

## 6 Saldatura ad arco elettrico

### Proprietà e caratteristiche dei principali tipi di elettrodi rivestiti

#### Elettrodi a rivestimento basico

Gli elettrodi basici derivano il loro nome dalle quantità preponderanti di sali di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e di fluoruri ( $\text{CaF}_2$ ) contenuti nel rivestimento.

Sono particolarmente adatti per saldare:

- acciai che contengono molte impurità (perché la scoria basica favorisce l'eliminazione di zolfo e fosforo che potrebbero essere contenuti nel materiale base);
- acciai con un elevato tenore di carbonio, superiore allo 0,30% (perché il materiale è molto plastico, duttile e tenace);
- lamine di grosso spessore.

L'atmosfera di  $\text{CO}_2$ , prodotta durante la fusione del rivestimento basico, ha funzione protettiva e disossidante del bagno di saldatura.

Le caratteristiche meccaniche degli elettrodi basici sono ottime soprattutto per le proprietà plastiche (resilienza e allungamento); perciò si ricorre a questi elettrodi nella saldatura di grossi spessori vincolati o di parti sottoposte a sollecitazioni dinamiche molto elevate.

Occorre tuttavia osservare che l'elevata igroscopia del rivestimento può dar luogo a immissione di idrogeno nel bagno, in grado di causare soffiature durante la fusione.

La scoria presenta una certa resistenza all'asportazione.

L'accensione e il mantenimento dell'arco risultano piuttosto difficoltosi.

#### Componenti

I rivestimenti basici sono costituiti prevalentemente da carbonati di calcio e magnesio, con l'aggiunta di fluorite che ne facilita la fusione. Contengono inoltre ferro-leghe di Mn, Ti e Si fino al 20%, con funzione disossidante.

#### Facilità di maneggio

Molto ridotta.

Il saldatore deve mantenere l'arco corto e operare con movimento molto lento, per evitare la formazione di soffiature nel deposito.

Il metallo d'apporto deposita sul bagno di fusione sotto forma di grosse gocce che possono provocare corto circuiti con spegnimento dell'arco.

#### Azione depurante

Ottima.

La scorta basica esplica un'azione desolforante e defosforante, che conferisce al giunto ottime caratteristiche meccaniche e tecnologiche ed evita la formazione di cricche.

#### Sviluppo di idrogeno

Lo sviluppo di H è ridotto, perché gli elettrodi sono conservati ben asciutti nel loro involucro di polietilene.

Tuttavia, se molto secchi gli elettrodi diventano fortemente igroscopici. Perciò prima dell'uso devono essere essiccati in appositi fornelli, alla temperatura di circa 150-200 °C per ridurre ulteriormente lo sviluppo di H.

#### Tipo di corrente

I migliori risultati si hanno usando c.c a polarità inversa (polo (+) alla pinza).

#### Proprietà della scoria

Dato che la scoria si stacca con difficoltà, è necessaria molta cura nell'asportazione.

La scoria è però facilmente rifusibile, perciò le eventuali tracce che possono rimanere su un cordone vengono eliminate durante la passata successiva.

#### Elettrodi a rivestimento acido o neutro

Il rivestimento di questi elettrodi è costituito da ossido di ferro e ferro-leghe la cui funzione è disossidante.

Il rivestimento non influisce sulla composizione del metallo depositato durante la fusione, perciò l'azione di questi elettrodi è neutra.

Sono adatti per saldare acciai a debole tenore di carbonio, ma sono sconsigliati per acciai suscettibili di tempra.

Il cordone è compatto, estetico e presenta buone caratteristiche meccaniche, purché il materiale base non sia di qualità scadente, non contenga cioè molto zolfo e molto fosforo.

La penetrazione degli elettrodi è molto profonda.

L'innesco a freddo è piuttosto difficile.

La scoria è vetrosa, abbondante, leggera e facilmente asportabile.

Questi elettrodi sono adatti per saldare in qualunque posizione.

### **Componenti**

Ossidi di ferro sotto forma di oligisto e magnetite (30%); ferro-leghe (25%), materiali scorificanti a base di quarzo, fosfati, caolino (40%), e  $\text{CaCO}_3$ .

### **Facilità di maneggio**

Buona.

Le difficoltà aumentano passando dalla saldatura in piano a quella in posizione.

### **Azione depurante**

Non molto efficace.

Questi elettrodi perciò non sono raccomandabili per la saldatura di acciai che contengono impurezze.

### **Sviluppo di idrogeno**

Sensibilmente alto.

Infatti, a differenza di quelli basici, non possono essere essiccati a elevate temperature, e sono quindi umidi.

Tuttavia non è richiesta un'accurata conservazione: l'eventuale umidità assorbita modificherebbe infatti di poco la quantità totale di acqua contenuta nel rivestimento, che è sempre alta.

### **Tipo di corrente**

Funzionano sia in c.a. che in c.c.; nel secondo caso, lavorano meglio con polarità diretta (polo (-) all'elettrodo).

### **Proprietà della scoria**

Facilmente asportabile, ma difficilmente rifusibile, perciò le eventuali tracce incluse nel deposito non vengono eliminate con le passate successive.

### **Elettrodi a rivestimento cellulosico**

Il rivestimento di questi elettrodi contiene un 30% di materie organiche, quali la cellulosa.

Questi elettrodi presentano la proprietà di lasciare poca scoria, perché la cellulosa bruciando volatilizza facilmente in fumi.

Tali fumi sono ricchi di  $\text{CO}_2$ , che ha la funzione di proteggere il bagno di fusione.

La penetrazione è molto forte (superiore a quella degli altri elettrodi) perché la cellulosa aumenta la velocità di fusione e perciò amplia la quantità del materiale di apporto fuso.

Sono particolarmente adatti per la saldatura in posizione, anche in verticale discendente. L'effetto della cellulosa consente di ovviare alla minor penetrazione nella saldatura, in posizione verticale discendente. Questi elettrodi hanno perciò caratteristiche di alta penetrazione e facilitano la scoria.

Vengono largamente impiegati nella saldatura di tubi.

La loro lunghezza, 30 cm, è inferiore di almeno 10 cm rispetto ad altri elettrodi, perché un riscaldamento troppo prolungato potrebbe causare l'incendio del rivestimento.

Le caratteristiche meccaniche del cordone realizzato con elettrodi a rivestimento cellulosico sono molto buone.

### **Componenti**

Cellulosa 30%, ossidi di titanio 30%, scorificanti a base di silicio, ferro-leghe disossidanti 10%.

### **Facilità di maneggio**

Molto buona.

Spesso vengono usati per saldature di giunti che non consentono una ripresa a rovescio. Tuttavia, producendo molto fumo, spruzzi e rumore, richiedono una discreta abilità d'uso.

**Azione depurante**

Assolutamente trascurabile.

**Sviluppo di idrogeno**

Molto accentuato; infatti la cellulosa durante la combustione produce idrogeno. Tali elettrodi vengono perciò utilizzati per saldature di acciai dolci.

**Tipo di corrente**

c.c. con polarità inversa. Esistono anche tipi di elettrodi a rivestimento cellulosico per c.a.

**Proprietà della scoria**

Di quantità ridotta, e facilmente eliminabile.

**Elettrodi a rivestimento al rutilo**

Il rivestimento di questi elettrodi è costituito per oltre il 50% di rutilo, un biossido di titanio, o da altri ossidi di titanio.

Il rutilo possiede la proprietà di rendere l'arco morbido e di rendere la scoria abbondante e vischiosa. Le caratteristiche meccaniche del cordone sono scarse, ma è decisamente gradevole l'aspetto del cordone stesso dal punto di vista estetico.

Per questa ragione spesso viene usato un elettrodo al rutilo nell'ultima passata di saldatura.

In genere le caratteristiche di questi elettrodi non si discostano molto da quelle degli elettrodi a rivestimento acido.

Sono di semplice utilizzo.

Vengono ampiamente usati per saldare acciai dolci, anche in costruzioni molto complesse.

**Componenti**

Ossidi di titanio 50%, ferro-leghe 15%, scorificanti a base di silicio 35%.

L'ossido di titanio agevola la fluidità del bagno durante il deposito del materiale, e questa fluidità spiega le qualità estetiche del cordone realizzato.

**Facilità di maneggio**

Ottima, in tutte le posizioni di saldatura. Esistono vari tipi di elettrodi a rivestimento al rutilo, alcuni più adatti per la saldatura in piano, altri per la saldatura in posizione.

**Azione depurante**

Praticamente nulla.

**Sviluppo di idrogeno**

Notevolmente alto; di conseguenza gli elettrodi rivestiti al rutilo sono adatti a saldare acciai dolci.

**Tipo di corrente**

In c.c., con entrambe le polarità, e in c.a.

Questi elettrodi assicurano una buona stabilità all'arco.

**Proprietà della scoria**

Scoria di facile asportazione e ben rifusibile. Gli elettrodi rivestiti al rutilo possono essere a bagno più caldo, e allora la scoria si presenta più fluida e di più facile asportazione, oppure a bagno più freddo, e in questo caso la scoria appare più densa e viscosa.

**Elettrodi a rivestimento ossidante**

Il rivestimento è detto ossidante perché contiene in quantità preponderante (dal 50 al 70%) ossido di ferro sotto forma di magnetite e oligisto. Tali sostanze tendono a ossidare il bagno di fusione.

Sono elettrodi molto economici e di facile uso, ma sono adatti solo per saldature in piano.

Grazie al forte contenuto di ossidi, sono dotati di un rendimento molto elevato e un innesco molto rapido: l'arco si innesca al primo contatto dell'elettrodo col pezzo.

Per questa caratteristica sono particolarmente adatti alle saldature di serramenti, di piccoli pezzi e per lavori correnti.

Le proprietà meccaniche del cordone sono assai scarse.

**Componenti**

Ossido di ferro sotto forma di magnetite e oligisto dal 50 al 70%. Oltre all'ossido di ferro contengono solo scorificante siliceo, sotto forma di quarzo, fosfati e caolino.

**Facilità di maneggio**

Molto buona.

Il bagno è molto fluido e per questo motivo gli elettrodi sono adatti solo per saldature in piano.

**Azione depurante**

Nulla.

**Sviluppo di idrogeno**

Assai scarso, perché il rivestimento non è igroscopico.

**Tipo di corrente**

c.c., con la polarità normale, e c.a.

**Proprietà della scoria**

Di facile asportazione.

**Rendimento degli elettrodi**

Si intende per rendimento di un elettrodo il rapporto fra il peso  $P_1$  del metallo deposto e il peso  $P$  dell'anima dell'elettrodo, espresso in percentuale.

Il rendimento  $R$  è quindi dato dalla formula:

$$R = \frac{P_1}{P} \cdot 100.$$

Il rendimento di un elettrodo normale varia fra l'80 e il 95%. Questo perché una parte del materiale depositato volatilizza all'elevata temperatura dell'arco e si disperde nell'ambiente.

In pratica, per calcolare il rendimento di un elettrodo si deve:

- conoscere il peso dell'elettrodo privo del rivestimento (peso  $P$  dell'anima dell'elettrodo);
- pesare il pezzo prima e dopo la saldatura, ottenendo per differenza il peso  $D$  del materiale deposto;
- calcolare il peso  $M$  del mozzicone avanzato da sottrarre al peso  $P$  dell'anima intera;
- calcolare infine il rendimento come rapporto fra il peso  $D$  del materiale deposto e il peso dell'anima effettivamente fusa, secondo la formula:

$$R = \frac{D}{P - M} \cdot 100.$$

**Esempio**

Si prende una piastra A del peso di 2.000 g, e tre elettrodi B del peso, escluso il rivestimento, di 100 g ciascuno. Si bruciano i tre elettrodi sulla piastra. Se dopo la saldatura la piastra viene a pesare 2.200 g il deposito D risulta:

$$2.200 - 2.000 = 200 \text{ g.}$$

Si pesano poi i tre mozziconi di elettrodo rimasti, che danno un peso complessivo, escluso il rivestimento, di 40 g.

Il peso  $P_1$  del ferro effettivamente impiegato nella saldatura è dato dal peso dell'anima dei tre elettrodi meno il peso dei tre mozziconi:

$$P_1 = 300 - 40 = 260 \text{ g.}$$

Il rendimento in questo caso è:

$$R = \frac{200}{260} \cdot 100 = 77\%.$$

**Elettrodi a elevato rendimento**

Sono elettrodi al rutilo o basici o neutri, che però contengono nel rivestimento minerali di ferro, oltre ai soliti elementi.

Nel bagno di fusione tali minerali di ferro vanno ad aggiungersi al metallo d'apporto fornito dall'anima dell'elettrodo, aumentando la quantità di metallo deposto.

Il metallo contenuto nel rivestimento permette a questi elettrodi di ottenere un rendimento superiore al 100%, che può arrivare fino al 160%.

La polvere di ferro contenuta negli elettrodi a elevato rendimento permette di ridurre la corrente necessaria alla fusione del metallo d'apporto.

Anche l'innesco risulta più facile perché si ottiene col semplice strisciamento del rivestimento sul pezzo da saldare.

Gli elettrodi a elevato rendimento sono impiegati per la saldatura sia in piano che in angolo.

Poiché permettono una forma di penetrazione più profonda al centro e più lieve alle estremità, sono particolarmente adatti per la saldatura in angolo.

### Elettrodi a forte penetrazione

Si definiscono a forte penetrazione quegli elettrodi che sono in grado di saldare a penetrazione totale uno spessore pari al diametro dell'elettrodo più due millimetri.

Per esempio, un elettrodo di  $\varnothing 4$  mm dovrebbe avere una penetrazione di  $4 + 2 = 6$  mm, per essere classificato a forte penetrazione.

Il rivestimento di questi elettrodi è in genere al rutilo con una percentuale di cellulosa.

Tale rivestimento permette di raggiungere elevate tensioni e forti concentrazioni d'arco, così da garantire una penetrazione quasi doppia rispetto a quella normale.

Con questi elettrodi è però difficile ottenere un cordone costante e omogeneo.

La forte penetrazione di questi elettrodi permette la saldatura testa a testa di spessori di acciaio fino a 5 mm, senza lo smusso di preparazione.

Gli elettrodi a forte penetrazione sono sconsigliati per la saldatura di lamiera che contengono impurità.

### Scelta dell'elettrodo

Sono numerosi i fattori che bisogna considerare nello scegliere il tipo di elettrodo più adatto alla saldatura da seguire.

I principali sono:

- le caratteristiche del metallo base;
- lo spessore dei pezzi da unire;
- la saldatrice a disposizione (a c.a. o a c.c.);
- la posizione di saldatura;
- la forma del cordone che si vuole realizzare;
- la proprietà della scoria;
- il grado di resistenza che deve presentare il giunto saldato ecc.

Non sempre è possibile avere a disposizione gli elettrodi più adatti per ogni tipo di lavorazione, bisogna quindi scegliere quelli che presentano caratteristiche che si avvicinano maggiormente a quelle ideali.

In ogni caso, scelto un tipo di elettrodo e verificato che la scorta sia sufficiente a completare il lavoro in corso, è indispensabile attenersi alle istruzioni della ditta costruttrice, così da sfruttare appieno le sue proprietà.

In particolare, ogni tipo di elettrodo richiede un'intensità di corrente adeguata, che dipende soprattutto dal suo diametro.

Gli elettrodi possono essere di diverse lunghezze. Generalmente oltre il  $\varnothing 3,25$  presentano lunghezza di 450 mm.

Aldisotto del  $\varnothing 3,25$  vengono usati elettrodi lunghi 300 mm.

Con la lunghezza di 300 mm l'elettrodo è più maneggevole, però deve essere cambiato più frequentemente.

### Scelta del diametro dell'elettrodo

La scelta del diametro dell'elettrodo dipende principalmente dallo spessore dei pezzi da unire e dal tipo di preparazione dei lembi.

In generale maggiore è lo spessore da saldare, maggiore dovrà essere il diametro dell'elettrodo.

Se però i lembi sono, per esempio, preparati a V, e la saldatura deve essere eseguita in più passate, converrà usare per la prima passata un elettrodo di diametro minore, che assicuri una buona penetrazione al vertice, e un elettrodo più spesso per le passate successive.

Gli elettrodi più facilmente reperibili in commercio hanno il diametro dell'anima che varia da 2 a 6 mm.

I più usati sono quelli aventi diametri 2,5 - 3,25 - 4 - 5 mm.

### Scelta dell'intensità di corrente

L'intensità di corrente deve essere regolata di volta in volta, a seconda del diametro dell'elettrodo impiegato.

Allo scopo, tutte le saldatrici sono dotate di dispositivi per la regolazione della corrente.

La regolazione può essere a gradini, con una serie di prese a ognuna delle quali corrisponde un certo valore dell'intensità di corrente.

Oppure la regolazione è continua e viene realizzata mediante manopole o volantini.

Talvolta le saldatrici possiedono più di un organo di regolazione (per es. regolazione grossolana e regolazione fine).

In genere, per ogni tipo di elettrodo e per ogni diametro, il costruttore stabilisce i limiti inferiore e superiore entro i quali va mantenuta l'intensità di corrente.

Nella **tabella 1** sono riportati i valori minimi e massimi di intensità di corrente, a seconda del diametro dell'elettrodo, sia per gli elettrodi a rivestimento acido sia per quelli a rivestimento basico.

In generale il valore della corrente deve essere circa  $40 \div 50$  A per ogni mm di diametro dell'elettrodo.

**Tabella 1**

Valori di corrente  
in funzione del diametro  
dell'elettrodo.

Diametro elettrodo (mm)	Intensità di corrente (A)	
	Rivestimento acido	Rivestimento basico
1	40 - 50	40 - 50
1,50	50 - 60	50 - 60
2	60 - 85	60 - 80
2,5	80 - 120	80 - 100
3,25	110 - 160	100 - 150
4	150 - 220	140 - 200
5	190 - 300	200 - 260
6	250 - 380	220 - 320

L'uso di un'adeguata intensità di corrente è fondamentale per la buona riuscita di una saldatura.

Un'intensità di corrente esagerata provoca una eccessiva fusione del metallo base con pericoli di sfondamento; il deposito di materiale risulta eccedente; ai lati del cordone possono prodursi incisioni marginali ecc.

Con un'intensità di corrente troppo bassa si riduce la penetrazione; il deposito risulta scarso; l'insufficiente fusione del metallo base favorisce le incollature ecc.

All'interno dei limiti consigliati, il valore corretto dell'intensità di corrente verrà fissato dall'operatore tenendo conto dello spessore della lamiera, della posizione di saldatura, del tipo di preparazione dei lembi ecc.

Per esempio, i valori più bassi delle intensità di corrente consigliate per un dato diametro dell'elettrodo potranno essere adottati per spessori limitati, oppure, a parità di spessore, nel caso di saldature in posizione o quando i lembi sono preparati con smussi a V o a X.

Per spessori maggiori, oppure, a parità di spessore, per saldature in piano o con giunti a lembi dritti, è necessario adottare i valori più alti delle intensità di corrente consigliate per un dato diametro dell'elettrodo.

### Tecnica della saldatura ad arco

#### Innesco dell'arco

Una volta scelto l'elettrodo, in base allo spessore da saldare e al metallo di base, e verificato che l'impianto sia in ordine, si chiude l'interruttore di linea e si avvia la macchina regolandola in modo che essa eroghi la corrente appropriata per il diametro dell'elettrodo adottato.

Si inserisce l'estremità non rivestita dell'elettrodo nella pinza portaelettrodo.

Si procede quindi all'operazione di innesco dell'arco.

Si porta l'estremità libera dell'elettrodo, inclinato di circa  $75 \div 80^\circ$ , fino a pochi millimetri dal metallo base. Si innesca l'arco sfregando leggermente l'estremità dell'elettrodo sul pezzo, con movimento tangenziale, come per accendere un fiammifero (**fig. 1**).

Talvolta è necessario battere ripetutamente l'elettrodo contro il pezzo.

Si solleva quindi rapidamente l'elettrodo a pochi millimetri dal pezzo in modo che l'arco si stabilizzi.

Se il movimento non è sufficientemente rapido l'elettrodo si incolla al pezzo: in tal caso staccarlo con un brusco movimento laterale.

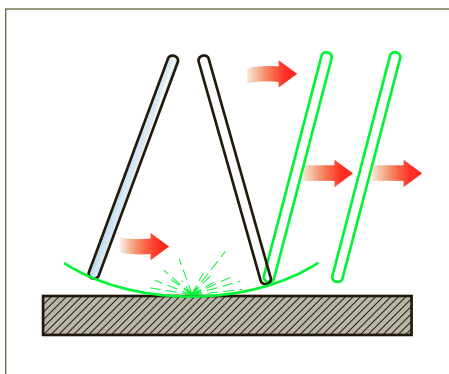


Figura 1

Innesco dell'arco.

### Lunghezza dell'arco

L'esperienza suggerisce qual è la lunghezza dell'arco (distanza fra la punta dell'elettrodo e il pezzo base) da adottare a mantenere in funzione del diametro dell'elettrodo.

In generale la lunghezza dell'arco deve essere pressapoco uguale al diametro dell'elettrodo impiegato. Naturalmente man mano che si procede nel deposito del cordone l'elettrodo si consuma e quindi l'operatore deve abbassare con regolarità la pinza portaelettrodo, per mantenere sempre la stessa lunghezza dell'arco.

Un arco troppo corto può dare luogo a inclusioni del rivestimento dell'elettrodo nel deposito e favorire l'incollamento dell'elettrodo sul pezzo.

Caratteristico è il rumore prodotto da un arco troppo corto (arco che frigge).

Un arco troppo lungo disperde il calore e dà luogo a gocce di metallo d'apporto troppo grosse, che generano un cordone irregolare.

Inoltre l'arco troppo lungo tende a spegnersi facilmente.

Nelle saldature in posizione, per esempio verticali o sopratesta, l'arco dovrà essere mantenuto il più corto possibile, per evitare la caduta per gravità di gocce di metallo fuso.

### Inclinazione dell'elettrodo

L'elettrodo va mantenuto sempre in posizione simmetrica rispetto alle due superfici da unire, cioè nel piano passante per la bisettrice dell'angolo formato dai due pezzi e per la retta lungo la quale va depositato il cordone.

L'elettrodo va invece leggermente inclinato rispetto alla direzione di avanzamento, formando un angolo di circa  $70 \div 80^\circ$ .

Le ragioni per le quali bisogna dare questa leggera inclinazione all'elettrodo dipendono soprattutto dal fenomeno dei cosiddetto soffio magnetico (particolarmente sensibile quando si impiega corrente continua).

Inoltre l'inclinazione facilita il galleggiamento della scoria sul bagno di fusione, evitando che essa resti imprigionata nel metallo depositato come illustrato in **figura 2**.

a) Posizione dell'elettrodo nella saldatura in piano su giunto testa a testa.

b) Posizione dell'elettrodo nella saldatura d'angolo.

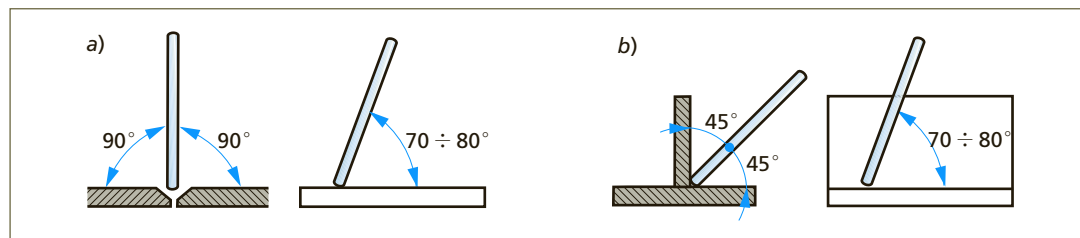


Figura 2

Inclinazione dell'elettrodo.

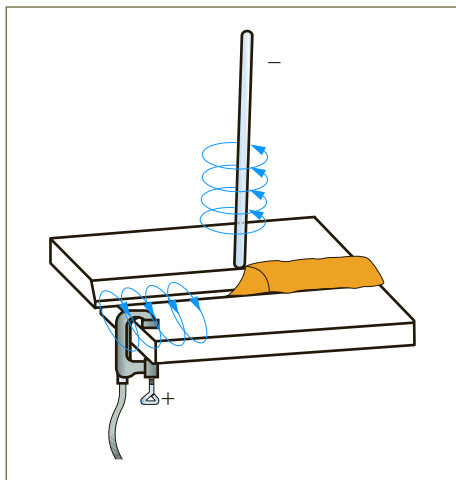
### Fenomeno del soffio magnetico

Nella saldatura ad arco in corrente continua si genera un notevole campo magnetico attorno al conduttore pezzo e attorno al conduttore elettrodo, per effetto della forte corrente che li attraversa.

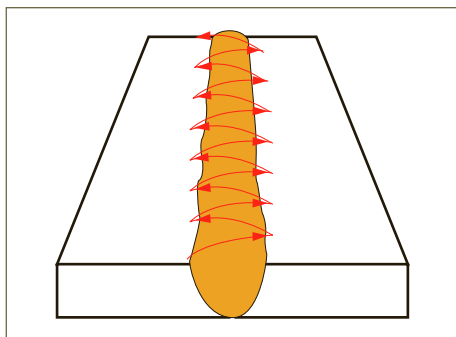
Poiché le linee di forza del campo magnetico cambiano bruscamente di direzione passando dal pezzo orizzontale all'elettrodo verticale, l'arco risulta deviato, assumendo una direzione inclinata che impedisce la corretta fusione del metallo base.

Questo fenomeno prende il nome di soffio dell'arco o soffio magnetico.

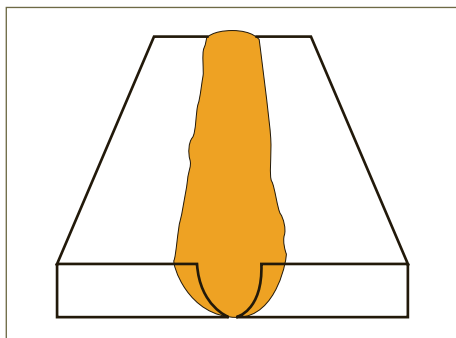


**Figura 3**

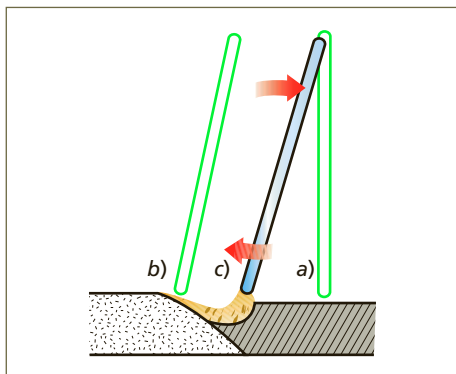
Fenomeno del soffio magnetico.

**Figura 4**

Cordone stretto.

**Figura 5**

Cordone largo.

**Figura 6**

Ripresa del cordone di saldatura.

Il fenomeno è particolarmente sensibile in prossimità degli estremi del giunto da saldare e si accentua ulteriormente quando l'elettrodo si trova nei pressi del morsetto (**fig. 3**). Per ridurre o annullare il dannoso effetto del soffio dell'arco è necessario inclinare l'elettrodo in modo da compensare la deviazione dovuta al campo magnetico. Il sistema più efficace è sistemare un tallone agli estremi del giunto.

Il fenomeno del soffio magnetico non si verifica quando si impiega la corrente alternata, che cambia di direzione lungo il circuito, rapidamente e con frequenza regolare. Cambia di conseguenza, con la stessa frequenza, la direzione delle linee di forza del campo magnetico generato e quindi l'arco non risulta deviato.

### Movimento dell'elettrodo

Nelle saldature in cui è sufficiente un cordone stretto, si può procedere con un movimento lineare dell'elettrodo (**fig. 4**). Qualora si tratti, invece, di depositare cordoni più larghi, per poter meglio distribuire il metallo di apporto su tutta la larghezza richiesta, bisogna avanzare facendo eseguire all'arco un movimento a zig-zag.

Movimenti più complessi sono richiesti per saldature in posizione e su pezzi di notevole spessore con lembi smussati.

Col movimento a zig-zag, il cratere si sposta seguendo il movimento dell'elettrodo e la penetrazione avviene su tutta la larghezza del cordone.

Si deve tuttavia tener presente che, mentre al centro del cordone si passa con l'arco due volte (andata e ritorno), sui lati si passa una volta sola, per cui, se si vuole ottenere un deposito di spessore uniforme, bisogna soffermarsi di più sui lati che sul centro.

In ogni caso la larghezza dello spostamento trasversale non deve superare il valore di  $4 \div 5$  volte il diametro dell'anima dell'elettrodo.

Si potrebbe pensare che, per allargare il cordone, sia sufficiente procedere più lentamente e senza bisogno di alcun movimento oscillante.

Una saldatura così eseguita, anche se presenta un aspetto regolare, manca invece di penetrazione.

Con avanzamento lento e lineare, il cratere si forma al centro del cordone e la saldatura si allarga solo in quanto il metallo fuso, dopo aver riempito completamente il cratere, si riversa sui lati, depositandosi però sul materiale ancora solido.

La penetrazione avviene quindi unicamente al centro del cordone, mentre sui lati si verifica una semplice incollatura, come mostra la **figura 5**.

### Spegnimento dell'arco e ripresa della saldatura

Una fase delicata dell'operazione di saldatura è lo spegnimento dell'arco al termine del deposito del cordone.

Allontanando bruscamente l'elettrodo dal giunto si determina infatti un foro sull'ultimo bagno di fusione, detto cratere, che costituisce un difetto, più o meno grave a seconda delle dimensioni del cratere stesso.

Per ovviare all'inconveniente è necessario allontanare l'elettrodo gradualmente, nel senso dell'avanzamento, o anche lateralmente aumentando progressivamente la lunghezza dell'arco.

Un altro sistema può consistere nell'allontanare rapidamente l'arco, senza tuttavia spegnerlo.

Lo si riporta quindi subito indietro sul cratere, fino a riempirlo con rapidi movimenti oscillatori dell'elettrodo.

Infine si interrompe l'arco.

Spesso si presenta la necessità di riprendere un cordone interrotto per il cambio dell'elettrodo, o per una pausa, o per altre ragioni.

Se per esempio la scoria sopravanza l'arco è necessario sospendere la saldatura.

Prima di riprendere il deposito del cordone occorre asportare accuratamente la scoria con la martellina e la spazzola.

Si innesca poi l'arco, come mostrato in figura, un po' avanti rispetto al cratere lasciato all'estremità del cordone precedente (**fig. 6a**).

Si procede quindi verso il cordone con arco lungo fino a sopravanzare di poco il cratere (**fig. 6b**). Si riabbassa infine l'elettrodo, ristabilendo la lunghezza d'arco normale, e si riprende a depositare il cordone (**fig. 6c**).



## Eliminazione della scoria

La scoria che è servita a proteggere il bagno di fusione, e quindi il cordone, nella fase di solidificazione e raffreddamento, deve poi essere eliminata.

Per questa operazione viene impiegata la picchetta, che va manovrata sia con la punta per rompere la scoria, sia con il tagliente per asportarla.

Il giunto viene infine pulito impiegando la spazzola con fili di ferro, con la funzione anche di asportare i piccoli residui di scoria rimasti sul cordone.

L'asportazione della scoria e la pulitura del cordone devono essere eseguite anche prima di procedere a una nuova passata sopra un cordone già depositato, sia nel caso di una ripresa, sia nel caso di saldature in più passate.

## Esempi di tecniche di saldatura dell'arco

### Saldatura in piano su giunti di testa

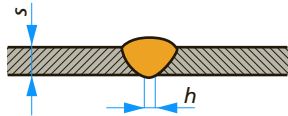
La saldatura in piano è quella che presenta minori difficoltà di esecuzione.

Quando è possibile i pezzi da saldare vanno disposti in piano.

L'intensità di corrente va mantenuta sui valori più alti consentiti dal diametro dell'elettrodo adottato.

Per spessori fino a  $4 \div 5$  mm i lembi vengono preparati diritti e la saldatura viene eseguita in una sola passata.

Nella **figura 7** sono riportati i dati principali della preparazione dei lembi e del diametro dell'elettrodo per spessori fino a 5 mm.



s	h	Ø elettrodo
2	$0 \div 0,5$	2
3	$0,5 \div 1,5$	2,5
4	$1 \div 2$	3,25
5	$2 \div 2,5$	$3,25 \div 4$

**Figura 7**

Saldatura con piano.

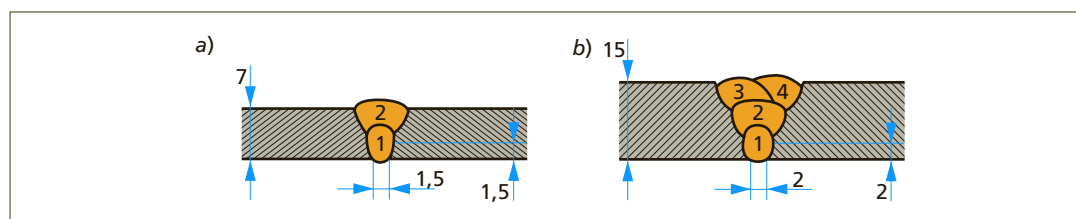
### Saldatura in più passate

Per spessori superiori a 5 mm è necessario preparare i lembi a V ed eseguire la saldatura in più passate. Fino a  $8 \div 9$  mm conviene eseguire due passate sovrapposte.

Per spessori maggiori di 9 mm l'esecuzione che garantisce le migliori caratteristiche meccaniche del giunto prevede, dopo la seconda passata sovrapposta alla prima, altre due passate sullo stesso piano ed eventualmente, per riempire completamente il V, ancora altre due o tre passate disposte su un altro piano.

In **figura 8** è illustrata l'esecuzione in più passate.

- |                                 |                                       |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| a) Spessore 7 mm                | b) Spessore 15 mm                     |
| Passate: 2 sovrapposte          | Passate: 4 disposte come in figura    |
| Ø elettrodo 1ª passata: 3,25 mm | Ø elettrodo 1ª passata: 3,25 mm       |
| Ø elettrodo 2ª passata: 4 mm.   | Ø elettrodo passate successive: 4 mm. |



**Figura 8**

Saldatura in più passate.

### Osservazioni sulle saldature in più passate

Prima di eseguire una nuova passata è necessario asportare la scoria e pulire accuratamente il cordone precedentemente depositato.

Nelle saldature in più passate, bisogna assolutamente evitare che le riprese eseguite quando si deposita uno strato si sovrappongano a quelle effettuate nello strato precedente, ciò perché, a ogni ripresa, si verifica sempre un piccolo rigonfiamento del cordone, che costituisce un punto debole della saldatura. Se per esempio il deposito del primo cordone è stato interrotto per il cambio dell'elettrodo dopo 200 mm dalla estremità del pezzo, nella passata successiva la ripresa dovrà essere eseguita a 150 o a 250 mm, ma in ogni caso mai sopra la precedente.

L'ultimo strato deve formare sulla saldatura un leggero colmo, la cui altezza non deve superare un decimo dello spessore della lamiera.

Altezze superiori costituirebbero solo spreco di materiale, perché la resistenza della saldatura risulterebbe addirittura superiore alla resistenza della lamiera stessa, e non avrebbe perciò alcuna utilità.

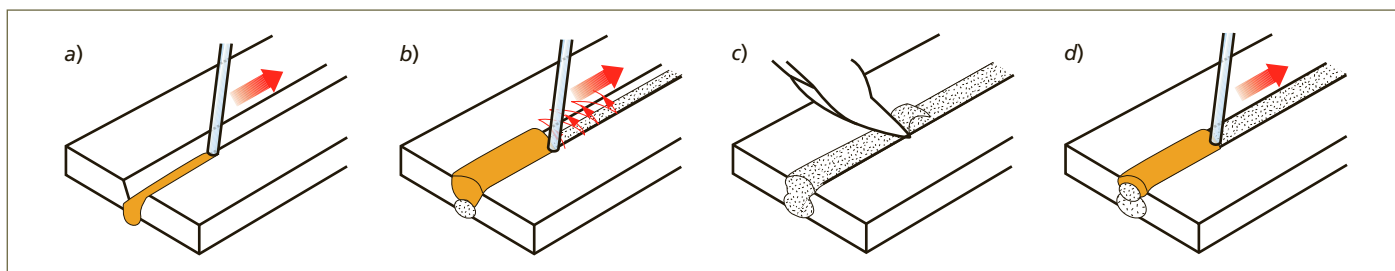
### Ripresa al rovescio

Ogni qualvolta è possibile saldare dalle due parti è consigliabile eseguire una ripresa al rovescio. In **figura 9** sono mostrate due passate con ripresa su lamiera di circa 8 mm di spessore.

**Figura 9**

Ripresa al rovescio.

- Si effettua la prima passata con elettrodo  $\varnothing 3,25$  e avanzamento rettilineo.
- Si esegue la seconda passata con elettrodo  $\varnothing 4$  mm e avanzamento a zig-zag.
- Rovesciate le lamiera, si solca il vertice del V con uno scalpello creando un piccolo smusso.
- Si esegue la ripresa al rovescio con elettrodo  $\varnothing 3,25$  e avanzamento rettilineo.



### Saldatura d'angolo

Le saldature ad angolo si effettuano su giunti a L o a T o su giunti d'angolo esterno.

Per spessori di lamiera inferiori a 5 mm, la saldatura d'angolo può essere eseguita in una sola passata, con intensità di corrente mantenuta sui valori più alti tra quelli consigliati per l'elettrodo impiegato, con arco piuttosto corto e avanzamento rettilineo.

Possono essere eseguite in piano, posizionando le lamiera a  $45^\circ$  rispetto al piano di lavoro (**fig. 10a**).

In generale però queste saldature vengono eseguite con una lamiera in posizione orizzontale e l'altra in posizione verticale (**fig. 10b**).

In questo caso non si tratta di una vera e propria saldatura in piano, ma piuttosto di una saldatura piano frontale.

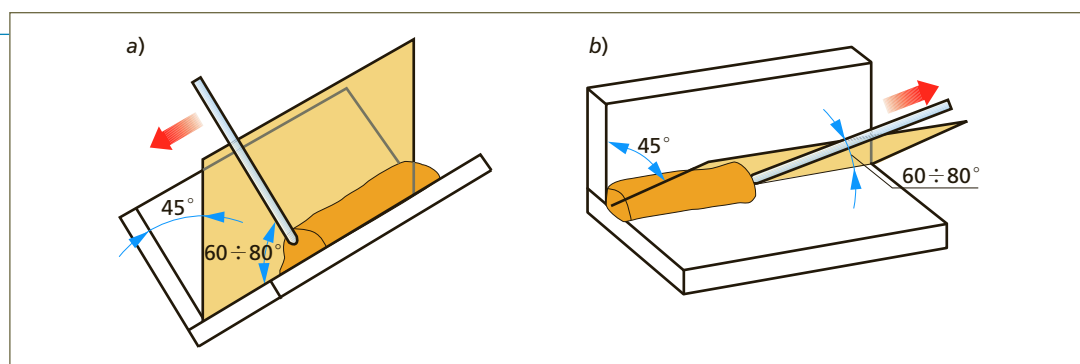
Il materiale d'apporto infatti non viene depositato dall'alto, ma secondo una direzione inclinata.

L'elettrodo anziché su un piano verticale, va tenuto su un piano inclinato.

L'elettrodo in ogni caso va inclinato nella direzione dell'avanzamento, di un angolo che può variare da  $60$  a  $80^\circ$ .

**Figura 10**

Saldatura d'angolo.



### Saldature d'angolo in più passate

Per spessori di lamiera superiori a  $5 \div 6$  mm si devono eseguire più passate.

Nel caso di due passate, la prima deve penetrare bene al vertice ed estendersi maggiormente lungo la faccia orizzontale.

Quindi va asportata la scorta con molta cura e va depositato il secondo cordone sopra al primo, in modo tale che il lato verticale risulti alla fine uguale a quello orizzontale.

Generalmente la saldatura d'angolo più efficace è quella eseguita in tre o più passate, a seconda dello spessore dei pezzi.

In **figura 11** è illustrato un esempio di saldatura d'angolo in tre passate.

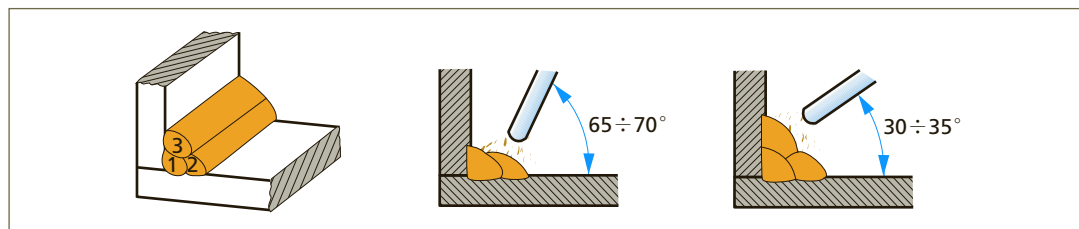
Il primo strato deve essere depositato come se si trattasse di una saldatura a una sola passata.

Nella seconda passata l'inclinazione laterale dell'elettrodo è minore ( $65-70^\circ$  rispetto al piano orizzontale).

Il cordone deve essere depositato in modo da penetrare per metà sul cordone precedente e per metà sul pezzo inferiore.

Si deve prestare attenzione che il secondo cordone non venga depositato prevalentemente sulla lamiera orizzontale.

Nella terza passata il cordone deve penetrare sui due cordoni precedenti e contemporaneamente sulla lamiera verticale. L'inclinazione laterale deve essere di  $30 \div 35^\circ$  rispetto al piano orizzontale.



**Figura 11**

Saldatura d'angolo in tre passate.

### Difetti delle saldature d'angolo

Occorre fare attenzione che non si formino incisioni marginali, particolarmente facili a verificarsi sulla faccia verticale.

D'altra parte bisogna verificare di non allontanare troppo la punta dell'elettrodo dalla parete verticale. Se ciò avvenisse la scoria sopravanzerebbe l'elettrodo e verrebbe a incunearsi fra la parete e il metallo di apporto.

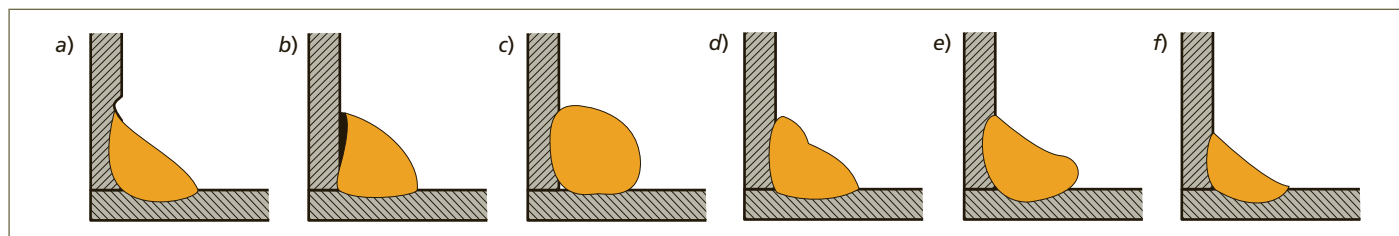
Di conseguenza il cordone potrebbe penetrare solamente sul pezzo orizzontale e la saldatura sarebbe inefficace.

In **figura 12** sono mostrate alcune forme di cordoni d'angolo da evitare.

- a) Solco (incisione) al raccordo superiore.
- b) Inclusione di scoria sulla parete verticale.
- c) Cordone eccessivamente convesso.
- d) Cattivo raccordo delle passate.
- e) Profilo a sacca.
- f) Lato verticale insufficiente.

**Figura 12**

Cordoni d'angolo da evitare.



### Saldatura a sovrapposizione

La tecnica per eseguire le saldature a sovrapposizione è molto simile a quella utilizzata nella saldatura d'angolo.

Come per quest'ultima, la preparazione più usata è quella a lembi retti.

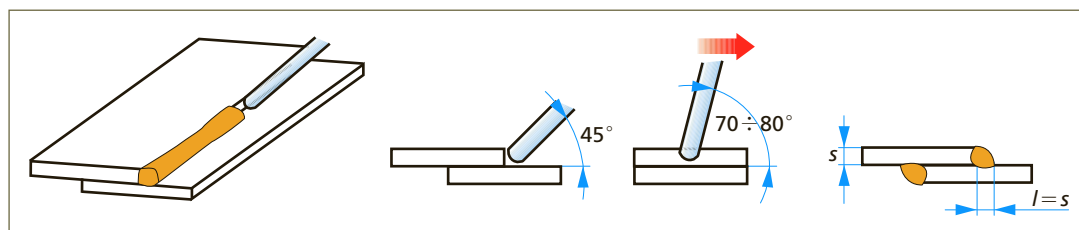
Si adottano velocità di avanzamento maggiori e intensità di corrente più elevate di quelle previste per la saldatura in piano, non essendovi pericoli di sfondamento.

L'elettrodo deve essere tenuto inclinato di circa  $45^\circ$  rispetto al piano orizzontale, e di circa  $70-80^\circ$  rispetto alla direzione di avanzamento (**fig. 13**).

Bisogna prestare attenzione a non fondere lo spigolo superiore del giunto, per non diminuire la resistenza della saldatura.

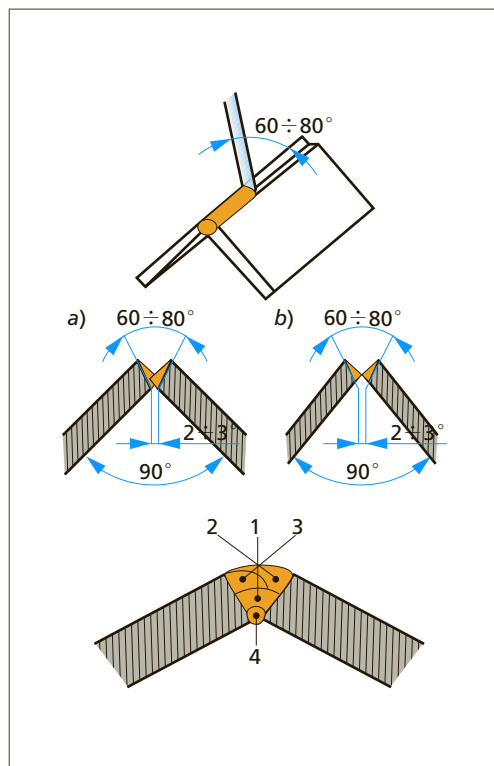
Quando è possibile conviene sempre saldare anche all'altro estremo della sovrapposizione.

Il lato orizzontale del cordone deve sempre risultare uguale o maggiore del lato verticale, cioè dello spessore della lamiera.



**Figura 13**

Saldatura a sovrapposizione.

**Figura 14**

Saldatura d'angolo esterno.

### Saldatura d'angolo esterno o di spigolo

La saldatura d'angolo esterno, o di spigolo, viene eseguita posizionando, se è possibile, i pezzi in modo che il cordone venga depositato in piano.

L'intensità di corrente va mantenuta sui valori medi consigliati per l'elettrodo adottato, per evitare il pericolo di sfondamento.

Nei caso di più passate l'intensità di corrente potrà essere più elevata nelle passate successive alla prima. Per spessori fino a 5 mm non è necessario smussare i lembi. Per spessori maggiori e per angoli tra i due pezzi superiori (fig. 14a) o inferiori (fig. 14b) a 90°, la zona destinata al deposito del cordone risulterebbe rispettivamente troppo ristretta o troppo estesa, per cui è opportuno smussare i lembi in modo che formino in entrambi i casi un angolo di circa 60-80°.

Per spessori superiori a 5 ÷ 6 mm devono essere eseguite più passate, secondo la tecnica seguita nella saldatura in piano su lamiere con bordi smussati.

Verificare di non fondere gli spigoli esterni del giunto.

Ogni qual volta è possibile, è conveniente eseguire una ripresa al rovescio all'interno dell'angolo formato dai pezzi.

### Saldatura orizzontale-frontale

La saldatura orizzontale-frontale, comunemente detta in cornice, è piuttosto difficile. Richiede sicurezza di mano e molto esercizio.

Fino a 4 mm di spessore si può saldare a lembi retti e, se possibile, con due passate contrapposte.

Per 4 ÷ 8 mm di spessore è meglio preparare i lembi a V e, se possibile, eseguire una ripresa al rovescio.

Per spessori superiori a 6 ÷ 8 mm è necessario saldare in più passate.

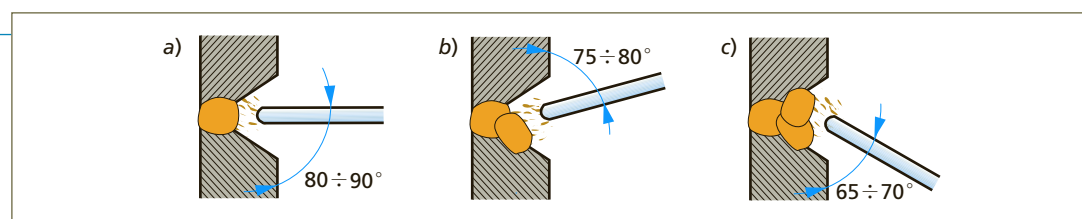
Nella prima passata l'elettrodo va mantenuto quasi orizzontale, con la punta leggermente inclinata verso l'alto (fig. 15a).

L'avanzamento avviene sempre da sinistra verso destra, con arco molto corto, e con movimento partcolare dell'elettrodo, allo scopo di riportare in alto le gocce di metallo liquido che sfuggono.

Nelle passate successive l'elettrodo va inclinato verso l'alto o verso il basso, a seconda che il cordone venga appoggiato al lembo superiore o a quello inferiore (fig. 15b e c).

**Figura 15**

Saldatura orizzontale-frontale.



### Saldatura in verticale

La saldatura di lamiere disposte verticalmente, con giunti sia testa a testa sia d'angolo, può essere eseguita procedendo dal basso verso l'alto (saldatura ascendente o montante) oppure dall'alto verso il basso (saldatura discendente).

Le saldature in verticale sono di esecuzione piuttosto difficile e richiedono pratica e abilità da parte dell'operatore.

In generale nelle saldature verticali, rispetto alle saldature in piano, l'arco va mantenuto più corto, l'intensità di corrente più bassa e i cordoni dovranno essere di dimensioni minori.

### Saldatura verticale ascendente o montante

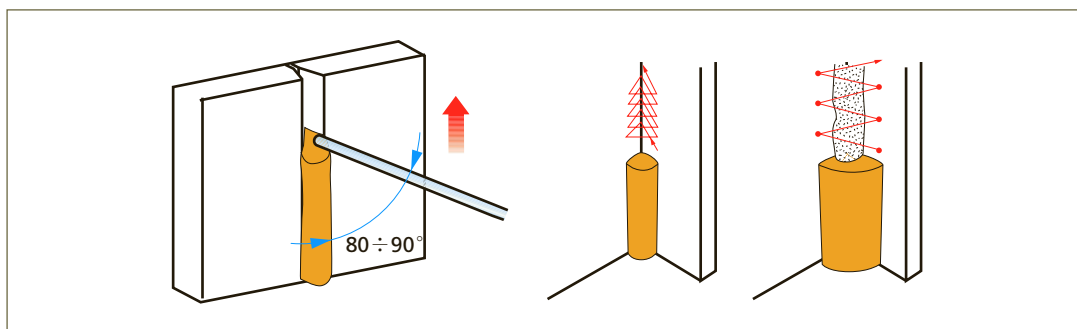
La saldatura ascendente viene adottata soprattutto per spessori superiori agli 8 mm, perché assicura una migliore penetrazione.

Il metallo depositato funge da appoggio al bagno di fusione e facilita il lavoro di saldatura.

L'elettrodo va mantenuto in posizione orizzontale con la punta rivolta leggermente verso l'alto e deve avanzare con movimenti oscillanti.

In figura 16 sono mostrati due esempi di movimenti compiuti dall'elettrodo, nella prima e nella seconda passata di una saldatura verticale su giunto d'angolo, eseguita con il metodo ascendente.

A ogni vertice del percorso a zig-zag della seconda passata è prevista una brevissima sosta, al fine di evitare le incollature sulle fasce laterali del cordone.

**Figura 16**

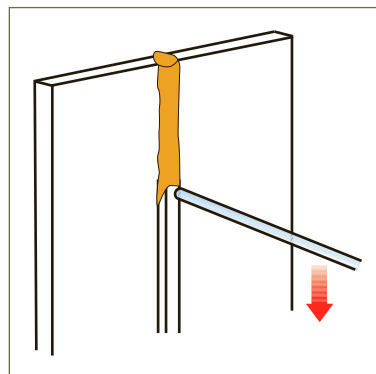
Saldatura verticale ascendente montante.

### Saldatura verticale discendente

La saldatura discendente viene eseguita prevalentemente su pezzi di spessore inferiore a  $6 \div 8$  mm.

Poiché il bagno di fusione è privo di sostegno al di sotto, è necessario procedere rapidamente con un arco molto corto e depositando un cordone di dimensioni limitate.

Questa tecnica serve a evitare lo spreco di materiale, causato dalla caduta per gravità delle gocce di metallo sfuggite dal bagno di fusione, e inoltre serve a impedire che la scoria sopravanzi il metallo fuso, dando luogo a dannose inclusioni. L'elettrodo va mantenuto nel piano orizzontale (fig. 17) o con la punta leggermente inclinata, e deve avanzare in direzione rettilinea, o con oscillazioni rapidissime e molto ridotte.

**Figura 17**

Saldatura verticale discendente.

### Saldatura sopra testa

È una posizione di saldatura difficile, che richiede molta pratica da parte del saldatore. Quando è possibile, è preferibile evitarla.

L'arco deve essere tenuto il più corto possibile e l'intensità di corrente limitata (fig. 18).

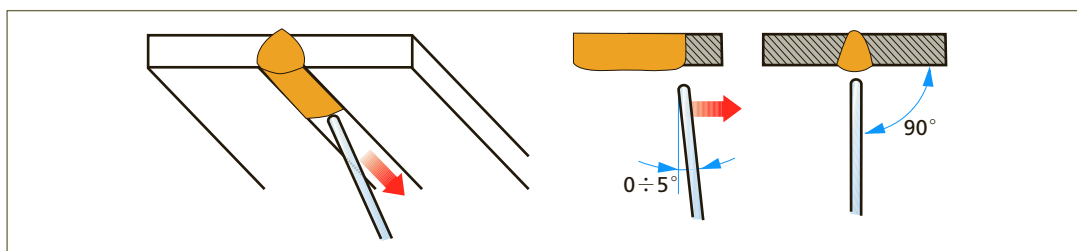
Se il bagno di fusione tende a cadere si deve ridurre subito la corrente.

L'elettrodo va mantenuto in posizione verticale o, al più, con una piccola inclinazione nella direzione dell'avanzamento.

Poiché vi è pericolo di caduta di metallo fuso, il saldatore deve avere molta cura nell'indossare gli indumenti protettivi.

Deve proteggersi il collo e la testa.

Non deve saldare con le maniche rimboccate.

**Figura 18**

Saldatura sopra testa.