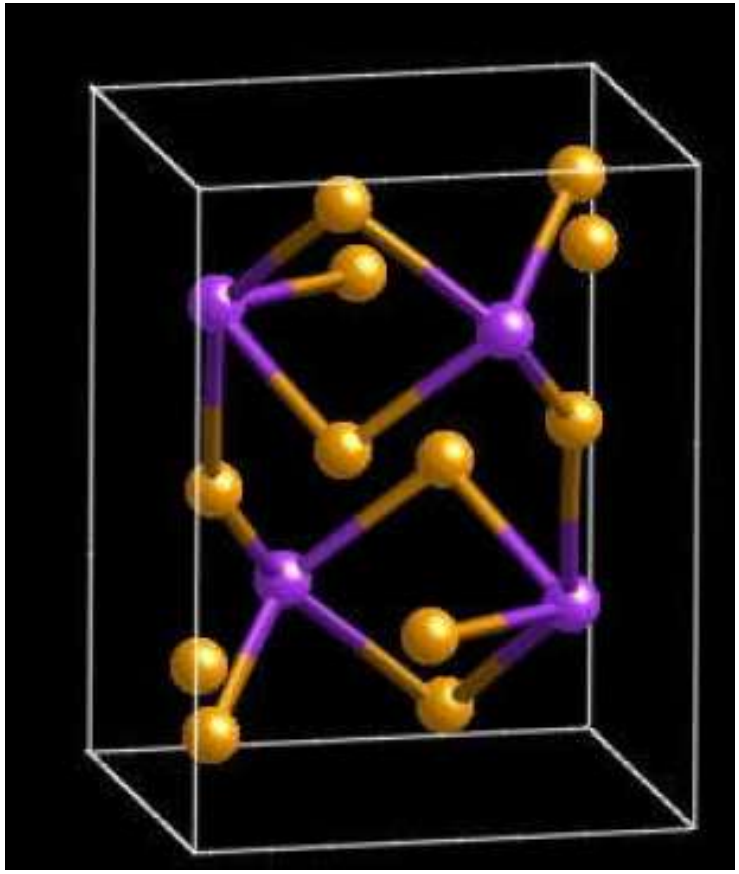
LEGHE DI GIUSTAPPOSIZIONE

Le leghe di giustapposizione si hanno quando la solubilità fra i metalli allo stato solido è alquanto limitata o addirittura inesistente.

Le leghe in tali casi possono essere costituite da più grani affiancati (giustapposti) dei diversi metalli o delle possibili soluzioni solide parziali.

Si hanno così le leghe di giustapposizione cui appartiene la grande maggioranza delle leghe industriali.

Un esempio tipico è la perlite (lega Fe-C con lo 0,8% di C in peso); essa è una lega di giustapposizione tra ferrite e cementite (vedi figura).



Vi è infine da notare che certi metalli possono reagire chimicamente tra di loro formando composti intermetallici: tale è il caso, ad esempio delle leghe Fe-C nelle quali può essere presente il composto intermetallico Fe3C (cementite) corrispondente al 6,67% di C in peso.

SOLIDIFICAZIONE

Gli atomi dei metalli allo stato liquido possiedono un alto livello energetico, loro conferito dal calore assorbito durante l'innalzamento termico che dallo stato solido ha portato il metallo a fusione.

Essi sono alquanto liberi di muoversi nel seno della massa liquida essendo vincolati al mantenimento delle reciproche distanze, ma non al mantenimento delle loro posizioni e si muovono con velocità tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura del liquido.

Quando il liquido si raffredda, il moto degli atomi si attenua finché, ad una certa temperatura e in un generico punto della massa liquida, le forze di attrazione interatomiche hanno il sopravvento e vincolano alcuni atomi in posizione fissa gli uni rispetto agli altri, formando così la prima cella del reticolo cristallino. **Questa prende il nome di primo germe di solidificazione ed accanto ad esso man mano che la temperatura scende si affiancano altre celle.**



SOLIDIFICAZIONE

L'accrescersi dell'edificio cristallino non avviene però casualmente ma, come già detto, secondo ben definite leggi cristallografiche; le celle infatti mettono in comune gli atomi delle facce contigue e lo sviluppo si compie con ramificazioni nelle direzioni degli assi cristallografici (modalità di solidificazione detta 'arborescentè o 'dendritica')

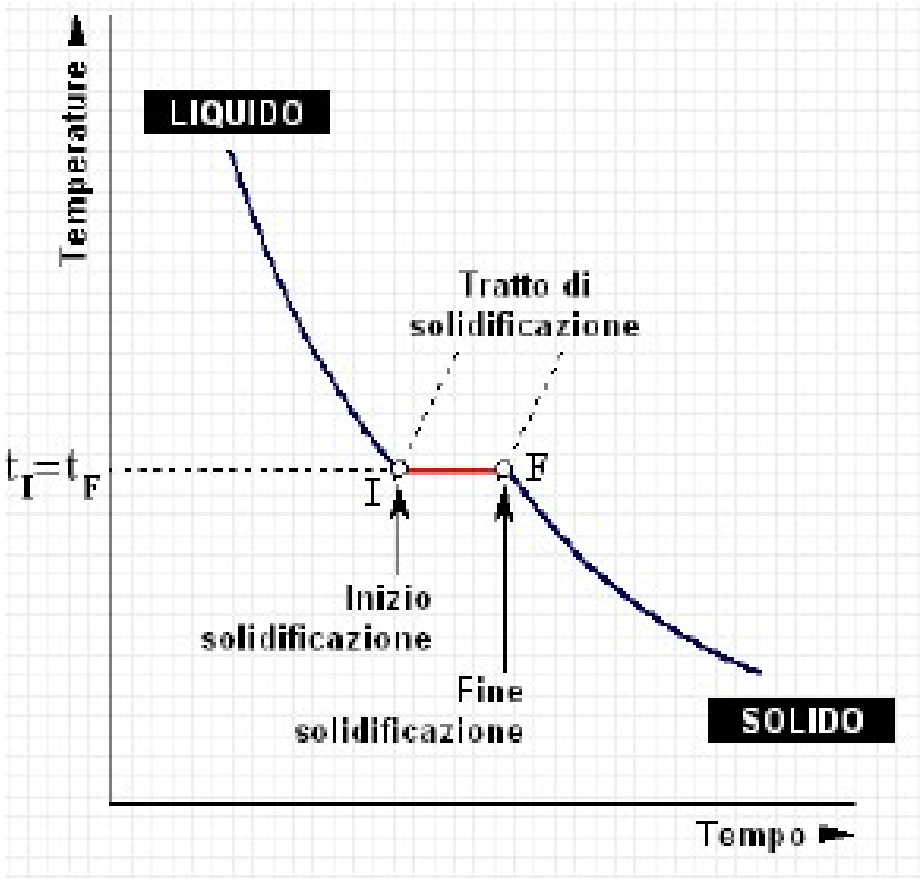
Si definisce “cristallo” o “grano” o “dendrite” il risultato dello sviluppo di ciascun germe di solidificazione. Ogni grano comprende numerosissime celle elementari aventi tutte la stessa orientazione della cella iniziale; da grano a grano l'orientazione cambia.



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.

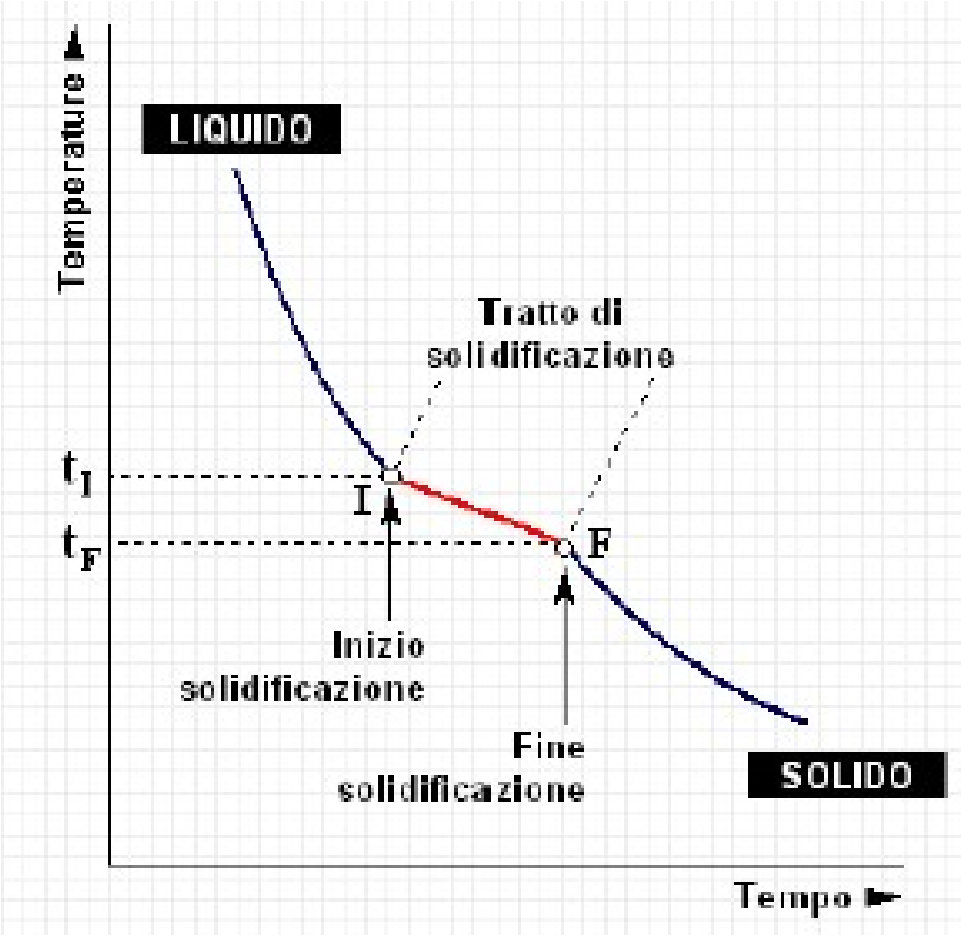
I punti singolari sono l'indice dei cambiamenti che avvengono a certe temperature (passaggio dallo stato liquido a quello solido; da uno stato allotropico ad un altro, cioè da una forma cristallografica ad un'altra ecc…).



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.

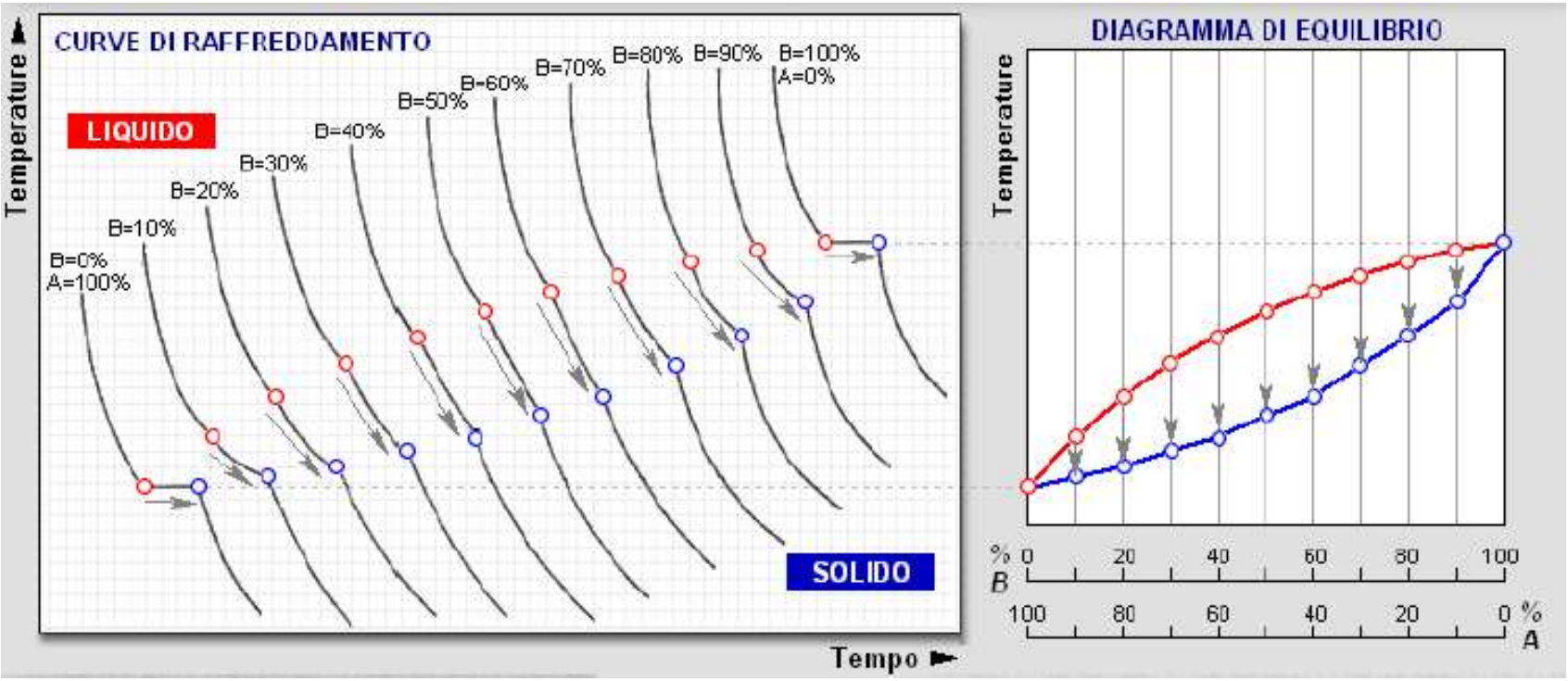
Inoltre variando la composizione della lega si
nota come si abbia conseguentemente una variazione della posizione dei punti singolari;
pensando allora di tracciare delle curve che uniscano questi punti in funzione della concentrazione percentuale dei componenti la lega stessa, si ottengono dei diagrammi 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.

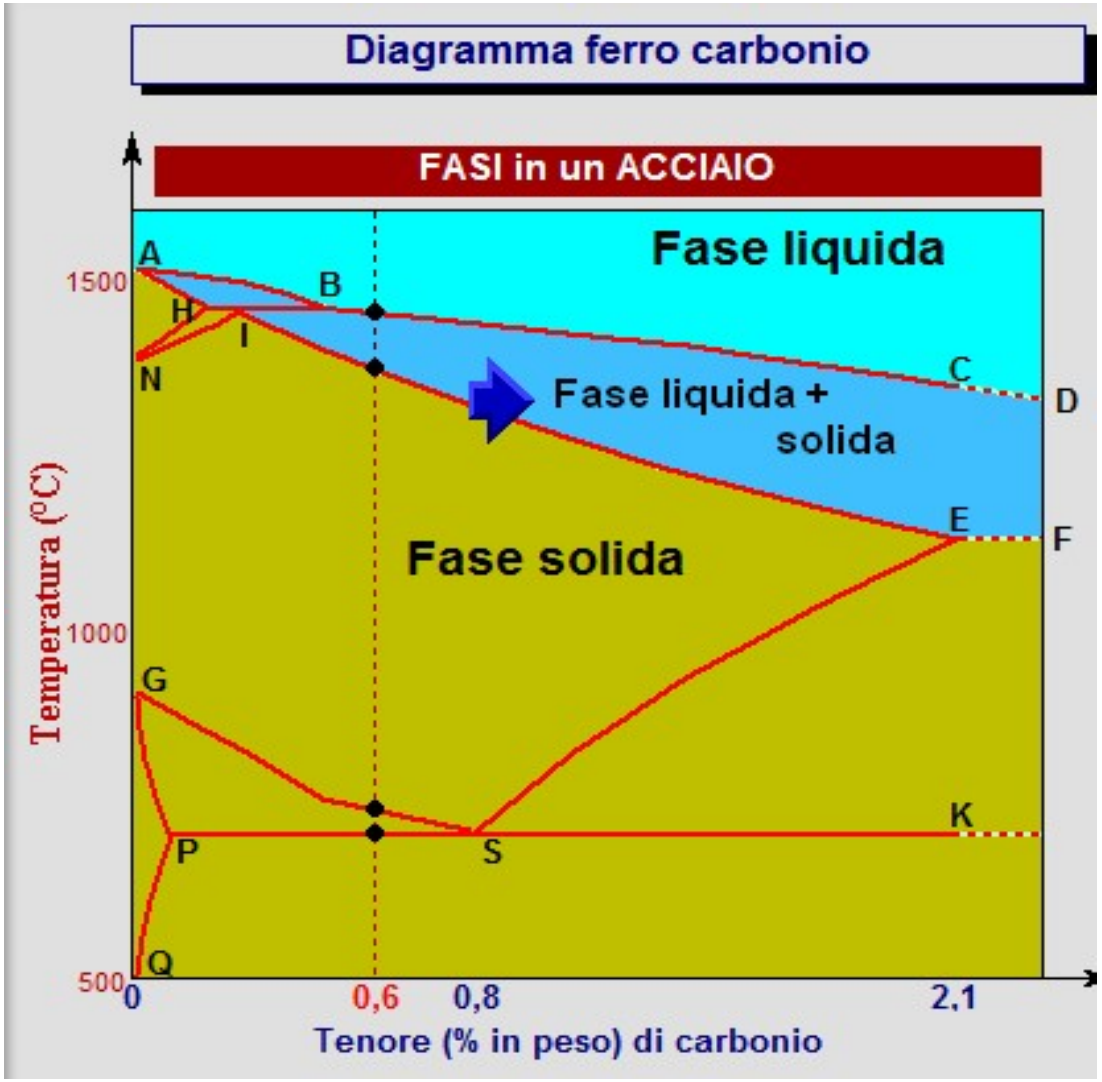
Dal diagramma si nota subito che quando il tenore di C è inferiore al 2% siamo nel campo di esistenza degli acciai; per percentuali superiori si entra nel campo delle ghise.

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**.



COMPORTAMENTO DEI METALLI ALLE ALTE TEMP.

Con l'aumento della temperatura cresce, a seguito della maggiore velocità di diffusione e della mobilità atomica apportate dall'energia termica, la capacità del materiale a rilassarsi e a ricristallizzare; si ha di conseguenza una riduzione della capacità del materiale ad incrudirsi per cui le deformazioni avvengono in maniera continua con il solo ostacolo della coesione dei piani cristallini.

A temperature sufficientemente elevate, sotto l'effetto di un carico applicato anche inferiore al limite di snervamento, possono avvenire e continuare deformazioni plastiche anche senza ulteriore incremento del carico; detto fenomeno, per cui il materiale continua ad allungarsi fini a rottura a carico costante, è chiamato scorrimento a caldo.

Il fenomeno dello scorrimento è fortemente influenzato sia dalla temperatura di prova sia dal livello di sollecitazione sia dal tempo di applicazione della sollecitazione.

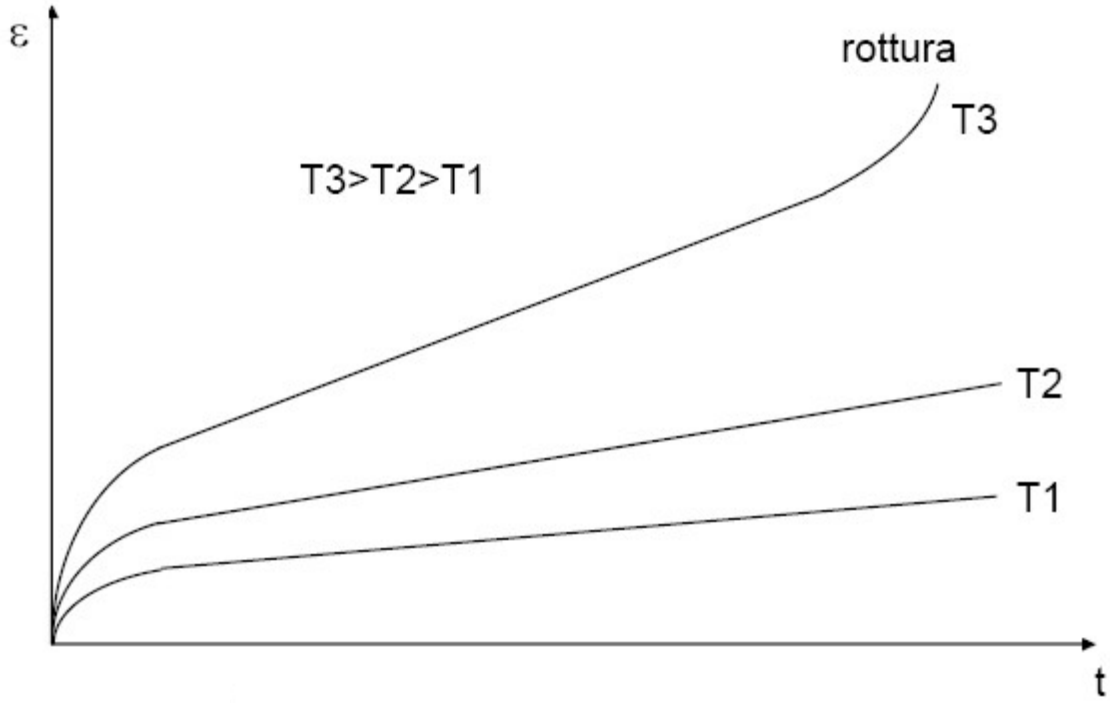
COMPORTAMENTO DEI METALLI ALLE ALTE TEMP.

Mantenendo costante il carico applicato e facendo variare la temperatura, le curve allungamento-tempo assumono, per un dato materiale, l'aspetto indicato in figura.

I comportamenti diversi alle varie temperature sono dovuti al diverso rapporto tra velocità di incrudimento e velocità di ricristallizzazione infatti la figura evidenzia tre curve:

- una curva (n.1) in cui l'aumento di resistenza dovuto all'incrudimento del materiale predomina nettamente sul fenomeno della ricristallizzazione;

- una curva (n.2) che, dopo il primo tratto, assume pendenza costante sull'asse dei tempi e si riferisce ad una condizione di equilibrio tra velocità di incrudimento e velocità di ricristallizzazione;



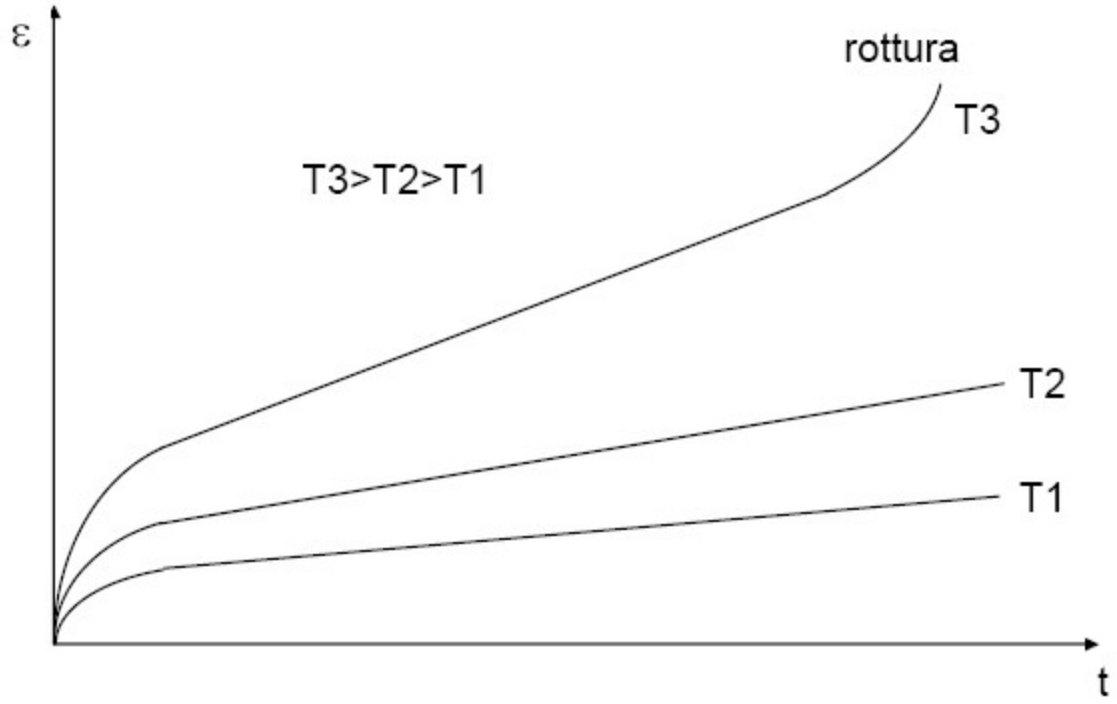
COMPORTAMENTO DEI METALLI ALLE ALTE TEMP.

- una curva (n. 3) in cui anche il secondo tratto, cioè il tratto a pendenza costante, è limitato, ed è seguito da un rapido impennarsi della curva, cioè da un rapido aumento della velocità di allungamento seguito sempre dalla rottura. In questo caso lo scorrimento è caratterizzato da una continua e quasi completa ricristallizzazione.

Un fattore metallurgico che influenza decisamente lo scorrimento a caldo è la dimensione del grano; è stato constatato infatti, come la resistenza allo scorrimento dei materiali a grano grosso sia superiore, a parità di ogni altra condizione, a quella dei materiali a grano fine. in quanto i bordi dei grani sono coinvolti nel processo.

Quindi i materiali a grano grosso, dove minore è l'estensione dei bordi, resistono meglio allo scorrimento.

Caratteristici per gli impieghi ad alta temperatura sono gli acciai al Cr-Mo



COMPORTAMENTO DEI METALLI ALLE BASSE TEMP.

Non sono rare, con l'avvento della moderna tecnologia, strutture metalliche quali apparecchi o recipienti che lavorano a temperature molto basse (anche -250° C).

Le variazioni più vistose che si hanno nelle caratteristiche meccaniche dei metalli a bassa temperatura consistono generalmente in un marcato aumento della resistenza ed in una più o meno forte (a seconda della temperatura) diminuzione della duttilità e della tenacità.

La possibilità o meno di poter utilizzare un metallo a bassa temperatura è giudicata normalmente in base alla sua tenacità a quella temperatura.

È stato comunque verificato sperimentalmente che i principali fattori che influenzano la tenacità sono:

- la struttura cristallina: si comportano male a bassa temperatura i metalli che cristallizzano nel sistema cubico a corpo centrato o esagonale compatto e bene quelli che cristallizzano nel sistema cubico a facce centrate;

- le condizioni di fabbricazione e di trattamento termico e quindi la finezza del grano.

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.

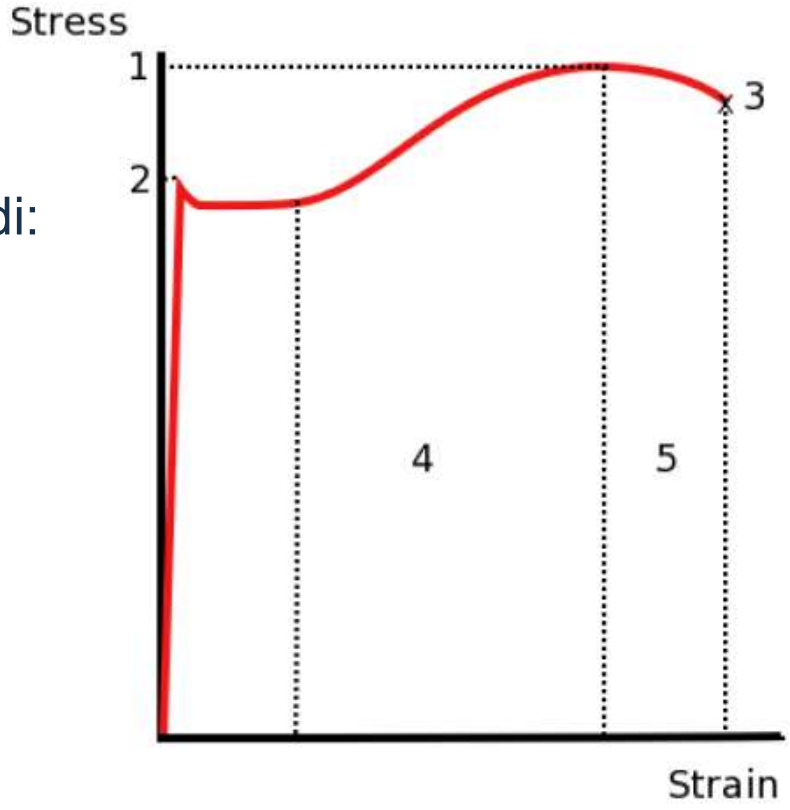


PROVA DI TRAZIONE

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)



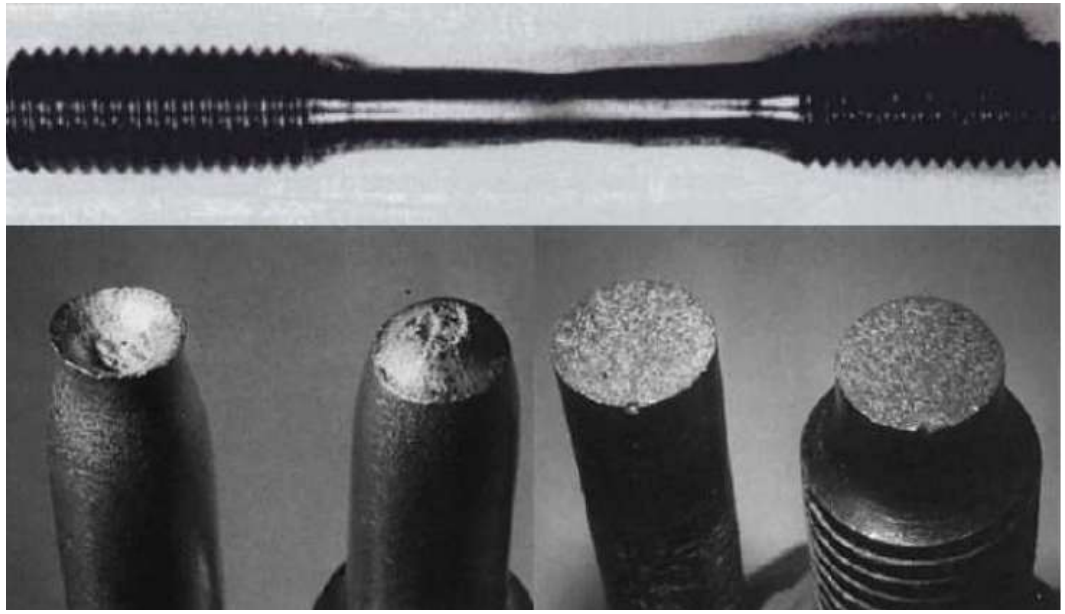
PROVA DI TRAZIONE

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

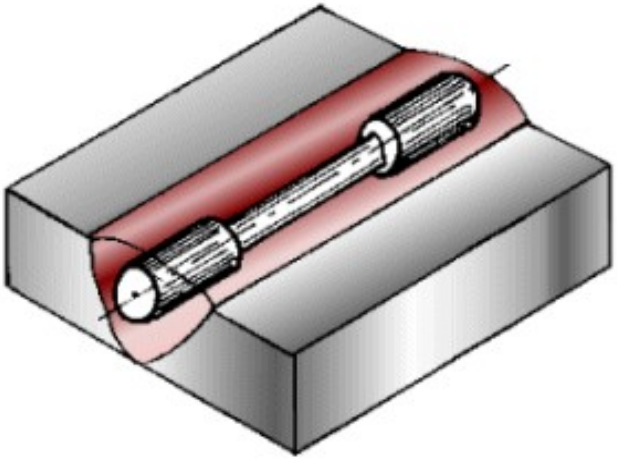
Il periodo dello snervamento rappresenta il passaggio da comportamento elastico a comportamento plastico; si definisce carico di snervamento Rs il carico in corrispondenza del quale per la prima volta, avviene un incremento di allungamento senza contemporaneo incremento di sollecitazione o con un decremento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

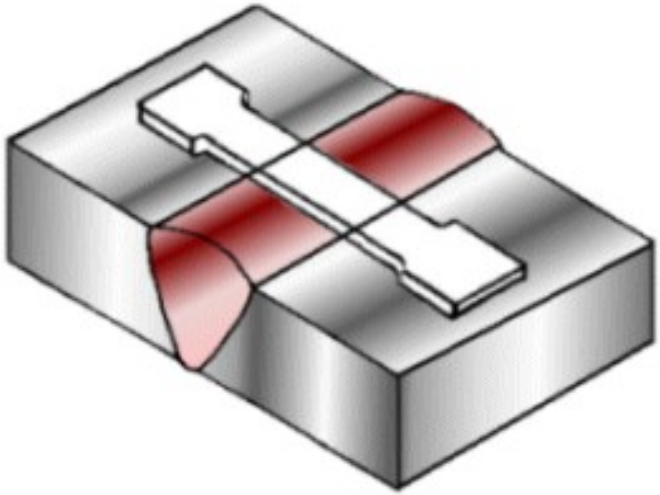
Il periodo degli allungamenti plastici comincia subito dopo il manifestarsi dello snervamento e termina in corrispondenza del raggiungimento del carico massimo o 'carico di rottura'.

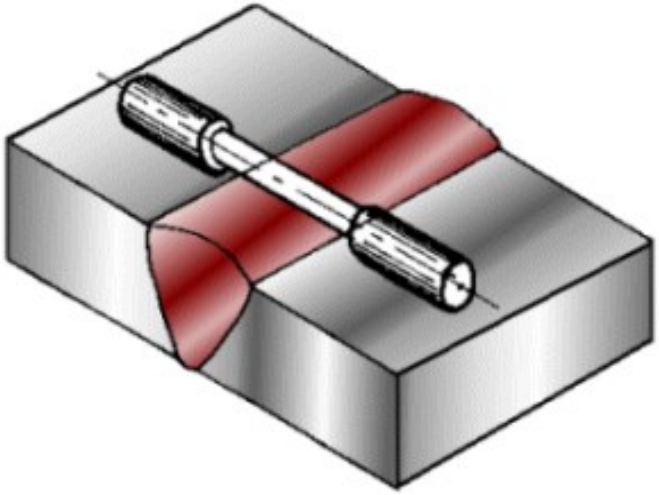
Nel periodo della strizione l'allungamento della provetta si localizza in un breve tratto di essa, tratto dove si manifesta una deformazione trasversale (strizione) che si accentua fino alla rottura.



Localizzazione delle provette







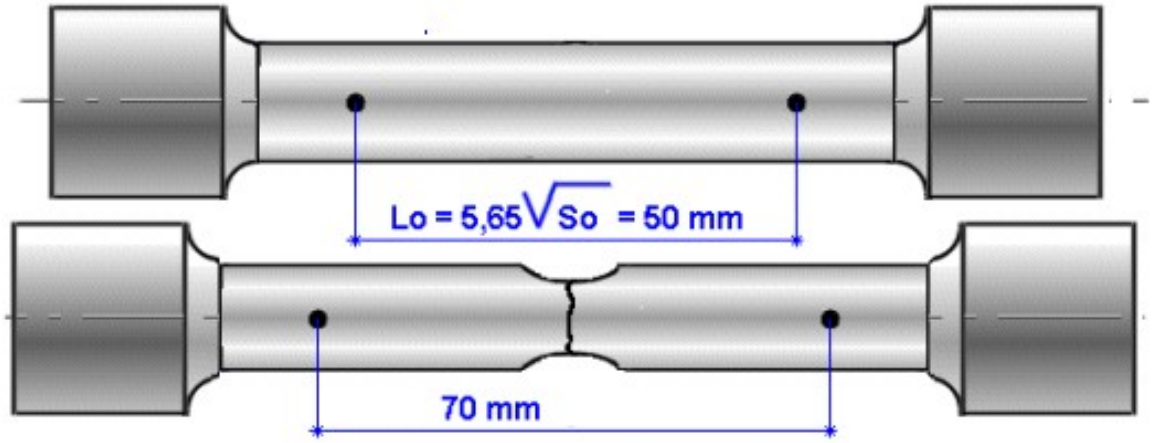
PROVA DI TRAZIONE - ALLUNGAMNETO

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



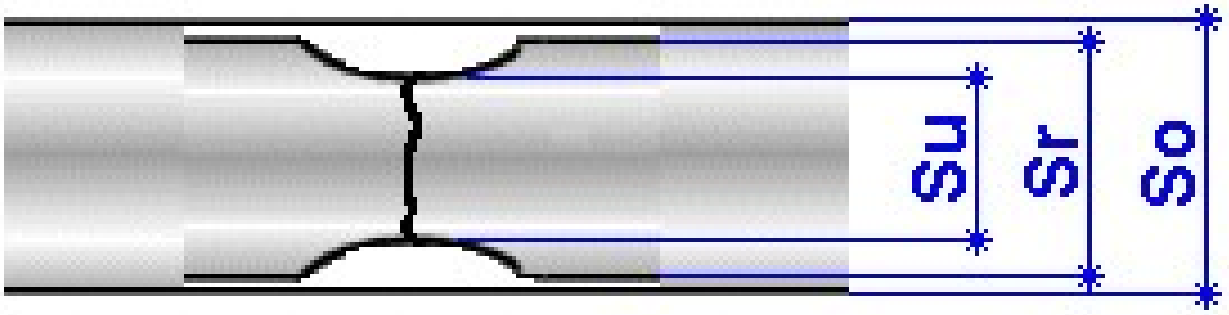
l'allungamento è del 40%

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.

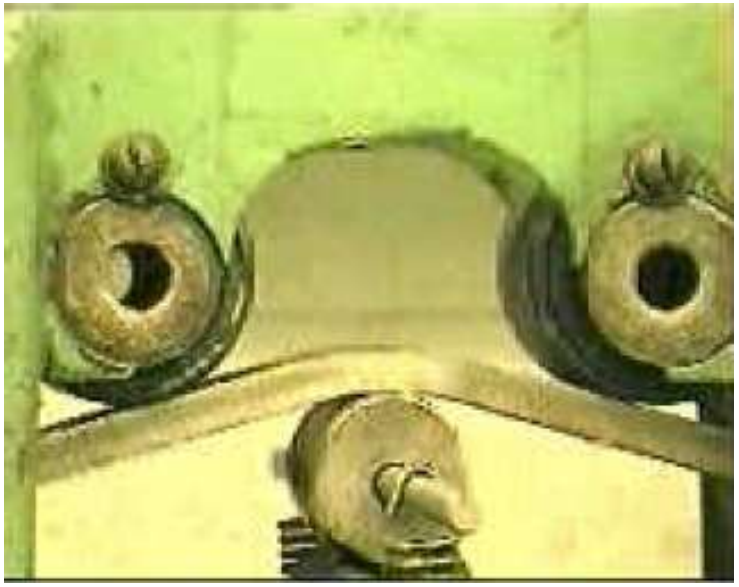
Una buona duttilità è molto importante per un materiale metallico poiché:
- è un indice della capacità di un materiale di sopportare deformazioni a freddo;
- dà un'idea della riserva di plasticità sfruttabile per contrastare fratture dovute a sovraccarichi imprevisti;
- consente di non preoccuparsi troppo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

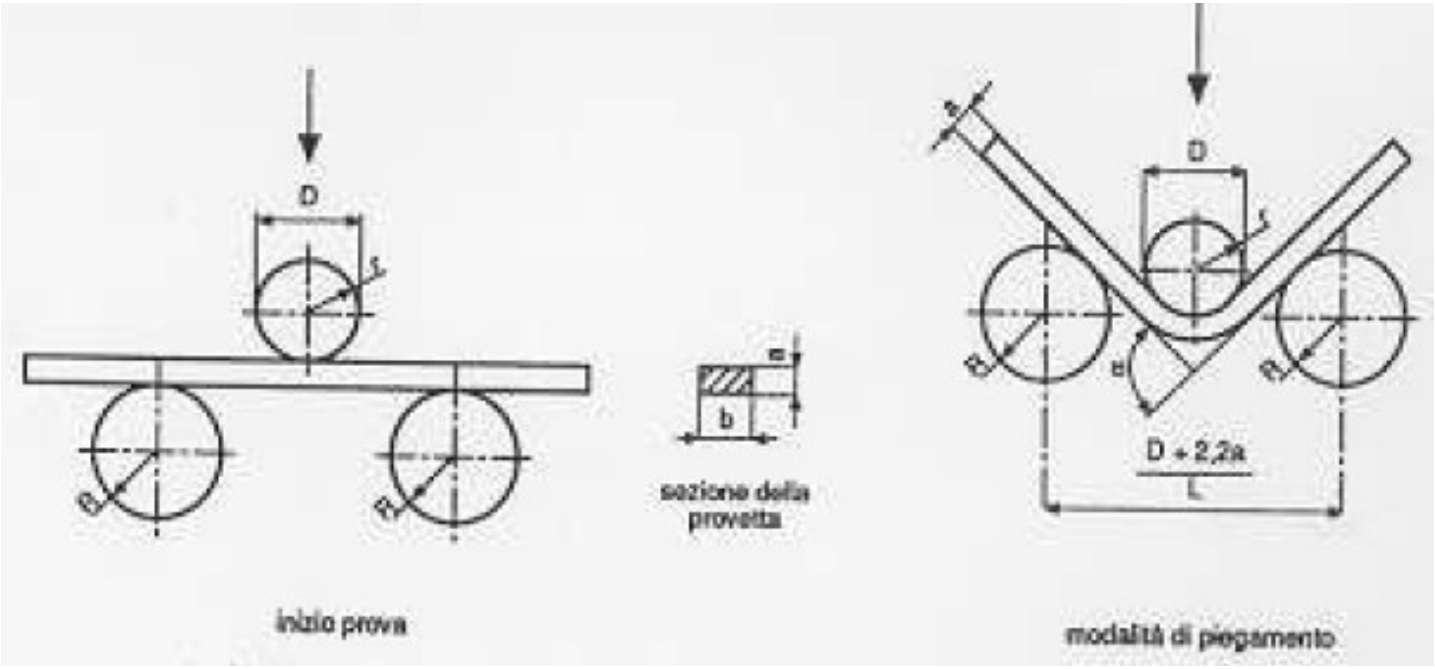
La verifica della duttilità di un materiale si esegue anche sottoponendo un provino a sezione rettangolare ad una prova di piegamento. Dal buon esito della prova si può dedurre che il materiale è sufficientemente plastico in quanto gli strati di materiale dell'estradosso (esterni) si sono allungati.

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

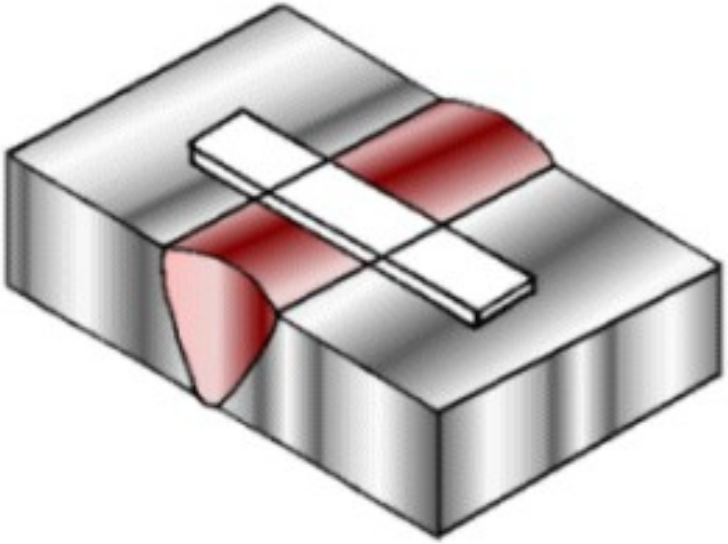
PROVA DI PIEGA

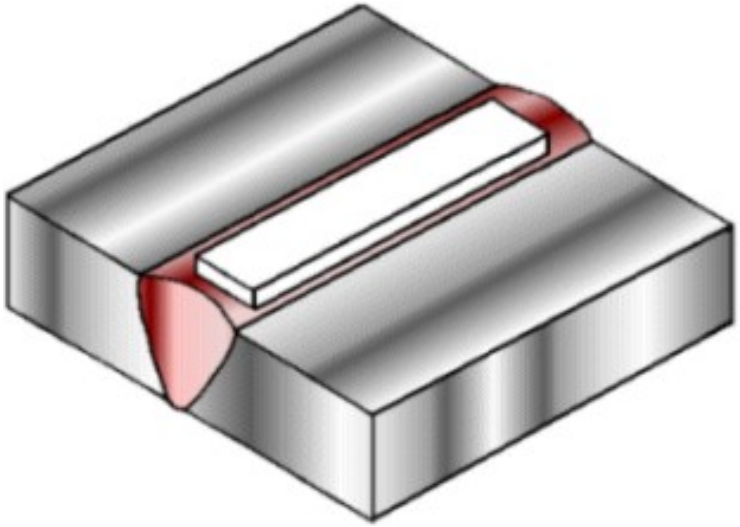
La ***prova di piega*** consiste nell'esercitare, su un provino a temperatura ambiente, una deformazione plastica per piega.
I pezzi vengono prelevati perpendicolarmente o longitudinalmente alla saldatura. Un lato del provino è posto in estensione (a testa in giù o posto lateralmente).
La piegatura è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



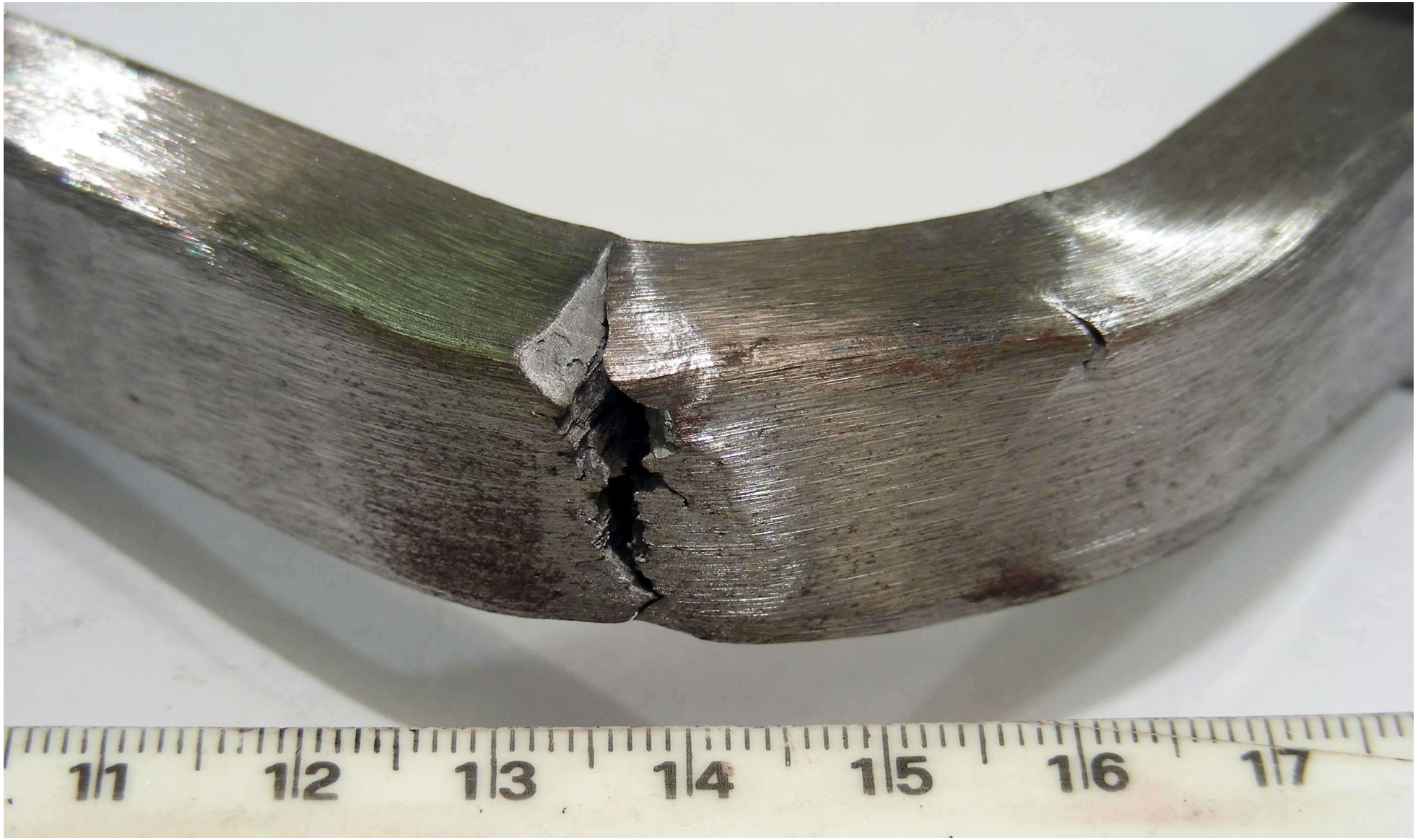


Localizzazione delle provette





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

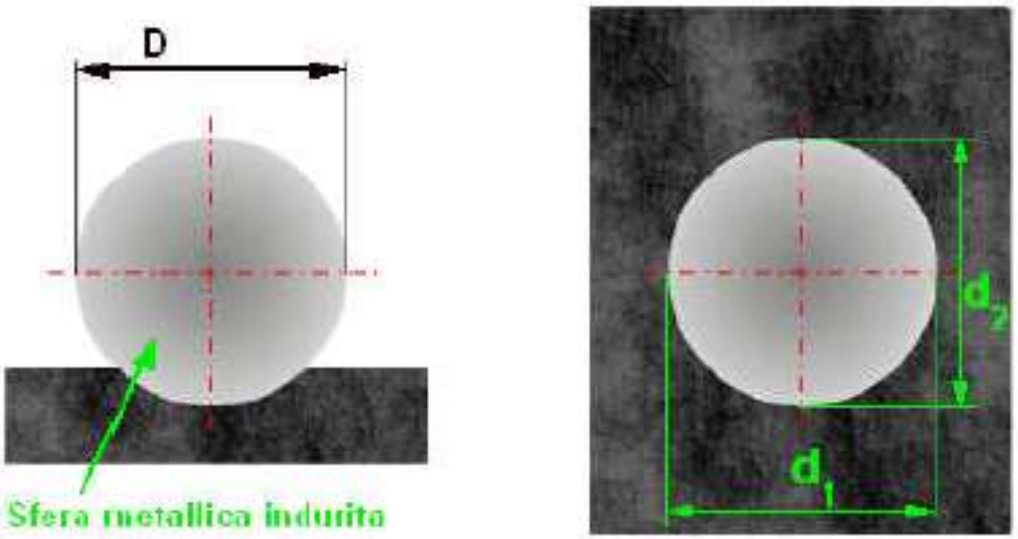
DUREZZA BRINELL

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

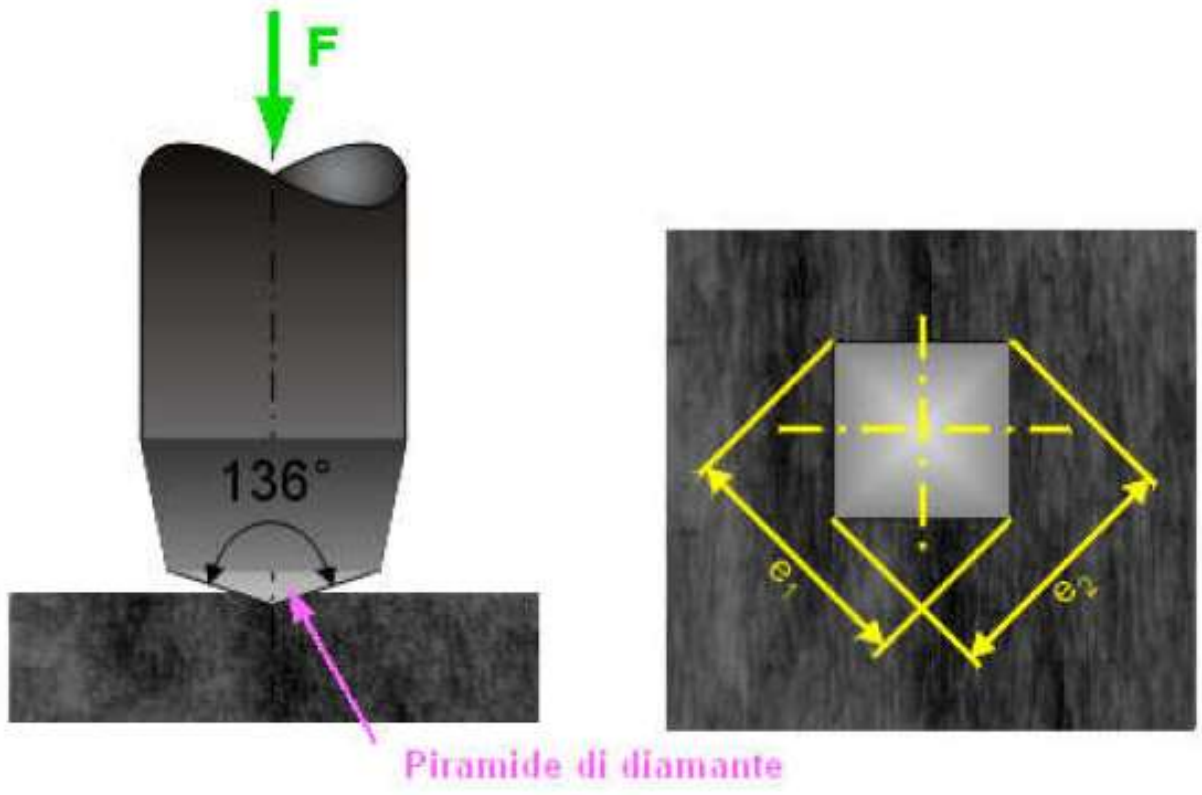
Da d_1 e d_2 si forma il valore medio: $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$

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.

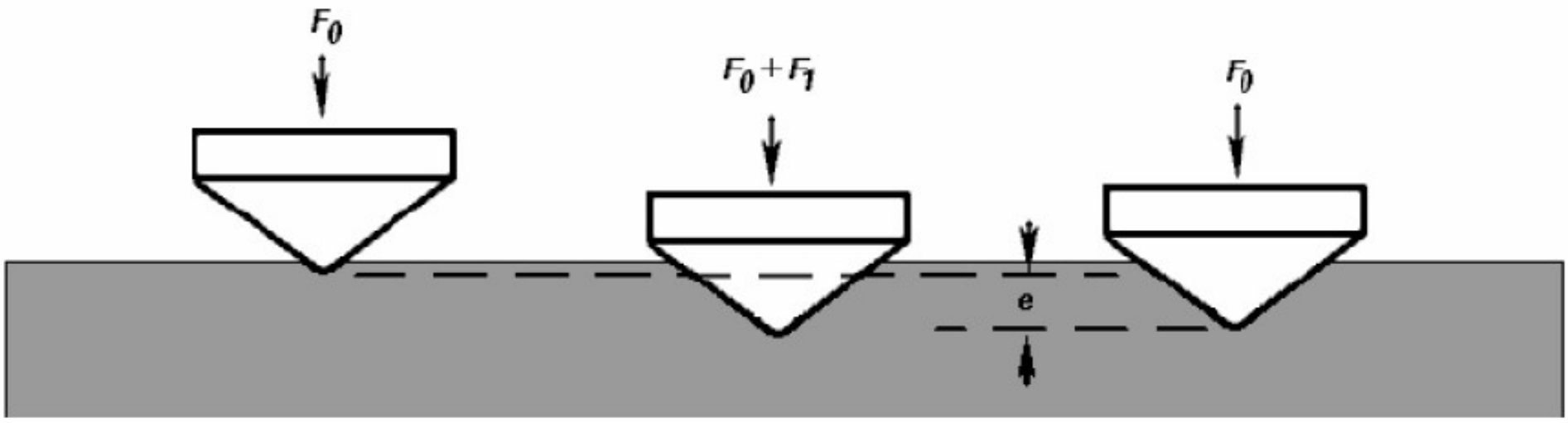


DUREZZA ROCKWELL B e C

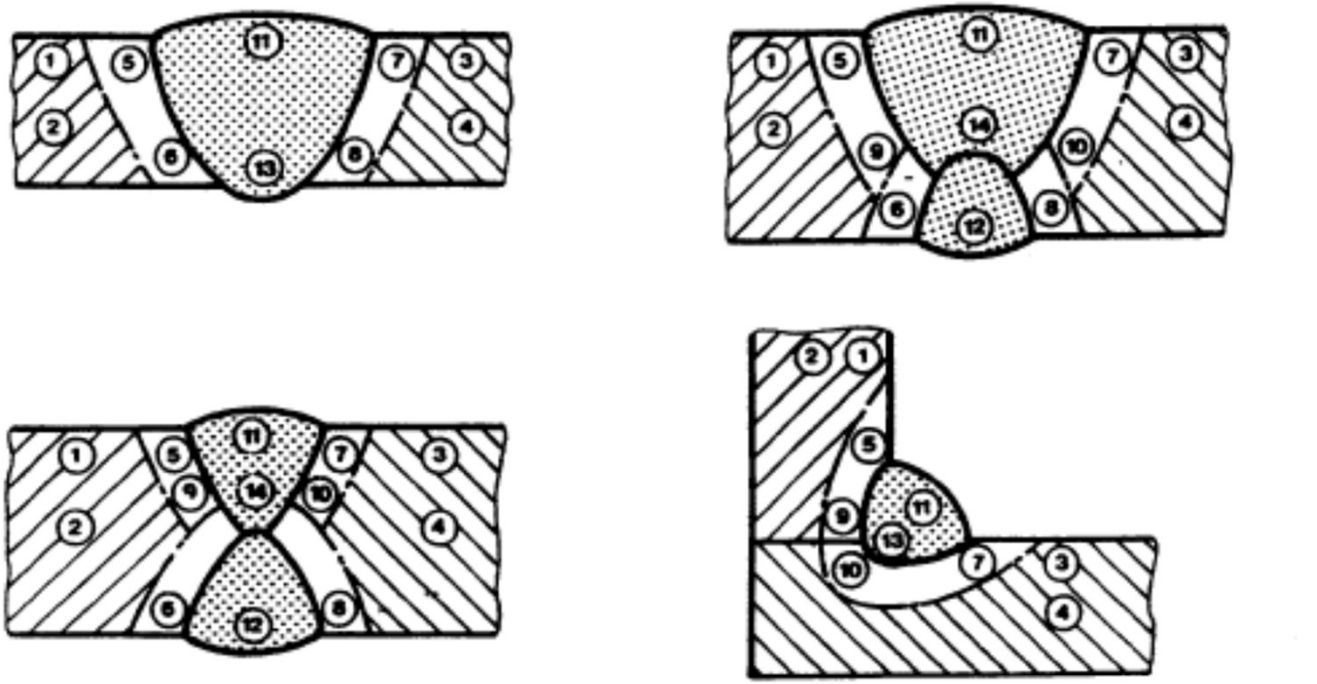
Sul penetratore si applica un carico iniziale F0 che viene mantenuto per un certo tempo t0 e provoca una certa impronta di profondità e0; poi a F0 si aggiunge F1 per un tempo t1 e l'impronta arriva al valore e1.

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.

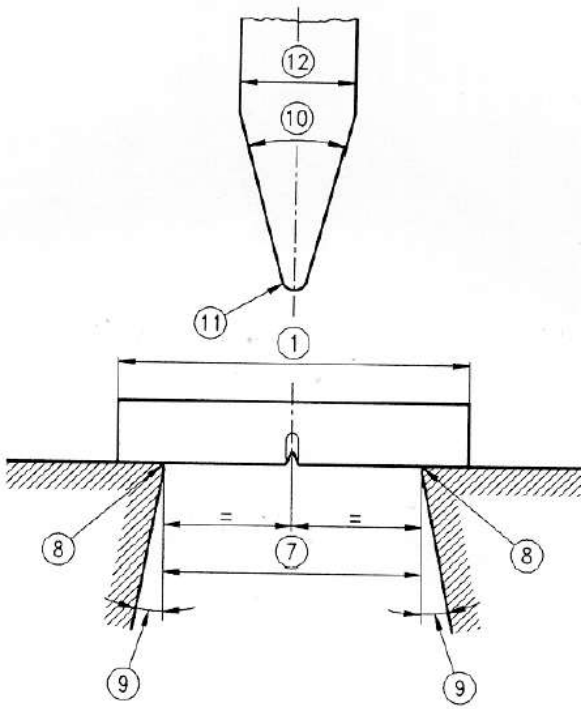
TENACITA' – PROVA DI RESILIENZA

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.

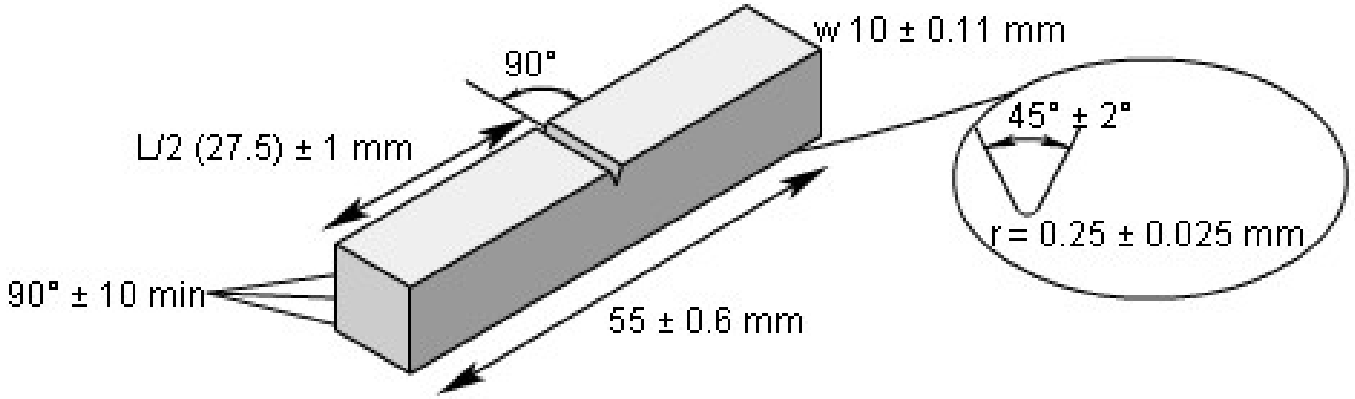




TENACITA' – PROVA DI RESILIENZA

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.

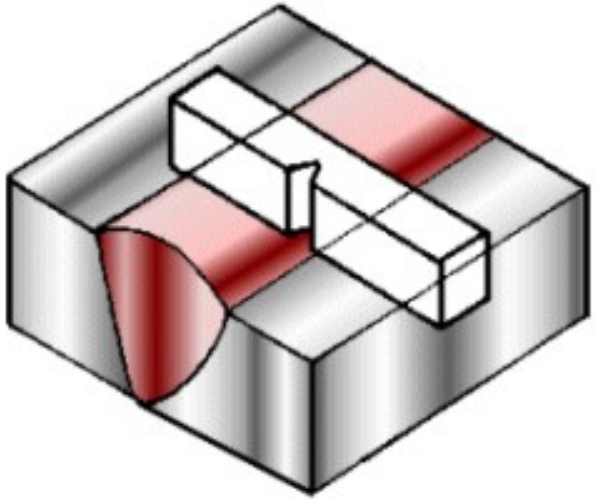
La provetta più usata per le prove di resilienza è la cosiddetta provetta Charpy V dove l'intaglio è a V con angolo di apertura 45° , profondità 2 mm e raggio di fondo intaglio 0,25 mm.



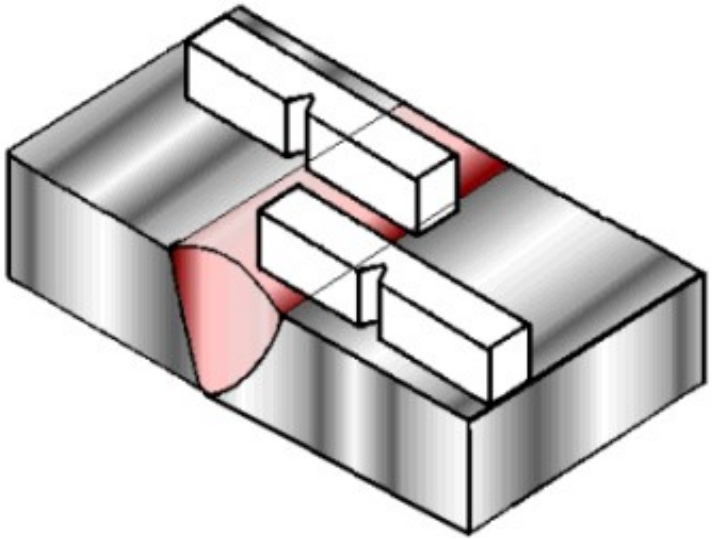
Anche ai fini di una buona resilienza è basilare la dimensione del grano: grani piccoli aumentano le caratteristiche di tenacità.

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

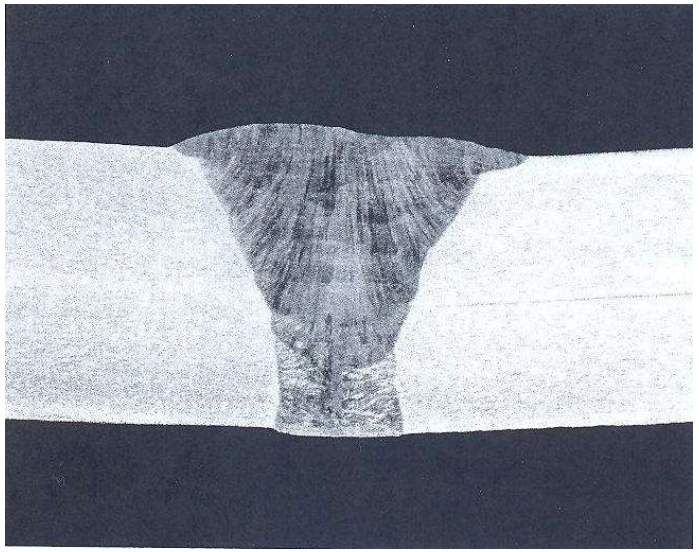


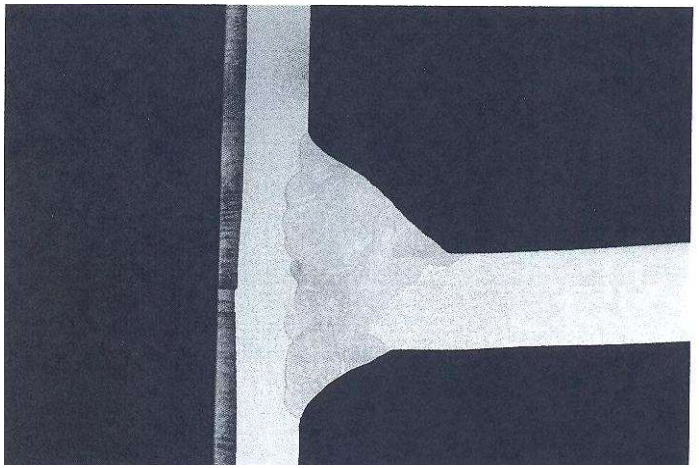
Zona termicamente alterata

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

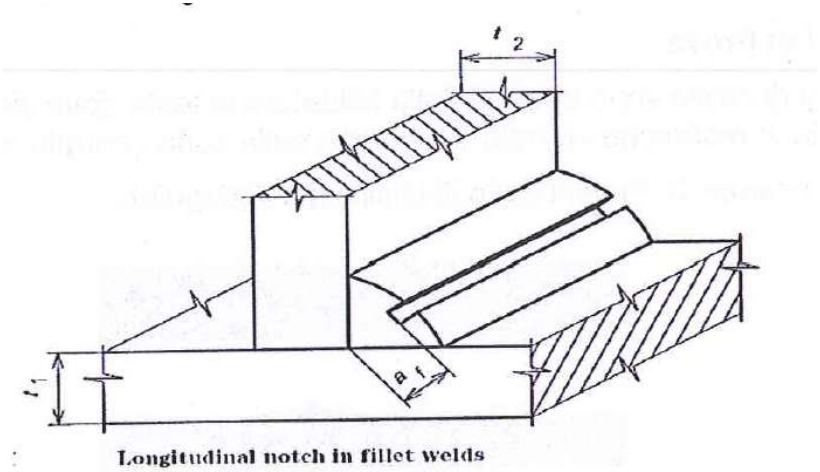
- Il tempo di lucidatura è di circa 2 minuti per ogni granulometria

MACROGRAFIA

Agente d'attacco	Materiale	Composizione
Nital (Soluzione alcoolica nitrico)	*Acciai al carbonio non legati o debolmente legati*	*10 ml di acido nitrico HNO3 in 100 ml di alcool*
Picral (Soluzione alcoolica acido picrico)	*Acciai al carbonio non legati o debolmente legati*	*5 grammi di acido picrico cristallizzato in 100 ml di alcool*
Cloruro di ferro puro	*Acciai al carbonio non legati o debolmente legati*	*FeCl3 utilizzato puro*
Soluzione d'acqua regia	*Acciai inossidabilio al Cr Ni*	*10 ml di acido nitrico HNO3 in 30 ml di acido cloridrico HCl*
Reagente in solfato di rame	*Acciai inossidabilio al Cr Ni*	*20 ml di acido cloridrico HCl + 4 grammi di solfato di rame + 20 ml di acqua*
Soluzione di cloruro ferrico e acido cloridrico	*Acciai inossidabilio al Cr Ni*	*10 ml di FeCl3 + 30 ml di acido cloridrico HCl + 100 ml H2O*
Soluzione con acido nitrico + cloridrico + fluoridrico	*Alluminio e leghe d'alluminio*	*33 ml HNO3 + 33 ml di acido cloridrico + 33 ml H2O + qualche goccia di acido fluoridrico*

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

