UN TOMOGRAFO A MICROONDE PER LA DIAGNOSTICA ELETTROMAGNETICA

Adriana Brancaccio[1], Giovanni Leone[2], Francesco Soldovieri[3], Rocco Pierri[1]

1 Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Seconda Università di Napoli
Via Roma 29, 80131, Aversa
adrbanc@unina.it ,pierri@unina.it

2 DIMET, Università Mediterranea di Reggio Calabria
Via Graziella , Feo di Vito, 89100, Reggio Calabria, Italia
gioleone@ing.unirc.it

3 Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente, CNR
Via Diocleziano 328, 80124, Napoli
soldovieri.f@irea.cnr.it

Abstract

In this paper an experimental set-up for the measurement of scattered field in reflection mode is presented. Data can be automatically collected over an observation line for different source locations on a line in a prescribed frequency band according to the available antennas. This configuration makes it possible to perform multiview /multistatic/multifrequency measurements for subsurface prospection in electromagnetic diagnostics. Preliminary measured data are employed to test an inversion algorithm for the shape reconstruction of a conducting scatterer in free space.

INTRODUZIONE

Nell'ambito della prospezione subsuperficiale mediante l'uso di onde elettromagnetiche, la determinazione della posizione e della forma di oggetti conduttori immersi in un mezzo dielettrico a partire da misure del campo diffuso in configurazioni di riflessione risulta di particolare interesse applicativo. Basti pensare ad esempio al rilievo di sottoservizi, di barre di rinforzo nel cemento armato, di tubature ed altri oggetti metallici inglobati in murature nell'ingegneria civile.

E' pertanto cruciale mettere a punto e verificare con dati sperimentali algoritmi di ricostruzione che a partire da misure del campo diffuso siano capaci di localizzare e ricostruire in maniera affidabile la forma di oggetti (fortemente diffusori) posti in domini di investigazioni grandi rispetto alla lunghezza d'onda incidente.

Scopo del presente lavoro è la validazione sperimentale dell'algoritmo di inversione presentato in [1,2] attraverso l'elaborazione di dati sperimentali raccolti presso il Laboratorio di Elettromagnetismo della Seconda Università di Napoli. E' stato infatti sviluppato e messo a punto un sistema automatico di misura, in modulo e fase, di campo diffuso alle microonde in una configurazione multivista/multistatica/multi-frequenza nella modalità di riflessione.

L'affidabilità delle misure raccolte è preliminarmente stata valutata confrontandole con i risultati di un modello elettromagnetico esatto in geometria bidimensionale.

Successivamente, le misure sono state elaborate mediante gli algoritmi di inversione sviluppati ed i risultati ottenuti hanno mostrato l'efficacia e la stabilità dell'algoritmo di inversione rispetto alle incertezze di misura ed agli errori di modello.

IL SISTEMA DI MISURA

Il sistema di misura comprende una sezione preposta alla movimentazione ed al posizionamento delle antenne ed una sezione preposta alla misura vera e propria. Le due diverse funzioni sono gestite da un personal computer, così da renderle sincrone e da automatizzare l'intero processo di misura. Il programma di gestione dell'intero sistema è realizzato in LabView.

Il sistema di movimentazione e posizionamento consiste in due slitte montate su due posizionatori lineari a vite della lunghezza di 1500 mm (Daedal, mod. M506601S-LH), mosse da due motori elettrici passo-passo (Compumotor, mod. S57-83) pilotati attraverso una scheda ausiliaria (mod. PC23). La accuratezza della posizione è di 5 μm/25 cm e una ripetibilità di 5 μm è garantita.

La misura viene effettuata attraverso un analizzatore di rete 'vettoriale' ANRITSU 37225B, funzionante nella banda 40 MHz-13.5 GHz. Un generatore di segnale è integrato nell'analizzatore di rete. Lo strumento viene pilotato dal calcolatore mediante una scheda di interfaccia GPIB.

Per le misure presentate in questo lavoro sono state utilizzate due antenne a tromba piramidali in banda X (8.2-12.4 GHz), le cui dimensioni di apertura sono rispettivamente 30 mm×40 mm e 75 mm ×56 mm. Ciascuna antenna è posta su un posizionatore e quindi libera di muoversi lungo un tratto rettilineo. Entrambe sono connesse ad una transizione guida-cavo e quindi collegate all'analizzatore di rete mediante un cavo coassiale a basse perdite. Il sistema è stato calibrato mediante una procedura standard in cavo sino alle transizioni guida-cavo escluse.

La configurazione di misura è mostrata in fig. 1: i due posizionatori lineari sono posti orizzontalmente rispetto al dominio di indagine e paralleli l'uno all'altro e dalla stesso lato rispetto all'oggetto diffusore, di tipo cilindrico con asse verticale rispetto al suolo. In questo modo si ottiene una configurazione in riflessione.

Al fine di caratterizzare il sistema di misura sono state effettuate misure preliminari di diffusione in assenza di oggetto diffusore. Le misure sono state effettuate in corrispondenza di differenti posizioni della trasmittente. In corrispondenza di ogni posizione della trasmittente, il campo totale è stato raccolto dall'antenna ricevente in 70 punti con passo uniforme di 2 cm.

Queste misure hanno un duplice scopo. Il primo è di delimitare la zona di accoppiamento e di interferenza fra le antenne che nel corso della loro movimentazione si vengono a trovare a distanza ravvicinata. I risultati sperimentali evidenziano che le due antenne sono disaccoppiate per la maggior parte della loro corsa, escluso un settore centrato attorno alla direzione di backscattering che risulta di lunghezza circa 30 cm essenzialmente indipendente dalla frequenza di lavoro e dalla posizione dell'antenna trasmittente. Tali dati perciò non verranno successivamente considerati ai fini della loro inversione.

Il secondo scopo è di valutare, nei rimanenti punti dello spazio, il valore del campo imperturbato in assenza di oggetto diffusore. Questa misura risulta utile dal momento che ai fini degli algoritmi di inversione è di interesse il campo diffuso dall'oggetto, differenza fra il campo misurato in presenza ed in assenza dell'oggetto stesso. In

particolare si è osservato che il campo imperturbato è dovunque trascurabile rispetto a quello diffuso.

LE MISURE

La caratterizzazione del sistema di misura è stata effettuata grazie alle misure di campo diffuso per un cilindro circolare di rame il cui raggio è di 5 cm ed assunto quale conduttore elettrico perfetto. Assunto un sistema di riferimento cartesiano (x,y) la cui origine coincide con il centro della sezione del cilindro, la trasmittente si muove lungo la linea y=-137.5 cm occupando posizioni nell'intervallo -68≤x≤72 cm con un passo pari a 4 cm. Per ogni posizione della trasmittente, il campo totale viene raccolto dalla ricevente lungo linea y=-171.5 cm nei punti di misura appartenenti all'intervallo -68≤x≤72 cm con un passo pari a 2 cm. Sono state considerate 25 frequenze di lavoro equispaziate nell'intervallo 8.2-12.4 GHz.

I dati di misura sono stati calibrati utilizzando dati sintetici generati attraverso la seguente procedura. Il primo passo consiste nella valutazione del campo diffuso dal cilindro, su un dominio di osservazione circolare posto in zona lontana rispetto al cilindro, per incidenza di un'onda piana con direzione di propagazione lungo la congiungente il centro dell'apertura della trasmittente ed il centro del cilindro. L'assunzione che il campo incidente si comporti localmente come un'onda piana è realistica dal momento che il cilindro è in zona lontana rispetto alla trasmittente e che l'antenna ricevente è in zona lontana rispetto al cilindro diffusore. Il campo diffuso sintetico viene corretto in fase in modo da tenere in conto il passaggio dal dominio circolare a quello effettivo di misura, che è rettilineo.

Siccome la procedura di calibrazione non include l'effetto dell'antenna ricevente, per la corretta interpretazione dei dati misurati e per la loro successiva elaborazione è stato necessario apportare ulteriori correzioni alle misure di ampiezza e fase. Infatti, la quantità effettivamente misurata è legata al campo elettrico attraverso l'altezza efficace in ricezione dell'antenna ricevente valutata rispetto alla sezione di riferimento

Tale parametro è stato valutato approssimativamente assumendo che il suo modulo sia uguale al modulo del campo lontano irradiato dall'antenna valutato mediante il modello comunemente usato. Per quanto riguarda la fase, per ogni vista si è tenuto conto della "propagazione" dalla bocca delle antenne alle porte di riferimento attraverso un termine di fase dipendente linearmente dalla frequenza del tipo $\exp(j\beta d_{eq})$, dove β è il numero d'onda in aria e d_{eq} è legata alla distanza effettiva della trasmittente dall'origine del sistema di riferimento. Nelle figure 2 e 3 il confronto fra dati di misura (linea continua) e dati sintetici (linea a tratti) si mostra affidabile fintantoché non interviene il mutuo accoppiamento fra le antenne.

Una volta verificata l'affidabilità dei dati di misura essi sono stati impiegati in una procedura di ricostruzione basata sulla tecnica mostrata in [1,2]. L'algoritmo di inversione fa riferimento ad una configurazione multistatica/multifrequenza in corrispondenza di un'onda piana incidente con direzione di propagazione lungo la congiungente la posizione della trasmittente con l'origine del sistema di riferimento e a dati di campo diffuso raccolti su un dominio circolare in zona lontana.

La sola informazione a priori riguarda il dominio di investigazione, assunto quadrato di lato pari a 16 cm e centrato rispetto all'origine del sistema di riferimento.

Differenti ricostruzioni, corrispondenti a diverse posizioni dell'antenna trasmittente, sono state effettuate utilizzando i dati misurati [3].

La figura 4 mostra la ricostruzione del cilindro ottenuta giustapponendo le ricostruzioni in corrispondenza di 3 diverse viste, ossia per tre diverse direzioni di incidenza. Il confronto con la curva di riferimento del cilindro effettivamente presente permette di confermare l'affidabilità dell'intera procedura di diagnostica consistente nelle misure, nella calibrazione dei dati e nell'inversione.

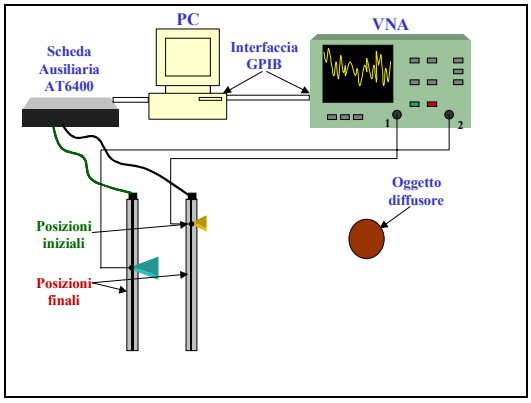

Figura 1

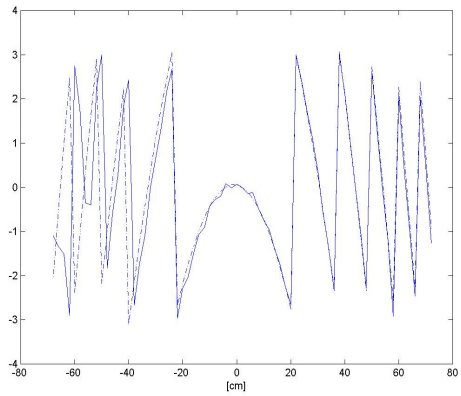

Figura 2

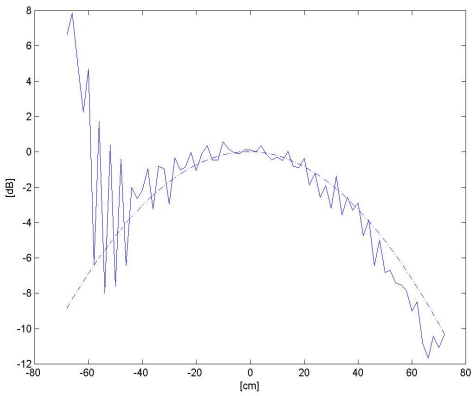

Figura 3

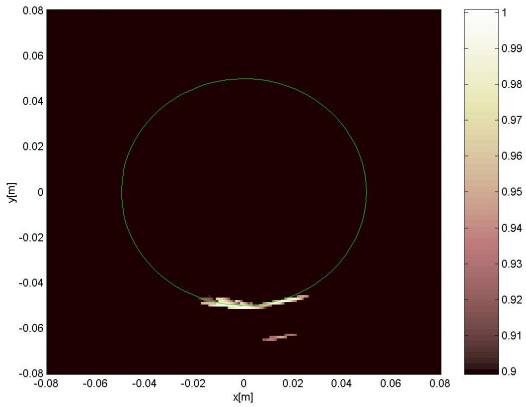

Figura 4

RIFERIMENTI

[1] A. Liseno, R. Pierri, "Ricostruzione di forme di oggetti fortemente diffusori attraverso modellli distribuzionali", Atti della XIV Riunione Nazionale di Elettromagnetismo, Ancona, Italy, Sept. 2002.

[2] R. Pierri, A. Liseno, F. Soldovieri, "Shape reconstruction from PO multi-frequency scattered fields via the singular value decomposition approach", *IEEE Trans. on Antennas and Prop.,* vol. AP-49, n. 9, pp. 1333-1343, Sept. 2001.

[3] A. Brancaccio, G. Leone, R. Pierri, F. Soldovieri, "Experimental validation of a PO-based shape reconstruction algorithm", accepted for publication on *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing.*