



Guida alla
saldatura TIG
Narrow Gap

2013 - Edizione originale: Polysoude S.A.S. Nantes, France

Foto, progetti e disegni sono utilizzati per aiutare la comprensione e dunque non sono contrattuali.

Tutti i diritti riservati. Riproduzione totale o parziale vietata, sotto ogni formato o con ogni mezzo, elettronico o meccanico, includendo fotocopie, registrazioni, o tecniche computerizzate, senza l'autorizzazione dell'editore.

Stampato in Italia.

Edito da Polysoude, Nantes, Francia.

www.polysoude.com info@polysoude.com



INDICE

1. Prefazione	5
2. Prerequisiti per la saldatura TIG	6
3. Saldatura TIG ad alte intensità di corrente	6
3.1. Generale	6
3.2. Particolarità degli impianti	7
3.3. Correnti di saldatura	7
4. Applicazioni	10
4.1. Limite di redditività del Narrow Gap	10
4.2. Spessori da 30 a 300mm	12
5. Design della torcia	14
5.1. Torce Narrow Gap NG-V2 e V3	16
5.2. Torce Narrow Gap NG-7	17
5.3. Torce (oscillanti) Narrow Gap NG-OSC	19
5.4. Integrazione della funzione video	19
5.5. Caso specifico di torce tradizionali con ugelli motorizzati	22
5.6. Validazione delle prove della torcia Narrow Gap	23
6. Tecniche di saldatura Narrow Gap	24
6.1. TIG filo caldo o filo freddo	25
6.2. Strategia di riempimento	26
6.3. Saldatura Narrow Gap con passate tirate singole per strato	26
6.4. Saldatura Narrow Gap con passate tirate doppie o multiple per strato	27
6.5. Saldatura Narrow Gap con passate a oscillazione singola per strato	28
6.6. Saldatura Narrow Gap con passate a oscillazione multipla per strato	29
7. Sviluppo delle procedure Narrow Gap	30
7.1. Passata di radice	30
7.2. Passate di spianatura	35
7.3. Passate di riempimento	36



7.4.	Passate di riempimento finali	37
7.5.	Passata di rifinitura o passata estetica	37
7.6.	Inconvenienti e riparazioni	39
7.7.	Difficoltà e esperienze acquisite	39
8.	Scelta dell'impianto	43
8.1.	Spessori inferiori a 45mm	44
8.2.	Spessori fino a 100mm	45
8.3.	Spessori superiori a 100mm	45
8.4.	Soluzioni robotizzate	46
9.	Conclusioni	47
10.	Appendice 1 - Sviluppo della metodologia per una procedura di saldatura Narrow Gap con passate tirate singole per strato	49
11.	Appendice 2 - Ritiro di saldatura	52

1. Prefazione

La richiesta di giunti di alta qualità e produttività sta inevitabilmente spingendo le aziende a incrementare l'automazione dei processi di saldatura.

A questi obiettivi primari se ne aggiungono poi altri complementari, come la gestione dell'energia, la regolarità del cordone o addirittura criteri estetici per i settori a contatto con il pubblico.

Decenni di progresso tecnologico hanno visto crescere la saldatura TIG fino a farla diventare un processo essenziale, ampliando il campo di applicazione e presentando vincoli operativi ragionevoli in confronto alle tecniche di recente sviluppo (saldatura laser o a fascio di elettroni).

L'efficienza raggiunta dalle saldature di qualità prodotte attraverso il processo TIG, sia in termini di compattezza che di controllo in tutte le posizioni, è alla base di un gran numero di applicazioni automatiche che includono la saldatura orbitale.

Questa tecnica è ora accessibile ai più grazie alla produzione di numerose macchine che si avvalgono del processo TIG, riconoscendolo come un'alternativa reale alla saldatura automatica di un'ampia varietà di materiali.

Lo sviluppo raggiunto nella progettazione delle attrezzature (miniaturizzazione, resistenza, incremento dei fattori di marcia, ecc...) ha reso più semplice ottimizzare il design e le prestazioni di servizio dell'impianto da costruire.

I vantaggi derivanti dall'uso della saldatura TIG non solo favoriscono l'automazione delle sequenze che prima erano eseguite manualmente, ma rappresentano anche il punto di partenza verso lo sviluppo di applicazioni sempre più orientate ai grandi pezzi.

Di conseguenza, l'uso della tecnologia TIG è considerevolmente aumentato grazie allo sviluppo di numerose varianti e all'incremento dei generatori di saldatura ad alta potenza, l'introduzione di funzioni aggiuntive come il filo caldo o la doppia alimentazione e la creazione di attrezzature specifiche come le torce di placcatura e narrow gap.

Ormai non è più irrealistico pensare di poter utilizzare la saldatura TIG per pezzi con spessori da 30 a 300 mm per i numerosi e notevoli vantaggi che presenta rispetto a tutti gli altri processi disponibili sul mercato.

L'approccio TIG ai pezzi di forte spessore richiede comunque una conoscenza specifica per quanto riguarda sia la scelta e l'uso dell'impianto sia la preparazione del pezzo e lo sviluppo delle procedure operative.



2. Prerequisiti per la saldatura TIG

Innanzitutto, è importante ricordare che, sebbene sia anche compatibile con pezzi di forte spessore, la saldatura TIG richiede comunque uno specifico contesto per essere utilizzata.

Si considerano prerequisiti essenziali i seguenti fattori chiave:

- Elevato livello di qualità
- Mezzi adeguati per la preparazione (tolleranze, condizioni superficie e pulizia).
- Materiali e metodi di produzione corrispondenti alla normale gamma.
- Adozione di misure di precauzione appropriate (protezione da umidità, correnti d'aria, ecc...)
- Ambiente tecnico idoneo a ospitare un processo automatico.
- Attenta valutazione prima di scegliere il processo TIG, che deve rappresentare il miglior compromesso fra tutti i criteri comuni (qualità, produttività, metallurgia, ecc...).

Se vengono soddisfatti tutti i precedenti prerequisiti, la tecnologia si apre a tutti i settori industriali tra cui, ad esempio, la costruzione di impianti per l'industria energetica (idroelettrica, del combustibile tradizionale e centrali nucleari), petrolchimica e metallurgica, nonché la produzione o riparazione di condotte di forte spessore.

3. Saldatura TIG ad alte intensità di corrente

3.1. Generale

Indipendentemente dallo spessore da saldare, le nozioni base del processo di saldatura TIG rimangono le stesse.

La saldatura TIG è caratterizzata dalla creazione di un arco elettrico fra l'elettrodo refrattario (in tungsteno) e il pezzo in atmosfera neutra.

L'elettrodo contrasta l'alta temperatura dell'arco e, grazie a una speciale affilatura, guida l'arco verso il giunto per creare il bagno di fusione in cui il materiale d'apporto. Questo fenomeno è reso possibile dall'atmosfera gassosa che si crea intorno alla colonna dell'arco e al bagno di metallo fuso.

Per saldare spessori elevati sono necessarie alte intensità di corrente e pertanto gli elettrodi devono essere adeguati (diametri da 3,2 a 4,0 mm).

È da notare che tali correnti di saldatura richiedono l'uso di una rampa di corrente per attenuare l'intensità dell'arco in fase d'innesco, e in particolare per facilitare la sincronizzazione con il controllo di altre funzioni (AVC, oscillazione, alimentazione filo e corrente filo caldo)

La variante filo caldo utilizza un generatore interamente dedicato al preriscaldamento del filo per effetto Joule. Questo non permette di fondere il materiale d'apporto in completa autonomia, ma comunque limita parecchio il consumo energetico dell'arco,

assicurando una relativa indipendenza tra le impostazioni del tasso di deposito e dell'arco TIG.

L'intensità di saldatura necessaria per saldare forti spessori implica alti amperaggi e, nella maggior parte dei casi, correnti pulsate.

3.2. Particolarità degli impianti

L'installazione base comprende un generatore di saldatura ad alta potenza (max. gamma correnti da 300 a 450 A) insieme a un'unità di raffreddamento e un supporto (manipolatore, testa orbitale, robot, ecc.) dotato di una specifica torcia.

Il generatore TIG si avvale della corrente continua con elettrodo connesso al terminale negativo del generatore (polarità diretta).

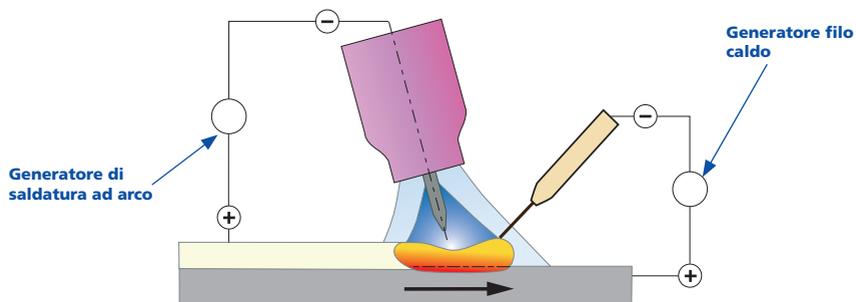


Fig.1: Configurazione standard per la saldatura TIG filo caldo. L'elettrodo TIG negativo e il filo hanno ciascuno un generatore separato nonostante entrambi abbiano polarità negativa.

I generatori usati per la saldatura TIG hanno caratteristica cadente per archi voltaici tra 9 e 18 V. Grazie a questa caratteristica tipica della saldatura TIG, la corrente può rimanere costante anche al variare dell'altezza dell'arco.

I generatori DC usati per il filo caldo utilizzano la stessa tecnologia ma hanno un fattore di marcia inferiore (150A al 100%). Il filo ha polarità negativa come l'elettrodo.

Tuttavia, è possibile utilizzare anche generatori in AC. In questo caso, i fattori di marcia sono leggermente più elevati (circa 250A al 100%).

Come per la corrente di saldatura, anche per il filo caldo viene solitamente utilizzata una corrente pulsata. La pulsazione è sincronizzata a quella della corrente di saldatura. Gli stessi due livelli di corrente di picco corrispondono all'avanzamento del filo pulsato.

3.3. Correnti di saldatura

La saldatura TIG di pezzi spessi è realizzabile con pezzi rotanti (in posizione piana o orizzontale) oppure tramite saldatura orbitale per pezzi solidi che non possono essere movimentati.

Le difficoltà operative legate alla posizione di saldatura e all'esigenza di usare correnti forti quasi sempre impedisce l'uso della corrente continua non pulsata (con l'eccezione della posizione orizzontale). D'altra parte, se combinata con velocità di avanzamento filo elevate, riduce le pulsazioni che devono rimanere compatibili con il controllo di un grande bagno di fusione se confrontato con un'applicazione orbitale tradizionale.

Di conseguenza, anche se all'inizio e in particolare per le passate di radice si applicano tutte le tradizionali impostazioni e tecniche di selezione delle pulsazioni (cfr. guida alla saldatura orbitale o alla placcatura), per le passate di riempimento si raccomanda di attenersi ai seguenti principi.

3.3.1. Passate tirate singole

Le pulsazioni di corrente termica (monopulsata, eccezionalmente) da preferire sono quelle con una frequenza compresa tra 2 (ottimale) e 1,5 pulsazioni per secondo.

Una frequenza maggiore renderebbe irrealistica la sincronizzazione con i movimenti meccanici (asse AVC o alimentazione filo). Una frequenza minore potrebbe causare porosità durante le fasi fredde e con pochi movimenti di avanzamento.

La differenza di corrente fra fasi alte e basse varia da 100 a 150 A. Il controllo della tensione deve preferibilmente essere attiva durante le fasi di raffreddamento mentre le fasi alte non dovrebbero superare il 50% del ciclo di pulsazione.

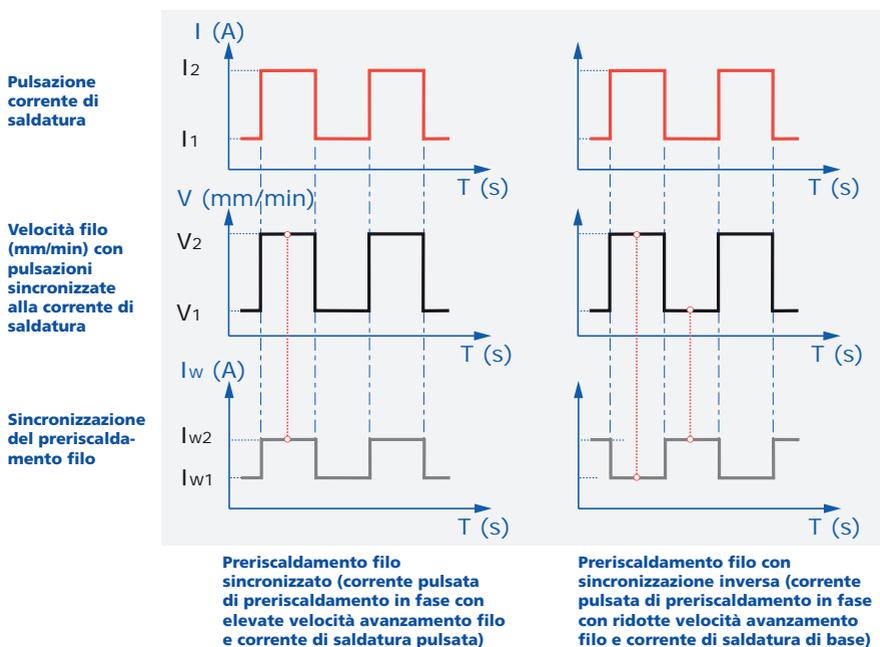


Fig. 2: Preriscaldamento sincronizzato o preriscaldamento filo con sincronizzazione inversa

È da notare come per densità molto alte e ampiezze molto grandi dell'arco TIG non sia inusuale per le correnti pulsate filo caldo avere la polarità inversa.

Il motivo risiede nel fatto che la forza dell'impatto dell'arco pulsato ad alta densità può momentaneamente compromettere la regolarità delle impostazioni per la corrente filo caldo (contatto filo con bagno di fusione rotto) su ogni pulsazione.

3.3.2. Passate tirate doppie o multiple

In questa variante vengono effettuate diverse passate sullo stesso strato (si veda sotto). I principi regolatori sono gli stessi delle passate tirate singole ma con correnti meno potenti.

3.3.3. Passate oscillate

Le passate oscillate si riferiscono alle torce di saldatura Narrow Gap con elettrodi oscillanti per saldare pezzi di forte spessore.

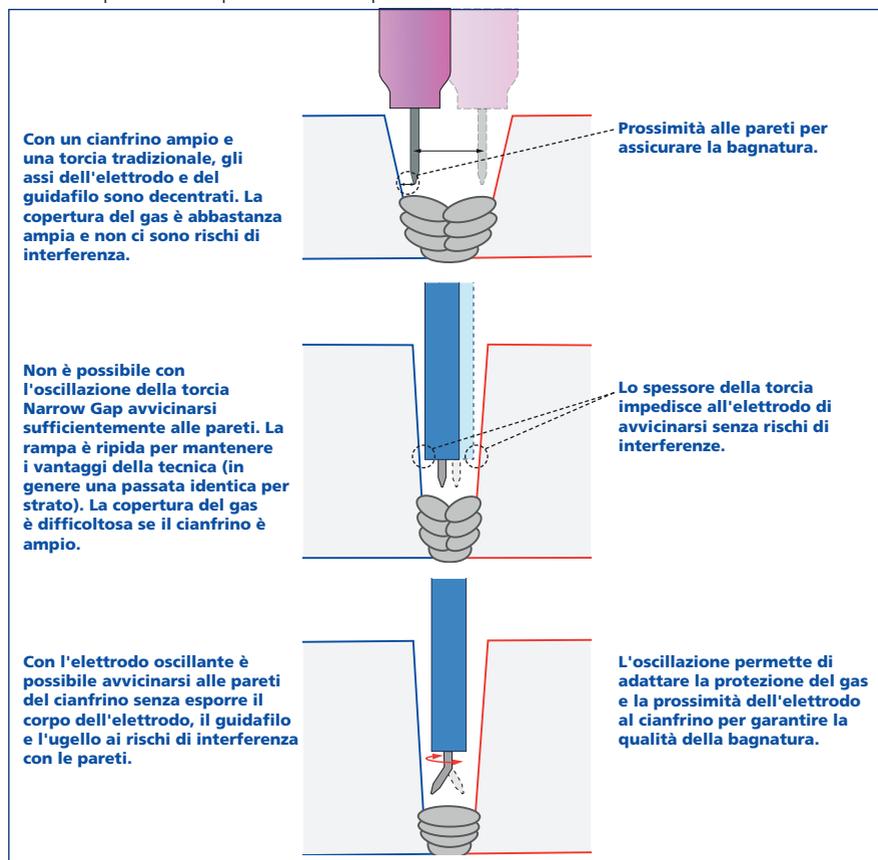


Fig.3: Principi e vantaggi dell'oscillazione dell'elettrodo



L'oscillazione dell'elettrodo avviene tramite movimenti trasversali sulla passata di finitura. Sulle altre passate può essere comunque adottato un movimento circolare (arco di un circonferenza).

Il comportamento della saldatura in questo caso è comparabile a quello di una saldatura orbitale tradizionale in modalità pulsata con la corrente sincronizzata con i movimenti oscillatori.

In questa situazione è possibile la saldatura con corrente non pulsata e le correnti principali sono generalmente inferiori a quelle della saldatura a passate tirate. Di solito si utilizza un elettrodo di diametro 3,2mm (250-300 A corrente principale al 100%).

Il tempo di permanenza sulle pareti è compreso tra 0,3 e 0,6 s, preferibilmente con controllo attivo della tensione durante l'oscillazione.

Il controllo durante l'oscillazione e sulle pareti è possibile ma più difficoltoso poiché c'è il rischio che la torcia si allontani dalla parete (valore di riferimento sbagliato in caso di errore nel centraggio).

L'inversione della pulsazione per il riscaldamento del filo, che è più semplice da controllare, non è usuale con questa tecnica.

4. Applicazioni

Quella della produttività è una questione che inevitabilmente sorge quando si sviluppa un processo Narrow Gap. Tuttavia, per poter scegliere una tecnica operativa, bisogna prima conoscerne i punti di forza e di debolezza.

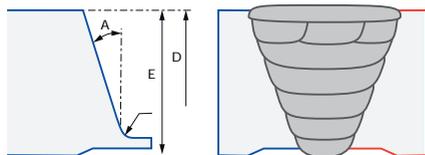
Gli incrementi di produttività sono considerevoli e aumentano in proporzione allo spessore da saldare. Nonostante ciò, è fondamentale fissare la soglia sotto cui i vincoli intrinseci alla saldatura Narrow Gap superano i vantaggi sostanziali.

4.1. Limite di redditività del Narrow Gap

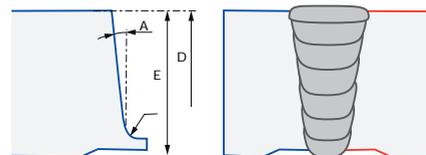
Vari fattori entrano in gioco nell'analisi della questione e per la scelta finale bisogna sempre prendere in considerazione il concetto di relatività che esiste tra differenti situazioni.

Tramite test comparativi è pertanto possibile vedere che, per spessori compresi fra 12 e 15 mm, non c'è un significativo aumento di produttività tra un cianfrino tradizionale (angolo di circa 20°) e un cianfrino Narrow Gap ottimizzato in relazione ai materiali. Su spessori maggiori la redditività aumenta, raggiungendo un fattore di 3 su spessori intorno ai 55-60 mm.

Processo di saldatura tradizionale su tubi
 \varnothing 168 x 13mm



Processo di saldatura Narrow Gap su tubi
 \varnothing 168 x 13mm



Tecnica: 1 passata di oscillazione trasversale per passata di riempimento

Da 15mm, le passate di oscillazione aumentano di ampiezza e sono sempre più delicate.

Da 20mm, si consiglia di modificare l'angolo della rampa (da 12° a 10°). Di conseguenza la bagnatura diventa difficile. La soluzione con cianfrino a doppia inclinazione può essere usata fino a 30mm con la tecnica dell'oscillazione a passata singola e poi con la tecnica multipass oltre questo spessore (la strategia di riempimento dipende pertanto dalle qualifiche dell'operatore).

Tecnica: 1 passata tirata per strato (+ 2 fusioni)

Quando il ritiro è controllato, la strategia di riempimento rimane la stessa.

Se comparata alla saldatura tradizionale, la produttività aumenta solo per spessori in cui è inevitabile ricorrere alle passate multiple per strato.

Diametro tubo - D - (mm)	Procedura oscillazione			Procedura Narrow Gap	
	Spessore - E - (mm)	Angolo cianfrino - A - (°)	Tempo ciclo (min)	Angolo cianfrino - A - (°)	Tempo ciclo aggregato (min)
168	13	20	35	10	45
270	28	15	135	4	110
270	25	37/10°	190	/	/

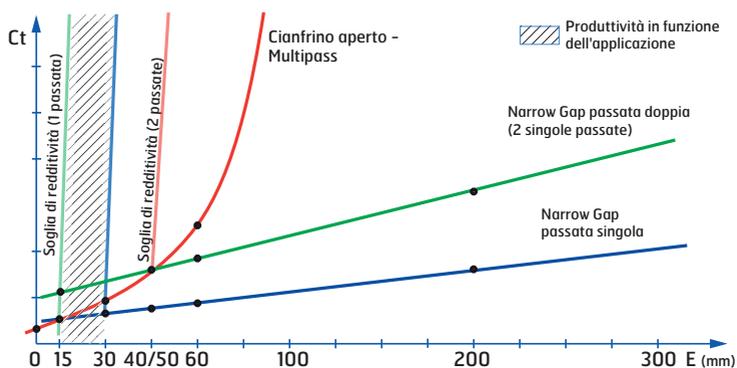


Fig. 4: Soglie di redditività della saldatura TIG Narrow Gap filo caldo

4.2. Spessori da 30 a 300mm

Con spessori di 30 mm o superiori, ad eccezione del caso speciale di saldature su pezzi unici, è necessario usare la procedura Narrow Gap.

Quando si sceglie la tecnica Narrow Gap come la più adatta e compatibile con l'applicazione in questione, devono essere comunque prese in considerazione le difficoltà legate ai materiali o ad altri vincoli operativi.

Spessori da saldare (mm)

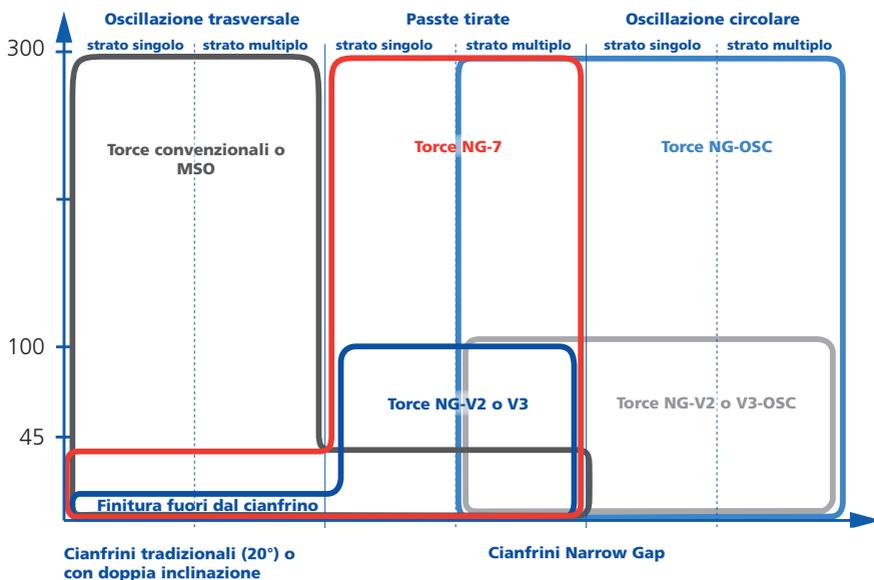
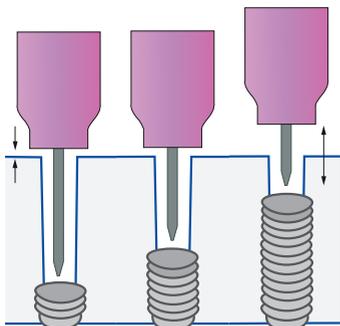


Fig. 5: Torce per saldare sezioni da 0 a 300mm e superiori

Oggi POLYSOUDE offre una linea completa di torce Narrow Gap per tutti gli spessori compresi tra 30 e 300 mm (spessori maggiori sono ugualmente possibili su richiesta).

La varietà e gli spessori da saldare sono alla base della linea di torce creata e prodotta secondo diversi vincoli tecnologici.

Ogni torcia è progettata per l'uso su uno spessore massimo (profondità massima raggiungibile dalla torcia nel cianfrino) fino al completamento delle passate di finitura.



Cianfrino Narrow Gap:

- **Regolazione stick-out elettrodo**
- **Regolazione punto d'impatto filo**
- **Le passate finali di riempimento e finitura possono essere effettuate con una lunghezza minima e invariabile di 15-20mm (base - diametro ugello interno di 19mm per una produzione di 22-30 L/min)**
- **La produzione rimane generalmente identica**

Fig. 6: Torcia tradizionale

Con le torce tradizionali da 0 a 45 mm, lo stick-out dell'elettrodo deve essere regolato di 5-10 mm.

Le cosiddette torce tradizionali sono torce estremamente versatili che sono adatte a tutti i tipi di lavori.

Esiste una categoria di componenti intermedi, chiamati "ugelli V2 e V3", da montare su torce tradizionali per spessori da 0 a 100 mm. Questi ugelli hanno la caratteristica particolare di essere isolati e di incanalare il gas meglio di una torcia convenzionale senza aver bisogno di una torcia specifica.

Con uno spessore di inserzione di circa 45 mm, questi ugelli sono combinati con dei kit di protezione a scarpetta per completare la saldatura, inclusa la passata di finitura con oscillazione.



Fig. 7: Torcia NG-V2 o V3 torch per spessori da 0 a 100mm

Per spessori compresi tra 0 e 150 mm, 0 e 250 mm e 0 e 300 mm, è disponibile anche una serie di torce con scarpetta di protezione (amovibile se necessario) per tutte le passate dalla radice alla finitura. Tutte le soluzioni Narrow Gap (ugelli V2 e V3 da 0 a 100 mm, e torce NG da 0 a 150 mm, da 0 a 250 mm e da 0 a 300 mm) prevedono la versione con elettrodo fisso o con elettrodo oscillante.

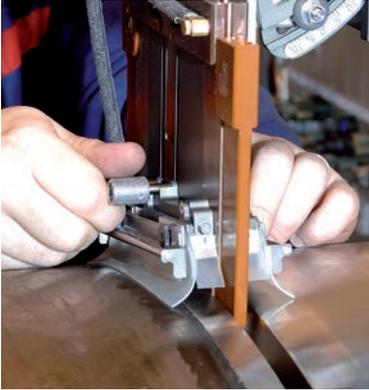


Fig.8: Modulo torcia NG per spessori fino a 250mm

5. Design della torcia

Il design della torcia è un passaggio chiave nello sviluppo e nella diffusione della saldatura Narrow Gap.

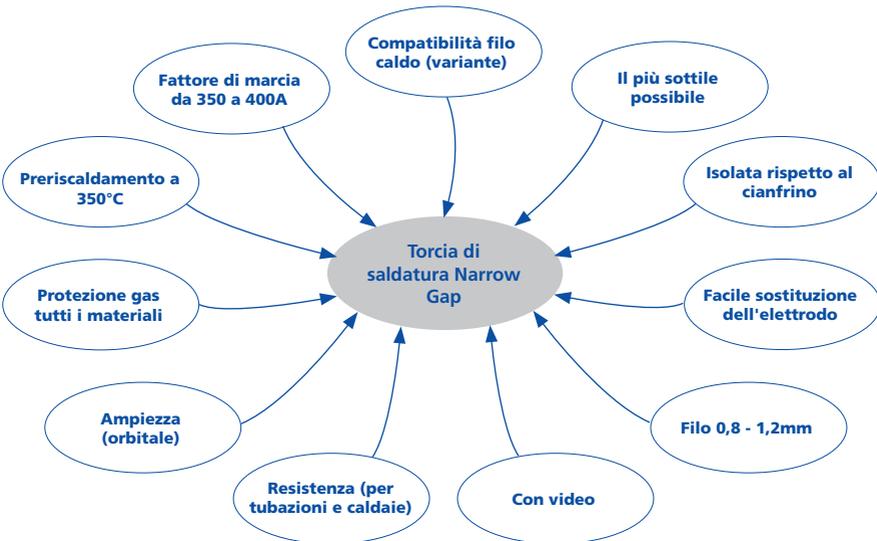


Fig.9: I numerosi requisiti per la progettazione di una torcia

Favorire un solo aspetto a discapito degli altri potrebbe distruggere l'intera struttura e rendere disfunzionale il sistema.

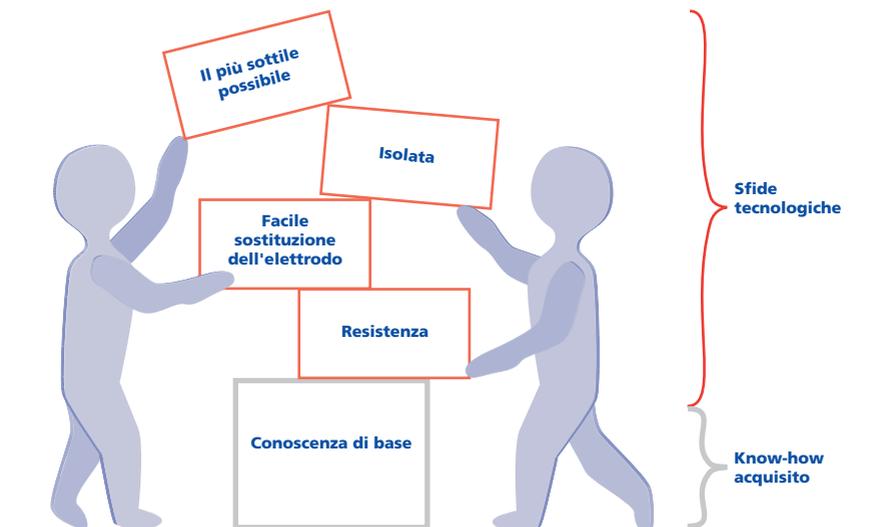


Fig. 10: Principi di progettazione ben bilanciati

È da notare come la torcia diventi un'attrezzatura efficiente quando la sua progettazione permette una risposta ben bilanciata ai vari vincoli funzionali imposti dall'ambiente o intrinseci alle tecniche di saldatura.

È difficile dare soluzioni industrialmente valide quando i vincoli sono in opposizione.

Ad esempio, una torcia stretta e resistente che ha proprietà conduttive e un fattore di marcia elevato, ma che non è isolata rispetto al cianfrino.

Di seguito sono elencate alcune importanti funzioni da considerare nello sviluppo della torcia:

- Fattori di marcia garantiti di 350-400A al 100%.
- Compatibilità con le temperature di interpass fino a 350°C.
- Più stretta possibile (6-7mm per le tecnologie con elettrodo fisso e 10 mm o meno per le soluzioni con elettrodo oscillante).
- Accesso semplice per la sostituzione dell'elettrodo (\varnothing da 3.2 a 4mm).
- Protezione gas perfetta e compatibile con le applicazioni su acciai non legati, bassolegati o altolegati o leghe di nickels.
- Isolamento completo per permetterne il funzionamento malgrado contatti accidentali con le pareti del cianfrino.
- Resistenza e compatibilità con l'ambiente.



- Leggerezza e compatibilità con le applicazioni orbitali.
- Possibilità di essere costruita sulla base di sistemi compatibili con spessori fino a 300 mm e superiori.
- Compatibilità con l'uso del filo caldo (doppio isolamento).
- Compatibilità con l'uso di un filo d'apporto del diametro di 0,8 - 1,2mm.
- Possibilità di integrare un sistema video doppio con vista frontale fra il filo e l'elettrodo (monitoraggio del punto d'impatto del filo e dell'altezza dell'arco) e vista posteriore per monitorare la bagnatur laterale.

5.1. Torce Narrow Gap NG-V2 e V3

Le torce V2 e V3 sono costruite seguendo lo stesso principio delle torce tradizionali. L'ugello metallico ha un particolare profilo per garantire un livello soddisfacente di protezione gas.

Queste torce hanno il vantaggio di avere un design solido, di essere di facile utilizzo e

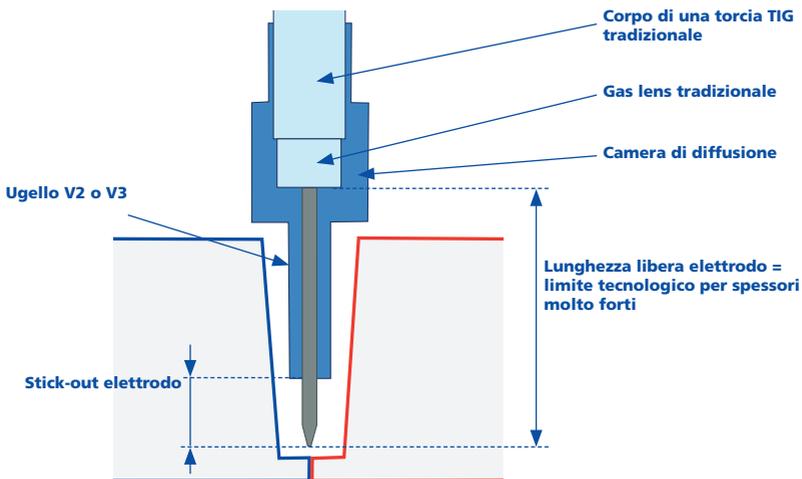


Fig. 11: Schema di base della torcia V2 o V3

di richiedere pochissima manutenzione.

Il loro utilizzo è tuttavia limitato a 100 mm fondamentalmente per i seguenti motivi:

- ▶ Lo stick-out dell'elettrodo è molto lungo rispetto all'area di contatto della pinza e porta a un riscaldamento dell'elettrodo, il quale deve essere sovradimensionato rispetto a un normale fattore di marcia.
- ▶ Le difficoltà costruttive nell'assicurare una guida accurata dell'elettrodo lungo l'asse dell'ugello nonostante l'entità dello sbalzo e senza posizionare elementi che possano disturbare il flusso del gas.
- ▶ L'obbligo di utilizzare elettrodi in tungsteno di lunghezze specifiche.

- La necessità di rivedere il principio del sistema a ogni variazione della destinazione d'uso.

Gli ugelli NG-V2 e V3 sono composti da materiali contenenti rame, hanno un loro circuito di raffreddamento e sono disponibili in spessore di 7,8 mm con fattori di marcia di 350A a 100% per elettrodi in tungsteno del diametro di 3,2 mm.

Su richiesta sono disponibili in versione cromata (per casi speciali in cui le specifiche non permettono il contatto tra



Fig. 12: Torcia NG

il materiale contenente rame e il cianfrino). Possono anche essere forniti su richiesta versioni in spessore di 9 mm per applicazioni che richiedono passate multiple per strato o per fattori di marcia che richiedono elettrodi di diametro 4 mm.

Questi ugelli sono isolati dal corpo della torcia in modo da non toccare le pareti del cianfrino e non causare un corto circuito.



Fig. 13: Torce NG-7 (spessore 7mm) con lancia di saldatura isolata

Pertanto è possibile impiegarli con cianfrini di 8,5-9 mm di ampiezza applicando i processi utilizzati per produrre saldature TIG filo caldo a passate tirate singole in tutte le posizioni.

Le torce NG-7 sono spesso fornite in combinazione a meccanismi di guida a causa della precisione richiesta per l'inserimento e poichè è preferibile che il percorso sia guidato.

5.2. Torce Narrow Gap NG-7

Queste torce sono state costruite su un principio diverso rispetto alle ugelli V2 e V3. Grazie al loro design, possono garantire fattori di marcia indipendenti dalla profondità del cianfrino e in ambienti preriscaldati con temperature fino a 350°.

Le torce comprendono un portaelettrodo isolato dal resto del corpo della torcia, così da prevenire il corto circuito in caso di contatto fra l'ugello e le pareti del cianfrino.

Il punto forte di queste torce è il loro spessore di soli 7 mm.

Per questo motivo, questi strumenti sono naturalmente adatti alle più sofisticate applicazioni Narrow Gap.

Per le applicazioni orbitali, le torce sono dotate di centratori progettati per allineare il retro della torcia con il centro del cianfrino.

La torcia è montata su una sede mobile prevista sul relativo supporto con tre assi di movimento per evitare di entrare in contatto o impigliarsi nelle pareti del cianfrino. Spesso la distanza fra il corpo della torcia e le pareti del cianfrino è di circa 1 mm.

Nelle configurazioni con tubi rotanti, è previsto un sensore laterale al posto dei localizzatori.

In questo caso, la torcia è montata liberamente (con una molla di ritorno sull'asse perpendicolare alla direzione di alimentazione del filo). Tale configurazione permette di prendere un margine come riferimento per il tracciamento e, contrariamente al primo dispositivo, possono essere effettuate diverse passate decentrate per strato.

Questo tipo di sensore laterale viene montato su una slitta meccanica per permettere la regolazione del punto di impatto dell'elettrodo rispetto al margine di riferimento.

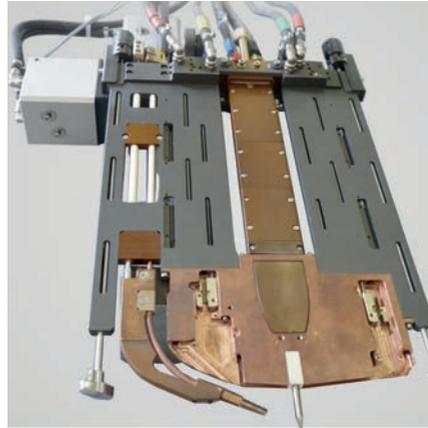


Fig. 14: Torcia NG-7 con tastatori autocentranti posizionati direttamente sul corpo della torcia (molto comune nella saldatura orbitale). L'azione dei tastatori permette il centraggio automatico dell'elettrodo nel cianfrino.

La torcia è montata su una sede mobile prevista sul relativo supporto (3 assi di movimento). Questa configurazione non permette il decentramento (se invece richiesto, rimuovere i tastatori e bloccare gli assi di movimento per decentrare la torcia)

Fig. 15: Torcia NG-7 (100mm) con tastatore laterale.

Il tastatore posizionato sul retro della torcia prende un margine come riferimento. Questa configurazione viene utilizzata per saldare pezzi rotanti (rischio di "avvitamento") su un posizionatore a rullo o laddove sia richiesta in relazione all'asse di simmetria del cianfrino (saldatura multi-pass per strato)

5.3. Torce (oscillanti) Narrow Gap NG-OSC

Queste torce sono isolate dal cianfrino nello stesso modo delle torce NG-7.

L'elettrodo e il filo oscillano con moto circolare.

Un singolo motoriduttore sincronizza i movimenti dell'elettrodo rispetto ai movimenti del filo.

Tale meccanismo permette di impostare diverse ampiezze tra i movimenti del filo e quelli dell'elettrodo.

Le torce possono essere utilizzate per la saldatura con elettrodo oscillante o più semplicemente per la saldatura a passate tirate con preposizionamento automatico dell'elettrodo.

A causa della complessità delle operazioni che servono per controllare i movimenti oscillatori, lo spessore minimo per questo tipo di attrezzatura è ora di 10 mm.

Tuttavia, la flessibilità delle torce NG-OSC si compensa con l'inconveniente di essere più pesanti e ingombranti.

Si consiglia l'uso di un tastatore laterale. Inoltre, adattando l'ampiezza delle oscillazioni alle differenze o alle variazioni di profondità del cianfrino, si riducono i vincoli relativi al passaggio all'interno del cianfrino e si permette il ricentramento manuale attraverso la slitta di oscillazione.



Fig. 16: Torce NG-OSC – Principio
L'elettrodo viene fissato a una lancia di saldatura pivottante passante attraverso il corpo della torcia (con isolamento). Il filo è sincronizzato con l'elettrodo o da un secondo motore o da una corona e un meccanismo di collegamento. In entrambi i casi si tratta di movimenti circolari. Le ampiezze sono regolabili ed è possibile impostare un differenziale per regolare separatamente le ampiezze del filo.

5.4. Integrazione della funzione video

La deliberata riduzione del volume del metallo da depositare, che è il principale obiettivo delle applicazioni Narrow Gap, mette in luce diverse difficoltà, incluse quelle relative alla mancanza di visibilità per l'operatore che deve seguire la saldatura.

Queste difficoltà sono dovute all'azione combinata di vari fattori, che possono differire leggermente in base all'applicazione ma che in generale comprendono:

- ▶ Larghezza del cianfrino solitamente tra 10 e 20 mm per profondità di 100-300 mm.
- ▶ Saldature su lastre piane o su pezzi con grande diametro che comportano angoli visivi tangenziali e quindi quasi impossibili.
- ▶ Preriscaldamento, spesso usato per la saldatura di forti spessori.

Oltre a questi aspetti tecnici, è naturale ricercare anche la comodità della postazione dell'operatore, che deve restare a debita distanza dall'arco poiché, a causa dell'uso di correnti di elevata intensità, le radiazioni emesse sono piuttosto forti.

Per non alterare l'ambiente industriale in cui è inserito l'impianto e per evitare di sovraccaricarlo di attrezzature, è possibile integrare la funzione video in fase di progettazione, invece di aggiungere una videocamera esterna. I limiti di questa operazione sono essenzialmente legati alla compatibilità elettromagnetica per evitare fenomeni di interferenza e ai vincoli termici esistenti nella zona interessata.

Per quanto riguarda il controllo del raffreddamento della videocamera integrata, i sensori devono essere isolati e al contempo protetti dalle variazioni di temperatura.

Questi sensori sono infatti sensibili al calore proveniente dall'esterno dai pezzi preriscaldati e dall'interno dalla torcia, che aumenta di temperatura a causa dei fattori di marcia e all'uso massivo a cui è sottoposta nella saldatura automatica.

È abbastanza comune trovare applicazioni che utilizzano 350A con tempi d'arco che rappresentano l'80% del tempo di lavoro con l'installazione in fase produttiva.

Gli obiettivi finali che ci si pone quando si ricorre alla progettazione di una videocamera integrata nella torcia assolvono le seguenti funzioni principali:

- ▶ Fornire immagini da un'angolazione frontale, fra il filo e l'elettrodo, per segnalare all'operatore il punto di impatto (essenziale nella saldatura filo caldo).
- ▶ Fornire immagini del retro con un angolo visivo il più tangenziale possibile (per controllare la bagnatura).
- ▶ Non impedire all'operatore di avere una visuale diretta (a differenza delle videocamere montate davanti e dietro che ostruiscono la vista in caso di controllo saltuario).
- ▶ Usufruire dell'ingrandimento dell'immagine sulla vista frontale che è vicina a quella che si ottiene sulla vista posteriore malgrado la diversa disposizione delle videocamere.
- ▶ Montare un dispositivo di filtro per avere almeno una vista frontale con o senza arco.
- ▶ Disporre di un dispositivo di messa a fuoco accessibile dall'esterno.
- ▶ Avere una funzione di raffreddamento compatibile con una temperatura operativa del CCD inferiore o uguale a 50°C.
- ▶ Usufruire di viste il più ampie possibile, compatibilmente con il monitoraggio della passata di finitura, senza vignettatura (cioè la riduzione del campo dell'immagine per la presenza di un ostacolo fisso come l'ugello all'interno del cianfrino, i contorni della cornice che alloggia i filtri, etc.).

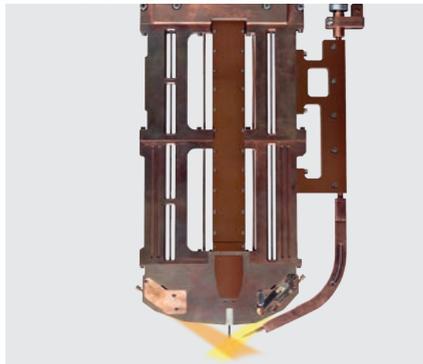


Fig. 17: Integrazione videocamere CCD nelle torce NG-7 e NG_OSC.

La videocamera frontale è dotata di un filtro retraibile (vista con o senza arco). La videocamera posteriore ha un filtro permanente. È prevista l'illuminazione a fibre ottiche.

- Ottenere un livello di integrazione industriale che non disturbi l'ambiente.

La videocamera è prevista nella parte superiore della torcia mentre la lente si trova nella parte inferiore, vicino al prisma che generalmente viene prodotto su misura per adattare l'angolo visivo all'architettura della torcia.

Un dispositivo ottico, anche questo realizzato ad hoc, trasmette l'immagine tra la lente e il CCD. Sul davanti è previsto un dispositivo di arretramento nel corpo della torcia per passare dalla modalità saldatura fuori ciclo a quella in ciclo.

La selezione automatica della modalità può essere programmabile direttamente e controllata durante la sequenza di saldatura come ogni altra funzione oppure sincronizzata all'alimentazione del gas di protezione.

L'illuminazione necessaria durante la visione in modalità saldatura fuori ciclo proviene da una fonte esterna (LED ad alta potenza) montata sull'impianto (testa orbitale, interfaccia manipolatore o altro) e trasmessa fino all'estremità della torcia da fibre ottiche previste sul corpo della torcia,

Organizzando correttamente la distribuzione delle fonti luminose davanti e dietro si evitano i coni d'ombra.

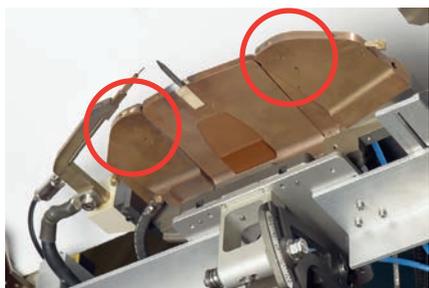


Fig. 18: Installazione di una videocamera CCD su torce V2 e V3

Sono disponibili anche versioni semplificate per applicazioni che utilizzano torce NG-V2 e V3 per spessori fino a 100 mm.

In questo caso, la soluzione video è meno fondamentale ma può comunque essere un'opzione da aggiungere. Si avranno delle viste provenienti da moduli che sono meno integrati ma più versatili rispetto a quelli solitamente presenti in diverse tipologie di torcia.

Il sistema di raffreddamento generalmente non offre le stesse prestazioni dato il basso livello di integrazione.

Tuttavia questi moduli hanno una tecnologia a cristalli liquidi simile a quella utilizzata per gli schermi delle maschere da saldatore, offrendo maggior comfort e adattabilità per la regolazione delle immagini.

Si noti che le questioni tecniche relative alla miniaturizzazione non permettono di avvalersi della tecnologia a cristalli liquidi per corpi torcia da 150 a 300 mm.

Come illustrato precedentemente, la tecnologia di ciascuna torcia deve rispettare i propri vincoli specifici e ciò si riflette nelle variabilità della gamma di spessori possibili.

I vincoli di progettazione devono essere confrontati con i limiti imposti dalle varie tecniche di saldatura.

5.5. Caso specifico di torce tradizionali con ugelli motorizzati

In caso di forti spessori in cui l'uso di una torcia Narrow Gap richiede l'uso della funzione video, la lunghezza dello stick-out dell'elettrodo diventa un parametro importante da tenere sotto controllo.

Poichè la visuale data dalle videocamere anteriore e posteriore è fissa (per limitare le azioni dell'operatore), l'elettrodo deve sempre essere messo nella stessa posizione al centro del bagno di saldatura nel campo visivo della videocamera.

La lunghezza dello stick.out di un elettrodo nella saldatura Narrow Gap è costante e dipende dalla forma della torcia. Rispettare questa lunghezza significa garantire indirettamente:

- ▶ il campo visivo della videocamera.
- ▶ il punto di impatto del filo (e il suo intervallo di regolazione).
- ▶ la qualità della protezione (in linea con il tasso di flusso raccomandato).

Se si aggiunge una scarpetta di protezione, la lunghezza deve essere verificata a ogni passata (dalla radice alla finitura).

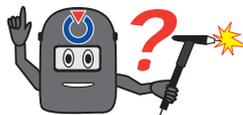
Per saldare spessori inferiori a 45 mm di spessore, potrebbe essere più semplice utilizzare una torcia convenzionale in cui solo l'elettrodo e il guida filo vengono introdotti nel cianfrino.

In tali configurazioni è obbligatorio assicurarsi che la distanza fra la superficie del pezzo e l'ugello ceramico non superi 10 mm per evitare di generare sensibilità alle correnti d'aria.

Per rispettare tale disposizione, la lunghezza dell'elettrodo deve essere modificata approssimativamente ogni quattro passate. Il guida filo dovrà essere regolato di conseguenza.

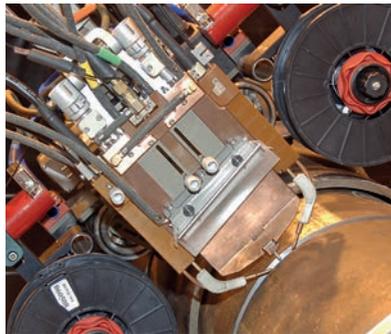
Allo stesso modo, in caso si utilizzi una scarpetta di protezione, si consiglia di regolare la sua posizione verticale frequentemente (ogni 2/3 passate) per mantenere costante la qualità della protezione.

Le regolazioni rappresentano la norma e possono essere eseguite durante la sostituzione preventiva dell'elettrodo raccomandata per cicli lunghi.



Regolazioni durante la saldatura:

- *Impostazione di L su una torcia tradizionale*
- *Impostazione di L fissa su torce NG-V2 (V3), NG-7 e NG-OSC*
- *Regolazione della protezione campana*



Con una torcia convenzionale senza video, lo stick out dell'elettrodo deve essere regolato per non disturbare il flusso gas. Con una torcia Narrow Gap, la lunghezza dello stick out è una variabile per gli ultimi 45 mm, per finire può essere necessario passare a una torcia tradizionale oppure utilizzare una protezione a campana e regolare nuovamente ogni 2/4 passate.

Nei casi particolari di spessori variabili o di automazioni estreme con torce di saldatura tradizionali, esiste una variante che prevede l'uso di ugelli motorizzati programmabili e presenta un doppio vantaggio: da una parte evita le operazioni manuali e dall'altra garantisce il centraggio dell'attrezzatura (posizione dell'elettrodo) che rimane così compatibile con l'orientamento dei sistemi video associati.

In altri casi particolari, potrebbe essere necessario motorizzare i movimenti dei kit gas campana sulle torce Narrow Gap.

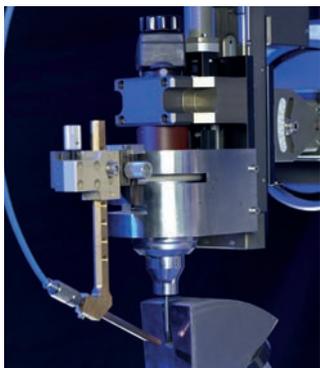


Fig. 19: Torcia MSO
Questa configurazione con ugelli motorizzati evita la regolazione manuale della lunghezza dello stick out dell'elettrodo

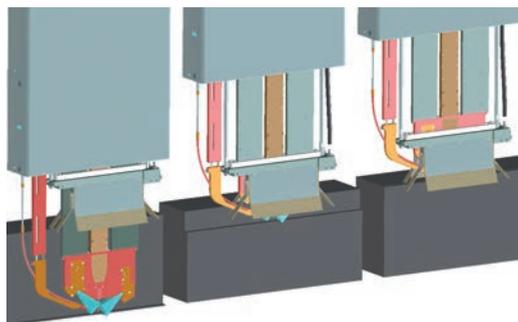


Fig. 20: Protezione a scarpetta motorizzata
Un altro esempio di automazione estrema per le passate finali di riempimento e finitura.

5.6. Validazione delle prove della torcia Narrow Gap

La torcia non è solo lo strumento più complesso, ma è anche quello che più di ogni altro è responsabile della qualità della saldatura. Di conseguenza, sono stati sviluppati nuovi metodi di verifica per testare e validare le funzioni principali, il cui malfunzionamento potrebbe influire negativamente sui risultati di saldatura.

Due sono i fattori fondamentali da prendere in considerazione:

- Il fattore di marcia (poichè tutte le funzioni montate sulla torcia sono combinate e validate dall'assenza di deterioramento nel corso del tempo)
- La qualità della protezione del cordone.

La validazione viene effettuata per ogni nuovo riferimento della torcia per quanto riguarda le funzioni come video e protezione gas.

Inoltre, test più completi vengono messi a punto per ogni famiglia di torce o in seguito a sviluppi tecnologici rilevanti.

Dopo esser stati validati, i riferimenti vengono riapplicati alla famiglia per ridurre i tempi di sviluppo delle varianti e capitalizzare le nozioni apprese per ciascun modello.

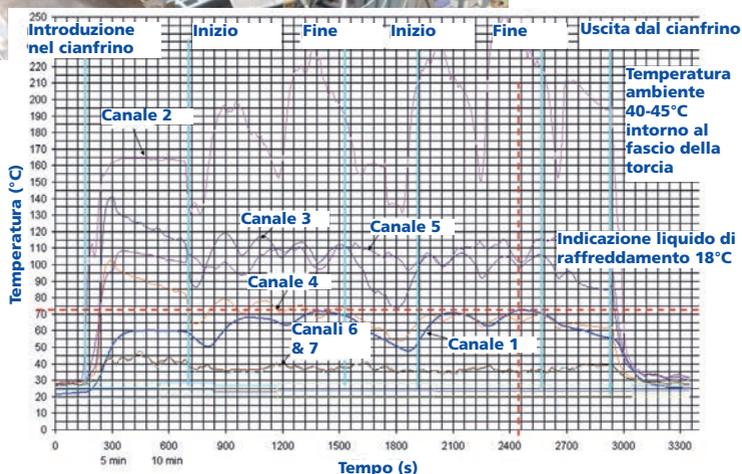
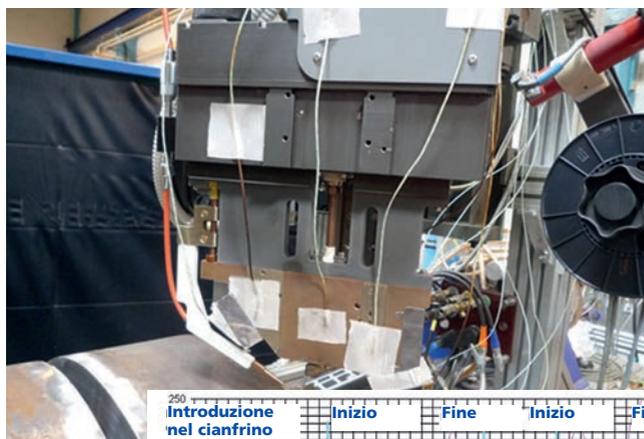


Fig.21: Curve torcia equipaggiata + misurazione temperatura

6. Tecniche di saldatura Narrow Gap

È possibile affermare che oggi non esistono più questioni tecnologiche irrisolte nell'uso della torcia Narrow Gap per saldare spessori tra 30 e 300 mm.

Ciò significa che gli operatori possono scegliere la tecnica di saldatura senza essere influenzati dalla tecnologia, dal prodotto o dal fornitore.

Dato che non vi sono più barriere tecnologiche, è possibile ragionare solo sui criteri prettamente tecnici. Sulla base di questa considerazione, quali sono le alternative, le caratteristiche comuni, i punti di forza e di debolezza associati a questo metodo?

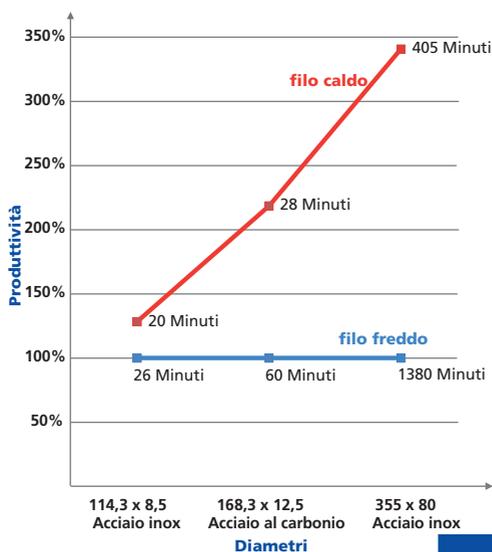
6.1. TIG filo caldo o filo freddo

La prima decisione da prendere nella saldatura TIG riguarda il processo: filo freddo o filo caldo.

Gli impianti di saldatura TIG filo caldo hanno generalmente fattori di marcia più elevati e la capacità di utilizzare correnti fino a 450 A.

La scelta della saldatura a filo caldo rispetto a quella a filo freddo porta solo vantaggi e per questo motivo il filo caldo è sempre più utilizzato per saldare spessori oltre i 10 mm di spessore. Questi impianti hanno anche la prerogativa di essere molto versatili e di poter impiegare piuttosto facilmente entrambe le varianti di saldatura TIG.

L'unico vantaggio del processo TIG filo freddo risiede nella portabilità dell'impianto per uso



occasionale a un prezzo d'acquisto inferiore, diretta conseguenza della differenza di potenza richiesta per un'installazione completa.

Tuttavia, è meglio evitare il TIG filo freddo per una singola passata tirata per strato su acciai non legati o bassolegati. Queste applicazioni richiedono correnti di picco molto elevate (quasi 350A) per avere un impatto dell'arco sufficientemente potente e non rischiare difetti nella compattezza, come ad esempio la mancanza di fusione.

Fig. 22: Tasso di produttività fra TIG filo freddo e filo caldo

		Diametri		
		114,3 x 8,5 Acciaio inox	168,3 x 12,5 Acciaio al carbonio	355 x 80 Acciaio inox
Produttività	Tasso di deposito TIG filo freddo	100%	100%	100%
	Tasso di deposito TIG filo caldo	128%	218%	341%
Tempo (minuti)	Tasso di deposito TIG filo freddo	26	60	1380
	Tasso di deposito TIG filo caldo	20	28	405

Il processo TIG Narrow Gap filo freddo è indicato solitamente per applicazioni su spessori ridotti (meno di 30 mm) su acciaio inox o leghe nobili.

Si consideri inoltre che gli impianti TIG filo freddo, meno potenti, non possono gestire tutte le funzioni di controllo dell'oscillazione filo, guida filo o ugello motorizzato,...

Di conseguenza, i casi in cui è possibile applicare il processo TIG filo freddo costituiscono un'eccezione, soprattutto in considerazione della differenza di produttività in confronto alla variante filo caldo, che è fino a 2/3 volte maggiore.

6.2. Strategia di riempimento

I diversi processi di saldatura si differenziano nella strategia di deposito delle passate di riempimento (cfr. Fig. 23 Confronto fra le differenti tecniche di riempimento Narrow Gap).

Sono stati analizzati 4 differenti approcci e i relativi vantaggi:

- ▶ Passate tirate singole per strato con buone prestazioni di saldatura e produttività in tutte le posizioni, laddove il ritiro e la preparazione sono pienamente controllati.
- ▶ Passate tirate multiple per strato con un ottimo controllo sull'energia di saldatura e sui giunti eterogenei difficoltosi.
- ▶ Passate con singola oscillazione per strato per saldare in posizione 5GT e 6GT con variazioni limitate in ampiezza. È un buon compromesso fra produttività e facilità di implementazione.
- ▶ Passate con oscillazione multipla per strato (scelta inusuale) per utilizzare la saldatura TIG Narrow Gap adattando preparazioni preesistenti.

6.3. Saldatura Narrow Gap con passate tirate singole per strato

Questa tecnica offre le prestazioni migliori di tutte le soluzioni Narrow Gap, nonostante lo sviluppo del processo di saldatura sia di gran lunga il più complesso.

In funzione della posizione di saldatura, della tecnologia e della potenza del generatore,

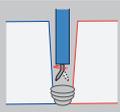
Strategia di riempimento	Passata singola	Passata tirata decentrata	 Passata di oscillazione
Produttività	+++	+	++
Facilità di esecuzione	++	-	+++
Controllo del ritiro - precisione nella lavorazione	-	++	+++
Sensibilità alla criccabilità	-	+++	+
Complessità dell'impianto	+++	++	+
Orbitale 5G	++	-	+++
Orbitale 2G - 6G	++	++	-

Fig. 23: Confronto fra le differenti tecniche di riempimento Narrow Gap

è possibile raggiungere velocità di 15-18 cm/min con acciai non legati o bassolegati e fino a 25-30 cm/min con acciai inox o leghe nobili (cfr. Appendice 1: Sviluppo delle metodologie per il processo di saldatura Narrow Gap con singole passate tirate per strato).

Questi valori possono essere ottenuti con una saldatura in corrente continua in posizione piana o orizzontale, mentre l'uso della pulsazione termica limita la velocità a 8-12 cm/min (in funzione della frequenza delle pulsazioni) per le altre posizioni.

Dal punto di vista operativo, le larghezze da saldare non dovrebbero generalmente superare 9,5 mm (o 10 mm in posizione piana o orizzontale, fermo restando che i parametri vengano adattati) con un minimo di 8,0 mm richiesti per garantire che il corpo della torcia riesca a passare (limitato a 7 mm).

La difficoltà consisterà quindi nel riuscire a effettuare dei test preventivi per garantire il controllo lungo tutta la larghezza da saldare all'interno di un limite di variazione di al massimo 1,0-1,5 mm.

Fortunatamente in questo tipo di processo di saldatura il ritiro è relativamente costante con un'eccellente ripetibilità da saldatura a saldatura (cfr. Appendice 2: Ritiro nella saldatura Narrow Gap - ritiro libero, distorsione eccessiva, ritiro controllato, ritiro longitudinale e effetto "diabolo").

Le difficoltà sono legate alla preparazione della saldatura, al corretto allineamento dei pezzi e a processi di ritiro trasversale (ritiro libero o vincolato).

In genere, se i summenzionati ritiri sono studiati e controllati in fase di sviluppo, la tecnica delle singole passate tirate offre le prestazioni migliori ed è semplice da implementare.

È da notare che l'uso di una torcia tradizionale per gli ultimi 45 mm dà maggior flessibilità e permette di saldare a partire da una larghezza di 7,5 mm (questa soluzione deriva dall'esperienza pratica).

6.4. Saldatura Narrow Gap con passate tirate doppie o multiple per strato

Questa tecnica è molto diffusa e prevede una doppia passata tirata per strato, anche tre passate per il riempimento o per la passata di finitura.

Vari criteri influiscono sui risultati che si possono ottenere con questa tecnica.

Il primo di questi è l'apporto di energia di saldatura, che deve essere piuttosto elevato per singola passata in modo da garantire la bagnatura e la penetrazione su entrambe le pareti del cianfrino contemporaneamente.



Fig. 24: Saldatura a passate tirate multiple per strato con elettrodo curvo

La saldatura con singola passata non è consigliata per certi tipi di materiali soggetti a criccabilità, a causa di fattori energetici e della forza delle sollecitazioni che si registrano in fase di solidificazione del cordone (possibile criccabilità a caldo).

In questo caso un'alternativa potrebbe essere quella di concentrare l'arco su una singola parete per volta e nel contempo regolare il livello di energia.

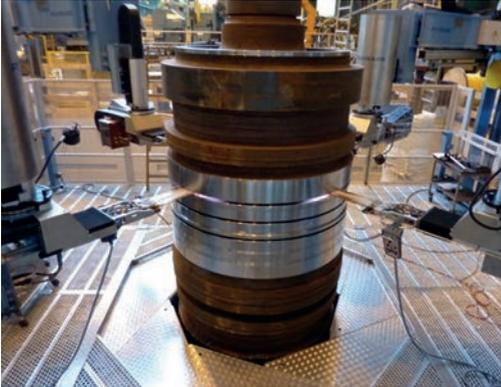


Fig. 25: Saldatura con due torce (passata inferiore con una e passata superiore con l'altra a 180°)

Con questo metodo è possibile effettuare una saldatura senza pause tra le passate, evitando disallineamenti angolari (bilanciamento del ritiro durante la saldatura)

Un altro criterio fa riferimento al controllo del ritiro della saldatura, che può variare in base alle tolleranze che regolano la preparazione del cianfrino, l'allineamento dei pezzi e il ritiro delle saldature (concetti di ritiro libero e saldature vincolate).

È da notare che è possibile mantenere un elevato livello di produttività (al di là del fattore legato al controllo dell'energia) in posizione piana e orizzontale, ma le prestazioni calano in proporzione maggiore nelle applicazioni in tutte le posizioni.

Altri casi particolari piuttosto interessanti riguardano la saldatura eterogenea in cui la tecnica della doppia passata permette una maggiore stabilità operativa (presenza di differenti parametri in base alla natura del pezzo, soprattutto in caso di imburratura).

In genere, la larghezza del cianfrino per la saldatura varia tra 10 e 13 mm e i gradienti sono molto simili a quelli usati per la saldatura con passata singola.

6.5. Saldatura Narrow Gap con passate a oscillazione singola per strato

Questa tecnica di saldatura è la più accessibile in termini di flessibilità e produttività.

La passata con oscillazione semplifica la regolazione dei parametri, che diventa quindi un fattore meno rilevante per garantire la penetrazione nelle pareti del cianfrino.

L'unico vincolo è relativo alla posizione orizzontale, dove è possibile saldare con passate oscillate, anche se richiede una maggiore sorveglianza o presenta un calo relativo della produttività. Ciò si verifica anche in caso di saldature in posizione intermedia (6G), dove è fondamentale il monitoraggio.

Il cianfrino da utilizzare per la tecnica delle passate con singola oscillazione è simile a quello usato per la tecnica con passate tirate doppie per strato (viene comunque allargato a 12-16 mm o anche 18 mm).

Grazie a questa analogia è plausibile pensare di poter utilizzare la tecnica delle passate tirate doppie con una torcia con elettrodo oscillante. In questo caso, il posizionamento delle passate può essere automatizzato attraverso la motorizzazione dell'elettrodo e del filo.

6.6. Saldatura Narrow Gap con passate a oscillazione multipla per strato

Questo processo di saldatura viene usato raramente, ad eccezione dei casi in cui sia disponibile un impianto Narrow Gap e, per qualsiasi motivo, esistano cianfrinature che non possono essere modificate nell'immediato.

In questo caso, l'approccio da intraprendere è lo stesso delle passate a oscillazione con praticamente gli stessi parametri di saldatura.



Fig. 26: Passata con oscillazione

Panoramica riepilogativa per la scelta della torcia e della tecnica di saldatura

Prestazioni, produttività, controllo del ritiro e saldatura in tutte le posizioni

⇒ **la tecnica con passate tirate singole è la più efficiente**

Flessibilità e limitate variazioni della larghezza in tutte le posizioni (tranne orizzontale)

⇒ **le passate a oscillazione singola sono una soluzione flessibile e versatile**

Necessità di controllare l'energia o giunti bimetallici difficili

⇒ **le passate tirate multiple rappresentano una buona alternativa per utilizzare la tecnologia Narrow Gap**

Cianfrini larghi preesistenti (saldatura del tipo senza flusso)

⇒ **la saldatura con passate a oscillazione multipla può rappresentare una fase di transizione**

7. Sviluppo delle procedure Narrow Gap

7.1. Passata di radice

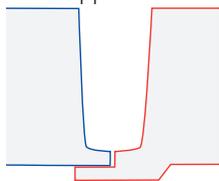
Questa è una delle fasi più delicate. È necessario identificare i casi in cui la saldatura viene effettuata con un supporto a rovescio senza passata di penetrazione. Nella maggior parte dei casi, il supporto a rovescio viene rimosso nelle passate successive.

Ci sono poi i casi in cui la radice deve essere realizzata con una passata di penetrazione sul secondo lato o con la possibilità di accesso sul rovescio per sigillare o riparare.

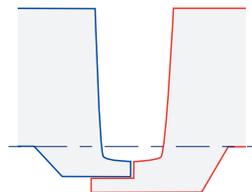
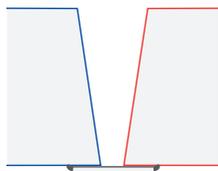
Infine, si deve prendere in considerazione anche i casi delle passate di radice senza accesso posteriore che implicano un grado estremo di difficoltà.

Quando l'applicazione non permette l'accesso posteriore (tubi con diametri piccoli o pezzi con profili complessi), bisogna tenere in considerazione la configurazione del

Con supporto a rovescio



Supporto a rovescio permanente



Supporto a rovescio rimosso dopo la saldatura

Con passata di penetrazione o a rovescio

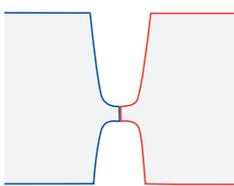
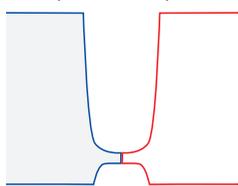
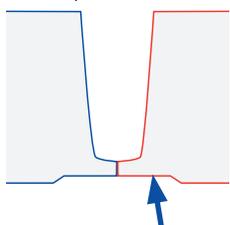
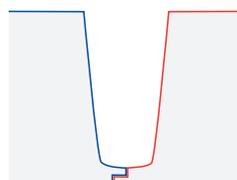
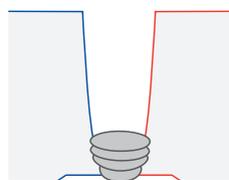


Fig. 27: Varie configurazioni per le passate di radice

Senza passata a rovescio



Assottigliamento per allineare il tallone



Giunto ad incastro (più fragile ma efficace per evitare il disallineamento)

giunto, assicurandosi che il controllo sull'allineamento sia coerente con le condizioni necessarie per realizzare una passata di radice con la tecnica Narrow Gap.

Alcune regole di base sulla passata di radice:

- ▶ Lo spessore dei talloni deve essere adattato al materiale. Esiste una connessione fra lo spessore del tallone e la saldabilità operativa (rapporto profondità/larghezza). Pertanto, per acciai non legati, lo spessore del tallone può variare tra 2,5 e 3 mm, mentre per gli altri acciai l'intervallo è compreso tra 2 e 2,5 mm. Spessori inferiori a 2 mm sono usati solo con acciai inox duplex o super-duplex e possibili con il titanio.

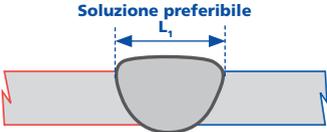


*A cosa serve il rapporto profondità/larghezza (P/L)?
A prevedere la forma di una passata sul pezzo.*



*Se P/L è vicino a 1 = buona saldabilità
Se P/L è vicino a 0 = scarsa saldabilità*

Soluzione preferibile



Soluzione da evitare



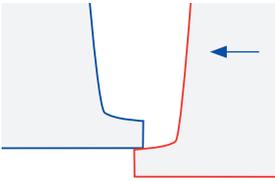
- ▶ La differenza fra i livelli dei due talloni non dovrebbe superare il 75% dello spessore totale. In base all'applicazione e al materiale, seguire alternativamente un criterio o l'altro per impostare l'allineamento o la geometria del tallone. Una differenza fra i livelli maggiore di 1,5 o 2 mm è spesso proibitiva a causa delle norme costruttive (tolleranza max. della differenza di livello – in caso di RCC-M o ASME per il settore nucleare).



*Perchè la differenza massima fra i livelli deve essere inferiore al 75% dello spessore totale del tallone?
Perchè sotto questo limite si evitano fenomeni di crossover o tranciatura per effetto del ritiro.*



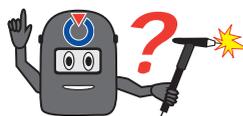
Ritiro bloccato



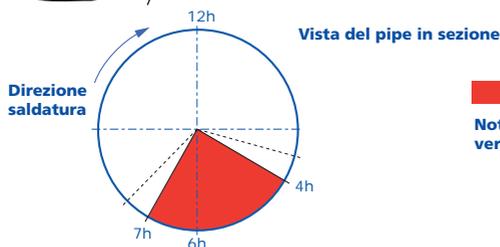
Perdita di penetrazione



- Il profilo del cianfrino e i parametri di saldatura garantiscono l'assenza di concavità in posizione sopratesta. L'obiettivo nel regolare i parametri della passata di penetrazione è diverso rispetto a quello ricercato, per esempio, per una passata di riempimento (cioè evitare la bagnatura sulla passata di radice)



La concavità è un fenomeno tipico nella saldatura di pipe, che si verifica a causa dell'effetto combinato della tensione superficiale e della gravità.

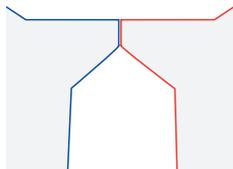


Area sensibile alla concavità

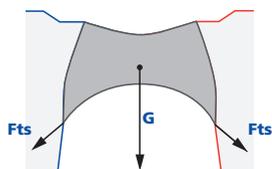
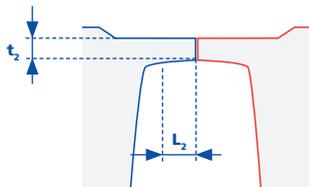
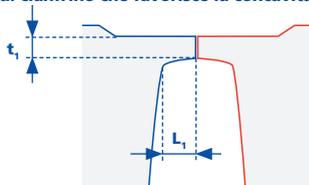
Nota: il fenomeno della concavità si verifica con 6G e 2G

Soluzione: cercare il profilo del cianfrino e i parametri che minimizzano l'effetto combinato di gravità (G) e tensione superficiale (Fts)

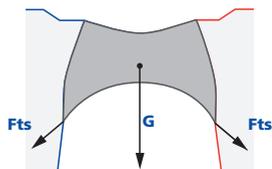
Cianfrino a V



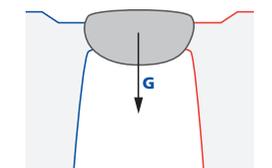
Tipo di cianfrino che favorisce la concavità



Concavità molto frequente (quasi sistematica)



Identico al cianfrino a V



L'assenza di bagnatura limita il livello della tensione superficiale. La concavità è sotto controllo

- ▶ Una sequenza di radice generalmente riguarda i primi 5 o 6 mm. Questa sequenza forma un supporto sufficientemente spesso da evitare la ripenetrazione da parte della prima passata di riempimento. La prima passata di riempimento è la prima passata realizzata con i parametri di saldatura che garantiscono un'ottima produttività.
- ▶ Nella saldatura Narrow Gap gli spazi fra talloni del giunto non possono superare 1 mm. Anche quando questi spazi si avvicinano a 1 mm, bisogna accertarsi che il ritiro di saldatura riduca questo spazio per evitare che superi 0,5 mm in prossimità della parte frontale del bagno di fusione. Se così non fosse, basterebbe una variazione di solo 1 mm oltre l'ampiezza del cianfrino per pregiudicare l'uso della tecnica delle passate tirate singole per strato.
- ▶ Quando si verifica una notevole variazione nelle condizioni di allineamento (spazi e livelli), si raccomanda di eseguire una serie di test sui casi limite per trovare le condizioni medie di saldatura (cioè i parametri che permettono una penetrazione soddisfacente indipendentemente dalle condizioni di allineamento per posizione).
- ▶ Uno spazio maggiore porta facilmente a un collasso in posizione piana e a una concavità in posizione sopratesta. Inoltre, aumenta l'ampiezza della penetrazione misurata all'interno.
- ▶ In confronto a una condizione di allineamento in cui non vi sono spazi nel giunto, il disallineamento ridurrà l'ampiezza della penetrazione misurata all'interno.
- ▶ In presenza di spazi, la differenza di livello ne accentua gli effetti (rischio di collasso).
- ▶ La procedura a passate tirate singole non è raccomandata per materiali che non possono essere saldati senza un filo d'apporto, poichè in questo caso la rifusione, che è praticamente essenziale per garantire il completamento della sequenza di radice, non avviene.
- ▶ La saldabilità operativa dei materiali influisce sulla grandezza e persino sulla geometria della radice. Se si sviluppa un processo Narrow Gap, sorge un problema di variazione fra una colata e l'altra: ci sono colate differenti? Il comportamento di quelle identificate come "estreme" differisce così tanto? Revisione dell'analisi chimica, test sul rapporto profondità/ampiezza, test sui parametri costanti, test sulla puntatura, ecc...
- ▶ Anche la saldabilità del metallo di apporto è un elemento da tenere in considerazione. Il funzionamento del filo, aldilà della sua conformità agli standard applicabili, è un fattore





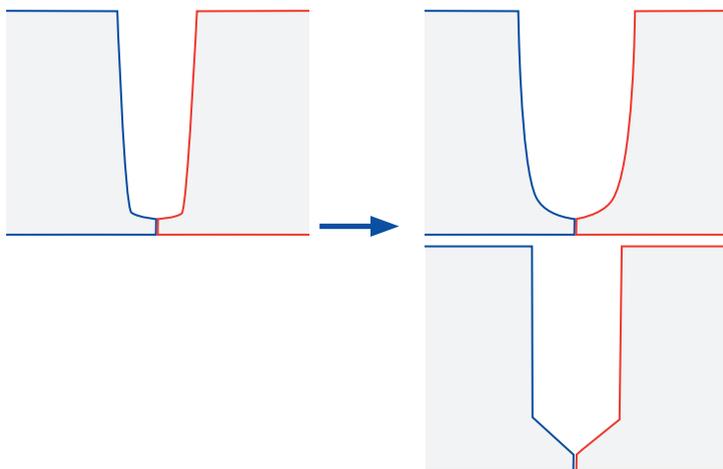
determinante per il successo o meno nello sviluppo di una procedura di saldatura. Vari criteri sono da considerare nella scelta del metallo d'apporto: tenuta in posizione (bagni di fusione troppo liquidi o troppo densi), comportamento meccanico (una flessibilità eccessiva è deleteria per l'avanzamento del filo) e deposito elevato di ossidi. A prima vista queste considerazioni possono apparire eccessive ma se si confrontano i diversi comportamenti del filo durante lo sviluppo si noterà che le differenze sono piuttosto significative per quanto riguarda alcuni casi estremi. Inoltre, poiché la saldabilità del filo è il parametro più facile da controllare, è importante evitare di cambiare o mischiare le tipologie senza motivo, osservare le indicazioni sul prodotto e monitorare il lavoro delle nuove colate. Si raccomanda anche di fissare una tipologia per il collaudo preliminare su una bobina (prerequisito per acquisire la tipologia).

- ▶ Se non si corrono rischi di concavità (saldando in posizione piana o orizzontale su misure minori), è possibile modificare la forma del tallone sostituendo la superficie piana della radice con un raggio. Questo accorgimento può evitare di dover effettuare una passata finale a fini estetici. Nella saldatura Narrow Gap (per lo più con passate tirate singole o multiple per strato), alcune difficoltà operative possono impedire la progressione a

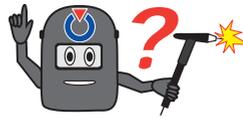


Cambiare il profilo del cianfrino dove non c'è rischio di concavità.

Dove non c'è rischio di concavità (penetrazione con supporto a rovescio o saldatura in posizione piana), la radice può essere semplificata.



360°. In genere, queste complicazioni si verificano in posizione 5GT e l'operatore deve confrontarsi con la tenuta del bagno di fusione all'inizio della posizione ascendente. Nel caso specifico, si richiede l'uso o di un impianto dotato di due unità di alimentazione o di una torcia reversibile (per invertire la direzione di avanzamento). Con questi due accorgimenti, la passata di radice viene effettuata con due mezze passate.



Cosa si può fare se il rapporto profondità/ampiezza non è compatibile con le ampiezze richieste dalle tecniche Narrow Gap? Optare per una saldatura di radice generalmente in due passate ascendenti.

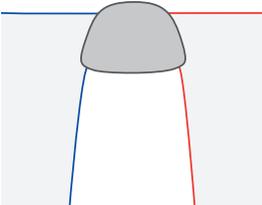
7.2. Passate di spianatura

Si tratta di due passate senza filo realizzate sugli angoli di convergenza della saldatura con le pareti del cianfrino.

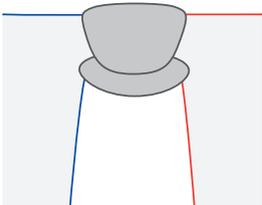


Funzioni delle passate di spianatura

Il profilo di una passata di penetrazione non concava comporta il rischio di una mancata fusione o ripenetrazione nella seconda passata (hot pass).

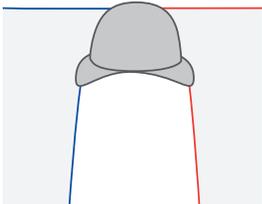


Rischio di mancata fusione



Rifusione totale e concavità (lo stesso meccanismo della passata di penetrazione)

Due passate sulle pareti garantiscono la fusione laterale senza ripenetrazione la passata di radice. Queste passate preparano il profilo per agevolare la bagnatura della passata successiva. Queste passate causano un ulteriore ritiro che influisce sul rapporto profondità/ampiezza per evitare la ripenetrazione della hot pass.



2 passate di spianatura

Come si eseguono le passate di spianatura? Usando elettrodi curvi.



Generalmente si utilizza la tecnica delle passate tirate singole per realizzare queste passate. L'obiettivo è quello di garantire il completamento della prima passata di supporto (conosciuta anche come hot pass) evitando la totale rifusione della passata di penetrazione.

Sono gli elettrodi curvi a realizzare questa fusione indirizzando l'arco verso la massa sulle pareti del cianfrino.

Queste due passate preparano la bagnatura della passata successiva, generando anche un surplus di ritiro.

Su alcuni acciai difficili da saldare e su spessori molto elevati, non è inusuale far ricorso a due o tre sequenze di fusione per assicurarsi l'assenza di difetti sulla radice.

Le passate di spianatura possono anche essere usate come riempimento per correggere alcune imperfezioni dovute alla bagnatura.

7.3. Passate di riempimento

Le passate di riempimento rappresentano il momento focale dell'intero processo.

Indipendentemente dalla tecnica scelta, lo sviluppo di questa sequenza ha due obiettivi operativi primari:

- ▶ Definire i parametri base per garantire la produttività e la compattezza in linea con la "risposta metallurgica dei materiali". Ciò implica la necessità di assicurarsi che non ci siano effetti deterioranti che infragiliscano le strutture e degradino le caratteristiche al di sotto dei livelli consentiti. Questo ovviamente non significa che gli aspetti metallurgici vengano presi in considerazione in qualsiasi caso per parametrare le condizioni operative (scelta dei parametri, gas, ecc...).



Come si realizzano gli elettrodi curvi?

- *Se possibile, scegliere elettrodi di diametro 3,2mm*
- *Affilarli a 25°*
- *Posizionarli, per esempio, in una morsa da banco*
- *Lasciar sporgere il cono della punta*
- *Riscaldare con un cannello ossiacetilenico finchè non diventa arancione/rosso*
- *Plasmare colpendo e pressando il cono con l'apposito scalpello/attrezzo*
- *Raggiungere un angolo di circa 40-45°*
- *Tenere un modello di riferimento (template)*

- Comparare i risultati dei parametri con con i materiali per definire le condizioni di ritiro. Lo scopo ultimo è quello di stabilire le condizioni del ritiro attraverso test preliminari al fine di saldare con un'ampiezza costante. Controllando l'ampiezza, infatti, è più semplice riutilizzare le medesime condizioni di saldatura da passata a passata, semplificando pertanto il lavoro dell'operatore. Idealmente, questo controllo dell'ampiezza andrebbe svolto nello stesso modo che si usi la tecnica delle passate tirate singole o con oscillazione. Nel primo caso è fondamentale e praticamente obbligatorio, mentre nel secondo o con altre tecniche una variazione in ampiezza ha come risultato solo la necessità di modificare i parametri da una passata alla successiva.

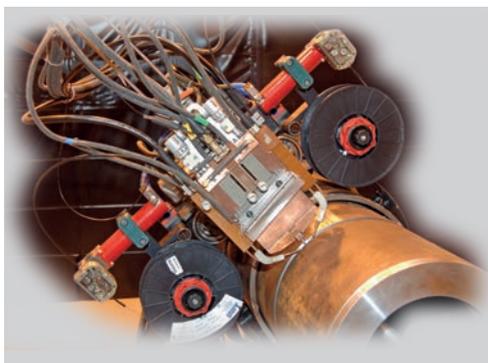


Fig.28: Impianto con doppio filo adattato per eseguire mezze passate

Nella saldatura con passate tirate singole, come per la passata di radice, le condizioni operative (saldabilità) potrebbero richiedere una progressione di mezze passate.

Considerando il numero di passate, è più importante adattare l'impianto a questi requisiti (torcia con doppio filo o due teste che eseguono una mezza passata ciascuna).

7.4. Passate di riempimento finali

Quando il cianfrino sta per essere riempito totalmente, il diverso apporto termico può portare a una fusione esagerata delle pareti del cianfrino, in alcuni casi anche al collasso.

La sequenza di "fine riempimento" indica infatti le passate finali in cui l'energia e il tasso di deposito devono essere minimizzati per evitare di far collassare le pareti del cianfrino prematuramente.

Si noti che nella saldatura in 5GT senza anticipazione si possono verificare mancanze di fusione fra passate, soprattutto nella parte discendente.

Per forti spessori saldati in posizione 5GT è la norma in questa fase ricorrere alle passate parziali per equilibrare il riempimento prima di completare la passata di finitura.

Questa situazione è normale e si deve principalmente agli effetti della gravità che modificano il profilo dei cordoni durante il processo.

7.5. Passata di rifinitura o passata estetica

Questo tipo di passata ha il solo scopo, come suggerisce il nome stesso, di assolvere a una funzione estetica.

In altre parole, è fondamentale riempire l'intero cianfrino per evitare depressioni nello spessore superiori a 1 o 1,5 mm al termine della fase di riempimento. In questo caso, la passata di oscillazione per la passata di finitura aggiunge del materiale in più a quello richiesto per unire i due diametri senza creare insellature nella parte ascendente.

Per le posizioni 2G e 6G, la sequenza di rifinitura richiede diverse passate tirate, invece nella posizione 5GT è sufficiente una singola passata di oscillazione.

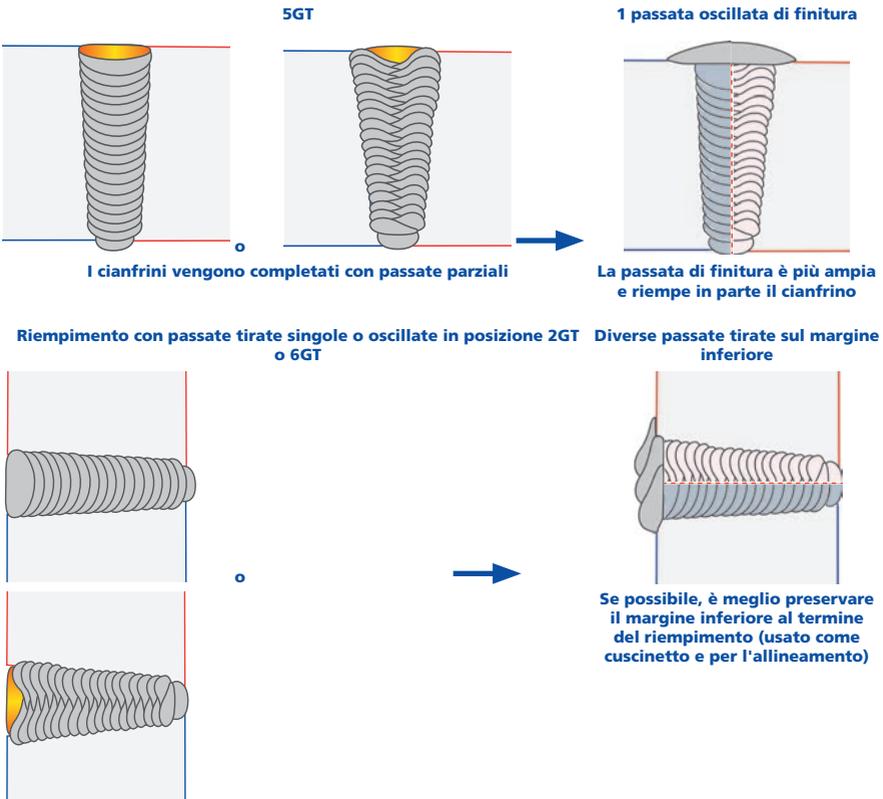


Fig. 29: Strategie per effettuare la passata di finitura in base alla posizione

7.6. Inconvenienti e riparazioni

In questo paragrafo vengono presentate alcune situazioni che richiedono un trattamento speciale, fuori dalla normale esecuzione della procedura di saldatura.

Le situazioni più comuni sono:

Durante la saldatura:

- Interruzione durante la passata (intenzionale o accidentale).
- Difetti dovuti alla bagnatura durante la passata.
- Completamento parziale della passata.
- Evoluzione della larghezza da saldare diverso da quella previsto nella procedura di riferimento.

Dopo la saldatura:

- Strategia per la riparazione in base ai risultati dei test non-distruttivi con casi di riparazione in parte manuale, in parte automatica, cianfrino di riparazione (centrato o decentrato), taglio e nuove saldature.

In funzione del grado di analisi, è necessario esaminare ogni caso durante il collaudo, qualificare i parametri speciali (o integrarli nella procedura) e stabilire la strategia di riparazione prima di iniziare.

7.7. Difficoltà ed esperienze acquisite

Di seguito alcune situazioni che tipicamente si presentano con le relative cause e possibili soluzioni:

- ▶ Saldando in posizione 5GT, la passata di penetrazione viene completata senza difficoltà e con un profilo interno soddisfacente. Tuttavia, la hot pass porta al collasso e alla formazione di insellature.

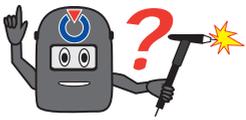
⇒ Se i parametri sono impostati correttamente, il problema è nel rapporto L/t .

L = ampiezza totale di due mezzi cianfrini (raggio incluso)

t = spessore tallone

L'ampiezza L è generalmente determinata sulla base della tecnologia della torcia utilizzata (di solito 9-9,5 mm per una torcia NG 7 e 12-13 mm per una torcia NG oscillante).

Raggi maggiori sono comunque tollerati con la torcia oscillante, pertanto con una torcia di ampiezza 7 mm si deve addattare lo spessore del tallone affinché possa essere saldato con un raggio di 1-1,5 mm.



Suggerimento per ripartire durante il riempimento.

Nella procedura a passate tirate singole per strato, l'area sopratesta è una delle più difficili per la ripartenza. In caso di arresto improvviso in questa area, spesso è più semplice ripartire alle 12 come se la passata fosse stata completata regolarmente. La saldatura al termine del riempimento richiederà comunque delle passate parziali ma la partenza sarà più semplice nella fase finale.

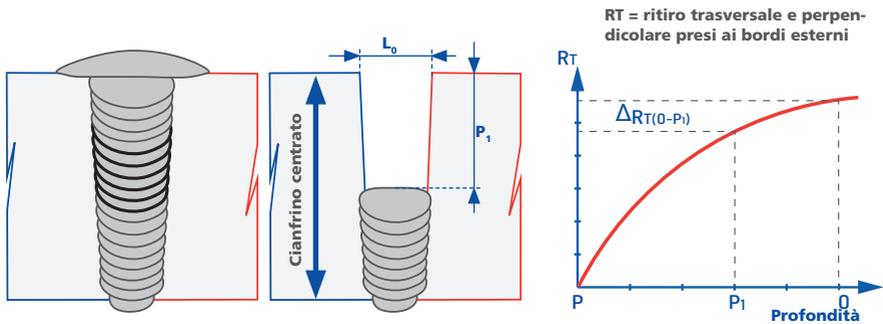
La strategia da adottare dipende dal tempo d'arco e dalla criticità del giunto.

Spesso si rivela più semplice tagliare e rifare una saldatura che presenta una passata di radice difettosa piuttosto che tentare dei ritocchi sul momento (tranne quando è possibile effettuare una passata sigillante d'emergenza o realizzare una riparazione locale a mano su spessori medi).

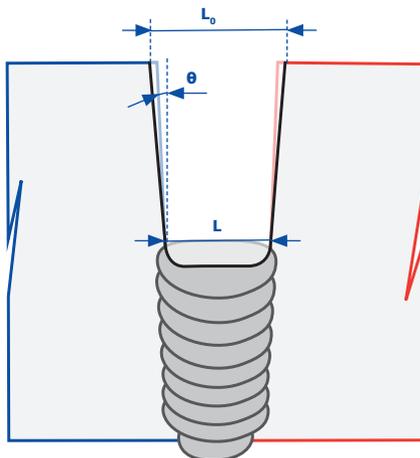
Se la saldatura presenta dei difetti di bagnatura, si consiglia il ricorso a passate di spianatura (laterali o centrali).

In base alla profondità, questa operazione può essere preceduta dall'affilatura o dalla preparazione di un cianfrino centrato.

Eeguire una riparazione centrando o decentrando un cianfrino è possibile, ma generalmente richiede una conoscenza approfondita (test preliminari) poiché un supporto importante blocca il ritiro (in questo caso, l'apertura del cianfrino deve essere della misura giusta in relazione alla profondità da riparare).



Definizione del profilo di un cianfrino da riparare



L = Ampiezza di riempimento nominale

θ = Angolo nominale

$$L_0 = L + \Delta RT + P(0-P_1)$$

- Se l'area della radice è decisamente oltre i 360° , si deve valutare se, in base al tempo di riparazione, non sia preferibile il taglio totale
- Se la mancanza di fusione si verifica su un solo lato, è concepibile un cianfrino decentrato (fermo restando l'assenza di imbruttatura). Ripartire con un cianfrino centrato è spesso l'approccio migliore in prima istanza.
- Sono possibili riparazioni locali (manuali o meccaniche) per difetti superficiali (un cianfrino circolare a 360° è di solito più facile da gestire). La scelta dipende dalle dimensioni del pezzo e dalla stima della tempistica necessaria per la riparazione.

Le passate di spianatura e i cianfrini riparati devono essere anticipati per assicurare la qualifica insieme o in aggiunta alla procedura di saldatura.

Fig.30: Strategia di riparazione di una saldatura in Narrow Gap

- ▶ Saldando in 5GT, si perde la penetrazione in posizione verticale discendente, la larghezza della penetrazione interna è modesta (2–3mm).

In questo caso, al contrario del precedente, lo spessore del tallone è esagerato, specialmente se regolando la corrente si verifica la bagnatura fra il bagno di fusione e il bordo del cianfrino (cfr. il riquadro su radice e concavità). Si noti che un cianfrino viene validato se rappresenta il miglior compromesso fra la difficoltà nel fondere lo spessore del tallone per ottenere il profilo richiesto (profilo convesso senza eccessi) e la resistenza alla fusione durante l'esecuzione delle hot pass.

- ▶ Saldando in 5GT, la penetrazione è correttamente proporzionata ma il filo "si trascina" all'inizio della posizione verticale ascendente o la saldatura si ferma dopo il collasso del tallone.

- 1 - Controllare che l'asse AVC sia sufficientemente inclinato in avanti.
- 2 - Optare per due passate di radice a 180° in discendente.

Se non è possibile effettuare questi passaggi, cambiare il lotto del metallo d'apporto.
ATTENZIONE: questo caso si applica solo alla saldatura a passate tirate.

- ▶ Nella saldatura a passate tirate, il bagno di fusione collassa durante la progressione ascendente nonostante una larghezza di 8-9 mm.

- 1 - Verificare l'altezza dell'arco e la corrispondente tensione. La tensione deve essere regolata durante il tempo di corrente bassa e un cono (che indica una pressione dell'arco elevata) deve essere visibile sulla superficie del bagno di fusione vicino all'elettrodo.

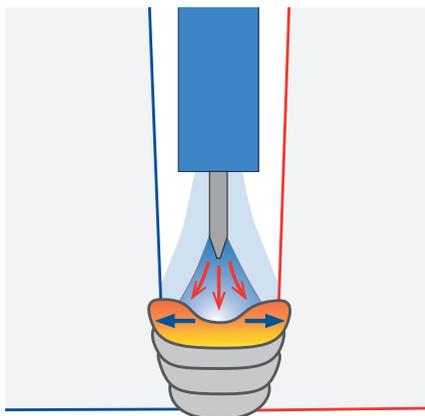


Fig. 31: La pressione dell'arco crea un cono nel metallo fuso.

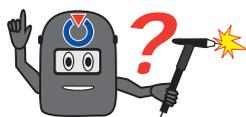
Questa pressione assiale è convertita dal mezzo (le passate precedenti) in due componenti radiali che favoriscono la bagnatura.

A differenza della saldatura su piastra, la bagnatura si può migliorare (fino a un certo punto) riducendo la tensione d'arco.

- 2 - Controllare l'inclinazione in avanti dell'AVC. Non deve superare i 10 gradi altrimenti potrebbe portare a una mancanza di fusione durante la progressione discendente.
- 3 - Se l'inclinazione è corretta, la causa va ricercata probabilmente nel comportamento del filo.
- 4 - Pochi casi possono essere gestiti attraverso la programmazione della corrente

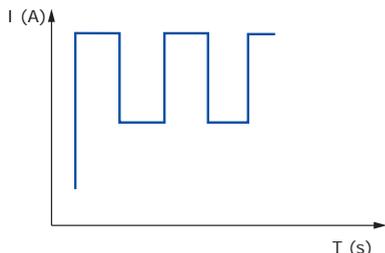


pulsata con monoimpulso (25–50ms con un picco di 30 - 50A). Se non è questo il caso, disporre la sostituzione del filo o riempire con passate in progressione semi-discendente. Assicurarsi quindi che l'asse AVC sia leggermente inclinato in avanti (circa 5°).

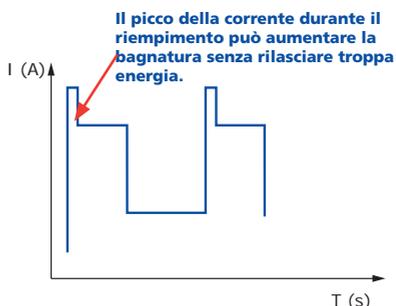


Cos'è la pulsazione con monoimpulso?

Impulso termico tradizionale



Pulsazione con monoimpulso



- ▶ Mancanza di fusione saldando in 5GT (soprattutto in posizione verticale discendente).
 - 1 - Identificare la distribuzione (360 o progressione specifica).
 - 2 - Assicurarsi di lavorare con passate di spessore massimo pari a 2-2,5 mm. Lo spessore delle passate deve aumentare progressivamente in relazione alle larghezze (passate sottili con larghezze strette e spessore di circa 2,5 mm per ampiezze grandi).
 - 3 - Correggere l'inclinazione dell'AVC (ridurre l'angolo) soprattutto in assenza di problemi operativi durante la progressione ascendente. A titolo informativo, la mancanza di fusione è molto rara in posizione verticale ascendente. I problemi più frequenti sono di carattere operativo (il bagno di fusione regge o collassa - se tiene, la saldatura è generalmente soddisfacente). D'altra parte, il bagno di fusione tiene molto facilmente durante la progressione discendente, ma si possono presentare difetti nella compattezza che sono meno facili da rilevare osservando il bagno di fusione.
- ▶ Presenza di porosità (in 2GT, 5GT, 6GT o 1GT)
 - 1 - Controllare che gli impulsi siano bilanciati logicamente fra il livello della corrente pulsata, la velocità alta del filo e il corrispondente riscaldamento del filo e correggere le proporzioni per i tempi della corrente di base.
 - 2 - Controllare la posizione del punto di impatto del filo (in particolare, assicurarsi che

il filo non si trovi sotto il bagno di fusione durante il tempo della corrente di base).

- ▶ Non c'è bagnatura sui bordi della saldatura con un elettrodo oscillante
 - 1 - Controllare le impostazioni della velocità di saldatura (max. 60–100 mm/min).
 - 2 - Aumentare l'energia ai bordi e ingrandire il bagno di fusione (aumentando la velocità del filo e il preriscaldamento dello stesso) rimanendo comunque nei limiti di 2-2,5 mm (tranne in posizione piana).
 - 3 - Controllare le impostazioni dell'altezza dell'arco e del livello di tensione.
 - 4 - Controllare il valore del ritardo sui bordi.
- ▶ Modificare la bagnatura del cordone al termine della passata di riempimento o nella passata di finitura. La sequenza che termina il riempimento è piuttosto complicata da controllare poiché comporta la compensazione per la riduzione dell'apporto termico (attraverso le pareti) riducendo l'energia di saldatura. Non è insolito, tuttavia, in questa stessa fase, essere esposti al deterioramento durante la protezione gas (corrente d'aria) che può disturbare la bagnatura inizialmente senza nessun altro segnale di avviso. Successivamente, se il fenomeno è di portata più vasta, esso può dare origine a ossidazione o addirittura alla formazione di porosità. È necessario pertanto osservare attentamente le raccomandazioni relative alla lunghezza dello stick-out e proteggere la postazione di lavoro dalla corrente d'aria che potrebbe fuoriuscire e causare imperfezioni (queste precauzioni vengono di solito trascurate nella saldatura TIG).
- ▶ Saldando a singola passata, la saldatura del cordone sulla passata di riempimento non è perfetta, un aumento di tensione non migliora la situazione (o addirittura la peggiora). Questa situazione è piuttosto frequente. Nella saldatura Narrow Gap, il riferimento per la tensione dell'AVC è preso sia sui bordi del cianfrino sia alla radice. Di conseguenza, un cianfrino che tende a restringersi farà sollevare l'elettrodo. Questo movimento verticale ascendente riduce la pressione dell'arco sul bagno di fusione che diventa più difficile da controllare. In tale situazione, diversamente da un caso normale (come la saldatura di fogli metallici), si dovrebbe ridurre la tensione d'arco per regolare la posizione verticale dell'elettrodo rispetto al bagno di fusione.

Due caratteristiche inducono di norma a confermare questa situazione:

- 1 - Il filo sulla torcia si interrompe (contatto filo caldo con bagno di fusione rotto).
- 2 - Il cono nel metallo fuso (sotto elettrodo) è meno pronunciato.

Attenzione: se il cianfrino tende ad allargarsi bisogna operare con il ragionamento inverso, cioè conforme alla regolazione dei parametri su una superficie libera.

8. Scelta dell'impianto

Il profilo del pezzo, gli spessori e l'ambiente sono i parametri fondamentali che indirizzano la scelta dell'impianto di saldatura da utilizzare.

Le macchine per la saldatura sono generalmente associate a uno strumento dedicato.

Di seguito vengono presentati alcuni esempi tipici di configurazioni di impianti in base allo spessore delle sezioni da saldare.

8.1. Spessori inferiori a 45mm

Per spessori inferiori a 45mm di spessore è possibile utilizzare impianti standard meccanizzati o orbitali, purché siano compatibili con i fattori di marcia richiesti.

Il generatore P6 HW è consigliato per applicazioni orbitali che si avvalgono della tecnica a passate tirate singole e di una testa di saldatura convenzionale.



Fig. 32: Generatore P6 HW



Fig. 33: Interfaccia manipolatore

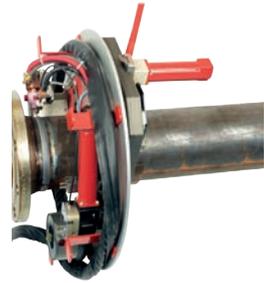


Fig. 34: Testa di saldatura tipo MU

I generatori PC, più versatili e modulari, sono più adatti alle applicazioni meccanizzate o anche ad applicazioni più complesse come le soluzioni che integrano una base robotica o gli impianti di taglio orbitale.

Le interfacce manipolatore, le teste orbitali come la MU filo caldo o la POLYCAR (versione 60-3 - MP), ma anche la SPX, sono assolutamente adatte.

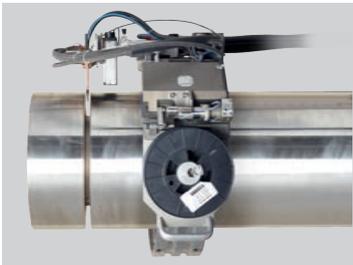


Fig. 35: Testa di saldatura carrellata Polycar

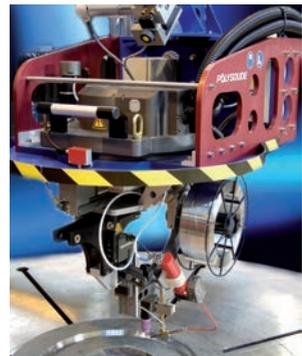


Fig. 36: Testa di saldatura SPX

Le teste del tipo carrellato offrono il vantaggio di poter essere usate su binari circolari o dritti. La POLYCAR MP (trasmissione a frizione) può essere implementata su sezioni combinate (curve o ellittiche, ecc...). Grazie alla semplicità del suo profilo, le aziende possono creare strumenti specifici per la loro POLYCAR MP.

Oltre all'aspetto economico, questo approccio apre la strada alla possibilità di creare caratteristiche dedicate e specifiche per la forma dei pezzi da saldare.

Il concetto di binari dritti è identico a quello di "banco di bloccaggio", ad eccezione del fatto che i primi possono essere usati in tutte le posizioni e rappresentano una soluzione facilmente applicabile per le saldature lineari.

8.2. Spessori fino a 100mm

I portatorcia sono gli stessi delle torce standard. Attenzione però alle saldature circolari su piano orizzontale che, oltre ai casi particolari come le cosidette saldature vincolate (forte concentrazione di ritiro), richiedono anche torce Narrow Gap con profilo curvo (da evitare).

8.3. Spessori superiori a 100mm

Gli strumenti gradualmente aumentano di dimensione arrivando a formare, in certi casi, moduli del peso di diversi quintali (ad esempio, le applicazioni per rotori di turbine).

Per le applicazioni cosidette meccanizzate, le soluzioni sono simili ma costruite sulla base di componenti più robusti adatti al contesto, alla geometria e al peso dei subassemblati e conformemente allo spessore dei pezzi.

Per la saldatura orbitale, tuttavia, il peso e la movimentazione delle torce e l'esigenza di considerare l'uso di bobine da 15 kg (dovute ai volumi di metallo da depositare) richiedono strumenti più grandi rispetto alle teste POLYCAR 60-3 e MP. In questo caso, scegliere delle teste in grado di muovere carichi pesanti (80kg) con un decentramento che fornisca sufficiente flessibilità per adattarsi a lavori gravosi.

Inoltre, l'uso di un robot di saldatura è raccomandato per tutte le traiettorie ad eccezione di quella circolare o nel caso in cui la società desideri acquisire un'attrazzatura più versatile.



Fig. 37: Testa di saldatura per applicazione su rotore turbina

8.4. Soluzioni robotizzate

Non ci sono particolari considerazioni da fare per le soluzioni che si avvalgono di torce destinate alle applicazioni superiori a 45mm. Una torcia con ugello retrattile rappresenta una soluzione polivalente, a patto che si accetti di effettuare la sostituzione dell'elettrodo in modo non automatico.

Per grandi spessori, è necessario integrare peso e dimensioni delle torce e scegliere dei robot che siano compatibili con un carico predeterminato del polso di 10-50kg.

La concezione della traiettoria rimane legata al profilo delle torce che limita i movimenti e implica lo studio del posizionamento della torcia sui soliti tre assi.

L'uso di una torcia Narrow Gap rende il concetto di manutenzione automatica preventiva, come ad esempio il cambio dell'elettrodo, qualcosa di illusorio.

Gli altri approcci hanno un legame specifico con il robot in uso e seguono le dimensioni del pezzo e il livello di automazione (sistema meccanizzato, stazione multi-robot, segui-giunto, ecc...).



Fig. 38: Robot e torcia NG-OSC

9. Conclusioni

La saldatura TIG Narrow Gap non è più una soluzione solo per circostanze eccezionali. È da tenere in considerazione ogni qualvolta lo spessore da saldare sia superiore a 30 mm. Un'analisi iniziale è imperativa per poter accertare i vantaggi potenziali, verificare l'assenza di evidenti controindicazioni e soprattutto scegliere il metodo e l'impianto che più si addice al contesto.

Esistono parecchie soluzioni ad alto livello industriale confermate da esempi concreti.

Le difficoltà che insorgono nell'implementazione delle procedure di saldatura variano a seconda della tecnica scelta. La tentazione di applicare un approccio semplicistico e trascurare uno studio caso per caso è da evitare in quanto non si tratta di una soluzione universale.

Inoltre, parlando di attrezzature, l'intera gamma di spessori che va da 30 a 300 mm è coperta da numerose varianti e adattamenti possibili per i casi speciali.

Per la scelta del processo di saldatura, la conoscenza e la padronanza della tecnica TIG sono gli elementi fondamentali grazie a cui questa tecnica si è diffusa, permettendo così di farvi ricorso in caso di difficoltà.

Dal punto di vista di un'azienda, l'implementazione di un'applicazione Narrow Gap richiede un approccio strutturato con fasi ben definite rispetto a:

- Conoscenza delle condizioni di saldatura (mezzi, ambiente, tempistiche, ...).
- Verifica della flessibilità operativa (preparazione del giunto, aspetti metallurgici,...)
- Conoscenza delle condizioni di ritiro e dei vincoli.
- Definizione degli obiettivi (criteri di accettabilità, livello di produttività, ...).
- Selezione del materiale di riempimento.
- Scelta della metodologia (tecnica operativa, strumenti, ...).
- Definizione delle procedure di saldatura e dei limiti.
- Inconvenienti e soluzioni di riparazione.
- Formazione (qualificazione del personale e procedure di assistenza postvendita).
- Controllo e supporto alla produzione.

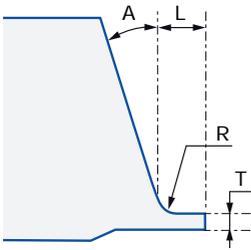
Contemporaneamente, potrebbe rendersi necessario intraprendere step di validazione simili a quelli richiesti per la saldatura riguardo i macchinari, la tracciatura e la tracciabilità dei materiali e le tecniche di ispezione.

Tutte queste misure preventive trovano la loro ragione d'essere nella prospettiva di una sostanziale convenienza se comparata con l'uso di tecniche più convenzionali.

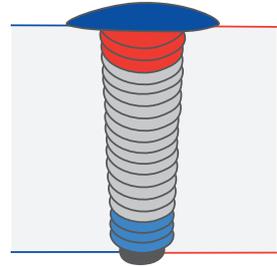


10. Appendice 1 – Sviluppo della metodologia per una procedura di saldatura Narrow Gap con passate tirate singole per strato

- Fase 1: Identificare le variabili principali

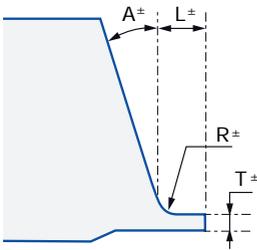


Definizione del cianfrino, delle sequenze e dei relativi parametri



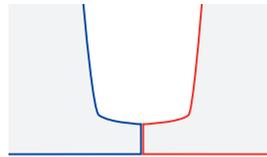
- Fase 2: Sequenza di radice

Tolleranze del cianfrino e tolleranze dell'allineamento in relazione ai test sui margini
 Prove con saldabilità variabile



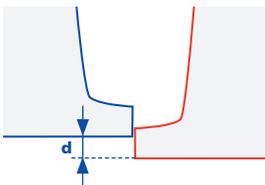
$$L_{\min} + t_{\max}$$

$$L_{\max} + t_{\min}$$

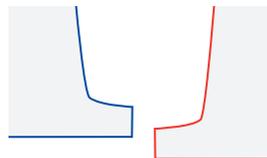


Parametri nominali

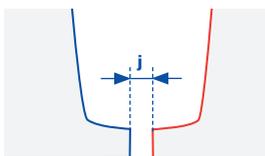
- Fase 3: Differenza spazio e livello



d_{\max} parametri



Parametri $d_{\max} + j_{\max}$



j_{\max} parametri



► Fase 4: Passate di riempimento

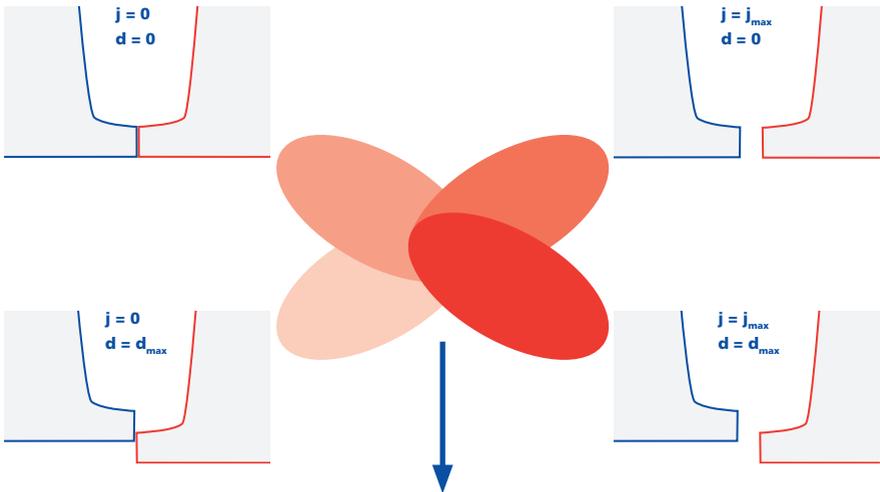
Parametri di saldatura in relazione alla larghezza L e in base alla posizione



TH: Spessore delle passate di riempimento = costante

► Fase 5: Riepilogo dei parametri di saldatura della radice

Parametri di saldatura della radice

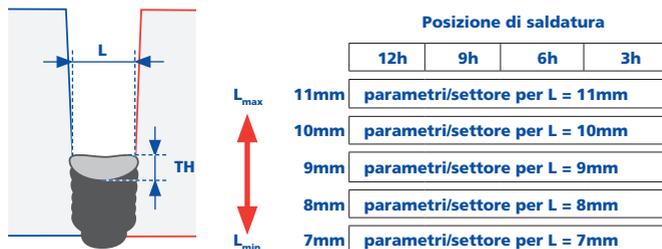


Intersezione delle differenti condizioni obbligatorie ottenute limitando le tolleranze di allineamento

Parametri di saldatura della radice
 $j = 0 - j = j_{max}$ (nominale o modificato)
 $d = 0 - d = d_{max}$ (nominale o modificato)

► Fase 6: Riepilogo dei parametri di riempimento

Determinazione dei parametri in relazione alla gamma di larghezze L e in base alla posizione



TH: spessore delle passate di riempimento = costante

Non è possibile nessuna intersezione lungo l'intera gamma di larghezze (per mantenere costante lo spessore delle passate)

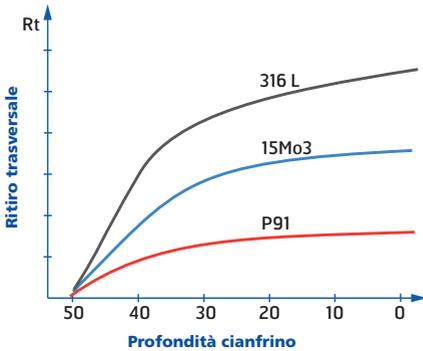
Misurazione della larghezza nelle 4 posizioni e uso di una procedura per scegliere i parametri per ogni misurazione.

11. Appendice 2 – Ritiro di saldatura

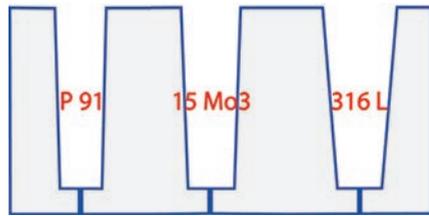
Conoscenza e controllo (ripetibilità) permettono di definire l'angolo del cianfrino.

Il ritiro trasversale dipende da:

- Energie di saldatura
- Spessore delle pareti
- Caratteristiche meccaniche dei materiali
- Configurazione giunto



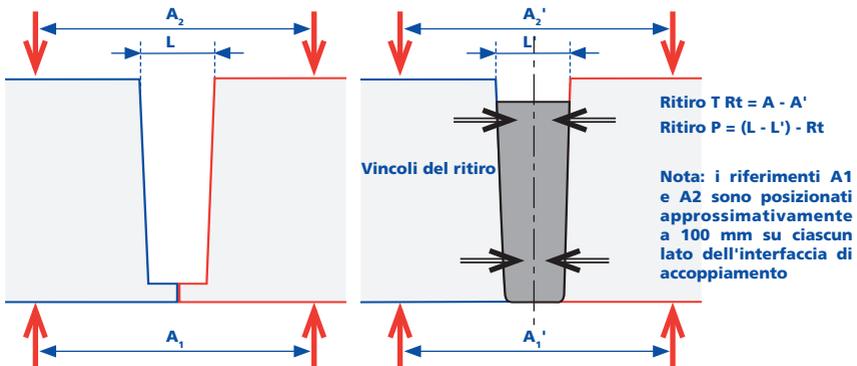
Esempio dell'influenza dei materiali (a parità delle altre condizioni)



Esempi di variazione in base ai gradi (a parità delle altre condizioni)

Le caratteristiche meccaniche determinano il valore del ritiro a parità delle condizioni riferite all'energia.

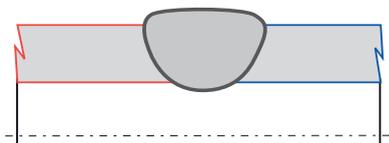
Ritiro trasversale e ritiro perpendicolare (alla linea di saldatura)



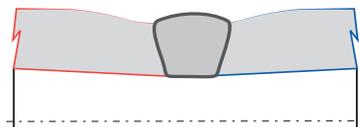
Il ritiro trasversale corrisponde alla riduzione in ampiezza del giunto lungo l'intero spessore.

Il ritiro perpendicolare su alcuni materiali corrisponde alla deformazione di una parte dello spessore (tipicamente sugli acciai 304L, 316L, etc.).

Questo fenomeno è osservabile nella riduzione dello spessore in prossimità della saldatura (effetto "diabolo").



Ritiro perpendicolare ≈ 0



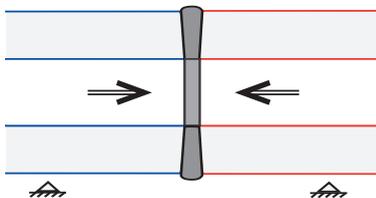
Forte ritiro perpendicolare (effetto "diabolo")

Definizione dell'apertura del cianfrino in base ai valori di ritiro.

Apertura del cianfrino: ampiezza nominale da saldare + ritiro trasversale + ritiro perpendicolare.

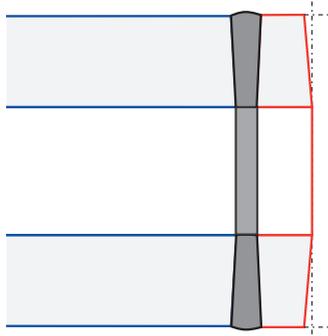
Importanza della configurazione del giunto

- 1 - Ritiro libero (caso di due sezioni di tubo posizionate)



L'inerzia del tubo frena il ritiro longitudinale. Il ritiro trasversale e perpendicolare si presentano normalmente.

- 2 - Ritiro eccessivo



Deformazione legata alla mancanza di inerzia (+ riscaldamento)

Uno dei due pezzi non ha la sua naturale inerzia. Il fenomeno può essere accentuato da una differenza nella temperatura.

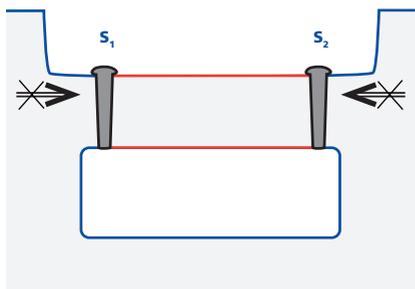
La deformazione è maggiore rispetto a un giunto tubo-tubo.

L'apertura deve essere incrementata di conseguenza.



3 - Saldature vincolate

Saldatura lineare doppia

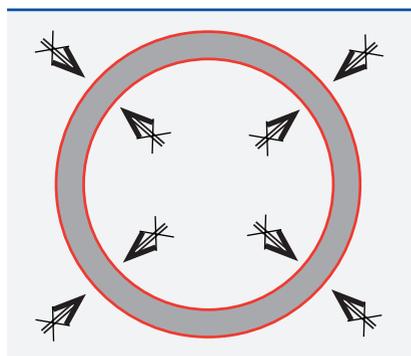
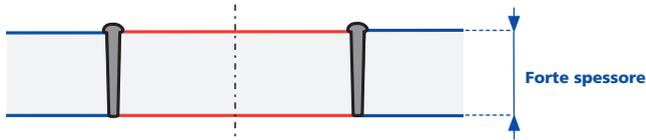


Il ritiro trasversale sarà inferiore rispetto al ritiro su giunti tubo-tubo (vincoli residuali elevate).

Il ritiro trasversale è bloccato se entrambi i giunti sono saldati o sequenziali.

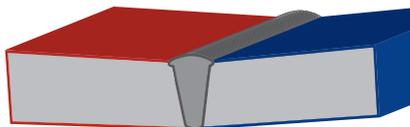
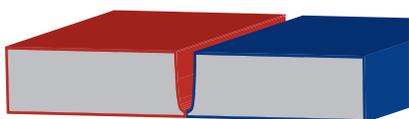
È invece libero se S1 viene saldato completamente prima di S2, da evitare però a causa delle variazioni in ampiezza su S2.

Saldatura circonferenziale

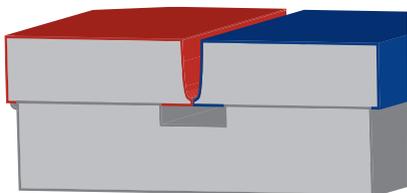


Il ritiro trasversale è bloccato dall'inerzia della piastra.

Per giunti su piastra, i vincoli possono derivare dai ponti progettati per limitare i disallineamenti angolari.



Ritiro non vincolato (caso di ritiro eccessivo legato alla mancanza di inerzia della piastra).



Saldatura di un rinforzo che, dopo la saldatura, applica un vincolo.

4 - Ritiro longitudinale

Questo è il ritiro che si verifica lungo la linea di saldatura.

Per esempio, su una tubazione questo ritiro si manifesta attraverso la riduzione del diametro interno.





Your partners worldwide

ARGENTINA

STMAC SRL
☎ +54 11 4247 2184

AUSTRALIA

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

AUSTRIA

POLYSOUDE AUSTRIA GmbH
☎ +43 (0) 3613 2 00 36

BELGIUM

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)
☎ +31 (0) 653 38 85 58

BRAZIL

AJADE COMÉRCIO INSTALAÇÕES E SERVIÇOS Ltda
☎ +55 (0) 11 4524 3898

BULGARIA

KARWELD FOOD
☎ +359 (0) 29 73 32 15

CANADA

MAG TOOL INC.
☎ 800 661 9983

CHINA

POLYSOUDE SHANGHAI CO. LTD.
☎ +86 (0) 21 64 09 78 26

CROATIA

EUROARC D.O.O.
☎ +385 (0) 1 240 60 77

CZECH REPUBLIC

POLYSOUDE CZ
☎ + 420 602 602 855

DENMARK

HALL & CO. INDUSTRI
☎ +45 (0) 39 56 06 76

EGYPT

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

ESTONIA

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

FINLAND

SUOMEN TEKNOHAUS OY
☎ +358 (0) 927 47 2 10

FRANCE

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

GERMANY

POLYSOUDE DEUTSCHLAND GmbH - DUSSLINGEN
☎ +49 (0) 7072 60 07 60

NIEDERLASSUNG LEVERKUSEN

☎ +49 (0) 2171 58 13 36

GREAT BRITAIN

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

GREECE

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

HUNGARY

POLYWELD Kft.
☎ +36 (0) 20 29 88 708

INDIA

POLYSOUDE INDIA
☎ +91 (0) 20 400 35 931

MEXICO

ASTRO ARC POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

NETHERLANDS

POLYSOUDE BENELUX
☎ +31 (0) 653 84 23 36

POLYSOUDE BENELUX (SERVICE)
☎ +31 (0) 653 38 85 58

NEW ZEALAND

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

NORWAY

TEMA NORGE S.A.S.
☎ +47 (0) 51 69 25 00



INDONESIA

POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE
☎ +65 0734 8452

ISRAEL

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

ITALY

POLYSOUDE ITALIA SRL
☎ +39 (0) 2 93 79 90 94

JAPAN

GMT CO Ltd. - KAWASAKI
☎ +81 (0) 44 222 67 51
GMT CO Ltd. - OSAKA
☎ +81 (0) 789 35 67 51

JORDAN

POLYSOUDE UK
☎ +44 (0) 1942 820 935

LATVIA

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

LITHUANIA

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

MALAYSIA

POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE
☎ +65 0734 8452

PAKISTAN

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

PHILIPPINES

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

POLAND

ZALCO Sp. z.o.o.
☎ +48 (0) 22 894 55 00

UNIDAWELD - BEDZIN
☎ +48 (0) 32 267 05 54

PORTUGAL

POLYSOUDE IBERIA OFFICE
☎ +34 609 154 683

ROMANIA

DEBISUD S.R.L.
☎ / Fax +40 (0) 255 21 57 85

RUSSIA + C.I.S.

POLYSOUDE RUSSIA
☎ +7 (0) 495 564 86 81

SAUDI ARABIA

ALRUQEE INDUSTRIAL MARKETING Co Ltd
☎ +966 (0) 3857 6383

SINGAPORE

POLYSOUDE SINGAPORE OFFICE
☎ +65 0734 8452

SIN SOON HUAT WELDING PRODUCTS PTE. LTD
☎ +65 6265 6088

SLOVAKIA

POLYSOUDE CZ
☎ +42 (0) 602 602 855

SOUTH AFRICA

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

SOUTH KOREA

CHEMIKO CO. LTD
☎ +82 (0) 2 567 5336

SPAIN

POLYSOUDE IBERIA OFFICE
☎ +34 609 154 683

SWEDEN

HALL & CO. INDUSTRI
☎ +45 (0) 39 59 06 76

SWITZERLAND

POLYSOUDE (SWITZERLAND) INC.
☎ +41 (0) 43 243 50 80

TAIWAN R.O.C.

FIRST ELITE ENT. CO. LTD.
☎ +886 (0) 287 97 88 99

THAILAND

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +86 (0) 65 6862 60 08

TURKEY

POLYSOUDE S.A.S.
☎ +33 (0) 2 40 68 11 00

UNITED ARAB EMIRATES

GERMAN GULF ENTERPRISES LTD.
☎ +971 (0) 65 31 61 71

UKRAINE

POLYSOUDE RUSSIA
☎ +7 (0) 495 564 86 81

UNITED STATES

ASTRO ARC POLYSOUDE INC.
☎ +1 (0) 661 702 0141

VENEZUELA

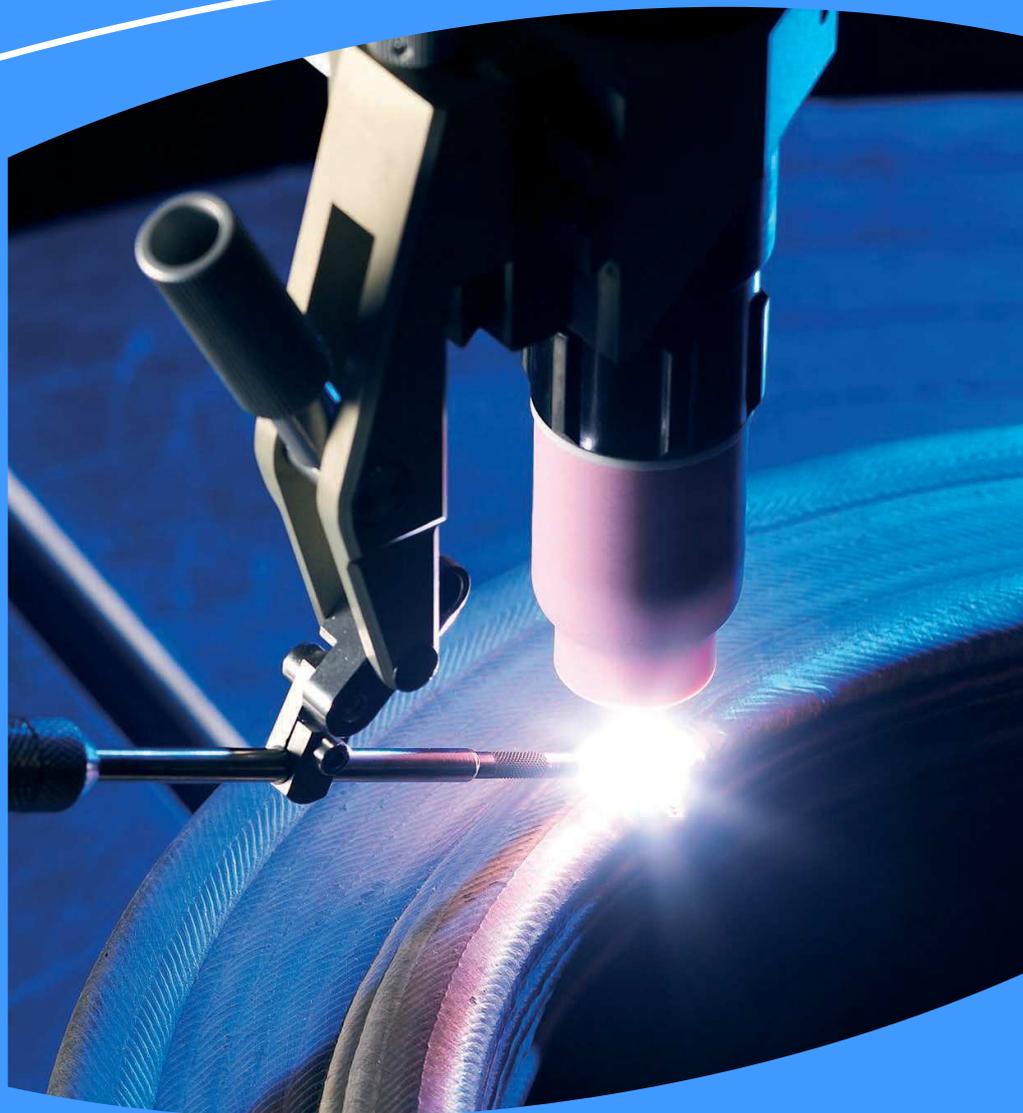
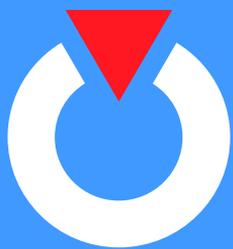
ENRIVA C.A.
☎ +58 (0) 243 242 45 41

Polysoude S.A.S.

ZI du Bois Briand • 2 rue Paul Beaupère • BP 41606
F-44316 NANTES Cedex 3

Tel. : +33 (0) 2 40 68 11 00 • Fax: +33 (0) 2 40 68 11 88

www.polysoude.com • e-mail: info@polysoude.com



WELDONE

WELDING SOLUTIONS & PRODUCTS ONE GLOBAL PARTNER

VENDITA
NOLEGGIO
ASSISTENZA TECNICA
FORMAZIONE
CONSULENZA

WELDONE srl • S.P. Ex S.S. 415 Pallese, Km 46,2 • 26012 Castelleone CR • T. +39 0374 948008 • info@weldone.it • www.weldone.it

GAS TECNICI • MATERIALI E IMPIANTI PER SALDATURA E TAGLIO • IMPIANTI DI ASPIRAZIONE • SCUOLA DI SALDATURA

POLYSOUDE