

Saldatura Taglio

Università degli Studi di Trieste

Introduzione

Generalità

Saldatura: introduzione

La saldatura è un procedimento tecnologico che permette di aumentare la massa complessiva di un componente mediante l'unione permanente con un altro componente.

La zona in cui viene effettuata l'unione tra il **metallo base** dei due componenti prende il nome di **giunto** o **cordone**. Talvolta è necessario, al fine di una corretta formazione del giunto, aggiungere un opportuno **metallo d'apporto**.

Solitamente si distingue:

- ✓ Saldatura autogena: il metallo base fonde
- ✓ Saldatura eterogena: il metallo base non fonde (serve metallo d'apporto)

Introduzione

Noi ci occuperemo, fra i molti esistenti, dei seguenti processi di saldatura autogena:

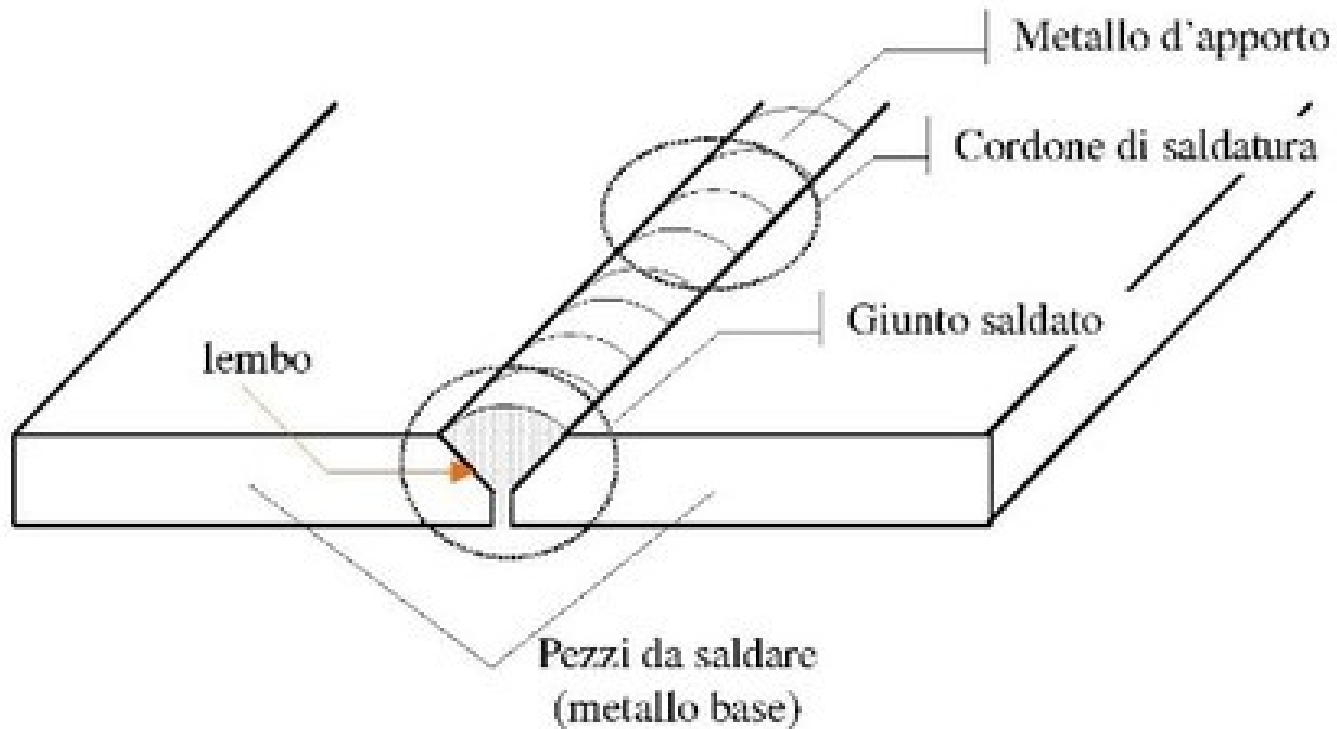
- Saldatura a cannello
- Saldatura ad arco ad elettrodo rivestito
- Saldatura TIG
- Saldatura al plasma
- Saldatura MIG e MAG
- Saldatura per punti ed a rulli
- Saldatura per scintillio

Per quanto riguarda i processi di saldatura eterogena, parleremo di:

- Saldobrasature
- Brasature

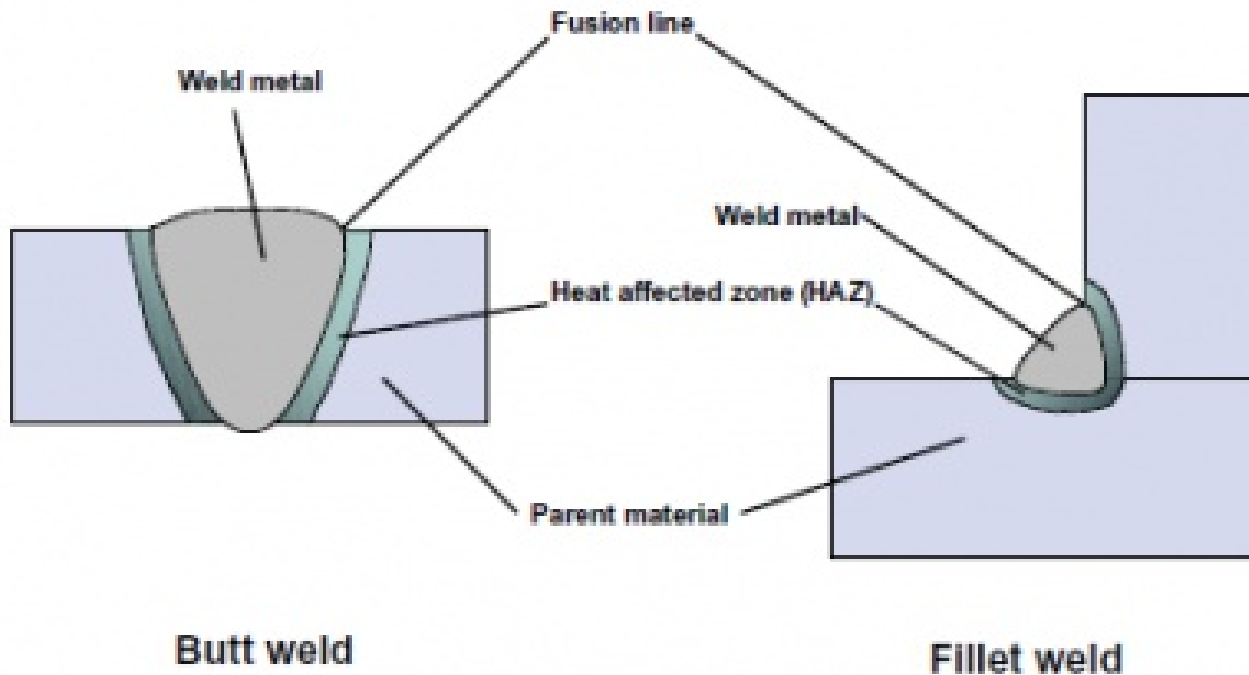
Tipi di giunto

Nomenclatura

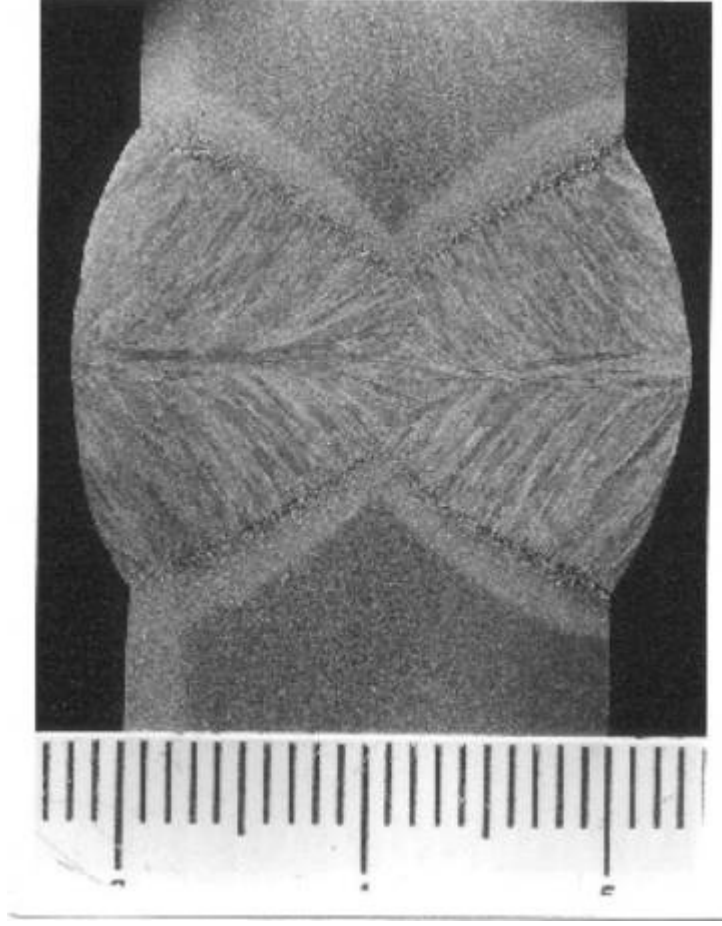


Tipi di giunto

Nomenclatura



Tipi di giunto

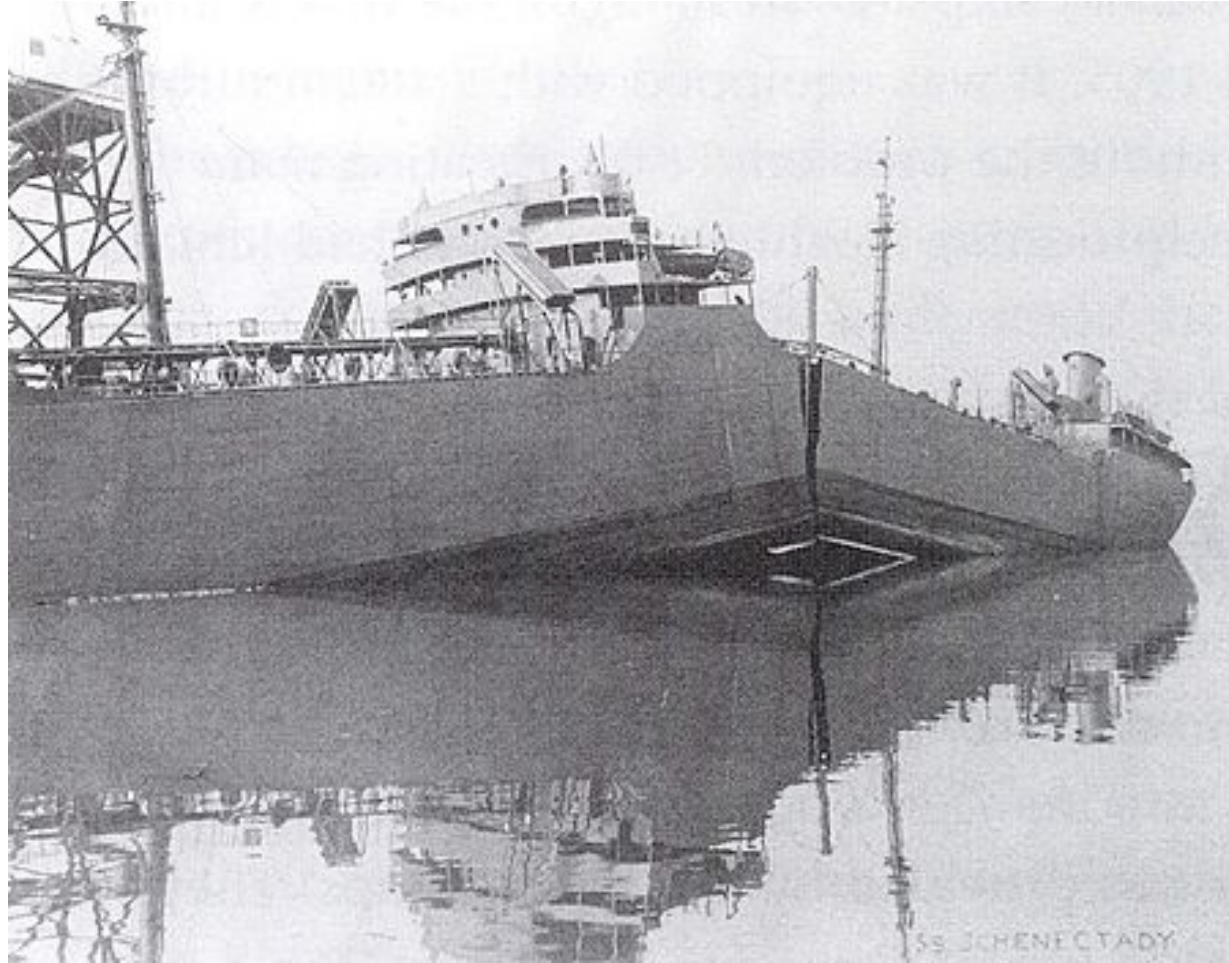


Tipi di giunto



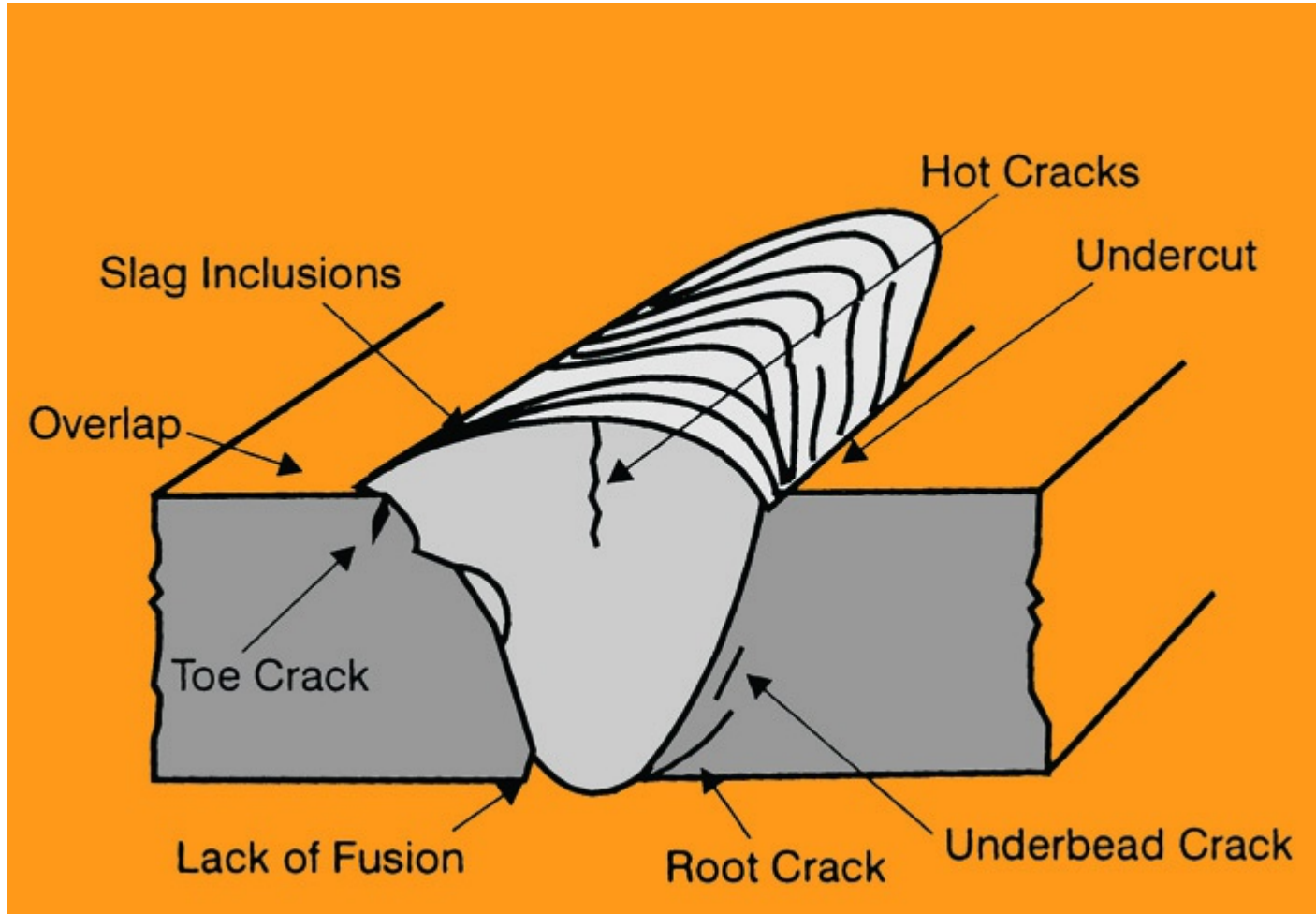
Tipi di giunto

Difetti



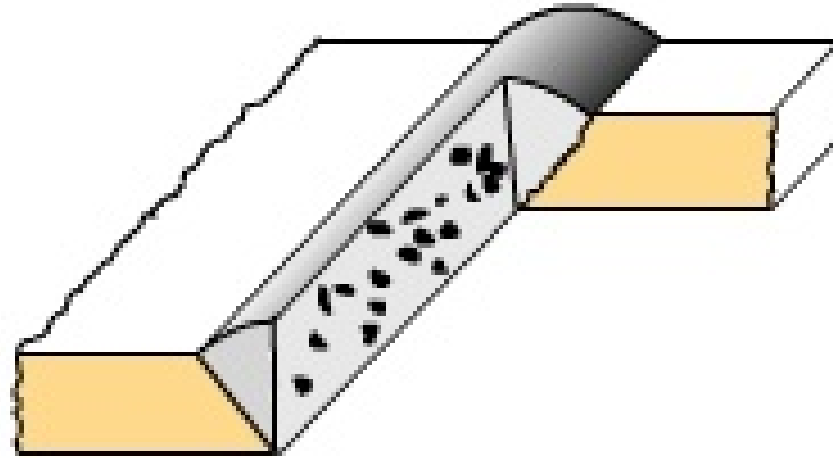
Tipi di giunto

Difetti



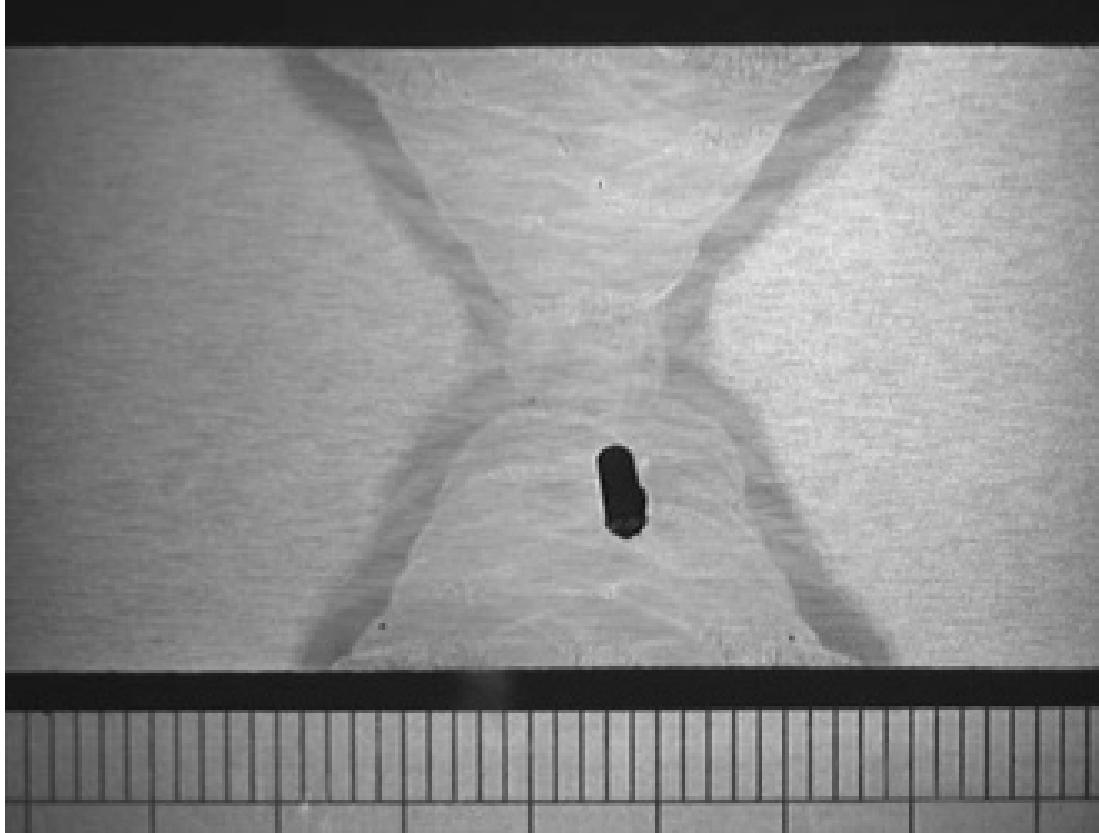
Tipi di giunto

Difetti: inclusione di scoria



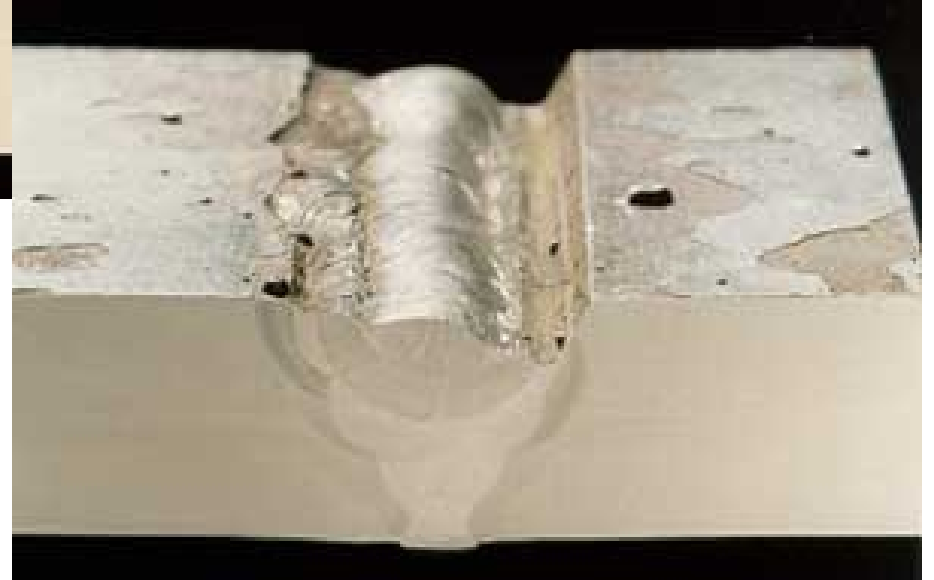
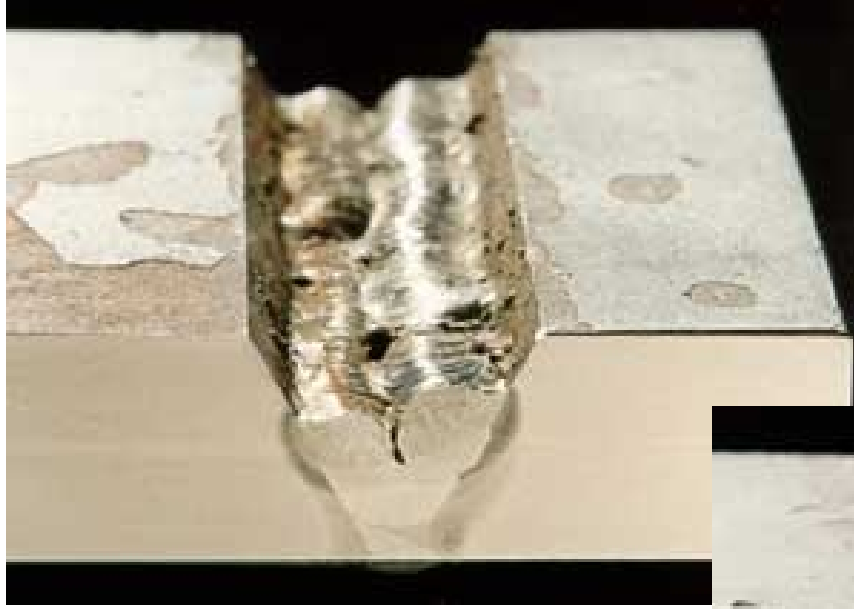
Tipi di giunto

Difetti: inclusione di scoria



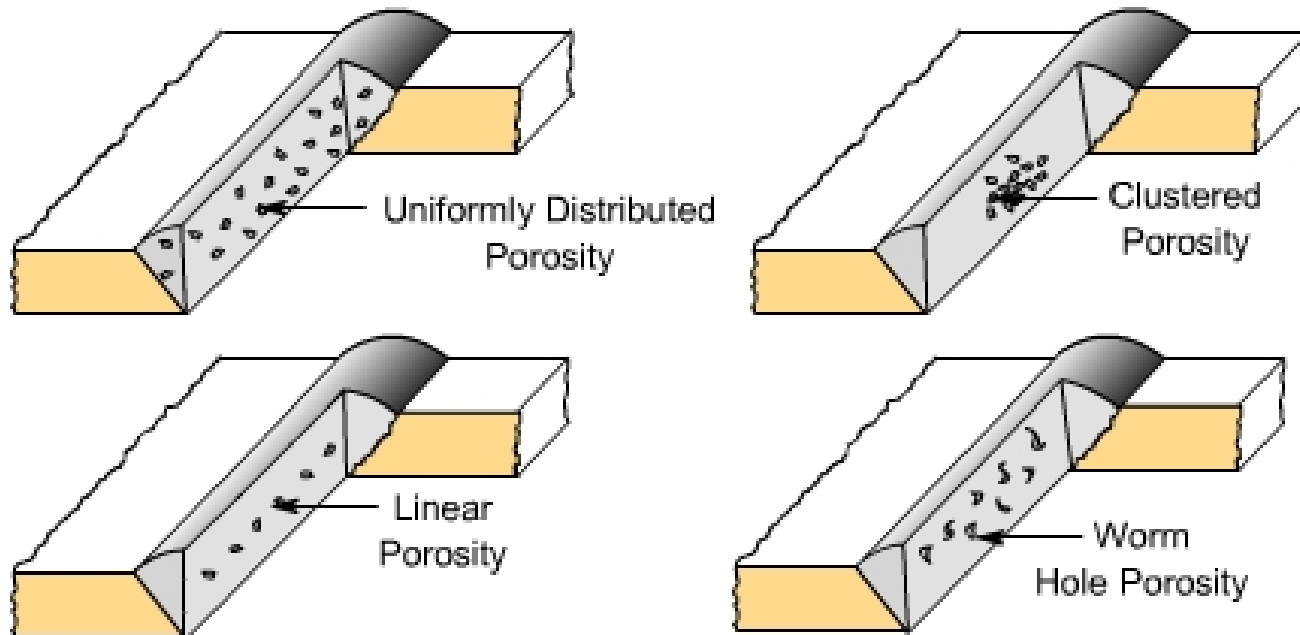
Tipi di giunto

Difetti: inclusione di scoria



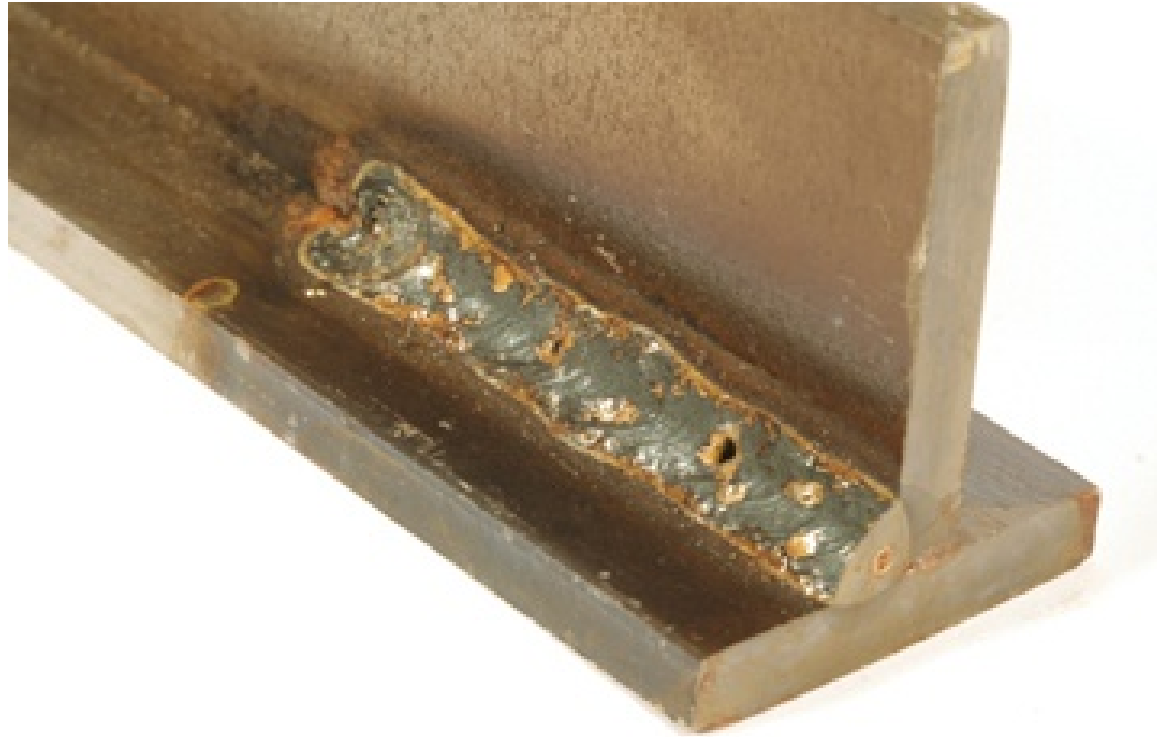
Tipi di giunto

Difetti: mancanza di protezione



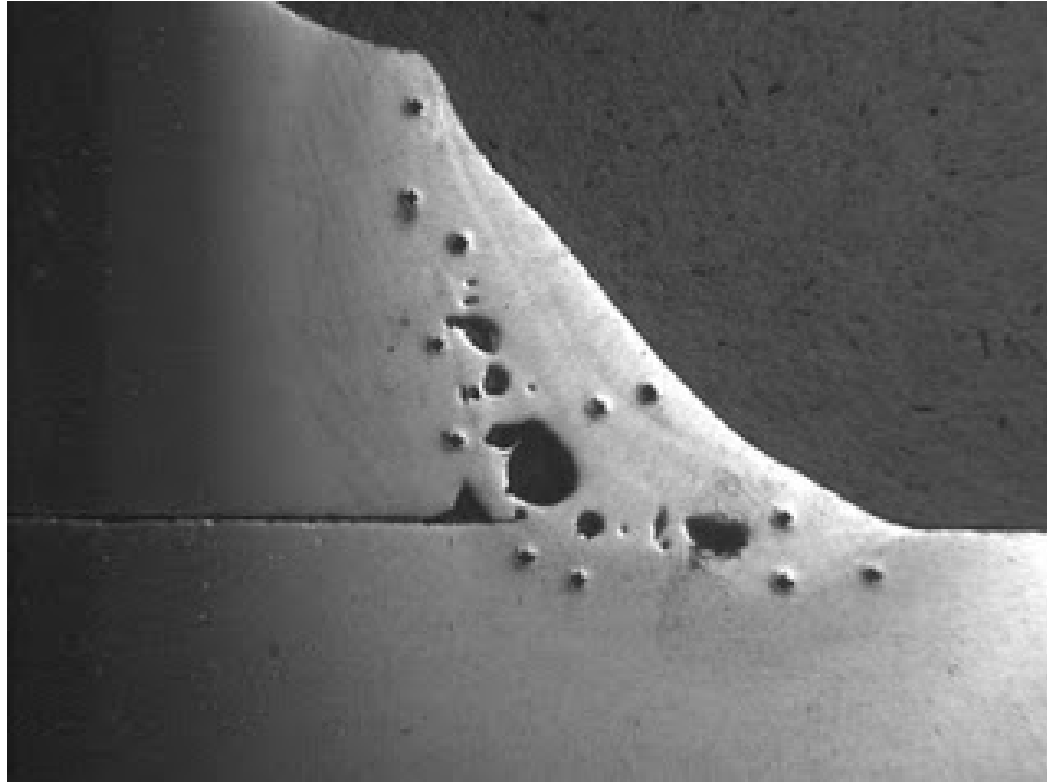
Tipi di giunto

Difetti: porosità



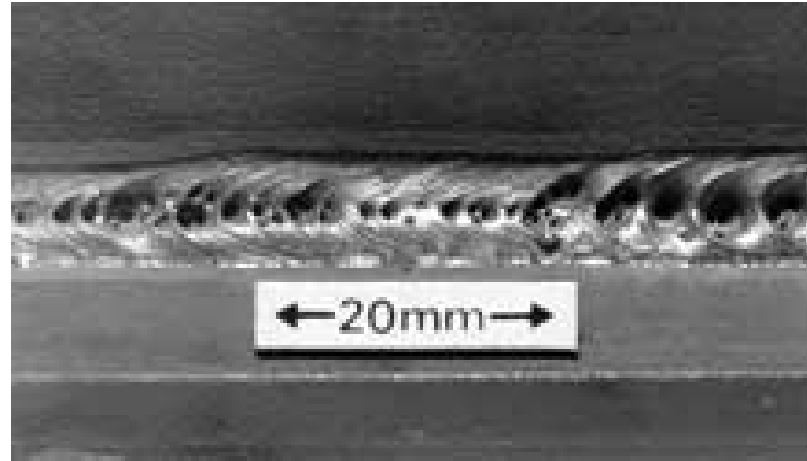
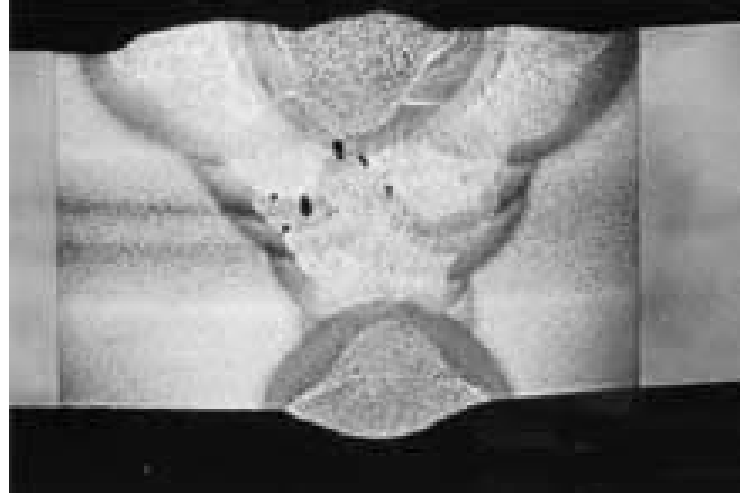
Tipi di giunto

Difetti: porosità



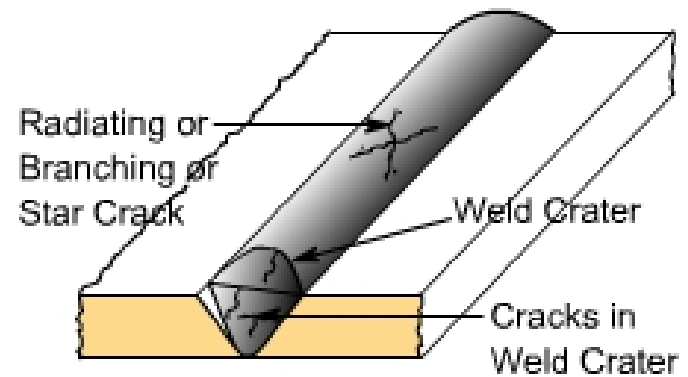
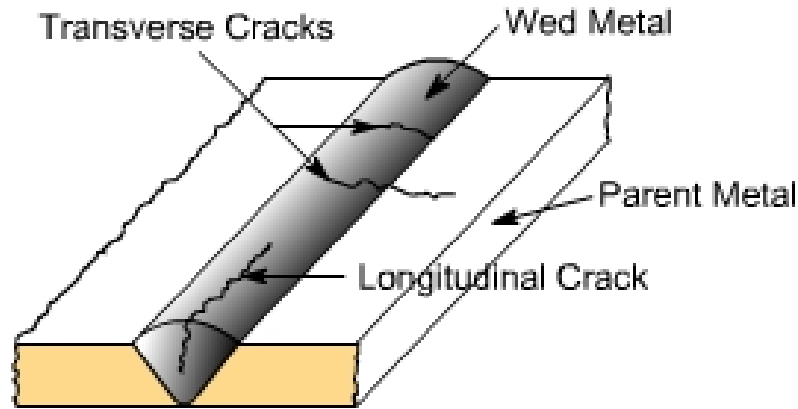
Tipi di giunto

Difetti: porosità



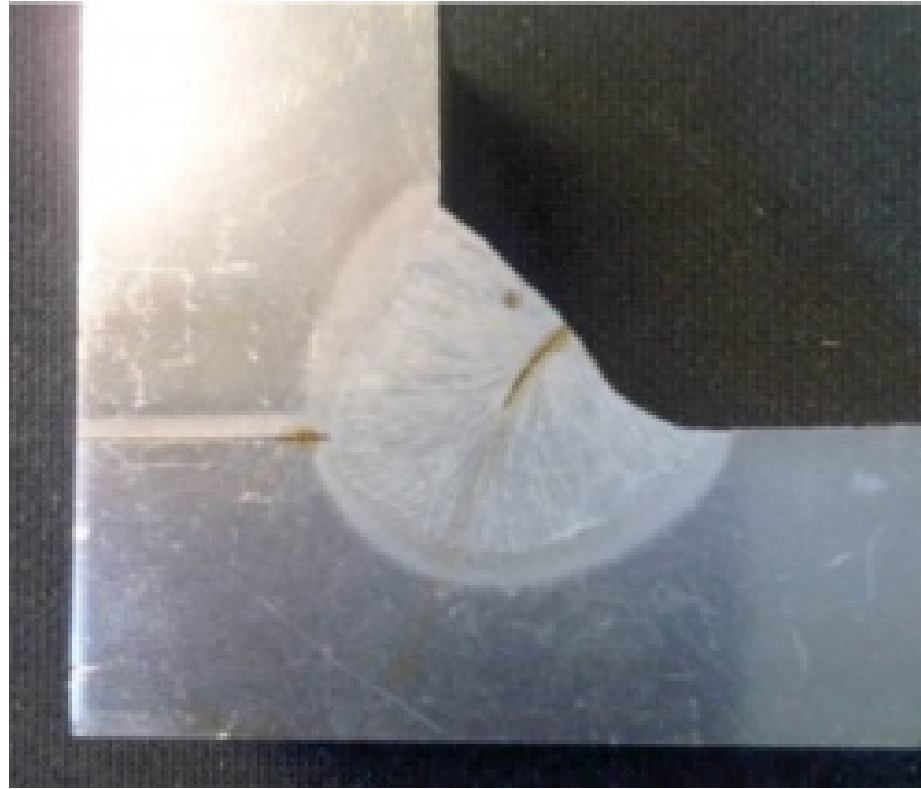
Tipi di giunto

Difetti: crack di solidificazione



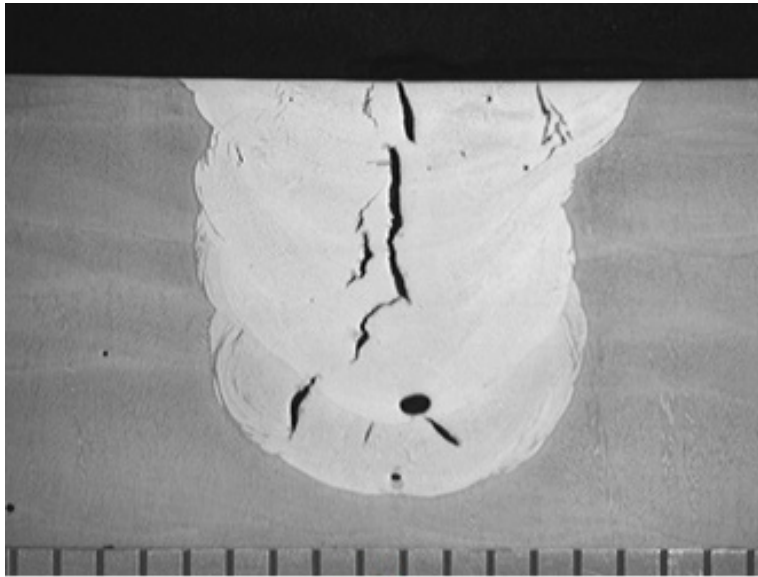
Tipi di giunto

Difetti: crack di solidificazione

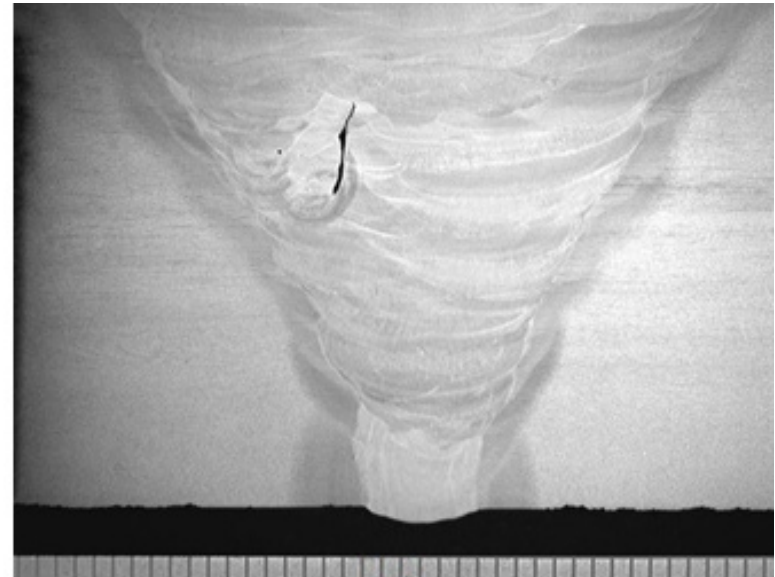


Tipi di giunto

Difetti: crack di solidificazione



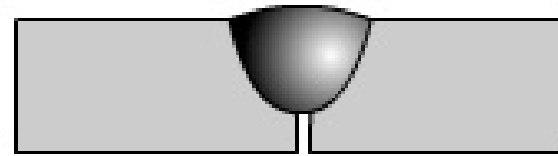
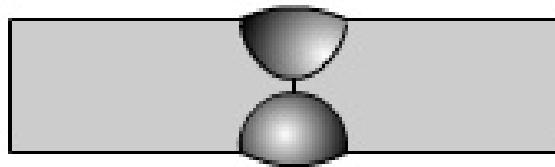
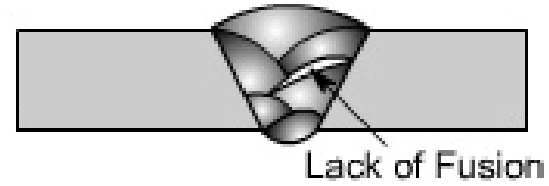
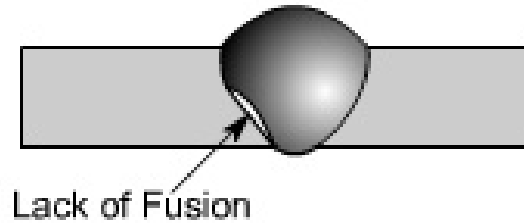
(a)



(b)

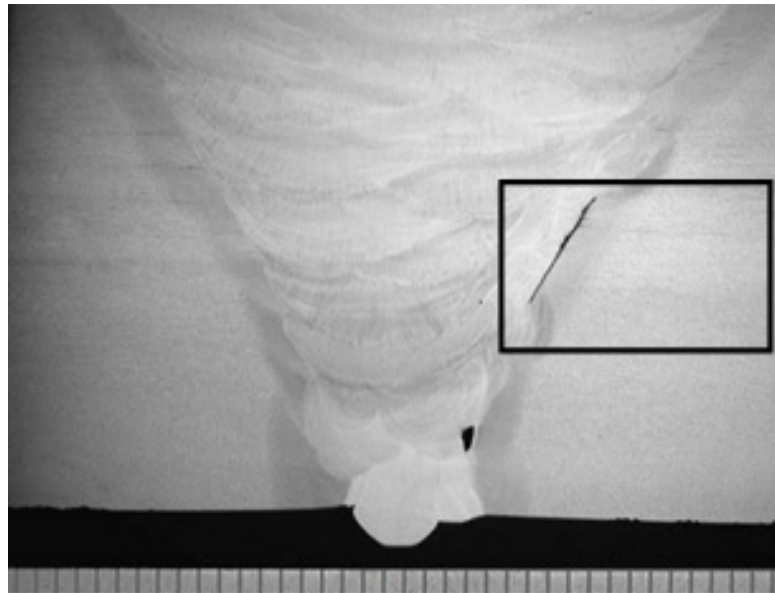
Tipi di giunto

Difetti: fusione incompleta

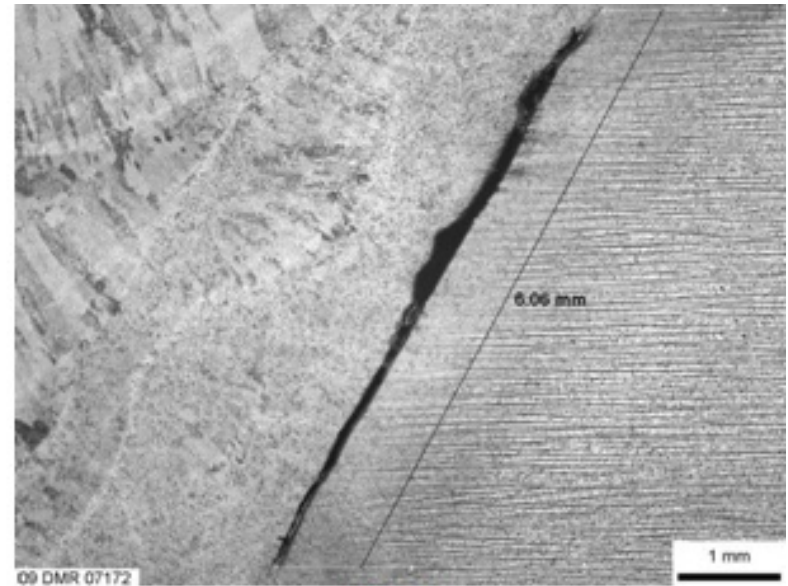


Tipi di giunto

Difetti: fusione incompleta sulla parete laterale (LOSWF)



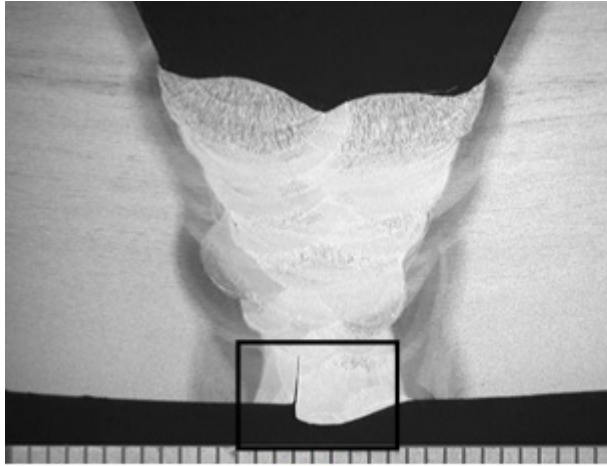
(a)



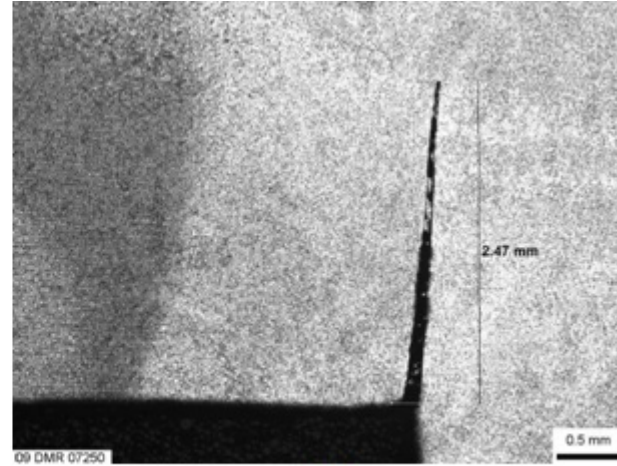
(b)

Tipi di giunto

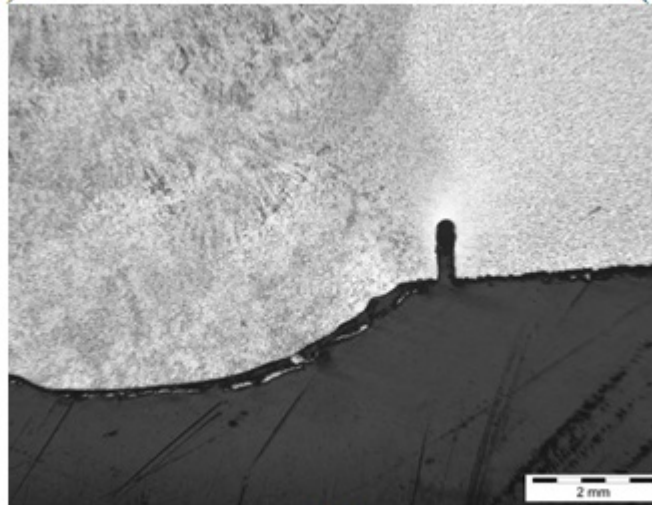
Difetti: fusione incompleta della radice



(a)



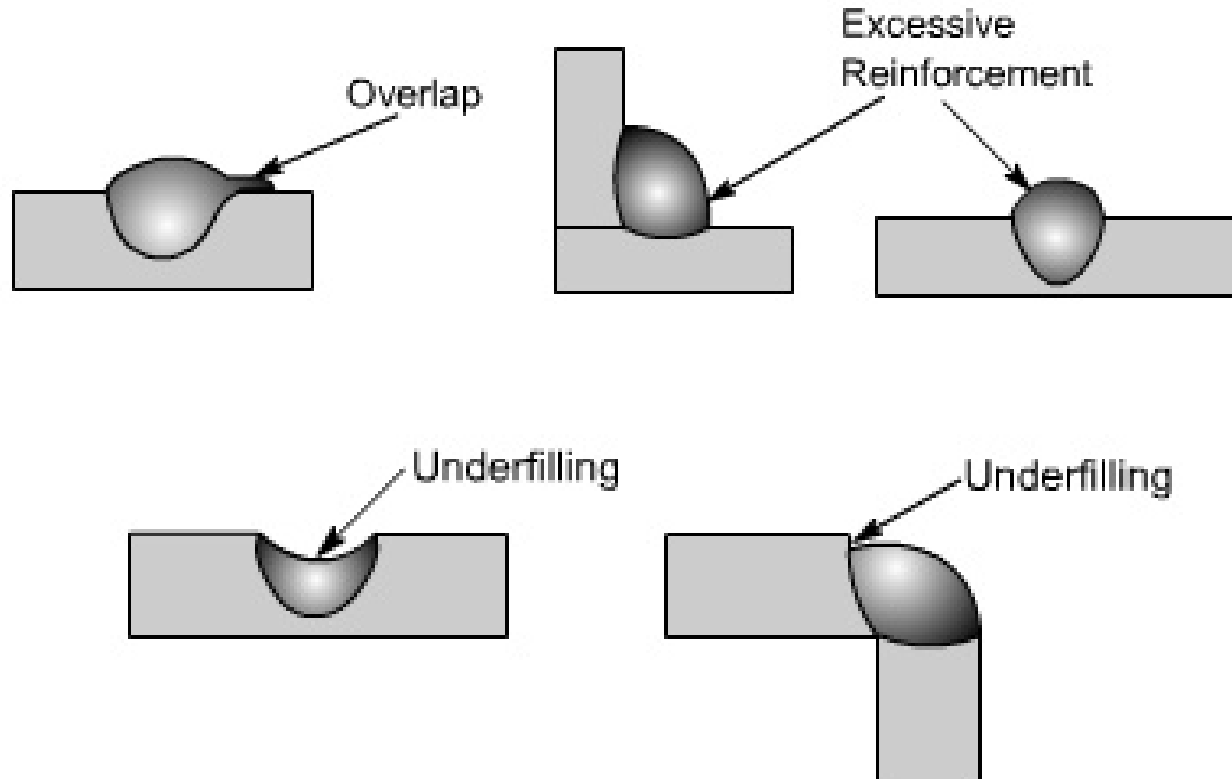
(b)



(c)

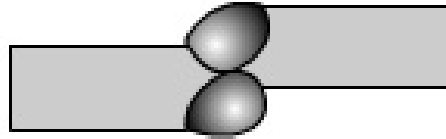
Tipi di giunto

Difetti: difetti di forma



Tipi di giunto

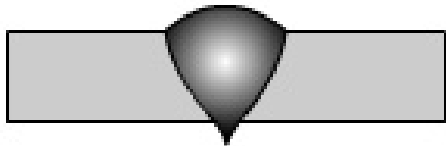
Difetti: difetti di forma



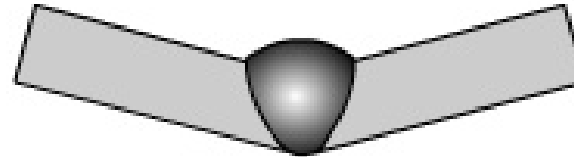
Linear Misalignment



Excessive Sag



Excessive Root Penetration



Distortion

Tipi di giunto

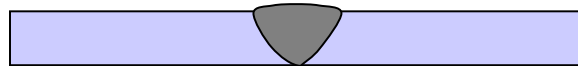
Difetti: undercut



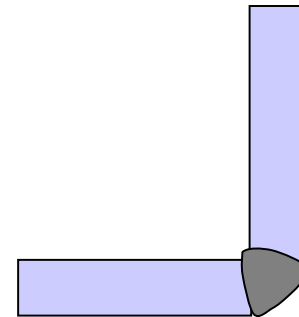
Tipi di giunto

Tipi di giunto

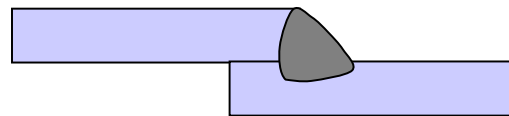
I giunti ottenibili possono essere a piena penetrazione o a penetrazione parziale. I principali tipi di lavorazione sono riassunti nella figura seguente:



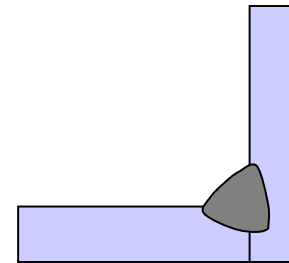
Giunto di testa



Giunto di spigolo



Giunto a sovrapposizione

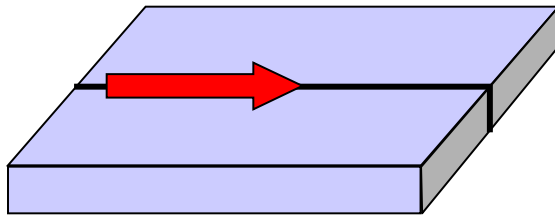


Giunto d'angolo

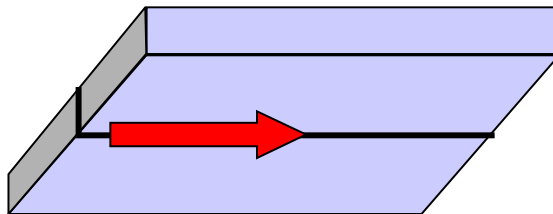
Posizione del giunto

Posizione del giunto

A seconda della posizione in cui il giunto viene effettuato (che può coincidere eventualmente con quella del componente in opera), si distinguono:

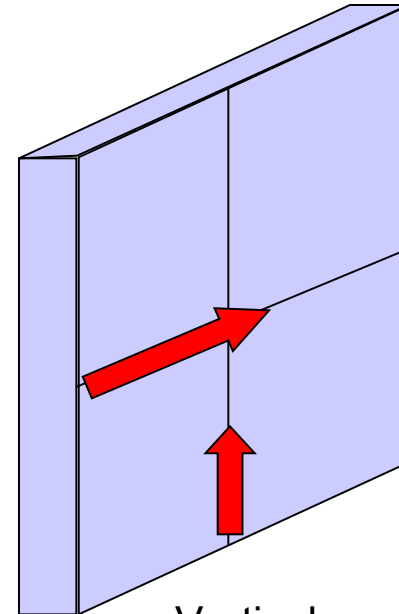


In piano



Sopratesta

Frontale



Verticale

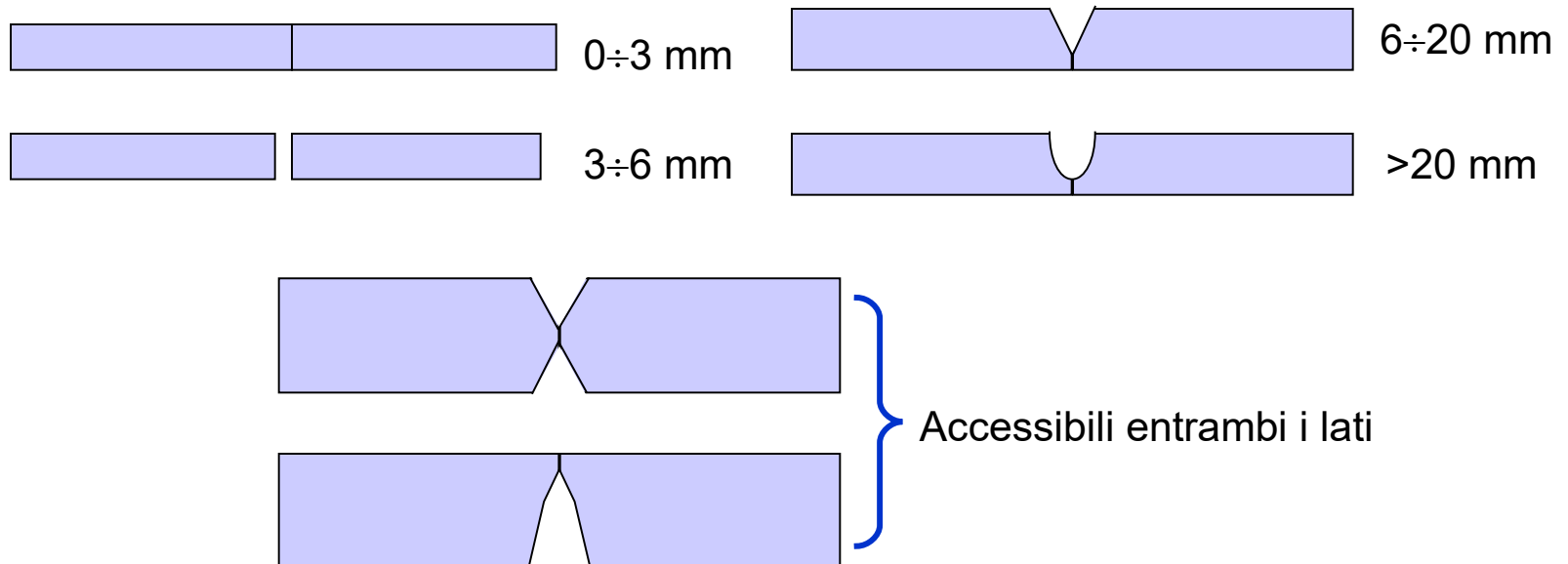
(Ascendente o discendente)

La difficoltà esecutiva (e quindi spesso la qualità ed il costo del giunto) è funzione della posizione di saldatura utilizzata.

Cianfrinatura

Preparazione del giunto

In funzione dello spessore del componente saldato, può essere necessaria una **preparazione dei lembi**. Lo smusso, variamente conformato, che viene praticato a questo scopo prende il nome di **cianfrino**. La figura seguente illustra varie modalità di preparazione dei lembi:



Saldatura ossigas

Saldatura a cannello (a gas)

Nella saldatura a cannello, il calore necessario alla fusione dei lembi è fornito dalla reazione di combustione di un gas con l'ossigeno.

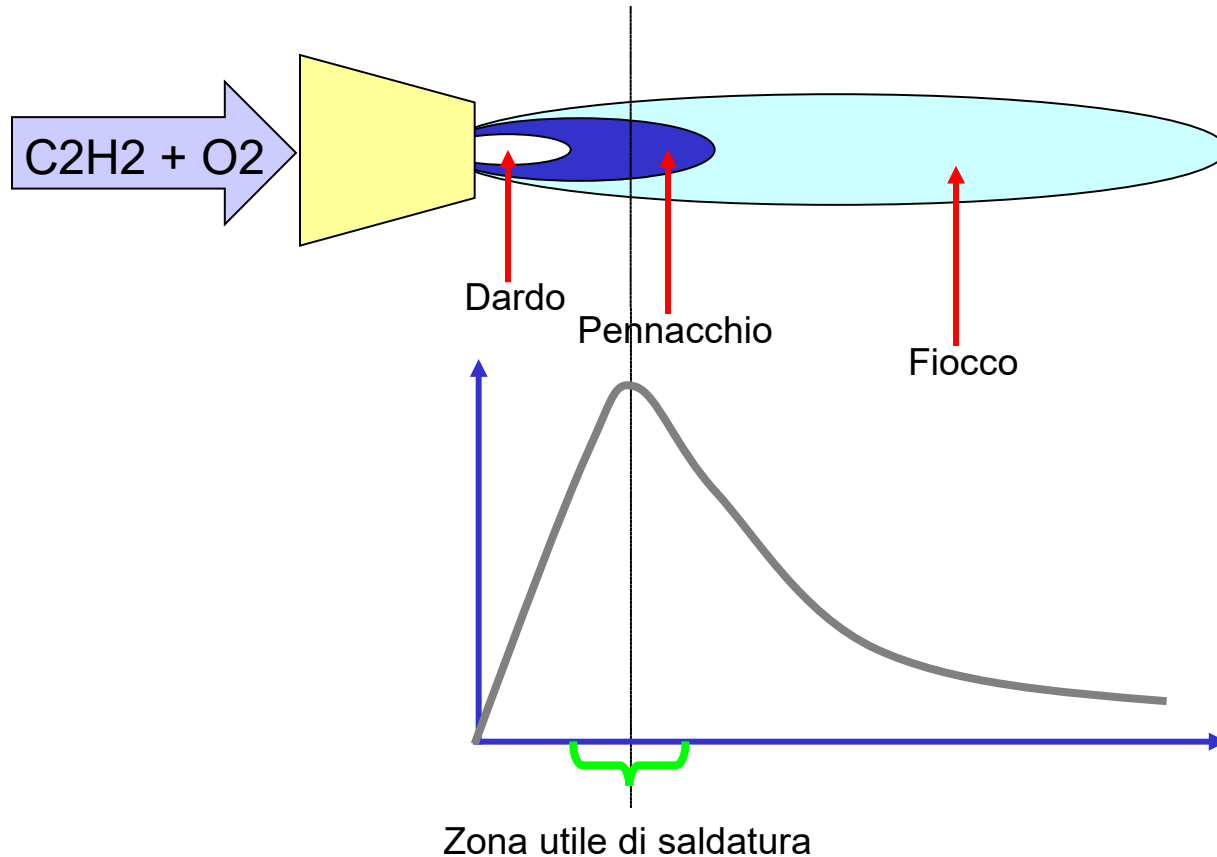
I gas utilizzati devono possedere le seguenti caratteristiche:

- ✓ Alta temperatura di fiamma.
- ✓ Alto apporto termico.
- ✓ Bassa reattività con il metallo base e di apporto-
- ✓ Bassa reattività dei prodotti di combustione con il metallo base e d'apporto.
- ✓ Sicurezza e stabilità d'uso.

Un gas molto utilizzato è l'acetilene (C_2H_2), in quanto esso soddisfa le caratteristiche appena elencate. In questo caso il procedimento prende il nome di **saldatura ossiacetilenica**. Altri gas utilizzati, per le loro caratteristiche tecnologiche e per fattori di tipo economico, sono l'idrogeno (saldatura ossidrica) ed il propano (saldatura ad ossipropano).

Fiamma

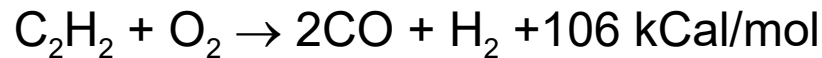
La fiamma, che viene prodotta e mantenuta stabile all'estremità di un **cannello**, ha l'aspetto e l'andamento della temperatura evidenziato nelle figure seguenti:



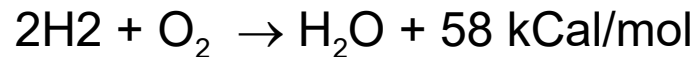
Fiamma

La fiamma, se i reagenti vengono immessi nel cannello in proporzioni stechiometriche, è costituita dalle seguenti zone caratteristiche:

Dardo: in tale zona, di colore bianco, avviene la seguente reazione esotermica dell'acetilene con l'ossigeno primario:



Pennacchio: i prodotti di combustione, riducenti, si combinano con l'ossigeno secondario ed eventualmente promuovono la riduzione degli ossidi superficiali nel modo seguente:



Tale zona è quella adatta per la saldatura.

Fiocco : in tale zona, ai prodotti finali della combustione si associa una certa quantità di ossigeno derivante dall'atmosfera. La fiamma ha perciò carattere ossidante ed è inadatta alle operazioni di saldatura.

Fiamma

Una fiamma più ricca in acetilene ha colore giallastro e dardo allungato ed è detta **carburante**.

Si ha invece fiamma **ossidante** quando vi è un eccesso di ossigeno: essa ha colore azzurro ed è più calda.

La non stechiometricità può comportare, in ogni caso, difetti nel cordone prodotto. Per questo motivo la fiamma viene regolata neutra o leggermente carburante, per compensare l'apporto di comburente dato dall'ossigeno secondario (atmosferico).

Acetilene

L'acetilene viene fornito in bombole. Poichè tale gas può esplodere, per compressione, anche a pressioni modeste, si sfrutta la sua caratteristica solubilità nell'acetone per rendere il trasporto e l'utilizzo più sicuri. La bombola viene inoltre riempita di materiale inerte poroso che assorbe l'acetone e limita la possibilità che si formino sacche di gas non disciolto. Per quanto riguarda il sistema di erogazione, è indispensabile evitare l'uso di materiali contenenti rame, in quanto l'acetilene può formare con esso prodotti esplosivi (acetiluri).

Fiamma

Ossigeno

Anche l'ossigeno viene fornito in bombole (se la quantità richiesta è notevole, anche in serbatoi criogenici allo stato liquido), alla pressione di 150 –200 bar.

Il sistema di erogazione può essere costruito anche in leghe a base di rame, ma nessun componente del sistema deve essere costruito con materiali infiammabili (inclusi i lubrificanti): in tale caso il pericolo d'incendio sarebbe elevatissimo.

Modalità di esecuzione della saldatura

Nel caso di spessori sottili l'uso di metallo d'apporto può essere evitato. In tutti gli altri casi è possibile utilizzare fili o bacchette di composizione opportuna (di solito simile al metallo base, con opportune correzioni per compensare, ad esempio, l'evaporazione di alcuni elementi costituenti la lega).

La penetrazione è scarsa e pertanto è necessario effettuare quasi sempre la preparazione dei lembi mediante cianfrinatura.

Tecnica ossigas

E' normalmente richiesta la pulizia preliminare della zona dei lembi ed, eventualmente, l'uso di sostanze disossidanti.

Il metodo, che richiede una buona tecnica da parte dell'operatore, è abbastanza versatile, ma non permette di unire leghe metalliche sensibili all'ossidazione o refrattarie.

La pressione sviluppata dalla fiamma permette all'operatore di dare forma al cordone e sostenere il metallo fuso, ad esempio nelle saldature montanti.

Un ulteriore grado di libertà è offerto dal fatto che sorgente di calore e metallo d'apporto sono indipendenti.

In definitiva, il processo è adatto fondamentalmente alla saldatura di spessori sottili (lamiere) in quanto l'unione di componenti di forte spessore non sarebbe competitivo nei confronti dei processi di saldatura ad arco elettrico.

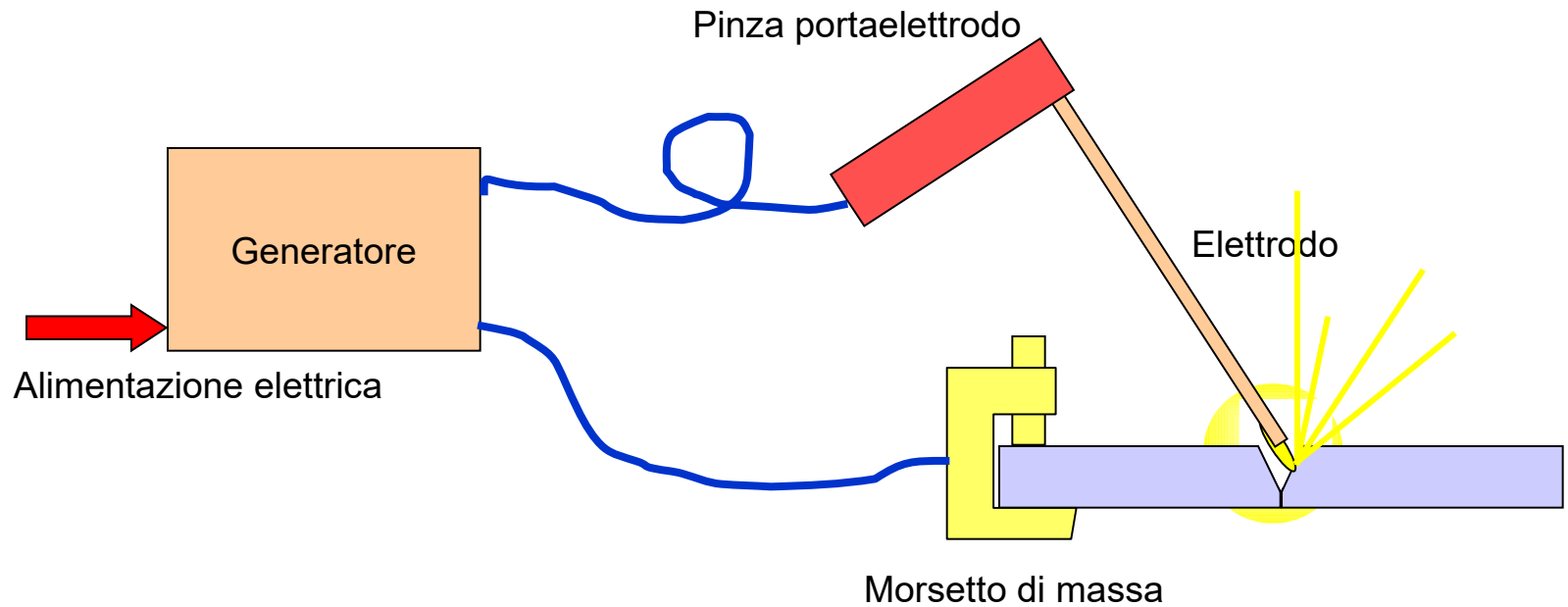
Lo stesso sistema può essere utilizzato anche per effettuare saldature eterogenee, per il riscaldamento di parti, per il taglio (come vedremo in seguito), ecc.

Saldatura ad arco

Saldatura ad arco con elettrodo rivestito

Nella saldatura ad arco con elettrodo rivestito, il calore necessario è fornito da un arco elettrico che viene fatto scoccare tra i lembi del materiale base ed un elettrodo fusibile ricoperto da un opportuno rivestimento.

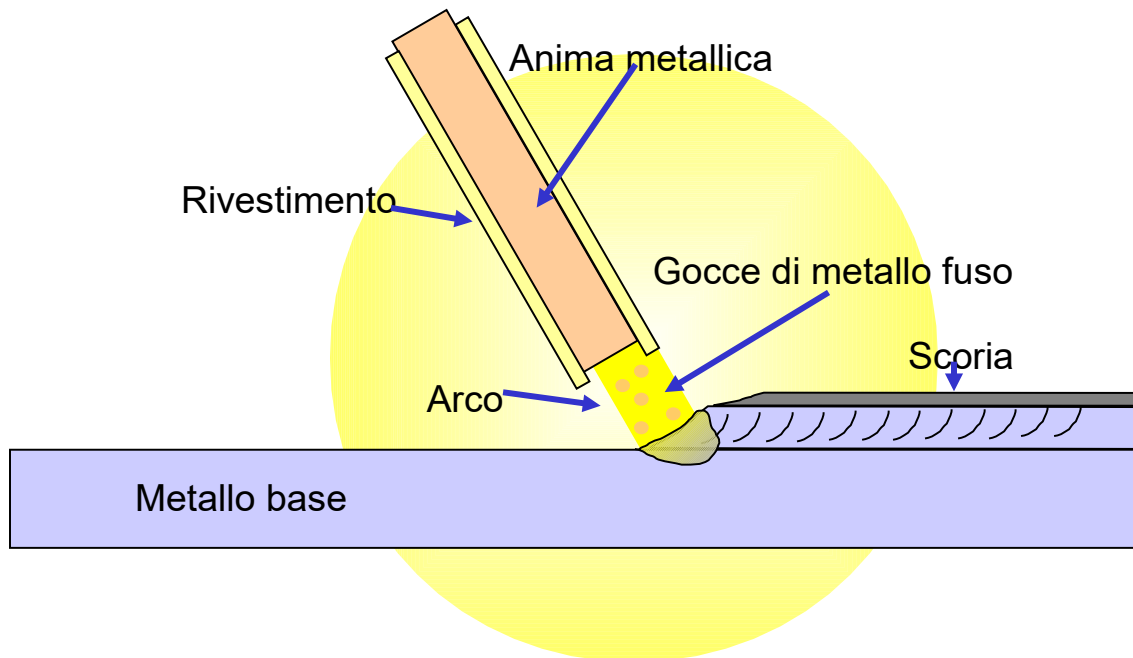
Il sistema può essere schematizzato nel modo seguente:



Arco elettrico

L'innesco dell'arco avviene per contatto del medesimo con la superficie del metallo base, con conseguente circolazione di una forte corrente di corto circuito. Ciò provoca (per effetto Joule) il riscaldamento localizzato e la ionizzazione dell'aria circostante.

Subito dopo l'elettrodo viene retratto di qualche mm e l'arco si mantiene stabilmente se i parametri di saldatura sono stati scelti correttamente.



Rivestimento

Funzioni del rivestimento

Il materiale di rivestimento ha le seguenti funzioni principali:

- ✓ Sviluppo di gas protettivi nei confronti dell'ossidazione (es.: CO_2)
- ✓ Protezione del cordone durante la fase di solidificazione
- ✓ Eliminazione di contaminanti dal metallo base (P, S)
- ✓ Apporto di elementi in lega
- ✓ Mantenimento della ionizzazione
- ✓ Influenza sulla forma finale del cordone
- ✓ Guida dell'arco (il punto di fusione è maggiore di quello del metallo d'apporto)

Alcuni tipi di elettrodi presentano un rendimento superiore al 100% grazie alla presenza di componenti metallici all'interno del rivestimento.

Tipi di elettodo

Gli elettrodi, oltre che in base al tipo di materiale metallico costituente l'anima, possono essere classificati in base al tipo di rivestimento:

Acido: è formato principalmente da ossidi metallici. Buona qualità del giunto, bassa capacità di purificare il metallo base, buona penetrazione, bassa igroscopicità. Indicato anche per saldature → e ↑.

Basico: a base di CaCO_3 e fluorite. Resistenza meccanica e resilienza del giunto ottimali grazie alla capacità desolforante e defosforante. Saldature in qualunque posizione. Molto igroscopico.

Cellulosici: a base di materiali organici. Buone qualità meccaniche, scoria facilmente asportabile, buona penetrazione. Elevato sviluppo di fumi, molto igroscopici.

Rutilo: a base di TiO_2 . Fusione dolce, facile accensione e mantenimento dell'arco. Scoria abbondante e viscosa ed aspetto del giunto gradevole.

La classificazione è riportata in apposite norme (comprese le UNI).

Metallo d'apporto

Trasferimento del metallo d'apporto

Il notevole calore sviluppato dall'arco porta a fusione sia il metallo base che quello d'apporto. Quest'ultimo viene trasferito verso il metallo base sotto forma di gocce sotto la spinta delle forze elettromagnetiche, oltre che, eventualmente, della gravità.

La frequenza caratteristica è di alcune decine di gocce al secondo.

Il trasferimento del metallo provoca notevoli perturbazioni dal punto di vista del mantenimento della stabilità dell'arco.

Il passaggio della corrente elettrica nel materiale base provoca l'insorgenza di un campo magnetico che può deviare l'arco, il quale è, a tutti gli effetti, un conduttore percorso da una certa corrente (**soffio magnetico**). Tale effetto, più evidente operando in corrente continua ed in prossimità dei bordi del materiale, può provocare perturbazioni nella regolare distribuzione del metallo fuso lungo il cordone di saldatura.

Generatori

Generatori per saldatura ad elettrodo rivestito

La saldatura ad elettrodo rivestito può essere effettuata nelle due modalità:

Corrente continua: arco più stabile, deposizione del materiale d'apporto più dolce, possibilità di scelta tra polarità diretta (elettrodo negativo) ed inversa. Possibili effetti negativi del soffio magnetico, costo maggiore dei generatori.

Corrente alternata: minor costo delle macchine, effetto limitato del soffio magnetico.

I generatori sono fondamentalmente dei trasformatori operanti alla frequenza di rete o, per questioni di efficienza, degli inverter ad alta frequenza. Nel caso di generatori in corrente continua è necessario l'uso di elementi raddrizzatori quali diodi a semiconduttore (normalmente del tipo fast recovery). Le correnti erogate dai generatori possono andare da qualche decina a svariate centinaia di amper.

In ogni caso l'attrezzatura necessaria è relativamente semplice e poco dispendiosa.

Tecnica ad arco

Caratteristiche d'utilizzo

La saldatura ad elettrodo rivestito è una tecnica versatile per quanto riguarda il tipo e gli spessori dei materiali saldabili. Fanno eccezione i materiali bassofondenti, che tendono ad evaporare eccessivamente a causa delle elevate temperature dell'arco.

La localizzazione dell'apporto termico è notevolmente migliore rispetto al caso della saldatura mediante fiamma, così come la penetrazione (la quale può essere grossolanamente valutata come pari al diametro d'elettrodo).

I principali limiti riguardano il valore minimo degli spessori saldabili (sotto certi valori della corrente l'arco diventa instabile) e la limitata capacità di penetrazione e produttività rispetto a tecniche che verranno descritte nel seguito.

Si ricorda infine che questa metodologia di saldatura, oltre a richiedere una notevole perizia da parte dell'operatore, in particolare per l'esecuzione di saldature in posizione, rende necessaria l'operazione supplementare di eliminazione della scoria.

Saldatura TIG

Saldatura TIG (o GTAW)

Nella saldatura TIG l'arco elettrico viene fatto scoccare tra un elettrodo infusibile di tungsteno (o tungsteno toriato) e la superficie del metallo base.

L'adduzione del metallo d'apporto viene effettuata di norma dall'operatore mediante delle bacchette nude di composizione opportuna. La protezione dall'ossidazione della zona esposta alle alte temperature dell'arco (**copertura**) viene effettuata mediante l'uso di un gas inerte (elio o argon).

Al fine di ottenere al contempo l'apporto di gas di protezione e di corrente elettrica, si fa uso di particolari dispositivi (torce), le quali possono essere dotate di sistema di raffreddamento ad acqua al fine di aumentare il *duty cycle*. L'elettrodo di tungsteno sporge di qualche mm da un foro presente su un ugello, il quale ha la funzione principale di convogliare il gas nella zona di saldatura.

L'accensione dell'arco può essere effettuata con il metodo già descritto nel caso della saldatura ad elettrodo rivestito, ma più comunemente mediante l'uso di una scarica pilota ad alta frequenza e tensione.

Saldatura TIG

La saldatura TIG può essere effettuata sia in corrente alternata con sovrapposizione dell'alta frequenza per stabilizzare l'arco (per la saldatura, ad esempio, dell'alluminio), sia in corrente continua a polarità diretta o inversa. In quest'ultimo caso l'usura dell'elettrodo infusibile è notevole e ciò comporta un aumento dei costi di esercizio; tuttavia, con questa modalità di funzionamento è possibile saldare anche spessori sottili.

Il generatore per saldatura è generalmente dotato anche di dispositivi di regolazione del flusso di gas (economizzatore, dispositivo pregas e postgas, ecc.). Sempre più frequentemente essi sono dotati di sistemi di regolazione automatica della corrente d'arco in fase di spegnimento dello stesso, in modo tale da ridurre la possibilità che si formino difetti nella parte terminale del cordone.

Tale metodologia di saldatura è adatta all'ottenimento di cordoni di ottima qualità dal punto di vista metallurgico, meccanico ed estetico su manufatti di piccolo spessore, non essendo competitiva con altre tecniche nel caso di spessori medi e forti.

Saldatura TIG

Il costo delle attrezzature è elevato, così come quello dei materiali di consumo.

Vi è inoltre la possibilità che, per cause accidentali o per imperizia dell'operatore, il tungsteno contami il cordone, con conseguente possibilità di innesco di cricche.

Saldatura al plasma

Saldatura al plasma

La torcia per la saldatura al plasma deriva da quella utilizzata per la saldatura TIG, con la differenza che l'elettrodo infusibile si trova, in posizione retratta, all'interno di un ugello di rame, attraverso il quale viene fatto passare un flusso di gas **plasmagenico** (Ar o Ar+H₂). L'arco elettrico così costretto, grazie alla notevole temperatura presente, porta il gas in uscita allo stato di plasma (T fino a 20.000° C). Il getto formatosi ha una velocità di uscita molto elevata e forma quasi cilindrica: in tal modo si ottengono densità di potenza, e quindi capacità di penetrazione, molto elevate, nonché una notevole "rigidezza" e direzionalità dell'arco.

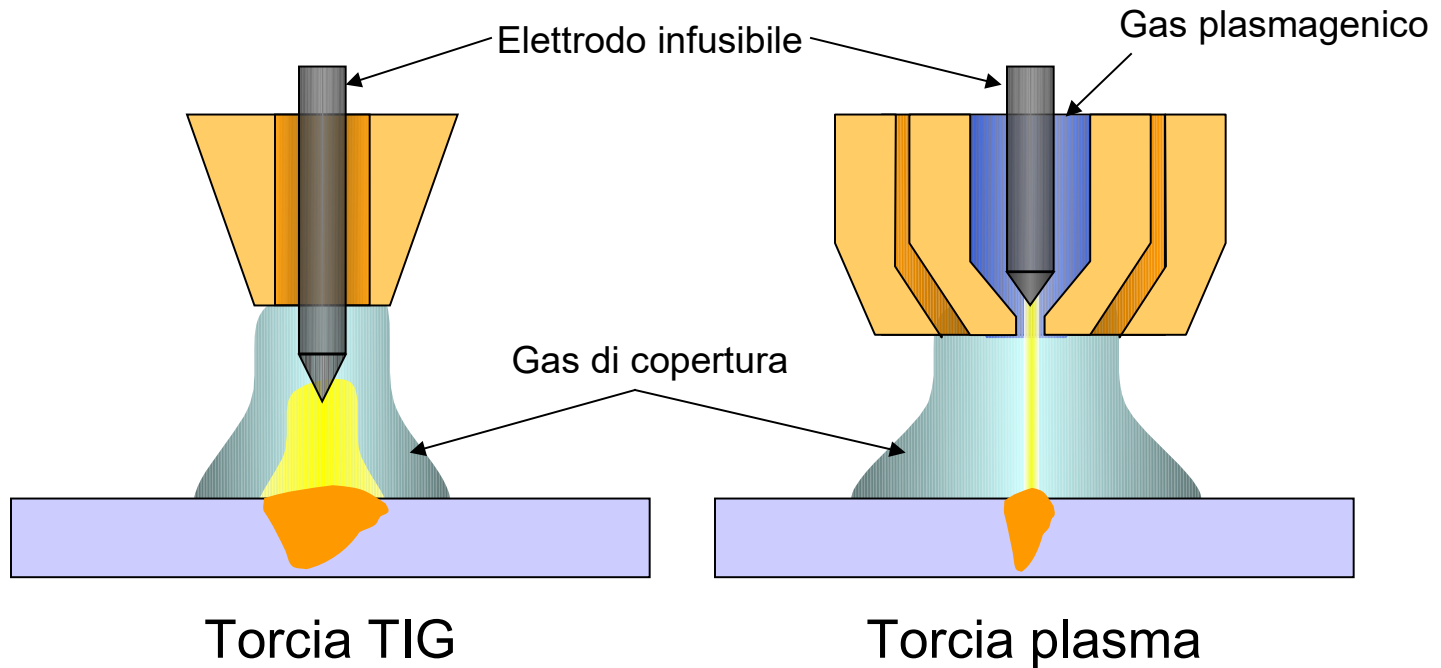
L'arco può essere essenzialmente di due tipi:

Arco diretto: scocca tra elettrodo infusibile e pezzo da saldare (il quale deve essere pertanto conduttore). E' la modalità normalmente usata in saldatura.

Arco trasferito: scocca tra lo elettrodo centrale ed uno anulare, contenuto nell'ugello, ambedue infusibili. In tal modo possono essere effettuate lavorazioni anche su materiali non conduttori.

Saldatura al plasma

La figura seguente riporta, schematicamente, la sezione dell'ugello di una torcia TIG ed una al plasma.



Saldatura al plasma

La saldatura può essere effettuata in due modalità:

- ✓ Per **conduzione** (o per fusione): si ha quando la corrente di saldatura è bassa ed è al tecnica più comune.
- ✓ **Key hole**: se la densità di corrente è abbastanza elevata si può saldare (solo in piano) in modalità key hole, la quale permette di ottenere una penetrazione profonda, una piccola larghezza del giunto e della HAZ.

La tecnica di saldatura al plasma può essere utilizzata anche per la saldatura delle leghe di alluminio, purchè si operi in polarità inversa. In questo caso però l'usura dell'elettrodo risulta molto elevata, per cui sono in fase di sperimentazione tecniche di saldatura al plasma in polarità alternata, le quali presentano però ancora problemi notevoli legati alla stabilità dell'arco.

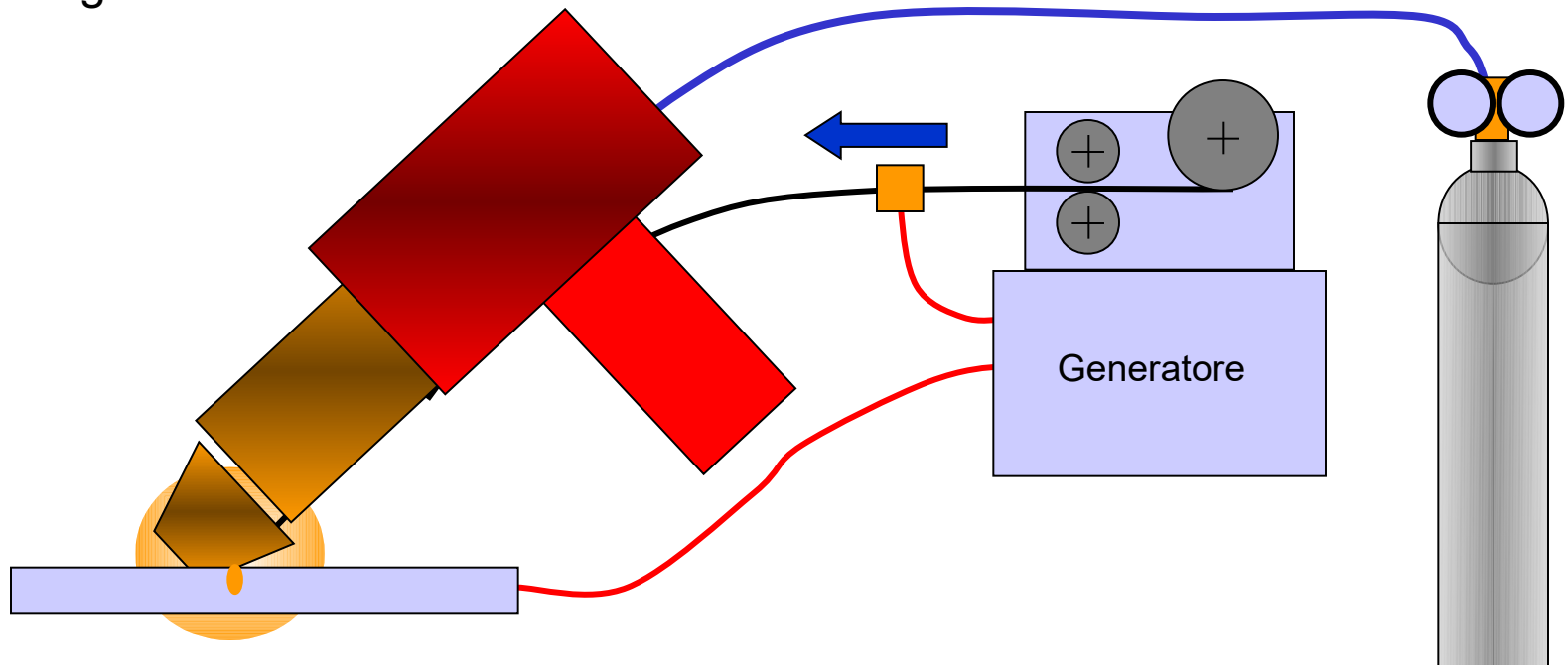
La corrente di saldatura minima può essere portata anche a meno di 1 A, cosicchè risulta possibile effettuare saldature anche su spessori minimi.

Saldatura MIG e MAG

Saldatura MIG/MAG

Nelle tecniche di saldatura MIG e MAG la copertura viene effettuata per mezzo di un gas (inerte o attivo) ma, al contrario della tecnica TIG, l'elettrodo è costituito da un filo metallico fusibile –che costituisce dunque anche il metallo d'apporto-.

L'impianto utilizzato è rappresentato schematicamente nella figura seguente:



Saldatura MIG e MAG

L'alimentazione elettrica è in corrente continua a polarità inversa (per questioni di produttività) o in corrente alternata con sovrapposizione dell'alta frequenza per la saldatura delle leghe di alluminio.

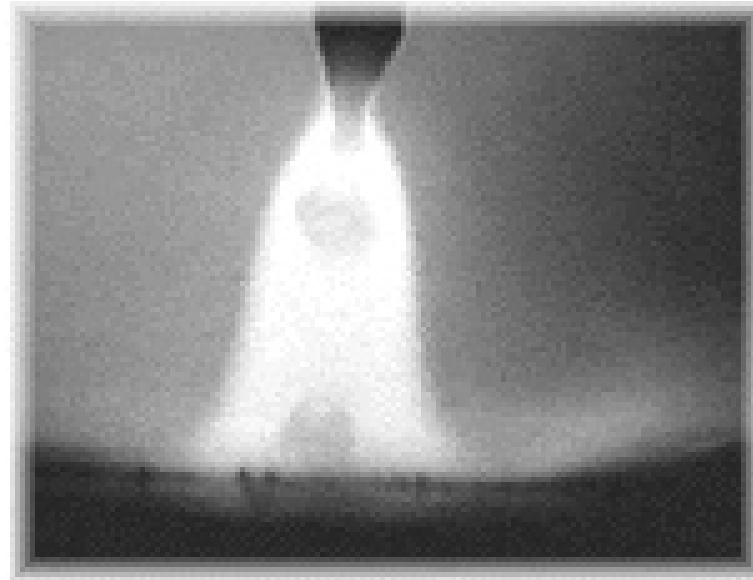
Il trasferimento del metallo d'apporto può avvenire con due modalità, in funzione del valore della corrente:

Short-arc: se la tensione è bassa (< 20 V) e la corrente è inferiore ad un valore di transizione, si formano grosse gocce di metallo fuso che provocano un cortocircuito e spengono momentaneamente l'arco (da qualche decina a qualche centinaio di Hz). Il bagno è relativamente freddo e la solidificazione rapida: ciò rende questa tecnica adatta alla saldatura in posizione.

Spray-arc: per tensioni più alte e valori della corrente maggiori del valore di transizione, il trasferimento avviene tramite piccole gocce che non provocano cortocircuiti. La penetrazione e la produttività sono maggiori. Data la notevole temperatura e fluidità del bagno, tale tecnica può essere usata solo per saldature in piano.

Pulsed-arc: consente di conservare i vantaggi delle due tecniche precedenti.

Saldatura MIG e MAG



Saldatura MIG e MAG

I gas impiegati sono:

- ✓ MIG: argon ed elio
- ✓ MAG: per ridurre i costi di saldatura di materiali “poveri” (acciai al carbonio) si può utilizzare la CO_2 come gas di protezione. Tuttavia l'uso di tale gas non scongiura i pericoli dell'ossidazione: a ciò si può rimediare usando miscele di gas ($Ar+CO_2$) o aggiungendo al filo metallico elementi disossidanti quali Si o Mn.

La tecnica è adatta alla saldatura di tutte le principali leghe di interesse industriale. L'abilità richiesta all'operatore è inferiore rispetto alle tecniche illustrate in precedenza.

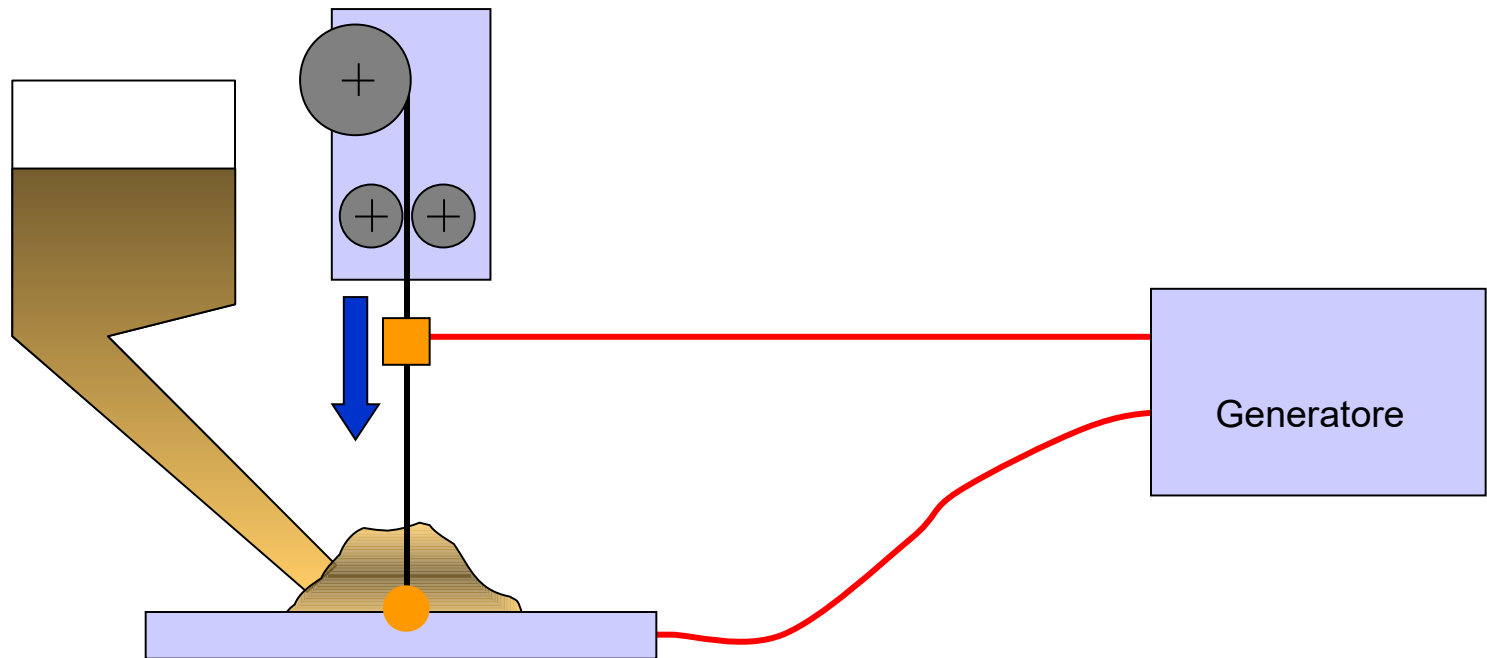
Altri vantaggi sono l'assenza di scoria, la notevole penetrazione.

Gli svantaggi principali sono il notevole costo delle attrezzature necessarie e l'impossibilità di effettuare saldature in zone ristrette a causa dell'ingombro della torcia.

Saldatura ad arco sommerso

Saldatura ad arco sommerso

L'attrezzatura è schematizzata nella figura seguente:



Saldatura ad arco sommerso

Il procedimento è automatico e utilizzato generalmente per saldature di lunghezza elevata in piano.

La copertura viene effettuata per mezzo di polveri (flusso): in tal modo l'arco non risulta visibile.

Parte della polvere fonde e protegge il bagno di saldatura dall'azione dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici; la rimanente viene recuperata e riutilizzata.

Il flusso può svolgere anche la funzione di purificare il bagno di saldatura (S, P) e di rallentare i fenomeni di raffreddamento, con vantaggi dal punto di vista metallurgico.

La qualità del cordone è elevata sia dal punto di vista meccanico e metallurgico che estetico.

Il generatore può erogare corrente in CC (polarità inversa) ed in CA con intensità molto elevate (anche oltre 2000 A).

Il diametro dei fili impiegati può andare da 2 a 8 mm circa e la loro superficie è ramata per migliorare il contatto elettrico con le spazzole.

Saldature per resistenza elettrica

Introduzione

Sono tecniche di saldatura autogene, senza metallo d'apporto, che sfruttano gli effetti della **pressione** e del **riscaldamento** del materiale ottenuto per effetto joule:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \cdot k$$

Il valore di resistenza R dipende dal tipo di materiale costituente le due parti da saldare e dalla pressione agente sulla zona del giunto.

Le macchine impiegate sono costose e la tecnica è utilizzata per produzioni di serie spesso automatizzate.

Saranno presentate brevemente le seguenti tecniche:

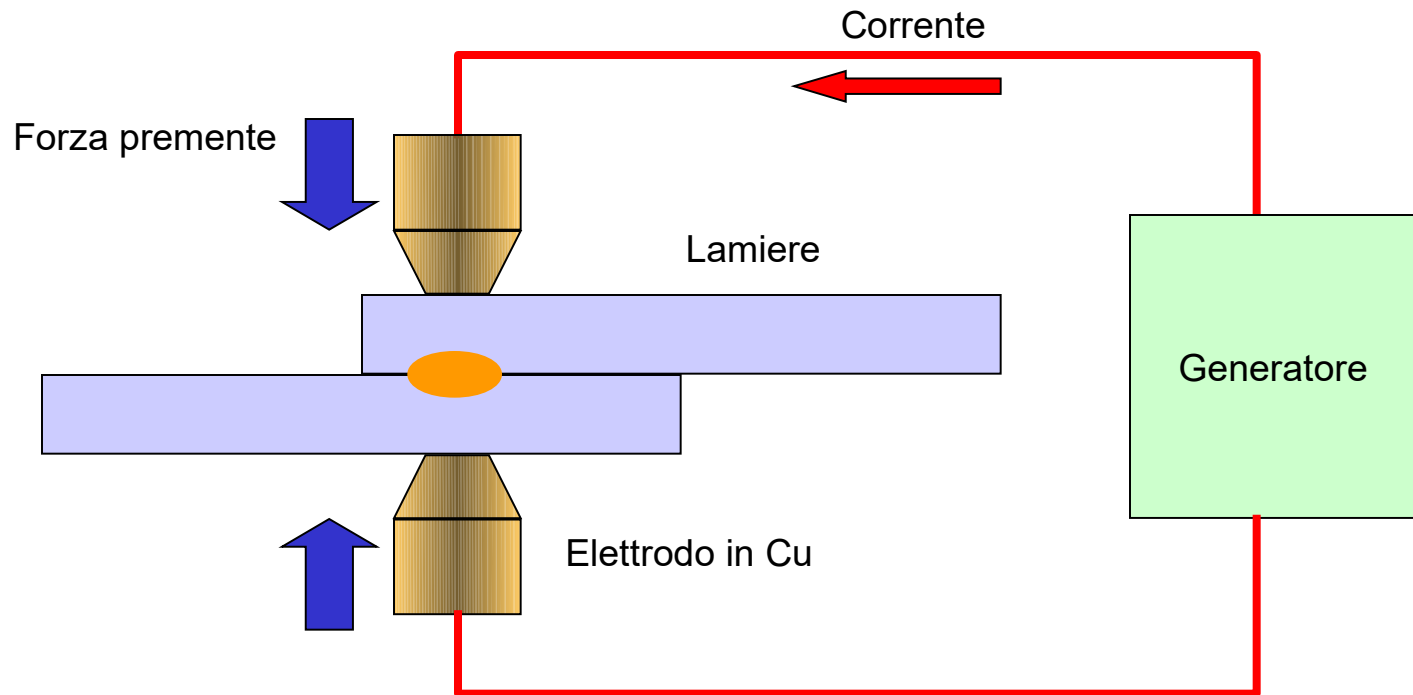
- Saldatura per punti
- Saldatura a rulli
- Saldatura per scintillio

Saldatura per punti

Saldatura per punti

Si usa nel campo della lamiera (es.: settore automobilistico) ed è un processo che si presta alla completa automatizzazione.

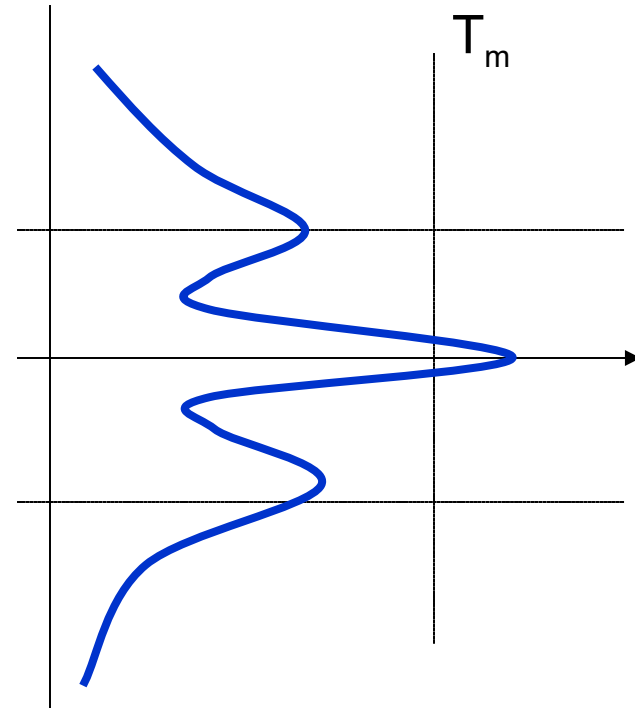
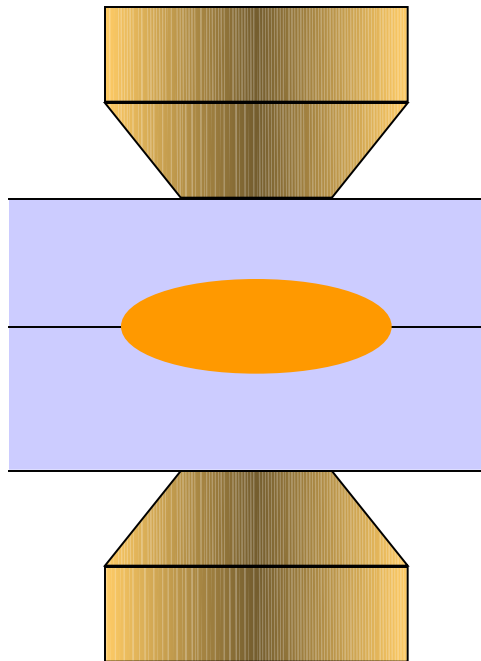
La tecnica è illustrata nella figura seguente:



Saldatura per punti

I motivi per cui la generazione di calore è localizzata principalmente nella zona di contatto tra le lamiere sono essenzialmente i seguenti:

- ✓ La resistenza nella zona di contatto tra le lamiere è maggiore di quella della zona di contatto elettrodi-lamiere.
- ✓ Gli elettrodi, in Cu, sono raffreddati ad acqua e ciò contribuisce a mantenere basso il valore della resistenza del materiale.



Saldatura per punti

I parametri in gioco sono:

Pressione: se eccessiva si ha deformazione della superficie esterna delle lamiera ed usura del punzone, se scarsa si possono avere incollaggi.

Intensità di corrente e tempo: sono parametri molto critici: se la corrente e/o il tempo sono scarsi si possono ottenere incollature, se, viceversa, il tempo di saldatura o la corrente sono eccessivi si possono avere profonde deformazioni della lamiera, sino alla foratura della stessa.

Le macchine possono operare in CC e CA con correnti da 1.000 A sino a 100.000 A circa applicate per tempi molto brevi (da frazioni di secondo sino a qualche secondo).

Nel caso sia necessario, possono essere programmati anche cicli di saldatura complessi, con fasi di preriscaldamento e mantenimento in temperatura e variazioni della forza premente opportune.

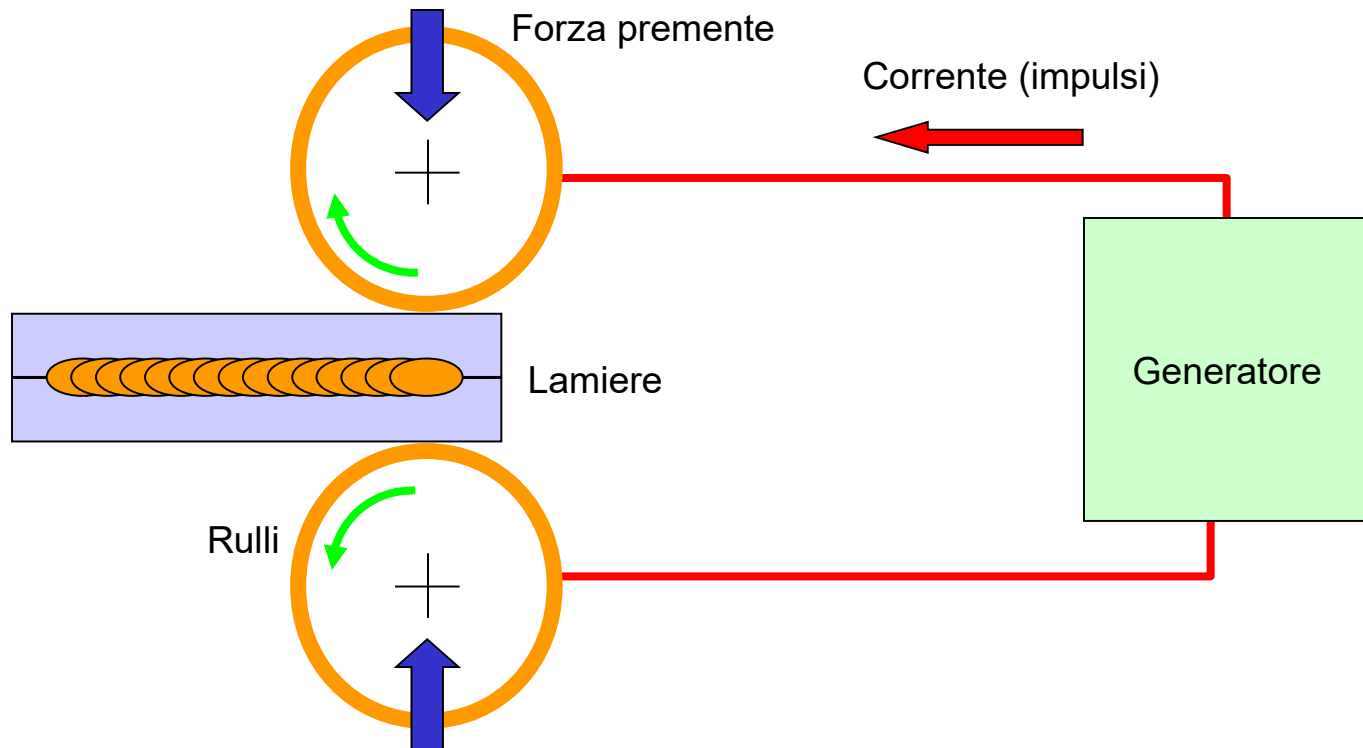
Le caratteristiche meccaniche e metallurgiche del giunto ottenuto non sono paragonabili a quelle ottenibili con le tecniche descritte in precedenza.

Saldatura a rulli

Saldatura a rulli

Si usa nel campo della lamiera per la costruzione di contenitori per fluidi. In questo caso è richiesta infatti la continuità della saldatura, che non può essere garantita dal processo di saldatura a punti.

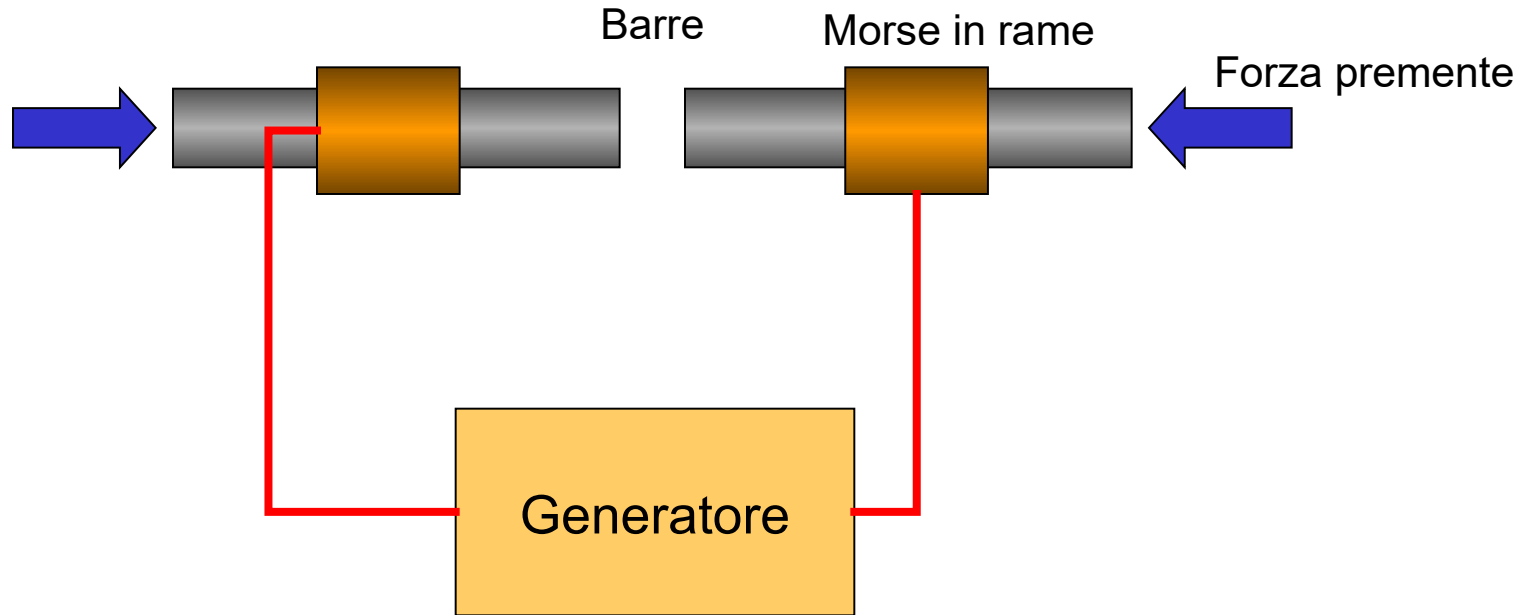
La tecnica è illustrata nella figura seguente:



Saldatura per scintillio

Saldatura per scintillio

Si usa in genere per l'effettuazione di saldature di testa. La macchina è schematizzata nella figura seguente.



Saldatura per scintillio

La macchina effettua l'operazione di saldatura in tre fasi:

1. **Preriscaldamento**: le barre vengono portate a contatto e una corrente di media intensità scalda la zona di saldatura (tale fase non sempre è presente).
2. **Fase di scintillio**: le barre vengono accostate senza che venga esercitata un'azione di compressione e viene fatta passare la corrente di saldatura.
3. **Fase di compressione**: la corrente viene interrotta e viene applicata una forza di compressione.

Un possibile difetto nel giunto ottenuto è la presenza di una ricalcatura, particolarmente nella variante del processo in cui la corrente di saldatura viene applicata assieme alla forza di compressione.

Non è necessario l'uso di materiale d'apporto, nè una preparazione accurata dei lembi, nemmeno nel caso di sezioni di notevoli dimensioni.

Saldature eterogene

Brasatura

E' una tecnica di saldatura eterogena: è pertanto necessario l'uso di un metallo d'apporto che:

- ✓ Abbia un punto di fusione minore di quello del materiale base.
- ✓ Abbia un'ottima scorrevolezza e bagnabilità allo stato fuso.
- ✓ Possieda una buona resistenza meccanica

La tecnica è molto versatile e permette di ottenere giunti di buone caratteristiche meccaniche, riducendo al contempo la possibilità di distorsione dei componenti saldati. Inoltre è possibile la giunzione di materiali differenti anche nel caso di geometrie notevolmente complesse.

E' necessario lo studio accurato della geometria dei giunti e degli altri parametri di processo (temperatura, tempo di applicazione della fonte di calore, uso di disossidanti/flussanti, ecc.).

Nel caso in cui i lembi siano preparati come nel caso della saldatura, la tecnica prende il nome di **saldobrasatura**.

Tecniche di taglio

Introduzione

Le operazioni di taglio sono largamente impiegate sia per la preparazione preliminare di semilavorati destinati a lavorazioni successive, sia per eseguire operazioni di demolizione.

Le tecniche di taglio più utilizzate (in ordine di costo delle attrezzature necessarie, a parità di potenzialità dell'impianto) sono le seguenti:

- Ossitaglio
- Taglio al plasma
- Taglio water-jet
- Taglio laser

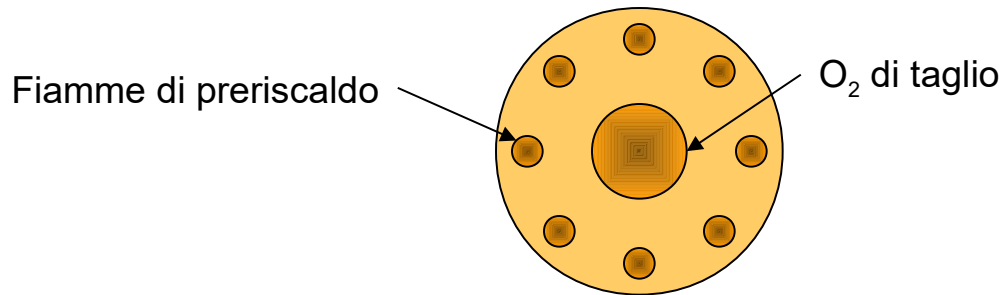
Ciò che differenzia le varie tecnologie è innanzitutto la qualità del taglio, intesa come precisione dimensionale, assenza di deformazioni indotte, rettilinearità della superficie di taglio.

Segue la versatilità della tecnica, intesa come capacità di operare su materiali differenti (sia metallici che non metallici), l'economicità del processo e altri numerosi parametri di valutazione.

Tecniche di taglio

Ossitaglio

Il processo di ossitaglio fa uso di cannelli simili a quelli impiegati nella saldatura ossigas. Nella figura sottostante è rappresentato la zona terminale dell'ugello:



Fasi del taglio:

1. Preriscaldamento sino alla temperatura di taglio
2. Apertura valvola O₂ di taglio ed esecuzione del taglio

E' necessario che:

- ✓ La reazione di ossidazione sia esotermica
- ✓ L'ossido formatosi non sia refrattario
- ✓ L'ossido formatosi possa essere asportato

Tecniche di taglio

Tecnica water-jet

La tecnica water-jet permette di evitare qualsiasi fenomeno legato al riscaldamento del materiale tagliato. Può essere impiegata efficacemente sia su materiali metallici, sia su materiali non metallici.

La macchina impiegata è raffigurata schematicamente nella figura seguente:

