Corso di metallurgia e saldatura – Parte 4
“Procedimenti di saldatura"

Move Forward with Confidence

PROCEDIMENTI DI SALDATURA

- Elettrodo rivestito
- Filo continuo (MIG / MAG)
- TIG
- Cannello ossiacetilenico
- Brasatura e saldobrasatura

ELETTRODO RIVESTITO - GENERALITA’

La saldatura con elettrodo rivestito è il procedimento di saldatura più utilizzato tanto nelle costruzioni meccaniche quanto in carpenteria metallica, è indicato per la saldatura di quasi tutte le leghe metalliche ferrose e non ferrose ad eccezione delle leghe di alluminio.

Si tratta di un procedimento molto versatile nel quale viene prodotto un arco elettrico tra un elettrodo "consumabile", opportunamente rivestito, ed il pezzo da saldare. Le gocce di metallo fuso provenienti dall'elettrodo vengono trasferite, mediante l'arco, nel bagno di fusione mentre i gas prodotti dal rivestimento le proteggono dall'atmosfera. La scoria fusa che galleggia sopra il bagno di fusione lo protegge dall'atmosfera durante la solidificazione.

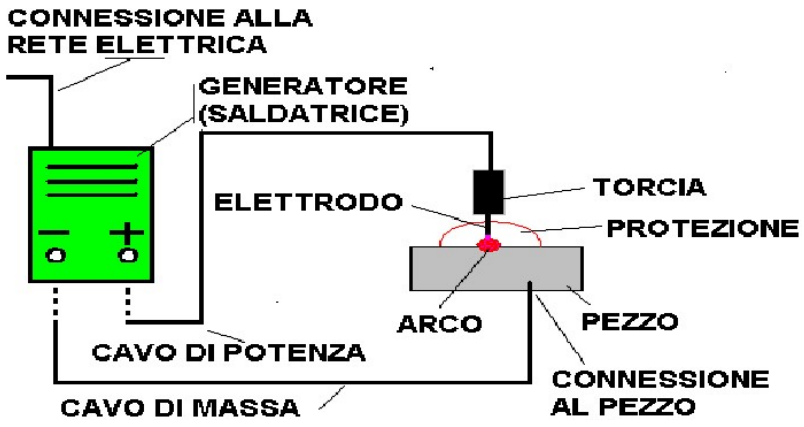
Il procedimento di saldatura con elettrodo ben si presta alla saldatura in tutte le posizioni e, grazie alla semplicità dell'apparecchiatura, all'impiego in molte situazioni, anche in cantiere o in spazi limitati.
A fronte di indubbi vantaggi operativi dobbiamo tuttavia registrare una scarsa produttività, infatti, l'elettrodo ha una lunghezza ridotta e deve quindi essere frequentemente sostituito

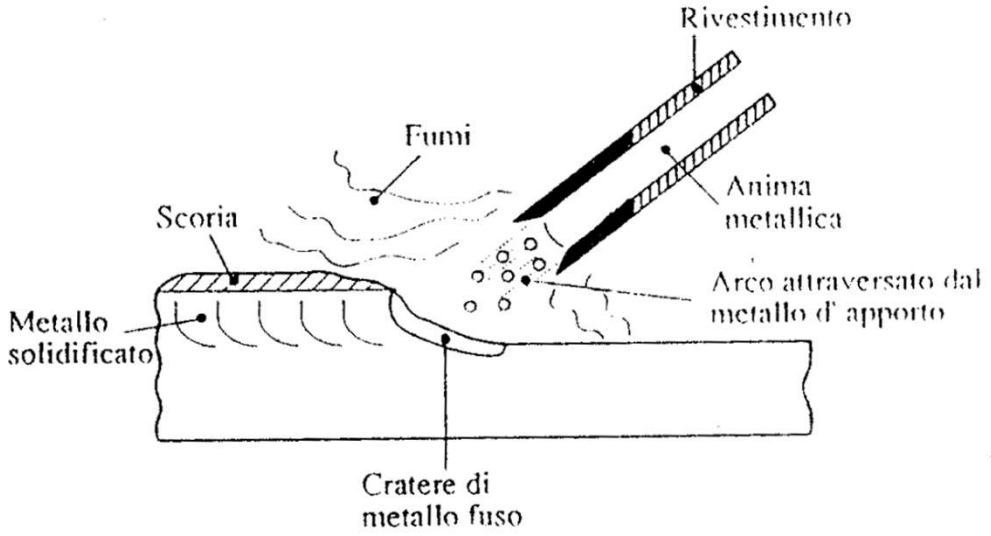
ELETTRODO RIVESTITO – PRINCIPI GENERALI

La saldatura ad elettrodo rivestito consiste nel mettere in fusione i metalli dei pezzi da saldare ed assemblarli grazie a un metallo d'apporto sotto forma di elettrodo.

Per ottenere questa fusione è necessaria una temperatura molto elevata, che si ottiene per corto circuito tra il pezzo e l'elettrodo che porta alla creazione di un arco elettrico che genera calore intenso.

La temperatura raggiunge nell'arco valori attorno ai 5000-6000 ° C; ne consegue la progressiva fusione dell'elettrodo e la creazione sul metallo base di un "bagno di fusione".





ELETTRODO RIVESTITO – PRINCIPI GENERALI

- L'elettrodo rivestito è composto da due parti ovvero da un'anima metallica che funge da materiale d'apporto e da un rivestimento che ne fornisce la protezione



- Nel corso della saldatura l'anima dell'elettrodo fonde, il rivestimento contribuisce alla protezione dell'estremità dell'elettrodo dove il materiale è fuso ed inoltre crea una sovrappressione locale dei gas nel suo interno, capaci di provocare il distacco ed il trasferimento della goccia

- Una parte del materiale d'apporto si volatilizza creando dei gas che creano una zona di protezione dell'arco riducendo il pericolo di ossidazione del bagno

- Raggiunto il bagno liquido il rivestimento reagisce chimicamente sviluppando proprietà disossidanti, defosforanti e desolforanti grazie alla presenza di $CaCO_3$ dando origine ad una scoria solida che protegge la superficie del bagno di fusione durante la solidificazione

ELETTRODO – FUNZIONI DEL RIVESTIMENTO

Funzione elettrica **– pronta accensione dell'arco e buona stabilità grazie ai sali fortemente emissivi (silicati di Na e K) in esso contenuti**

Funzione protettiva **– fondendo, libera fumi inerti che proteggono l'arco dall'ossidazione. Inoltre, la scoria liquida prodotta dal rivestimento galleggia sul bagno di fusione separandolo dal contatto con l'aria anche durante la solidificazione ed il raffreddamento**

Funzione fisica **– il peso della scoria plasma il bagno di fusione favorendo il conseguimento di cordoni lisci ed estetici**

Funzione chimica **– è possibile trasferire elementi di lega dal rivestimento alla scoria e quindi al bagno di fusione per correggere, ove necessario, l'analisi del metallo depositato**

Funzione depurante **– la scoria liquida può reagire ad alta temperatura con le impurezze (S e P) presenti nel bagno di fusione**

ELETTRODO – RIVESTIMENTO RUTILICO

Sono simili ai rivestimenti acidi ma contengono elementi come il biossido di titanio, rutilo o ilmenite , che conferisce al deposito un ottimo aspetto superficiale dopo la solidificazione.

Per tale motivo questi elettrodi sono da utilizzati nel caso si debba tener conto dell'aspetto estetico del cordone di saldatura.

Questa tipologia di elettrodi possono contenere anche sostanze come la cellulosa (rutilcellulosici) o, in quantità limitata, carbonati di calcio e di magnesio, tipici elementi di un rivestimento basico (rutilbasici o semibasici). Gli elettroditi rivestiti al rutilo, così come i cellulosici, non depurano il bagno e sviluppano grosse quantità di idrogeno: per tale ragione sono poco raccomandabili per la saldatura di acciai soggetti a criccabilità a freddo.

Sono semplicemente maneggevoli in tutte le posizioni e la stabilità d'arco è ottima, si possono saldare sia in corrente continua Polarità Diretta (negativo sulla torcia) sia in Corrente alternata con buone caratteristiche meccaniche in zona fusa.
Per tali ragioni i rutilici sono utilizzati nelle saldature di spessori moderati.

ELETTRODO – RIVESTIMENTO CELLULOSICO

Il rivestimento degli elettrodi cellulosici è costituito da cellulosa contenente elementi di lega come manganese e silicio, elementi altamente disossidanti.

Il cellulosico è quindi un elettrodo altamente purificante ed il rivestimento, per la maggior parte gassificato, e minimizza la scoria sul bagno fuso.

Questo tipo di rivestimento permette la saldatura in posizione "verticale discendente", fonde una notevole quantità di materiale base offrendo buona penetrazione in prima passata.

Il difetto dei cellulosici è di essere poco efficaci contro le impurezze e quindi non dovrebbero essere utilizzati in procedimenti di saldatura con materiali base contenenti elementi di lega basso fondenti, dove potrebbero creare problematiche di criccabilità a caldo.

Non dovrebbero essere utilizzati nemmeno nel caso di saldature con materiali soggetti a strutture di tempra perché, oltre all'idrogeno derivante dall'aria, lo stesso rivestimento è portatore di umidità.

La precaria stabilità dell'arco richiede l'impiego di generatori di corrente continua con Polarità inversa (positivo sulla torcia).

ELETTRODO – RIVESTIMENTO BASICO

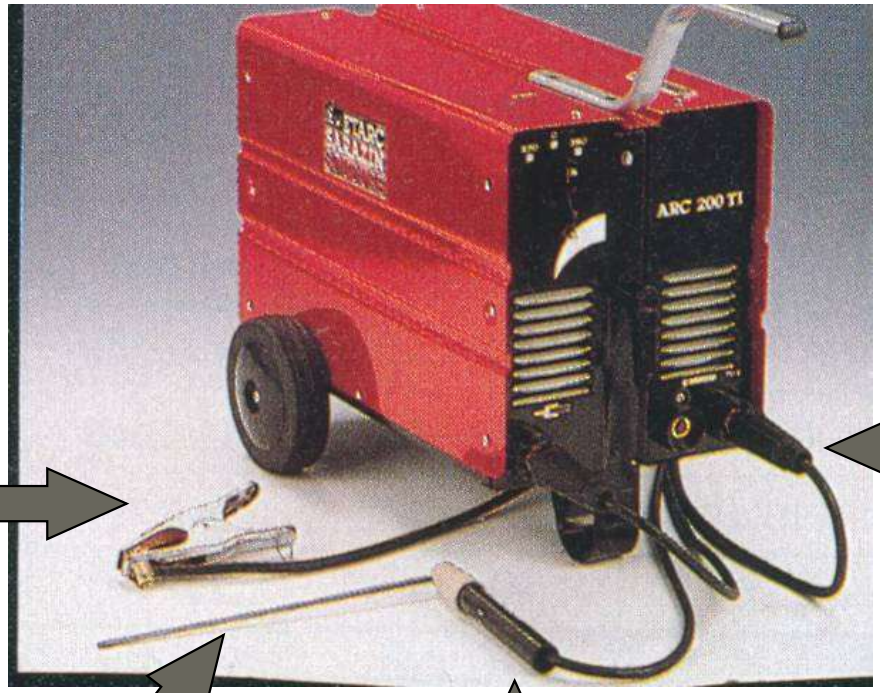
Gli elementi contenuti in questa tipologia di rivestimento sono ossidi di ferro, ferroleghe di Mn, Si e soprattutto carbonati di calcio e magnesio ai quali viene aggiunto, per facilitarne la fusione, fluoruro di calcio (fluorite).
Come detto in precedenza la fluorite contribuisce all'instabilità dell'arco elettrico e di conseguenza per la saldatura con questo elettrodo, si deve utilizzare la corrente continua Polarità inversa (positivo sulla torcia).
La scoria prodotta con gli elettrodi basici è difficile da rimuove e da rifondere, per tale motivo bisogna asportarla totalmente specie nel caso di passate successive; se la scoria rimane nelle irregolarità del cordone e non viene asportata, può generare "porosità solide".
La saldatura con gli elettrodi basici, deve essere eseguita con archi corti per evitare la formazione di porosità allungate dette anche "tarli".
Il trasferimento del materiale avviene tramite gocce molto grosse che possono creare facilmente dei cortocircuiti.
La presenza di carbonati di calcio nel rivestimento, consente di depurare il bagno da elementi bassofondenti come zolfo e fosforo, ottenendo depositi ad alta purezza e con buone caratteristiche meccaniche; per tale ragione questi elettrodi devono essere utilizzati nelle saldature di materiali soggetti alla criccabilità a caldo.
Una delle più grosse problematiche di questo tipo di rivestimento è data dall'elevata igroscopicità. Allo scopo di eliminare le tracce di umidità dal rivestimento l'elettrodo deve essere ben trattato in appositi fornetti altrimenti si potrebbe incorrere nelle problematiche della criccabilità a freddo.

ELETTRODO – LA SALDATRICE

- E’ un transformatore che riduce il voltaggio di corrente elettrica abbassandola da 220 volts a circa 50 volts ma aumentando l’intensità di corrente

- Due regole sono utili per scegliere una saldatrice adatta :
  - più l’intensità ottenuta è elevata, più è possibile saldare pezzi di spessore maggiore. Un’intensità troppo bassa non permette una buona fusione del metallo d’apporto e la saldatura sarà meno resistente;
  - più la tensione d‘innesco è elevata (50 V o più), più è facile avviare la saldatura senza "incollare" l‘elettrodo

ELETTRODO – LA SALDATRICE



Pinza della massa

Connettitore

Elettrodo rivestito

Pinza porta elettrodo

ELETTRODO RIVESTITO – VANTAGGI / SVANTAGGI

Pregi:

- effettuare cordoni di limitate dimensioni, nelle operazioni di manutenzione e riparazione, e per costruzioni “sul campo”;

- l’attrezzatura è semplice, economica e portatile;

- è possibile saldare in punti difficilmente accessibili;

- è adatto per acciai al carbonio e basso legati, inossidabili, leghe leggere, ghisa, rame, nickel e loro leghe.

Difetti:

- non è adatto per spessori troppo sottili (< di circa 2-3 mm) in quanto la corrente di saldatura non può essere abbassata oltre il limite di stabilità dell’arco;

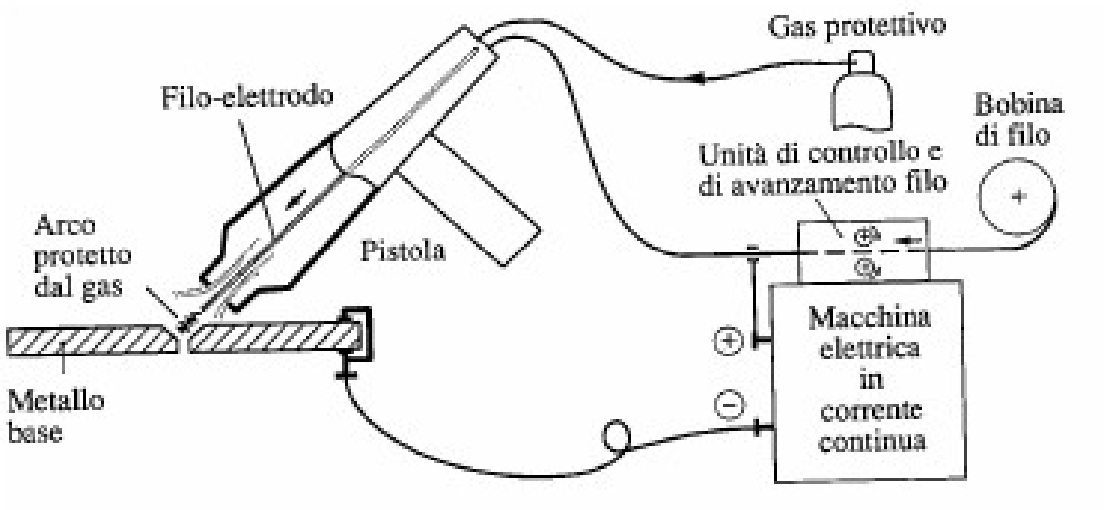
- valori di deposizione e di penetrazione inferiori ad altri processi all’arco;

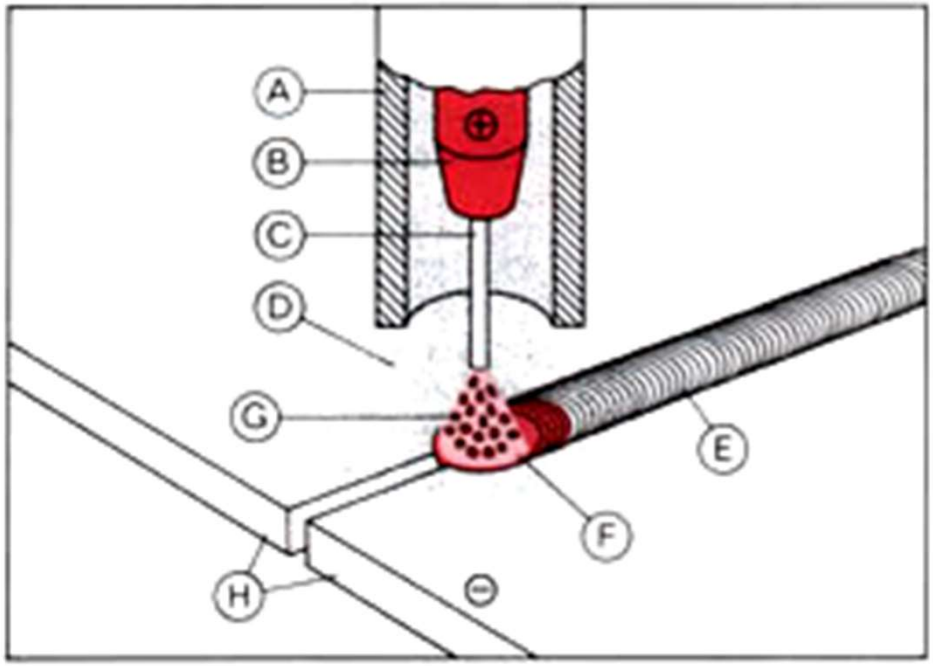
- non economicamente conveniente per grossi spessori e cordoni lunghi;

- l’elettrodo ha una lunghezza limitata che provoca l’interruzione del processo.

MIG / MAG – INTRODUZIONE

- Processo di saldatura autogena in cui **l'arco elettrico scocca tra pezzo e filo fusibile**
- Il **dispositivo di avanzamento** del filo provvede ad alimentare il bagno con continuità
- La protezione del bagno è ottenuta attraverso il **flusso di gas** che impedisce la contaminazione atmosferica del bagno fuso





Schematic representation of GMA-welding

A Gas cup
B Electrode holder
C Filler wire
D Shielding gas
E Finished weld
F Weld pool
G Arc
H Parent metal

MIG / MAG – VANTAGGI

- Si saldano quasi tutti i materiali ferrosi e anche metalli non ferrosi
- Elevata qualità delle saldature
- Utilizzabile in tutte le posizioni (solo in alcuni casi)
- Non produce scoria (filo pieno)
- Elevata produttività
- Tecnica di facile apprendimento







MIG / MAG – SVANTAGGI

- Apparecchiatura più ingombrante
- Ridotta protezione del bagno rispetto a procedimenti sotto protezione di flusso / rivestimento
- Sensibilità all'azione del vento
- Elevati costi dei gas di protezione

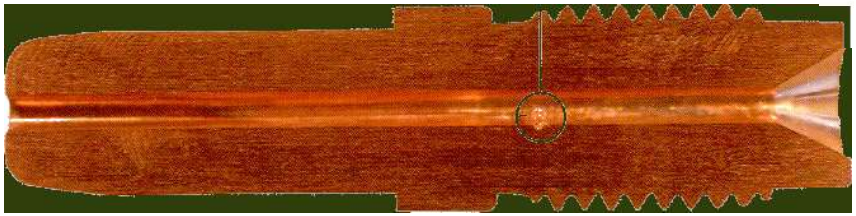


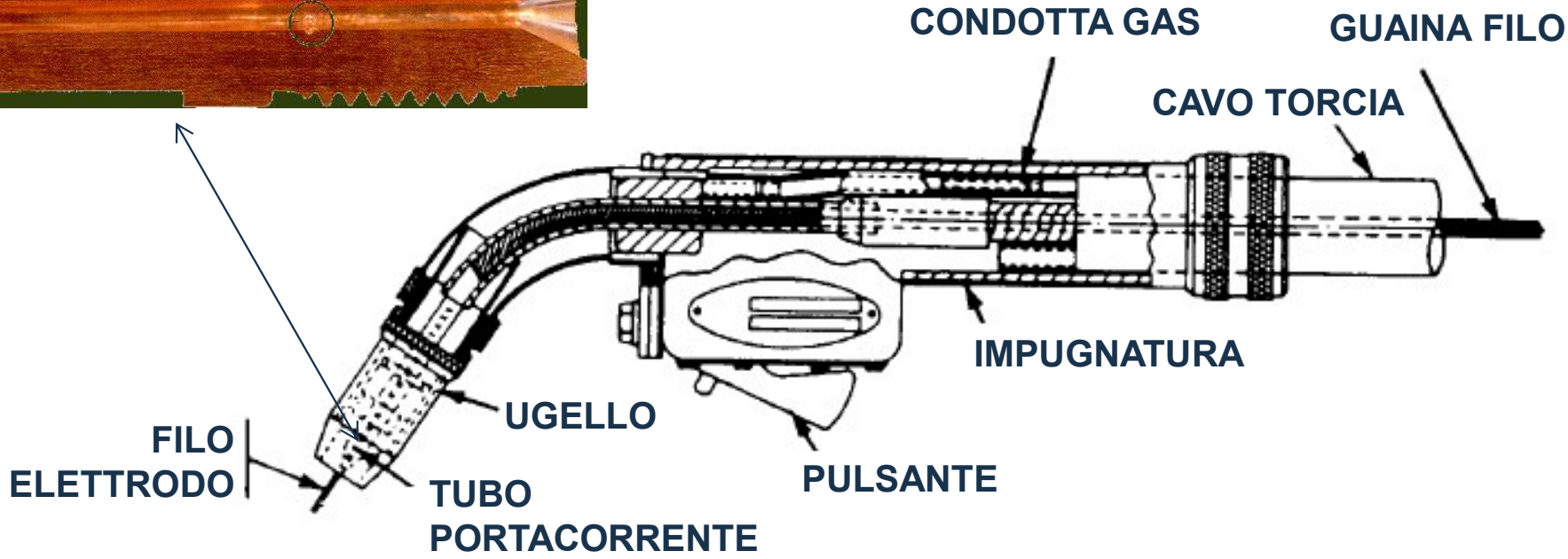


MIG / MAG – TORCE DI SALDATURA

- Tipologie di torcia
  - Raffreddate ad acqua
  - Autoraffreddate
  - Aspiranti
  - A pistola o a collo d'oca

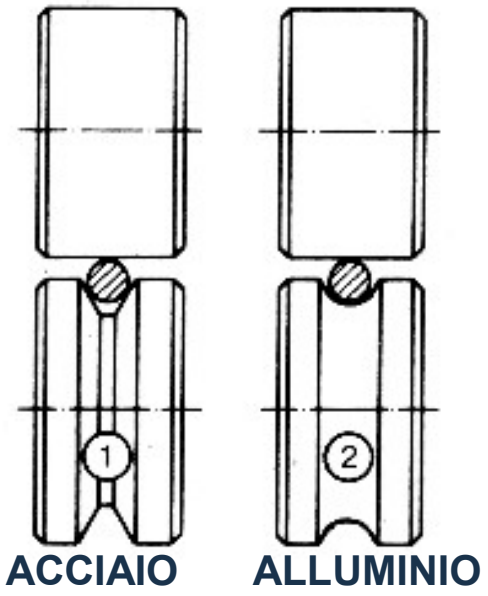


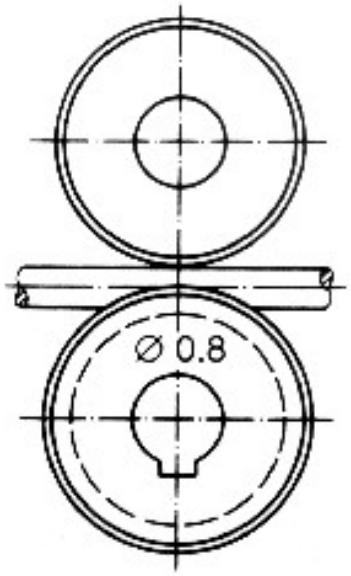


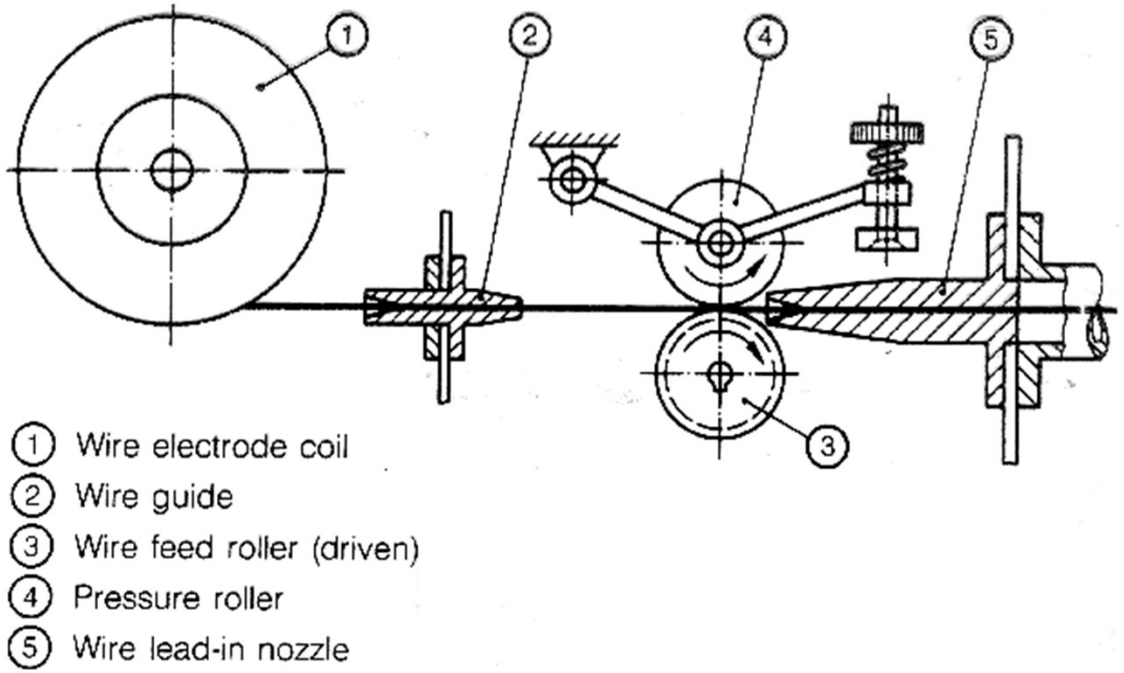


MIG / MAG – DISPOSITIVO DI AVANZAMENTO DEL FILO

- Per garantire un funzionamento regolare del sistema, è necessario avere dispositivi a velocità costante e regolabile.
- Solitamente si tratta di motori alimentati a corrente continua.
- Le caratteristiche dei rulli devono essere adattabili a:
  - deformabilità del materiale d'apporto
  - diversi diametri del filo





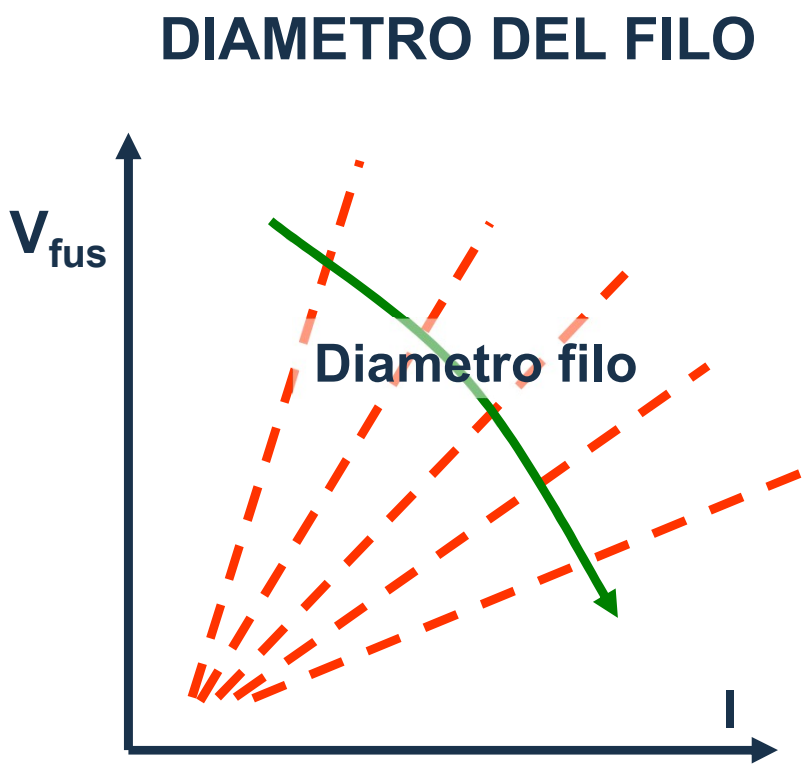


MIG / MAG – AUTOSTABILITA' DEL PUNTO DI LAVORO

- Nei processi a filo continuo, le condizioni di funzionamento sono legate al fenomeno **dell'autostabilità del punto di lavoro.**
- La condizione è:

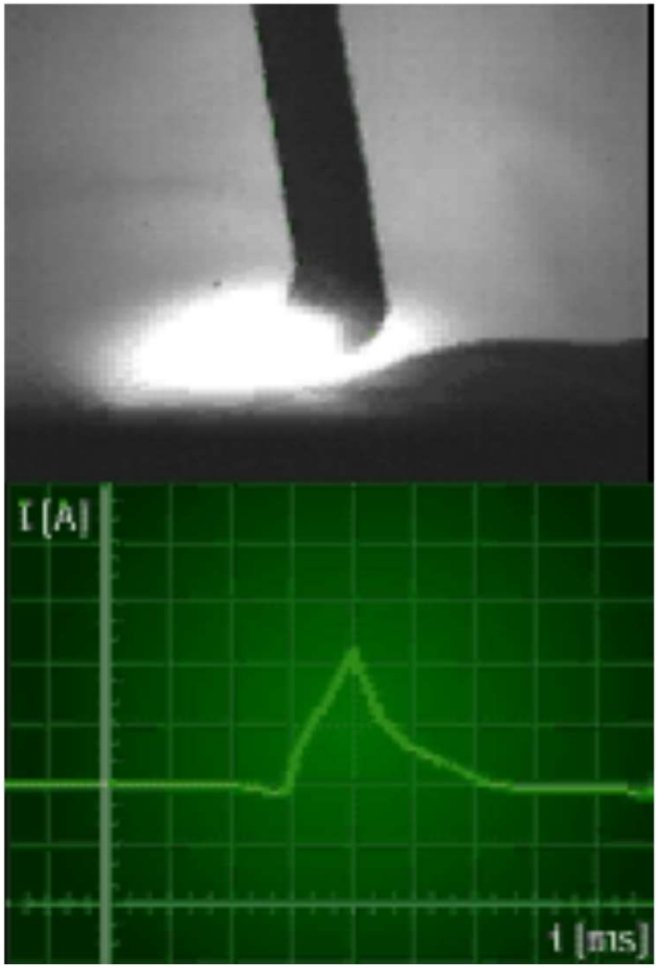
$$V_{av}=V_{fus}$$

- La velocità di fusione è correlata all'intensità di corrente
- Una variazione delle caratteristiche del sistema (corrente, velocità di avanzamento, distanza della torcia) riporta comunque il sistema **in una posizione di equilibrio**



MIG / MAG – MODALITA' DI TRASFERIMENTO

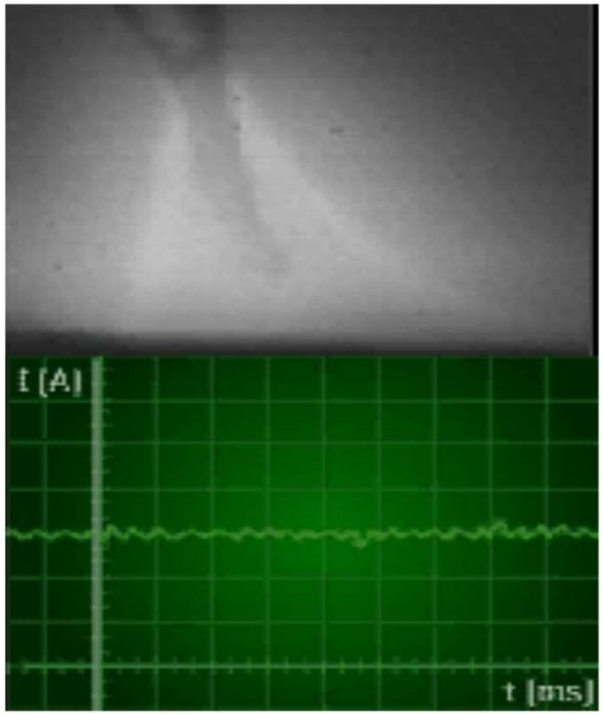
- **Short arc (trasferimento per corto circuito)**
  - si verifica un contatto tra filo ed elettrodo con frequenza da 20 a 120 Hz. Il distacco avviene per l'effetto **pinza magnetica**
  - La corrente di cortocircuito deve essere sufficientemente alta da permettere la separazione della goccia, ma anche sufficientemente bassa per impedire la formazione di spruzzi
  - Si verifica per minori valori di corrente, da valutarsi in base al diametro del filo e alla composizione del gas



MIG / MAG – MODALITA' DI TRASFERIMENTO

► Spray arc

- Si verifica con maggiore facilità per tenori elevati di Argon, all'aumentare della densità di corrente
- Arco estremamente stabile, facilmente controllabile e che garantisce un buon aspetto del cordone
- Si verifica un notevole incremento della penetrazione con difficoltà nel realizzare giunti per spessori modesti.



Ø filo	GAS	Corrente di transizione
0,8	98 Ar 2 O_2	150
0,9	98 Ar 2 O_2	165
1,1	98 Ar 2 O_2	220
1,6	98 Ar 2 O_2	275

MIG / MAG – GAS DI PROTEZIONE

La scelta del gas dipende da considerazioni tecniche ed economiche

FUNZIONI:

- Evita contaminazione del bagno di saldatura dall'ambiente circostante
- Stabilizza l'arco elettrico

Le atmosfere più utilizzate sono le seguenti:

• gas inerti: argon, elio, miscele argon-elio

• gas attivi: anidride carbonica, ossigeno, miscele gas inerti con ossigeno o anidride carbonica

• riducenti: idrogeno

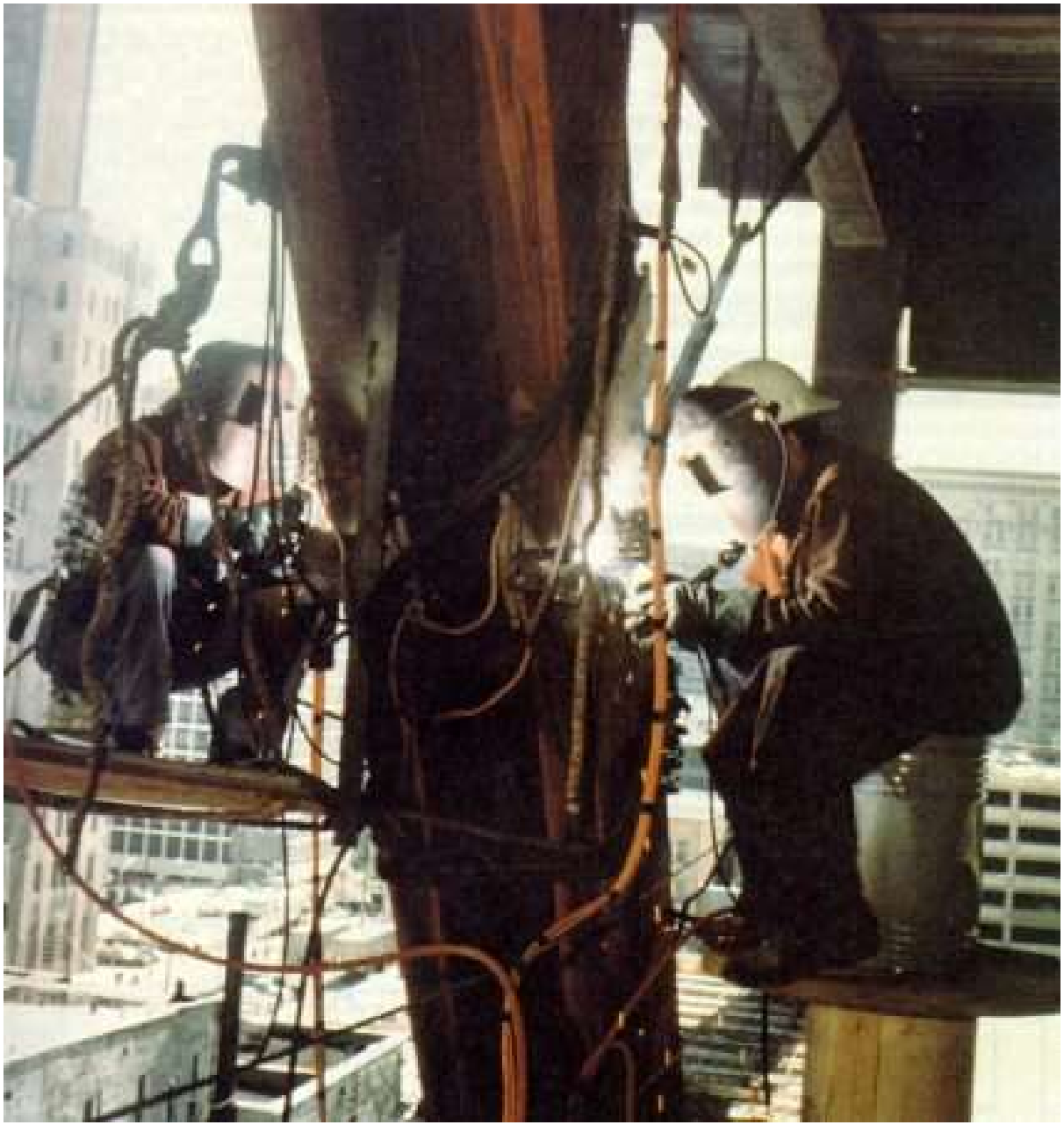
MIG / MAG – GAS DI PROTEZIONE

La saldatura MIG usa normalmente argon o elio e permette di saldare efficacemente tutte le leghe di interesse pratico compresi i materiali facilmente ossidabili

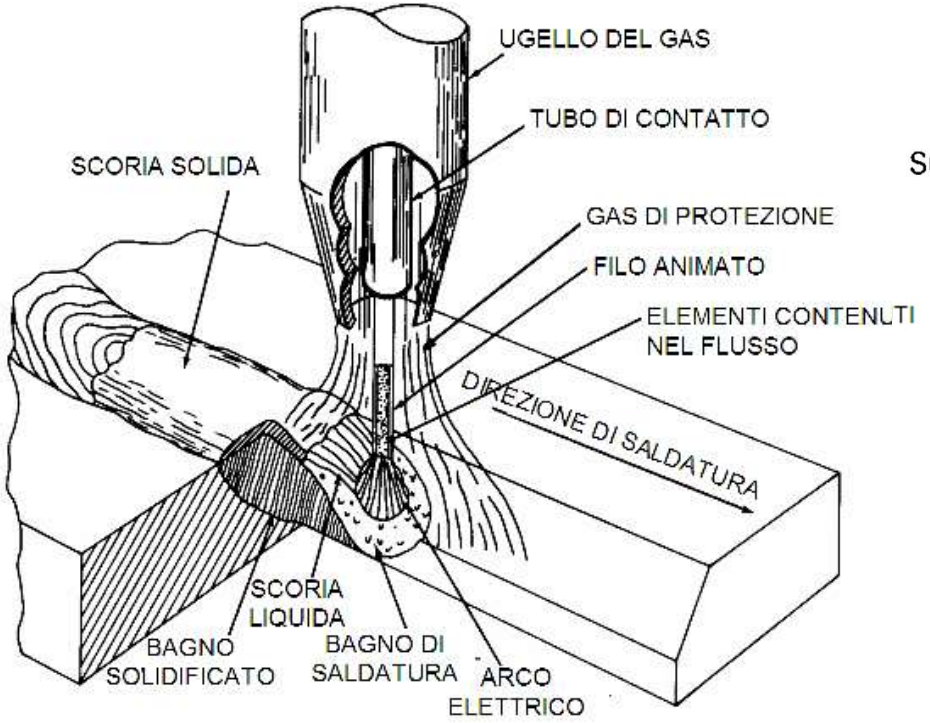
Tuttavia il costo di tali gas è notevole ed il loro uso non è giustificato nella saldatura degli acciai a basso tenore di carbonio: in tal caso si usa allora la saldatura MAG, che impiega un gas meno costoso cioè il CO_2

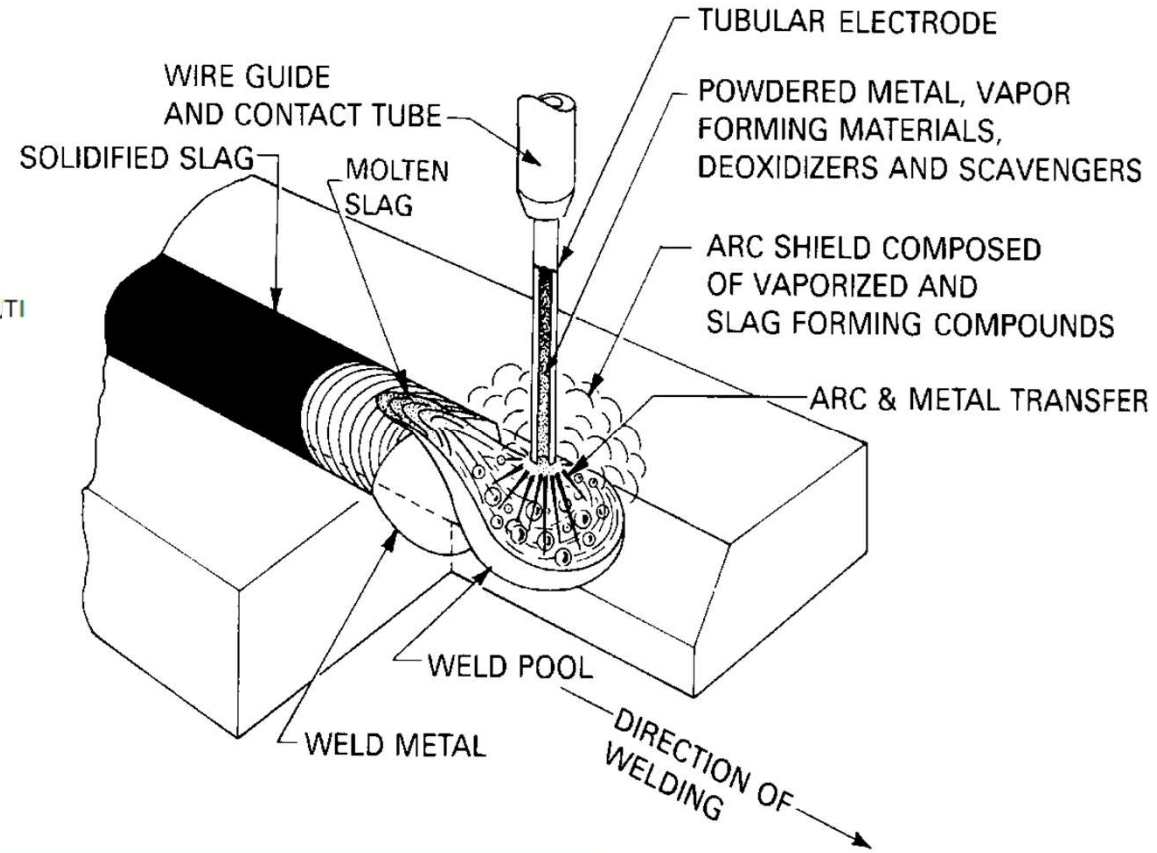
MIG / MAG – PROCEDIMENTO A FILO ANIMATO

- Flusso **all'interno del filo**
- Può essere anche previsto senza gas di protezione (self shielded, **innershield**) su acciai al C
- Maggiori velocità di deposito
- Arco più stabile

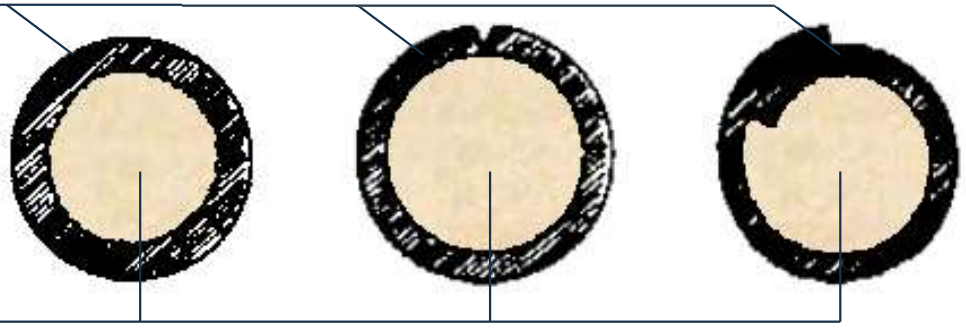


MIG / MAG – PROCEDIMENTO A FILO ANIMATO





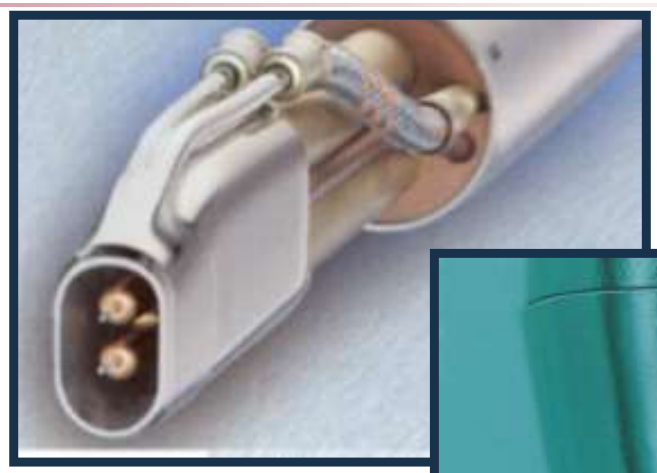
METALLO



RIEMPIMENTO DEL FILO

MIG / MAG – TORCE A PIU' FILI

- Per aumentare ulteriormente la produttività, è possibile ricorrere a torce con più fili
- Uso possibile in modalità automatica











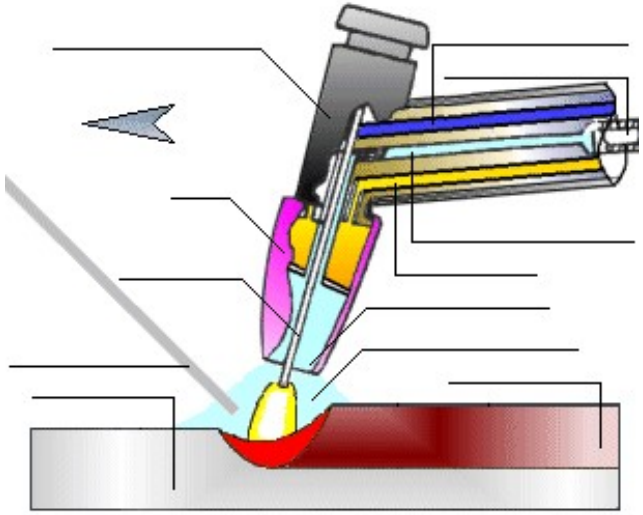




TIG – PRINCIPI GENERALI

La Saldatura TIG (Tungsten Inert Gas) o GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), è un procedimento di saldatura ad arco con elettrodo infusibile (di tungsteno), sotto protezione di gas inerte, che può essere eseguito con o senza metallo di apporto. La saldatura TIG è uno dei metodi più diffusi, fornisce giunti di elevata qualità, ma richiede operatori altamente specializzati.

Il procedimento si basa su una torcia in cui è inserito l'elettrodo in tungsteno, attorno a cui fluisce il gas di protezione che, attraverso un bocchello di materiale ceramico, è portato sul bagno di fusione. L'operatore muove la torcia lungo il giunto per spostare il bagno di fusione, mentre, nel caso che sia richiesto materiale d'apporto, contemporaneamente sposta la bacchetta del materiale in modo tale da tenerla costantemente con l'estremità entro l'arco e comunque sotto la protezione del gas.



TIG – PRINCIPI GENERALI

Uno dei principali vantaggi di questa tecnologia è che l'apporto di materiale nel bagno di saldatura è indipendente dall'apporto termico nella saldatura, a differenza di quanto accade nelle saldature a filo o a elettrodo consumabile.

Il procedimento TIG è particolarmente indicato quando devono essere saldati piccoli spessori di materiale, a partire da pochi decimi di mm, tuttavia non è possibile saldare spessori superiori a qualche mm (2-3 mm per gli acciai) con una singola passata (perciò, in generale, non si usa per saldare spessori superiori a 5-6 mm), quindi, considerando la bassa produttività, spesso viene usato per effettuare la prima passata di un giunto, mentre il riempimento viene effettuato successivamente con procedimenti a produttività più elevata.

Non è consigliabile l'uso di questo procedimento in luoghi aperti, dato che anche un vento leggero può disperdere il gas di protezione.



TIG – TORCIA

La torcia utilizzata per saldare a TIG è formata dai seguenti componenti:

- cappetta di ceramica
- penna porta bacchetta
- manopola
- tubicino di collegamento alla bombola



TIG – LA SALDATRICE



Riduttore di pressione

Torcia

Pinza della massa

Elettrodo rivestito

TIG – ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Il generatore può essere a corrente continua o a corrente alternata con sovrapposizione di alta frequenza. L'alta frequenza favorisce l'innesco e si disinserisce automaticamente a processo avviato. La scelta della corrente è legata alla natura del materiale da saldare.

A) c.c.p.d.

- Acciai comuni e legati
- Rame e sue leghe
- Nickel e sue leghe
- Titanio

B) c.a. con sovrapposizione in alta freq.

- Alluminio e sue leghe
- Magnesio e sue leghe
- Bronzi di Al (leghe Cu/Al)

C) Con la c.c. l'arco è più stabile e in p.d. il flusso di elettroni dall'elettrodo al bagno di fusione favorisce la penetrazione e sveltisce l'esecuzione. In p.i. si avrebbe bombardamento di elettroni sull'elettrodo con riscaldamento e fusione di quest'ultimo nonostante la sua refrattarietà.

- C.C.P.I. non si utilizza mai

TIG – GAS DI PROTEZIONE

Gas necessariamente inerte (il tungsteno si consumerebbe per ossidazione)

Il più utilizzato è l'**Argon** (molto costoso)

Caratteristiche:

- è un gas inerte (non suscettibile di formare composti)
- è insolubile nei bagni di fusione
- si ionizza facilmente (arco stabile anche con tensioni modeste)

In alternativa all'Argon si possono usare:

- miscele argon-idrogeno con 6% di H_2 (Nickel e sue leghe)
- miscele argon-idrogeno con 15% di H_2 (acciaio inossidabile)
- azoto (rame)

TIG – GAS DI PROTEZIONE

- Generalmente il gas di protezione viene immesso su entrambe le facce del giunto (naturalmente se questo è accessibile su entrambi i lati).
- Sulla faccia dove si trova il bagno (al dritto) il gas è portato direttamente dalla torcia, sull'altra faccia (al rovescio) viene insufflato in condizioni controllate, in modo da assicurare una protezione dall'ossidazione anche alla radice della saldatura.

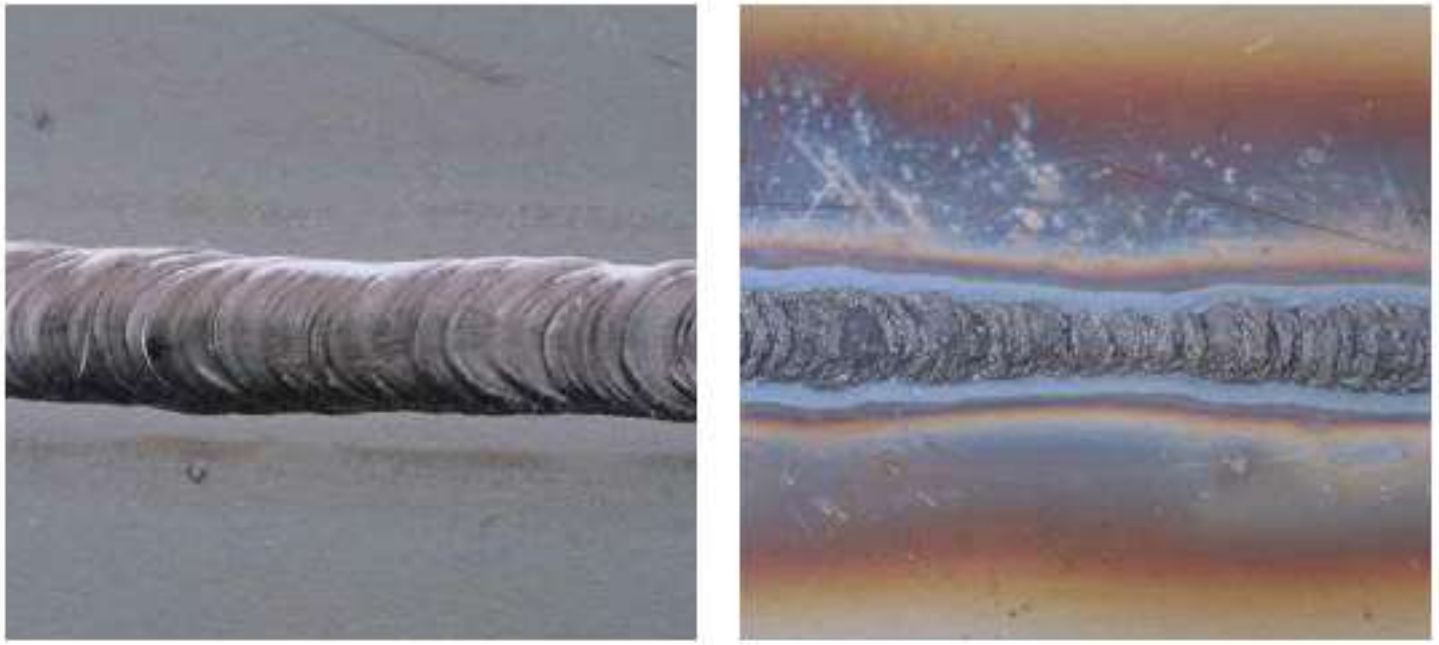


Figura 2: Radice della saldatura protetta (a sinistra) e non protetta (a destra). TIG/WIG manuale, acciaio inox

TIG – PRESTAZIONI E CAMPI D'IMPIEGO

- La saldatura TIG è un metodo molto efficace che permette di ottenere saldature di elevata qualità su quasi tutti i materiali.

- Molto adatta per le leghe di alluminio e di magnesio e dei materiali reattivi come titanio e zirconio.

- E' particolarmente adatta per gli spessori sottili dato che l'elettrodo di tungsteno ha la caratteristica di emettere con facilità elettroni, ciò comporta una elevata stabilità dell'arco elettrico anche con correnti basse (fino a 15-20 A).

- L'impiego del metodo TIG per gli spessori medi e grossi non è economicamente conveniente rispetto ad altri metodi (MIG ed arco sommerso) caratterizzati da costi minori e penetrazioni e deposizioni orarie maggiori.

- Il processo TIG è costoso sia per il costo delle macchine ed attrezzature sia per quello dell'elettrodo di tungsteno sia soprattutto per quello dei gas utilizzati (argon o elio). E' ovvio quindi che esso sia riservato ai materiali più pregiati ed agli spessori più sottili.