

## Guida alla Saldatura Orbitale



Edizione originale: 2009 - Aggiornamento 11/2014 - Polysoude S.A.S. Nantes France.

Le foto, schemi e disegni sono aiuti alla comprensione ma non sono contrattuali.  
Tutti i diritti alla riproduzione sono riservati. Non potrà essere effettuata alcuna riproduzione totale o parziale di quest'opera, sotto nessuna forma, elettronica o meccanica, comprese fotocopie, registrazione con mezzo informatico senza il permesso scritto dell'editore.

Stampato in Francia.

Pubblicato da Polysoude, Francia.

[www.polysoude.com](http://www.polysoude.com) [info@polysoude.com](mailto:info@polysoude.com)





## INDICE

1. Prefazione	7
2. Cos'è la saldatura orbitale?	7
3. Il processo TIG (o GTAW) in sintesi	7
3.1. Vantaggi/Svantaggi del processo TIG (o GTAW)	8
3.2. Tipi di corrente di saldatura	8
3.3. Elettrodi in tungsteno	9
3.4. Materiali d'apporto	9
3.5. Gas	10
3.6. Energia di saldatura	11
4. Perché scegliere la saldatura orbitale	13
4.1. Aumento della produttività rispetto alla saldatura manuale	13
4.2. Ottima qualità della saldatura	13
4.3. Abilità richieste all'operatore	13
4.4. Ambiente	13
4.5. Tracciabilità – Controllo Qualità	13
5. Settori industriali che applicano il processo di saldatura orbitale	14
5.1. Industria aeronautica/aerospaziale	14
5.2. Industria alimentare	14
5.3. Industria farmaceutica e biotecnologica	14
5.4. Produzione di dispositivi semi-conduttori	15
5.5. Industria chimica	15
5.6. Centrali a combustibili fossili e nucleari	15
6. Specifiche del processo di saldatura orbitale	16
6.1. Posizioni di saldatura tipiche	16
6.2. Corrente pulsata	16
6.3. Programmazione dei settori	17
7. Componenti hardware dell'impianto di saldatura orbitale	17



8. Generatori programmabili	18
8.1. Generale	18
8.2. Generatori portatili	18
8.3. Generatori carrellati di media grandezza	19
8.4. Generatori multifunzione modulari	20
9. Teste per la saldatura orbitale	20
9.1. Teste per saldatura tubo-tubo	20
9.2. Teste per saldatura tubo-piastra	22
10. Alimentatori filo	23
11. Funzioni dell'impianto orbitale	23
11.1. Gestione del gas	23
11.2. Corrente	24
11.3. Rotazione della torcia	25
11.4. Alimentazione filo	26
11.5. AVC (Controllo Tensione d'Arco)	27
11.6. Oscillazione	28
11.7. Controllo a distanza	29
11.8. Gruppo refrigeratore	29
12. Programmazione del ciclo di saldatura	30
12.1. Struttura per programmare un ciclo di saldatura con 4 assi	30
12.2. Interfacciamento per la programmazione dei cicli di saldatura	31
12.3. Programmazione offline	32
13. Acquisizione dati in tempo reale	33
13.1. In sintesi	33
13.2. Acquisizione dati in tempo reale integrata	33
13.3. Acquisizione dati in tempo reale esterna	34
14. Saldatura tubo-tubo per fusione	34
14.1. Applicazioni	34
14.2. Impianto	35
14.3. Calcolo dei valori dei parametri di saldatura	37
14.4. Cianfrinatura	37
14.5. Preparazione dell'elettrodo	38

14.6. Gas di protezione a rovescio	39
14.7. Composizione chimica e ripetibilità delle saldature	39
15. Saldatura orbitale tubo-tubo o pipe-pipe con filo d'apporto	40
15.1. Applicazioni	40
15.2. Scelta degli impianti	40
15.3. Preparazione alla saldatura	41
15.4. Posizionamento dei tubi	42
15.5. Saldatura multipass	42
15.6. Elettrodo in tungsteno	43
15.7. Gas di protezione a rovescio	43
15.8. Parametri non programabili	43
15.9. Regolazioni meccaniche	44
15.10. Possibilità di aumentare le prestazioni della saldatura TIG orbitale	44
16. Saldatura orbitale tubo-piastra	46
16.1. Materiali e dimensioni dei tubi	46
16.2. Impianti di saldatura	46
16.3. Requisiti specifici per i tubi e i cianfrini	47
16.4. Saldatura di tubi a filo piastra	48
16.5. Saldatura di tubi sporgenti	49
16.6. Saldatura di tubi arretrati	51
16.7. Saldatura I.B.W.	52
17. Conclusione	53



## 1. Prefazione

La **saldatura orbitale TIG** è ormai una realtà consolidata fra i processi di saldatura industriale, sebbene la vasta gamma di possibilità permesse da questa tecnica innovativa sia ancora sconosciuta al grande pubblico. Si affidano alla saldatura orbitale l'industria aerospaziale, aeronautica, ferroviaria ad alta velocità, nucleare, farmaceutica, alimentare e micro-elettronica, giusto per citare solo alcune delle principali applicazioni, ma anche gli impianti che quotidianamente ci assicurano corrente elettrica, benzina e gas dipendono dalle tecniche di saldatura orbitale.

La presente guida fornisce informazioni di base sul processo di saldatura orbitale

e i relativi impianti: approccio tecnico, vantaggi, applicazioni comuni e speciali, ma anche vincoli e limiti. Per maggior chiarezza, il testo è provvisto di numerosi esempi pratici.

Grazie alle tabelle e ai disegni, i tecnici e gli esperti in saldatura, ma anche i project manager, possono ottenere rapidamente risposte relative all'uso della saldatura orbitale per trovare le soluzioni più adatte alle loro esigenze.

Se le vostre domande richiedono risposte più specifiche, vi invitiamo a visitare il nostro sito web e a consultare il customer service ([info@polysoude.com](mailto:info@polysoude.com)).

## 2. Cos'è la saldatura orbitale?

Quando sono richiesti risultati di alta qualità, la prima scelta per la saldatura dei tubi è la saldatura orbitale. Nella maggior parte dei casi si usa il processo di saldatura TIG (Tungsten Inert Gas), in cui la torcia di saldatura gira intorno ai tubi da saldare guidata da un sistema meccanico. Il nome "saldatura orbitale" deriva dal movimento circolare dell'attrezzo attorno al pezzo.

In generale, la tecnica della saldatura orbitale è impiegata in due campi di applicazione principali:

- Tubo-tubo/pipe-pipe
- Tubo-piastra

Al primo gruppo appartengono tutte le possibili giunzioni di tubi: saldatura di testa e saldatura di flange, pieghe, raccordi a T e valvole, in sostanza ogni esigenza nel campo delle tubazioni e del piping.

Il secondo gruppo si riferisce alla produzione di caldaie e scambiatori di calore e comprende diversi aspetti relativi alle operazioni per la saldatura tubo-piastra.

## 3. Il processo TIG (o GTAW) in sintesi

Un arco elettrico è mantenuto fra l'elettrodo in tungsteno infusibile e il pezzo da saldare. L'elettrodo supporta il calore dell'arco, così il metallo del pezzo si fonde e forma il bagno di fusione.

Il metallo fuso del pezzo e l'elettrodo devono essere protetti dall'ossigeno presente

nell'atmosfera. Un gas inerte come l'argon serve come gas di protezione.

Se è necessaria l'aggiunta di un materiale metallico d'apporto, è possibile aggiungere un filo nel bagno di fusione, in cui si fonde grazie all'energia rilasciata dall'arco elettrico.



## 3.1. Vantaggi/Svantaggi del processo TIG (o GTAW)

### 3.1.1. Vantaggi

- 1 - Quasi tutti i metalli possono essere saldati.
- 2 - È possibile saldare diversi tipi di acciaio, compreso l'acciaio inossidabile, e anche le leghe di nichel resistenti alla corrosione o refrattarie, l'alluminio, il rame, l'oro, il magnesio, il tantalio, il titanio, lo zirconio e le loro leghe. Anche ottone e bronzo possono essere saldati in determinati casi. Se viene applicato il materiale d'apporto, pezzi formati da leghe o materiali eterogenei possono ugualmente essere saldati insieme.
- 3 - Sono possibili tutte le posizioni di saldatura.
- 4 - Il processo è molto stabile e affidabile;

### 3.1.2. Svantaggi

- 1 - Se comparato con gli altri processi di saldatura ad arco, il tasso di deposito del processo TIG è relativamente basso.
- 2 - La determinazione delle procedure di saldatura e degli esatti valori dei parametri

l'incidenza di difetti nella saldatura è ridotta a meno dell'1%.

- 5 - Non si sviluppano né vapori né scorie durante la saldatura.
- 6 - I parametri rilevanti della saldatura possono essere ampiamente calibrati e sono indipendenti l'uno dall'altro.
- 7 - La saldatura TIG può essere effettuata con o senza filo d'apporto.
- 8 - La tensione d'arco, che è direttamente correlata alla lunghezza dell'arco, e l'intensità di corrente di saldatura offrono un'ampia gamma di possibili varianti e possono essere controllate automaticamente.

necessari al controllo del processo è dispendiosa in termini di tempo e costi.

- 3 - L'impianto per la saldatura è sofisticato e richiede un investimento di capitali più oneroso rispetto alla saldatura manuale

## 3.2. Tipi di corrente di saldatura

Si possono applicare due tipi di corrente nelle tecniche per la saldatura TIG:

- La corrente continua (DC) è la più usata per saldare quasi tutti i tipi di materiali.
- La corrente alternata (AC) è preferita per saldare l'alluminio e le leghe di alluminio.

Se si usa la DC, l'elettrodo è connesso come catodo all'estremità negativa del generatore; questa configurazione è chiamata **DCEN** o in corrente continua a elettrodo negativo. In questo caso gli elettroni dell'arco elettrico scorrono dall'elettrodo con polarità negativa al pezzo con polarità positiva. Fino al 70% dell'energia rilasciata serve a scaldare il pezzo, ciò significa un'efficienza pari a 0,7 (energia utile/energia rilasciata).

La configurazione **DCEP** o in corrente continua a elettrodo positivo invece non è utiliz-

zata nel processo TIG, ad eccezione della saldatura di alcune applicazioni molto speciali in alluminio. Infatti, con questa modalità la maggior parte del calore viene trasmesso all'elettrodo in tungsteno, pertanto già con basse intensità di corrente negli elettrodi con diametri ampi, in confronto alla TIG DCEN, è necessario sottrarre calore.

Se si lavora in AC, il flusso di elettroni commuta periodicamente tra la polarità positiva e quella negativa. Durante la fase di polarità positiva l'elettrodo in tungsteno agisce come un anodo e grazie all'effetto pulente prodotto riesce a distruggere lo strato di ossido sulla superficie del pezzo. Durante la fase di polarità negativa l'elettrodo in tungsteno agisce come un catodo e apporta al pezzo il calore necessario a fondere l'alluminio. In questa fase l'elettrodo può raffreddarsi.

### 3.3. Elettrodi in tungsteno

#### 3.3.1. Tipi di elettrodi

Il tungsteno è un metallo altamente refrattario, il cui punto di fusione è di 3.410 °C, resiste al calore dell'arco elettrico e mantiene la sua durezza anche se diventa rosso incandescente. In passato sono stati ampiamente utilizzati nella saldatura TIG gli elettrodi in tungsteno toriato, ma poiché il torio è un elemento a bassa radioattività è richiesto l'uso di una macchina affila-

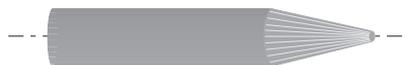
elettrodi speciale per assicurare il corretto smaltimento delle particelle prodotte dall'affilatura.

Oggigiorno, si preferisce utilizzare elettrodi di leghe di tungsteno diverse, ad esempio, con il cerio e il lantanio, che sono prive di radioattività. Inoltre le loro prestazioni sono comparabili a quelle degli elettrodi in tungsteno toriato.

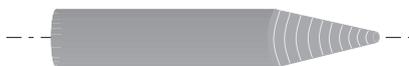
#### 3.3.2. Affilatura dell'elettrodo

Per ottenere l'affilatura precisa, accurata e ripetibile necessaria a mantenere stabile l'arco e a conseguire un livello costante di penetrazione, dovrebbe essere utilizzata una speciale macchina affila-elettrodi.

L'affila-elettrodi deve assicurare che i segni di affilatura sulla parte rastremata siano paralleli all'asse dell'elettrodo. Ciò garantisce un miglior innesco e un'incrementata stabilità dell'arco.



Giusto: segni di affilatura longitudinali



Sbagliato: segni di affilatura circolari

### 3.4. Materiali d'apporto

L'applicazione del filo d'apporto si rende necessaria al verificarsi delle seguenti condizioni:

- 1 - Se il cordone di saldatura deve essere rinforzato.
- 2 - Se si deve saldare l'acciaio al carbonio o l'acciaio dolce.
- 3 - In caso di cianfrinatura, per esempio cianfrinatura a J o a V.
- 4 - Per evitare difetti sul metallo se i tubi da saldare sono fatti di metalli o leghe diversi.

Un esempio molto comune è la saldatura tra acciaio al carbonio e Acciaio Inox 316,

in cui si aggiunge un filo d'apporto fatto di Acciaio Inox 309 o una lega a base di nichel Inconel 82®.

- 5 - Se le leghe modificano la composizione o la struttura durante la saldatura.

Gli elementi della lega possono evaporare durante il processo di saldatura o formare un nuovo composto. Per esempio, si crea il carburo di cromo se il cromo si combina con il carbonio. Ne risulta una mancanza di cromo metallico che può causare una diminuzione indesiderata della resistenza alla corrosione nella zona riscaldata.



### 3.5. Gas

#### 3.5.1. Gas di saldatura

L'**argon** è comunemente usato come gas di protezione nel processo TIG poiché possiede caratteristiche importanti per un'eccellente stabilità dell'arco anche a basse correnti, confinando l'energia dell'arco in un'area ristretta. Inoltre l'argon è compatibile con tutti i tipi di materiale base.

Il gas di protezione per il processo di saldatura TIG dovrebbe avere una purezza pari a 4.5, vale a dire un livello di purezza di 99,995%. I metalli che sono classificati come sensibili da saldare, ad esempio il titanio, il tantalio, lo zirconio e le loro leghe, richiedono una purezza di almeno 4.8, vale a dire un livello di purezza pari a 99,998%.

Per aumentare l'energia di saldatura, è possibile aggiungere idrogeno all'argon dal 2% al 5%. Un maggior apporto di energia dal 10% al 20% porta a una miglior penetrazione e aumenta la velocità di saldatura, però queste combinazioni argon/idrogeno riducono le proprietà che contribuiscono a proteggere il metallo fuso dagli effetti dell'ossigeno presente nell'atmosfera circostante. Inoltre, l'acciaio dolce e l'acciaio al carbonio assorbono idrogeno con il rischio di porosità e di criccabilità a freddo, pertanto l'uso di

miscele di idrogeno non è raccomandato. Inoltre, è severamente vietato nella saldatura di alluminio e titanio.

L'energia di saldatura può anche essere incrementata con combinazioni argon/elio con un contenuto di elio al 20%, 50% o 70%, perfino elio puro. L'elio non ha effetti dannosi sul titanio, pertanto può essere utilizzato per saldare il titanio allo stato puro o le sue leghe.

Le combinazioni di argon, elio e azoto sono usate per saldare acciai Duplex e Super Duplex.

A differenza dell'argon, l'**elio** è un buon conduttore di calore. La tensione d'arco sotto elio è di gran lunga maggiore rispetto a quella sotto argon e così l'energia dell'arco aumenta notevolmente. Inoltre, la colonna d'arco è più ampia e permette una maggiore penetrazione. L'elio è usato per saldare metalli ad elevata conduttività termica come il rame, l'alluminio e le leghe di metallo leggero. Poiché l'elio è un gas leggero, il suo flusso deve essere due/tre volte superiore a quello dell'argon per ottenere un'identica protezione.

La seguente tabella mostra i risultati della combinazione fra i diversi gas di saldatura o i loro composti e i materiali base da saldare:

	Ar	Ar + H <sub>2</sub>	Ar + Hé	Ar + N <sub>2</sub>	He	
Acciaio dolce / al carbonio	***	**	**	*	**	<b>Ar</b> Argon
Acciaio austenitico	***	**	**	**	**	<b>N<sub>2</sub></b> Azoto
Acciaio Duplex / Super Duplex	**	**	**	***	**	<b>H<sub>2</sub></b> Idrogeno
Rame	***	X	***	**	***	<b>He</b> Elio
Alluminio	***	X	***	*	***	<b>***</b> Raccomandato
Titanio	***	X	***	X	***	<b>**</b> Possibile
						<b>*</b> Non usato
						<b>X</b> Vietato

### 3.5.2. Gas di protezione a rovescio

La maggior parte delle applicazioni della saldatura orbitale richiede una qualità eccellente all'interno della radice, essendo questa la parte della saldatura a contatto diretto con il materiale trasportato. Per evitare il rischio di ossidazione prima, durante e dopo l'operazione di saldatura, il metallo incande-

scende all'interno del tubo non deve venire a contatto con l'ossigeno presente nell'atmosfera. In base al materiale da saldare è possibile aggiungere elementi come N<sub>2</sub> o H<sub>2</sub> al gas di protezione a rovescio. I gas e i composti più utilizzati per la protezione a rovescio applicabili ai diversi metalli di base sono:

	Ar	N <sub>2</sub>	Ar + H <sub>2</sub> o N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>
Acciaio dolce / al carbonio	***	***	*
Acciaio austenitico	***	***	***
Acciaio Duplex / Super Duplex	**	***	**
Rame	***	**	**
Alluminio	***	*	X
Titanio	***	X	X

<b>Ar</b>	Argon
<b>N<sub>2</sub></b>	Azoto
<b>H<sub>2</sub></b>	Idrogeno
<b>***</b>	Raccomandato
<b>**</b>	Possibile
<b>*</b>	Non usato
<b>X</b>	Vietato

## 3.6. Energia di saldatura

### 3.6.1. Influenza dell'apporto di calore

L'apporto di calore non può essere misurato ma soltanto calcolato; tale grandezza è usata, per esempio, per comparare diverse procedure in determinati processi di saldatura. L'apporto di calore influisce sia sul tasso di raffreddamento sia sulla cosiddetta ZTA, cioè la zona termicamente alterata. Un minor apporto di calore permette di ottenere un tasso di raffreddamento più rapido e una ZTA più piccola. Se il raffreddamento avviene rapidamente, è possibile minimizzare eventuali modifiche a livello microstrutturale del metallo base, come l'ingrossamento del grano o la precipitazione, evitando così la perdita di resistenza meccanica e di resistenza alla corrosione. Per molti materiali, ad esempio gli acciai trattati termicamente e inossidabili, l'apporto di calore è limitato dalle specifiche del produttore.

Nella saldatura manuale, per ottenere un determinato apporto di calore, il saldatore

deve mantenere la lunghezza dell'arco continuamente a un livello preciso, in maniera tale da mantenere costante la tensione d'arco all'intensità di corrente di saldatura desiderata. In aggiunta, dato che l'apporto di calore influisce notevolmente sulla velocità di avanzamento, il saldatore manuale deve completare la saldatura entro un periodo di tempo ben determinato. Solamente saldatori altamente qualificati sono in grado di soddisfare le precedenti esigenze.

Nel processo di saldatura TIG in automatico, i parametri relativi alla tensione d'arco e all'intensità di corrente di saldatura, nonché alla velocità di avanzamento e alla velocità dell'alimentazione filo, sono controllati e mantenuti costanti dai dispositivi microelettronici contenuti nel generatore, per cui non ci sono problemi nel rispettare un determinato apporto di calore.



## 3.6.2. Formula per calcolare l'apporto di calore

L'energia rilasciata dall'arco elettrico per unità di lunghezza della saldatura (HI, Heat Input = apporto di calore) è calcolata con la seguente formula:

$$HI = 60 \times U \times I / S$$

HI= apporto di calore [J/mm o J/in]

U= tensione d'arco [V]

I = corrente [A]

S= velocità di avanzamento [mm/min o in/min]

Usando la formula sopra citata per calcolare l'apporto di calore, non vengono prese in considerazione le caratteristiche del processo di saldatura in uso. Il coefficiente di efficienza "r" dipendente dal processo di saldatura permette di calcolare i valori dell'apporto di calore in modo da poter comparare processi di saldatura diversi:

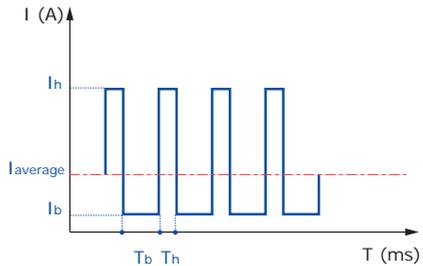
$$HI = 60 \times U \times I \times r / S$$

Nelle pubblicazioni, il coefficiente "r" per la saldatura TIG (o GTAW) è compreso fra 0,6 e 0,8, ciò significa che tra il 60% e l'80% dell'energia rilasciata dall'arco elettrico scalda il pezzo mentre tra il 20% e il 40% si disperde per le radiazioni, il riscaldamento della torcia, del gas di protezione, etc...

### Informazione tecnica:

Per calcolare la corrente di saldatura media  $I_{media}$  durante l'uso della corrente pulsata nelle applicazioni di saldatura orbitale, si applica la seguente formula:

$$I_{media} = (I_h \times T_h + I_b \times T_b) / (T_b + T_h)$$



$I_h$  Corrente di picco

$T_h$  Tempo di picco

$I_b$  Corrente di base

$T_b$  Tempo di base

## 4. Perchè scegliere la saldatura orbitale

La decisione di utilizzare la saldatura TIG orbitale meccanizzata o automatica può essere presa per diversi motivi: economici, tecnici, organizzativi e altri fattori più o meno importanti o addirittura decisivi. Il processo di saldatura orbitale offre una vasta gamma di vantaggi che la rendono perfetta per le applicazioni industriali. I maggiori vantaggi sono:

### 4.1. Aumento della produttività rispetto alla saldatura manuale

Se confrontato con la saldatura TIG manuale, il processo meccanizzato o automatico porta a un miglioramento della produttività. In caso di lavori ripetitivi o complicati, in officina o in cantiere, gli

impianti di saldatura orbitale garantiscono che le sequenze stabilite per la saldatura vengano ripetute correttamente, riducendo quindi al minimo i lavori di riparazione che solitamente fanno perdere molto tempo.

### 4.2. Ottima qualità della saldatura

In generale, la saldatura realizzata con impianti meccanizzati è di qualità superiore rispetto alla saldatura manuale. Una volta che è stato impostato il programma corretto,

il ciclo di saldatura può essere ripetuto ogni qualvolta si renda necessario, senza deviazioni e teoricamente senza difetti di saldatura.

### 4.3. Abilità richieste all'operatore

I saldatori certificati sono rari e ben stipendiati. Tuttavia, con un'apposita formazione, anche i tecnici qualificati sono in grado di operare perfettamente con gli

impianti di saldatura orbitale e di ottenere eccellenti risultati nella saldatura. Pertanto l'uso di questi impianti permette di ridurre le spese per il personale.

### 4.4. Ambiente

La saldatura orbitale può essere eseguita anche in condizioni ambientali sfavorevoli. Spazi o accessi ridotti, mancanza di visibilità, presenza di radiazioni: una volta che la testa di saldatura è stata correttamente

posizionata è possibile effettuare la saldatura a distanza di sicurezza senza alcuna difficoltà, spesso con l'ausilio di un sistema di trasmissione video.

### 4.5. Tracciabilità – Controllo Qualità

Gli impianti moderni per la saldatura orbitale permettono il monitoraggio in tempo reale dei parametri di saldatura. Un protocollo completo della saldatura può essere generato e registrato oppure stampato. Sofisticati

sistemi di acquisizione dati operano in parallelo. Se sono connessi direttamente a sistemi di gestione qualitativamente superiori, il trasferimento di dati avviene senza interruzioni nella procedura di saldatura.



## 5. Settori industriali che applicano il processo di saldatura orbitale

### 5.1. Industria aeronautica/aerospaziale

Nell'industria aeronautica, che è stata la prima a riconoscere l'importanza della saldatura orbitale per le proprie esigenze, più di 1.500 saldature sono necessarie per completare il sistema ad alta pressione di un singolo aeromobile. La saldatura manuale di tubi piccoli e con spessori sottili è estremamente difficoltosa e non è in grado di garan-

tire l'elevata qualità richiesta per questo tipo di giunzioni. L'unica soluzione è quella di stabilire procedure di saldatura che utilizzino impianti orbitali. In questo modo, i valori dei parametri sono controllati in maniera affidabile dall'impianto e le saldature finali raggiungono lo stesso livello di qualità sperimentato nei test di saldatura effettuati.

### 5.2. Industria alimentare

Le industrie alimentari necessitano di tubi e tubazioni che soddisfino severi criteri igienici. La penetrazione totale del giunto è necessaria poiché qualsiasi cavità, poro, crepa, fessura o taglio può diventare una zona morta in cui il contenuto del tubo viene intrappolato e può dar luogo alla proliferazione di batteri patogeni (ad esempio la listeriosi). Superfici lisce

e regolari dovunque all'interno del tubo permettono una pulizia efficace e la completa sterilizzazione del sistema. La qualità richiesta sulla superficie può essere assicurata solo se per questi punti critici viene usato un impianto orbitale TIG. Pertanto oggigiorno le norme e le specifiche obbligano i produttori di installazioni agroalimentari ad utilizzare questo processo.

### 5.3. Industria farmaceutica e biotecnologica

Gli impianti delle industrie farmaceutiche devono essere dotati di un sistema di tubazioni per il trasporto e il trattamento dei prodotti e per la fornitura in sicurezza di vapore pulito e acqua di iniezione. Per acqua di iniezione e suoi derivati si intende l'acqua destinata alle iniezioni nell'uomo, per cui i criteri di purezza sono particolarmente severi. È assolutamente vietata la minima

traccia di corrosione, non può essere intaccata la resistenza alla corrosione di queste saldature, specialmente dal surriscaldamento parziale del materiale di base. I giunti realizzati con la saldatura orbitale sono caratterizzati da un'elevata resistenza alla corrosione. Inoltre, per evitare successive corrosioni o ossidazioni, la loro superficie liscia può essere ulteriormente passivata.

## 5.4. Produzione di dispositivi semi-conduttori

Per la fabbricazione di dispositivi semi-conduttori, tubi in acciaio inossidabile elettrolucidato vengono installati come gasdotti, soprattutto con un OD di 6,3 mm e uno spessore di 0,9 mm. Il gas ultrapuro utilizzato deve passare attraverso i tubi senza assorbire umidità, ossigeno, particelle o altri agenti contaminanti. I criteri di accettabilità per queste installazioni sono

molto rigidi: saldature uniformi con piccoli cordoni di saldatura per ridurre la superficie di saldatura nei tubi, penetrazione completa nell'ID, assenza di scolorimento, etc... Solo operatori di lunga esperienza che lavorano con impianti di saldatura affidabili sono in grado di eseguire questo compito alla perfezione e spesso in condizioni difficili in cantiere.

## 5.5. Industria chimica

Una parte considerevole degli impianti per l'industria chimica sono prodotti e installati grazie alla saldatura orbitale. Le apparecchiature chimiche comprendono tubi, scambiatori di calore e convertitori, che devono essere resistenti alla corrosione o fatti di metalli refrattari o leghe di titanio, zirconio, nickel, cromo e altri, senza tralasciare l'intera gamma dei diversi tipi di acciai inossidabili. Dato che la durata di servizio delle installazioni dipende

direttamente dal livello qualitativo raggiunto dai giunti saldati, stretti controlli e la tracciabilità del processo di saldatura sono richiesti da clienti, organismi di controllo e autorità preposte. Per l'assemblaggio di uno scambiatore di calore devono essere realizzate centinaia, se non migliaia, di saldature senza difetti, pertanto la saldatura orbitale diventa l'unica opzione possibile per garantire i risultati desiderati.

## 5.6. Centrali a combustibili fossili e nucleari

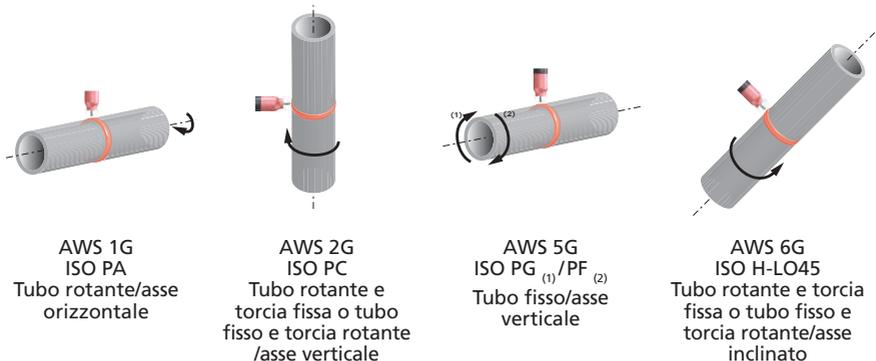
Per la sicurezza delle centrali alimentate da combustibili fossili e dei reattori nucleari ci si avvale dell'intera gamma di tecniche per la saldatura orbitale: tubi con diametro ridotto per il rilevamento e il controllo devono essere connessi, gli scambiatori di calore e altri componenti devono essere prodotti usando la saldatura orbitale tubo-piastra e i tubi spessi destinati a operare

sotto pressione e ad alte temperature devono essere assemblati in cantiere. Le procedure di saldatura e la qualità della saldatura in generale sono costantemente sotto sorveglianza da parte delle autorità preposte e di organizzazioni esterne. La documentazione completa e la tracciabilità sono assicurate dal sistema di acquisizione dati di cui è dotato l'impianto orbitale.

## 6. Specifiche del processo di saldatura orbitale

### 6.1. Posizioni di saldatura tipiche

Le denominazioni per la saldatura di tubi sono codificate dall'ASME, sezione IX, e dalle normative europee EN 287/EN ISO 6947, che fanno riferimento alla posizione dei tubi da saldare.



### 6.2. Corrente pulsata

L'ingrediente fondamentale del successo della saldatura orbitale è la capacità di controllare il bagno di fusione durante l'intero ciclo di saldatura, tenendo costantemente in considerazione gli eventuali cambiamenti nel processo. Una saldatura orbitale del tipo PF/PG o 5G (tubo fissa), per esempio, deve rispettare in qualunque momento le seguenti condizioni:

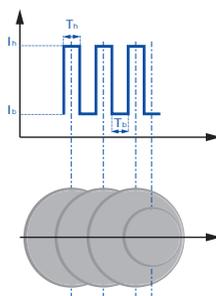
- 1 - Alterazione della posizione di saldatura e quindi degli effetti della forza di gravità.
- 2 - Alterazione dello stato termico del pezzo.

La misura più efficace per tenere sotto controllo tutte le posizioni di saldatura durante il ciclo di saldatura è l'utilizzo della corrente pulsata.

Fondamentalmente, la corrente pulsata alterna due differenti livelli di intensità:

- ▶ Durante il periodo di tempo  $T_h$  la corrente di saldatura raggiunge il picco  $I_h$  e il volume del bagno di fusione arriva al massimo.
- ▶ Durante il periodo di tempo  $T_b$  la corrente di saldatura raggiunge il punto più

basso  $I_b$ , permettendo al bagno di fusione di raffreddarsi e al suo volume di diminuire fino al minimo, mitigando così gli effetti sfavorevoli della forza di gravità.



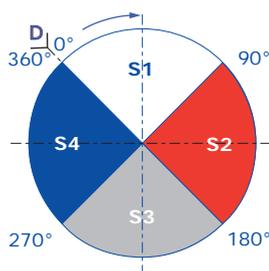
La corrente pulsata rappresenta un vantaggio per la maggior parte delle applicazioni della saldatura orbitale, rendendo la determinazione dei parametri più semplice e rapida. Tuttavia, se si devono saldare tubi con diametri notevoli e spessori superiori a 10 mm e tubi con diametro superiore a 114 mm, il valore più basso dell'intensità di corrente si avvicina al valore più alto, risultando così in una corrente quasi non pulsata.

### 6.3. Programmazione dei settori

In molti casi l'uso esclusivo della corrente pulsata non è sufficiente per ottenere risultati ottimali nella saldatura orbitale. I parametri devono essere regolati in base alle condizioni reali della saldatura. Pertanto il ciclo di saldatura viene suddiviso in zone, chiamate settori. I parametri di saldatura vengono modificati nel momento del passaggio da un settore all'altro.

Per maggior chiarezza è utile rappresentare la sezione di un tubo come una circonferenza di 360° suddivisa in 4 settori di 90° ciascuno. Il primo settore inizia al punto di inizio D della saldatura orbitale, in questo caso in posizione 10.30, e termina in posizione 01.30. Ciascun settore corrisponde a una specifica posizione di saldatura:

- settore S1 da 0° a 90° posizione sopra testa;
- settore S2 da 90° a 180° posizione verticale discendente;
- settore S3 da 180° a 270° posizione sottotesta;
- settore S4 da 270° a 360° posizione verticale ascendente;



In base alla posizione di saldatura e alle condizioni termiche del pezzo, che viene continuamente scaldato dall'apporto di energia dell'arco elettrico, i parametri vengono modificati all'inizio di ogni settore.

Nella pratica della saldatura orbitale spesso i settori non sono così nettamente suddivisi come nell'esempio. Inoltre il numero dei settori può cambiare in base al tipo di applicazione.

## 7. Componenti hardware dell'impianto di saldatura orbitale

A prescindere dal lavoro di saldatura da realizzare, l'impianto di saldatura orbitale è generalmente composto dai seguenti componenti:

- un generatore programmabile e un comando a distanza (distinto o integrato nella testa di saldatura);
- una testa di saldatura;
- un'alimentatore filo, se richiesto dall'applicazione.

In ogni caso, le prestazioni dell'impianto dipendono in buona parte dalla qualità dei suddetti componenti.

## 8. Generatori programmabili

### 8.1. Generale

Un generatore per applicazioni orbitali è composto da diversi componenti, ciascuno dei quali è adibito a una specifica funzione:

- ▶ uno o più moduli inverter di potenza per alimentare la corrente di saldatura e, in caso di saldatura a filo caldo, la corrente necessaria per scaldare il filo d'apporto. Oggi i generatori all'avanguardia sono a inverter.
- ▶ un'unità di controllo programmabile che è generalmente basata su un PC integrato o esterno.
- ▶ un circuito di raffreddamento per la torcia, i mezzi di saldatura e i morsetti.
- ▶ un sistema di acquisizione dati per registrare le sequenze di saldatura.

I generatori per la saldatura orbitale possono essere suddivisi in 3 categorie con specifici campi di applicazione.

### 8.2. Generatori portatili

La massa e il volume di un generatore compatto sono limitati, la macchina deve poter essere trasportata in cantiere dall'operatore stesso e le dimensioni devono essere sufficientemente ridotte da permettere il passaggio anche all'interno di cunicoli.

Il generatore più piccolo con una massa

inferiore ai 30 kg eroga fino a 160 A di corrente di saldatura e funziona con un'alimentazione monofase di 230 Volt. È possibile effettuare la programmazione e la creazione dei parametri di saldatura grazie a un'interfaccia grafica user-friendly e a un comando a distanza multifunzione.

L'interfaccia uomo-macchina permette una



Generatore Polysoude PS 164-2



Generatore Polysoude P4

gestione ottimale dei cicli, dei programmi e dei parametri di saldatura, così come la programmazione dei settori. I generatori di questo tipo sono progettati per gestire fino a 4 assi di controllo, cioè 4 dispositivi che possono essere programmati e controllati: il flusso del gas di protezione, la corrente di saldatura, la velocità di avanzamento della testa di saldatura e il funzionamento dell'alimentatore filo. Un sistema di raffreddamento a circuito chiuso è integrato sulle teste orbitali raffreddate ad acqua.

Generatori di recente concezione permettono di selezionare facilmente i programmi di saldatura corrispondenti

### 8.3. Generatori carrellati di media grandezza

Questi generatori hanno una massa maggiore e risultano troppo pesanti da spostare a mano, pertanto vengono montati su ruote di gomma per agevolarne il trasporto.

Questi generatori sono alimentati con tensione di 400/415 V trifase o in multitemperatura ove richiesto, generando una corrente di saldatura fino a 540 A. Per dialogare con l'operatore, i generatori sono dotati di una comoda interfaccia uomo-macchina e un

tramite un touchscreen o un PC, è sufficiente specificare le informazioni fondamentali relative alla tipologia dei tubi da saldare. Il sistema consulta la banca dati interna per trovare applicazioni simili o suggerire parametri individuati in calcoli precedenti. La procedura di saldatura proposta può essere infine ottimizzata dalla funzione contenuta nel menu di aiuto.

Per ridurre il rischio di errore da parte dell'operatore, il generatore è in grado di rilevare e riconoscere automaticamente le periferiche connesse in modalità plug and play nonché di adattarsi automaticamente alla tensione di rete disponibile.

comando a distanza multifunzione.

I generatori di media grandezza sono progettati per gestire fino a sei assi, che possono essere programmati e controllati. Di norma questi assi corrispondono al flusso del gas di protezione, alla corrente di saldatura, alla velocità di avanzamento della testa di saldatura, al funzionamento dell'alimentatore filo, al controllo della tensione d'arco (AVC) e all'oscillazione.



Generatore Polysoude P6 CW



Generatore Polysoude P6 HW

## 8.4. Generatori multifunzione modulari

I generatori multifunzione modulari possono essere attrezzati per rispondere a precise esigenze di lavoro: in base al modello, è possibile erogare correnti di saldatura da 300 a 550 A e possono essere alimentati con tensione di 400-415 V trifase o in multintensione ove richiesto. Si programmano tramite PC e un software interattivo, inoltre un comando a distanza permette all'operatore di controllare l'impianto.

Questi generatori sono progettati per gestire sei o più assi, che possono essere programmati e controllati. Di base sono presenti i dispositivi per il flusso del gas di protezione, la corrente di saldatura, la velocità di avanzamento della testa, il funzionamento dell'alimentatore filo, l'AVC e l'oscillazione. Si può installare un secondo generatore per erogare separatamente la corrente per le applicazioni a filo caldo.

I generatori sono progettati per controllare anche assi supplementari installabili anche in seguito. Le relative schede elettroniche vengono installate in appositi slot sul pannello frontale della macchina.

Fra gli assi che controllano le unità periferiche o esterne vi sono le schede di controllo per impianti specifici (alimentatori filo, sistemi di acquisizione dati, refrigeratori, etc...). Queste ulteriori schede sono dotate di porte di input e di output che possono essere programmate interamente dall'operatore. La programmazione dei generatori grandi può avvenire sia online sia offline tramite un PC con un software per saldatura compatibile con Windows™. Le uniche limitazioni relative alla programmazione del PC riguardano le caratteristiche dell'impianto usato.



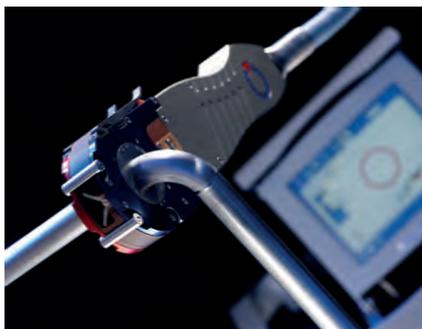
Generatore Polysoude PC 600-3

## 9. Teste per la saldatura orbitale

### 9.1. Teste per saldatura tubo-tubo

#### 9.1.1. Teste a camera chiusa

Le teste di saldatura a camera chiusa sono progettate soprattutto per la saldatura autogena di tubi senza l'apporto di filo. Possono avere diverse dimensioni per coprire una varietà di diametri compresi tra 1,6 mm e 168 mm (ANSI da 1/16" a 6"). Proprio come l'acciaio inossidabile austenitico, i metalli soggetti a ossidazione come il titanio o lo zirconio e le loro leghe possono essere saldati con risultati eccellenti. In funzione dell'applicazione, una o due coppie di conchiglie o TCI (Tube Clamping Inserts) sono necessarie per fissare la testa a camera chiusa sul tubo da saldare.



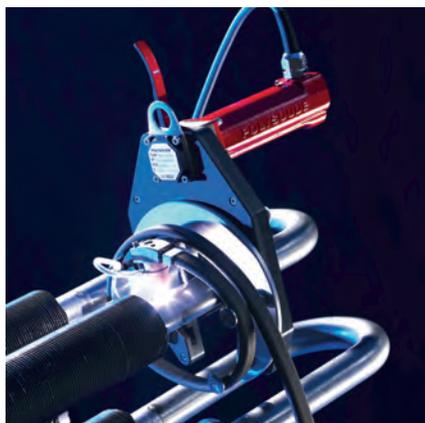
Testa di saldatura Polysoude MW a camera chiusa

### 9.1.2. Teste a camera aperta

Le teste di saldatura a camera aperta sono progettate per la saldatura orbitale TIG con o senza filo d'apporto. I diametri dei tubi da saldare vanno da 8 mm fino a 275 mm (ANSI da 5/16" a 11").

Le teste di saldatura a camera aperta sono dotate di una torcia TIG con diffusore gas lens. La protezione assicurata dal gas si concentra quindi solo nella zona intorno alla torcia stessa. Durante il processo di saldatura l'arco può essere osservato e controllato direttamente dall'operatore. La forma asimmetrica della testa aperta permette di saldare stando a breve distanza dal tubo o dalla curva.

La torcia di saldatura può essere posizionata manualmente o tramite slitte motorizzate (AVC e oscillazione).



Testa Polysoude MU a camera aperta

### 9.1.3. Teste carrellate

Le teste orbitali a carrello a camera aperta si spostano intorno al tubo o al pipe da saldare su appositi binari e sono adatte alla saldatura di tubi con diametro esterno (O.D.) a partire da 114 mm (3 1/2"). Lo spessore dei tubi e



Testa di saldatura carrellata Polysoude Polycar

dei pipe in questione richiede sempre passate multiple. Le teste a carrello sono progettate per reggere il peso delle apparecchiature necessarie: un motore principale per carichi pesanti, una torcia dotata dei dispositivi AVC e di oscillazione e un alimentatore filo con bobine del peso fino a 5 kg. Inoltre, è possibile montare videocamere per permettere all'operatore di osservare e controllare il processo di saldatura.

In funzione dell'applicazione, queste teste di saldatura possono essere dotate di una torcia TIG standard con gas lens, che assicura la protezione della zona interessata dal gas di protezione, oppure da una torcia Narrow Gap, che offre una migliore protezione, simile a quella delle teste chiuse.

## 9.2. Teste per saldatura tubo-piastra

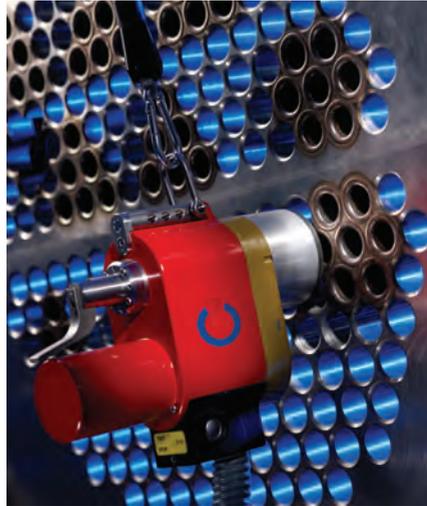
### 9.2.1. Teste chiuse per la saldatura tubo-piastra senza filo d'apporto

Le teste di saldatura chiuse sono progettate per la saldatura TIG (o GTAW) nelle applicazioni tubo-piastra, se queste possono essere effettuate senza filo d'apporto. Con tali teste è possibile saldare tubi a filo piastra o leggermente sporgenti con un diametro interno da 9,5 mm (3/8") a un massimo di 33,7 mm (1 1/32").

La saldatura avviene in atmosfera inerte all'interno di una camera, offrendo così un'elevata protezione contro l'ossidazione.

Il bloccaggio avviene tramite l'inserimento nel tubo da saldare di un mandrino che si espande meccanicamente.

Con una lancia montata davanti alla testa, la saldatura interna di tubi (I.B.W.) può essere realizzata su tubi con diametro interno (I.D.) compreso tra 10 mm e 33,7 mm (13/32" e 1 1/32").



Testa di saldatura tubo-piastra  
Polysoude TS 34

### 9.2.2. Teste aperte per la saldatura tubo-piastra con o senza filo d'apporto

Le teste orbitali aperte per la saldatura tubo-piastra che possono essere usate con il filo d'apporto coprono l'intera gamma di applicazioni, dai tubi con I.D. di 10 mm (13/32") fino a tubi con un O.D. massimo di 60 mm.



Testa di saldatura tubo-piastra Polysoude TS 8/75

La torcia TIG gira intorno ai tubi, siano essi a filo, sporgenti o arretrati rispetto alla piastra.

Le teste di saldatura sono dotate di una torcia TIG con diffusore gas. La protezione assicurata dal gas si concentra quindi solo nella zona intorno alla torcia stessa. Qualora si dovessero saldare materiali sensibili all'ossigeno, la protezione del gas può essere migliorata installando una campana di protezione.

La testa di saldatura può essere dotata di un alimentatore filo integrato. Un dispositivo di bloccaggio pneumatico può essere usato per mantenere la testa nella posizione di lavoro sulla piastra tubiera, permettendo a un solo operatore di manovrare diverse teste. Specifiche lance permettono all'operatore di realizzare la saldatura interna di tubi (I.B.W.) senza spazi dietro a una piastra o a una doppia piastra (air cooler).

## 10. Alimentatori filo

Generalmente un dispositivo per l'alimentazione del filo può essere integrato o esterno alla testa orbitale. La scelta dipende dalla disponibilità del filo d'apporto che deve essere avvolto sulle

apposite bobine, ma anche dalle condizioni d'uso, dai vincoli dell'applicazione e dalla mobilità richiesta all'impianto.



Alimentatore filo integrato su una testa di saldatura Polysoude TS 8/75



Alimentatore filo esterno Polysoude POLYFIL-3

## 11. Funzioni dell'impianto orbitale

### 11.1. Gestione del gas



Funzioni per il controllo del gas su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

Per controllare la gestione del gas nella saldatura orbitale vi sono tre possibilità:

1 - Un regolatore di pressione manuale con flussometro installato in corrispondenza dell'alimentazione gas (bombola o rete centralizzata) e un'elettrovalvola che può essere aperta e chiusa dall'unità di controllo del generatore (PS 164, P 4).

2 - Un regolatore di pressione installato in corrispondenza dell'alimentazione gas (bombola o rete centralizzata) e un'elettrovalvola che può essere aperta o chiusa dall'unità di controllo del generatore. Un flussometro a colonnina, regolabile manualmente, è integrato nel generatore (generatori della serie PC).

3 - Un regolatore di pressione installato

in corrispondenza dell'alimentazione gas (bombola o rete centralizzata) e un dispositivo elettronico all'interno del generatore che controlla il flusso del gas (generatori della serie PC). I generatori per la saldatura orbitale sono progettati per controllare fino a quattro gas: due gas di saldatura e due gas aggiuntivi, per esempio, il gas di protezione a rovescio e il gas campana. La cosiddetta funzione Bigas del generatore permette all'unità di cambiare il tipo di gas quando viene attivato l'arco elettrico. Ciò è particolarmente vantaggioso quando si usa l'elio come gas di protezione. Per evitare i problemi che spesso sorgono all'innesco dell'arco sotto elio, tale innesco avviene inizialmente sotto argon e, quando l'arco diventa stabile, si passa all'elio.

Indipendentemente dall'impianto di

saldatura orbitale usato, il flusso del gas di saldatura viene continuamente monitorato. In caso di interruzione dell'alimentazione del gas, l'innesco dell'arco si blocca. Se durante la saldatura il flusso del gas scende al di sotto

del valore impostato dal produttore, il ciclo di saldatura si interrompe automaticamente.

Questa misura previene gravi danni al pezzo e all'impianto.

## 11.2. Corrente



Funzioni per il controllo della corrente su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

### 11.2.1. Innesco dell'arco

Il metodo standard per accendere un arco consiste nell'applicare scariche ad alta tensione con voltaggi di 10 kV in un periodo di tempo di 2 microsecondi a 50 Hz di frequenza. La colonna del gas di protezione fra l'elettrodo e il pezzo si ionizza e assume proprietà conduttive. Di conseguenza, l'arco si attiva e la corrente di saldatura comincia a scorrere. Questo metodo di innesco è comune a tutti i tipi di impianti per la saldatura orbitale.

Questa tecnica però è vincolata dal fatto che la lunghezza del cavo tra il generatore e la testa di saldatura, che dipende dal tipo

di applicazione, deve rientrare fra 30 m e 50 m. Se la testa è dotata di un dispositivo AVC, è possibile invece attivare il cosiddetto innesco dell'arco LIFT. La torcia si avvicina al pezzo fino a che l'elettrodo in tungsteno tocca la sua superficie. Subito dopo si ritrae e nello stesso momento si innesca l'arco di saldatura. Una volta che l'arco è acceso, la torcia può essere spostata secondo la lunghezza d'arco programmata. Il processo di innesco dell'arco LIFT è stato sviluppato da Polysoude e impedisce l'inclusione di tungsteno nel cordone di saldatura.

### 11.2.2. Corrente di saldatura

La corrente di saldatura è uno dei parametri rilevanti del processo di saldatura TIG, per questo motivo le sue intensità devono essere accuratamente controllate dal generatore. Una precisione di  $\pm 1A$  è garantita se l'intensità di corrente di saldatura resta sotto ai 100 A. Per intensità superiori a 100 A, è garantita la precisione dell'1%. Per soddisfare i requisiti richiesti dalle differenti applicazioni, i generatori erogano diversi tipi di corrente:

► Corrente costante (1): nessuna variazione

dell'intensità di corrente.

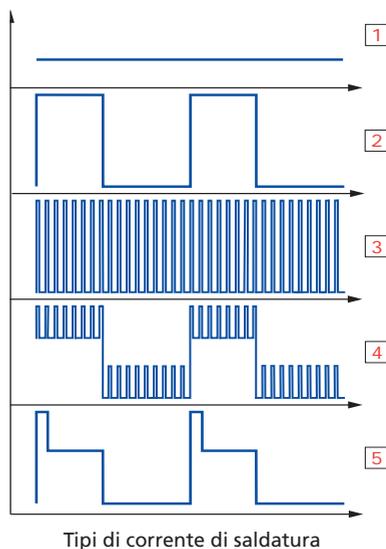
► Corrente pulsata o termica (2): questa corrente è comunemente usata per la saldatura orbitale TIG standard (cfr cap. 6.2); la frequenza massima delle pulsazioni termiche è 10 Hz.

► Corrente pulsata rapida (3): la corrente è pulsata a frequenze crescenti comprese tra 500 Hz e 10.000 Hz. La corrente pulsata rapida assomiglia alla corrente non pulsata, ma forma un arco molto più stabile. Le pulsazioni non

sono visibili ma udibili.

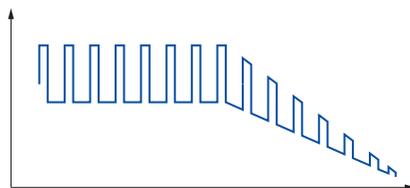
► Corrente pulsata termo-rapida (4): questa forma di corrente è la combinazione tra la corrente pulsata o termica (2) e la corrente rapida (3).

► Corrente pulsata con mono-pulsazioni (5): la corrente pulsata è sovrapposta dal picco di intensità all'inizio di ciascuna pulsazione, che provoca l'aumento della pressione d'arco sul bagno di fusione. Questa funzione è particolarmente utile per rendere convesse le geometrie di radice durante la posizione sottotesta di saldatura (cioè la torcia è posizionata sotto il pezzo) in cui la forza di gravità porterebbe a una saldatura concava nell'I.D. del tubo.



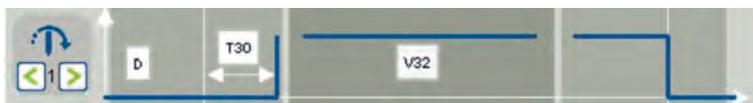
### 11.2.3. Evanescenza di corrente

Per evitare la formazione di crateri al termine della saldatura, la corrente di saldatura non può essere interrotta improvvisamente. Durante un'evanescenza di corrente, le intensità di corrente diminuiscono linearmente con valori tra 30 A e 4 A, fino al completo spegnimento. Le intensità più elevate corrispondono a tubi con spessori importanti.



Funzione evanescenza di corrente

### 11.3. Rotazione della torcia



Funzioni per il controllo della rotazione della torcia su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

Durante la saldatura la torcia deve ruotare alla velocità lineare desiderata attorno al tubo o al pipe. Le applicazioni di saldatura

orbitale standard richiedono una velocità di avanzamento compresa tra 50mm/min e 200mm/min.

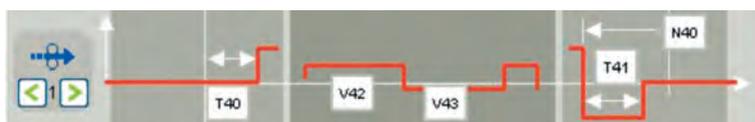
Nella maggior parte dei casi la velocità di avanzamento rimane non pulsata, ma può anche diventare pulsata e sincronizzata alle pulsazioni della corrente di saldatura. È possibile programmare diverse velocità durante la corrente di picco e quella di base. Di solito, la rotazione si ferma ( $V=0$  mm/min) durante il picco, mentre durante il periodo di corrente di base la torcia avanza.

La precisione della velocità si attesta all'1% del valore programmato. Gli impianti Polysoude standard possono funzionare con emettitori di impulsi o encoder tachimetrici su

richiesta.

Inoltre, queste pulsazioni vengono gestite dal sistema di controllo del generatore per individuare la posizione reale della torcia in relazione al punto di inizio, vale a dire che la programmazione del ciclo di saldatura può essere effettuata usando gradi angolari invece di periodi di tempo. La programmazione intuitiva è possibile perché un giro della torcia corrisponde a  $360^\circ$  per passata, a prescindere dalla velocità lineare di saldatura e dal diametro del tubo o del pipe.

## 11.4. Alimentazione filo



Funzioni per il controllo dell'alimentazione filo su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

I generatori per la saldatura orbitale sono progettati per controllare diversi tipi di alimentatori filo. La velocità di avanzamento del filo raggiungibile è compresa tra 0 e 8.000 mm/min, con uno scarto di precisione dell'1% circa.

Le funzioni standard dell'alimentazione filo, che sono gestite da tutti i tipi di generatore, sono il controllo dell'avvio e dell'arresto del filo e la frequenza delle pulsazioni. Le pulsazioni dell'alimentazione filo possono essere sincronizzate con le pulsazioni della corrente di saldatura. In questo caso, la velocità di avanzamento del filo raggiunge il massimo durante il picco della corrente di saldatura e diminuisce durante la base della corrente di saldatura. Poiché però la velocità di avanzamento del filo è un parametro indipendente rispetto alla corrente di saldatura, il processo TIG offre anche la possibilità di invertire la sincronizzazione. In questo caso il filo raggiunge la velocità massima quando

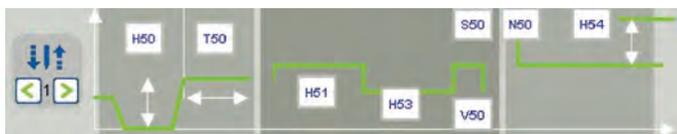
l'intensità di corrente è bassa e ciò permette al bagno di metallo fuso di assumere una geometria convessa nella passata di radice all'interno del pezzo.

Al termine della saldatura, la funzione di rientro del filo inverte la direzione di avanzamento. L'estremità del filo rientra di pochi millimetri per evitare la formazione di grumi o, peggio ancora, che il filo resti incollato al pezzo saldato.

### Informazione tecnica:

- 1 - Il diametro del filo per saldare è di norma compreso tra 0,6 mm e 1,2 mm, nella saldatura orbitale è ottimale un diametro di 0,8 mm.
- 2 - Il tasso di fusione del filo dipende non solo dalla precisione della velocità di avanzamento ma anche dal filo stesso: una variazione di 0,02 mm nel diametro comporta una differenza del 5% nel metallo aggiunto.

## 11.5. AVC (Controllo Tensione d'Arco)

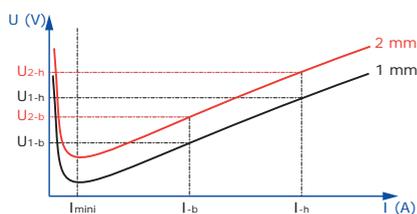


Funzioni AVC su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

### 11.5.1. Approccio teorico

Durante la saldatura è importante mantenere costante la lunghezza dell'arco, ma non è semplice da misurare. In ogni caso, se le condizioni di saldatura non cambiano, a una determinata lunghezza d'arco corrisponde una precisa tensione d'arco. Questo fenomeno è usato per controllare la distanza fra l'elettrodo e il pezzo durante la saldatura.

Le caratteristiche della tensione d'arco a diverse lunghezze e intensità di corrente vengono mostrate nel seguente grafico:



La linea nera rappresenta la tensione d'arco misurata fra l'elettrodo e il pezzo a diverse intensità di corrente di saldatura con una lunghezza d'arco di 1 mm.

La linea rossa mostra i risultati della stessa misurazione eseguita con una lunghezza d'arco di 2 mm.

**Informazione tecnica:** La funzione AVC non deve essere usata con correnti di saldatura inferiori a  $I_{\text{mini}}$ . Per  $I_{\text{mini}}$  si intende un'intensità di corrente di 30 A.

► Regola n° 1: a parità di corrente ( $I_{\text{b}}$ ), un aumento della lunghezza d'arco provoca una maggiore tensione d'arco (da  $U_{1\text{-b}}$  a  $U_{2\text{-b}}$ ).

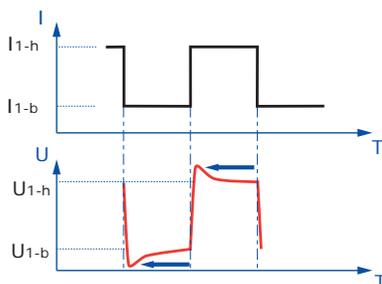
► Regola n° 2: a parità di lunghezza d'arco (con corrente superiore a  $I_{\text{mini}}$ ), all'aumentare della corrente (da  $I_{\text{b}}$  a  $I_{\text{h}}$ ) aumenta anche la

tensione d'arco (da  $U_{1\text{-b}}$  a  $U_{1\text{-h}}$ ).

► Regola n° 3: a seconda del gas di protezione usato (gli altri parametri rimangono invariati) cambia la lunghezza dell'arco: per esempio, se si cambia il gas di protezione da argon a una combinazione argon-idrogeno, l'arco diventa notevolmente più corto.

► Regola n° 4: se cambia la forma dell'elettrodo (angolo di affilatura, diametro della punta), cambia la lunghezza dell'arco a una determinata corrente o, con lunghezza d'arco costante, cambia la tensione d'arco.

► Regola n° 5: in caso di corrente pulsata, le pulsazioni della tensione d'arco non sono proporzionali.



Ogni cambiamento nell'intensità di corrente provoca un picco di tensione d'arco che è comunemente noto come *overshoot*.

### 11.5.2. Funzione AVC

Nella maggior parte delle applicazioni della saldatura orbitale si usa la corrente pulsata, pertanto è necessario tenere sempre in considerazione le regole 1 e 2, eseguendo i dovuti aggiustamenti per rendere stabile la lunghezza dell'arco.

► Limitare la misurazione della tensione d'arco al periodo di corrente di base o di picco. Durante il periodo senza misurazione la slitta AVC è temporaneamente bloccata e la posizione dell'elettrodo non cambia. La regolazione è semplice, un solo parametro è richiesto per rendere stabile la lunghezza d'arco.

► Estendere la misurazione della tensione d'arco oltre il periodo di corrente di base o di picco. Questo tipo di AVC può essere usato in caso di pulsazione termica (frequenza pulsazioni < 10 Hz).

► Per ottenere risultati ottimali riducendo al minimo i movimenti della torcia relativi all'AVC, devono essere impostati diversi parametri del sistema. Tali parametri sono, in ordine di importanza:

- Sensibilità del sistema di controllo
- Velocità di spostamento dell'elettrodo
- Tempo di spegnimento all'inizio di ogni pulsazione di corrente per azzerare l'effetto overshoot (regola n. 5).

### 11.5.3. Distanza programmabile fra l'elettrodo e il pezzo

Oltre che con l'AVC, il posizionamento della torcia può essere determinato dalla funzione che programma la distanza fra l'elettrodo e il pezzo. Partendo da un valore di riferimento, la torcia viene mossa tramite slitte motorizzate lungo la distanza selezionata in mm all'altezza desiderata.

Questa funzione è usata spesso per mettere in posizione l'elettrodo, per esempio nelle applicazioni tubo-piastra o, in caso di speciali attrezzature di saldatura, per seguire la geometria complessa del pezzo in posizione insellata.

## 11.6. Oscillazione



Funzioni per il controllo dell'oscillazione su una scheda sinottica di un generatore Polysoude P4-P6

La cianfrinatura delle estremità del tubo fa aumentare il bagno da riempire, soprattutto nei tubi spessi. A differenza della tecnica a passate tirate, in cui sono necessarie svariate passate per completare uno strato, il bagno può essere riempito completamente

da un solo strato se la torcia si muove perpendicolarmente da una parte all'altra dei cianfrini. Questo movimento, generato da una slitta motorizzata, viene controllato dal sistema di oscillazione.

Per una corretta oscillazione, è necessario impostare l'ampiezza, la velocità dell'oscillazione e il tempo di mantenimento della torcia ai cianfrini durante il suo movimento vicino alle pareti del bagno.

È possibile sincronizzare l'oscillazione della torcia con la corrente pulsata. Per esempio, per aumentare la penetrazione nelle pareti bisogna tenere continuamente la corrente di picco durante il tempo di mantenimento.

### 11.7. Comando a distanza

Il comando a distanza è un dispositivo che consente la comunicazione tra il saldatore/operatore e la macchina. Tutti i comandi necessari per gestire la macchina sono direttamente accessibili.

► A ciclo di saldatura fermo

Durante questa modalità, è possibile controllare tutti i movimenti della macchina: rotazione della torcia, movimentazione della torcia verso il pezzo o centraggio sul cordone (AVC e oscillazione), etc...

► Durante il ciclo di saldatura

Questa modalità permette di regolare i parametri di saldatura, se necessario e se consentito dal programma, per modificare la posizione della torcia tramite le funzioni AVC e oscillazione, se disponibili.

Inoltre, la maggior parte dei comandi a distanza mostra determinate informazioni, quali la corrente di saldatura e la tensione d'arco, la velocità di avanzamento e del filo, la posizione angolare della torcia e il tempo trascorso da quando è stato avviato il ciclo di saldatura.



Telecomando generatore Polysoude P6

### 11.8. Gruppo refrigeratore

Ad eccezione di alcuni dispositivi progettati per specifiche applicazioni, le teste per la saldatura orbitale sono generalmente raffreddate ad acqua. I generatori sono dotati di circuiti di raffreddamento ad acqua a ciclo chiuso integrati.

Per le macchine più potenti (filo caldo, plasma) è necessario un gruppo esterno di

refrigerazione ad acqua.

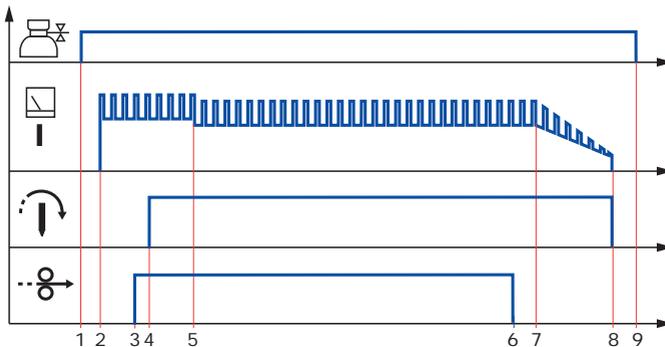
In ogni caso, il flusso del liquido di raffreddamento viene costantemente monitorato per evitare danni al gruppo refrigeratore, in maniera tale da spegnere la testa o il generatore in caso di guasti.

## 12. Programmazione del ciclo di saldatura

### 12.1. Struttura per programmare un ciclo di saldatura con 4 assi

In funzione dell'applicazione e del tipo di impianto orbitale, la programmazione del ciclo di saldatura può essere più o meno complessa. In ogni caso, la struttura del programma è sempre costruita seguendo

lo stesso schema logico e cronologico. Di seguito, un esempio di un programma per un ciclo di saldatura standard con filo d'apporto ma senza AVC nè oscillazione.



<b>1</b>	Avvio del ciclo di saldatura (premendo il pulsante Start sul comando a distanza)
<b>1 - 2</b>	Flusso del gas di protezione durante il periodo programmato di pre-flusso prima dell'innesco dell'arco
<b>2</b>	Innesco dell'arco e attivazione della corrente pulsata. La temporizzazione si azzerà
<b>2 - 3</b>	Ritardo dell'alimentazione filo
<b>2 - 4</b>	Ritardo della rotazione
<b>3</b>	Avvio dell'alimentazione filo*
<b>4</b>	Avvio della rotazione della torcia* (la posizione iniziale della torcia è la posizione zero del ciclo)
<b>5</b>	Entrata nel nuovo settore in cui si modifica la corrente di saldatura (e/o la rotazione/filo)
<b>6</b>	Termine dell'alimentazione filo* (e rientro del filo, se programmato). Generalmente il termine dell'alimentazione filo è a circa 360°
<b>7</b>	Avvio dell'evanescenza di corrente prima che l'arco sia definitivamente spento. Generalmente, l'evanescenza è posizionata a 360° + 5° fino a 10° di sormonto per assicurare un collegamento inizio-fine ottimale del cordone
<b>7 - 8</b>	Tempo di evanescenza di corrente per terminare la saldatura evitando la formazione di cricche o crateri
<b>8</b>	Spegnimento dell'arco e stop della rotazione
<b>8 - 9</b>	Periodo di flusso post-gas per proteggere la zona di saldatura del pezzo fino a raggiungere una temperatura sufficientemente bassa e a proteggere l'elettrodo in tungsteno caldo dall'ossigeno dell'atmosfera
<b>9</b>	Stop del gas di protezione e fine del ciclo di saldatura

\* In base al risultato desiderato, le funzioni possono essere programmate con un diverso ordine cronologico.

## 12.2. Interfacciamento per la programmazione dei cicli di saldatura

Generalmente sono utilizzati due tipi di interfacciamento per l'interazione tra l'utilizzatore e l'impianto orbitale.

1 - Su una scheda sinottica il ciclo di saldatura assume la forma di presentazione grafica. L'operatore deve muovere il cursore per scegliere il parametro. I valori relativi appaiono sullo schermo (su 2 righe) e possono essere modificati all'occorrenza. All'inizio è necessario specificare alcune condizioni generali:

- ▶ se si utilizzerà la corrente di saldatura pulsata o costante;
- ▶ se l'alimentazione filo sarà spenta o eseguita in modalità pulsata o costante.

In base a questa selezione, risultano accessibili uno alla volta solo i parametri da modificare. Il generatore PS 164-2, controllato dal microprocessore, si basa su questo tipo di interfaccia. I valori programmati possono essere salvati su memory card.

Questo tipo di tecnica permette la gestione dei parametri principali dell'impianto ma non l'inserimento di documentazione aggiuntiva tramite generatore. Tuttavia, i dati possono essere immagazzinati su una chiavetta USB e trasferiti sul PC. Software specifici consentono di aggiungere le

informazioni mancanti per creare offline un ciclo di saldatura completo e gestire la raccolta dei cicli di saldatura. Poiché il software lavora in ambiente Windows™ è semplice da usare e capire. I dati possono essere trasferiti dal PC al generatore anche con l'ausilio di chiavette USB.

2 - Recentemente è stata sviluppata un'interfaccia uomo-macchina (IUM) user-friendly per impianti di saldatura orbitale basata su un PC che lavora in ambiente Linux. La sinottica virtuale viene visualizzata su un touchscreen di 10.4" e permette non solo la gestione di tutti i dati relativi alla saldatura ma anche di tutte le funzioni che assistono l'operatore nello sviluppo di qualsiasi programma di saldatura orbitale. Di seguito sono elencate alcune caratteristiche:

- ▶ Documentazione completa del pezzo
- ▶ Creazione di cicli di saldatura concatenati per realizzare una sequenza di saldatura completa con più passate
- ▶ Descrizione dettagliata dei parametri non programmabili, ad es. regolazione meccanica dei dispositivi, tipo e caratteristiche dei gas usati, elettrodi, filo d'apporto, etc...
- ▶ Un sistema dotato della funzione di ricerca in grado di gestire fino a 8 parametri contemporaneamente



Scheda sinottica di un generatore Polysoude PS 164-2

- ▶ Ottimizzazione assistita dal computer dei parametri di saldatura per applicazioni tubo-tubo e tubo-piastra
- ▶ Generazione automatica dei programmi per la saldatura orbitale per fusione
- ▶ I generatori P4 e P6 hanno le suddette caratteristiche. Possono essere programmati online o offline, tramite connessione LAN. È inoltre possibile aggiornare il software via Ethernet.



Touchscreen del generatore Polysoude P4

## 12.3. Programmazione offline

La programmazione dei cicli di saldatura per applicazioni molto complesse e per le prove avviene offline tramite PC senza collegarsi al generatore. Le sequenze vengono create linea per linea in maniera analoga alla programmazione a controllo numerico nella lingua madre dell'operatore. Dopo una breve formazione, ogni saldatore è in grado di comprendere i comandi e costruire in autonomia un programma di saldatura.

Il software per la saldatura è progettato per l'ambiente Windows® e la presentazione per l'utente è simile a un foglio di lavoro Excel®.

L'ambiente Windows® permette l'integrazione di file di ogni formato, consentendo quindi di creare una documentazione completa del ciclo di saldatura e dei relativi parametri.

Step	Function	Condition	Parameter	Value	Unit	
1	N Coolant	Torch constant				
2	N Gas	Gas I				
3	O Arc voltage	Positive height	Height / speed	Height	0.0 mm	
4	Speed			300	mm/min	
5	4-15	O INCLIN	Absolute torch angle	Angle/speed	Angle	10.0 °
6	Speed			300.0	mm/min	
7	S	O Oscillation	Relat. lat.deviation	Lat.deviation(speed)	Lat.deviation	0.0 mm
8	Speed			500	mm/min	
9	O Current	MIG ignition				
10	O Separator	Time delay		110.0	%	
11	Time			1.0	s	
12	N Wire	Wire forward	Without pulsation	Wire feed speed	3500.0 mm/min	
13	7-10	N Sequence	Fit stroke	Speed	400.0 mm/min	
14	N Position	End rotation level	Without pulsation	Speed	5000.0 mm/min	
15	N Wire	Wire forward	Without pulsation	Wire feed speed	5000.0 mm/min	
16	N Oscillation	Oscillation(speed)		Slope time	1.0 s	
17				Circle width	3.0 mm	
				Cross speed	2500.0 mm/min	
				Small time B	0.1 s	
				Small time A	0.1 s	
18	N Wire	Wire forward	Without pulsation	Wire feed speed	7500.0 mm/min	
19	N Current	Current level	without pulsation	Current	30.0 %	
20	N Position	End rotation level	Without pulsation	Speed	420.0 mm/min	
21	N Oscillation	Oscillation(speed)		Slope time	1.0 s	
				Circle width	3.0 mm	
				Cross speed	2500.0 mm/min	
				Small time B	0.1 s	
				Small time A	0.1 s	

Programmazione di un ciclo di saldatura per un generatore Polysoude della serie PC

## 13. Acquisizione dati in tempo reale

### 13.1. In sintesi

Per poter rispettare i sistemi per il controllo qualità come ISO 9000, è necessario utilizzare solo impianti tarati per la produzione di determinati componenti.

Con il termine "taratura", secondo quanto specificato nella normativa, si intende che gli strumenti installati nel generatore o all'interno dei dispositivi connessi dell'impianto di saldatura devono rispettare

speciali requisiti, con riferimento alle normative nazionali o internazionali e alla certificazione dei materiali.

La taratura richiede attrezzature e procedure di verifica specifiche e può essere effettuata solo da personale autorizzato, per esempio dal produttore dell'impianto, dal reparto controllo qualità dell'utilizzatore o da una società esterna indipendente.

### 13.2. Acquisizione dati in tempo reale integrata

Durante un ciclo di saldatura i valori dei parametri fondamentali, quali l'intensità di corrente di saldatura, la tensione d'arco, la velocità di rotazione e del filo, vengono misurati e memorizzati ciclicamente. Per una documentazione completa della saldatura è possibile stampare al termine di ogni ciclo di saldatura un report relativo al ciclo, comprendente le misurazioni, l'ora e la data.

I programmi per il ciclo di saldatura possono essere stampati. Le stampe possono essere utilizzate per verificare che tutti i parametri siano impostati correttamente e come prove per il controllo qualità. Le stampe contengono il nome del programma, i valori dei parametri e lo spettro delle possibili modifiche che possono essere attuate dall'operatore tramite il comando a distanza durante il ciclo di saldatura.

Il sistema di acquisizione dati e la stampante possono essere installati sui generatori PS 164-2, P4 e P6.

Numero 129				
	U	I	V rot	V fil
	(V)	(A)	(mm/min)	(mm/min)
5s	0 0	0 0		0
502 1"	9 3	104 8	76	500
	9 0	69 8		
10"	9 0	104 7	65	499
	8 5	79 8		
20"	8 9	104 8	65	499
	8 5	79 7		
30"	9 0	104 8	65	500
	8 7	79 7		
40"	8 8	104 6	65	500
	8 8	79 8		
50"	8 8	104 6	65	500
	8 7	79 8		
60"	9 1	104 8	66	500
	8 5	79 8		
70"	9 0	104 8	65	500
	8 7	79 7		
80"	9 0	104 7	65	500
	8 7	79 7		
340"	8 5	100 8	65	498
	8 5	80 7		
350"	8 8	100 7	65	500
	8 6	80 7		
360"	9 1	100 8	65	500
	8 6	80 7		
364"	9 1	100 8	65	500
	8 5	80 7		
370"	9 0	100 1	65	600
	8 3	67 3		
380"	8 0	64 0	65	0
	8 0	67 0		

\*\*\*\*\* | OK | \*\*\*\*\*  
Depart cycle: mar 25 fev 2014 18:36:15  
Burea cycle: 00-01-22 N = 384  
\*\*\*\*\* | Commentaires de soudure | \*\*\*\*\*

Report di saldatura di un generatore Polysoude

### 13.3. Acquisizione dati in tempo reale esterna

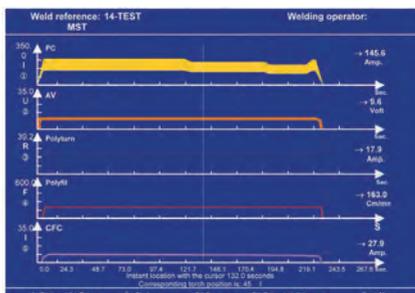
Se si utilizzano impianti della serie PC, l'acquisizione dei dati in tempo reale non è integrata nel generatore. Il sistema di registrazione Polysoude, usato al posto del sistema tradizionale, è stato sviluppato con il software DASYLab® di National Instruments. DASYLab® è un software specializzato nell'acquisizione, analisi e controllo dei dati in tempo reale.

I parametri, come i valori delle intensità di corrente di saldatura e a filo caldo, la tensione d'arco, la velocità di rotazione e del filo, vengono registrati alla frequenza di 200 Hz. All'avvio del ciclo di saldatura (all'innesco dell'arco) partono contemporaneamente e automaticamente la registrazione e il salvataggio dei dati sull'hard disk del PC. I file creati vengono denominati automaticamente da un codice univoco comprensivo di data e ora.

L'avanzamento del ciclo di saldatura può essere monitorato e viene visualizzato sotto forma di grafico sullo schermo.

Il sistema di acquisizione dei dati permette all'operatore di impostare i limiti per

diversi parametri. In questo caso, i valori dei parametri in questione vengono continuamente confrontati con quelli rilevati in precedenza su campioni senza difetti. Se il sistema opera in modalità passiva, il grafico cambia colore al raggiungimento del limite del parametro. Se si passa alla modalità attiva, il sistema di acquisizione dati esclude ogni ciclo in cui i limiti specificati vengono superati.



Esempio di un report di un ciclo saldatura generato dal sistema di acquisizione dati Polysoude

## 14. Saldatura tubo-tubo per fusione

### 14.1. Applicazioni

Le saldature per fusione di tubi di spessore ridotto hanno una vasta gamma di applicazioni, per esempio: industria dei semiconduttori, biochimica, della strumentazione, agroalimentare, farmaceutica, aeronautica e aerospaziale.

Nella maggior parte dei casi, i tubi sono fatti di acciaio inossidabile austenitico, ma è possibile trovare anche leghe di nichel o titanio. I diametri variano da 1,6 a 170 mm e gli spessori da 0,2 a 3,2 mm.

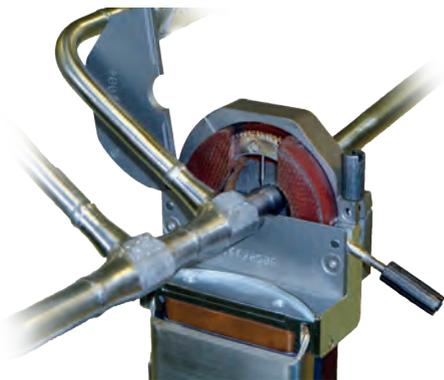
## 14.2. Impianto

Le saldature per fusione vengono preferibilmente realizzate con l'ausilio di generatori come il PS 164-2 o il P4, in combinazione con teste orbitali chiuse o aperte. In funzione dell'applicazione, le teste orbitali chiuse possono essere suddivise in due gruppi.



Generatore Polysoude P 4 con una testa di saldatura a camera chiusa della serie MW

### 14.2.1. Teste di saldatura a camera chiusa UHP



Testa di saldatura a camera chiusa  
Polysoude UHP 500-2

Le teste di saldatura UHP sono progettate in particolare per soddisfare i requisiti delle applicazioni ad elevata purezza. All'interno della testa di saldatura, il gas di protezione scorre separatamente attraverso un circuito di gas ad elevata purezza e arriva direttamente nella zona di saldatura senza alcun contatto con gli ingranaggi o le parti

rotanti. Pertanto il rischio di contaminazione si riduce sensibilmente.

Le teste di saldatura del tipo UHP sono particolarmente adatte per i tubi con diametro modesto e dimensioni radiali e assiali ridotte. Queste teste sono progettate secondo una struttura modulare. Il motore è solidale a un'impugnatura e può essere combinato con 3 moduli saldanti UHP 250-2 per tubi con diametro fino a 6,35 mm (1/4"), UHP 500-2 per tubi fino a 12,7 mm (1/2") e UHP 1500 per tubi fino a 33,7 mm (1 1/3"). Le cassette di bloccaggio intercambiabili, per esempio, permettono la preparazione dei pezzi in anticipo e in totale indipendenza, fissando poi l'impugnatura solo al momento della saldatura. Le cassette di bloccaggio e le conchiglie (T.C.I.) in titanio sono progettati per adattarsi perfettamente ai diametri esterni standard dei tubi usati nelle applicazioni per semiconduttori o per la fornitura di gas puri. La forma asimmetrica delle teste consente la saldatura di raccordi con ingombro limitato e il kit di bloccaggio assicura il centraggio, l'allineamento e il serraggio di tutti i tipi di micro-fittings più comuni.

#### 14.2.2. Teste di saldatura a camera chiusa MW

La gamma delle teste a camera chiusa MW è stata progettata esclusivamente per la saldatura autogena senza filo. Queste teste sono adatte ai tubi con O.D. compreso tra 6 mm e 115 mm. Oltre alla qualità perfetta della saldatura che può essere ottenuta con questo tipo di teste, il circuito di raffreddamento incorporato in combinazione all'uso di materiale refrattario nella loro costruzione permette un notevole incremento della produttività. I tasti del telecomando integrati nell'impugnatura assicurano una rapida esecuzione dei comandi.

I fittings e gli accessori con ingombri ridotti (curve, raccordi e clamp) possono essere saldati tramite kit curve con supporto elettrodo decentrato.



Testa di saldatura chiusa della serie Polysoude MW

#### 14.2.3. Teste di saldatura a camera aperta

Le teste di saldatura a camera aperta possono essere usate per saldare con o senza materiale d'apporto. Esistono due grandi differenze rispetto alle teste a camera chiusa:

Il gas di protezione non copre l'intera zona di saldatura ma solo una zona limitata intorno alla torcia. Ciò può causare problemi in caso di applicazioni dove si devono saldare metalli o leghe sensibili alla presenza di ossigeno.

La lunghezza rettilinea del pezzo sul lato da saldare è un fattore molto più importante nelle teste aperte rispetto alle teste chiuse.



Testa a camera aperta della serie Polysoude MU

### 14.3. Calcolo dei valori dei parametri di saldatura

In base al diametro e allo spessore dei tubi da saldare è possibile calcolare il valore dei parametri della saldatura per fusione senza filo d'apporto. I calcoli si basano su formule



Menu per accedere alle procedure di saldatura esistenti o ai parametri calcolati

### 14.4. Cianfrinatura

La saldatura orbitale autogena richiede una cianfrinatura precisa delle estremità dei tubi. Per ottenere bordi precisamente squadri, la cianfrinatura dovrebbe essere realizzata con speciali intestatrici. La sbavatura deve essere completamente rimossa e i cianfrini devono accoppiarsi perfettamente senza gioco. Intorno alla zona di saldatura non deve esserci traccia di lubrificanti, umidità o altri agenti contaminanti.

Prima di avviare il processo di saldatura, i tubi devono essere sempre ben allineati e preputati. Durante la puntatura, è essenziale garantire il gas di protezione per evitare l'ossidazione interna dei tubi. Infatti, l'alta temperatura di fusione dell'ossido di cromo può occasionalmente provocare dei difetti di saldatura.

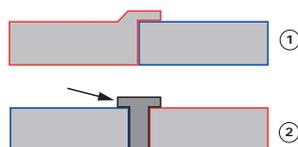
Il diametro del punto deve essere minore dell'ampiezza del cordone di saldatura finale. Per assicurare la completa fusione dei punti durante il processo di saldatura, le operazioni di puntatura devono essere realizzate senza filo d'apporto.

sviluppate per l'acciaio inossidabile della serie 300 (es. 316L) ma i risultati si possono trasporre anche per altri materiali. I generatori più recenti come il P4 e il P6 sono dotati di software per calcolare automaticamente il valore dei parametri di saldatura, se quella particolare applicazione non è stata trovata nella loro raccolta integrata.

In ogni caso, la validità dei risultati deve essere confermata dalle saldature di prova. Persino materiali con uguale denominazione o composizione nominale possono mostrare proprietà di saldatura differenti (cfr cap. 14.7 - Composizione chimica e ripetibilità delle saldature).

I dispositivi interni di bloccaggio meccanico possono essere utili per posizionare e saldare e sono spesso connessi ai sistemi di controllo del flusso del gas di protezione a rovescio. Il loro utilizzo risulta molto vantaggioso per la saldatura di connessioni SMS nelle applicazioni del settore agroalimentare.

**Nota tecnica:** per aumentare la resistenza meccanica dei cordoni di saldatura autogena, il materiale d'apporto può essere ottenuto dalla cianfrinatura di un'estremità di un tubo con un cordone sovrapposto ①. Un'altra possibilità è quella di posizionare un inserto di saldatura nello spazio fra i tubi ②. Una scelta ponderata della lega da inserire permette di saldare materiali diversi che altrimenti non potrebbero essere saldati nella saldatura autogena.

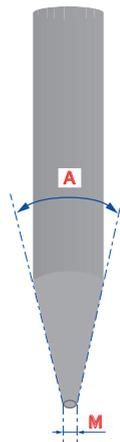


## 14.5. Preparazione dell'elettrodo

Per mantenere costante e compatta la forma dell'arco di saldatura, gli elettrodi in tungsteno che saranno usati per la saldatura meccanizzata o automatica devono essere preparati con un'estremità affilata. Il diametro dell'elettrodo, l'angolo di affilatura della punta "A" e il diametro "M" della parte piana della punta dipendono dall'intensità di corrente di saldatura. L'angolo di affilatura "A" dovrebbe avere un valore compreso fra 18° e 30°, la punta un diametro tra 0,1 mm e 0,5 mm. Intensità di corrente maggiori richiedono angoli di affilatura più ampi e diametri della punta maggiori.

La lunghezza dell'elettrodo deve essere calcolata e predisposta in funzione del tipo di testa da usare, dall'O.D. dei tubi da saldare e dalla lunghezza d'arco specifica che si vuole ottenere. In molti casi è difficile preparare gli elettrodi con la necessaria precisione, perfino se si utilizza una macchina affila-elettrodi. Una soluzione considerata spesso efficiente ed economica è l'acquisto di elettrodi pronti all'uso disponibili sul mercato.

**Nota tecnica:** gli elettrodi in tungsteno dovrebbero essere sostituiti preventivamente



Preparazione dell'elettrodo

per evitare una serie di problemi di saldatura e difetti (instabilità dell'arco, difficoltà a innescare). Le applicazioni più delicate richiedono a volte che si cambi l'elettrodo dopo ciascuna saldatura.

Diametro dell'elettrodo		Corrente continua [A]		Corrente alternata [A]
		Polarità diretta DCEN	Polarità inversa DCEP	Onda simmetrica
0,020"	0,05 mm	5-20		10-20
0,04"	1,0 mm	15-80		20-30
1/16"	1,6 mm	70-150	10-20	30-80
3/32"	2,4 mm	150-250	15-30	60-130
1/8"	3,2 mm	250-400	25-40	100-180
5/32"	4,0 mm	400-500	40-55	160-240
3/16"	4,8 mm	500-750	55-80	190-300
1/4"	6.4 mm	750-1100	80-125	325-450

Diametri dell'elettrodo da selezionare a seconda delle diverse intensità di corrente

## 14.6. Gas di protezione a rovescio

Durante la saldatura orbitale, la superficie interna dei tubi deve essere protetta dall'ossidazione. Per questo motivo l'interno dei tubi viene depurato con il gas a rovescio. Il grado di purezza del gas dipende dalla qualità richiesta alla saldatura. Prima di saldare è necessario che sia trascorso un tempo di depurazione sufficiente per permettere al gas a rovescio di rimuovere l'ossigeno dal sistema. Il contenuto residuo di ossigeno nel gas a rovescio può essere analizzato all'uscita. Se è diminuito in modo accettabile, si può iniziare l'operazione di saldatura. Di solito in caso di applicazioni UHP (Ultra High Purity) il livello di ossigeno deve scendere sotto le 10 ppm (parti per milione), cioè meno dello 0,001%.

**Nota tecnica:** l'uso di gas ultrapuri richiede che questi passino attraverso i tubi senza

essere contaminati da grassi, ossigeno o altri agenti contaminanti.

Durante la saldatura è necessario rispettare e mantenere costanti i valori specificati per il flusso e la pressione interna del gas di protezione a rovescio. La pressione interna deve essere tenuta sotto controllo perché un'eccessiva pressione può portare a una saldatura di radice con superficie concava all'esterno o addirittura causare un corto circuito sul cordone di saldatura.

Se si saldano tubi con diametro inferiore a 9,52 mm (3/8") la pressione interna può essere usata per evitare eccessive convessità o riduzioni del diametro interno.

**Nota tecnica:** uno scolorimento dovuto all'ossigeno residuo nel gas di protezione a rovescio può essere rimossa tramite passivazione.

Gas: Argon 99,998%

Material: 316L/1.4404

Tube: 53 x 1.5 mm



1 2 3 4 5 6 7 8 9  
12 ppm 20 ppm 25 ppm 30 ppm 40 ppm 60 ppm 115 ppm 150 300 ppm

Effetti dell'ossigeno nel gas a rovescio sulla colorazione della saldatura di radice

## 14.7. Composizione chimica e ripetibilità delle saldature

Il basso contenuto di zolfo nel metallo base può causare diversi problemi durante la saldatura degli acciai inossidabili. Il contenuto di zolfo, infatti, influisce sulla tensione superficiale del metallo fuso. Con un alto tenore di zolfo si ottiene un profilo di saldatura stretto e profondo, mentre con bassi contenuti di zolfo il cordone di saldatura è molto largo ma poco profondo e permette pochissima penetrazione. Questo fenomeno è noto con il nome di effetto Marangoni.

Se si deve saldare un pezzo con basso

contenuto di zolfo a un secondo pezzo con un alto contenuto di zolfo, l'arco può completamente deviare verso la parte con meno zolfo, impedendo una saldatura accettabile. In alcuni casi il problema può essere risolto eseguendo l'operazione di saldatura in due fasi anziché una.

0.001 % 0.008 % 0.03 %



Effetti del contenuto di zolfo sul bagno di fusione

## 15. Saldatura orbitale tubo-tubo o pipe-pipe con filo d'apporto

### 15.1. Applicazioni

Varie ragioni rendono necessario l'utilizzo di materiale d'apporto nelle procedure di saldatura orbitale:

- Lo spessore dei tubi richiede la cianfrinatura
- I tubi o pipe da saldare sono realizzati con metalli base diversi
- La saldatura è da rinforzare
- La resistenza meccanica e/o la resistenza alla corrosione vengono compromesse dalla saldatura per fusione

Le applicazioni tubo-tubo con l'aggiunta del filo d'apporto sono spesso richieste nel campo della produzione energetica (centrali elettriche) e nell'industria chimica o petrolchimica.

Possono essere utilizzati molti materiali base:

- Acciai al carbonio non legato
- Acciai al carbonio basso legati al cromo o cromo-manganese
- Acciai altolegati al cromo e nickel (austenitici o con una struttura cristallina austeno-ferritica)
- Leghe a base di nickel (come ad es. le leghe Inconel® o Hastelloy®)
- Titanio e leghe di titanio.

Sebbene le dimensioni dei tubi possano differire parecchio, la grande maggioranza di queste è compresa fra:

- 26,9 mm e 219 mm ( $\frac{3}{4}$ " and 8") di diametro
- 2,77 mm e 12,7 mm di spessore

### 15.2. Scelta degli impianti

Per la saldatura orbitale con filo d'apporto può essere usato l'impianto standard con 4 assi (flusso gas di protezione, intensità di corrente di saldatura, velocità di rotazione della torcia e velocità dell'alimentazione filo) o con 6 assi (4 assi + AVC e oscillazione).

A prescindere da considerazioni di carattere economico o relative al singolo progetto, la seguente tabella mostra i requisiti tecnici per usare gli impianti a 4 o 6 assi:

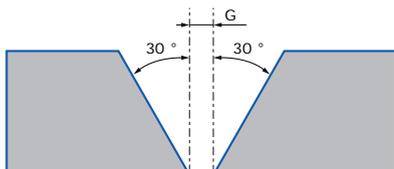
Criteri		Tipo di impianto	
		4 assi	6 assi
<b>Spessore dei tubi da saldare</b>	ridotto (< 4 mm)	+	+
	medio o elevato (> 4 mm)	-	+
<b>Accessibilità</b>	limitata	+	-
	libera	+	+
<b>Sequenza di saldatura</b>	semplice	+	+
	difficile	-	+
<b>Livello di automazione</b>	basso	+	+
	alto	-	+

In caso di accessibilità limitata all'area di lavoro è preferibile l'utilizzo dell'impianto con 4 assi. Se invece il criterio principale è la

facilità di messa in funzione è sicuramente meglio scegliere un impianto con 6 assi.

### 15.3. Preparazione alla saldatura

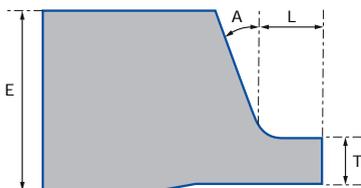
La preparazione standard per la saldatura manuale di tubi, pieghe, elementi a T e flange è a V con spazio. Per vari motivi la preparazione a V non può essere usata nella saldatura orbitale (uno spazio non è applicabile, non si possono rimuovere i punti della puntatura né il gas di protezione a rovescio, etc...).



Cianfrinatura più comune per la saldatura manuale

La cianfrinatura nella saldatura orbitale è sempre progettata senza spazi sul tallone ( $G=0$ ). Per ragioni legate all'accessibilità, gli angoli per la preparazione a V devono essere aumentati ad almeno  $30^\circ$  o anche  $37^\circ$ . Con questo tipo di cianfrino non è possibile ottenere una penetrazione regolare ma in base alla posizione possono verificarsi concavità significative.

Per evitare questi problemi e ottenere una penetrazione uniforme, è preferibile scegliere una cianfrinatura a J con un tallone di larghezza L e spessore T. Nella seguente tabella sono contenute le indicazioni relative alla geometria della cianfrinatura in relazione al diametro del tubo e allo spessore:



Cianfrinatura raccomandata per la saldatura TIG orbitale

Tipi di tubo (mm)	Angolo ( $^\circ$ )	Tallone (mm)	
Spessore (mm)	A	T	L
$3 < E \leq 6$	$30^\circ$	1	2
$6 \leq E \leq 10$	$30^\circ$ o $20^\circ$	1,5	
$10 \leq E \leq 15$	$20^\circ$		

#### Nota tecnica:

Nella saldatura automatica l'I.D. è spesso lavorato in modo da ottenere uno spessore T con una tolleranza accettabile (da  $\pm 0,2$  a  $0,3$  mm).

Per assicurare la necessaria precisione e ripetibilità nella preparazione della saldatura si devono utilizzare le macchine per la cianfrinatura meccanica. Ci sono due tipi di macchine disponibili sul mercato:

- Impianti fissi carrellati progettati per essere usati in officina
- Macchine mobili elettriche o pneumatiche trasportabili a mano da usare per piccole serie o in cantiere.



Cianfrinatrice portatile



Cianfrinatrice da officina

Per rimuovere ogni traccia di ruggine, oli o scaglie di calamina è necessario lavorare l'interno e l'esterno dei tubi in acciaio.

**Nota tecnica:** i metalli che possono magnetizzarsi devono essere ispezionati con cura. Nessun residuo di magnetismo è

accettabile, al massimo lievi densità di flusso (meno di 3 gauss), altrimenti potrebbero verificarsi problemi o difetti nella saldatura (mancanza di penetrazione, aderenza laterale o porosità).

## 15.4. Posizionamento dei tubi

Prima di avviare la saldatura orbitale, i tubi devono essere posizionati e saldati per puntatura. In generale, è tollerata una deviazione massima (in più o in meno) pari alla metà dello spessore del tallone T. Per evitare difetti di penetrazione durante la passata di radice, la puntatura deve essere effettuata senza filo d'apporto, al massimo con un input molto piccolo. I cianfrini devono adattarsi perfettamente l'uno all'altro senza

spazi vuoti.

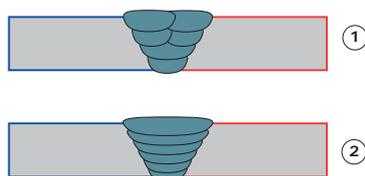
Se si devono saldare acciai inossidabili, leghe a base di nickel, titanio o leghe di titanio, è obbligatorio l'uso del gas di protezione a rovescio. Nella pratica, l'acciaio al carbonio può essere saldato senza filo d'apporto ma si deve prevedere una bassa ripetibilità e un alto tasso di manutenzione.

## 15.5. Saldatura multipass

Ci sono due metodi per effettuare una saldatura. La scelta fra i due dipende dalle caratteristiche dell'impianto:

1 - Se l'impianto controlla 4 assi può essere usata solo la tecnica a passate tirate con cordoni di saldatura stretti, affiancati e poi sovrapposti ①. In casi particolari, ad esempio la saldatura d'angolo (2G o PC) o anche a 45° (6G o H L045), può essere usata la tecnica a passate tirate anche in presenza di AVC e oscillazione.

2 - L'impianto con 6 assi permette il movi-



Metodo per la saldatura multistrato

mento laterale della torcia. Le passate con oscillazione della torcia possono essere sovrapposte e/o disposte una a fianco all'altra ②.

La saldatura multipass con la tecnica a passate tirate è piuttosto complessa e necessita di molto tempo poiché il processo deve essere interrotto dopo ogni passata e bisogna effettuare alcune regolazioni meccaniche, come la correzione della posizione laterale della torcia e della distanza fra la precedente passata e l'elettrodo. Queste regolazioni possono essere effettuate se le parti interessate della testa di saldatura sono accessibili nella posizione di lavoro.

Con l'impianto di saldatura a 6 assi si riducono notevolmente i tempi richiesti

### 15.6. Elettrodo in tungsteno

Se si usano elettrodi in tungsteno per la saldatura orbitale automatica, è necessario assicurarsi che la loro geometria rimanga sempre la stessa. Anche la minima variazione nella forma o nelle dimensioni può causare modifiche significative nella tensione d'arco, che è il valore su cui si basa l'AVC (cfr par. 11.5.1). Una differenza di tensione d'arco viene trasformata dall'AVC in una diversa

### 15.7. Gas di protezione a rovescio

Nella saldatura manuale di acciai al carbonio non è obbligatorio l'uso del gas di protezione a rovescio, poiché l'interno del tubo è protetto dal gas di protezione che scorre attraverso lo spazio sul fondo del giunto a V. Invece nella saldatura orbitale con preparazione a J, quindi senza spazi sul tallone, il

### 15.8. Parametri non programmabili

Spesso nella saldatura orbitale si sottovaluta l'importanza dei parametri non programmabili direttamente dall'impianto, con la conseguenza di diminuire il grado di ripetibilità e di produttività delle saldature. Di seguito sono elencati alcuni parametri non programmabili:

- Gas di protezione: tipo, purezza, flusso del gas
- Gas di protezione a rovescio: tipo, purezza, flusso del gas

per gli interventi manuali. La funzione AVC controlla la distanza fra l'elettrodo e il pezzo e l'oscillazione permette di coprire l'intera ampiezza del giunto o di posizionare lateralmente la torcia. Una volta posizionata la torcia sopra il giunto, si attiva l'autocentraggio dell'elettrodo. Le diverse passate possono essere concatenate e anche l'avvolgimento delle guaine e dei cavi di alimentazione può avvenire in automatico. In tal modo l'operatore non viene distratto da incombenze ripetitive e può concentrarsi sulla supervisione del processo di saldatura.

lunghezza d'arco, che a sua volta porta a una diversa grandezza del bagno di fusione.

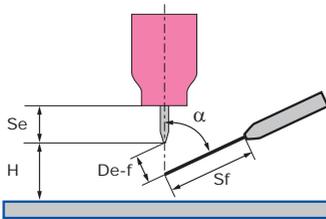
**Nota tecnica:** aumentare la lunghezza d'arco fa diminuire la pressione d'arco e può portare a una scarsa penetrazione e creare una superficie concava. Se l'arco è troppo corto l'elettrodo si deteriora rapidamente.

gas di protezione a rovescio è caldamente raccomandato. Permette di azzerare la presenza della calamina refrattaria, che si forma nella saldatura di acciai con un maggior contenuto di manganese, migliorando così la ripetibilità della saldatura. I tipi di gas per la protezione a rovescio sono elencati nel paragrafo 3.5.2.

- Gas lens: tipo e dimensioni
- Ugello di ceramica: dimensioni, diametro e lunghezza
- Elettrodo: tipo, diametro, cianfrinatura e sporgenza (stick out)
- Filo: dimensioni, diametro, numero di colata, angolo di entrata, punto di impatto
- Posizione di avvio della saldatura
- Temperatura di interpass
- Posizionamento e connessione del cavo di massa

## 15.9. Regolazioni meccaniche

In tutte le applicazioni le regolazioni geometriche relative a torcia e guidafile devono essere realizzate con estrema precisione e documentate chiaramente.



1 - L'angolo  $\alpha$  tra il tungsteno il filo in entrata dovrebbe essere regolato tra  $50^\circ$  e  $80^\circ$ .

2 - La distanza De-f fra il filo e l'elettrodo dovrebbe essere regolata fra 1,5 e 3 mm. Si raccomanda una distanza maggiore durante la passata di radice così da usare la rigidità

del filo per spingere il cordone di saldatura e ottenere una certa convessità di radice. Per le passate di riempimento e di finitura si raccomanda di diminuire la distanza fino a 2 mm, così il filo è più vicino all'arco e si fonde più facilmente, può essere aggiunto più filo e si evitano i difetti da filo freddo.

3 - Il filo in uscita Sf dovrebbe essere regolato tra 8 e 12 mm. Se la distanza è troppo corta, l'ugello del filo brucia o si attacca. Se invece la distanza è eccessiva, il filo può attorcigliarsi in qualsiasi direzione e, per esempio, contaminare l'elettrodo in tungsteno.

4 - Lo spazio d'arco H dovrebbe essere regolato fra 2 e 3 mm. Con l'impianto a 6 assi, questa distanza è controllata dall'AVC. Per eseguire la passata di radice lo spazio d'arco deve essere ridotto a 1-2 mm (cfr par. 11.5).

## 15.10. Possibilità di aumentare le prestazioni della saldatura TIG orbitale

La saldatura orbitale TIG a filo freddo si rivela una scelta ottimale nelle applicazioni standard in cui è richiesto un alto livello di qualità, ma se confrontato con gli altri processi di saldatura la velocità di deposito

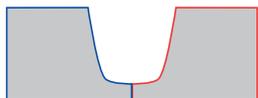
è relativamente bassa (da 0,15 a 0,5 kg/h). Per migliorare l'efficienza del processo è possibile usare la tecnica Narrow Gap e/o a filo caldo.

### 15.10.1. Saldatura Narrow Gap

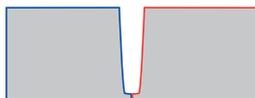
Per aumentare la produttività è possibile ridurre il volume del cianfrino. La tecnica Narrow Gap consiste nel restringimento del cianfrino dopo ogni passata di riempimento. Le ridotte dimensioni dello spazio alla radice permettono giusto l'inserimento di una torcia Narrow Gap che può saldare con passate tirate, una passata per strato.

Restringendosi, lo spazio fra ciascuno strato diventa sempre più stretto al procedere della saldatura, formando i bordi per la passata successiva. Questa tecnica porta a vantaggi in termini economici per i pezzi con spessore di almeno 25 mm. Inoltre, si possono ottenere cordoni di saldatura di uguale ampiezza su spessori fino a 250 mm.

**Nota tecnica:** la tecnica Narrow Gap non è raccomandata per quei materiali base che sono soggetti a criccabilità a caldo.



Cianfrinatura a J comune nella saldatura TIG orbitale



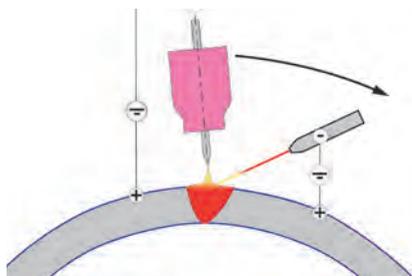
Cianfrinatura per saldatura narrow gap



Sezione macrografica di una saldatura TIG con la tecnica narrow gap

### 15.10.2. Saldatura TIG filo caldo

Aumentare la produttività senza perdere in qualità è lo scopo che si prefigge il processo TIG filo caldo. In questo caso, il filo d'apporto viene scaldato con ulteriore corrente. La corrente per filo caldo viene fornita da un secondo generatore. La tecnica filo caldo raggiunge maggiori velocità di deposizione, circa 1 kg/h nella saldatura orbitale e ancora di più nella placcatura.



Schema della saldatura TIG filo caldo

### 15.10.3. Saldatura Narrow Gap a filo caldo



Combinando la tecnica Narrow Gap e il processo filo caldo si ottiene ovviamente una maggiore efficienza. Questo tipo di saldatura è usato soprattutto per saldare pipe sottoposti ad alte pressioni e alte temperature, come nelle centrali a combustibili fossili o nucleari. Sono poche le società nel mondo in grado di soddisfare la richiesta di impianti con una tecnologia così sofisticata. Polysoude è tra queste con il generatore PC 600-3 filo caldo in combinazione con la testa per la saldatura orbitale carrellata Polycar MP 200 mm, dotata di una torcia speciale per la tecnica Narrow Gap.

Torcia Polysoude per la saldatura TIG filo caldo in Narrow Gap

## 16. Saldatura orbitale tubo-piastra

### 16.1. Materiali e dimensioni dei tubi

Quasi tutti i metalli e le leghe che permettono la saldatura possono essere usati nelle applicazioni tubo-piastra, mentre le dimensioni accettabili per i tubi in questo campo sono poche. Il diametro può variare tra 12,7 mm e 101,6 mm e lo spessore tra 0,5 e 5 mm. Nella maggior parte dei casi, il diametro è compreso tra 19,05 mm (3/4") e

38,1 mm (1.5") con uno spessore compreso tra 1,65 mm e 3,4 mm.

L'uso di caldaie e scambiatori di calore è diffuso in tutti i tipi di industria in cui sono presenti macchinari pesanti, principalmente nell'industria chimica e petrolchimica e nelle centrali elettriche.

### 16.2. Impianti di saldatura

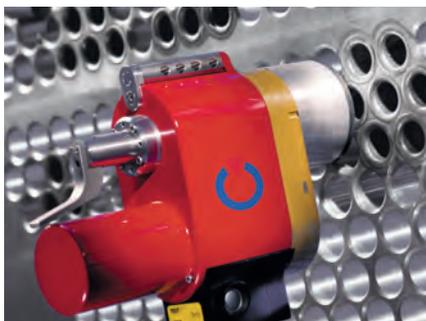
Nella maggior parte dei casi gli impianti per la saldatura tubo-piastra sono specificamente adattati al tipo di applicazione e al livello di automazione desiderato:

1 - L'impianto di saldatura a tre assi (gas, corrente, rotazione) è costituito da un generatore fisso carrellato\* e una testa a camera chiusa. Questo tipo di impianto permette la saldatura per fusione senza filo d'apporto.

2 - L'impianto di saldatura a quattro assi (gas, corrente, rotazione, filo) è costituito da un generatore fisso carrellato\* e una testa a camera aperta. Questo impianto è adatto alla saldatura con singola passata, due passate devono essere eseguite in due fasi separate.

\* I generatori portatili sono usati raramente in queste applicazioni perchè non c'è l'esigenza di spostare macchinari.

3 - L'impianto di saldatura a cinque assi (gas, corrente, rotazione, filo, AVC) è costituito da un generatore progettato per controllare sei assi e una testa del tipo TS 8/5 configurata con AVC. Questo impianto permette di concatenare passate multiple con filo d'apporto. Inoltre, è possibile programmare il sollevamento della torcia fra le passate senza interrompere il ciclo di saldatura.



Esempio di applicazione con tre assi con una testa di saldatura Polysoude TS 34



4 - L'impianto di saldatura a sei assi (gas, corrente, rotazione, filo, AVC, oscillazione) è costituito da un generatore della serie PC e da una testa del tipo 20/160. Questo impianto permette una saldatura multipass (due o più passate). La torcia può spostarsi in direzione radiale.

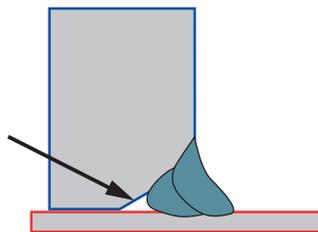
Sezione macrografica di un giunto tubo-piastra penetrato completamente e saldato dietro la piastra tubiera

### 16.3. Requisiti specifici per i tubi e i cianfrini

In confronto alla saldatura manuale, la pianificazione della saldatura tubo-piastra richiede alcune attenzioni in più:

1 - I tubi devono essere senza saldature (o con saldature piatte), i difetti di concentricità fra il diametro interno ed esterno devono essere limitati al minimo per permettere la ripetibilità del posizionamento dell'elettrodo. Nelle applicazioni standard (tubi a filo piastra, sporgenti o arretrati) la torcia è allineata all'interno del tubo nel punto in cui si effettua la saldatura sul diametro esterno. I difetti di concentricità potrebbero causare variazioni inaccettabili della distanza tra il pezzo e l'elettrodo e quindi alterare la lunghezza dell'arco.

2 - Con la preparazione a V è virtualmente impossibile assicurare una fusione affidabile alla base del tubo, specialmente in posizione verticale discendente (i difetti di fusione si notano nelle sezioni macrografiche). Questi giunti devono essere preparati a J.



Difetti di fusione alla base di una preparazione a V

3 - In qualche caso, se è richiesta una buona conduzione termica, il gioco fra il tubo e il foro deve essere eliminato da una lieve espansione del tubo. Il gioco è però essenziale prima dell'inizio della saldatura per assemblare l'apparecchio, ma se gli spazi diventano troppo grandi potrebbero sorgere problemi di ripetibilità. Tuttavia è difficile stimare il gioco massimo consentito, dipende dalla qualità di saldatura richiesta e dallo spessore del tubo.

**Nota tecnica:** per ottimizzare l'uso dei dispositivi di centraggio nelle teste per la saldatura tubo-piastra, ogni ordine deve essere corredato dalle informazioni relative alla profondità di espansione, al diametro

del tubo nella zona espansa e al diametro originale.

4 - La zona di contatto tra il tubo e la piastra deve essere pulita. Grassi, oli o altri residui della produzione dei tubi o degli ingranaggi possono causare la formazione di bolle con uscita sulla superficie o all'interno delle saldature.

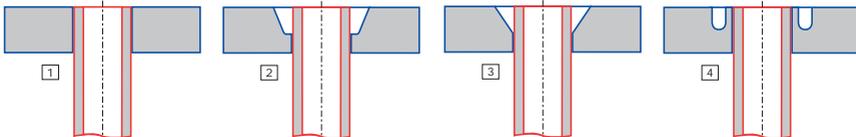
5 - Non deve assolutamente verificarsi una grande espansione dei tubi all'interno della piastra prima della saldatura automatica. Infatti una grande espansione (con o senza solchi nel foro) provoca effetti di degassamento quasi esplosivi che rendono impossibile la saldatura automatica.

## 16.4. Saldatura di tubi a filo piastra

In funzione dell'applicazione, la saldatura orbitale di tubi a filo piastra è possibile con o senza materiale d'apporto. Le diverse cianfrinature dei tubi a filo sono elencate di seguito:

- 1 – Preparazione standard
- 2 – Preparazione a J

- 3 – Preparazione a V
- 4 – Gola di scarico



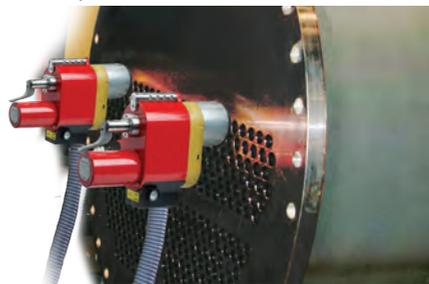
### 16.4.1. Saldatura dei tubi a filo piastra senza filo d'apporto

La cianfrinatura più frequente per la saldatura dei tubi a filo è la 1, mentre la 4 è usata raramente. Per tubi di diametro compreso tra 10 mm e 32 mm si raccomanda l'uso di teste speciali sviluppate per queste applicazioni senza filo d'apporto.

È compito dell'operatore posizionare la testa di saldatura e avviare il ciclo. L'esecuzione della sequenza completa avviene in automatico e non c'è più bisogno che l'operatore resti vicino all'impianto. Pertanto l'operatore può lavorare con più teste contemporaneamente.

Caso tipico di applicazione: i condensatori nelle centrali termo-elettriche. Qui i tubi con

spessore di circa 1 mm sono fatti di titanio mentre la piastra è progettata e costruita in acciaio placcato titanio.

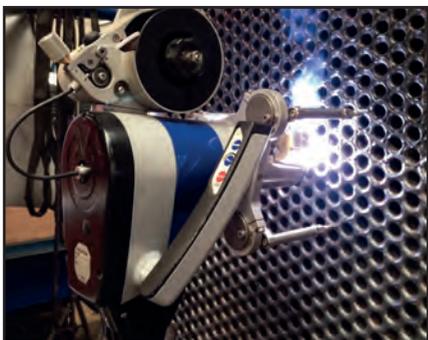


Esempio di tubi a filo da saldare a una piastra tubiera con tre teste Polysoude TS 34

## 16.4.2. Saldatura dei tubi a filo piastra con filo d'apporto

L'impianto di saldatura a quattro o cinque assi può essere usato per questa applicazione. La testa di saldatura aperta per tubo-piastra dovrebbe essere configurata con dispositivi adattati secondo i seguenti requisiti:

- Alimentatore filo integrato o esterno con o senza AVC
- Con/senza campana gas di protezione (per la saldatura di titanio o zirconio)
- Angolo torcia di 0° o 15°.



Esempio di saldatura di tubi a filo a una piastra con due teste Polysoude TS 8/75

**Nota tecnica:** si raccomanda la funzione AVC specialmente per la saldatura di tubi a filo piastra.

Generalmente la cianfrinatura è del tipo 1, 2 o 3. Se si effettua la cianfrinatura, è meglio evitare la preparazione a V. Con questo tipo di preparazione si corre sempre il rischio di effettuare una penetrazione incompleta della radice. Una preparazione a J (con o senza raggio) è preferibile. Se la profondità dello smusso supera 1,5 mm, l'estremità del tubo dovrebbe essere posizionata a metà dello stesso. Il valore massimo dell'estremità del tubo da arretrare è pari al 50% dello spessore del tubo.

In base alle dimensioni e allo spessore richiesto della saldatura, sono necessarie una o due passate. La prima passata alla radice è fondamentale per la tenuta. L'eventuale seconda passata incrementa ulteriormente la resistenza meccanica.

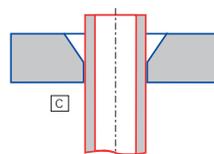
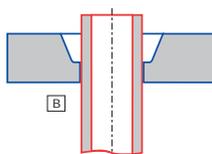
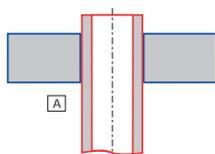
## 16.5. Saldatura di tubi sporgenti

I tubi sporgenti vengono sempre saldati con l'aggiunta del filo d'apporto, ma in alcuni casi la saldatura inizia con una passata di fusione. Sono possibili diverse cianfrinature:

A - Preparazione standard senza cianfrino

C - Preparazione a V

B - Preparazione a J





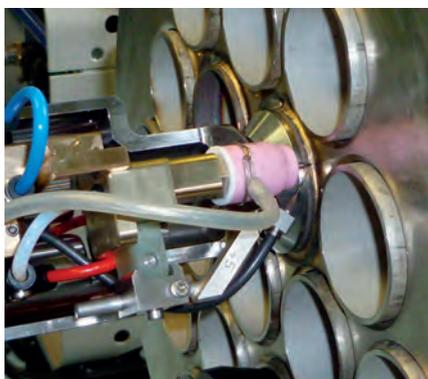
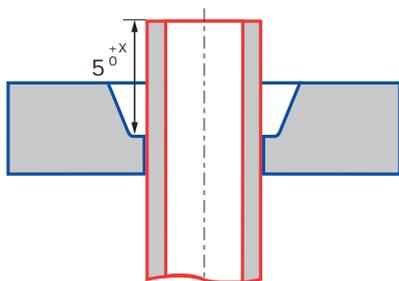
L'impianto di saldatura a quattro o cinque assi può essere usato per queste applicazioni. L'inclinazione della torcia varia in base al passo e alla sporgenza dei tubi. Gli angoli standard delle torce sono  $15^\circ$  o  $30^\circ$ :

- ▶ è preferibile usare torce con un angolo di  $15^\circ$  in caso di tubi poco spessi (da 1,6 mm a 2,1 mm), evitando così la fusione interna.
- ▶ si usano torce con un angolo di  $30^\circ$  per tubi spessi (da 2,5 mm in su) se c'è sufficiente spazio rispetto al tubo intorno

(passo ridotto).

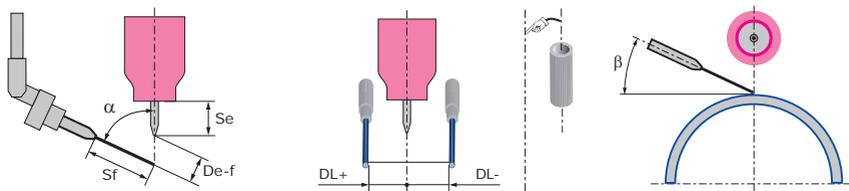
In ogni caso, per evitare la fusione dei bordi del tubo, la lunghezza del tubo misurata dalla base del cianfrino deve essere di almeno 5 mm.

**Osservazione:** se si usa l'impianto a cinque assi, l'AVC deve operare in modalità altezza relativa. Ciò permette di regolare la distanza tra l'elettrodo e la piastra tubiera per ottenere migliori risultati indipendentemente dalla posizione della torcia.



Esempio di saldatura di tubi sporgenti a una piastra con una testa Polysoude TS 8/75

È necessario prestare la massima attenzione alla formazione dell'operatore. A differenza della saldatura tubo-tubo, in cui le regolazioni meccaniche della torcia e del guidafilo sono effettuate sullo stesso piano, la saldatura tubo-piastra richiede di lavorare su un piano tridimensionale.



## 16.6. Saldatura di tubi arretrati

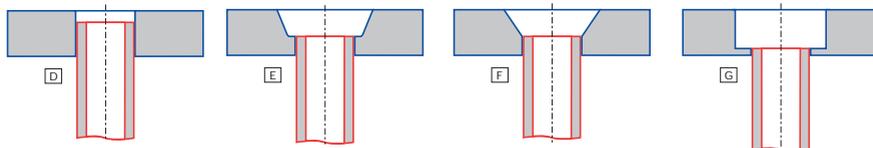
Le diverse cianfrinature possibili sono elencate di seguito:

D: Preparazione standard senza cianfrino

F: Preparazione a V

E: Preparazione a J

G: Saldatura retro piastra



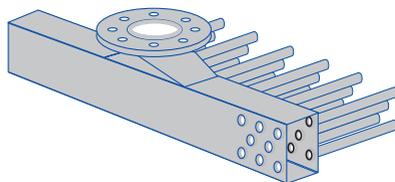
Per le preparazioni D, E e F è possibile usare l'impianto a quattro o cinque assi e una testa aperta tubo-piastra.

La preparazione G è usata di frequente nell'industria petrolchimica con un impianto a sei assi e una testa TIG 20/160 con dispositivo di centraggio separato. Questo tipo di applicazione richiede generalmente che sia sviluppato un progetto specifico per adattare al meglio i meccanismi di centraggio e le procedure di saldatura.

**Nota tecnica:** a differenza delle applicazioni per tubi sporgenti, nel caso di tubi arretrati è possibile la preparazione a V della piastra tubiera. Se si applicano le preparazioni E o F, i tubi dovrebbero sporgere leggermente dalla base del cianfrino.

In base alle dimensioni e allo spessore richiesto della saldatura, sono necessarie una o due passate. La prima passata alla radice è fondamentale per la tenuta. L'eventuale seconda passata incrementa ulteriormente la resistenza meccanica.

**Applicazione particolare:** la saldatura dei tubi sulla seconda piastra di uno scambiatore ad aria (air cooler). In questa applicazione, per realizzare la saldatura, è indispensabile utilizzare la funzione AVC.



Saldatura di tubi sulla seconda piastra di uno scambiatore ad aria

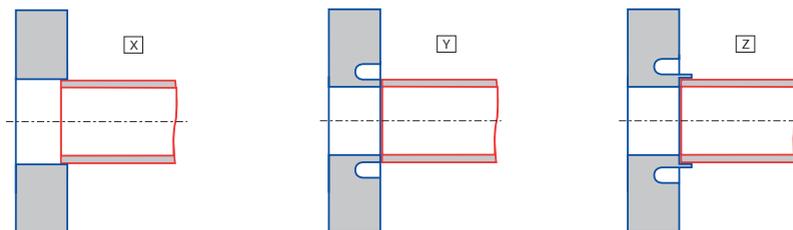
## 16.7. Saldatura I.B.W.

Per evitare la corrosione degli spazi fra tubo e piastra, i giunti senza spazi sono saldati dall'interno dei tubi al retro della piastra. Questo tipo di applicazione richiede estrema accuratezza nella preparazione e nella saldatura del pezzo. Alcuni possibili cianfrini sono mostrati di seguito:

X: Standard senza cianfrino

Y: Preparazione con gola di scarico, senza sede per l'inserimento del tubo

Z: Preparazione con gola di scarico, con sede per l'inserimento del tubo



Non si raccomanda una cianfrinatura del tipo X poichè la maggiore differenza di massa tra il tubo e la piastra preclude la possibilità di raggiungere una sufficiente penetrazione.

La preparazione del tipo Y supera i problemi di penetrazione creando una zona di saldatura grazie a una massa meglio bilanciata del tubo e della piastra.

Tre ragioni rendono la preparazione del tipo Z piuttosto simile a quella standard per le operazioni di saldatura orbitale tubo-tubo:

- Tramite la sede il tubo è allineato al foro.
- La fusione del bordino fornisce metallo aggiuntivo che aumenta la resistenza meccanica della saldatura.
- Si riduce l'insellamento della saldatura.

**Nota tecnica:** a differenza delle applicazioni tubo-tubo classiche, la saldatura I.B.W. richiede di proteggere con il gas la radice (all'esterno del tubo). Solo con una preparazione a X, in cui l'estremità del tubo viene posizionato nel foro sufficientemente in profondità (ad es. a metà dello spessore

del tubo) non è necessaria alcuna protezione della radice. La protezione può avvenire inondando l'intero apparecchio con gas inerte o, se il retro della piastra è accessibile, applicando una protezione localizzata tubo per tubo.

Se l'I.D. del tubo è superiore a circa 35 mm, è possibile utilizzare gli strumenti di saldatura con metallo d'apporto.



Esempio di saldatura di tubi arretrati a una piastra tubiera

Per saldare tubi di spessore relativamente ridotto da 3 a 3,6 mm (in base al materiale), si raccomanda la posizione di saldatura orizzontale con la piastra sotto la testa di saldatura, a sua volta posizionata orizzontalmente.

La distanza fra il lato della piastra e la saldatura deve essere molto precisa poiché la tolleranza è minima. L'operatore non può vedere la posizione della torcia all'interno del tubo e quindi non ha la possibilità di regolarla o di guardare il processo di saldatura.

I problemi di saldabilità sono simili a quelli riscontrati nel cap. 1.4 per la saldatura tubo-tubo per fusione.

L'impianto di saldatura a tre o quattro assi può essere usato per questo tipo di applicazione. In caso di preparazione del giunto del tipo X invece è necessario un impianto a cinque assi. Le teste di saldatura devono essere dotate di particolari lance per la saldatura I.B.W.

**Applicazioni simili:** se si devono saldare dei nipples a un collettore (applicazione tipica nel campo della costruzione di impianti per centrali energetiche), vengono usati gli stessi materiali base e anche la preparazione del giunto e le precauzioni da adottare sono simili a quelle della saldatura I.B.W.

## 17. Conclusione

Al termine di questa guida rimane solo da sottolineare ancora una volta il ruolo predominante della saldatura orbitale TIG (o GTAW) nelle applicazioni più sofisticate che richiedono un eccellente livello di qualità e di affidabilità. Polysoude, forte di un'esperienza pluriennale nello sviluppo e nella produzione di impianti, è in grado di offrire un'ampia gamma di macchine standard oppure adattate alle specifiche esigenze. Il design modulare dei dispositivi, ad esempio le teste di saldatura e i generatori, ci consente di progettare soluzioni su misura per ogni necessità del cliente, sempre tenendo in considerazione i vincoli speciali dei singoli progetti.

Infine, grazie alla fiducia dei clienti e alla solida esperienza nel risolvere i problemi tecnici, Polysoude è diventata leader nel mercato degli impianti per la saldatura TIG meccanizzata e automatica. Gli uffici tecnico e commerciale sono a vostra totale disposizione per studiare un progetto che risponda appieno alle vostre esigenze.



Note

## Note



# Your partners worldwide

## ARGENTINA

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

## 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 EOOD  
☎ +359 (0) 29 73 32 15

## CANADA

MAG TOOL - West  
☎ +1 800 661 9983

MAG TOOL - East  
☎ +1 905 699 5016

## 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 - DÜSSLINGEN  
☎ +49 (0) 7072 60 07 60

## 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

## SINGAPORE

POLYSOUDE SINGAPORE  
OFFICE  
☎ +65 0734 8452

## 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

EGE MAKINE  
☎ +90 (0) 212 237 36 00

## UNITED ARAB EMIRATES

SALWO TRADING Ltd  
☎ + 971 (0) 48 81 05 91

## 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) 412 34 82 602

## VIETNAM

ANH DUONG IT Ltd  
☎ + 84 22.159.532



## 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) 798 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

## NORWAY

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

## 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

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

## PORTUGAL

POLYSOUDE IBERIA OFFICE  
☎ +34 609 154 683

## ROMANIA

DEBISUD CONCEPT 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



Polysoude S.A.S.

ZI du Bois Briand • 2 rue Paul Beaupère  
44300 NANTES - FRANCE

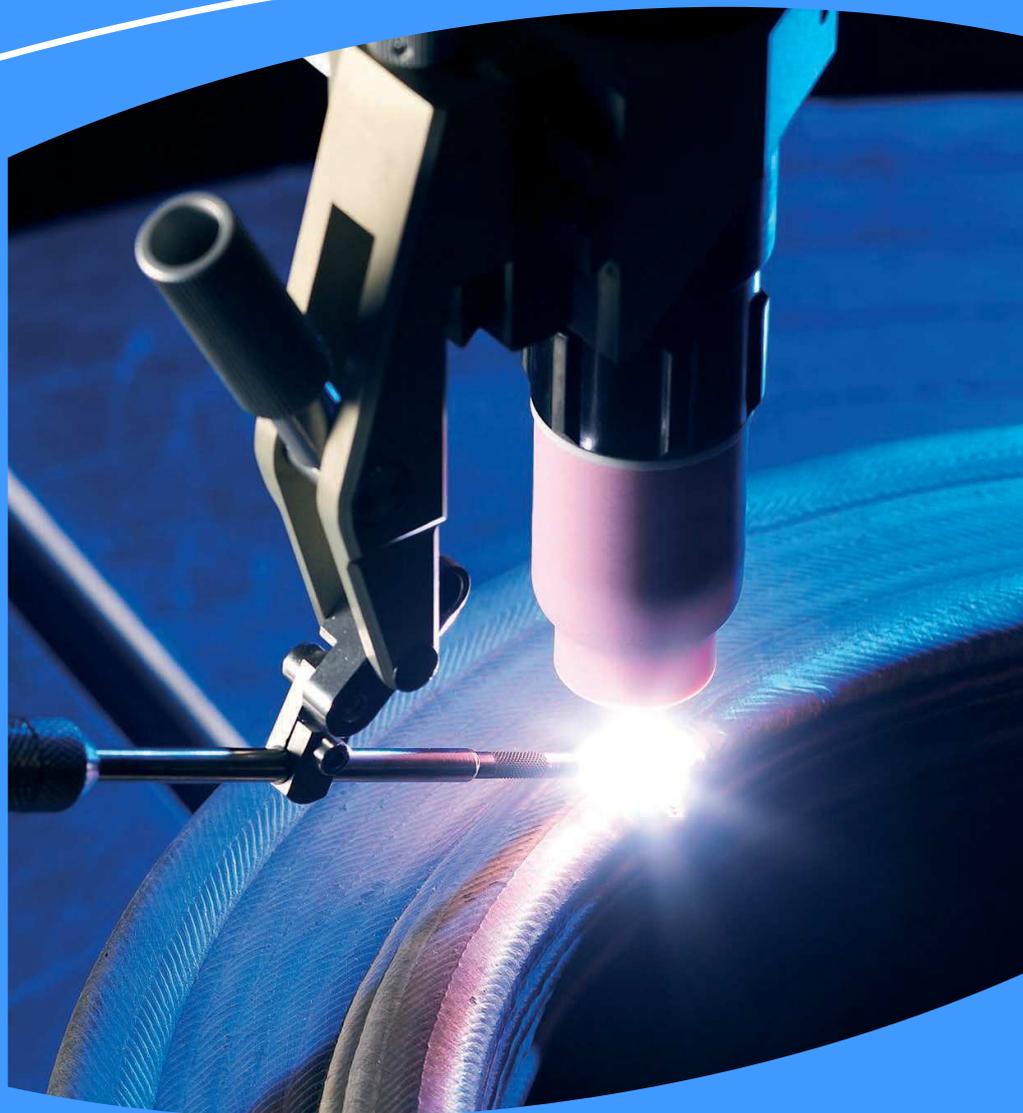
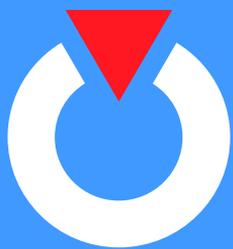
Tel.: +33 (0) 2 40 68 11 00 • Fax: +33 (0) 2 40 68 11 88

www.polysoude.com

A Member of



**POLYSOUDE**  
THE ART OF WELDING



# 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