

**Software di mappatura ultrasonora per componenti aeronautici**  
*Angelo Tati e Maria Luisa Mongelli, ENEA, FIM MATQUAL*  
**DIPARTIMENTO TECNOLOGIE FISICHE AVANZATE E NUOVI MATERIALI**  
*Sezione MATQUAL*  
**CR CASACCIA**  
[tatiangelo@casaccia.enea.it](mailto:tatiangelo@casaccia.enea.it)  
[marialuisa.mongelli@casaccia.enea.it](mailto:marialuisa.mongelli@casaccia.enea.it)

## **Introduzione**

L'ENEA ha sviluppato per le proprie attività di ricerca sui nuovi materiali e componenti utilizzati in campo industriale e civile, un software di acquisizione ed elaborazione dedicato ai controlli non distruttivi ( non destructive testing ). I controlli non distruttivi sono gli esami dei materiali e dei componenti costituenti un qualsiasi manufatto che deve garantire una certa affidabilità sia strutturale che prestazionale. Le prove utilizzano i metodi applicati negli esami clinici, quali radiografia ed ultrasuoni e diversi altri, più specifici, in grado di garantire l'assenza di difetti, che ne compromettono il funzionamento, e allo stesso tempo non "invadono" o distruggono l'oggetto esaminato.

Il software gestisce, tramite computer e schede elettroniche, dei sistemi motorizzati ed acquisisce i segnali provenienti dai sensori relativi al metodo utilizzato. I dati ottenuti sono elaborati per ottenere delle mappature in bianco e nero e falsi colori che evidenziano i difetti presenti nel materiale. Tutti i metodi si avvalgono di sistemi automatici che aiutano l'esperto a valutare la salute del componente in modo veloce e ripetibile sollevandolo da un compito certe volte lungo e stancante. L'esame ultrasonoro è un metodo molto efficace se abbinato ad un sistema d'ispezione motorizzato. Gli ultrasuoni sono onde meccaniche smorzate di frequenza maggiore di 20 KHz e sono generate da una sonda piezo-elettrica.

Nella modalità Pulse-echo la sonda è posta sopra (o lateralmente) al materiale da ispezionare, l'onda prodotta attraversa il materiale, come il suono che si propaga nell'aria, la presenza di eventuali difetti all'interno genera delle onde di riflessione chiamate echi di difetto. La superficie opposta del pezzo genera un eco chiamato di fondo.

La sonda che ha emesso il primo impulso ( echo di superficie ) riceve tutti gli echi riflessi dai difetti e dal fondo con tempi in funzione della distanza a cui si trovavano (come l'orecchio riceve gli echi in montagna prima dalle cime vicine e poi da quelle lontane ). L'insieme degli echi si chiama segnale ultrasonoro o A-scan e contiene l'informazione dello spessore ( Z ) attraversato. Inoltre dall'ampiezza dell'eco del difetto è possibile determinare la sua grandezza geometrica.

Il sistema automatico è in grado di acquisire questa informazione per ogni punto della superficie dell'oggetto. Nella maggior parte dei casi la superficie è piana ed è sufficiente muovere la sonda lungo 2 assi cartesiani per ottenere la scansione della superficie (XY) . Utilizzando la potenzialità di computer è possibile salvare per ogni punto XY l'intero A-scan (Z) al fine di ottenere una matrice tridimensionale in cui ad ogni terna XYZ è associata l'ampiezza del segnale.

Ampiezza = F(XYZ)

Ampiezza bassa nessun difetto

Ampiezza Alta difetto grande ( non accettabile)

Ampiezza media difetto piccolo (accettabile)

Grazie alle potenzialità di calcolo dei nuovi computer dotati di alcuni Gigabyte di memoria RAM, dischi da centinaia di Gigabyte ed infine al processore che elabora le istruzioni alla frequenza di

clock di alcuni GigaHertz è possibile ricostruire ed interrogare la matrice tridimensionale, che rappresenta il volume del campione, tramite un software dedicato che estrae la sezione (slice) d'interesse come in figura 1 . La tecnica è paragonabile alla tomografia assiale computerizzata effettuata con i raggi X.

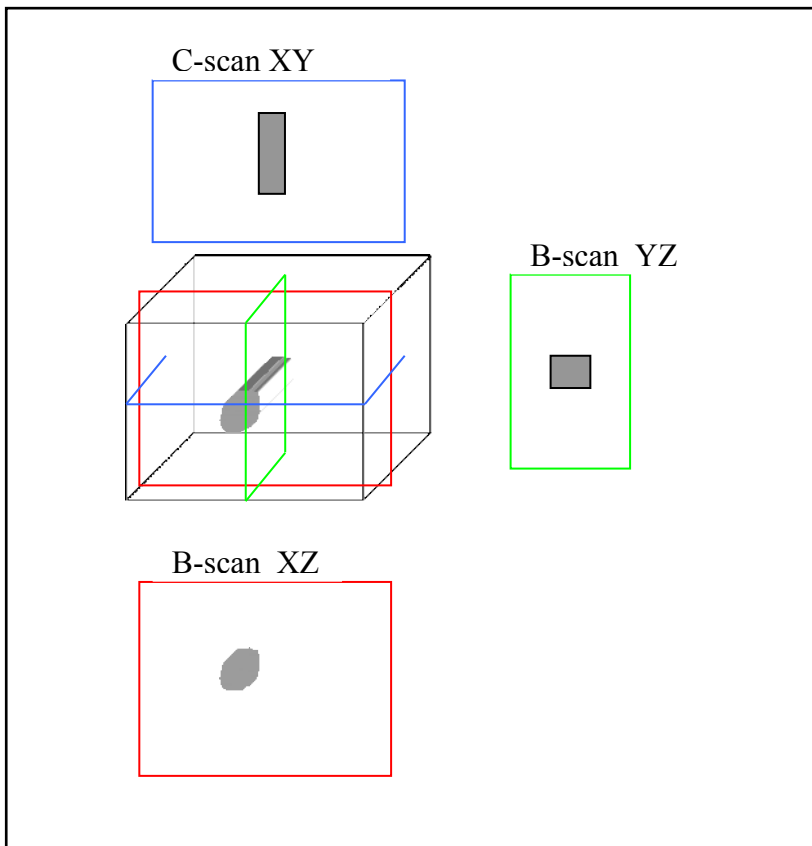


Fig. 1. Tipologia di mappatura (Slice) ultrasonora - rappresentazione B e C scan

I sistemi automatici in possesso dei nostri laboratori utilizzano il software C\_SCAN sviluppato per le attività di ricerca per numerosi progetti Italiani ed Europei tra cui:

Progetto Reattore a Fusione Nucleare ITER per il controllo della saldo/brasatura rame fibra di carbonio del componente del divertore

Caratterizzazione materiali innovativi per esempio giunzioni metallo-ceramico

## Sistema a 6 gradi libertà

Nel settore aeronautico il software è stato utilizzato per il controllo dei componenti degli elicotteri. Il software controlla un sistema automatico d'ispezione a 6 gradi di libertà ( 5 lineari, 1 rotativo) ed è stato progettato e costruito in collaborazione con le ditte: Simitecno, Comeb ed Eurosystem.

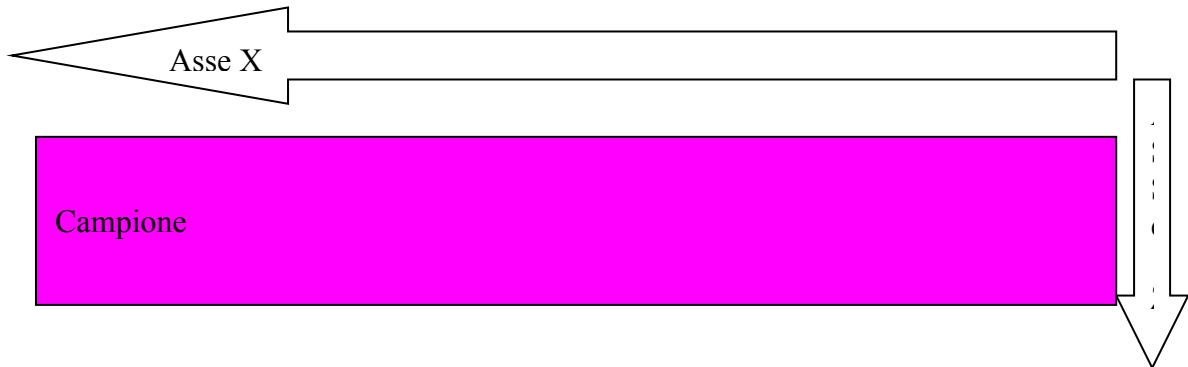


Fig. 2. Macchina di controllo ad ultrasuoni

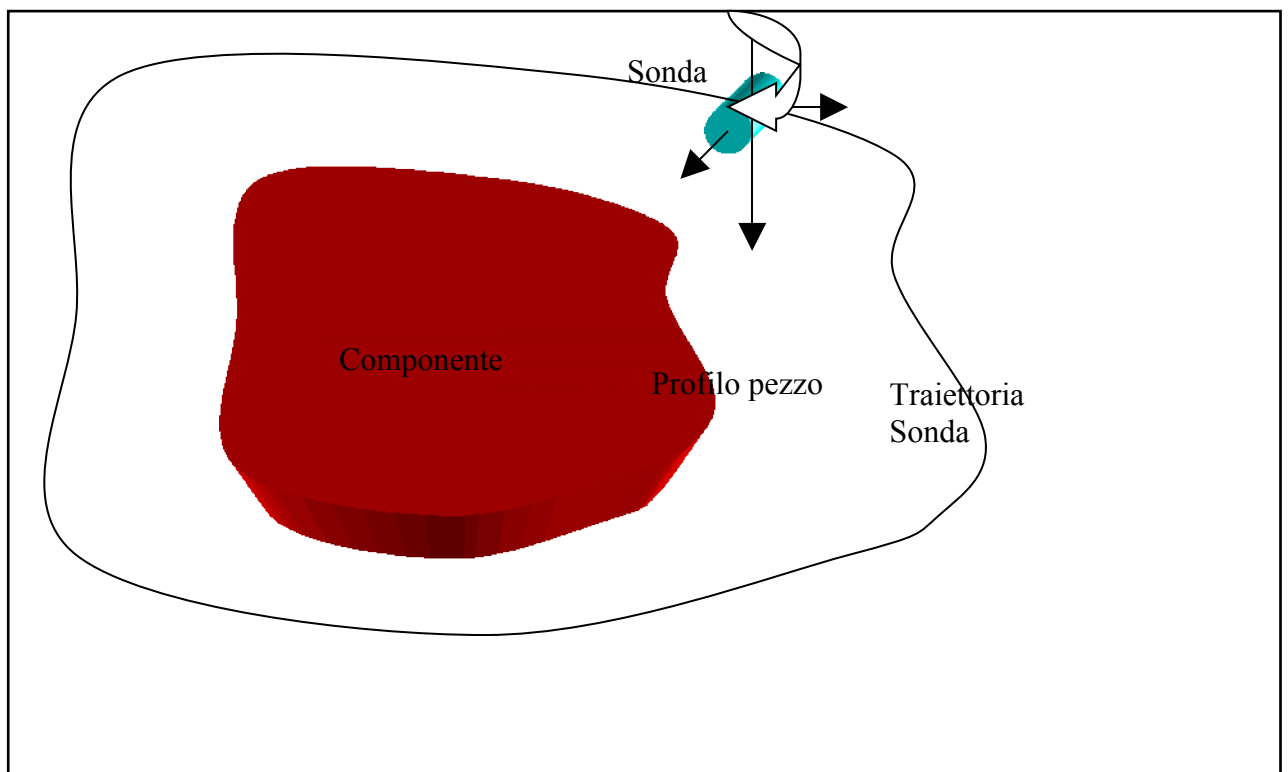
## Software

Il software sviluppato è in grado ispezionare diversi componenti con superficie :

- regolare (piana o cilindrica – 2 assi )



- complessa ( XYZ + Teta - 3 assi lineari + 1 rotativo)



Il sistema è in grado di apprendere i profili, tramite un tastatore dimensionale ( Testina Renishaw ). La testina è collegata al sistema automatico e tramite il software di acquisizione delle coordinate spaziali apprende il profilo direttamente sul pezzo in esame.

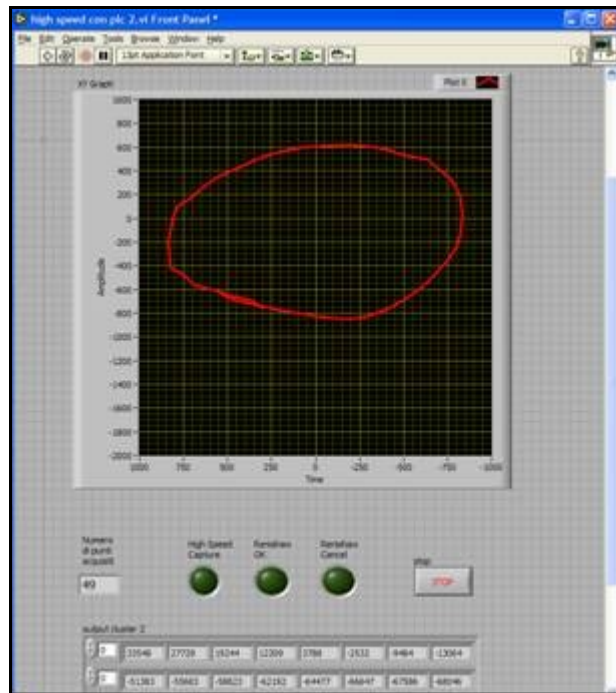
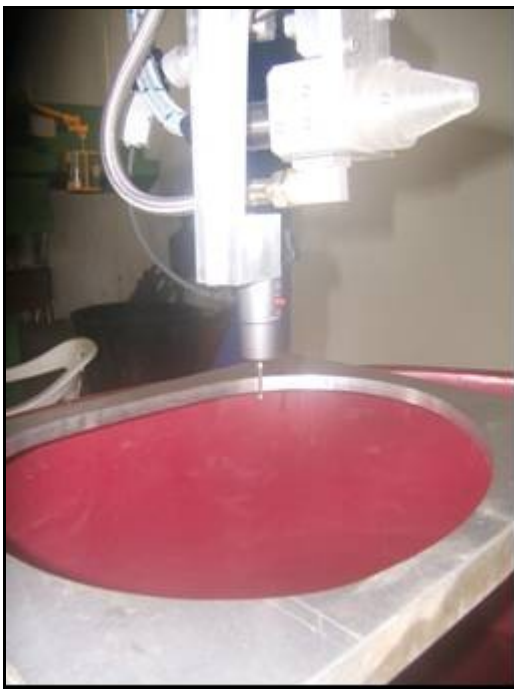


Fig.3 e 4. Testina Renishaw e software di acquisizione

o da un disegno su carta opportunamente digitalizzato e trasformato in un'immagine raster o direttamente da un file vettoriale (CAD).

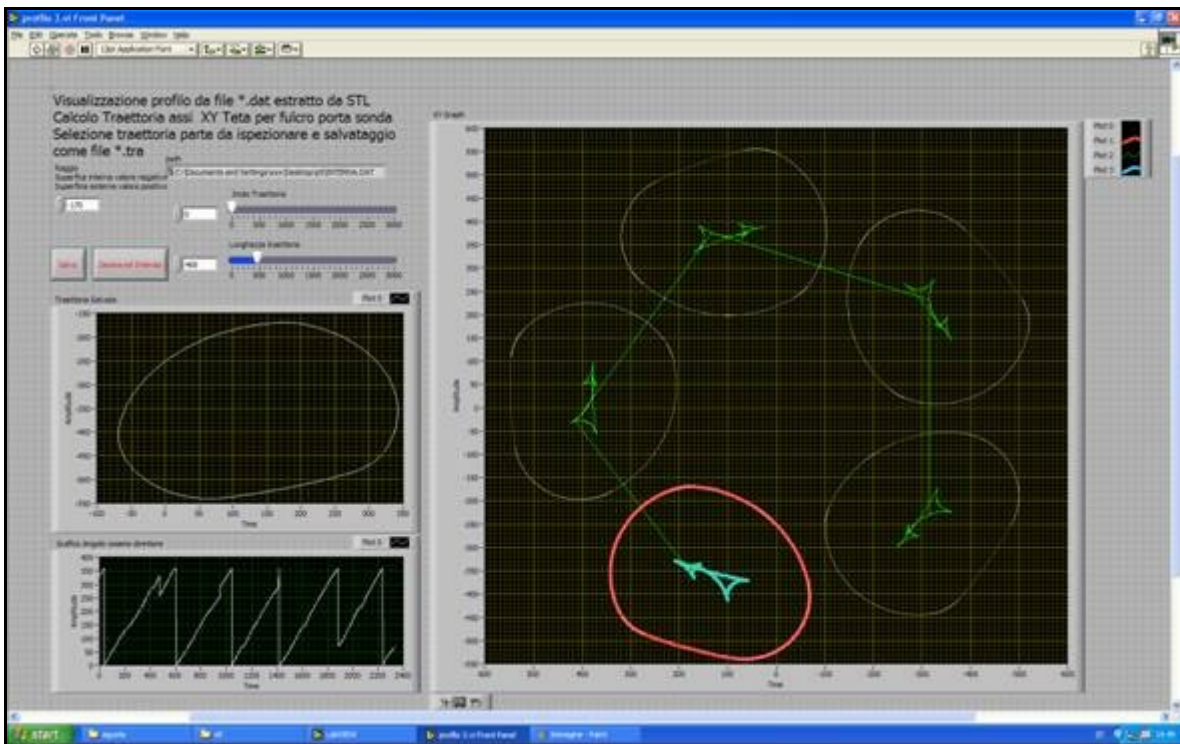


Fig.5. Software per la scelta dei profili



In seguito il sistema, tramite il software, calcola, dalle coordinate del profilo del pezzo, la traiettoria che la sonda ultrasonora deve eseguire restituendo la mappatura ultrasonora

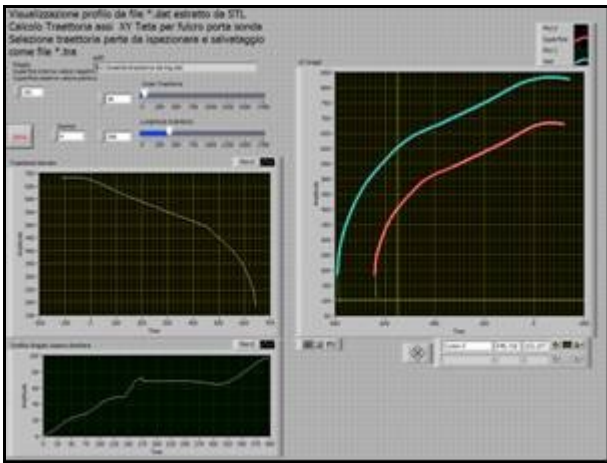


Fig.6 e 7. Profilo (linea rossa ) e traiettoria ( linea Blu ) – La sonda ultrasonora esegue il controllo

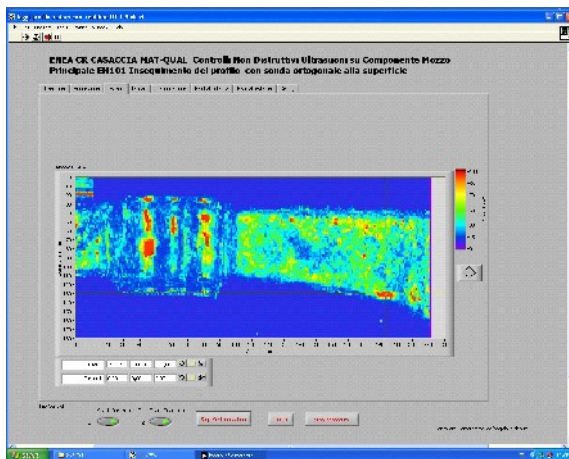
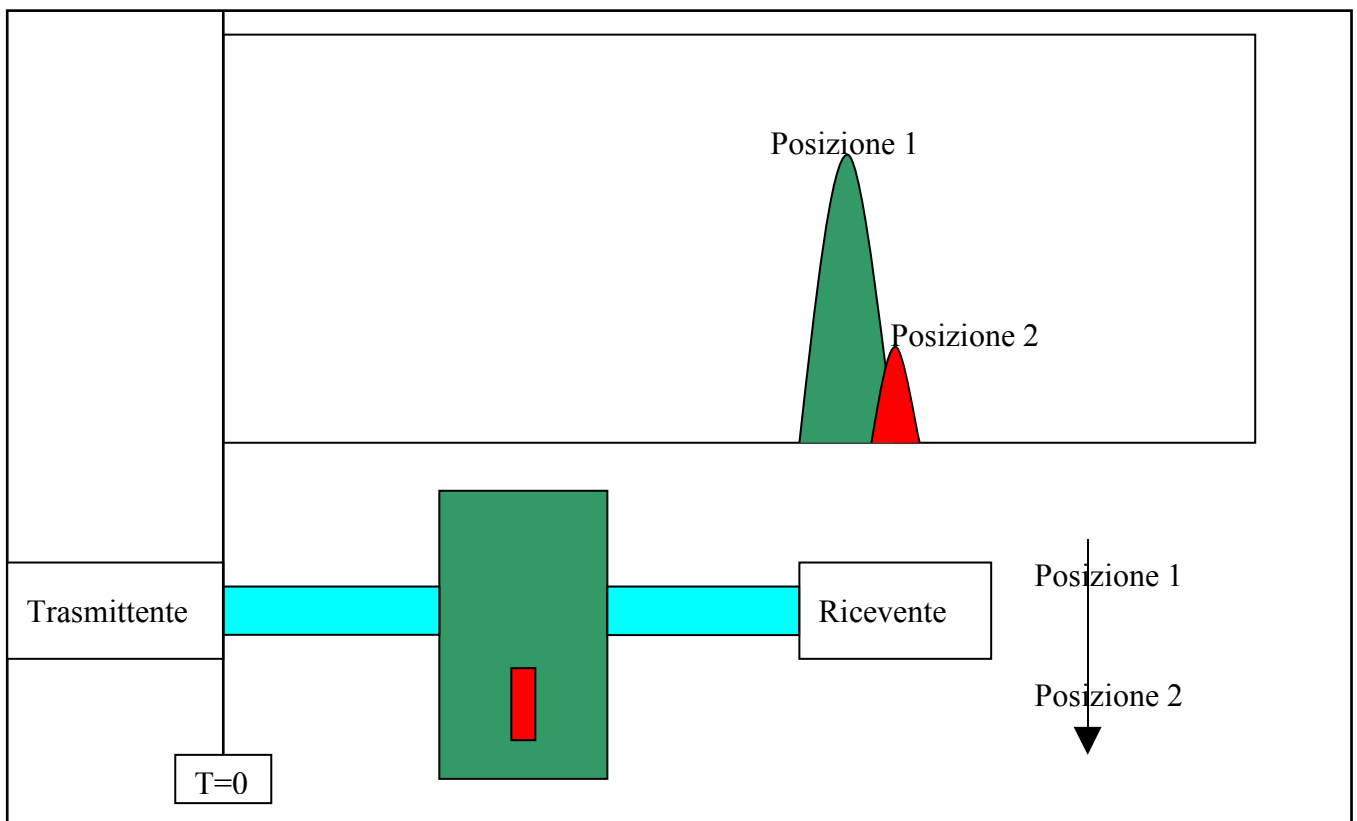


Fig.8. Mappatura intesa come sviluppo della superficie ispezionata

## Tecnica ultrasonora

Per il controllo di questi componenti si utilizzano due diverse tecniche:

- trasmissione (True-Transmission=TT): consiste in una sonda trasmittente ed una ricevente, il componente è tra le due sonde. L'onda ultrasonora, trasmessa dalla prima sonda attraversa il componente ed è ricevuta dalla sonda ricevente, la presenza di una discontinuità è rilevata dall'attenuazione del segnale elettrico la



Schema TT - Il segnale da indicazione dell'attenuazione della discontinuità



Fig. 9 e 10. Tecnica TT – Honeycomb in alluminio – il componente è tra le due sonde – la scritta nastro indica un difetto all'interno, tra il nido d'ape e il lamierino in alluminio.

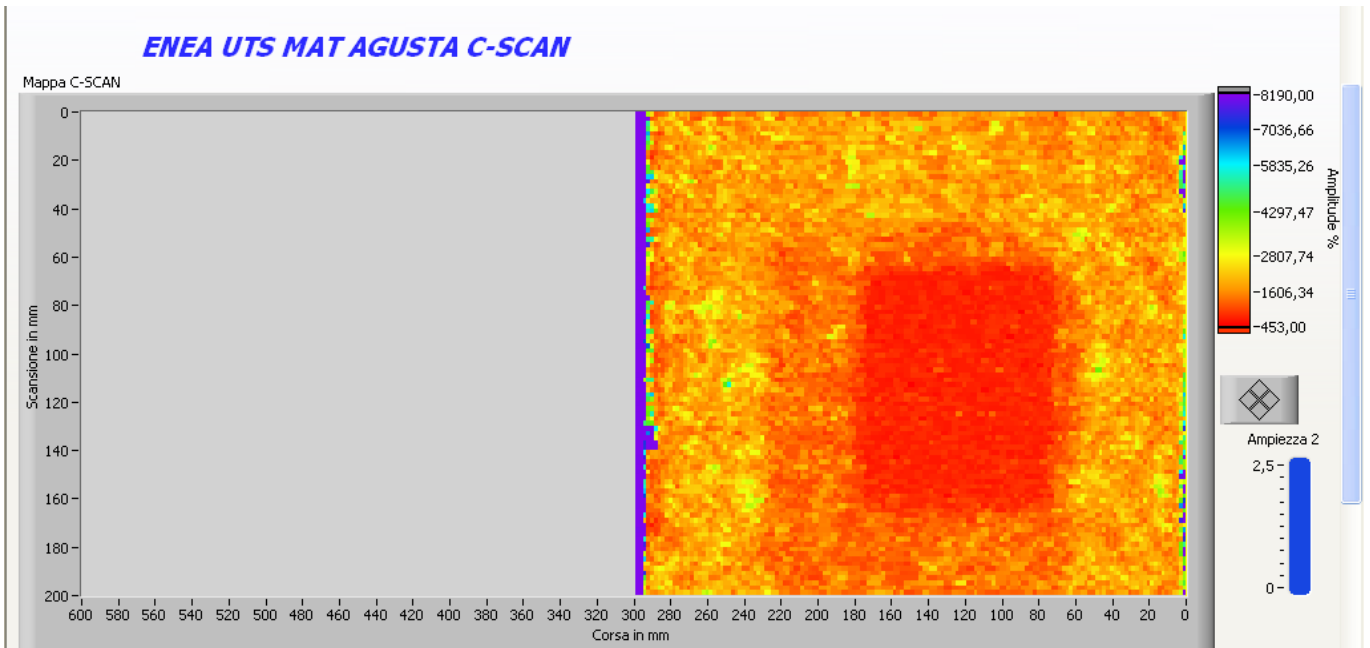
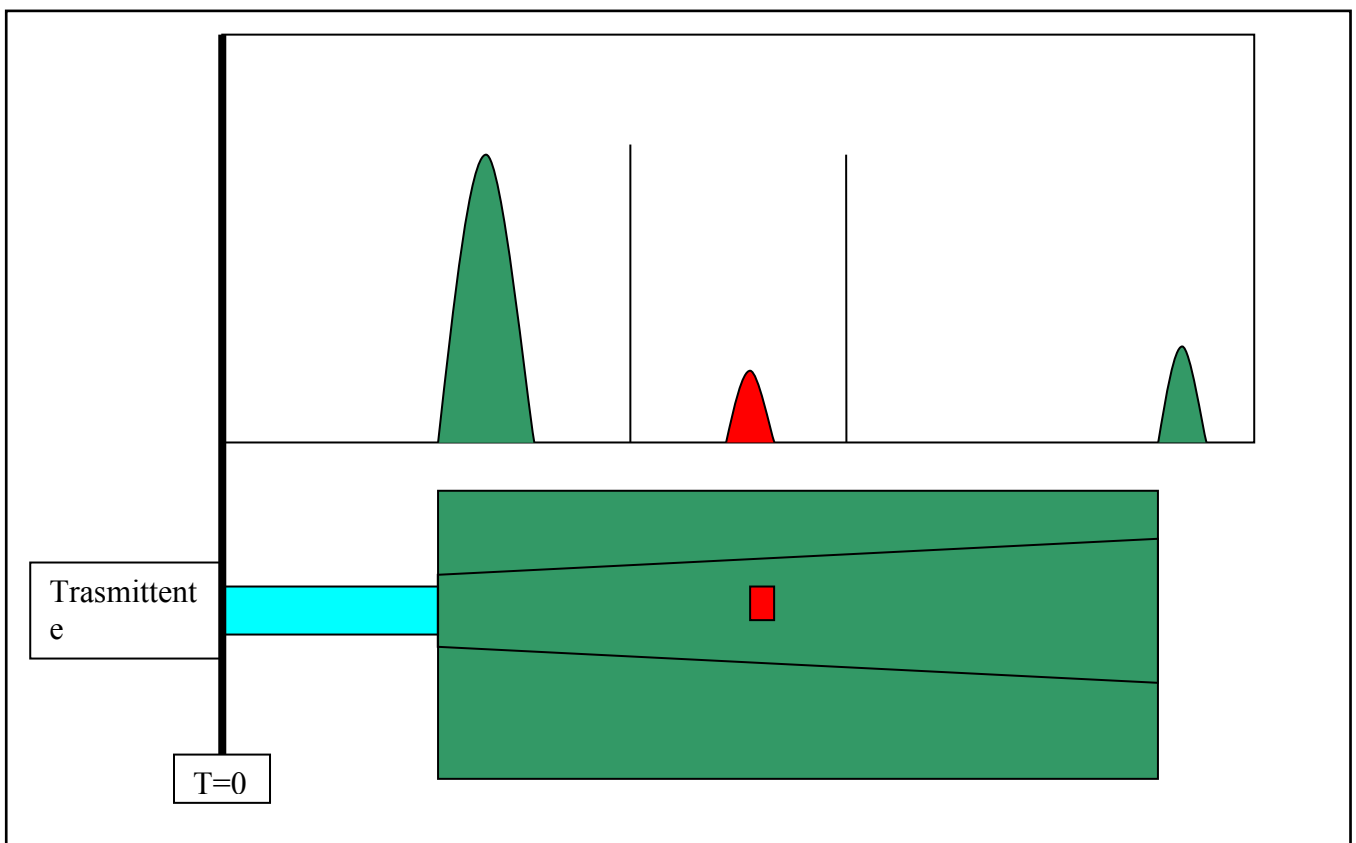


Fig. 11. Mappatura ultrasonora : il difetto è visibile in colore rosso

- riflessione (Pulse Echo=PE): la sonda trasmette e riceve l'onda ultrasonora. Il componente è controllato solo da un lato



Schema PE - il segnale indica l'ampiezza e il tempo di volo della discontinuità



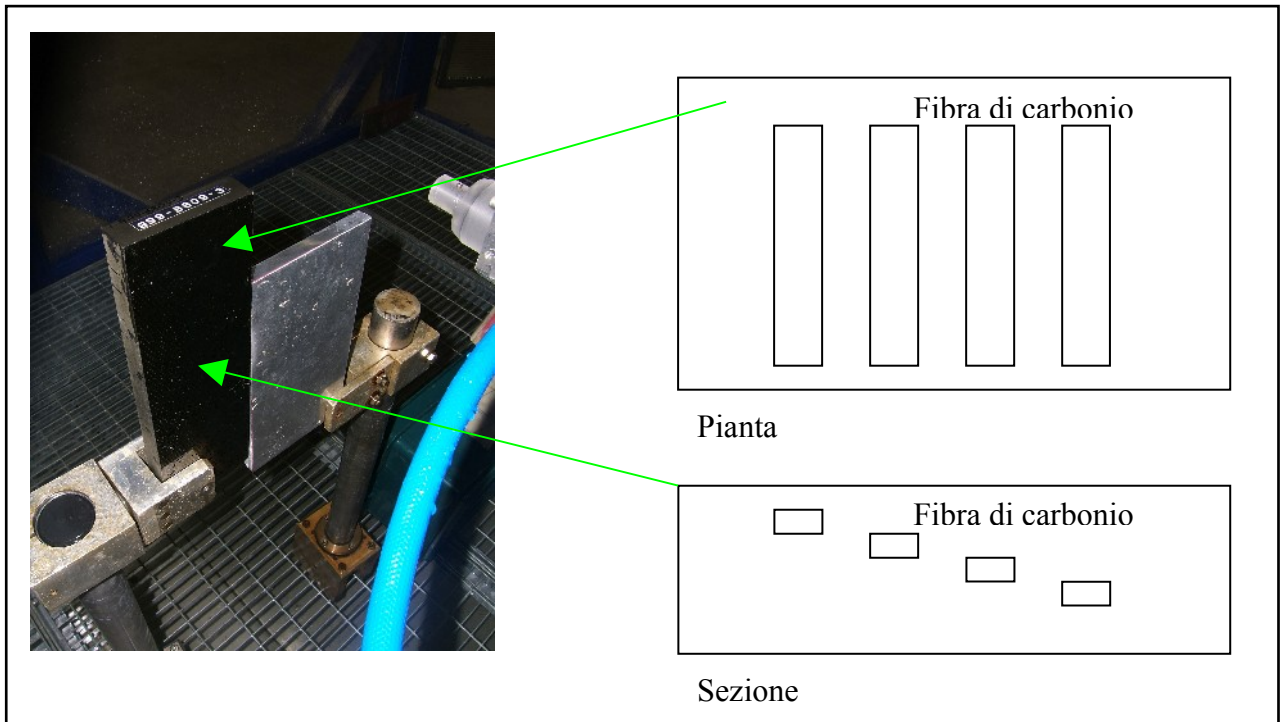


Fig. 12. Tecnica PE – Campione in fibra di carbonio a sx – Campione in alluminio – La sonda controlla il componente solo da un lato. I campioni hanno all'interno dei difetti campione a diverse profondità.

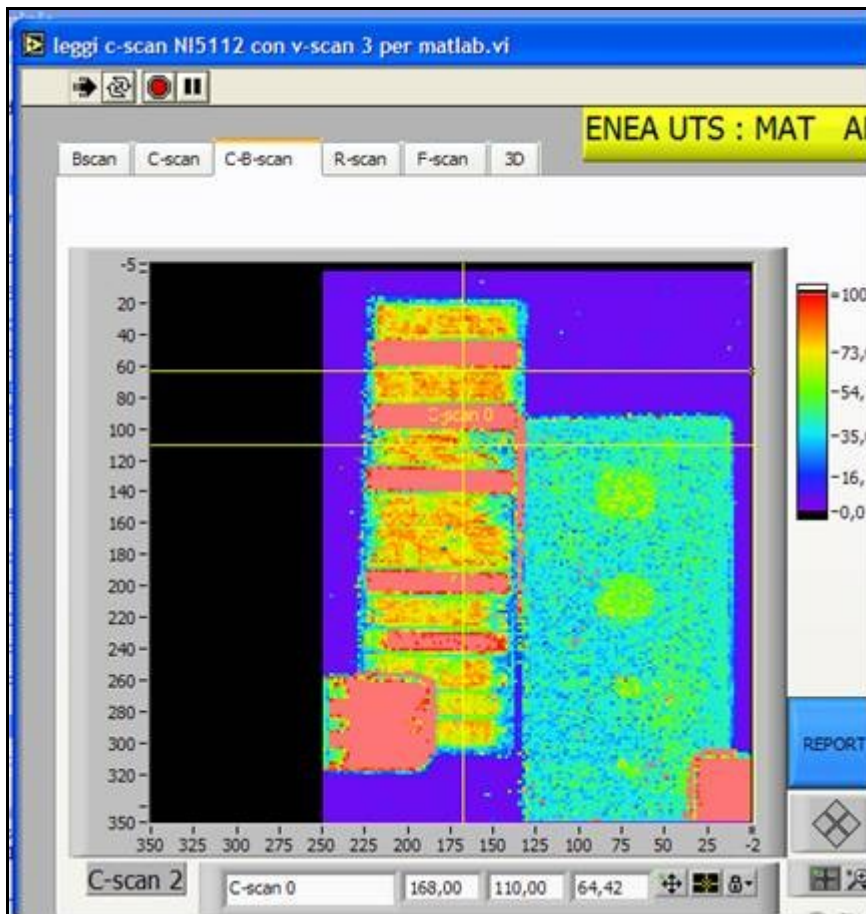


Fig. 13. Mappatura C-Scan. Visualizzazione in pianta del campione. I difetti sono in rosso nel campione di fibra di carbonio. In verde nel campione di alluminio.

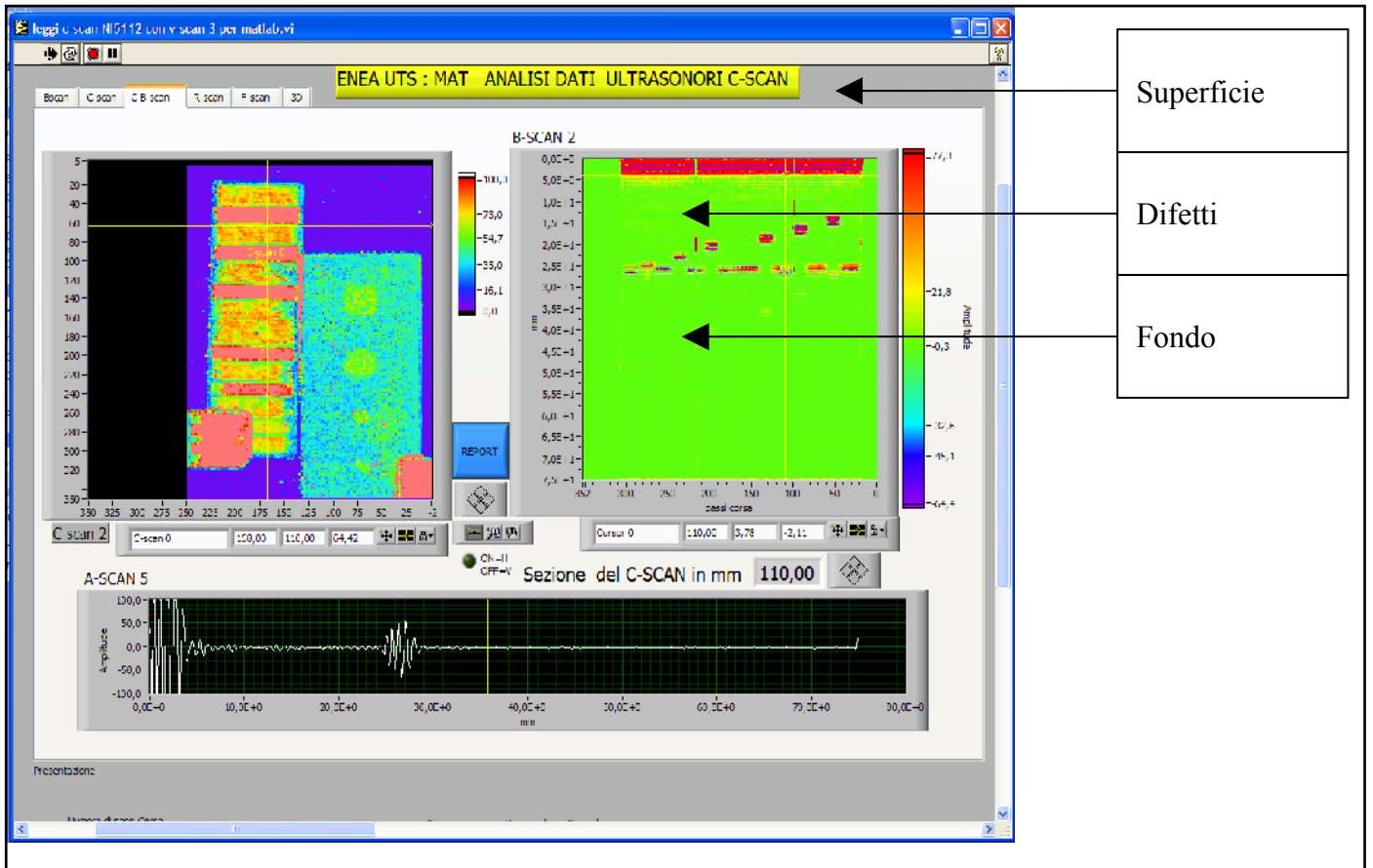


Fig. 14. Mappatura B-Scan. Visualizzazione in sezione del campione in fibra di carbonio. Sono visibili i difetti e l'echo di fondo del campione.

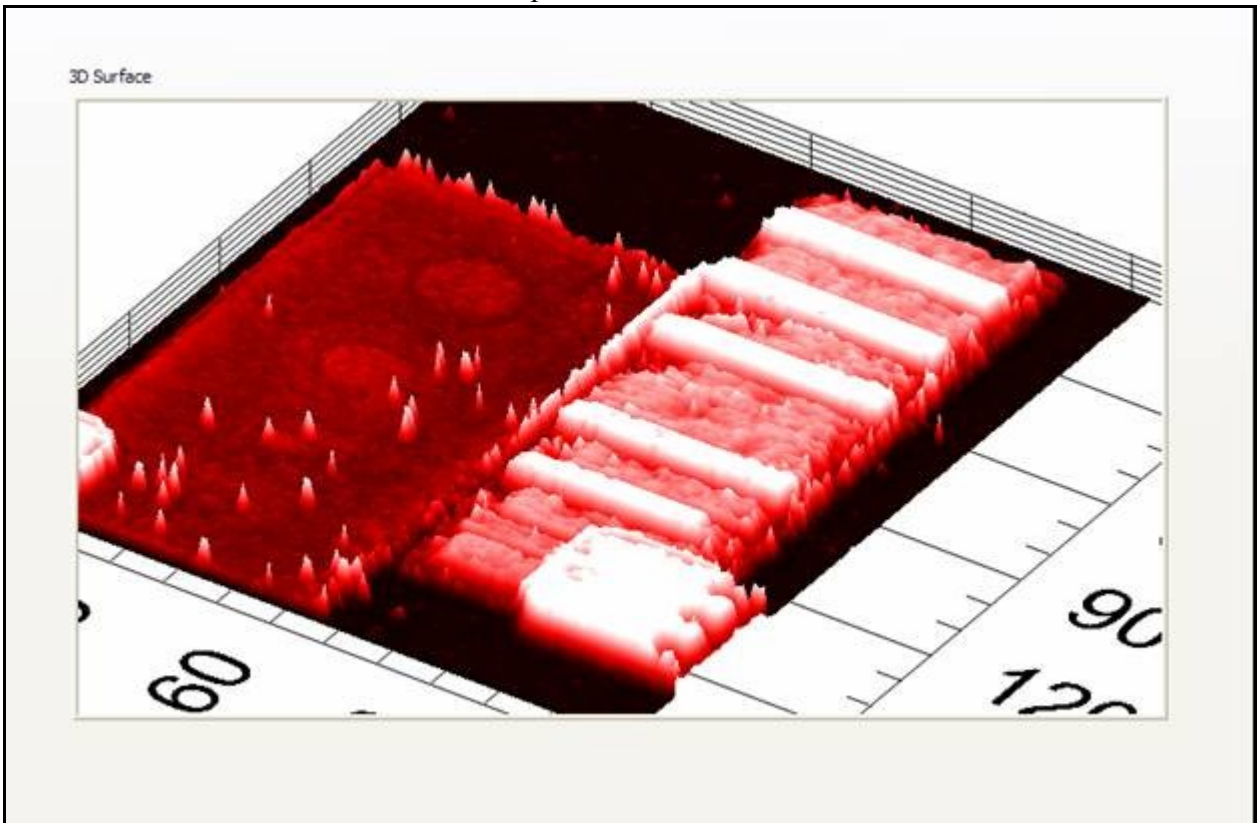
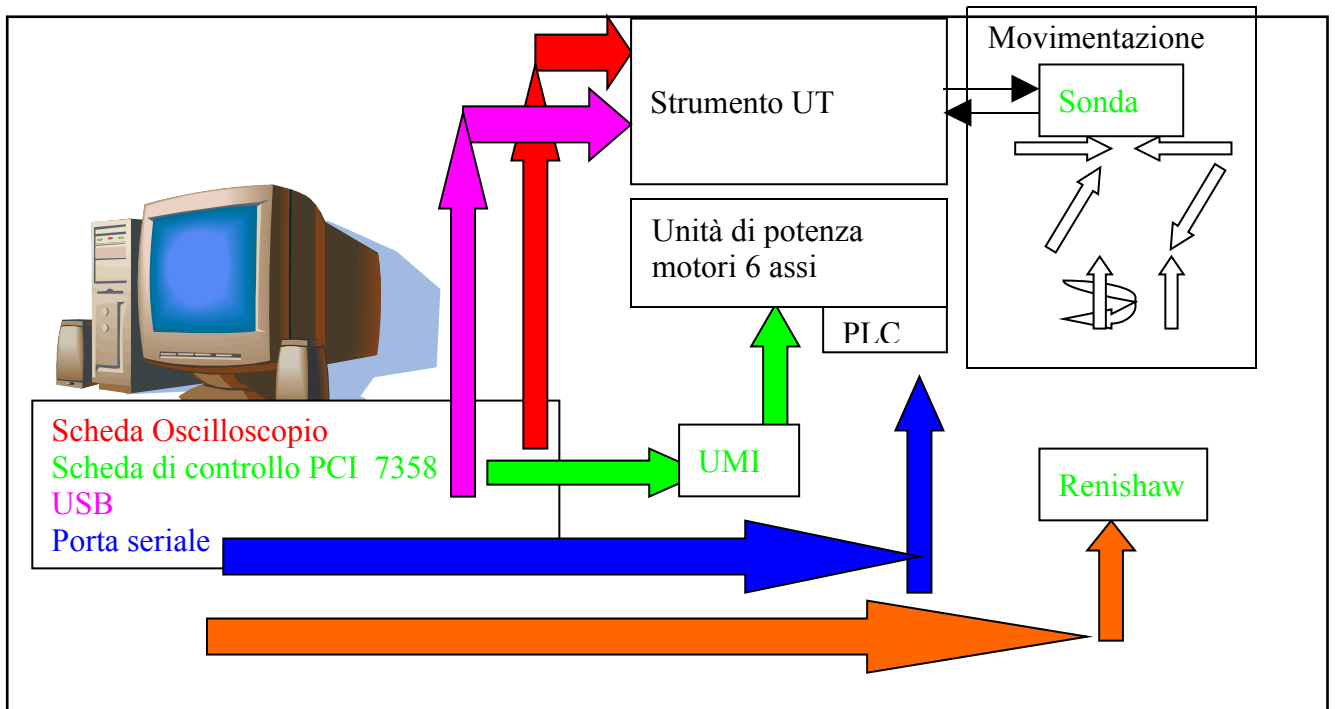


Fig. 15. Mappatura 3D. Visualizzazione in pianta sono più evidenti i difetti in entrambi i campioni

## Descrizione Sistema hardware/software



Schema delle comunicazioni

Il sistema consta di diversi componenti :

1. Sistema di controllo su base PC e software di gestione
2. Servo azionamento e movimentazione
3. Controllo e digitalizzazione UT
4. Comunicazione tramite USB con strumento UT
5. Comunicazione RS232 con PLC di controllo sistema
6. Acquisizione testina Renishaw

Il computer è corredato :

- Scheda controllo assi ( 8 )
- Scheda per acquisizione segnali UT (100MHz con ETS 800 MHz )

Il software di gestione svolge le seguenti attività :

- acquisizione segnali correlati con gli assi motorizzati
  1. Radiofrequenza
  2. Segnale Ampiezza
- elaborazione segnali UT
- Visualizzazione Mappa C-SCAN e A-SCAN in tempo reale
- Banca dati

Programmi Inseguimento di traiettoria

- Acquisizione profili tramite Testina Renishaw

- Calcolo traiettoria da file Catia/STL
- Acquisizione profili tramite Immagine Raster
- Selezione dei profili e della traiettoria
- Esecuzione Traiettoria e acquisizione segnali
- Visualizzazione Mappa C-SCAN e A-SCAN

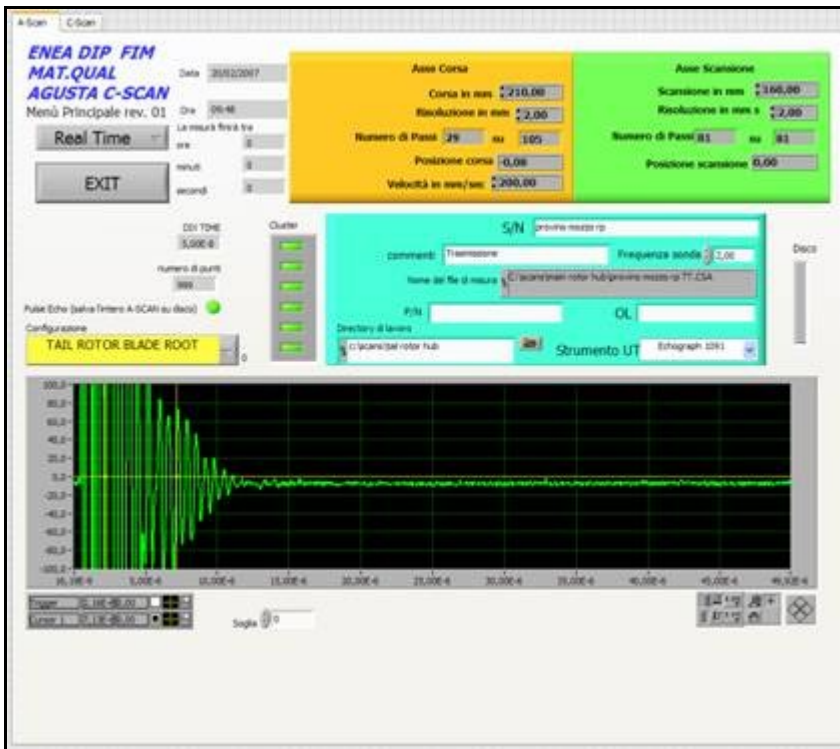


Fig. 16. Gestione Segnale Ultrasonoro

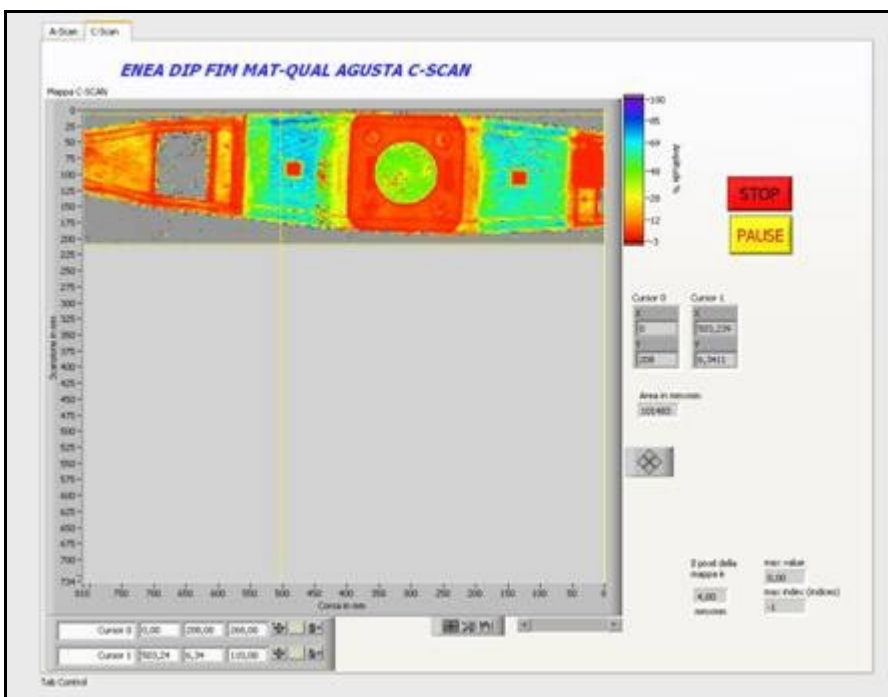


Fig. 17. Mappatura Ultrasonora