

## **Saldatura automatica con inseguimento laser del giunto per componenti dell'acceleratore LHC di Ginevra**

G.Spigo (CERN-Ginevra), F.Savary (CERN-Ginevra), P.Pesenti (Ansaldo Superconduttori), M.Dani (CTE Sistemi), G.Forensi (Lincoln Electric Italia)

### **1. Premessa**

Il Large Hadron Collider (LHC) è l'acceleratore di prossima costruzione presso il Laboratorio Europeo per la Fisica delle Particelle (CERN) di Ginevra. Esso sarà installato in un tunnel sotterraneo di 27 Km di circonferenza, alla profondità media di 100 m e consentirà di far collidere fasci di protoni con energia di 7 TeV.

La macchina sarà costituita tra l'altro da 1232 magneti superconduttori a cui sarà delegato il compito di mantenere in traiettoria i fasci di particelle.

Il CERN, attraverso un lungo periodo di ricerca e sviluppo e di prototipazione, ha qualificato tre ditte europee, tra cui ANSALDO Superconduttori, per la realizzazione dei magneti e si appresta ad assegnare gli ordini di costruzione.

Per l'effettuazione della saldatura del cilindro esterno di contenimento il CERN ha inoltre affidato al consorzio CTE Sistemi - Carpenteria S. Antonio la progettazione e costruzione di tre impianti come quello qui di seguito descritto da installarsi presso le ditte qualificate per la costruzione dei magneti.

Tale impianto consente di pressare i magneti assemblati con un carico fino a 1200 t/m e di effettuare contemporaneamente la saldatura automatica longitudinale del cilindro.

Un sistema di riconoscimento laser del cianfrino rileva la geometria del giunto, definisce i parametri di saldatura appropriati e si interfaccia con due saldatrici LINCOLN sinergiche.

La saldatura prevede l'effettuazione della prima passata con procedimento GMAW/STT senza supporto al rovescio e GMAW pulsato per le successive tre passate di riempimento.

Tale combinazione si è infatti rivelata il miglior compromesso tra buona qualità del giunto e tempi di realizzazione accettabili.

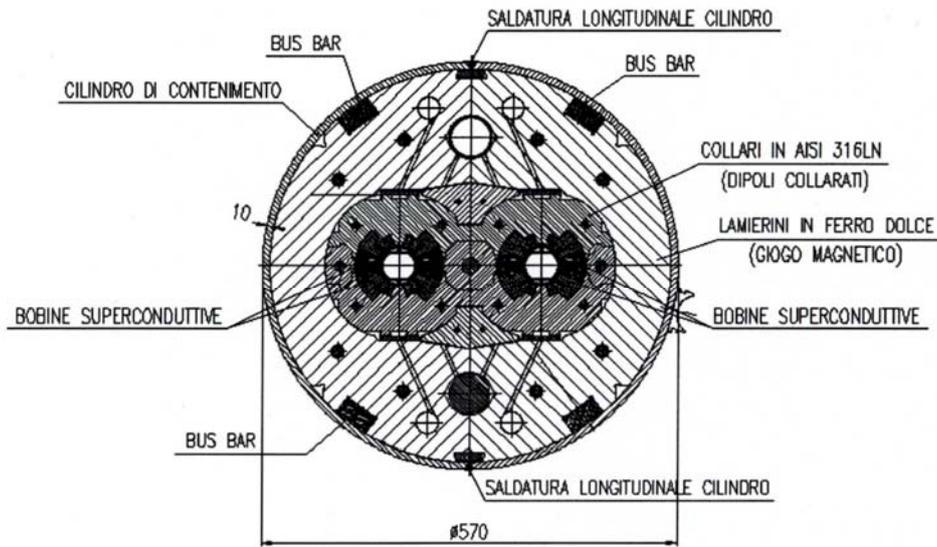


Fig. 1: sezione magnete LHC

## 2. Il magnete LHC

La figura 1 mostra una sezione tipica dei magneti LHC. Ogni magnete ha una lunghezza totale di 16.8 m, un diametro esterno di 570 mm e pesa circa 30 t. Esso è provvisto nella zona centrale di due aperture (cold bores) all'interno delle quali circoleranno i fasci di protoni. Ciascuna di esse è circondata da 4 avvolgimenti superconduttivi in NiTi ed il tutto è alloggiato in una struttura laminare in AISI 316 LN.

Esternamente ad essa si trova un giogo magnetico costituito da lamierini in ferro dolce ed un cilindro di contenimento in acciaio austenitico qualità AISI 316 LN.

I magneti così costituiti avranno una energia immagazzinata di 7.1MJ ad un campo di lavoro di 8.5 T ed opereranno in elio superfluido alla temperatura di 1.9 °K.

Allo scopo di fornire la massima apertura meccanica al fascio di particelle circolanti all'interno dei cold bores, ogni magnete è curvato sul suo piano orizzontale con un angolo apicale di 5.1 mrad, corrispondente ad un raggio di curvatura di circa 2812 m e ad una freccia di 9.14 mm al centro di esso. Il magnete deve inoltre avere un twist medio inferiore a  $\pm 1$  mrad rispetto al piano geometrico teorico contenente l'asse dei due cold bores.

## 3. La saldatura del cilindro di contenimento

Il cilindro di contenimento ha diverse funzioni tra cui le principali sono:

- Contribuire al contenimento delle forze elettromagnetiche derivanti dalla energizzazione delle bobine superconduttive
- Fornire, grazie al ritiro di saldatura, il prestress progettualmente richiesto sulle bobine collarate (sia a T ambiente che a 1.9 °K) attraverso i lamierini in ferro dolce costituenti il giogo magnetico.
- Fornire l'inerzia necessaria al magnete per mantenere, quando installato, la sua rettilineità sul piano verticale e la sua curvatura su quello orizzontale
- Costituire la parte principale del vessel per il confinamento dell'elio superfluido
- Essere in grado di resistere a pressioni superiori ai 20 bar, situazione che si verifica durante i fenomeni di quench delle bobine superconduttive (transizione del cavo da superconduttore a resistivo che porta allo sviluppo di calore ed al conseguente passaggio dell'elio da liquido a gassoso, con improvviso aumento della pressione)

Il cilindro di contenimento, che circonda il giogo magnetico, è realizzato saldando in contemporanea longitudinalmente 2 semicilindri in AISI 316 LN, di spessore 10 mm e lunghezza 15.4 m. La scelta di effettuare l'operazione in contemporanea sui due lati è legata tra l'altro alla necessità di contenere il twist del magnete dopo saldatura nei limiti sopracitati.

La preparazione scelta per i lembi e' a V, con apertura 60°, senza spalla. La luce a fondo cianfrino ha un valore nominale di 3.5 mm. Le tolleranze ammesse sul cianfrino, al termine della fase di assemblaggio e pressatura dei semicilindri sono:

- 2.5 mm < gap < 4.5 mm
- 0 < disallineamento < 0.5mm
- 0 < spalla < 0.5 mm

L'impianto di saldatura, fornito dal CERN alle ditte qualificate per la costruzione dei magneti, è costituito dai seguenti componenti principali:

- Una pressa idraulica, provvista di 2 banchi di carico, per una lunghezza complessiva di impianto di 52 m
- N° 2 sistemi laser SERVO-ROBOT per il riconoscimento ed inseguimento del giunto
- N° 2 saldatrici LINCOLN PW455 STT Robotic
- Un sistema di controllo SIEMENS-ORSI AUTOMAZIONE per la gestione delle logiche di funzionamento dell' impianto

#### **4. Descrizione dell'impianto**

Il magnete, assemblato sul banco di carico provvisto di apposite selle e ruotato di 90° rispetto alla sezione in figura 1, viene inserito all'interno della pressa idraulica.

Essa, costituita da 3 travi longitudinali supportate da una serie di elementi strutturali che formano una rigida gabbia, impartisce al magnete la geometria prevista ed è in grado di lavorare in un range compreso tra i 500 kN/m e 12MN/m ed ad una pressione massima di 650 bar. All'interno della pressa due guide longitudinali supportano i sistemi di inseguimento laser e le torce di saldatura.

Il sistema di controllo SIEMENS-ORSI AUTOMAZIONE gestisce tutte le logiche di funzionamento dell' impianto di pressatura ed i movimenti di traslazione longitudinale, a velocità costante e regolabile, dei sistemi di inseguimento laser e delle torce di saldatura.

##### **4.1 Riconoscimento laser del giunto**

L' automatizzazione del processo di saldatura è realizzata attraverso il sistema SERVO-ROBOT di riconoscimento laser del giunto.

Lo schema a blocchi in figura 2 illustra la logica di funzionamento del sistema.

###### **4.1.1 La camera laser**

Il metodo di riconoscimento del giunto di saldatura si basa principalmente sulla triangolazione topografica. Un fascio laser uscente da una "camera" è inviato sul pezzo da saldare e una parte della sua energia è riflessa e colpisce un sensore fotosensibile. Durante lo "scanning" del fascio laser, il sistema misura, tramite il sensore, la riflessione del profilo da saldare ed elabora la forma del giunto per mezzo di un "software" dedicato.

Le misure risultano più o meno accurate in funzione principalmente dalla qualità di riflessione del pezzo e dal suo spessore.

Per una buona riproduzione del giunto i problemi di riflessione possono essere superati o migliorati notevolmente correggendo adeguatamente l'intensità del fascio laser. Inoltre, per migliorare la lettura, si limita la riverberazione ottica inclinando la "camera" di un certo angolo rispetto alla verticale. Per questa applicazione si è adottata inizialmente una inclinazione di 17 gradi, effettuata già in fase di assemblaggio della "camera".

Per quanto concerne il problema dello spessore, esso si può risolvere utilizzando due differenti tecniche di lettura del giunto. Infatti, per spessori inferiori ai 7 mm, viene solitamente usata una "camera" con fascio laser fisso e allargato mentre per spessori superiori ai 13 mm, il fascio laser è mobile e viene prodotto dalla riflessione di un fascio fisso su uno specchietto oscillante. Per valori di spessore compresi fra 8 e 12 mm, la scelta si basa sulle proprietà del pezzo e sulla qualità di riproduzione che si vuole ottenere, per cui la scelta dei due differenti metodi è fatta analizzando vantaggi e inconvenienti caso per caso.

Visto che il pezzo da saldare nel nostro caso ha uno spessore di 10 mm, la scelta è caduta su una "camera" fissa poiché questa, non avendo nessuna parte in movimento, garantisce una migliore affidabilità e inoltre una migliore visione laterale (risoluzione di circa 50 pm) rispetto a quella mobile. Quest'ultima proprietà è essenziale per definire nel modo più preciso possibile la distanza tra i lembi da saldare sia per quanto riguarda la radice sia per quanto riguarda la superficie esterna del giunto.

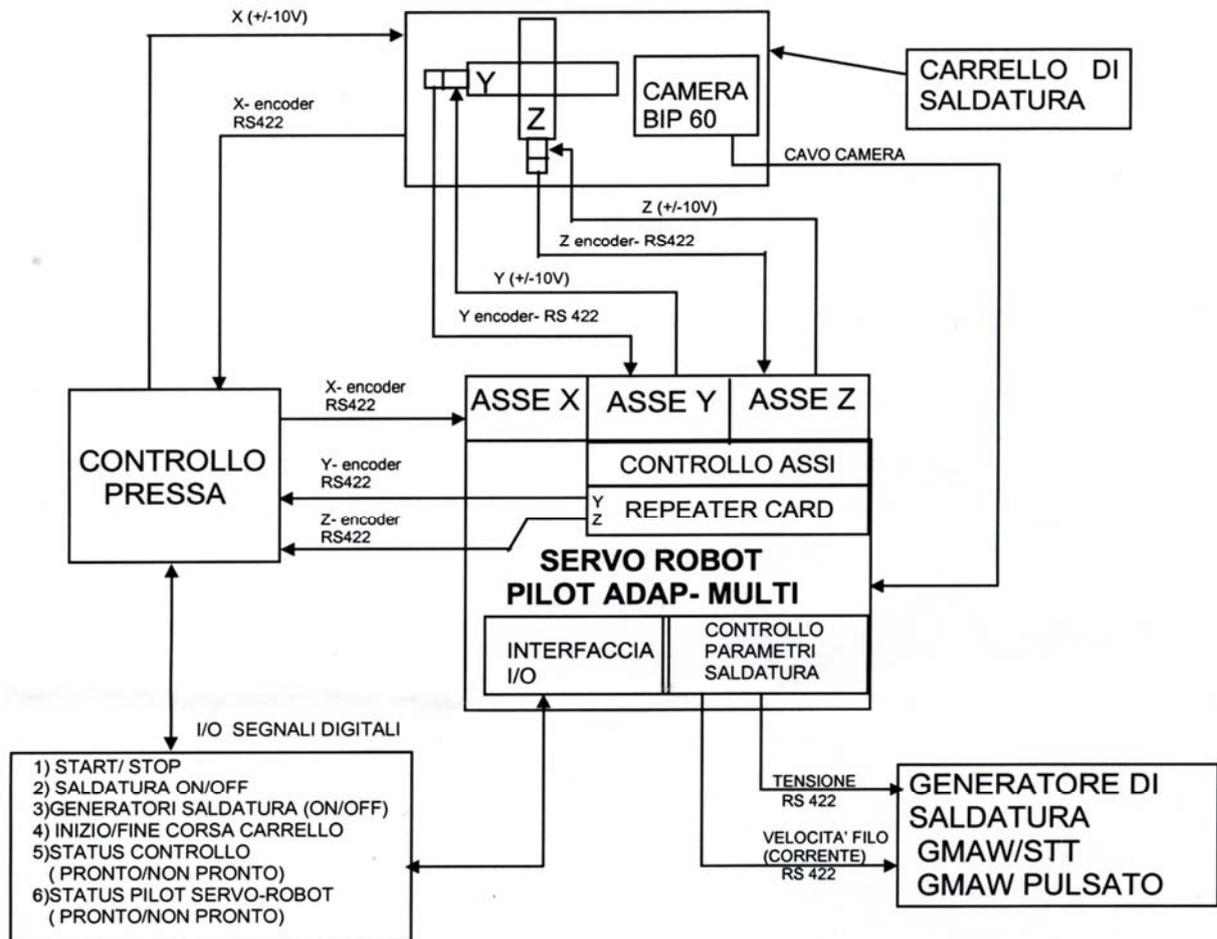


Fig. 2 - Schema a blocchi

Si è riscontrato peraltro che la differenza di riflessione tra i cianfrini lavorati e il resto del pezzo in acciaio austenitico (qualità AISI 316 LN) era tale da rendere la discretizzazione del giunto alquanto deficitaria. Per ovviare a questo, SERVO-ROBOT ha modificato il "software" in modo da leggere il giunto due volte, alternativamente ad alta e bassa intensità.

In realtà, poiché il carrello di saldatura avanza durante la lettura del giunto, la lettura non potrà mai essere realizzata nella stessa esatta posizione longitudinale, ma questo non preoccupa essendo la frequenza di 60 letture per secondo e la velocità massima del carrello di 500-600 mm/min. La lettura viene effettuata una prima volta a bassa energia per leggere le superfici del cianfrino mentre la seconda lettura ad alta energia legge il resto del pezzo. Combinando e analizzando col programma le due letture si riproduce il profilo correttamente. Inoltre, per diminuire ulteriormente i problemi di riflessione, per quest'applicazione, la "camera" è stata inclinata maggiormente cambiando il montaggio meccanico sulla piastra di fissaggio.

#### 4.1.2 Modellizzazione del giunto. Definizione automatica dei parametri di saldatura

Il fascio laser è discretizzato dal programma in più di 400 punti per ogni sezione trasversale del giunto. Nel nostro caso, quindi, la lettura del giunto risulta quindi precisa nell'intorno di 100 - 150 µm. Questo valore è considerato più che accettabile per una buona qualità della saldatura.

Il sistema SERVO-ROBOT è in grado di selezionare, tra i punti acquisiti, sei punti significativi (detti "break point") per la modellizzazione del giunto. Tali punti, opportunamente combinati tra loro, vengono utilizzati per definire tutte le variabili che si vogliono analizzare e tenere sotto controllo. Per esempio, i due "break point" alla radice sono in grado di definire la distanza tra i lembi, i due sui lati del cianfrino definiscono l'angolo di apertura del cianfrino mentre i due "break point" alla radice combinati con i due sulla superficie esterna del pezzo definiscono l'area (volume) da riempire. La variazione verticale e di profondità (orizzontale) della torcia di saldatura è riferita ad un punto detto "tracking point" che è una sorta di origine delle coordinate che SERVO-ROBOT usa per definire le variazioni di cui sopra. La scelta della posizione del tracking point da cui il sistema di coordinate interne si genera è definita dall'operatore.

I parametri di ogni passata di saldatura sono descritti sotto forma di tabelle e di equazioni in particolari archivi chiamati "spreadsheet". Nelle "spreadsheet" si programmano e si mettono in relazione i vari parametri geometrici del giunto con quelli elettrici della saldatura e di oscillazione della torcia. Le "spreadsheet" permettono quindi la correlazione tra gli ingressi e le uscite di SERVO-ROBOT di modo da fornire alla saldatrice, in tempo reale, i più corretti ed adeguati parametri di saldatura per il giunto da saldare in quella particolare posizione longitudinale. Nel nostro caso, i parametri geometrici ed elettrici sono correlati in funzione della distanza, letta ed elaborata da SERVO-ROBOT durante l'avanzamento del carrello, tra i due lembi del cilindro la quale è utilizzata come variabile indipendente delle varie equazioni introdotte nelle "spreadsheet".

Il sistema SERVO-ROBOT controlla tutti i motori che comandano i movimenti verticali, di oscillazione e di avvicinamento della torcia mentre dipende da un controllo esterno per quello che riguarda il movimento di traslazione longitudinale. Inoltre, comanda tutti gli aggiustamenti (settings) della "camera" e alimenta tutte le uscite dei vari apparati connessi con il sistema SERVO-ROBOT. Il sistema visualizza sullo schermo i parametri di lettura della sezione trasversale del giunto con un passo di 140 – 150 mm. Questo passo è considerato più che adeguato al nostro caso poiché variazioni apprezzabili di distanza tra i lembi in zone molto vicine (inferiori ai 150 mm) sono estremamente improbabili e porterebbero ad uno scarto del pezzo durante i controlli dimensionali ovvero già molto prima di essere assemblato.

Poiché durante la saldatura la traiettoria di lettura è sempre memorizzata, l'operatore può scegliere se utilizzarla per le successive passate oppure continuare la saldatura leggendo la forma del giunto attuale. Il sistema SERVO-ROBOT è risultato in grado di leggere distintamente la forma del giunto fino alla seconda passata. A partire dalla terza, se i contorni risultano non più adeguatamente netti per una corretta definizione geometrica del giunto, può essere utilizzata la traiettoria della seconda passata con gli opportuni aggiustamenti nelle "spreadsheet". Per la quarta ed ultima passata, in ogni caso si utilizza la traiettoria memorizzata della seconda o della terza passata.

Essendo l'impianto provvisto anche di 2 fresatrici per eventuali riparazioni, le traiettorie memorizzate sono inviate da SERVO-ROBOT al controllo della pressa per permettere il loro utilizzo, nel caso di difetti della saldatura, per posizionare il carrello della fresa nella zona esatta della riparazione.

#### 4.2 La scelta del procedimento di saldatura

La saldatura dei semicilindri ha caratteristiche specifiche che derivano dalla posizione del giunto (saldatura in frontale, 2G secondo ASME o PC secondo ISO 6947), dalle caratteristiche fisiche (resilienza superiore a 60 J a 4°K, permeabilità magnetica relativa =1.01 in un campo di 80000 A/m) e dalla necessità di automatizzare completamente la saldatura.

È inoltre necessario eseguire la saldatura con prima passata, senza supporto e senza ripresa al rovescio, garantendo la piena penetrazione, un livello di spruzzi basso e risultati ripetibili.

Per le passate di riempimento, la tecnologia dell'Arco Pulsato è consolidata da tempo anche su materiali quali l'AISI 316LN. Era necessario selezionare un procedimento per la prima passata che ci consentisse il raggiungimento degli elevati standard qualitativi.

La scelta industrialmente possibile era:

1. Saldatura con procedimento TIG
2. Saldatura con procedimento GMAW-STT

Il procedimento TIG presenta i limiti di richiedere una torcia diversa da quella per le passate successive e soprattutto ha una difficile gestione dei parametri per la saldatura in prima passata su giunto con apertura variabile.

Questi due motivi rendono non consigliabile il procedimento in una applicazione altamente automatizzata come nel caso in questione.

Il procedimento GMAW-STT ha invece caratteristiche che consentono di ottenere la qualità richiesta.

Vista la sua introduzione recente (1995) è opportuno fornire alcune informazioni sui principi di base e soprattutto sulle differenze con il procedimento GMAW "short arc", che è stato il riferimento per lo sviluppo di questo procedimento.

#### 4.2.1 Il procedimento GMAW-STT

Il procedimento GMAW viene illustrato dalla figura 3 che mostra l'andamento della tensione e della corrente di saldatura in funzione del tempo.

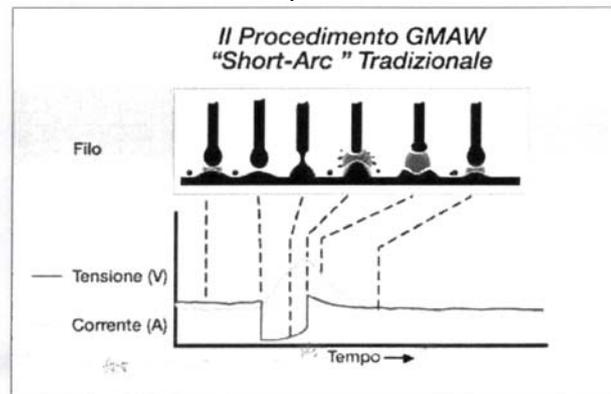


Fig. 3 – Procedimento GMAW - Parametri elettrici

Al periodo di arco libero, in cui non c'è trasferimento di materiale ma solo plasma, succede il contatto fra filo e pezzo. Tale contatto determina un corto circuito con conseguente calo di tensione e un aumento di corrente più o meno rapido in funzione della induttanza di uscita. Nell'istante del contatto la densità di corrente per unità di superficie è molto alta, e questo provoca surriscaldamento con probabile generazione di fumo e spruzzi. Stabilito il contatto la temperatura del filo aumenta rapidamente e l'elevata corrente determina un campo magnetico che dà l'effetto di strizione (pinch effect) che recide il filo. Anche in questo istante la densità di corrente è elevatissima e le temperature, fuori controllo, determinano fumo e spruzzi.

Segue una fase di arco elettrico lungo, con solo plasma e il processo continua con il filo che di nuovo si avvicina al pezzo.

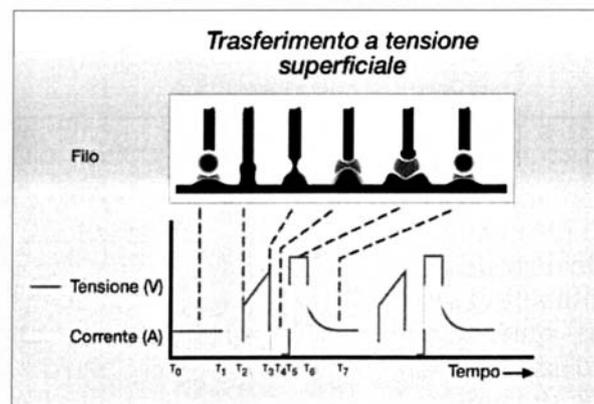


Fig. 4 – Procedimento GMAW-STT- Parametri elettrici

Il procedimento GMAW /STT viene illustrato dalla figura 4 che mostra l'andamento della tensione e corrente di saldatura in funzione del tempo.

Si inizia con la fase in cui c'è solo plasma, determinato dalla Corrente di Base selezionata, che può variare fra i 50 e i 100 Ampere.

Segue il contatto fra il filo e il bagno di saldatura : la tensione diminuisce immediatamente e la macchina, che legge questo calo, taglia la corrente di uscita a un valore molto basso (circa 10 A). La durata di questa fase è di circa 0,75 ms, e durante questo periodo le forze di tensione superficiale cominciano a trasferire la goccia al bagno di fusione.

Il contatto fra filo e bagno di fusione avviene con bassa densità di corrente e si evitano gli spruzzi. Successivamente viene applicato un valore elevato di corrente per determinare rapidamente l'effetto strizione e accelerare il trasferimento della goccia fusa. La macchina analizza continuamente la variazione di corrente nel tempo ed è in grado di determinare il momento in cui sta per avvenire la recisione del filo. A questo punto la corrente viene drasticamente ridotta a un valore basso, subito prima della separazione, la quale avviene pertanto a bassa corrente e non genera spruzzi o fumo, derivante dalla vaporizzazione del metallo.

Dopo che la separazione è avvenuta viene applicato un valore di corrente molto elevato (corrente di picco), che viene chiamato Plasma Boost, e che esercita anche una pressione dinamica sul bagno. Si può arrivare a 450 A per un tempo molto breve.

Questo momentaneo picco di corrente determina un allargamento dell'arco che fonde una superficie più vasta. Questo evita il rischio di incollature e garantisce una buona fusione. Il tempo di mantenimento di questa corrente elevata è molto breve così da evitare il surriscaldamento dell'estremità del filo e la conseguente vaporizzazione di metallo, con una emissione di fumi sostanzialmente limitata rispetto a un procedimento GMAW convenzionale. Dopo questa fase si ha un ritorno controllato verso il livello della corrente di base, che riduce la turbolenza del bagno e corto circuiti prematuri, con un miglior aspetto del cordone.

#### 4.2.2 La scelta delle saldatrici

Individuato il procedimento per la prima passata, il progetto CERN richiedeva di poter soddisfare a questi ulteriori requisiti:

Capacità di saldare in GMAW-pulsato per le passate di riempimento

Possibilità di modificare i programmi in modo facile

Monitoraggio dei parametri di saldatura

Interfaccia con il sistema Laser Adattativo

Una saldatrice completamente digitale come la LINCOLN PW455/STT, consente di rispondere positivamente a queste richieste. E' infatti possibile con questa macchina passare dal funzionamento GMAW-STT al funzionamento GMAW-pulsato con la sola selezione del programma adeguato senza ricollegare i cavi.

La modifica ed il monitoraggio dei parametri avvengono mediante collegamento seriale e facile interfaccia grafico.

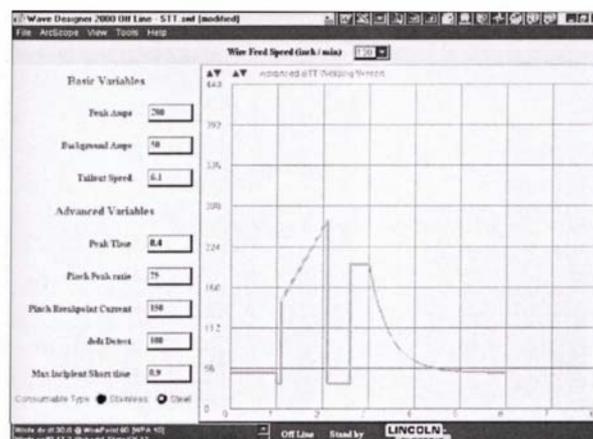
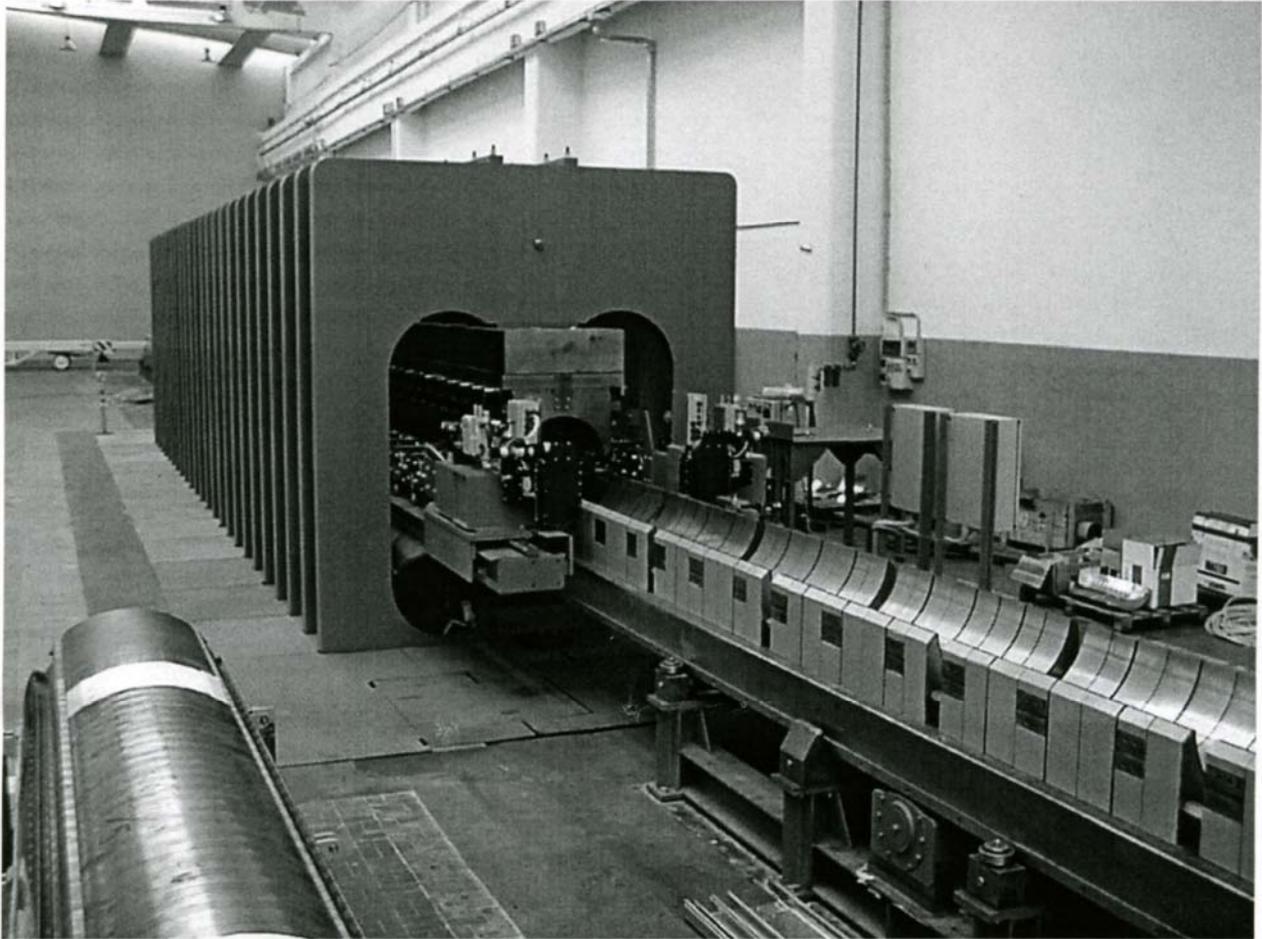


Fig.5 - Interfaccia grafico

In figura 5 viene riportato, come esempio, l'interfaccia grafico che ci consente di modificare i parametri in modo GMAW-STT.

Inoltre la saldatrice può comunicare con l'esterno, sempre con segnali digitali, con diversi sistemi (Interfaccia seriale RS232, Device Net, Arc Link). Questo consente l'applicazione automatica, utilizzando un sistema di inseguimento giunto di tipo Laser. Il sistema Laser elabora le informazioni, ottenute dalla geometria del giunto, per richiedere alla saldatrice i parametri ottimali



*Fig.6 - Impianto di saldatura in fase di assemblaggio presso Ansaldo Superconduttori*

## **5. Definizione dei parametri iniziali di saldatura**

La definizione dei parametri di saldatura da inserirsi all'interno delle spreadsheet si è articolata in diverse fasi tra cui:

- Saldatura presso il CERN di Ginevra, dopo la qualifica del procedimento, dei magneti LHC di "pre-serie" utilizzando un impianto di pressatura esistente ed analogo a quello descritto, equipaggiato anch'esso con saldatrici LINCOLN PW455/STT, non in versione robotizzata, e privo del sistema di riconoscimento giunto di tipo Laser

- Effettuazione di prove di saldatura, con traslazione automatica della torcia, su talloni preparati con diverso gap, disallineamento e spalla allo scopo di individuare le correlazioni tra i parametri geometrici del giunto e quelli di saldatura ( velocità filo (corrente), tensione, ampiezza e frequenza dell'oscillazione, ecc.) su tutto il range di tolleranza ammesso nell'assemblaggio dei magneti ( vedi paragrafo 3. )

- Implementazione delle spreadsheet sugli impianti provvisti di riconoscimento giunto di tipo Laser e validazione del procedimento in versione robotizzata.

TABELLA I - Parametri di saldatura magneti di "pre-serie"

Passata	Procedim.	Diametro filo (mm)	Corrente media (A)	Tensione media	Forma d'onda	Velocità filo (m/min)	Velocità di saldatura (mm/min)
1	135 STT	1.2	120	15	Arc control	4.3	105
2	135	1.2	210	23	Pulsato	8.5	500
3	135	1.2	210	23	Pulsato	8.5	500
4	135	1.2	210	23.6	Pulsato	8.5	500

I parametri utilizzati per la saldatura dei magneti di "pre-serie" sono riportati in tabella I .

Al dritto si e' utilizzata la protezione gassosa costituita da una miscela Ar/CO2 2% (25 l /min) ed a rovescio una protezione con Ar (25 l /min). Durante la saldatura la pressa applicava al magnete un carico pari a 576 t /m.

Si e' altresì verificato in questa fase il ritiro di saldatura durante l' effettuazione di ogni passata. I risultati, riportati nella tabella II, hanno permesso di definire un ritiro totale medio di  $0.89+0.89=1.78$  mm ed un corrispondente prestress circonferenziale nel cilindro di 194 MPa, conforme alle richieste progettuali

TABELLA II - Misura dei ritiri di saldatura

	Start	STT	$\Delta$	GMAW 1	$\Delta$	GMAW 2	$\Delta$	GMAW 3	$\Delta$
Lato DX	58.08	57.41	0.67	57.32	0.09	57.21	0.11	57.15	0.06
Lato SX	57.82	57.24	0.58	57.13	0.11	57.06	0.07	56.97	0.09
MEDIA			0.625		0.1		0.09		0.075

L'attività svolta invece sui talloni di saldatura, prendendo spunto dalle tolleranze massime ammesse sul cianfrino durante l'assemblaggio, ha consentito di evidenziare una influenza trascurabile delle possibili variazioni di spalla e disallineamento sulla qualità del giunto saldato. Il problema della variabilità del gap in un range tra i 2.5 ed i 4.5 mm si e' rivelato invece di primaria importanza per la qualità del giunto.

Esso è stato correlato con i parametri fisici della torcia ed elettrici del generatore STT secondo quanto illustrato nei grafici che seguono:

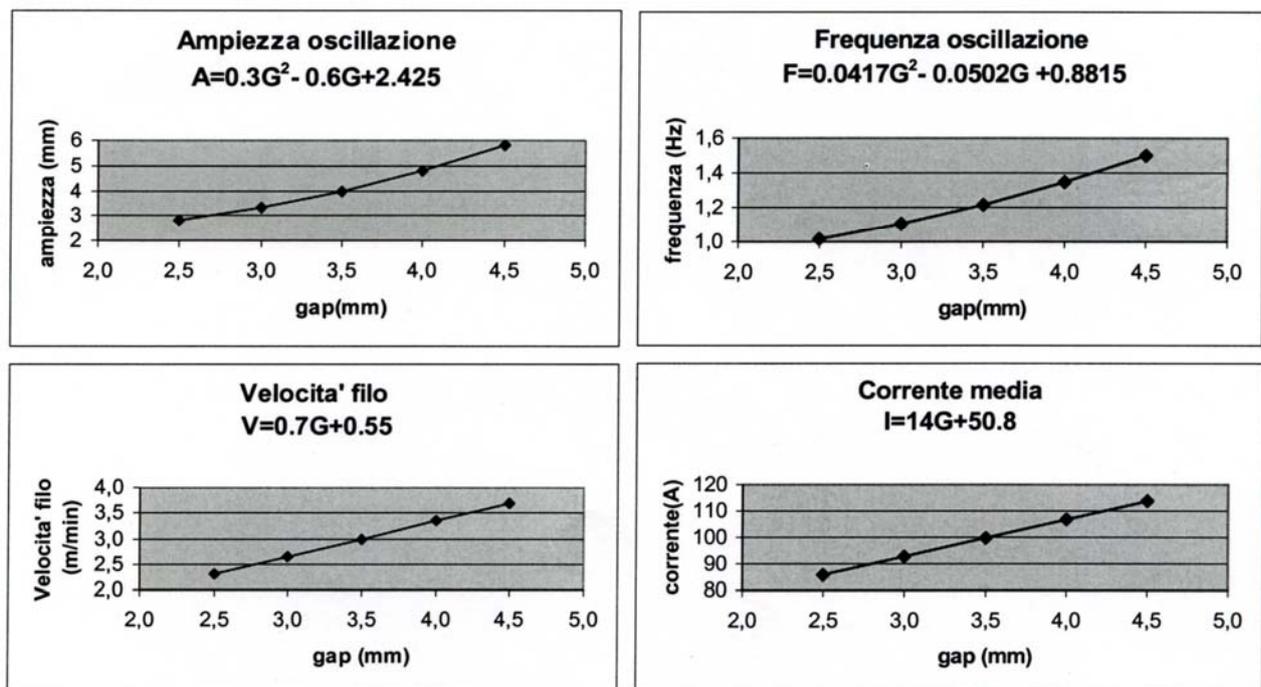


Fig. 7- Correlazione tra gap e parametri di saldatura

La velocità di saldatura imposta durante queste prove e' stata di 75mm/min, in quanto essa e' risultata ottimale per i giunti con luce di 4.5 mm, cioè al massimo della tolleranza ammessa. E' attualmente in corso, sul primo dei tre impianti di saldatura forniti dal CERN, la qualifica del procedimento di saldatura nella versione completamente automatizzata, che consentirà la verifica dell'interfaccia tra il riconoscimento laser del giunto e gli impianti di saldatura in condizioni di funzionamento dinamiche.

## **Conclusioni**

Dopo un lungo periodo di studi e prove, l'impianto per la saldatura automatica dei magneti LHC e' ormai giunto alla fase conclusiva di messa a punto. Oltre alla elevata qualità della saldatura, esso consentirà un miglioramento in termini di produttività e riproducibilità.

L'impianto e' frutto della collaborazione internazionale di diverse industrie ed istituti.

Va rilevato come progetti di ricerca delle dimensioni e dell'importanza di LHC, sebbene finalizzati allo studio della struttura della materia e della nascita dell'Universo, comportino, per essere realizzati, il coinvolgimento di competenze tipicamente industriali e la creazione di significative sinergie tra esse.

## **Bibliografia**

F. Bressani: Superconduttività- Nasce il nuovo polo tecnologico  
Rivista Italiana della Saldatura - Aprile 2001

T.Tran Tien: Determination des lois de soudage MAG autoadaptatif des frettes d' aimants  
Rapport Technique - Institut de Soudure – France

E.K.Stava : A new, low spatter arc welding machine, The Fabricator (1994), Vol. 24 No.2

L.Van Nassau, G. Pedrazzo: Mig-STT : un nuovo procedimento per saldature di alta qualità  
Convegno dell'Istituto Italiano della Saldatura Genova, 1 Luglio 1996

C. Rossi, G. Forensi: Tagliare a metà i costi della prima passata: un'esperienza consolidata  
Saldatura e Taglio verso il 2000, Milano 3 Ottobre 1998

E.K.Stava , P.Nicholson: New technology speeds Oil Sands Pipe Welding  
Pipeline & Gas Journal Novembre 2001