

“Nuove tecnologie per l’analisi non intrusiva dei manufatti”

Programma di ricerca

Ingegnerizzazione di prototipi e strumentazione per la diagnostica su manufatti monumentali in materiale lapideo

SIND

Esempi di ispezione automatica con microonde

Renzo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini

Istituto di Scienza e Tecnologie dell’Informazione “Alessandro Faedo”
Rapporto tecnico marzo 2011

Sommario

Il SIND (Sistema per Ispezioni Non Distruttive), è stato dotato di un software per l’ispezione automatica mediante un sensore a microonde. Utilizzando un modulo software l’utente determina l’area ed il passo di scansione; usando il secondo modulo l’utente può visualizzare le mappe C-scan, definite dall’insieme delle misure, o le statistiche dei valori di misura.

Il lavoro riporta il principio di funzionamento e le caratteristiche della sonda, le descrizioni del modo d’impiego del software e alcuni esempi ottenuti impiegando uno scanner di piccole dimensioni, adatto all’impiego in laboratorio; gli esempi riguardano campioni in material plastico e lapideo.

Abstract

The SIND system (System for Non-destructive Inspections), has been provided with a dedicated software for automatic inspections by means of a microwave probe. Using the first software module the scan area and the scan step are determined, while using the other module graphic or numeric representations are obtained, that is C-scan maps, defined by the set of measurements, or statistics of the results.

The report describes a model of the microwave probe and its characteristics, the use of the software and some examples obtained by means of a lab scanner, referring to plastic and lapideous samples.

Indice

Introduzione	3
Descrizione del sensore	4
MODELLO DELL' ANTENNA	4
MODELLO DEL SENSORE.....	5
RISPOSTA SPAZIALE DEL SENSORE	7
PROGETTO DEL SENSORE.....	11
SEGNALE DI MISURA.....	12
<i>Estrazione Di Parametri</i>	13
Apparato di misura	14
PROGRAMMA ACAMW.....	15
PROGRAMMA VISMW	18
<i>C-Scan</i>	20
<i>Statistica</i>	22
ELABORAZIONE D'IMMAGINI.....	22
Esempi di ispezione	24
SONDA A VUOTO	24
<i>Sonda Ferma</i>	25
<i>Sonda In Movimento</i>	28
CAMPIONE P1	32
<i>Prova 1</i>	33
<i>Prova2</i>	35
CAMPIONE A1.....	37
CAMPIONE M1	40
CAMPIONE M2.....	42
<i>Confronto M1 – M2</i>	43
CAMPIONE P4	45
Conclusioni	48
Riferimenti	49

Introduzione

Nel corso delle attività del progetto del Sistema SIND le antenne a patch sono state utilizzate come sensori per esplorare in modo puntuale un campione: la sonda è stata sistemata manualmente sull'oggetto da ispezionare e è analizzato il segnale prodotto dalla sonda, che dipende dalla permittività della zona di materiale a contatto della sonda [1].

Nelle esperienze condotte si impiegavano campioni omogenei ed era quindi sufficiente una singola misura per caratterizzare il campione. Le prove eseguite impiegando campioni con caratteristiche note hanno dimostrato la possibilità di impiegare la sonda a microonde per misurare la permittività di differenti campioni e risalire alle variazioni strutturali: in particolare, ispezionando campioni di resina con porosità indotta in modo controllato si sono ottenuti risultati in buon accordo col modello teorico.

Si è quindi deciso di realizzare un software per l'ispezione di area di un campione, costituita dalle misure ottenute con traslazioni controllate della sonda.

In questo modo d'ispezione la sonda è alloggiata su un dispositivo elettromeccanico di traslazione su un piano ed il programma, in base ai comandi inseriti dall'utente, provvede a spostare la sonda nelle direzioni x ed y col passo predeterminato e, ricavare il segnale di misura in ciascuna posizione e a costruire una mappa dei parametri ricavati analizzando ciascun segnale.

Per la scrittura dei programmi e la struttura dei file ricavati da ogni ispezione si sono seguiti i criteri definiti per il SIND [6]: in particolare, sono stati realizzati un programma che provvede all'acquisizione del segnale, all'analisi del segnale ed al salvataggio su file dei parametri estratti dal segnale, ed un programma che legge i file e genera le mappe definite dai parametri. L'impiego dei suddetti programmi è analogo a quello dei programmi sviluppati per l'ispezione di area mediante sonde a ultrasuoni [9].

Per ottenere gli esempi riportati si è impiegato uno scanner xy di dimensioni contenute, adatto all'uso in laboratorio per l'ispezione di piccolo campione.

Descrizione del sensore

Un'antenna a patch è costituita da due lamine metalliche parallele (piano di massa e patch), separate da un substrato dielettrico (vedi Figura 1).

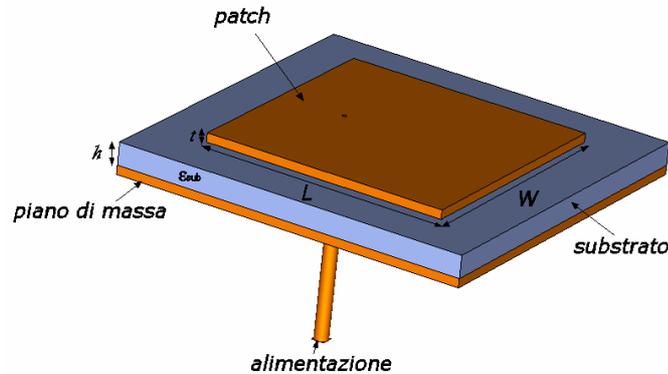


Figura 1. Geometria di un'antenna a patch alimentata mediante cavo coassiale.

L'antenna a patch rientra nella classe delle antenne broadside radiator: l'irradiazione massima si ottiene lungo l'asse z perpendicolare all'elemento radiante (piano xy), la frequenza di risonanza f_r dipende dalla geometria del patch (L , W , h), dalla permittività del substrato (ϵ_{sub}), dallo spessore delle metallizzazioni (t) e dalla permittività del semispazio a contatto con il patch (ϵ_{mat}).

Modello dell'antenna

Il comportamento dell'antenna a patch può essere assimilato a quello di una linea a microstriscia (vedi Figura 2), composta da due conduttori (piano di massa e pista metallica).

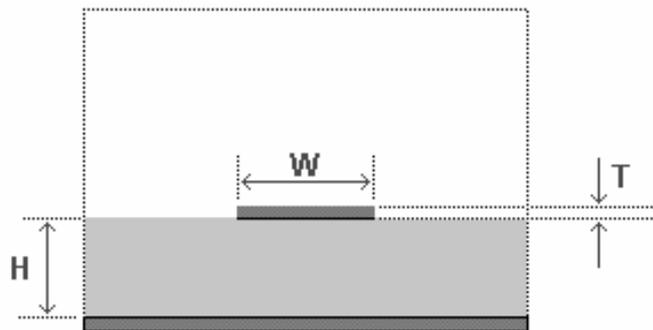


Figura 2. Linea equivalente alla microstriscia per un modo quasi-TEM.

La microstriscia risona ad una frequenza che dipende dalle dimensioni della striscia e dalle permittività del substrato e del materiale a contatto con la pista; la frequenza di risonanza è data da [1]:

$$f_{rmat} = \frac{c}{2(L + 2\Delta l)\sqrt{\epsilon_{eqmat}}} \quad (1)$$

dove ϵ_{qma} è la permittività equivalente, determinata dalle permittività del substrato e del materiale e dalle dimensioni della microstriscia e $\Delta l \cong h$. Si ha:

$$\epsilon_{eqmat} = \frac{\epsilon_{sub} + \epsilon_{mat}}{2} + \frac{\epsilon_{sub} - \epsilon_{mat}}{2} F(W/h) - C' \quad (2)$$

con

$$F(W/h) = (1 + 12h/W)^{-1/2}, \quad C' = \frac{\epsilon_{sub} - \epsilon_{mat}}{4.6} \cdot \frac{t/h}{\sqrt{W/h}}$$

Restando costanti la geometria e la permittività del substrato, la frequenza di risonanza dipende dalla permittività del materiale.

Se il semispazio a contatto con il patch contiene aria ($\epsilon_{qmat}=1$), si ha la frequenza di risonanza a vuoto della striscia:

$$f_{r0} = \frac{c}{2(L + 2\Delta l)\sqrt{\epsilon_{eq0}}} \quad (3)$$

Si ha quindi:

$$\frac{f_{mat}}{f_{r0}} = \sqrt{\frac{\epsilon_{eq0}}{\epsilon_{eqmat}}} \quad (4)$$

L'equazione 1 mostra che un'antenna a patch può essere utilizzata per rivelare variazioni di permittività del materiale a contatto col patch; l'equazione 4 mostra che il valore della permittività può essere stimato in base alle misure della frequenza di risonanza a vuoto e sotto carico.

In realtà, le relazioni indicate sono ricavate considerando un modo di propagazione TEM puro e supponendo che le caratteristiche dell'antenna siano determinate in base alla capacità elettrostatica della struttura: esse sono quindi valide solo in maniera approssimata all'interno di un intervallo di frequenze finito.

Modello del sensore

L'antenna a patch impiegata ha una configurazione a $\lambda/2$ e risuona secondo la relazione:

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

L'andamento del campo elettrico può essere associato a quello di una linea di trasmissione terminata su un circuito aperto: le linee di forza del campo elettrico sono perpendicolari ai due conduttori, come richiesto dalle condizioni al contorno; la

distribuzione del campo elettrico è quasi sinusoidale e assume valore massimo sui bordi, mentre nel centro si verifica un'inversione di fase (vedi Figura 3).

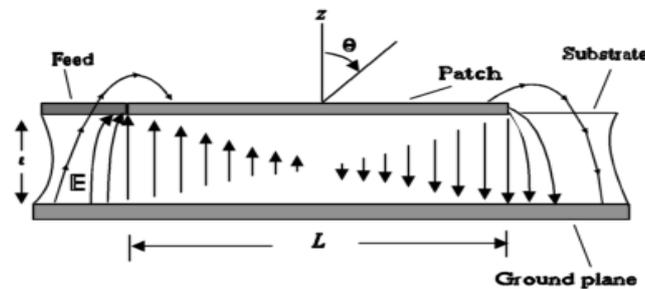


Figura 3. Configurazione del campo elettrico (sezione laterale); l'asse x è perpendicolare all'asse z e giace sul piano del disegno.

Ai bordi del patch si ha un effetto di diffrazione (*fringing field*): i campi fuoriescono nello spazio libero nel verso $z > 0$ per poi rientrare nel substrato nel verso opposto. La separazione di $\lambda/2$ tra un bordo e l'altro permette di ottenere i campi elettrici ai due lati, uguali in modulo, ma sfasati di 180° .

La Figura 4 mostra la simulazione del campo prodotto da un'antenna a patch con substrato in aria e immersa in aria; la Figura 5 mostra la simulazione ottenuta col patch a contatto di una lastra di dielettrico.

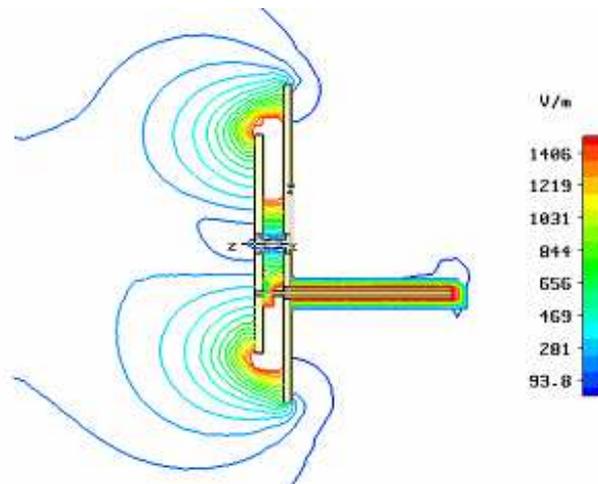


Figura 4. Caso 1 ($\epsilon_{\text{sub}} = 1.0036$, $\epsilon_{\text{mat}} = 1$): linee di forza del campo elettrico nel piano zy .

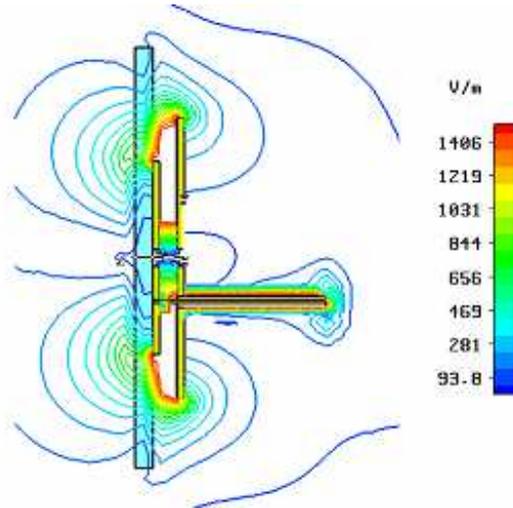


Figura 5. Caso 2 ($\epsilon_{\text{sub}} = 1.0036$, $\epsilon_{\text{mat}} = 5$): linee di forza del campo elettrico nel piano zy.

Risposta spaziale del sensore

L'uscita U di un generico sensore è funzione dell'eccitazione E ; se il sensore è esteso, l'eccitazione è data da

$$E = \iint_A S(x, y) I(x, y) dx dy$$

dove S è la sensibilità del sensore, I è la grandezza che influenza il sensore e A è l'area sensibile. Di solito S è costante all'interno di un'area sostanzialmente determinata dalle dimensioni del sensore, e nulla al di fuori.

Quando il sensore è traslato in modo opportuno per ricavare una mappa di I , la grandezza effettivamente rivelata è data dal prodotto di convoluzione di S per I : ciò significa che I viene filtrata spazialmente con un filtro di tipo passa-basso, la cui banda è inversamente proporzionale all'area sensibile. $S(x, y)$ può essere determinata sperimentalmente quando l'eccitazione è assimilabile ad una funzione $\delta(x, y)$.

Questi concetti possono essere impiegati per descrivere la risposta spaziale di un sensore costituito da un'antenna a patch. In questo caso l'uscita del sensore è data dalla forma del picco di risonanza, l'eccitazione dalla permeabilità del mezzo a contatto del sensore e l'area sensibile dalle zone in cui esiste il campo diffratto, ai bordi del patch.

Considerando per semplicità una sola dimensione, è ragionevole supporre che $S(x)$ abbia l'andamento mostrato in Figura 6: si hanno due picchi in corrispondenza dei bordi del patch alla distanza W .

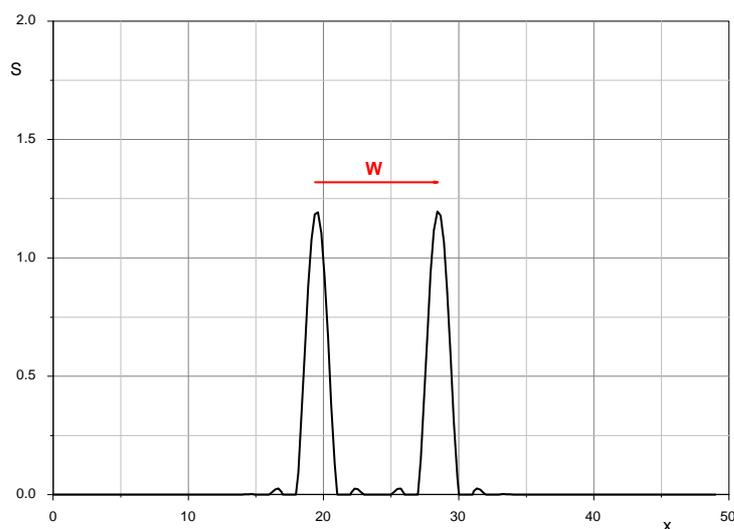


Figura 6. Modello di sensibilità spaziale di un sensore a patch (scale arbitrarie).

Di seguito si riportano i risultati della convoluzione della funzione $F1$, che definisce la sensibilità $S(x)$, con due funzioni $F2$ e $F3$, che definiscono l'eccitazione $I(x)$. Si è posto:

- $F1 = (0.25, 0.25, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.25, 0.25)$: due impulsi larghi 2 punti, distanziati di 7 punti
- $F2 = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$: uno scalino con valore 1 largo 9 punti
- $F3 = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$: uno scalino con valore 1 con lunghezza di 7 punti, adiacente ad uno scalino con valore 2 con lunghezza di 7 punti.

La Figura 7 mostra il risultato della convoluzione di $F1$ con $F2$: in questo caso $I'(x)$ ha una lunghezza di 9 punti ed ha il valore massimo 0.5, poiché uno solo dei due impulsi di $F1$ è sovrapposto a $F2$.

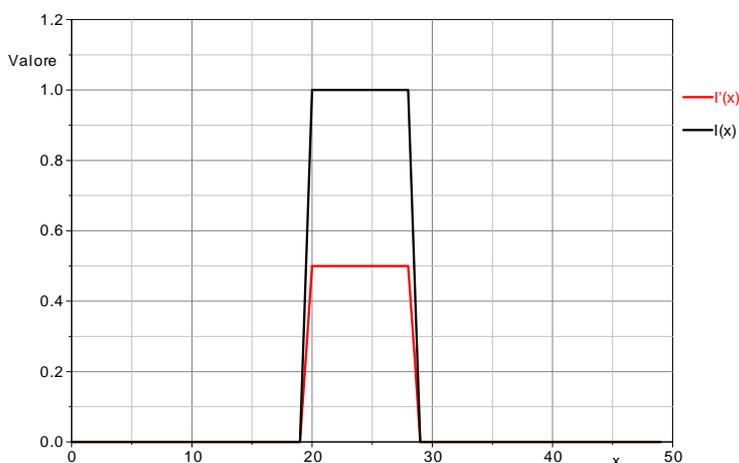


Figura 7. Risultato della convoluzione di $F1$ con $F2$.

La Figura 8 mostra il risultato della convoluzione di F1 con F3: in questo caso $I'(x)$ ha una lunghezza di 16 punti e si notano tre valori distinti (0.5, 2.5 e 1) dovuti al fatto che la coppia d'impulsi di F1 non è mai sovrapposta ad uno solo dei due livelli di F3.

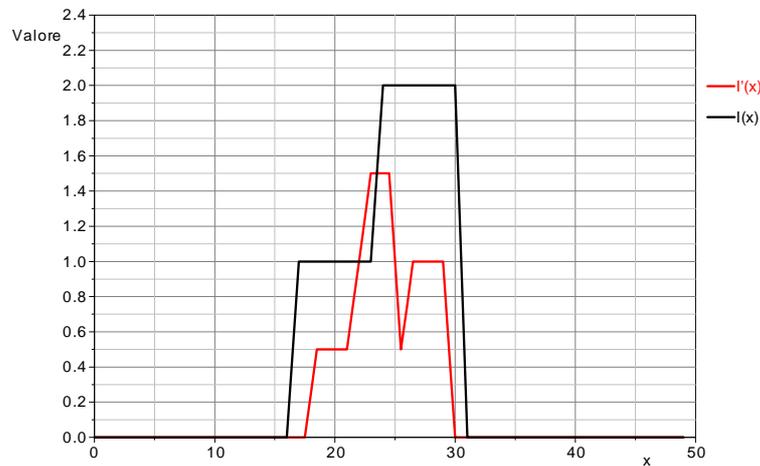


Figura 8. Risultato della convoluzione di F1 con F3.

Questo esempio mostra che si possono avere artefatti di misura se la sonda viene usata per ispezionare oggetti in cui si abbiano variazioni di permeabilità in aree minori di quella del sensore.

La risposta del sensore a patch può essere definita mediante parametri che caratterizzano il picco di risonanza. In particolare, si può considerare la frequenza di risonanza determinata dalla permittività del materiale ispezionato, che è data (vedi

eq. 1) da
$$f_{mat} = \frac{a}{\sqrt{\epsilon_{mat}}}$$

Posto $\epsilon_{mat}(x) = I'(x)$ e prendendo i valori degli esempi sopra descritti si ottengono le variazioni della frequenza di risonanza mostrate in Figura 10 e Figura 11.

Le barre verticali nelle figure individuano rispettivamente il campione definito da F2 e quello composito definito da F3: l'artefatto di misura riscontrabile in Figura 8 è osservabile anche in Figura 11.

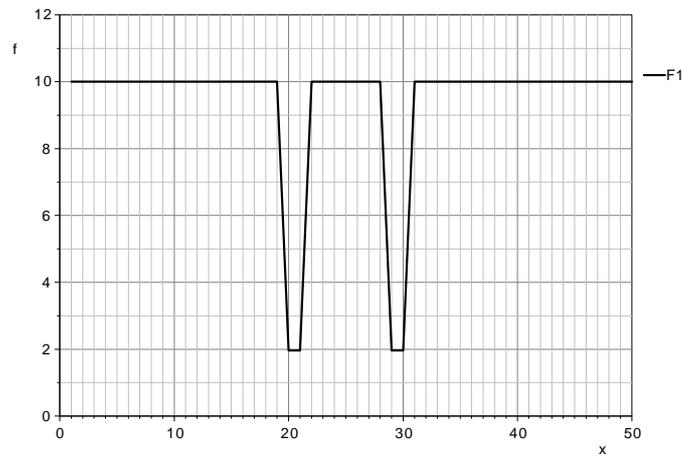


Figura 9. Variazione della frequenza nella scansione di una delta (scale arbitrarie).

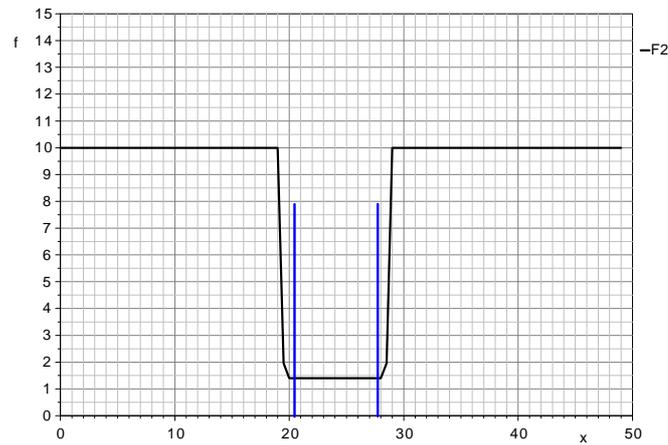


Figura 10. Variazione della frequenza nella scansione di F2 (scale arbitrarie).

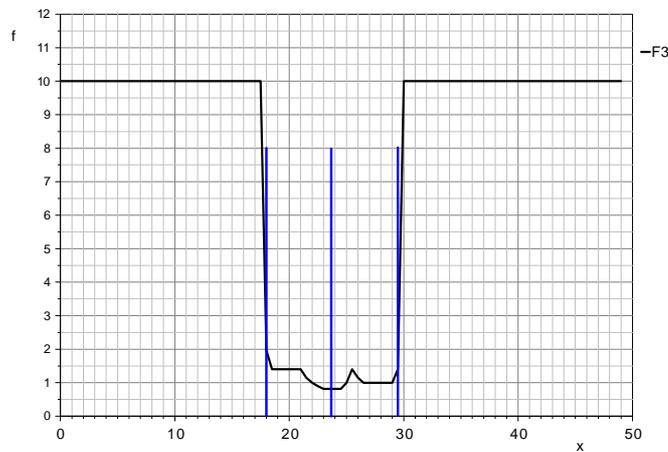


Figura 11. Variazione della frequenza nella scansione di F2 (scale arbitrarie).

Progetto del sensore

Il sensore utilizzato per le misure è un'antenna a patch a $\lambda/2$, progettata mediante un CAD elettromagnetico (MWS-CST). [3]

Il patch ha forma quadrata ($L/W \cong 1$), è alimentato con cavo coassiale a 50Ω . E risona nella banda ISM

Si ha $W = 55 \text{ mm}$ e $t = 2 \text{ mm}$; il patch e il piano di massa sono connessi mediante un supporto dielettrico a bassa permittività (vedi Figura 12).

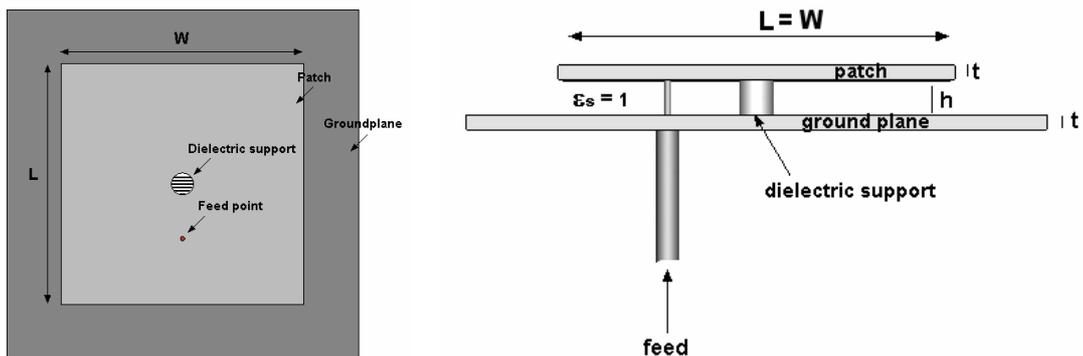


Figura 12. Vista frontale e laterale della struttura del sensore.

La Figura 13 mostra i risultati della simulazione dell'antenna con substrato in aria impiegata per le ispezioni di seguito riportate, nella condizione a vuoto.

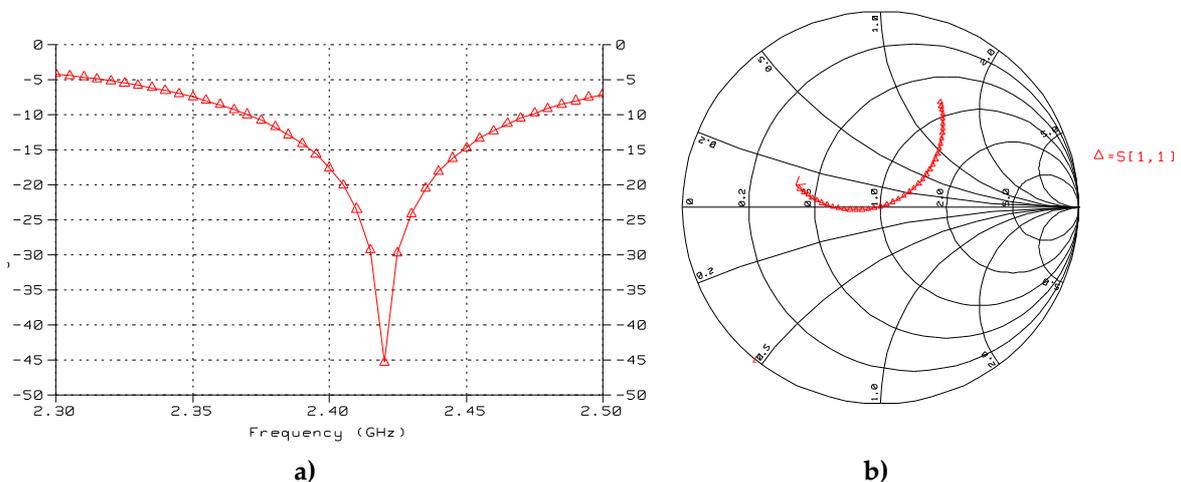


Figura 13. Parametri S relativi alla simulazione dell'antenna. a) modulo del coefficiente di riflessione in scala logaritmica; b) carta di Smith.

Nel grafico a), che rappresenta il modulo del coefficiente di riflessione, si può notare il tipico comportamento risonante del sensore, con unico picco di assorbimento. Alla frequenza di risonanza, pari a circa 2.42 GHz , si ottiene il massimo adattamento di impedenza, come si vede dalla curva nella carta di Smith (grafico b), che passa per il punto (1.0) .

Segnale di misura

Il sensore a patch è alimentato con un segnale sinusoidale di ampiezza costante e frequenza variata linearmente in un intervallo predefinito: il segnale di misura è costituito dall'ampiezza del segnale $V_A(\omega)$ riflesso [4]. La Figura 14 mostra lo schema a blocchi del circuito impiegato.

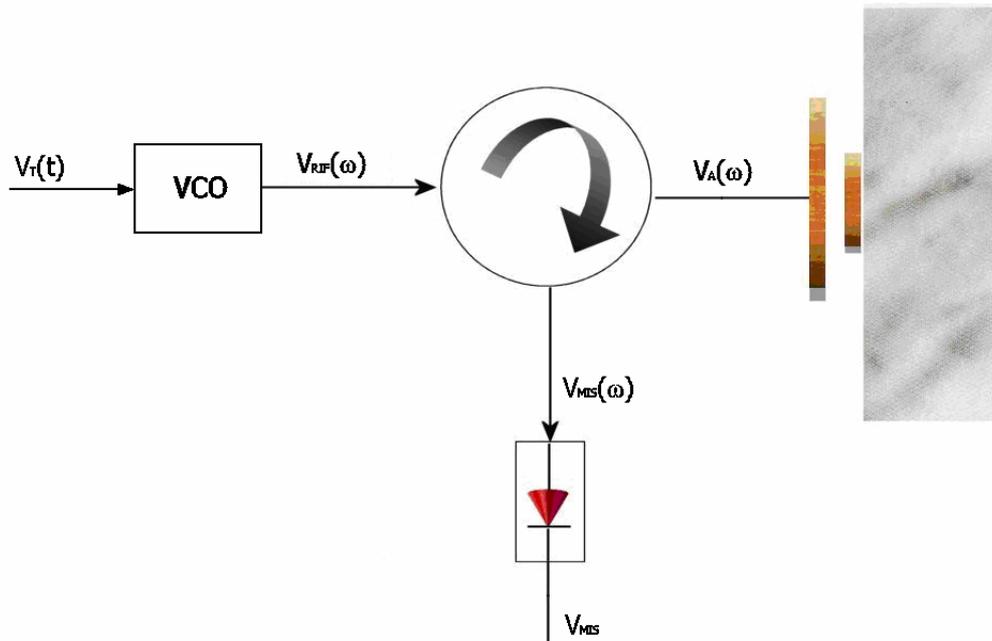


Figura 14. Schema semplificato del circuito usato per la determinazione del segnale di misura del sensore.

Il circuito è costituito da:

- un oscillatore a frequenza controllata, pilotato dalla tensione V_T , che fornisce una tensione sinusoidale $V_{RIF}(\omega)$
- un circolatore, che invia all'antenna il segnale $V_A(\omega)$ proporzionale $V_{RIF}(\omega)$, e fornisce il segnale $V_{MIS}(\omega)$, proporzionale al segnale riflesso dall'antenna
- un diodo rivelatore, che produce un segnale V_{MIS} con valore medio eguale all'ampiezza di $V_{MIS}(\omega)$.

Estrazione di parametri

Il segnale di misura viene digitalizzato ed elaborato per estrarne i parametri caratteristici [5].

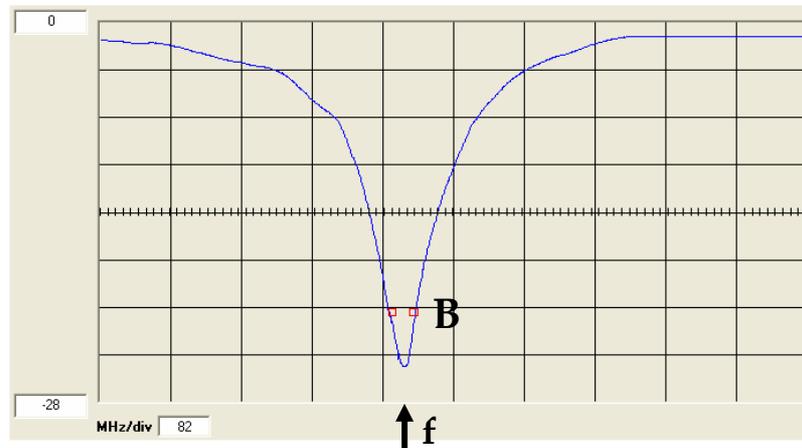


Figura 15. Definizione dei parametri di misura.

Vengono così determinati (vedi Figura 15):

- A = ampiezza del minimo del segnale (in dB)
- f = frequenza del minimo del segnale (in GHz)
- B = banda a 3dB, intervallo di frequenza tra i due punti del segnale, a destra e a sinistra del minimo, con ampiezza superiore di 3 dB a quella del minimo (in MHz)
- f_c = frequenza centrale dell'intervallo di banda 3 dB (in GHz).

Apparato di misura

Le misure automatiche mediante la sonda a microonde sono eseguite mediante il sistema SIND [4]: l'apposito software di acquisizione provvede a spostare la sonda nei punti di misura e ad acquisire il segnale prodotto dal sensore.

La sonda è montata su un carrello xy (vedi Figura 16), che si muove con un passo p , definito dall'utente, all'interno dell'area di scansione, anch'essa definita. Ciascun asse è azionato da un motore passo-passo; lo spostamento elementare è di 1 mm, la corsa di 200 mm.

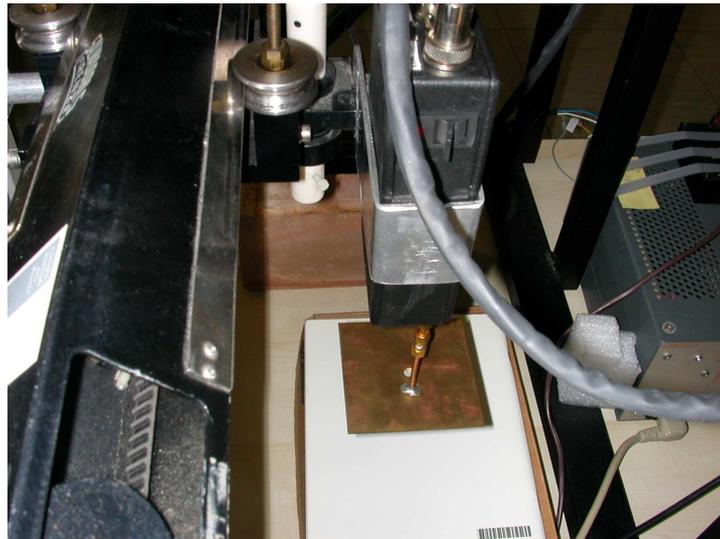


Figura 16. Vista del carrello xy con la sonda a microonde.

Il segnale è acquisito mediante i moduli mostrati in Figura 17.

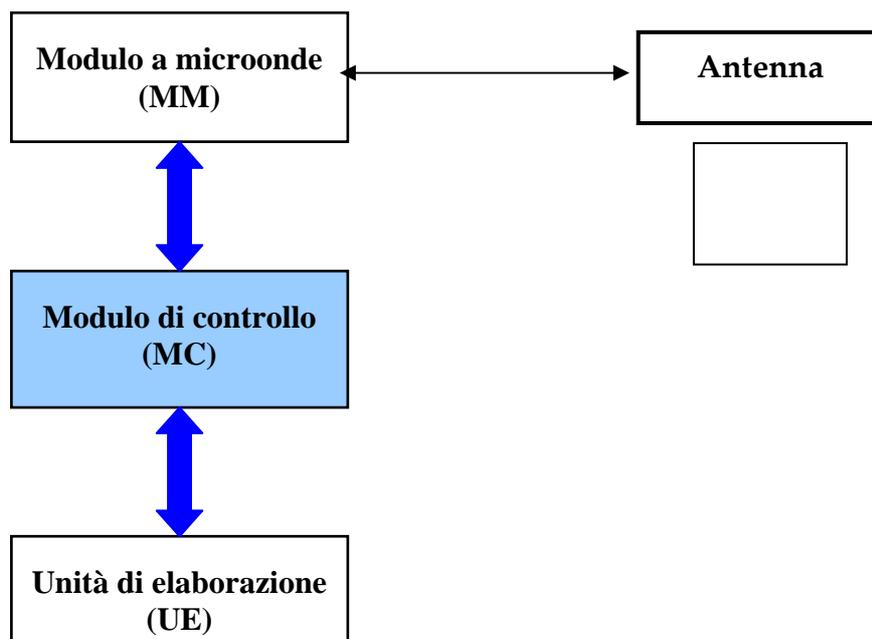


Figura 17. Diagramma a blocchi della struttura per l'ispezione a microonde.

Il Modulo a microonde (MM) provvede a generare il segnale di pilotaggio dell'antenna in base ai comandi ricevuti dal modulo di controllo (MC) e ad inviare ad esso il corrispondente segnale di misura V_{MIS} .

Il Modulo di controllo (MC) provvede all'interpretazione dei comandi ricevuti dall'unità di elaborazione (UE), all'esecuzione delle operazioni del ciclo di misura definite dal programma ed alla trasmissione dei dati ad UE.

L'Unità di elaborazione (UE) provvede alla gestione di MC, allo scaricamento dei dati di misura provenienti da MC, alla loro elaborazione, alla presentazione dei risultati in forma grafica e all'archiviazione di dati, risultati e informazioni ausiliarie.

Il software di elaborazione è costituito da due programmi, uno per l'acquisizione dei dati e l'altro per la loro rappresentazione. I programmi sono stati scritti secondo le impostazioni definite in [6] e sono quindi in grado di creare o leggere file con una struttura particolare.

Per l'ispezione mediante ultrasuoni sono state realizzate due procedure, una costituita da tre fasi distinte (acquisizione dei dati, elaborazione dei dati, visualizzazione dei risultati), l'altra da due fasi (acquisizione ed elaborazione dei dati, visualizzazione dei risultati); per l'ispezione mediante microonde si ha un solo modo di elaborazione dei dati e si è quindi realizzata una procedura costituita da due moduli.

Programma AcaMW

Questo programma comprende una fase interattiva di set-up, in cui l'utente definisce le modalità di acquisizione, ed una fase automatica, in cui il software provvede a spostare il carrello nelle posizioni di misura, acquisire il segnale prodotto dal sensore, elaborarlo per ricavare i parametri caratteristici.

All'inizio il programma attiva il controllo dello scanner e porta il carrello all'origine. Si ottiene quindi la schermata mostrata in Figura 18 che, mediante la finestra **Posizione carrelli XY**, consente all'utente di spostare la sonda al fine di individuare l'area da esplorare.

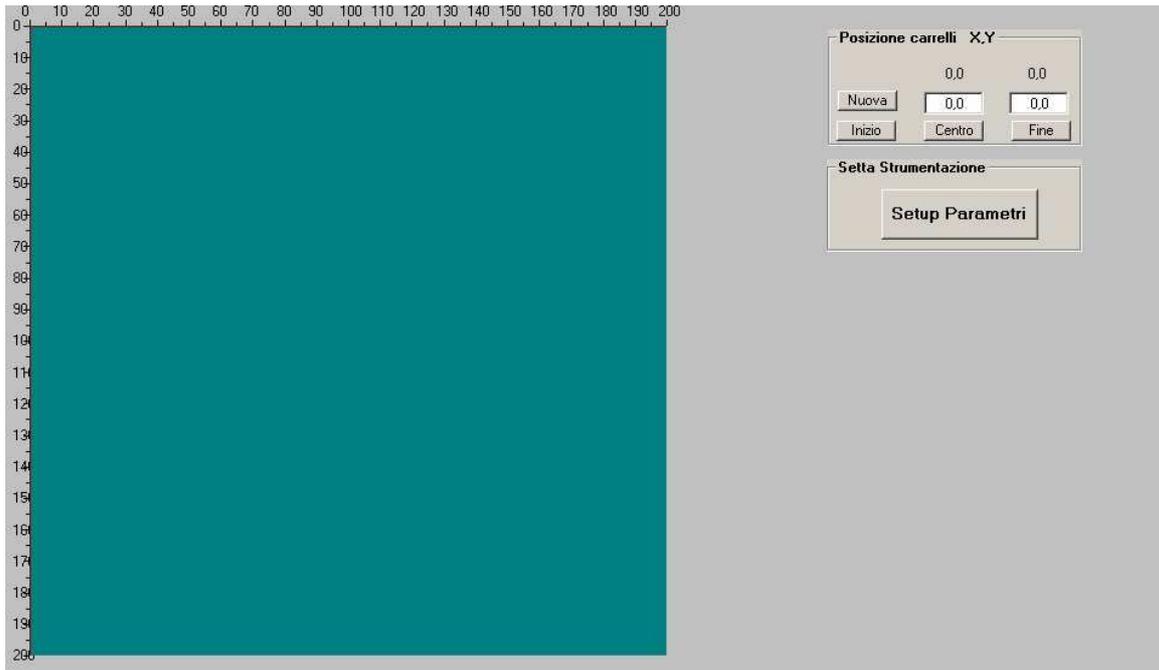


Figura 18. AcaMW. Prima schermata di setup.

Mediante il pulsante **Setup Parametri** si ottiene la schermata mostrata in Figura 19, mediante la quale si definiscono le condizioni di acquisizione del segnale di figura.

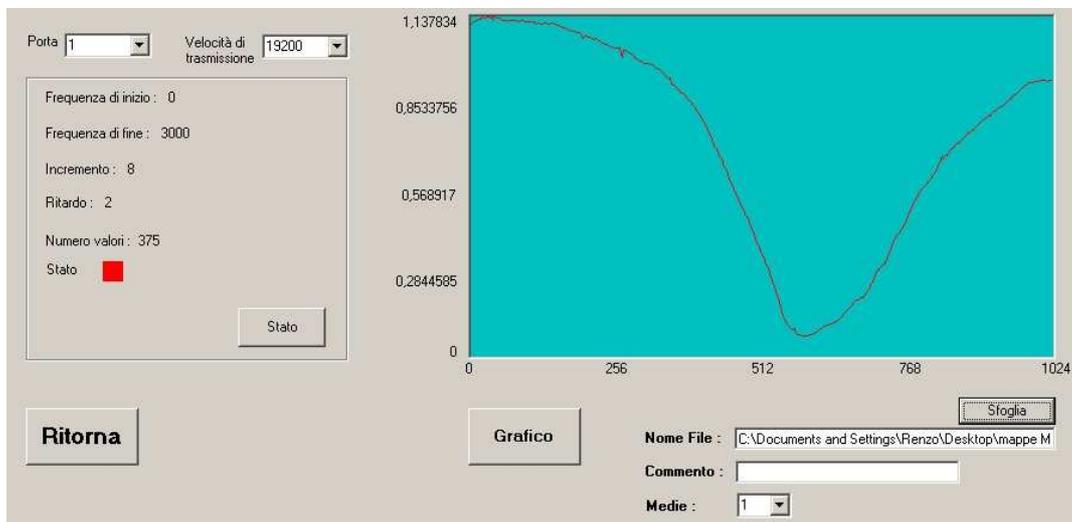


Figura 19. AcaMW. Seconda schermata di setup.

Col pulsante **Stato** si attiva il collegamento con il Modulo di Controllo della sonda. Utilizzando gli appositi campi l'utente definisce:

Frequenza d'inizio

I1, indice numerico ≥ 0 che definisce l'inizio della spazzata in frequenza

Frequenza di fine

I2, indice numerico ≤ 4096 che definisce l'inizio della spazzata in frequenza

Incremento

I3, indice numerico che definisce il passo di incremento della spazzata

Ritardo

Indice numerico del tempo di variazione da un valore di frequenza al successivo

La massima escursione in frequenza del VCO è tra $f_0 = 1930$ MHz e 2785 MHz, con incrementi elementari $\Delta f = 0,21$ MHz. La spazzata effettiva può essere ridotta tra $f_1 = f_0 + I_1 \times \Delta f$ e $f_2 = f_0 + I_2 \times \Delta f$; con incremento $A = I_3 \times \Delta f$: il numero N di valori è quindi dato da $N = \frac{I_2 - I_1}{A}$.

Mediante il pulsante **Grafico** si ottiene il grafico del segnale di misura e si possono quindi eventualmente modificare i parametri inseriti in precedenza.

Mediante il pulsante **Sfoglia** si apre il file d'uscita, in cui si può inserire un eventuale commento.

Nel campo **Medie** si seleziona il numero di letture da mediare per ogni acquisizione.

Mediante il pulsante **Sfoglia** si ottiene la terza schermata di set-up, mostrata in Figura 20.

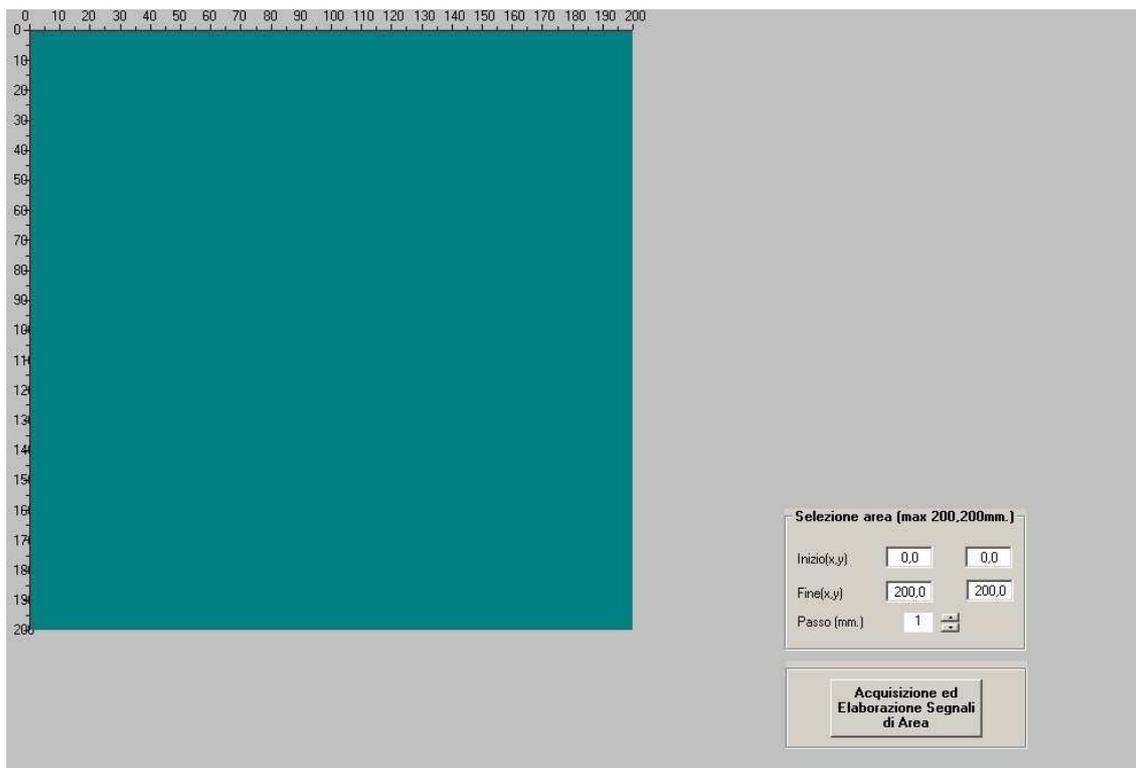


Figura 20. AcaMW. Terza schermata di setup.

Mediante i campi contenuti nella finestra **Selezione Area** l'utente determina le coordinate iniziali e finali di scansione per ciascun asse ed il passo di scansione, eguale per entrambi gli assi: la massima dimensione della matrice di scansione è 200×200 .

Col pulsante **Acquisizione ed Elaborazione segnali di area** si attiva la fase automatica: il programma inizia un ciclo in cui sposta il carrello alla posizione di misura, acquisisce il segnale, ne estrae i parametri di misura e li inserisce nel file d'uscita insieme con le relative coordinate xy; nel file vengono inserite anche le informazioni ausiliari, che riportano le impostazioni di set-up.

Durante l'acquisizione viene aperta una finestra in cui viene mostrato il grafico del segnale acquisito; al termine della scansione compare il pulsante **Fine** per l'uscita dal programma (vedi Figura 21).

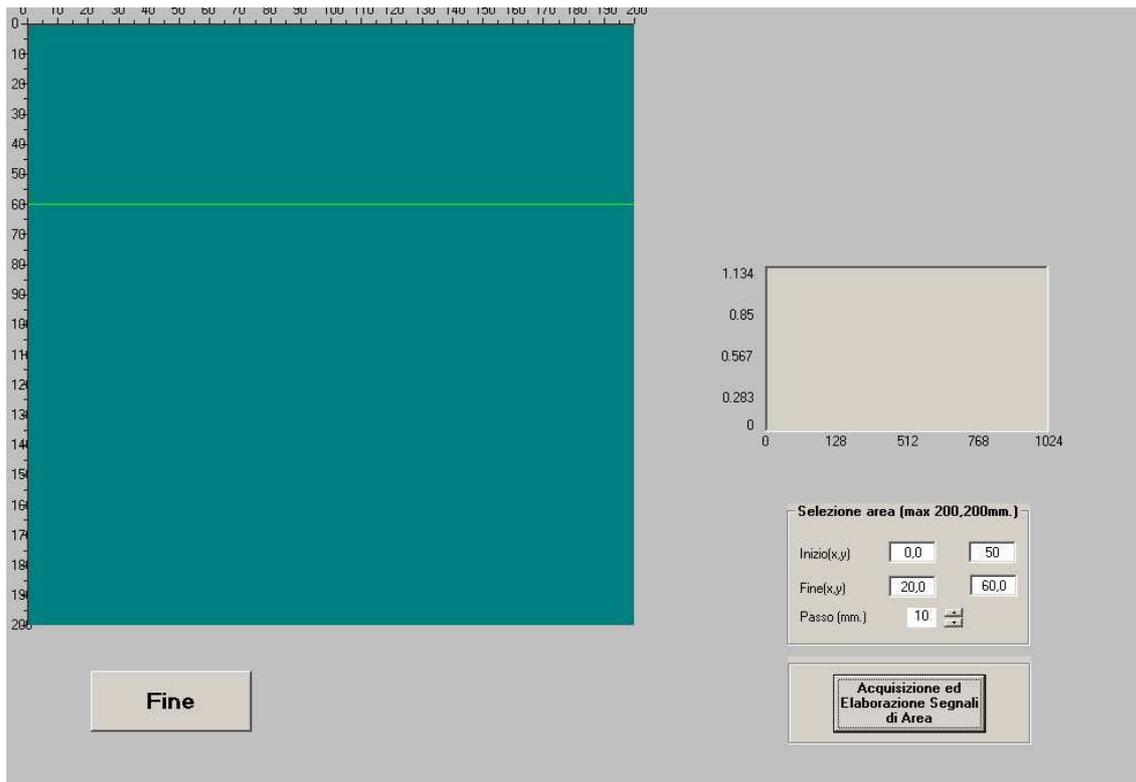


Figura 21. AcaMW. Schermata finale.

Programma VisMW

Questo programma consente di ottenere una rappresentazione numerica o pittorica dei parametri estratti dai dati di misura nella fase di acquisizione eseguita col modulo AcaMW.

All'inizio il programma chiede il nome del file di aprire e la selezione della data in cui i dati sono stati elaborati; per simmetria con la procedura per i segnali a ultrasuoni si è mantenuta questa impostazione anche se in questa applicazione, come già detto, si ha un'unica data in quanto l'elaborazione dei dati è contemporanea alla loro elaborazione.

Dopo la selezione di nome del file e data dei risultati si ottiene la schermata mostrata in Figura 22. VisMW. Schermata di riepilogo.

Commento 0		Commento 1		<u>Proprietà dei Risultati Selezionati</u>	
<input type="text"/>		<input type="text"/>		X Iniziale Finestra (mm.)	<input type="text" value="0"/>
Modalità	<input type="text" value="MW"/>	Frequenza di inizio	<input type="text" value="0"/>	X Finale Finestra (mm.)	<input type="text" value="200"/>
Tipo Misura	<input type="text" value="Scanner-DG"/>	Frequenza di Fine	<input type="text" value="3000"/>	Y Iniziale Finestra (mm.)	<input type="text" value="80"/>
Risoluzione	<input type="text" value="750"/>	Intervallo Campion.	<input type="text" value="4"/>	Y Finale Finestra (mm.)	<input type="text" value="160"/>
Numero Misure	<input type="text" value="697"/>	Frequenza di inizio MHz	<input type="text" value="1930"/>	Passo Scansione (mm.)	<input type="text" value="5"/>
Medie	<input type="text" value="2"/>	Frequenza di Fine MHz	<input type="text" value="2556"/>		
Numero Colonne	<input type="text" value="41"/>	Int. Camp. Freq. MHz	<input type="text" value="0.835"/>		
Numero Righe	<input type="text" value="17"/>				
Date dei Risultati					
<input type="text" value="27/01/2011 11.09.20"/>					
Visualizzazione Risultati					
<input checked="" type="radio"/> C-Scan <input type="radio"/> Statistica <input type="button" value="Seleziona"/>					
					<input type="button" value="Fine"/>

Figura 22. VisMW. Schermata di riepilogo.

Questa schermata riporta tre colonne di informazioni.

Nella colonna a sinistra sono riportate informazioni sulla modalità di acquisizione e sulle dimensioni della matrice dei dati di misura.

Nella colonna centrale sono riportate le impostazioni di set-up relative al controllo della sonda a microonde: per l'intervallo e l'incremento di frequenza sono mostrati gli indici selezionati dall'utente ed i corrispondenti valori assoluti.

Nella colonna di destra sono riportate le impostazioni di set-up relative al controllo del carrello xy, che definiscono area e passo di scansione.

L'area **Visualizzazione Risultati** consente di scegliere uno dei due modi di rappresentazione dei parametri.

C-scan

Con la selezione C-scan si ottiene la schermata di Figura 23. VisMW. C-scan., in cui si ha la rappresentazione pittorica dei parametri ricavati dai segnali di misura.

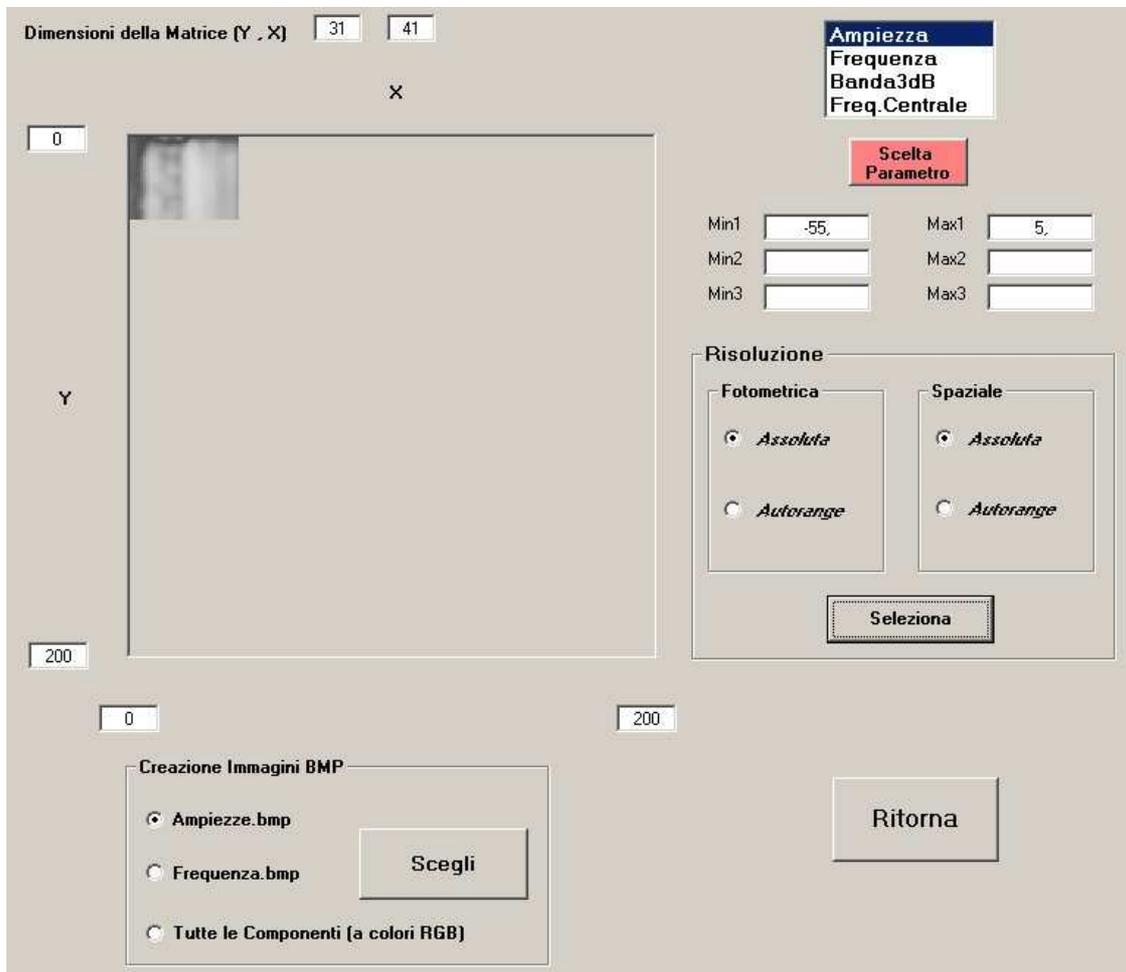


Figura 23. VisMW. C-scan.

La mappa dei valori è ottenuta mediante la selezione di un parametro nell'apposita finestra, il tasto **Scelta Parametro**, la selezione dei modi di **Risoluzione** ed il tasto **Seleziona**.

La finestra **Risoluzione** consente di definire l'aspetto dell'immagine rappresentata (**Risoluzione fotometrica**) e la sua dimensione (**Risoluzione spaziale**).

La luminanza L dei pixel dell'immagine è funzione lineare dei valori V del parametro selezionato, tra gli estremi $Min1$ e $Min2$ riportati nei corrispondenti campi. Si hanno le seguenti relazioni:

$$\begin{array}{ll} \textit{Assoluta} & L = 0 \text{ per } V = \text{min predefinito} \quad L = 255 \text{ per } V = \text{max predefinito} \\ \textit{Autorange} & L = 0 \text{ per } V = \text{min dei valori} \quad L = 255 \text{ per } V = \text{max dei valori} \end{array}$$

Con la scelta **Risoluzione Fotometrica Autorange** si ha dunque un'esaltazione del contrasto dell'immagine.

Si noti che, in base al criterio adottato, la luminanza di un'immagine è più bassa al decrescere del valore della frequenza di risonanza, al decrescere del valore dell'ampiezza del segnale (e quindi al crescere del picco di risonanza) e al decrescere della larghezza di banda a 3dB.

La dimensione dell'immagine è determinata dalla matrice dei valori di acquisizione, che può essere costituita al massimo da 200×200 elementi. Si possono avere due rappresentazioni:

<i>Assoluta</i>	Dimensione x proporzionale al numero di colonne della matrice	Dimensione y proporzionale al numero di righe della matrice
<i>Autorange</i>	Dimensione x = 200	Dimensione y = 200

Con la scelta **Risoluzione Spaziale Autorange**, significativa per matrici con dimensioni minori del massimo, si ha dunque uno zoom eventualmente asimmetrico dell'immagine.

E' possibile anche ottenere una rappresentazione simultanea di due o tre mappe mediante immagini a due o tre componenti. I valori del primo parametro selezionato sono rappresentati mediante la colorazione in rosso, quelli del secondo in verde e quelli del terzo in blu; si possono scegliere risoluzioni di tipo **Assoluto** o **Autorange**.

L'interfaccia grafica consente anche di esportare le mappe mediante la creazione di file immagine nel formato bitmap. Si possono ottenere immagini monocromatiche del parametro Ampiezza o del parametro Frequenza, oppure immagini tricromatiche di Ampiezza (R), Frequenza (G) e Banda (B). Le immagini sono salvate nella modalità di Risoluzione Fotometrica e Spaziale Autorange.

Col pulsante **Ritorna** si passa alla schermata di Figura 24, che consente di passare all'altro modo di rappresentazione.



Figura 24. VisMW. Schermata di selezione.

Statistica

Con la selezione **Statistica** si ottiene la schermata di Figura 25, in cui si ha la rappresentazione numerica dei parametri ricavati dai segnali di misura.

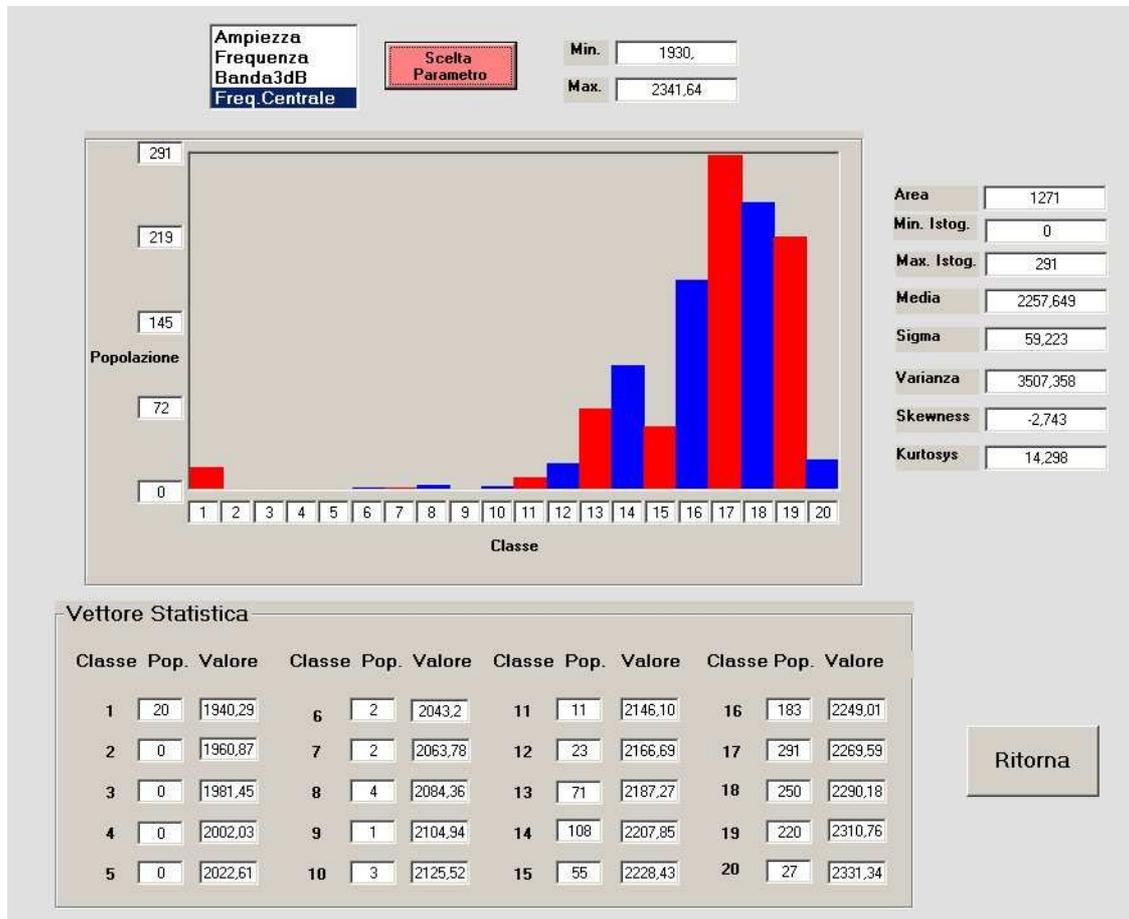


Figura 25. VisMW. Statistica.

Una volta selezionato il parametro, la schermata riposta il minimo e massimo dei valori, l'istogramma calcolato suddividendo in 20 classi l'intervallo (max – min), le descrizioni dell'istogramma (popolazioni delle classi, area, etc.) ed i momenti statistici (media, deviazione standard, etc.) calcolati sull'insieme dei valori.

Elaborazione d'immagini

Le immagini bitmap prodotte col programma VisMW sono state elaborate col software Matrix Inspector, al fine di ottenere profili di riga, istogrammi e individuazione di blob.

La Tabella 1 riporta le assegnazioni dei livelli fotometrici nelle immagini elaborate.

colore	parametro	scala	min	max	livello
R	Ampiezza minima del segnale	lineare in dB	-55 dB	5 dB	0.2 dB
G	Frequenza del minimo	lineare	1930 MHz	2400 MHz	1.8 MHz
B	Banda a 3 dB sopra il minimo	lineare	1 MHz	500 MHz	1.9 MHz

Tabella 1. Corrispondenza tra parametri del segnale e livelli RGB.

I grafici sono stati tracciati con lo stesso criterio di assegnazione dei colori; si ha dunque:

- **R** Ampiezza
- **G** Frequenza
- **B** Banda 3 dB.

Sulle immagini delle mappe sono state individuate le blob corrispondenti alle zone più scure; si è quindi selezionata la scelta Foreground Black, e si determinata la soglia di binarizzazione (Threshold). Dal conteggio sono state escluse le blob piccole, causate dal rumore, (Min Area = 20).

Esempi di ispezione

Sono stati eseguiti due modi d'ispezione automatica a microonde:

- sonda a vuoto, per determinare le fonti di rumore
- sonda sotto carico, per ricavare la risposta del sensore.

Nel secondo modo sono stati ispezionati i campioni descritti in Tabella 2.

Campione	Descrizione
P1	Provetta in plastica con \varnothing 15 mm, riempita d'acqua
A1	Piastrella di allumina di 10 cm \times 10 cm \times 1 cm
M1	Piastra di marmo bianco di 300 mm \times 150 mm \times 46 mm
M2	Piastra di marmo grigio di 300 mm \times 150 mm \times 46 mm
P4	Lastra di perspex di 180 mm \times 100 mm con tre sezioni: s1 = 1 cm (6 cm); s2 = 3 cm (6 cm); s3 = 1 cm +1cm (vuoto) + 1 cm (5,8 cm)

Tabella 2. Descrizione dei campioni esaminati

Le ispezioni sono state fatte mantenendo la sonda a circa 5 mm di distanza dal campione.

Sonda a vuoto

In questo modo d'ispezione la sonda era immersa in aria, e poiché le misure non sono state eseguite in un ambiente anecoico, essa risentiva solo delle riflessioni del segnale sulla struttura meccanica del carrello xy e del banco di supporto. La Figura 26 mostra il tipo di segnale ottenuto.

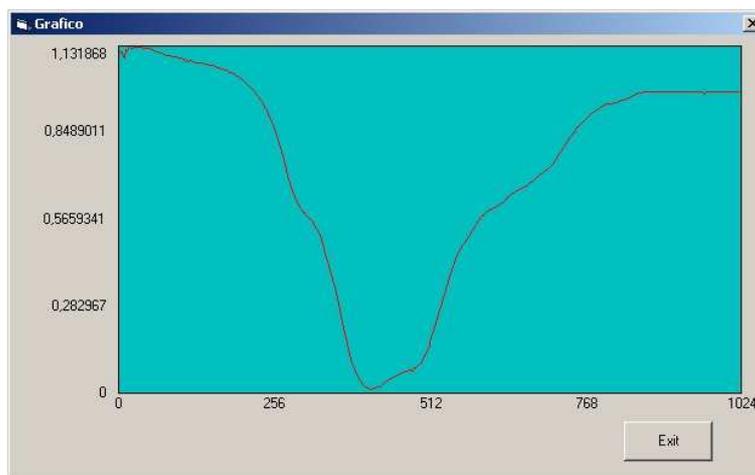


Figura 26. Segnale ottenuto con la sonda in aria.

Sonda ferma

In questo caso la sonda, montata sul carrello, è stata mantenuta in una posizione fissa al centro dell'area di scansione, in modo da rivelare le fluttuazioni del segnale causate dal rumore elettronico. In Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30 sono mostrate le statistiche calcolate su un insieme di 369 misure, ciascuna ricavata dalla media di due acquisizioni.

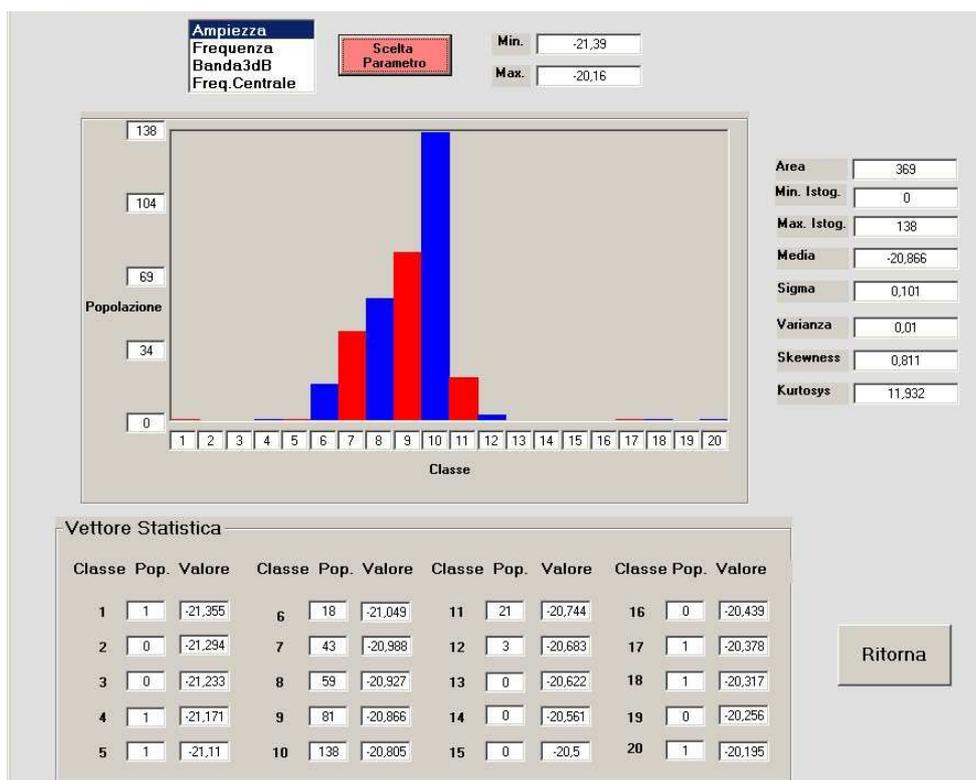


Figura 27. Sonda ferma. Valori di ampiezza.

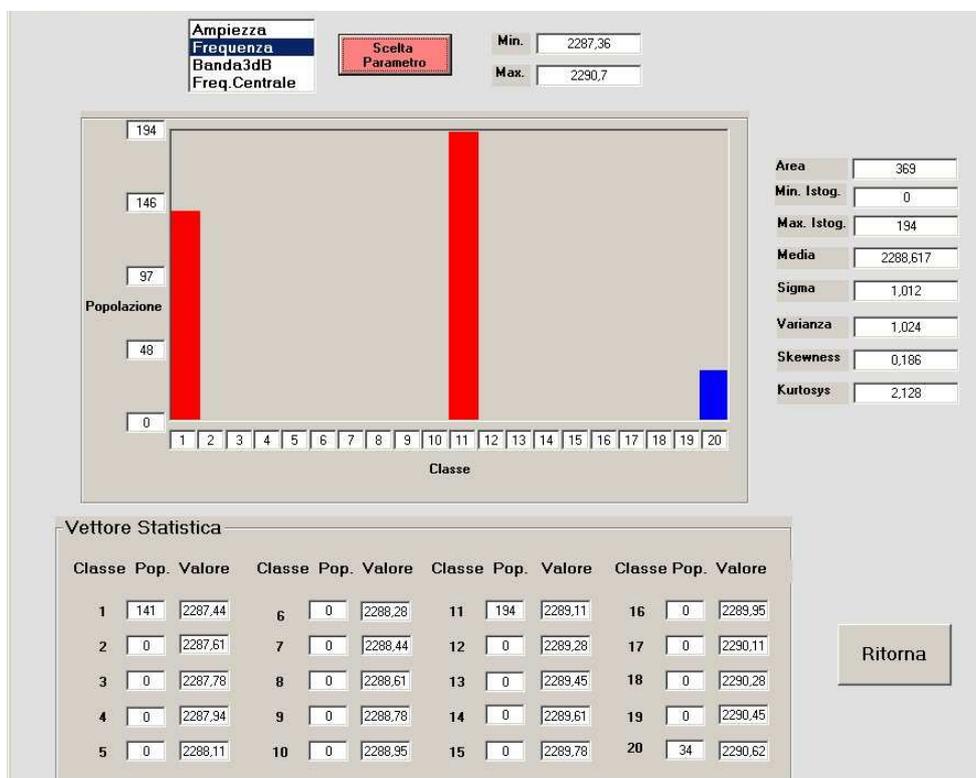


Figura 28. Sonda ferma. Valori di frequenza.

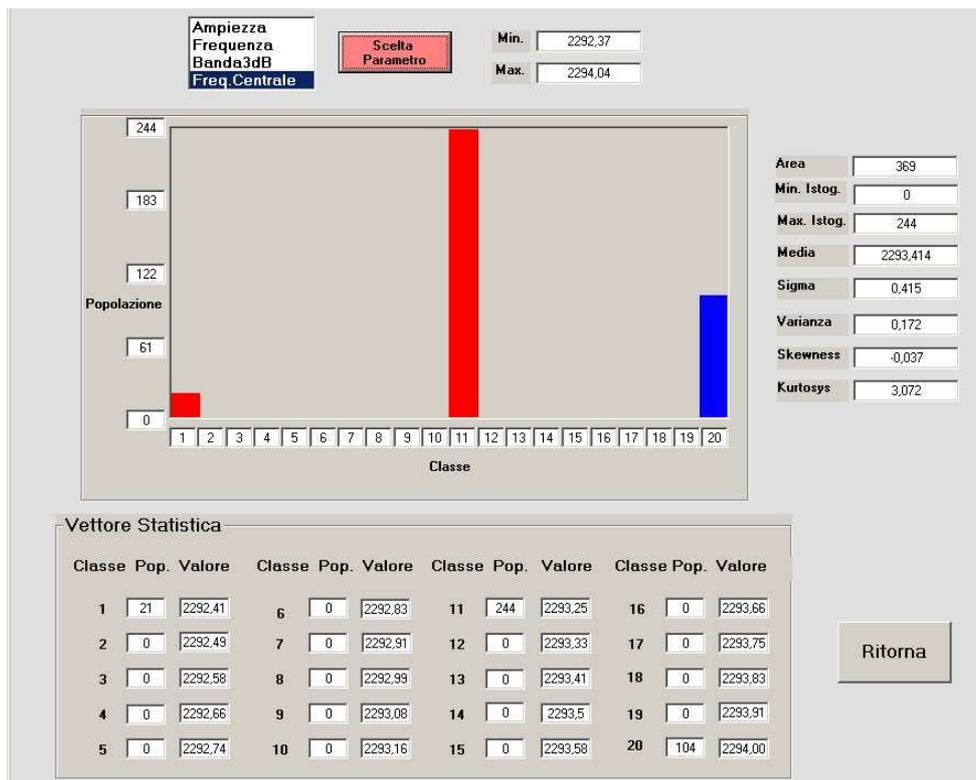


Figura 29. Sonda ferma. Valori di frequenza centrale.

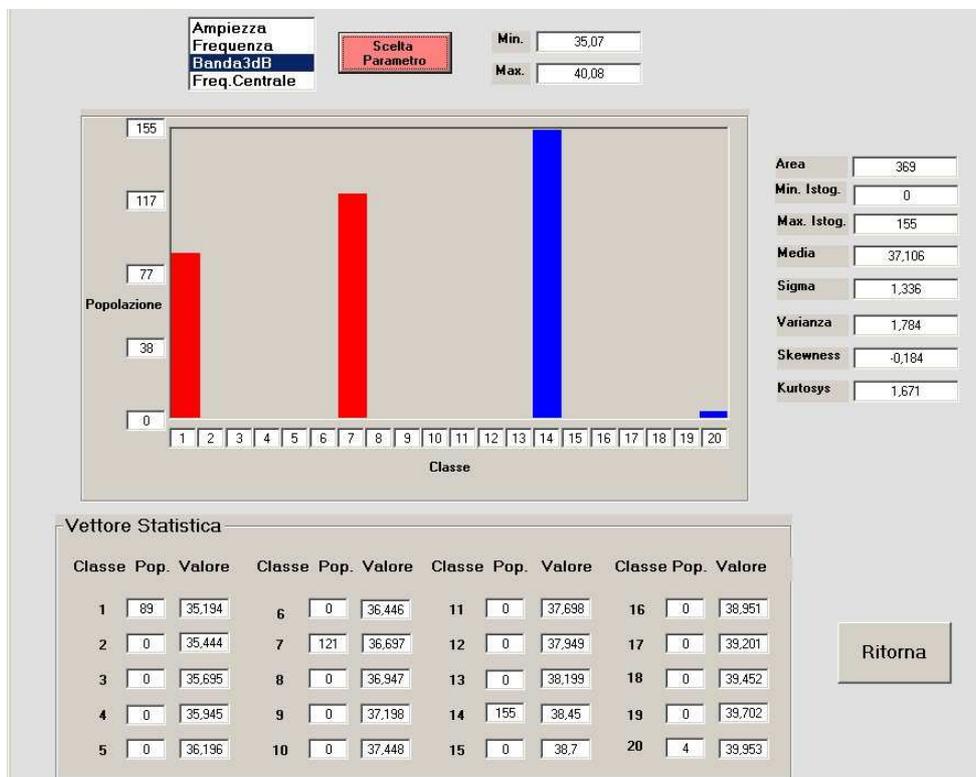


Figura 30. Sonda ferma. Valori di banda.

Sonda in movimento

In questo caso la sonda, montata sul carrello, è stata traslata sull'area di scansione, in modo da rivelare i disturbi causati dalla struttura dello scanner.

La Figura 31 mostra a sinistra la mappa RGB dei valori ricavati; a destra si ha un'immagine esaltata mediante equalizzazione uniforme dell'istogramma.

La Figura 32 riposta a sinistra l'istogramma dei valori dei pixel di Figura 31, a destra il grafico della riga centrale.

In Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36 sono mostrate le statistiche calcolate su un insieme di 369 misure, ciascuna ricavata dalla media di due acquisizioni.



Figura 31. Sonda in movimento. Mappa RGB dei valori; immagine elaborata.

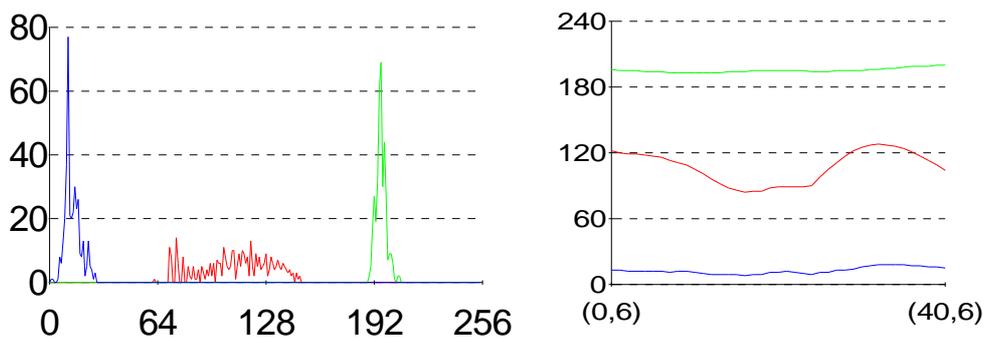


Figura 32. Sonda in movimento. Istogramma dei valori; grafico della riga centrale della mappa di Figura 31 (spessore 5).

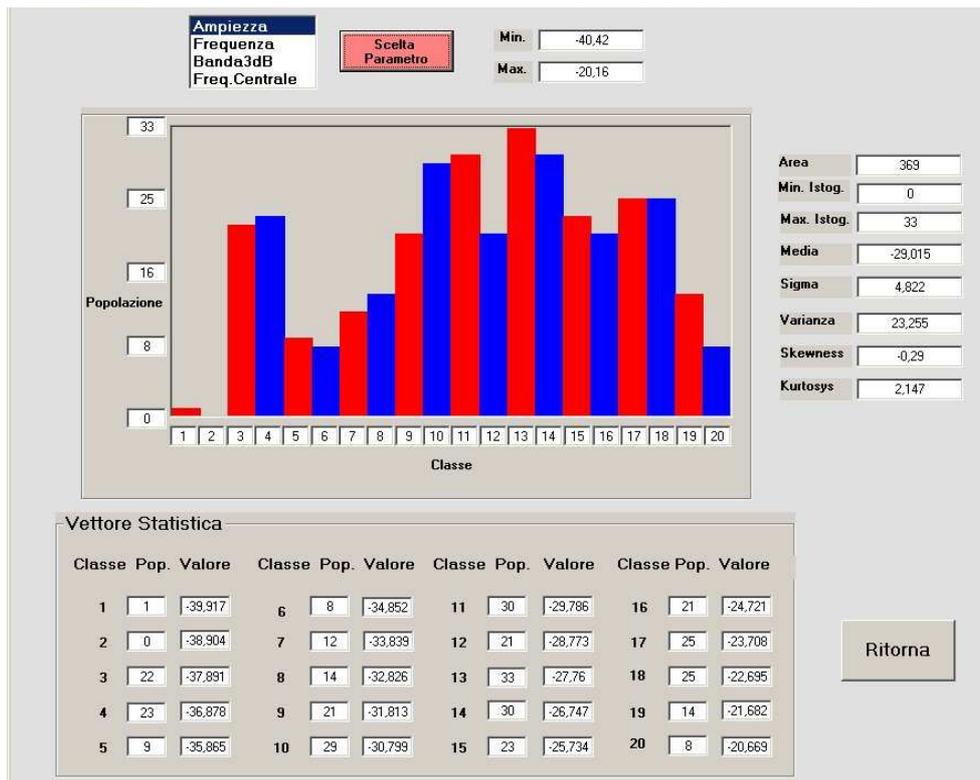


Figura 33. Sonda in movimento. Valori di ampiezza.

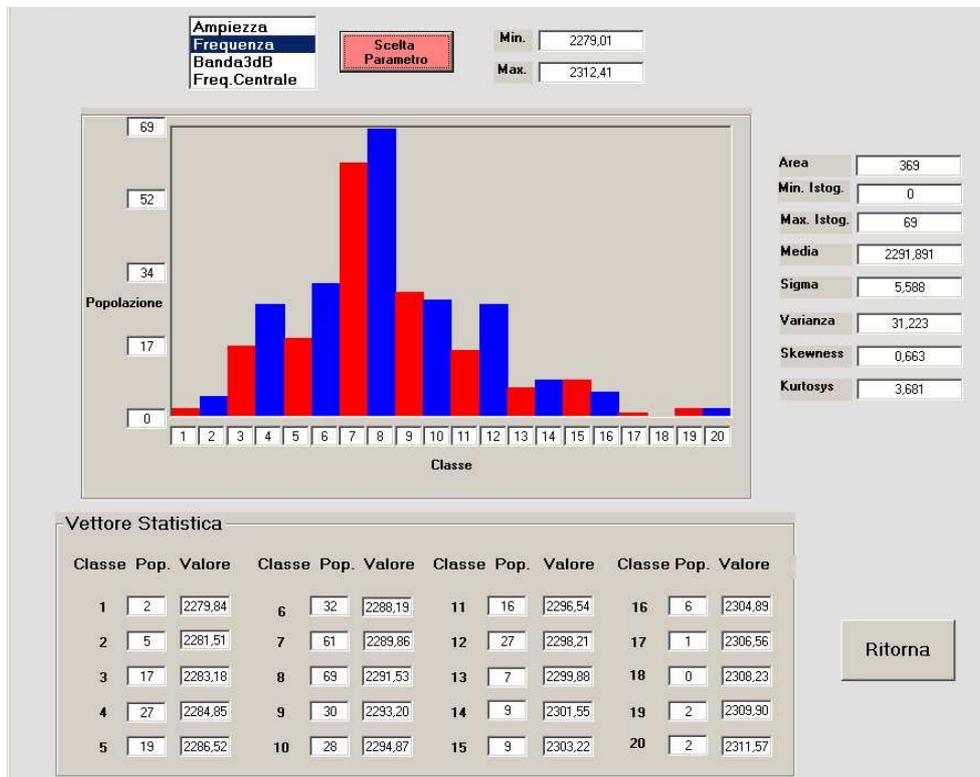


Figura 34. Sonda in movimento. Valori di frequenza.

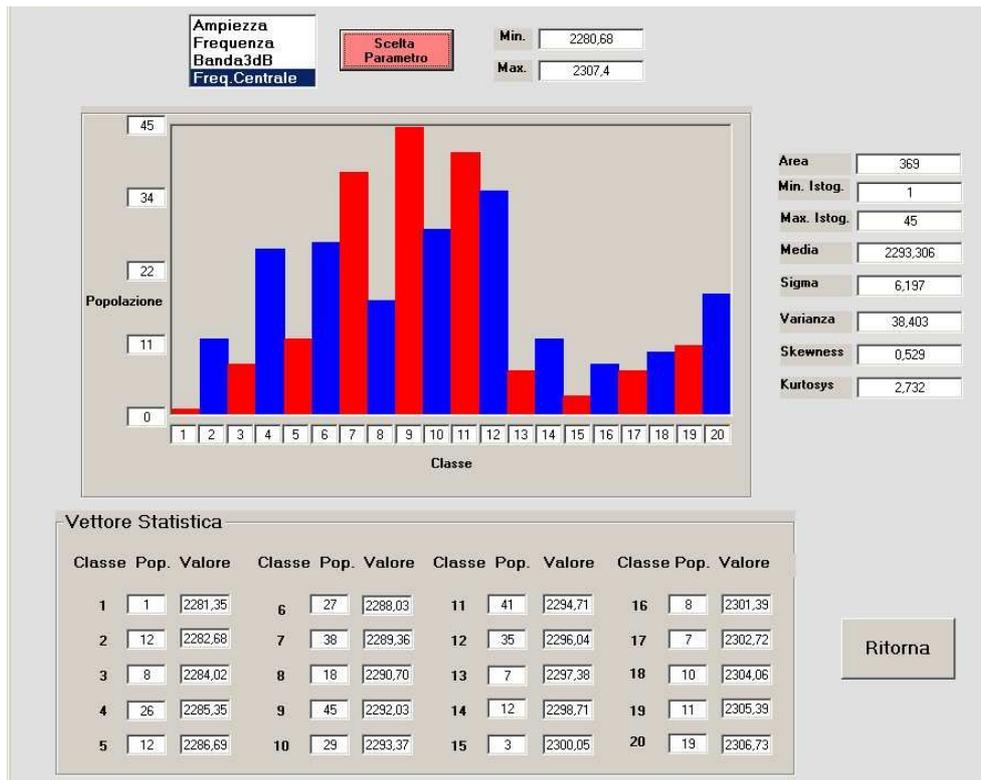


Figura 35. Sonda in movimento. Valori di frequenza centrale.

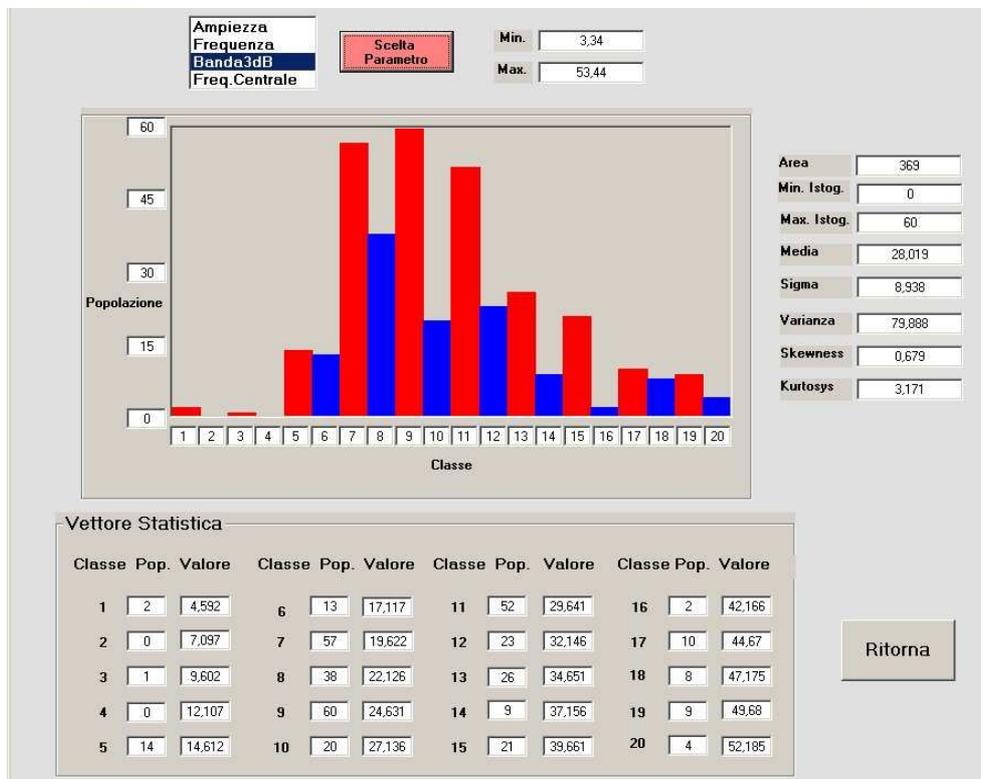


Figura 36. Sonda in movimento. Valori di banda.

Il rumore elettronico ricavato nella prova con sonda ferma è piuttosto basso e influenza poco la qualità delle mappe ricavate con le ispezioni dei materiali. Il disturbo individuato nella prova con sonda in movimento, molto maggiore di quello individuato nella prova precedente, può influenzare i risultati, ma può essere ridotto con opportuni schermi per l'assorbimento della radiofrequenza emessa dalla sonda.

La Tabella 3. Dispersione dei valori di misura nei due tipi d'ispezione. riassume gli errori percentuali $\eta = \frac{\sigma}{m}$ (σ = deviazione standard, m = valore medio) dei parametri di misura determinati nei due casi.

	Ampiezza	Frequenza	Frequenza centrale	Banda
Sonda ferma	0.05.	0,05	0.02	4
Sonda in movimento	17	0.2	0.3	32

Tabella 3. Dispersione dei valori di misura nei due tipi d'ispezione.

Si noti comunque che nel primo caso si ha un errore di tipo casuale, mentre nel secondo caso si ha un disturbo che dipende dalla distanza tra la sonda ed i componenti del banco di scansione: nell'immagine elaborata di Figura 31 si nota una trama anziché una distribuzione casuale dei colori.

Campione P1

Questo campione è stato impiegato per ricavare la risposta puntuale della sonda: la provetta è stata tenuta con l'asse parallelo all'asse della sonda, così da costituire, almeno in prima approssimazione, un elemento puntiforme.

Per ridurre i disturbi causati dalle riflessioni del segnale messo dall'antenna quest'ultima è stata fissata su un supporto all'esterno del carrello, mentre la provetta è stata spostata dal carrello mediante un supporto in polistirolo (vedi Figura 37).



Figura 37. P1. Provetta alloggiata in un supporto di polistirolo.

Si sono eseguite due scansioni di area.

Prova 1

La Figura 38 riporta le impostazioni usate per una prima ispezione della provetta con cui sono state ottenute matrici di 41×41 elementi.

Commento 0		Commento 1		Proprietà dei Risultati Selezionati	
antenna ruotata		antenna ruotata		X Iniziale Finestra (mm.)	0
Modalità	MW	Frequenza di inizio	0	X Finale Finestra (mm.)	200
Tipo Misura	Scanner-DG	Frequenza di Fine	3000	Y Iniziale Finestra (mm.)	0
Risoluzione	750	Intervallo Campion.	4	Y Finale Finestra (mm.)	200
Numero Misure	1681	Frequenza di inizio MHz	1930	Passo Scansione (mm.)	5
Medie	4	Frequenza di Fine MHz	2556		
Numero Colonne	41	Int. Camp. Freq. MHz	0.835		
Numero Righe	41				
Date dei Risultati					
21/12/2010 11:47:52					

Figura 38. P1, prova1. Riassunto ispezione del campione.

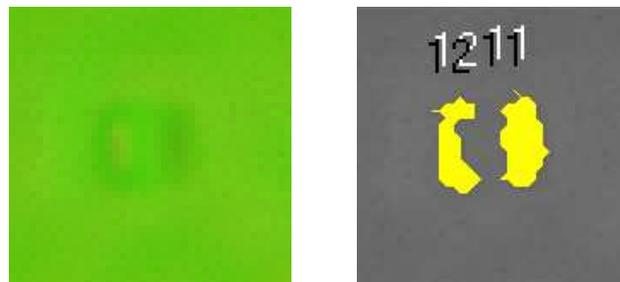


Figura 39. P1 prova1. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

La Figura 39 mostra a sinistra la mappa dei valori di A , S e B ricavati nell'ispezione; a destra si ha il risultato di una Blob Analysis.

Nell'immagine originale si notano al centro due bande parallele leggermente scure, orientate lungo le colonne della matrice immagine: le bande sono individuate dalla Blob Analysis (Threshold = 106), che fornisce i seguenti risultati.

Area	Length	Centroid X	Centroid Y
79	16.94	24.13	19.54
65	19.58	14.23	20.29

Tabella 4. P1 prova1. Caratteristiche delle blob di Figura 39.

Le macchie hanno una lunghezza di circa 18 pixel, equivalenti a circa 90 mm e distano circa 10 pixel (50 mm): le macchie sono dunque in corrispondenza di una coppia di bordi dell'antenna.

Si ricorda che ai bordi di un'antenna a patch si verifica una diffrazione del campo elettrico, e che l'interazione del campo diffratto col materiale determina la risposta dell'antenna: si può quindi supporre che l'antenna non sia assimilabile ad una sonda con un'area sensibile omogenea di dimensione $L \times W$, ma piuttosto a quattro strisce sensibili in corrispondenza dei bordi.

La Figura 40 riporta il grafico della riga centrale della mappa di Figura 39, che attraversa le due macchie.

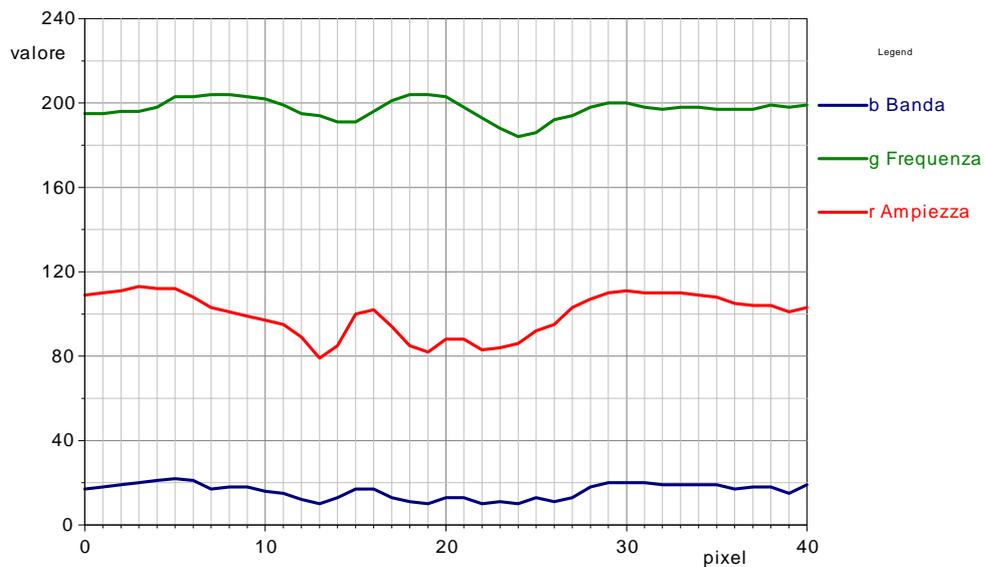


Figura 40. P1 prova1. Grafico della riga 20 (spessore 5) della mappa di Figura 39.

Si vede che in corrispondenza dei bordi la frequenza di risonanza diminuisce rispetto al valore in aria; i valori di ampiezza e banda variano in maniera abbastanza correlata e sono leggermente sfasati rispetto alla frequenza: questo andamento giustifica le deboli macchie grigie osservabili nell'immagine elaborata di Figura 39 alla sinistra delle macchie nere.

Prova2

L'ispezione precedente è stata ripetuta con le stesse impostazioni dopo aver ruotato l'antenna di 90°.

La Figura 41 mostra la mappa dei valori di A, S e B e il risultato della Blob Analysis.

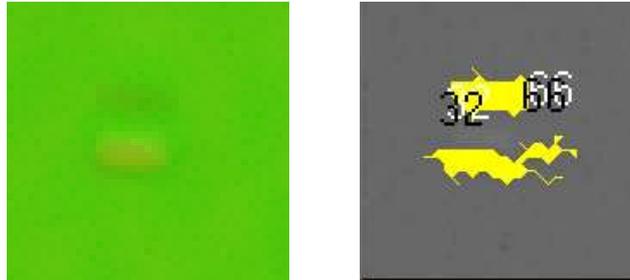


Figura 41. P1 prova2. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

Nell'immagine originale si notano ancora due bande parallele, orientate lungo le colonne della matrice immagine: la Tabella 5 riporta i risultati della Blob Analysis.

Label	Length	Centroid X	Centroid Y
32	19.5	18.59	13.92
66	40.6	20.01	23.63

Tabella 5. P1 prova2. Caratteristiche delle blob di Figura 41.

Anche in questo caso le macchie distano circa 50 mm e sono in corrispondenza della coppia di bordi dell'antenna individuata in precedenza.

La Figura 42 riporta il grafico della colonna 18 della mappa di Figura 41, che attraversa le due macchie.

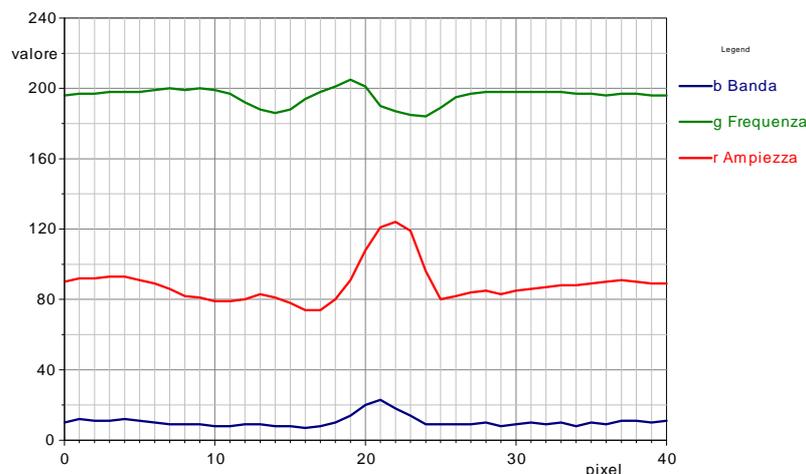


Figura 42. P1 prova2. Grafico della colonna 18 (spessore 5) della mappa di Figura 41.

In corrispondenza dei bordi la frequenza di risonanza diminuisce rispetto al valore in aria; l'ampiezza e la banda variano soprattutto in corrispondenza del bordo più in basso, creando una macchia più evidente in Figura 41.

Si può quindi concludere che la sonda ha un'area sensibile con dimensioni all'incirca eguali a quelle del patch, con una sensibilità non omogenea e differente per l'individuazione dei parametri associati al segnale, e che ha un orientamento.

Campione A1

La piastrella di allumina è stata esplorata tenendo il lato stretto perpendicolare al patch (vedi Figura 43): poiché la dimensione della faccia (1 cm) è un quinto della dimensione del patch si ottiene una risposta della sonda confrontabile a quella ottenuta col campione P1.



Figura 43. A1. Modo d'ispezione del campione A1.

La Figura 44 mostra la mappa dei parametri A, S e B e il risultato della Blob Analysis (Threshold = 104).

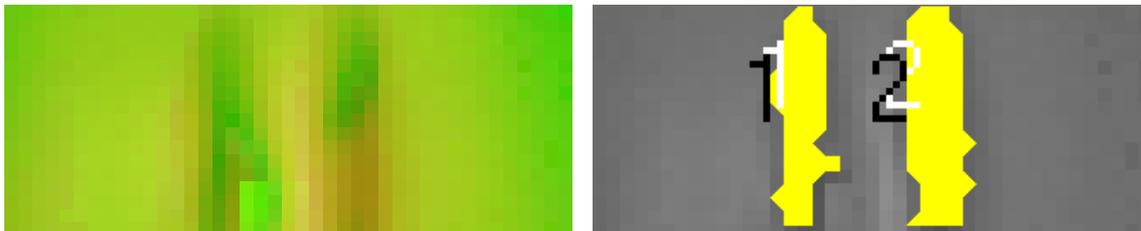


Figura 44. A1. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

Nell'immagine originale si notano ancora due bande parallele, orientate lungo le colonne della matrice immagine: la Tabella 6 riporta i risultati della Blob Analysis.

Label	Area	Length	Centroid X	Centroid Y
1	59	17.6	15.36	8.22
2	76	16.5	25.08	8.13

Tabella 6. A1. Caratteristiche delle blob di Figura 44.

Anche in questo caso le macchie distano circa 10 pixel (50 mm) e sono in corrispondenza della coppia di bordi dell'antenna.

La Figura 45 riporta il grafico della riga 8 della mappa di Figura 44.

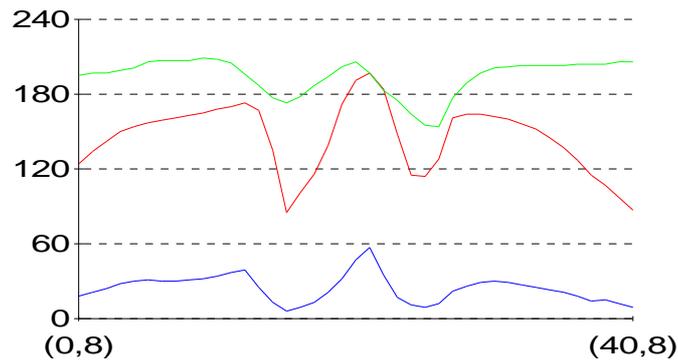


Figura 45. A1. Grafico della riga 8 (spessore 5) di Figura 44.

Esaminando il grafico si osservano i seguenti comportamenti:

asse della sonda	ampiezza	frequenza	banda
bordi della lastra	min	min	min
centro della lastra	normale	max	max

Quando la sonda è ai bordi della lastra la frequenza di risonanza è più bassa rispetto al valore a vuoto e il picco di risonanza è stretto e pronunciato, mentre quando la sonda è al centro la frequenza di risonanza è eguale al valore a vuoto e il picco diventa più largo e meno pronunciato.

La Figura 46 mostra il segnale acquisito quando la sonda è al centro del campione: si può notare la deformazione del picco rispetto al segnale acquisito in aria (vedi Figura 26); si noti che le scale di ampiezza sono lineari e non in dB.

La Figura 47 mostra il segnale acquisito quando la sonda è ancora al centro del campione ma ruotata di 90° rispetto all'esempio precedente: si osserva che il picco è modificato a causa dell'asimmetria del sensore.

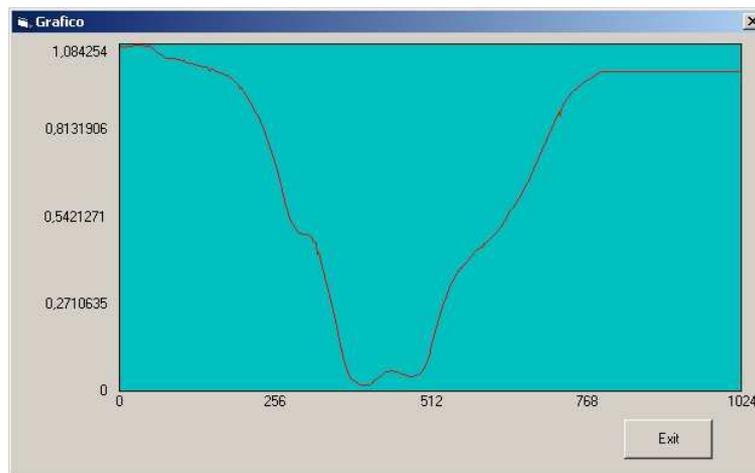


Figura 46. A1. Segnale ottenuto con la sonda centrata sul campione.

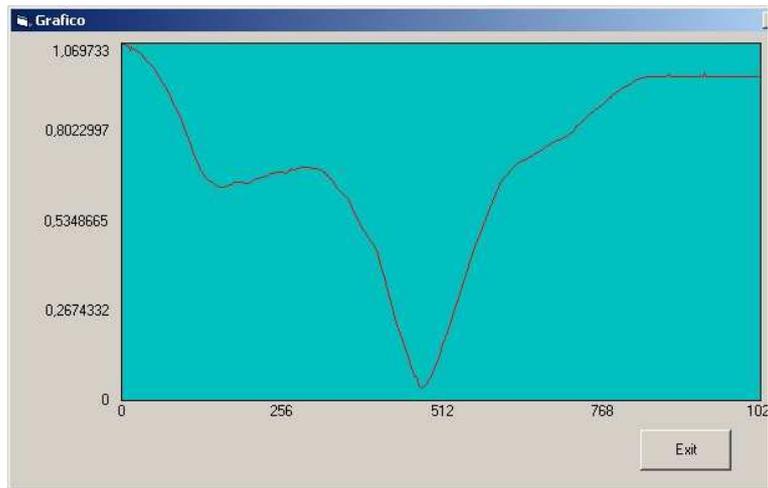


Figura 47. A1. Segnale ottenuto con la sonda centrata sul campione e ruotata rispetto all'acquisizione di Figura 46.

Campione M1

La Figura 48 riporta le impostazioni usate per l'ispezione del campione di marmo bianco, disposto in modo che il lato spesso 46 mm fosse parallelo al patch.

Commento 0		Commento 1		Proprietà dei Risultati Selezionati	
marmo bianco		marmo bianco			
Modalità	MW	Frequenza di inizio	0	X Iniziale Finestra (mm.)	0
Tipo Misura	Scanner-DG	Frequenza di Fine	4095	X Finale Finestra (mm.)	200
Risoluzione	512	Intervallo Campion.	8	Y Iniziale Finestra (mm.)	80
Numero Misure	697	Frequenza di inizio MHz	1930	Y Finale Finestra (mm.)	160
Medie	2	Frequenza di Fine MHz	2785	Passo Scansione (mm.)	5
Numero Colonne	41	Int. Camp. Freq. MHz	1.67		
Numero Righe	17				
Date dei Risultati					
20/01/2011		12.12.20			

Figura 48. M1. Riassunto ispezione del campione.

La Figura 49 mostra la mappa RGB e l'immagine ottenuta mediante trasformazione uniforme dell'istogramma.

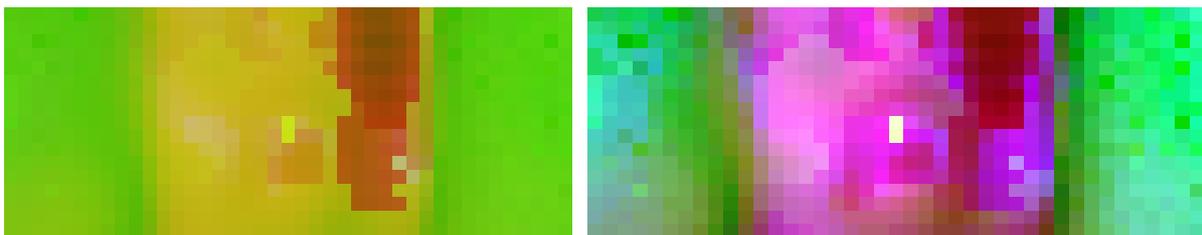


Figura 49. M1. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

La Figura 50 riporta il profilo di riga della mappa di Figura 49.

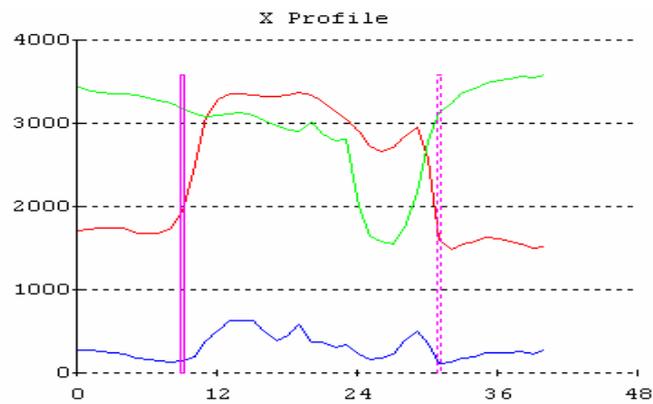


Figura 50. M1. Profilo complessivo di riga della mappa di Figura 49.

La curva R del grafico (Ampiezza) sale a partire dal pixel 9 (barra verticale a sinistra) e ritorna al valore basso al pixel 31 (barra a destra): il picco di risonanza diminuisce quindi per un intervallo di ≈ 22 pixel = 110 mm, che corrisponde alla somma delle dimensioni del patch e della faccia del marmo.

La curva B (banda) ha un comportamento analogo e indica un allargamento del picco di risonanza quando la sonda passa sopra il campione.

La frequenza di risonanza diminuisce (curva G) sostanzialmente nello stesso intervallo di scansione.

Campione M2

La Figura 51 riporta le impostazioni usate per l'ispezione del campione di marmo grigio, disposto in modo che il lato spesso 46 mm fosse parallelo al patch.

Commento 0		Commento 1		Proprietà dei Risultati Selezionati	
marmo grigio		marmo grigio			
Modalità	MW	Frequenza di inizio	0	X Iniziale Finestra (mm.)	0
Tipo Misura	Scanner-DG	Frequenza di Fine	4095	X Finale Finestra (mm.)	200
Risoluzione	512	Intervallo Campion.	8	Y Iniziale Finestra (mm.)	80
Numero Misure	697	Frequenza di inizio MHz	1930	Y Finale Finestra (mm.)	160
Medie	2	Frequenza di Fine MHz	2785	Passo Scansione (mm.)	5
Numero Colonne	41	Int. Camp. Freq. MHz	1.67		
Numero Righe	17				
Date dei Risultati					
20/01/2011 11.28.47					

Figura 51. M2. Riassunto ispezione del campione.

La Figura 52 mostra la mappa RGB e l'immagine ottenuta mediante trasformazione uniforme dell'istogramma.

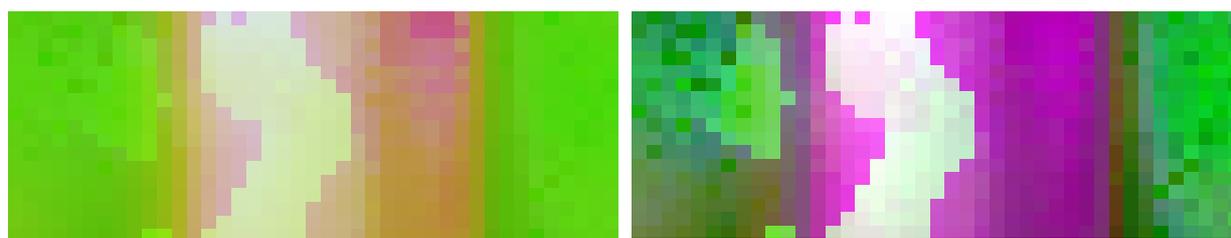


Figura 52. M2. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

La Figura 53 riporta il profilo di riga della mappa di Figura 52.

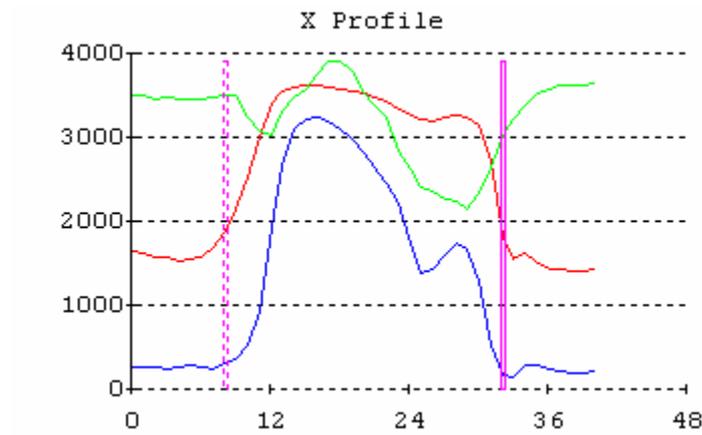


Figura 53. M2. Profilo complessivo di riga della mappa di Figura 52.

Confronto M1 – M2

In Figura 54 sono riportati i profili dei parametri Ampiezza (curve rosse), frequenza (curve verdi) e banda (curve blu) già mostrati in Figura 50 e Figura 53.

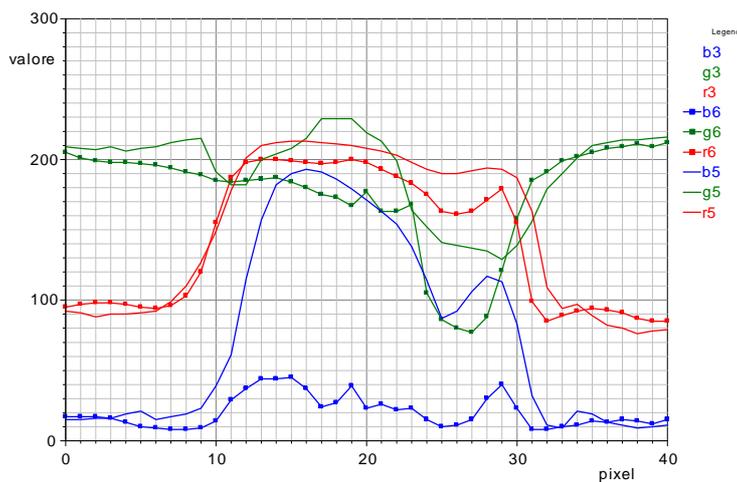


Figura 54. Profili di riga relativi al campione M1 (marmo bianco, curve R6, G6, B6) e al campione M2 (marmo grigio, curve R5, G5, B5).

I valori di Ampiezza (R6, R5) hanno un andamento simile nei due campioni; i valori di frequenza (G6, R5) sono abbastanza vicini, ma hanno andamenti diversi nei campioni; la banda del segnale ottenuto su M1 (B6) è apparentemente molto minore di quella del segnale ottenuto su M2 (B5.)

Il segnale di misura ha però una forma differente a seconda che la sonda sia influenzata da M1 o M2; nel primo caso (vedi Figura 55) il segnale presenta diversi picchi accentuati, mentre nel secondo caso (vedi Figura 56) il segnale è di tipo bimodale, con due picchi poco accentuati: la banda misurata in questo caso può risultare quindi nettamente superiore a quella determinata per il segnale di M1.

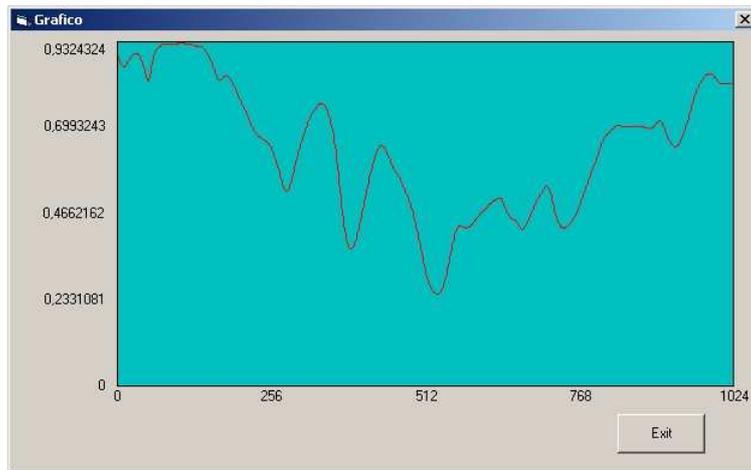


Figura 55. M1. Segnale ottenuto con la sonda centrata sul campione.

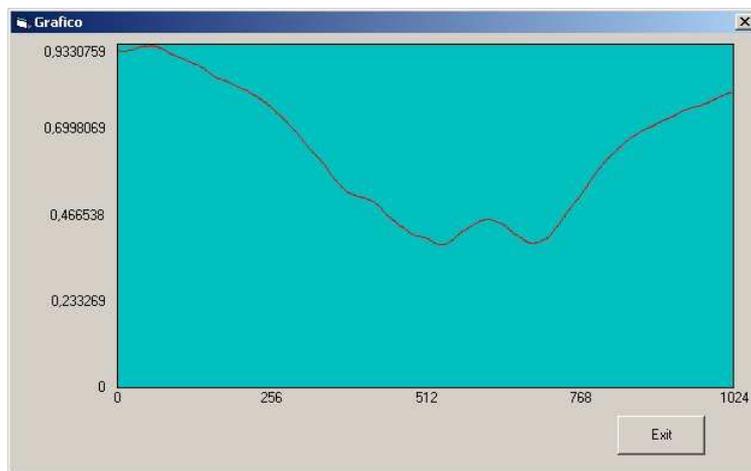


Figura 56. M2. Segnale ottenuto con la sonda centrata sul campione.

Campione P4

La Figura 57 riporta le impostazioni usate per l'ispezione del campione di perspex, disposto in modo che il lato liscio fosse parallelo al patch (vedi Figura 58).

Commento 0		Commento 1		Proprietà dei Risultati Selezionati	
inizia con 1+1		inizia con 1+1		X Iniziale Finestra (mm.)	0
Modalità	MW	Frequenza di inizio	0	X Finale Finestra (mm.)	200
Tipo Misura	Scanner-DG	Frequenza di Fine	4095	Y Iniziale Finestra (mm.)	80
Risoluzione	512	Intervallo Campion.	8	Y Finale Finestra (mm.)	160
Numero Misure	697	Frequenza di inizio MHz	1930	Passo Scansione (mm.)	5
Medie	2	Frequenza di Fine MHz	2785		
Numero Colonne	41	Int. Camp. Freq. MHz	1.67		
Numero Righe	17				
Date dei Risultati					
18/02/2011 11.50.10					

Figura 57. P4. Riassunto ispezione del campione.

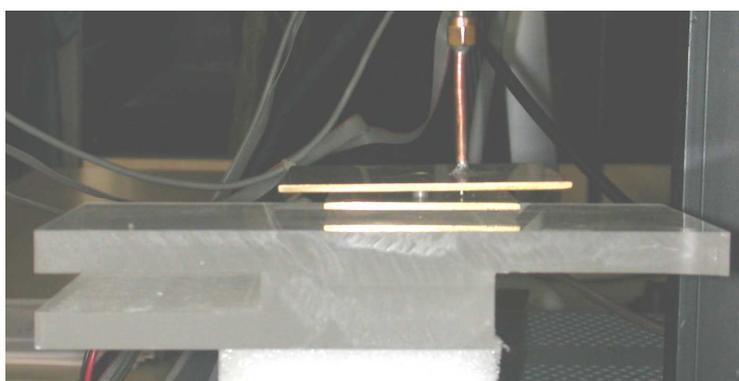


Figura 58. P4. Vista del campione durante l'ispezione.

La Figura 59 mostra la mappa RGB e l'immagine ottenuta mediante trasformazione uniforme dell'istogramma.

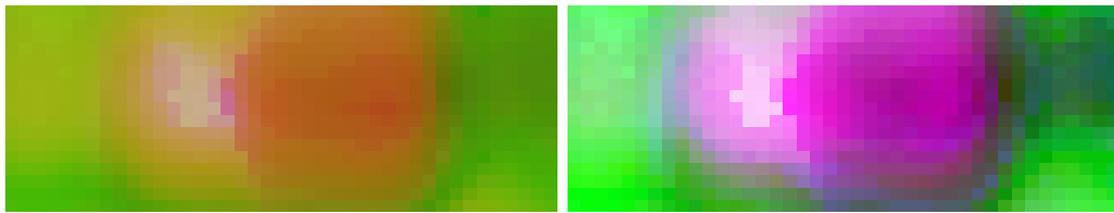


Figura 59. P4. Mappa RGB dei parametri e immagine elaborata.

La Figura 60 riporta il profilo di riga della mappa di Figura 59.

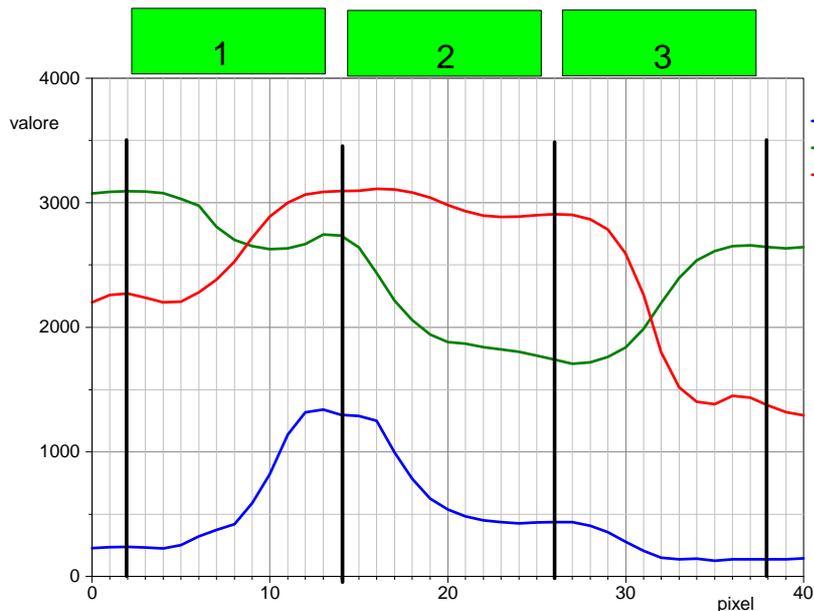


Figura 60. P4. Profilo complessivo di riga della mappa di Figura 59.

L'intervallo di scansione lungo l'asse x è di 200 mm e il campione esaminato, che ha una lunghezza di 180 mm, è centrato rispetto all'intervallo in modo da avere la seguente situazione:

Coordinata x (mm)	0 ÷ 10	10 ÷ 70	70 ÷ 130	130 ÷ 190	190 ÷ 200
Passo di scansione	0 ÷ 2	2 ÷ 14	14 ÷ 26	26 ÷ 38	38 ÷ 40
Materiale (cm)	vuoto	1 + 1	3	1	vuoto

Le barre verticali sul grafico di Figura 60 individuano le tre sezioni del campione, i rettangoli verdi indicano l'estensione del patch quando è centrato rispetto alle tre sezioni del campione.

La risposta del sensore è determinata dall'interazione del campo ai bordi del patch col materiale sottostante e poiché il patch ha una dimensione quasi eguale a quelle delle sezioni del campione, la risposta è determinata da una singola sezione solo quando il patch è centrato rispetto ad essa. Questa situazione si verifica in corrispondenza dei pixel 8 (sezione 1), 20 (sezione 2) e 32 (sezione 3): osservando il grafico si vede che a queste coordinate corrispondono i punti di flesso delle tre curve.

In Figura 61, Figura 62 e Figura 63 sono mostrati i segnali acquisiti quando la sonda è al centro delle sezioni del campione di materiale plastico.

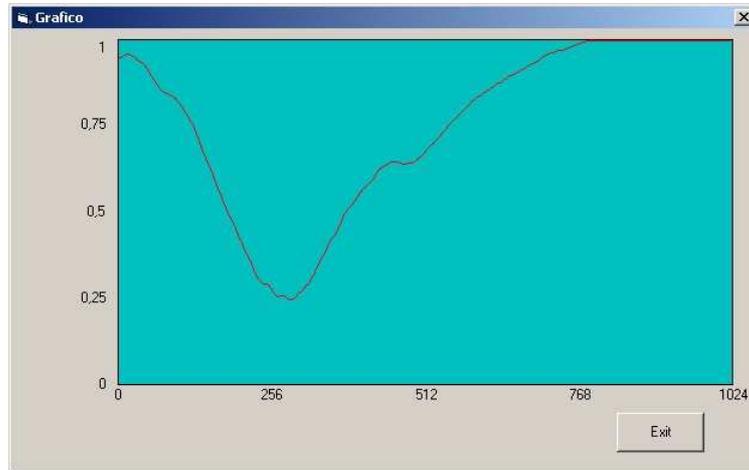


Figura 61. P4. Segnale ottenuto con la sonda centrata sulla sezione 1 del campione.

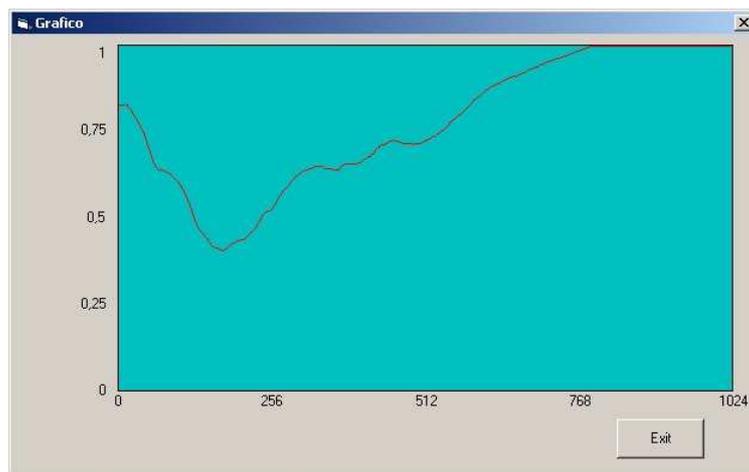


Figura 62. P4. Segnale ottenuto con la sonda centrata sulla sezione 2 del campione.

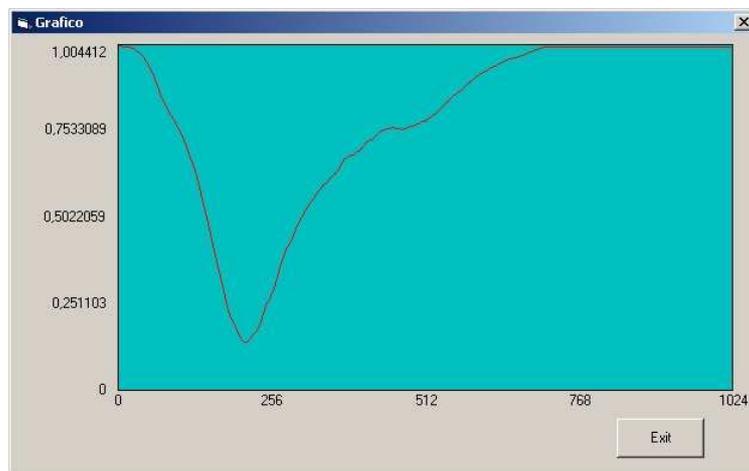


Figura 63. P4. Segnale ottenuto con la sonda centrata sulla sezione 3 del campione.

Conclusioni

L'ispezione del campione P1 ha consentito di ottenere con buona approssimazione la risposta puntuale della sonda: dai risultati si vede che la sonda, in accordo col modello ipotizzato, ha un'area sensibile costituita da due strisce sottili in corrispondenza di una coppia dei bordi del patch, dove è localizzato il campo diffratto.

Questa caratteristica fa sì che nella mappa ricavata ispezionando una struttura in cui siano presenti zone con dimensioni inferiori a metà della sonda e con permeabilità nettamente superiore al resto della struttura, si ottengano non delle macchie quadrate, come si avrebbe se tutta l'area del patch fosse sensibile, bensì delle coppie di strisce parallele, con lunghezza e distanza determinate dalle dimensioni del patch; inoltre, l'orientamento delle strisce nella mappa dipende dall'orientamento della sonda rispetto al sistema di scansione.

Se la struttura è composta di differenti zone omogenee con differenti permeabilità e aree maggiori di quella del patch si ottengono valori di misura determinati da ogni singola zona, altrimenti i valori sono affetti da un filtraggio di tipo passa-basso, causato dalla larghezza del patch.

Infine, per ottenere misure confrontabili in differenti acquisizioni è necessario che il patch sia a distanza costante dal campione.

Queste considerazioni limitano la possibilità d'impiego della sonda realizzata e devono essere tenute presenti per una corretta interpretazione delle mappe ottenute con le ispezioni. Comunque, la sonda è un efficiente strumento d'indagine in varie applicazioni. L'esempio relativo all'ispezione del campione P4 mostra che la sonda è in grado di rilevare le differenti strutture del campione ed è quindi in grado di rilevare difetti o anomalie in una struttura nominalmente omogenea.

Il software sviluppato nell'ambito del SIND consente di inserire in modo semplice le specifiche di set-up per le ispezioni di area mediante microonde; il modulo software di Visualizzazione, oltre a riportare le informazioni relative alle impostazioni di acquisizione, fornisce efficienti strumenti per l'analisi dei dati di misura.

In campioni esaminati negli esempi riportati hanno dimensioni contenute a causa del tipo di scanner impiegato, che ha una corsa di 200 mm; le mappe mostrate sono definite da un piccolo numero di pixel, poiché il passo di campionamento durante la scansione dev'essere circa la metà della larghezza del patch: il sistema può comunque controllare scanner di dimensioni maggiori, che rendono possibile l'ispezione di manufatti di grandi dimensioni.

Riferimenti

1. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti* " Ispezioni di materiali dielettrici mediante campo elettrico e campo elettromagnetico" Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico maggio 2007.
2. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Ovidio Salvetti, Alessandra Zucchelli* "Le antenne a patch come sensori per indagini non distruttive a microonde su campioni di marmo" Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico settembre 2003, B4-25.
3. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Alessandra Zucchelli* "Un metodo per il rilevamento della porosità di materiali dielettrici mediante misure in campo vicino con antenne a patch ", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico aprile 2006, 2006-B4-02.
4. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini, Guido Gagliardi, Marco Orsolini, Alberto Ribolini, Alessandra Zucchelli* "Progetto di un sistema per misure non invasive a microonde", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico febbraio 2005, 2005-B4-03
5. *Renzo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini* "SIND - Procedura per l'analisi di segnali a microonde", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico marzo 2009
6. *Renzo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini* "SIND - Sviluppo del sistema", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico febbraio 2010
7. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini, Guido Gagliardi, Alberto Landucci, Alberto Ribolini* "Prototipo del Modulo di Controllo", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico maggio 2007.
8. *Edoardo Bozzi, Massimo Chimenti, Alessandra Zucchelli* "Un metodo per la caratterizzazione di materiali dielettrici, mediante misure in campo vicino con antenne a patch ", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico ottobre 2005, 2005-B4-10
9. *Renzo Bozzi, Massimo Chimenti, Enrico Fantini* "SIND - Manuali d'uso di applicativi per il trattamento di dati ricavati mediante ispezione automatica con ultrasuoni", Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "Alessandro Faedo", Rapporto tecnico febbraio 2010