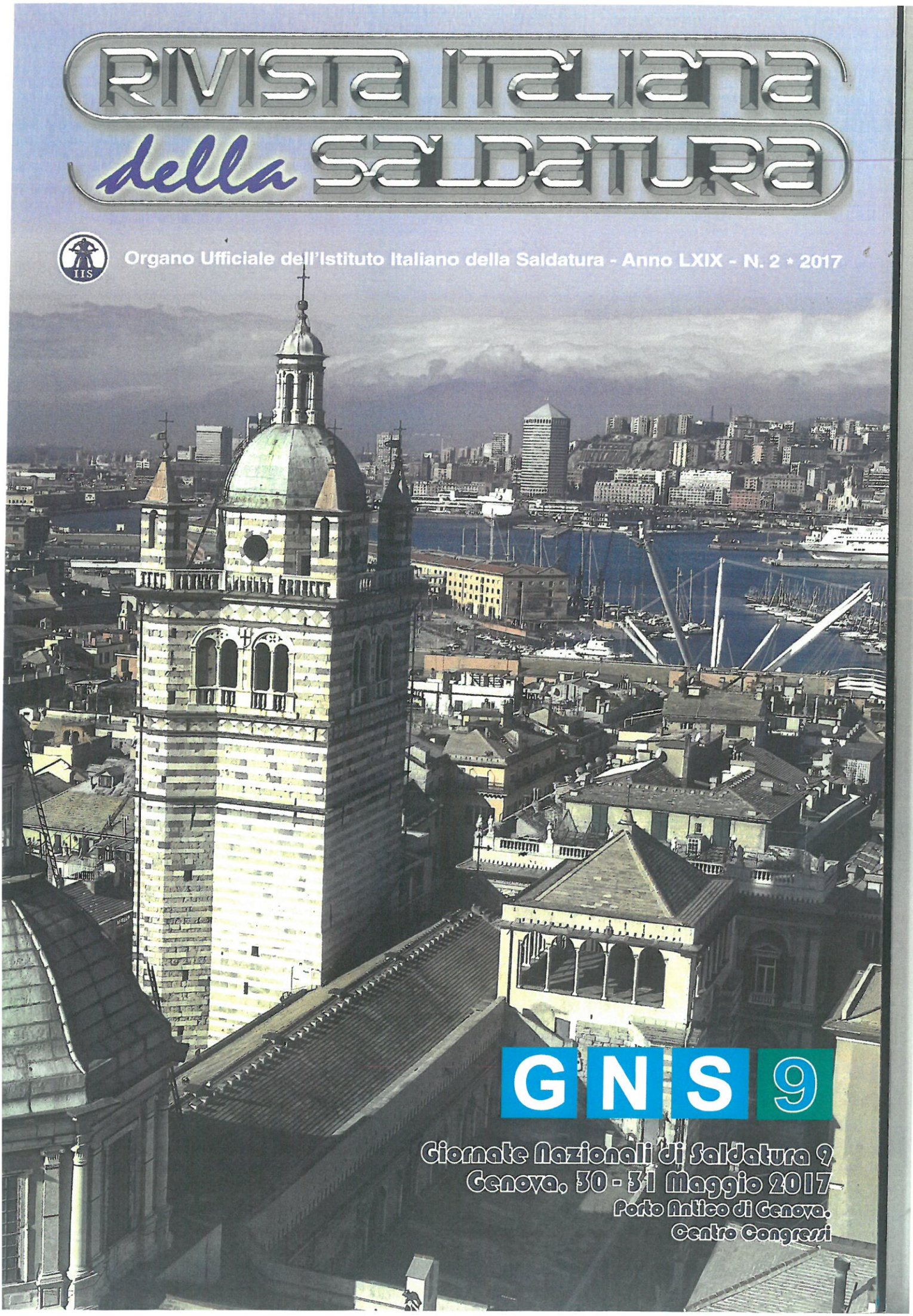
RIVISTA ITALIANA della SALDATURA

Organo Ufficiale dell'Istituto Italiano della Saldatura - Anno LXIX - N. 2 * 2017



GNS 9

Giornate Nazionali di Saldatura 9
Genova, 30 - 31 Maggio 2017
Porto Antico di Genova,
Centro Congressi

Effetti del pulsato ad alta velocità sulle saldature d'angolo di spessori sottili

Autore

- **Antonio Mazzarelli,** *Lincoln Electric, Genova, Italia.*
- **Carmela Andrea Barone,** *Lincoln Electric, Genova, Italia.*
- **Luciano Vignali,** *Costruzioni Aretine, Arezzo, Italia.*
- **Mario Canocchi,** *Costruzioni Aretine, Arezzo, Italia.*

Sommario ▪ *Abstract*

Nella saldatura di spessori sottili, il contenimento delle distorsioni risulta essere un elemento particolarmente critico, soprattutto nei casi di manufatti con lunghezze elevate.
L'impiego di processi di saldatura pulsata con curve specifiche per il mantenimento della stabilità d'arco ad elevata velocità, permette un drastico contenimento dell'apporto termico senza inficiare penetrazione e consistenza della saldatura.
L'esperienza, condotta presso la Costruzioni Aretine nella saldatura d'angolo di spessori tra i 2,5 ed i 4,6 mm su lunghezze superori ai 5 m di saldatura continua ha mostrato una ripetibilità nel contenimento delle distorsioni inferiore a 1 mm/m di saldatura, penetrazione costante, alta produttività (travel speed 90 cm/min), assenza di spruzzi e di difetti di profilo.
I dati tabellati mostreranno come il pulsato ad alta velocità (Rapid X™) permetta di mantenere l'apporto termico (elemento discrimine in questa analisi) decisamente al di sotto dei processi tradizionali coniugando le esigenze di produttività con i requisiti qualitativi ed operativi.

In the welding of thin thicknesses, the reduction of distortions is a particularly critical issue, especially for component with important lenghts. The use of pulsed-arc welding processes with specific curves for maintaining the arc stability at high speed allows a drastic heat input reduction without compromising penetration and weld quality.
The experience conducted at the Costruzioni Aretine in fillet joints welding of thicknesses between 2.5 and 4.6 mm, with weld lengths over 5 m, showed a repeatability in the weld distortion reduction of less than 1 mm/m, constant penetration, high productivity (travel speed 90 cm/min), absence of spatter and shape imperfections.
The data reported show how the high-speed pulsed (Rapid X™) allows to maintain heat input values (distinctive element in this analysis) lower than traditional processes, conjugating the productivity needs with the qualitative and operational requirements.

IIW Thesaurus Keywords

Pulsed welding; pulsations; thickness; speed; energy input; distortion; GMA Welding; MIG Welding.

1. Le principali differenze tra pulsato ad alta velocità Rapid X™ e pulsato tradizionale

1.1 Descrizione della forma d'onda

È ben noto che il tasso di deposito dalla saldatura GMAW tradizionale (modalità CV) può essere aumentato incrementando la velocità di avanzamento del filo (WFS). Tuttavia, l'aumento della WFS, nei procedimenti tradizionali, è accompagnato da apporti termici superiori, con impatto negativo sulle caratteristiche meccaniche (in misura che dipende dal materiale base) e soprattutto sulle distorsioni. Inoltre la stessa dinamica di trasferimento delle goccioline di metallo e le conseguenti modalità che ne derivano (Short arc-trasferimento per immersione, Spray arc-trasferimento a spruzzo) costituiscono una limitazione per i parametri, andando a definire campi di funzionamento per le diverse modalità.

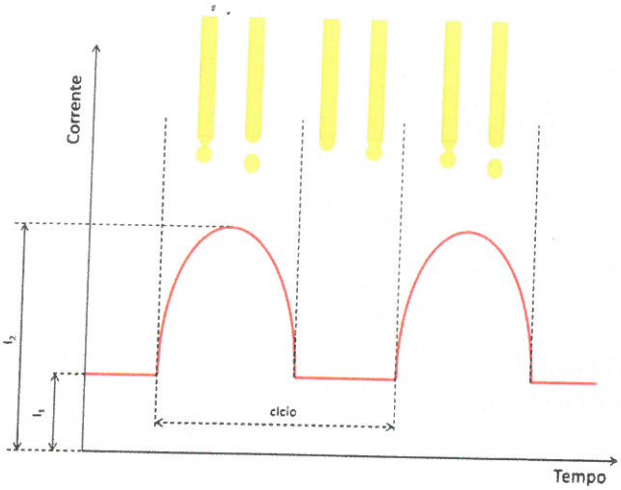


Figura 1 - Andamento tipico di un pulsato tradizionale.

Le forme d'onda pulsata (GMAW-P) sono state sviluppate per superare i limiti tipici delle modalità di trasferimento convenzionali. A differenza della modalità spray tradizionale (CV) in cui i valori di corrente rimangono costantemente alti, il MIG pulsato prevede una modulazione della corrente tra un valore di picco (I_2) ed un valore di base (I_1). L'apporto termico (influenzato dalla media delle correnti in gioco) risulta inferiore rispetto al procedimento spray.

Grazie al controllo dinamico della corrente la modalità di saldatura pulsata è:

- particolarmente adatta alla saldatura in posizione di materiali ad elevata conduttività termica (Al, Cu e loro leghe) di piccolo spessore per i quali non si rivelano adatte né la modalità short arc (il bagno troppo freddo potrebbe causare incollature) né la modalità spray arc (grossi bagni di fusione e difficoltà di controllo);
- adatta anche ad acciai non legati e legati per evitare il rischio di incollature quando lo spessore sia troppo elevato rispetto al basso apporto termico del procedimento.

Il procedimento Rapid X™ sviluppato da Lincoln Electric rappresenta una vera rivoluzione nel campo dei procedimenti pulsati introducendo ulteriori elementi di controllo della pulsazione.

Il procedimento pulsato sinergico sviluppato da Lincoln Electric Rapid-X™ è in grado di mantenere lunghezze d'arco inferiori rispetto ai procedimenti pulsati tradizionali e di controllare costantemente la corrente di corto circuito permettendo di raggiungere velocità di saldatura elevate con assenza di spruzzi; la combinazione di questi fattori si concretizza in un aumento della produttività, associata ad una eccellente estetica del cordone.

Inoltre la ridotta lunghezza d'arco contribuisce ad una ulteriore riduzione dell'apporto termico.

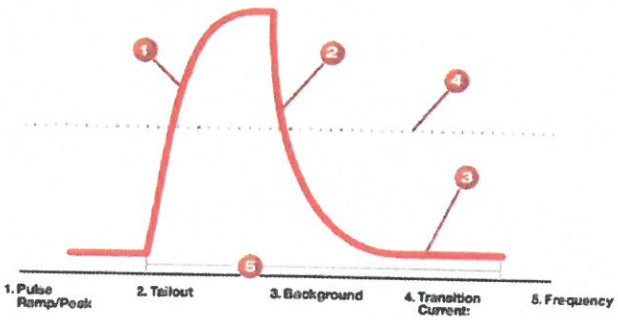


Figura 2 - Pulsato tradizionale.

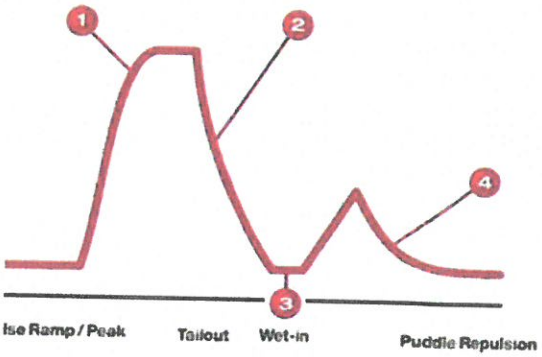


Figura 3 - Pulsato sinergico Rapid X™.

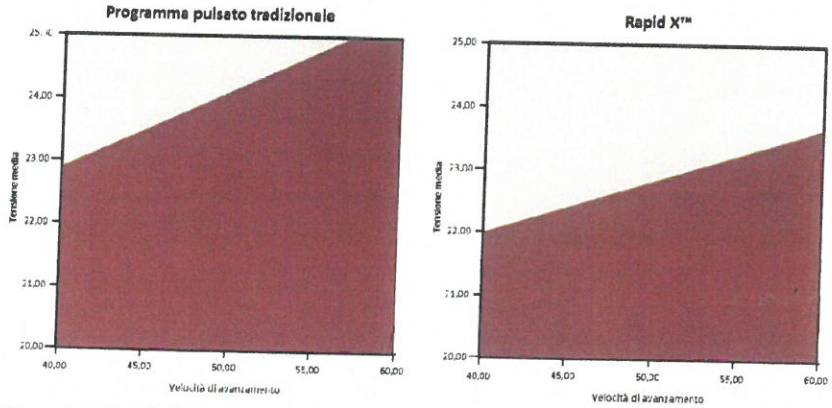


Figura 4 - Velocità di avanzamento in funzione della tensione: pulsato tradizionale, a sinistra e Rapid X™, a destra.

2. Equipaggiamento necessario

- Generatori PW S350 o PW S500.
- Trainafilo Arclink™.
- Modulo STT.
- Gruppo di raffreddamento (optional).

Il modulo STT include l'hardware necessario al controllo della corrente durante la fase di corto circuito tra filo e bagno di saldatura.
Mediante un monitoraggio continuo della tensione d'arco, l'hardware presente nel modulo STT, in combinazione con il software del generatore Power Wave, determina la riduzione controllata della corrente di corto circuito limitando al minimo gli spruzzi.

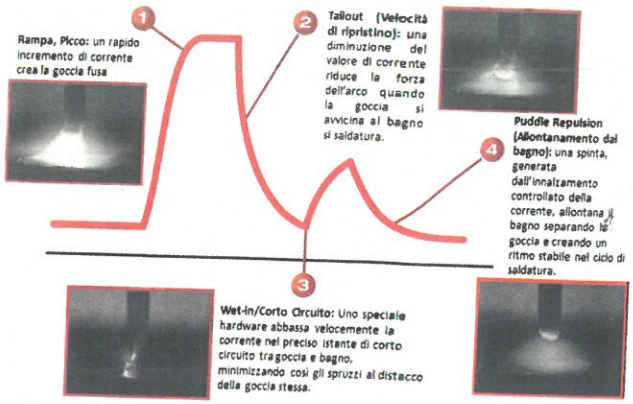


Figura 5 - Forma d'onda tipica dello speciale pulsato sinergico Rapid X™.

3. Misurazione apporto termico

Anche la misurazione e la definizione dell'apporto termico hanno subito una evoluzione negli ultimi anni in parallelo con lo sviluppo di nuove tecnologie e nuove forme d'onda per cui la formula classica:

$$\text{Apporto termico H.I.} \left[\frac{kJ}{mm}\right] = \frac{I\,[Amp] \times V\,[Volt] \times 60}{\text{velocità saldatura}\left[\frac{mm}{min}\right]}$$

non risulta più rappresentativa, poiché non tiene conto dei valori efficaci di corrente e tensione.
Per procedimenti basati su forma d'onda, sia l'ASME [QW-409] sia l'ISO (ISO/TR 18491:2013(E)) prevedono metodi basati sulla misurazione instantanea dell'energia e della lunghezza saldata:

$$\text{Apporto termico H.I.} \left[\frac{kJ}{mm}\right] = \frac{\text{Energia istantanea [kJ]}}{\text{Lunghezza saldatura [mm]}}$$

Nella saldatura di spessori sottili il contenimento dell'apporto termico rappresenta un elemento critico per il contenimento delle deformazioni, sono pertanto indispensabili, non solo procedimenti che contengano al massimo l'apporto termico, ma anche strumenti che consentano una immediata valutazione reale dell'apporto termico e che rendano disponibili, anche nelle fasi preliminari di prova, elementi di giudizio oggettivo nella selezione del procedimento.
I generatori Lincoln di ultima generazione dispongono di funzioni di misurazione dell'energia instantanea (True Energy® Lincoln Electric) che rendono immediatamente disponibile questo dato sul display al termine della saldatura.

4. Descrizione impianto automatizzato

Costruzioni Aretine, con sede a Pergine Valdarno (Arezzo), è una società per la lavorazione della lamiera con 60 dipendenti e un fatturato annuo di oltre 10 milioni di euro; essa rappresenta una delle più grandi realtà del settore con due stabilimenti che coprono una superficie di 10.000 mq, tra cui 4.500 mq al chiuso.
L'attività principale è rappresentata dalla produzione di parti e gruppi meccanici prevalentemente nell'ambito delle macchine movimento terra e dei rimorchi.

Figura 6 - Impianto a portale impiegato nelle prove.

Per mantenere una produzione di qualità e rimanere competitiva sul mercato la società ha fatto ampio ricorso ad investimenti in impianti automatizzati, elemento che le ha permesso di eccellere tra i concorrenti grazie proprio alla capacità di ottimizzare l'uso dei robot e costruire apparecchiature multifunzione specifiche progettate ad hoc per ridurre al minimo il tempo ciclo della lavorazione. Al fine di combinare l'uso intensivo di automazione e flessibilità, con la continua ricerca della qualità e crescita professionale, l'azienda ha introdotto negli ultimi 2 anni strumenti operativi appartenenti alla filosofia Lean Thinking (5S, Supermercato, Jit, Kaizen). Questo approccio interdisciplinare come anello fondamentale dell'evoluzione alla ricerca della risposta più concreta alla sfida della competitività permettendo di raggiungere l'eccellenza nella produzione ed agendo contemporaneamente su tre livelli (processo, sistema di produzione e mentalità delle persone).
In questo quadro generale si inserisce il progetto sviluppato con Lincoln Electric e con uno dei propri principali clienti nello sviluppo e realizzazione di un'apparecchiatura specifica per la saldatura di travi tubolari cassonate prodotte a partire da lamiere singole.

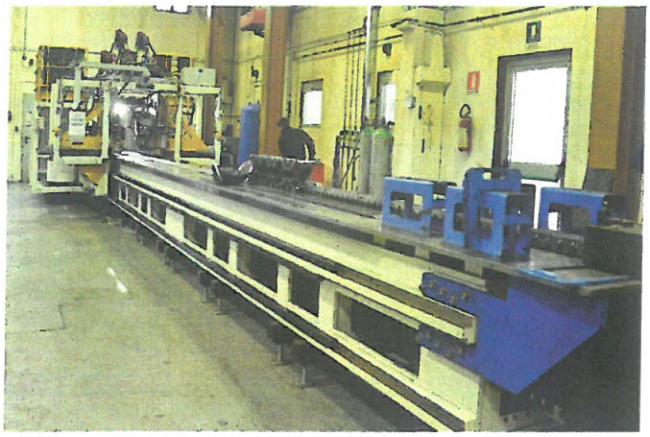


Figura 7 - Impianto a portale impiegato.

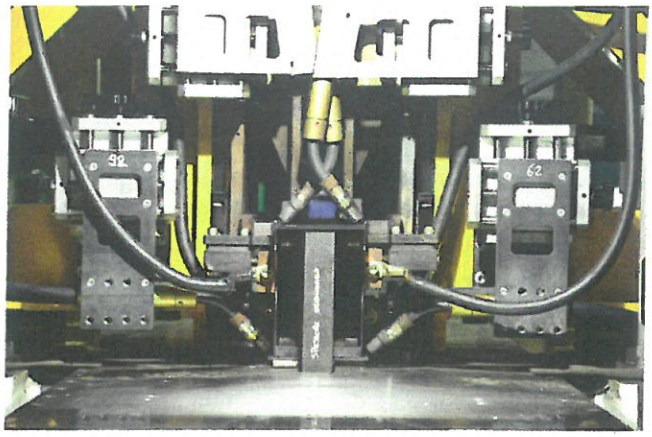


Figura 9 - Le 4 teste MIG che saldano in contemporanea. Pezzo bloctato e teste in posizione.

Il progetto, implementato su un' idea inizialmente sviluppata in alcuni stabilimenti americani, prevedeva la costruzione di un impianto che permettesse di saldare 4 lamiere di spessore variabile tra i 2,6 e i 6,3 mm fino a 6 m di lunghezza in maniera da ottenere dei tubolari con tolleranze sulle deformazioni inferiori ai 3 mm/m.
L'impianto, interamente realizzato dalla Costruzioni Aretine, è costituito da un portale che tiene fermo il pezzo da saldare muovendo invece le teste saldanti.
La saldatura MIG è realizzata con 4 teste in contemporanea al fine di minimizzare sia le distorsioni longitudinali che quelle trasversali sulla sezione e la conseguente torsione del pezzo.

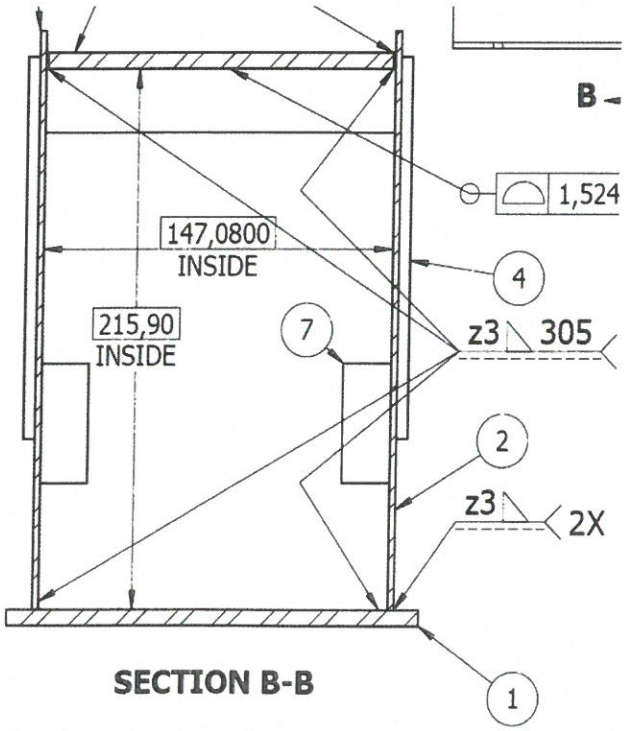


Figura 8 - Parete 1 spessore 6,3 parete 2 spessore 2,66.

L'impianto è costituito da un sistema di pistoni elettrici e idraulici che bloccano il pezzo intorno ad una dima interna che viene sfilata automaticamente da un sistema a catena che si muove in concomitanza con le teste saldanti.
In questo modo il sistema di pistoni permette che il pezzo sia sempre nella giusta posizione relativa permettendo di evitare seguigiunto di alcuna natura. Il sistema non richiede alcuna prepuntatura.
Ed è proprio in questo aspetto che risiede uno degli elementi di forza del progetto: un sistema rigido che riduca al minimo le variabili da gestire. Eliminando seguigiunti e prepuntatura e saldando con quattro torce in contemporanea si garantisce la massima simmetria nella distribuzione delle tensioni.
La rigidezza del sistema (oltre che le restrizioni sulle distorsioni del prodotto) richiedono un procedimento di saldatura che minimizzi l'apporto termico.
Il Rapid X™ si è dimostrato la giusta soluzione garantendo grande stabilità ad elevata velocità di avanzamento, basso apporto termico e stabilità d'arco che garantisse regolarità e costanza nella penetrazione.Inoltre la tecnologia Power Wave e la possibilità di comunicazione tramite Check Point™ hanno permesso un facile interfacciamento e monitoraggio del procedimento di saldatura.

Figura 10 - Assemblaggio.

Figura 11 - Bloccaggio pezzi.

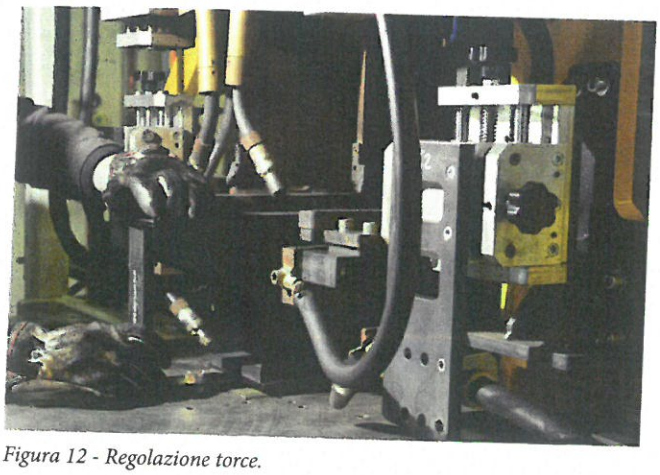


Figura 12 - Regolazione torce.

5. Descrizione del processo e risultati

Il processo di saldatura si articola in varie fasi:

- assemblaggio pezzi. In questa fase viene posizionata la lamiera di base in battuta con riferimenti fissi; viene dato lo zero all'impianto che porta l'anima mobile in posizione di inizio saldatura; vengono posizionate manualmente le anime folli; vengono posizionate le lamiere laterali e superiori e tenute insieme con forchette.
- Bloccaggio. A seguito del comando di bloccaggio un sistema di pistoni idraulici ed elettrici pressa le lamiere solo in corrispondenza dell'anima mobile mentre la base viene pressata su tutta la lunghezza contro i riferimenti fissi.
- Regolazione torce. Un ulteriore comando sempre a mezzo di pistoni porta le torce in posizione di saldatura. Una slitta a crociera permette minimi aggiustaggi legati principalmente ad eventuali operazioni di manutenzione che possono essere stati condotti sulle torce stesse.
- Impostazione parametri (check point): tramite un touch screen vengono impostati i parametri impianto (e quindi anche la travel speed), mentre tramite il sistema Check Point™ vengono impostati i parametri di saldatura (WFS e trim). L'utilizzo del Check Point™ permette non solo di gestire agevolmente i 4 generatori, ma soprattutto di monitorarne le performance durante la

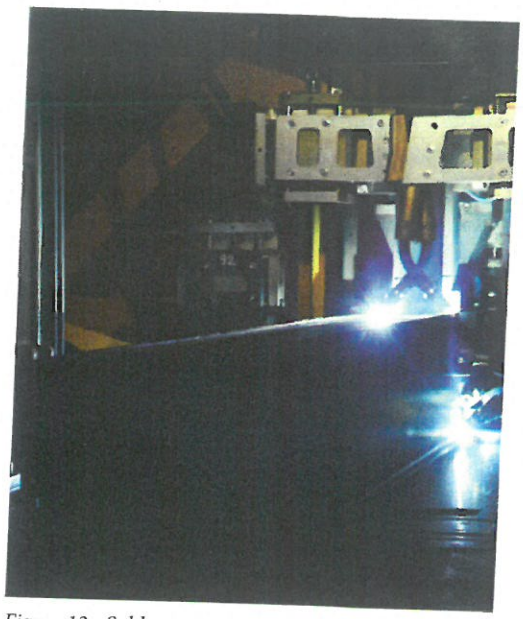


Figura 13 - Saldatura con 4 torce in contemporanea.

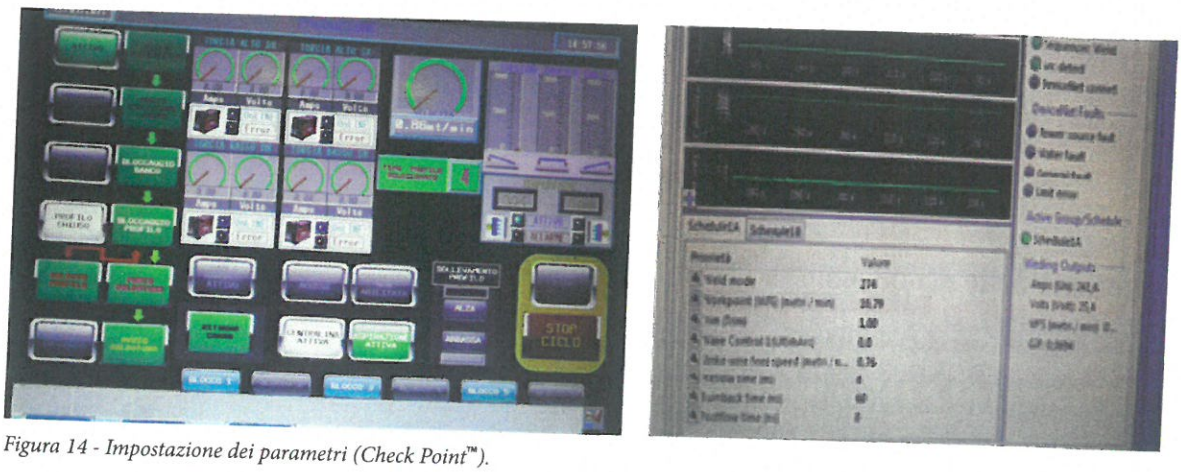


Figura 14 - Impostazione dei parametri (Check Point™).

Tabella 1 - Parametri del giunto.

Materiale base	Materiale apporto	Diametro	Spessori		Giunto	Lunghezza saldatura	Lunghezza pezzo
S 550 MC	LNM MONiVa (ER 120)	1,2	t_1 = 2,66	t_2 = 6,3	Z3	5090 mm	5711 mm
Procedimento	**WFS**	**Trim**	**Corrente media**			**Tensione media**	**Travel speed**
Rapid X™	10,14	1	241,6 A			25,4 V	86 cm/min

Figura 15 - Parametri CV.

Figura 16 - Pulsato tradizionale.

Figura 17 - Rapid X™.

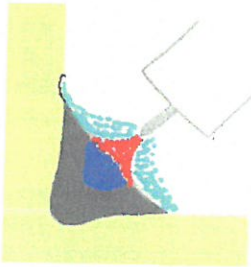


Figura 18 - Penetrazione in CV.

saldatura attraverso grafici dell'amperaggio, della tensione e della performance della macchina. Permette inoltre una valutazione precisia dell'apporto termico realmente apportato al pezzo attraverso la funzione True Energy.

6. Saldatura

Il Rapid X™ è stato individuato e selezionato nelle fasi preliminari di valutazione delle alternative disponibili, sulla base di test effettuati fuori dal sistema di bloccaggio, per evitare il grippaggio dei pezzi nel portale.
Tra i programmi pulsati disponibili il Rapid X™, è risultato la migliore soluzione grazie all'ulteriore contributo alla riduzione dell'apporto termico derivante dalla diminuzione della tensione e l'estremo controllo dell'arco ad elevata velocità.
Confrontando i parametri in Rapid X™, a parità di WFS (10,74 m/min) amperaggi e tensioni risultano inferiori (Figure 15-17). L'apporto termico è risultato inferiore di oltre 40%. L'estrema focalizzazione dell'arco consente inoltre di gestire il procedimento ad elevate velocità di avanzamento, con un ridotto tasso di spruzzi ed eliminazione di rischi di incisioni marginali.
Riportiamo nella Tabella 1 i parametri impiegati in saldatura: La focalizzazione dell'arco e l'estrema stabilità ha consentito di portare la velocità di avanzamento a valori non possibili con altri programmi.

7. Misurazione delle distorsioni

L'obiettivo del progetto era la saldatura di scatolati lunghi 6 metri con distorsioni inferiori a 3 mm/m sulla sezione longitudinale (bow) e con distorsioni sulla sezione trasversale (camber) inferiori a 0,5°. In particolare sulla sezione longitudinale il procedimento garantisce in maniera ripetitiva

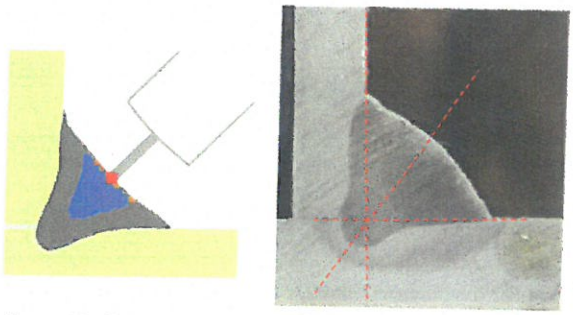


Figura 19 - Penetrazione Rapid X™.

una deformazione ampiamente al di sotto di 1 mm/m (Figura 20: si misurano 2,67 mm sulla lunghezza di 5,711 mm = 0,47 mm/m). La distorsione trasversale è di 0,4°.
La ripetitività di queste prestazioni, la costanza della penetrazione, l'estetica del cordone e la completa assenza di

Figura 20 - Misurazione delle distorsioni.

Figura 21 - Misurazione delle distorsioni.

Figura 23 - Fase finale di allestimento.

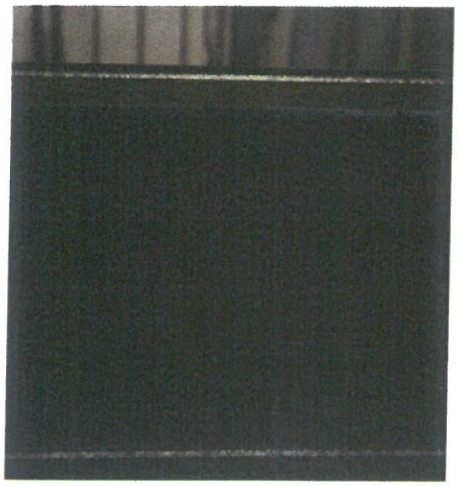


Figura 22 - Aspetto superficiale del cordone.

spruzzi (Figura 22) permettono di spostare direttamente questi tubolari alla fase finale di allestimento (Figura 23) senza passaggi intermedi di raddrizzamento, pulizia o ripresa delle saldature.

8. Conclusioni

Nel caso studio portato avanti in collaborazione tra Costruzioni Aretine e Lincoln Electric Italia sono stati preliminarmente comparati diversi programmi pulsati selezionando il Rapid X™. L'impiego di ridotte tensioni l'estrema stabilità dell'arco ad elevate velocità tipici di questo speciale pulsato sinergico hanno consentito riduzioni dell'apporto termico pari a circa il 40%, garantendo il rispetto dei vincoli sulle distorsioni ed una saldatura consistentemente penetrata e priva di spruzzi.