

Applicazioni del *phased array* nei controlli delle connessioni saldate ai reattori di elevato spessore costruiti presso lo stabilimento GE OIL & GAS di Massa

Giovanni Zappavigna
GE Oil & Gas – Massa plant

INTRODUZIONE

Nelle ispezioni dei reattori prodotti a Massa, le saldature definite *butt joint* sono controllate preferenzialmente con la tecnica TOFD (Time-of-Flight Diffraction). L'applicazione di questa tecnica è stata affinata con gli anni e garantisce un'elevata sensibilità, non confrontabile con le tecniche tradizionali (radiografie o ultrasuoni pulse echo).

Sulle saldature delle connessioni, pur essendo dei *butt joint*, il TOFD non è applicabile in modo soddisfacente in quanto manca, sulla superficie esterna, la completa accessibilità da entrambi i lati della saldatura, mentre, all'interno, l'accoppiamento risulta problematico per la presenza di *weld overlay* (normalmente uno strato di alcuni millimetri in acciaio inossidabile). La complessità della geometria (vedi figura 1), unita alla necessità di registrare il controllo ultrasonoro in accordo al Code Case 2235, ci hanno spinto a considerare i vantaggi del *Phased Array*.

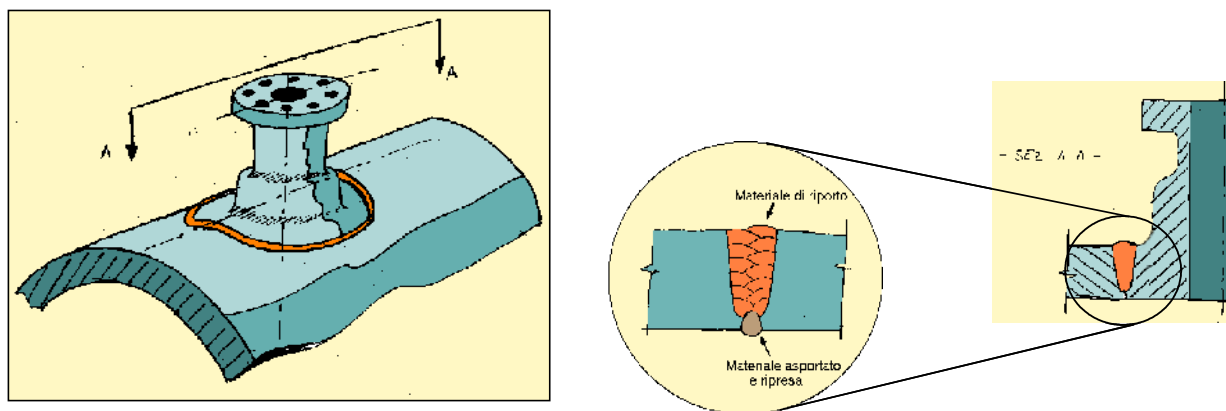


Figura 1: Configurazione della saldatura di una connessione

La tecnologia *Phased Array* permette di generare un fascio ultrasonoro e di variare i parametri del fascio, come l'angolo e la distanza focale, in modo continuo attraverso il software.

Questa possibilità apre nuove prospettive rispetto alle tecnologie UT convenzionali: per esempio è possibile controllare una geometria complessa con un fascio ultrasonoro emesso da

un singolo punto oppure è possibile eseguire scansioni analoghe a quelle eseguite con sonde tradizionali senza la necessità di cambiare angolo e quindi sonda.

I VANTAGGI DELLA TECNICA

Le sonde *Phased Array* sono composte da un certo numero di elementi (fino a 128) che possono essere gestiti in modo indipendente. Il fascio ultrasonoro risultante è formato dai contributi di tutti gli elementi e la sua forma è determinata dal ritardo con il quale ogni elemento emette il proprio segnale.

I vantaggi della tecnologia *Phased Array* possono essere sfruttati in tre diverse direzioni:

- ⇒ nel controllo di strutture complesse è possibile limitare la movimentazione della sonda variando gli angoli automaticamente;
- ⇒ nel controllo di materiali con alto rapporto rumore-segnale è possibile focalizzare il fascio a varie profondità;
- ⇒ in tutti i controlli in generale è possibile aumentare la velocità di ispezione, limitando il tempo di scansione e registrando i risultati ottenuti.

LA PROGETTAZIONE DEL CONTROLLO

Il controllo delle saldature delle connessioni sarà eseguito in accordo ai requisiti del Code Case 2235. Tale norma, pur non essendo specifica per il controllo con *Phased Array*, riporta una nota dettagliata per questo tipo di tecnica:

While sectorial scan can demonstrate good detectability from side drilled holes, because they are omnidirectional reflectors, the beam can be misoriented for planar reflectors (e.g., lack of fusion and cracks). This is particularly true for thicker sections, and it is recommended that multiple linear passes with sectorial scan be utilized for components greater than 1 in thick. An adequate number of flaws should be used in the demonstration block to ensure detectability for the entire weld volume.

Il codice richiama quindi l'attenzione sulla rilevabilità dei difetti planari: di questo si dovrà tener conto sia durante la progettazione del controllo sia durante la verifica.

Per il controllo delle saldature delle connessioni, saranno eseguite alcune scansioni (da 4 a 6 per spessori compresi tra 100 mm e 250 mm) lungo circonferenze concentriche parallele all'asse di saldatura (vedi figura 2). Per soddisfare il requisito della norma, si è deciso che il numero delle scansioni sia tale da coprire ogni punto del volume da ispezionare con almeno 2 angoli che abbiano una differenza tra loro di almeno 10°. In questo modo la probabilità di non rilevare difetti orientati sfavorevolmente diminuirà in modo considerevole.

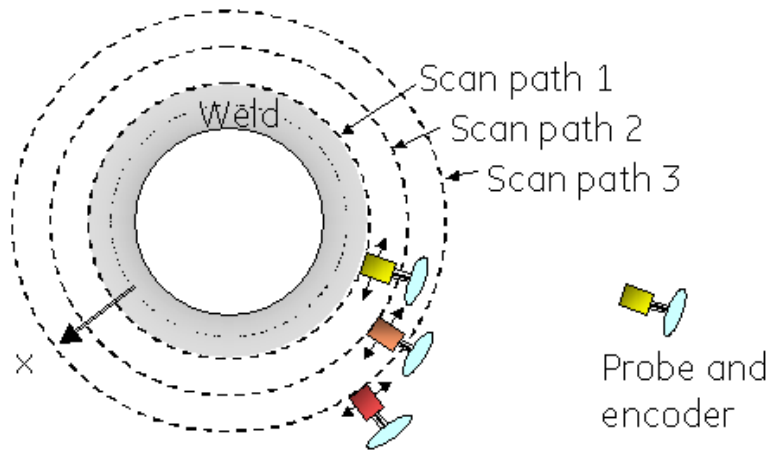


Figura 2: Scansioni per il controllo delle connessioni

Durante la fase di progettazione del controllo, sarà redatto uno *scan plan* nel quale, per ogni scansione, saranno riportate le seguenti indicazioni:

Scan	Sonda	Angolo	Passo	x (dall'asse della saldatura)	d (profondità ispezionata)
1	xxx	40°÷70°	1°	40 mm	20÷60 mm

Nella stesura dello *scan plan* è importante tenere presente che il Code Case 2235 richiede il controllo non solo del volume di saldatura, ma anche di una porzione di materiale base su entrambi i lati del giunto. Tale porzione varia in funzione della spessore e delle misure eseguite nel corso della qualifica del processo di saldatura.

L'aspetto più delicato nel controllo è quello della calibrazione. In questa fase è necessario dimostrare che:

- ⇒ il volume della saldatura è controllato in modo completo cioè esiste una sovrapposizione (*overlap*) tra una scansione e quella successiva tale da garantire la copertura del giunto; inoltre ogni punto del volume ispezionato dovrà essere verificato con almeno 2 angoli distinti
- ⇒ la sensibilità di controllo su tutta la saldatura deve essere costante, cioè lo stesso difetto, posto a profondità diverse, deve fornire lo stesso segnale.

Va ricordato che la richiesta minima del Code Case 2235 è quella di introdurre nel blocco di calibrazione 3 difetti orientati parallelamente alla linea di fusione: uno interno e due superficiali (uno sulla superficie di scansione e l'altro su quella opposta).

Tale richiesta andrà quindi integrata con le necessità già indicata precedentemente di garantire la completa copertura: questo comporterà che per elevati spessori si dovranno impiegare diversi difetti interni (indicativamente almeno uno ogni 25 mm di spessore).

La calibrazione del sistema dovrà essere eseguita su un tallone contenente difetti artificiali come intagli o fori laterali, mentre per la dimostrazione sarebbe auspicabile utilizzare difetti reali possibilmente planari (cricche o mancate fusioni)

Gli intagli dovranno essere ricavati per elettro erosione, ottenendo così le dimensioni minime possibili, e dovranno essere localizzati sia sulle due superfici sia internamente al tallone, ottenendo questo con saldature parziali di intagli superficiali.

Per i difetti reali, il confronto con i risultati ottenuti impiegando tecniche alternative, come il controllo radiografico, è di fondamentale importanza per poter misurare nel modo più accurato possibile le reali dimensioni del difetto.

Nella figura 3 è riportato l'esempio di una cricca con una doppia variazione di direzione, presente su una lamiera di spessore 100 mm. Tale andamento è particolarmente critico per le scansioni longitudinali eseguite con sonde *Phased Array*, ma come si vede la rilevabilità è buona anche sui rami non favorevolmente orientati rispetto alla direzione del fascio.

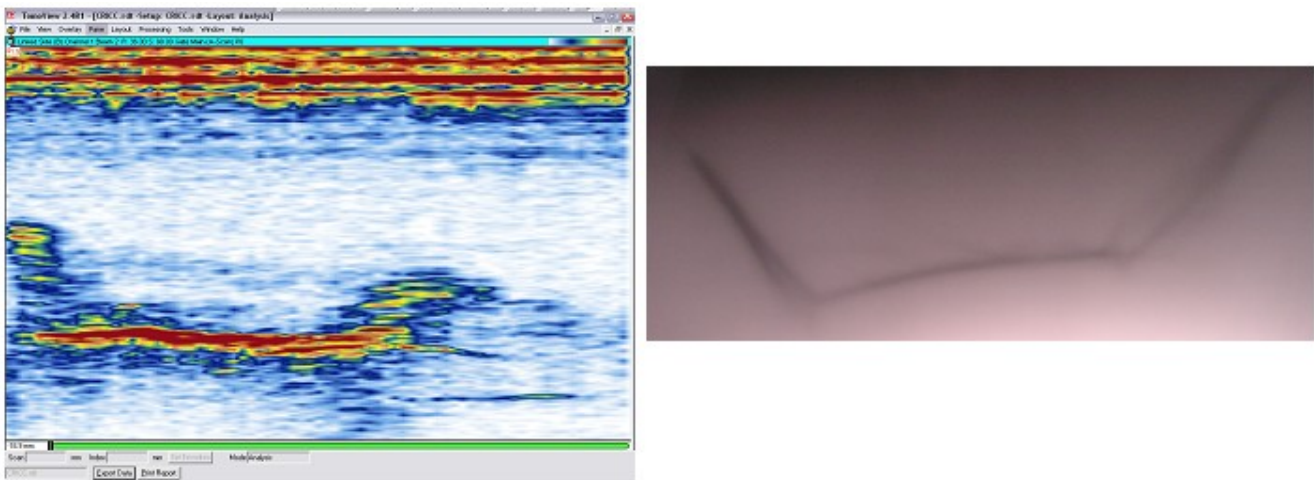


Figura 3: Confronto tra *Phased Array* ed RT per la rilevabilità di una cricca

Nella figura 4 è rappresentato il risultato del controllo con tecnica *Phased Array* su un blocco di dimostrazione di spessore 200 mm contenente una mancata fusione di un lembo a 42 mm di profondità. Il difetto non è rilevabile con il controllo radiografico.

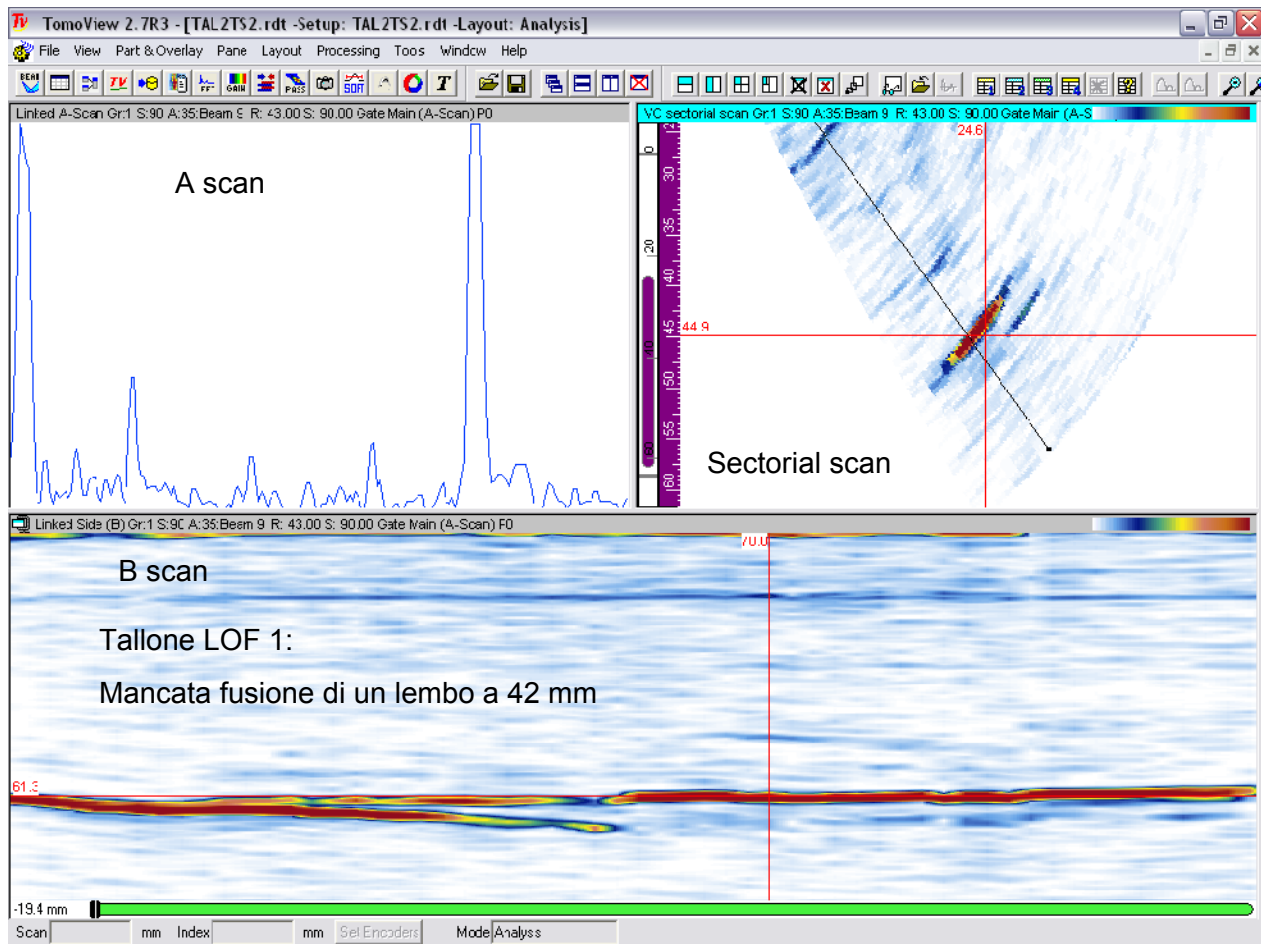


Figura 4: Tallone di dimostrazione con una mancata fusione del lembo

IL CONTROLLO DELLE CONNESSIONI

Per il controllo delle connessioni presenti sui fondi e sul mantello dei reattori di alto spessore costruiti presso il nostro stabilimento è stato progettato una scanner simile a quello riportato schematicamente nella figura 5.

Lo scanner ha la funzione di

- ⇒ garantire una distanza costante della sonda dalla saldatura. in modo da avere scansioni perfettamente parallele,
- ⇒ mantenere un costante ed efficiente accoppiamento tra sonda e superficie di scansione;
- ⇒ garantire il contatto continuo tra l'encoder e la superficie di scansione, in modo da registrare correttamente il percorso eseguito.

Lo scanner dovrà essere utilizzato sia su connessioni cosiddette “diritte”, cioè perpendicolari alla superficie del mantello o del fondo, sia su quelle inclinate.

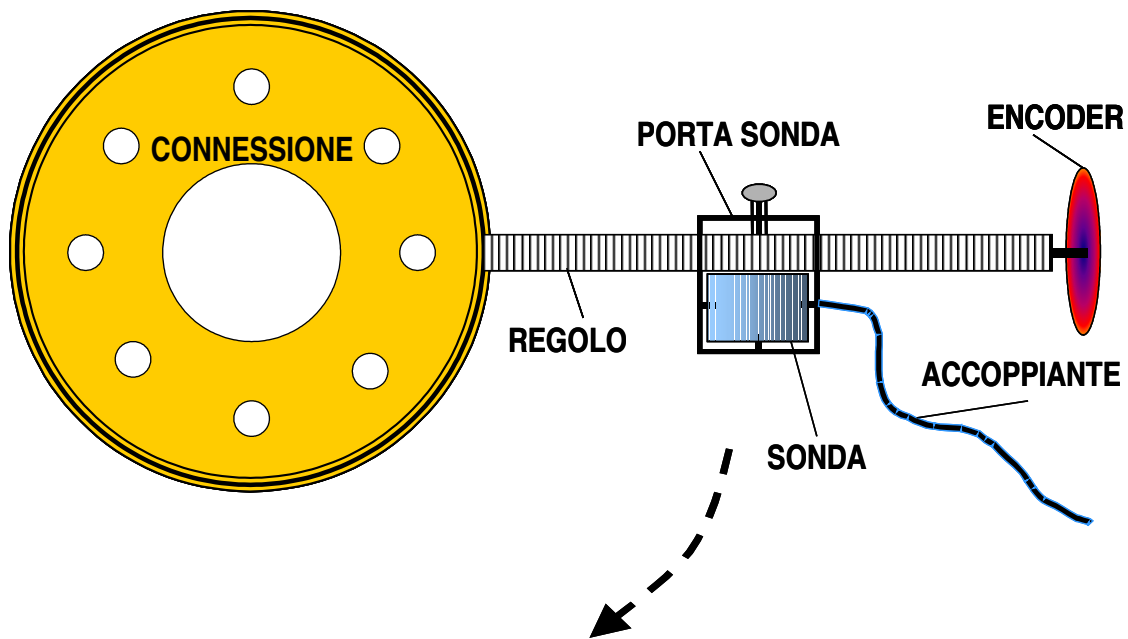


Figure 5: Schema dello scanner

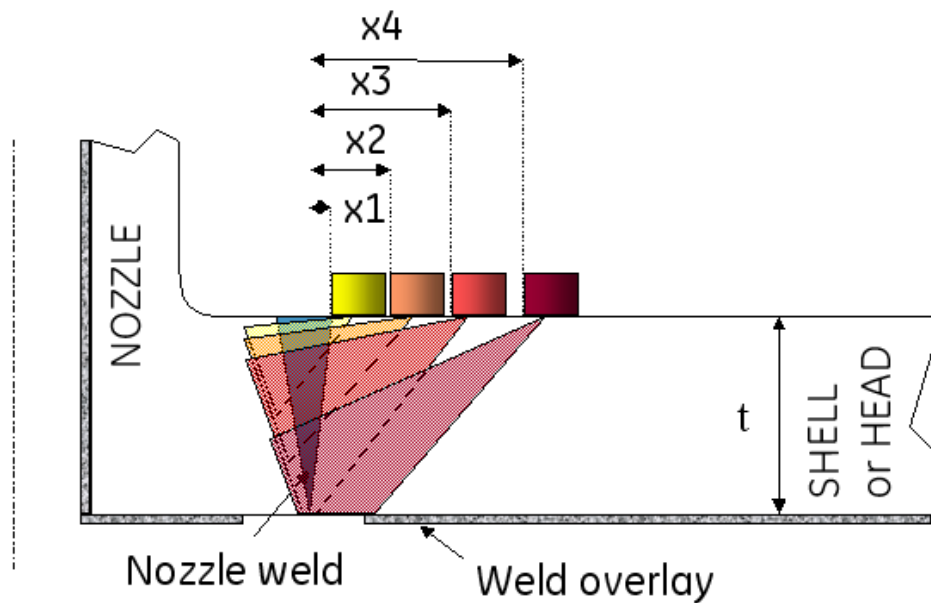


Figure 6: Copertura completa del volume di saldatura e zona adiacenti

Alle scansioni longitudinali descritte, dovrà essere aggiunta una o più scansioni trasversali qualora il rischio di difetti trasversali non sia trascurabile, considerando lo spessore ed il tipo di materiale controllato. In questo caso si renderà necessaria una molatura a liscio del cordone di saldatura ed un adattamento dello scanner per consentire il controllo richiesto.

Il controllo con *Phased Array* è di norma eseguito con movimentazione manuale delle sonde e registrazione automatica dei segnali (per questo può essere definito “semiautomatico”). Con appropriati accorgimenti può essere reso completamente automatico: in questo è necessario preparare accuratamente la superficie di scansione per evitare mancanze di accoppiamento o malfunzionamenti dell’encoder.

Un’ulteriore osservazione riguarda la caratterizzazione delle indicazioni.

La scansione longitudinale, infatti, non consente di per sé una chiara definizione dei riflettori evidenziati dal controllo. Per uno studio più approfondito sulla natura dei difetti è indispensabile un controllo manuale non vincolato da scanner o encoder, ma che consenta di movimentare liberamente la sonda intorno al riflettore. Questa fase può essere eseguita sia con sonde *Phased Array*, sia con sonde tradizionali con almeno 3 angoli distinti.

CONCLUSIONI

Dalle prove eseguite su diversi talloni contenenti difetti artificiali, come intagli e fori laterali, e difetti reali, come cricche ed inclusioni, possiamo concludere che la tecnologia *Phased Array* può essere applicata ai recipienti in pressione ad alto spessore con ottimi risultati, rispettando i requisiti del Code Case 2235 per la sostituzione del controllo radiografico previsto dal codice ASME con un controllo ultrasonoro. Naturalmente è necessario seguire alcuni accorgimenti, come il numero di scansioni longitudinali, che deve essere tale da coprire la zona controllata con più angoli, le scansioni trasversali per i materiali suscettibili di cricche trasversali e l’analisi delle indicazioni con un sistema manuale.

L’impressione generale sulla tecnica è decisamente positiva soprattutto al livello di rappresentazione: dai picchi sullo schermo degli apparecchi tradizionali si è passati a raffigurazioni che, come mostrato nell’esempio della cricca verificata con il metodo radiografico, si avvicinano moltissimo all’andamento reale del riflettore. Siamo sicuri che l’impatto che avranno queste immagini renderà in futuro il controllo ultrasonoro sempre meno misterioso e più familiare non solo per gli addetti ai lavori.

BIBLIOGRAFIA

1. Basic Concepts of Phased Array Ultrasonic Technology – RD Tech
2. Code Case 2235-10 – ASME Code
3. Developer of Phased-Array Ultrasonic Testing Probe – Kawanami, Kurokawa, Taniguchi, Tada