



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Nota Interna

**Misure preliminari a microonde per l'imaging
tomografico di manufatti in calcestruzzo**

E. Bozzi, G. Gagliardi, E. Salerno

B4-09
set-2002

ISTI

ISTITUTO DI
SCIENZA E TECNOLOGIE DELLA
INFORMAZIONE "Alessandro Faedo"



Consiglio Nazionale delle Ricerche

***Misure preliminari a microonde per l'imaging
tomografico di manufatti in calcestruzzo***

E. Bozzi, G. Gagliardi, E. Salerno

B4-09
set-2002

Misure preliminari a microonde per l'imaging tomografico di manufatti in calcestruzzo

E. Bozzi, G. Gagliardi, E. Salerno

ISTI-CNR
Via Moruzzi, 1 - 56124 Pisa

Abstract: In questa nota vengono riportati i risultati delle misure effettuate con la strumentazione a disposizione del nostro laboratorio al fine di verificare la rilevabilità di disomogeneità di varia natura entro manufatti in calcestruzzo. Tali misure si rendono necessarie per una valutazione preliminare di fattibilità di una tecnica tomografica a microonde su strutture in muratura di interesse monumentale, studiata nell'ambito di un progetto coordinato del programma *Agenzia 2000* del CNR.

1. Introduzione

Nel quadro del progetto coordinato *Un sensore portatile per la diagnostica elettromagnetica non invasiva dello stato interno di strutture monumentali*, codice CNRC005511_003, esiste l'esigenza di realizzare un banco a microonde per la misura coerente del campo elettromagnetico retroirradiato da manufatti in muratura. Lo scopo finale è di rendere disponibili le misure per la sperimentazione di una tecnica di ricostruzione tomografica basata su dati di differenza tra i campi rilevati in presenza di una struttura integra e quelli provenienti dalla misura sul campo. Una volta concepita l'architettura del banco e la strumentazione necessaria alla sua realizzazione [1], occorre prima di tutto verificare almeno grossolanamente la rilevabilità di disomogeneità interne mediante misure nella banda prevista. A tale scopo, è stato realizzato un campione in calcestruzzo dotato di una cavità in cui possano essere introdotti materiali di diversa natura in modo da realizzare disomogeneità con diversi valori di contrasto. Le misure sono state realizzate con l'analizzatore vettoriale di reti e l'antenna a tromba già a nostra disposizione, e hanno dato risultati che inducono a proseguire la ricerca.

2. Campione in calcestruzzo

Il campione realizzato (Figura 1) è un parallelepipedo di calcestruzzo di dimensioni $15 \times 27 \times 27$ cm³, con un peso di circa 20 kg. Al fine di poter applicare l'algoritmo di ricostruzione tomografica, la sua costante dielettrica media dovrebbe essere nota. Poiché questo campione è destinato solo a misure preliminari ed è comunque troppo piccolo per ottenerne dei dati utili alla ricostruzione, e anche per il fatto che la misura della permittività alle frequenze di nostro interesse è piuttosto difficoltosa, questa gradezza non è stata valutata. Indicativamente, si può dire che per i vari tipi di calcestruzzo, alle frequenze qui considerate, si possono riscontrare valori di permittività relativa che vanno da 9 a 12 [2, 3, 4]. Con asse parallelo alle due facce quadrate del campione, è praticato un foro passante del diametro di 3.5 cm, entro il quale è possibile introdurre barre di diverso materiale o materiali granulari o liquidi di diverse permittività relative. Nelle nostre

misure abbiamo utilizzato un cilindro di ferro pieno, un tubo di ferro e un cilindro di legno tutti delle stesse dimensioni, corrispondenti alle dimensioni interne del foro.

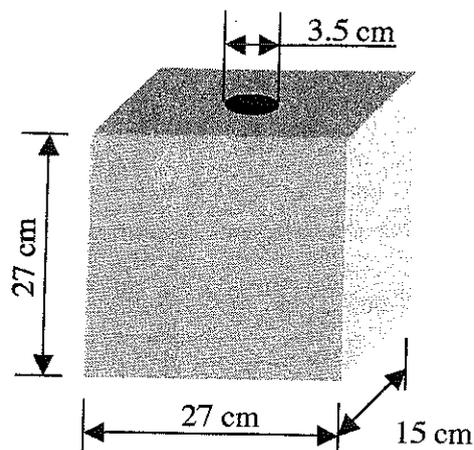


Figura 1

3. Sistema di misura e misure effettuate

Le misure sono state condotte servendosi della strumentazione di laboratorio già disponibile, vale a dire, l'analizzatore vettoriale di reti Hp8753B con i suoi accessori e l'antenna a tromba standard Wavetronics 6002-00, con banda passante tra 1.7 e 2.6 GHz, non coprente per intero l'intervallo giudicato interessante per questa applicazione [1] ma comunque significativa. Lo schema di misura è mostrato in Figura 2. L'asse del foro passante nel campione è disposto in modo da risultare parallelo al vettore campo elettrico emesso dall'antenna.

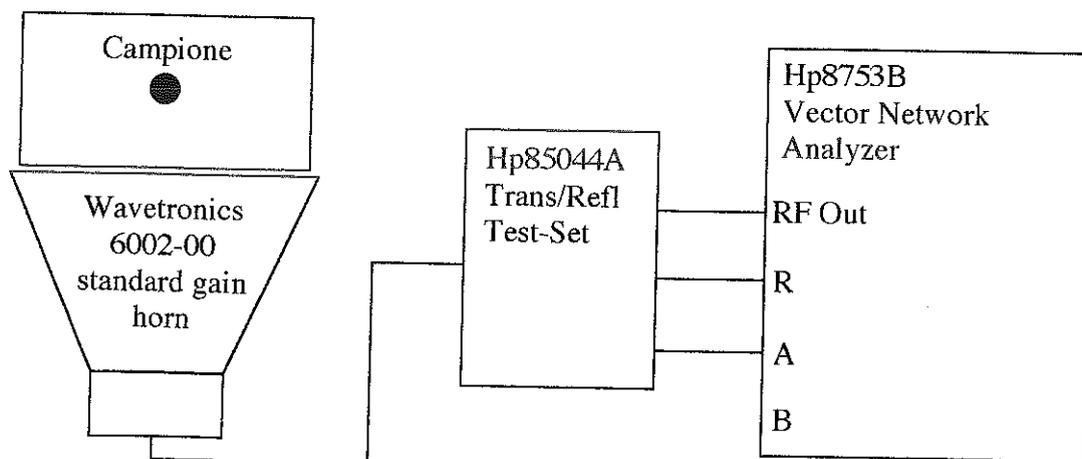


Figura 2

I parametri di misura impostati sono i seguenti:

Calibrazione	- S_{11} one-port con Hp85032B 50-ohm Type N Calibration kit
Interpolazione	- off
Frequenza iniziale	- 1.7 GHz
Frequenza finale	- 2.6 GHz
Electrical Delay	- 9.1804 ns

L'applicazione di un ritardo elettrico di circa nove nanosecondi tende ad ridurre gli effetti di rotazione di fase dovuti alla presenza del cavo di connessione e alla lunghezza elettrica finita dell'antenna. Il piano di apertura dell'antenna è stato posto a una distanza di circa un centimetro da una faccia del campione.

Le misure sono state effettuate lasciando sempre il campione in posizione e sostituendo l'oggetto all'interno del foro. Il risultato di ogni misura è stato confrontato con il corrispondente ottenuto a cavità vuota. Questa procedura assicura che le differenze riscontrate tra una misura e l'altra dipendano soltanto dal diverso contenuto della cavità ricavata nel campione. I diagrammi polari riportati nei grafici alle pagine seguenti rappresentano i valori del coefficiente di riflessione misurato nelle varie condizioni. Alla Tavola I, abbiamo le misure di riflessione con cavità vuota, mentre, rispettivamente, alle Tavole II, IV e VI le corrispondenti misure con disomogeneità ferro pieno, tubo, e barra di legno. Alle Tavole III, V e VII sono invece riportate le differenze tra le misure ottenute, rispettivamente, con ferro pieno, tubo e barra di legno e quelle relative a cavità vuota, assunte come riferimento e immesse nella memoria dell'analizzatore di reti.

Come si vede, la presenza sia dei due pezzi in ferro sia della barra di legno risulta sempre rilevabile con sufficiente chiarezza. Il fatto di rilevare una differenza sensibile tra le varie situazioni non assicura ovviamente la fattibilità di una qualunque tecnica tomografica diffrattiva basata su queste misure, ma è una precondizione per approfondire l'indagine e passare quindi a misure su campioni di dimensioni più significative, in modalità prima monostatica e poi multistatica, come previsto in [1].

TAVOLA I

Inclusione aria

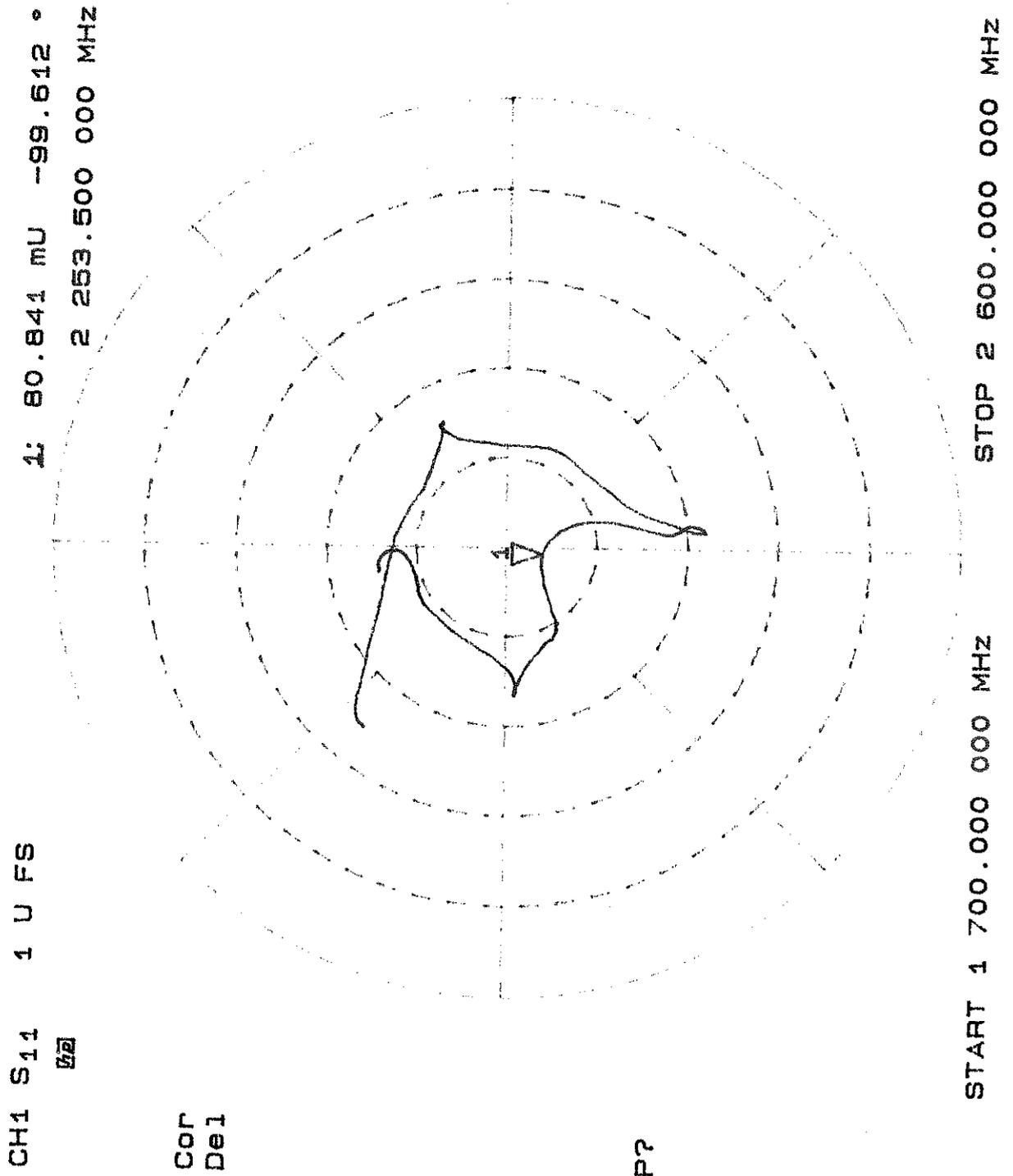


TAVOLA II

Inclusione ferro pieno

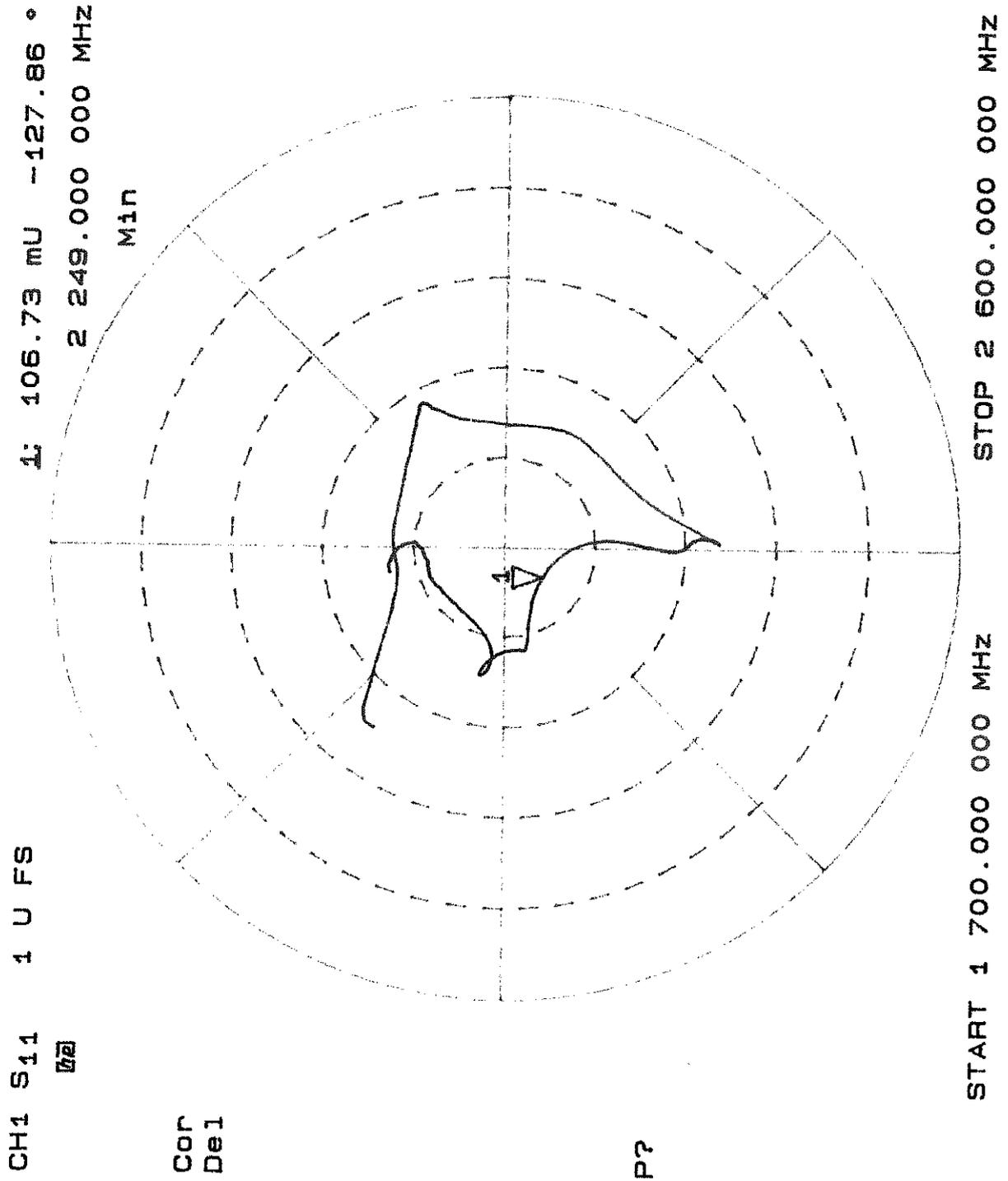
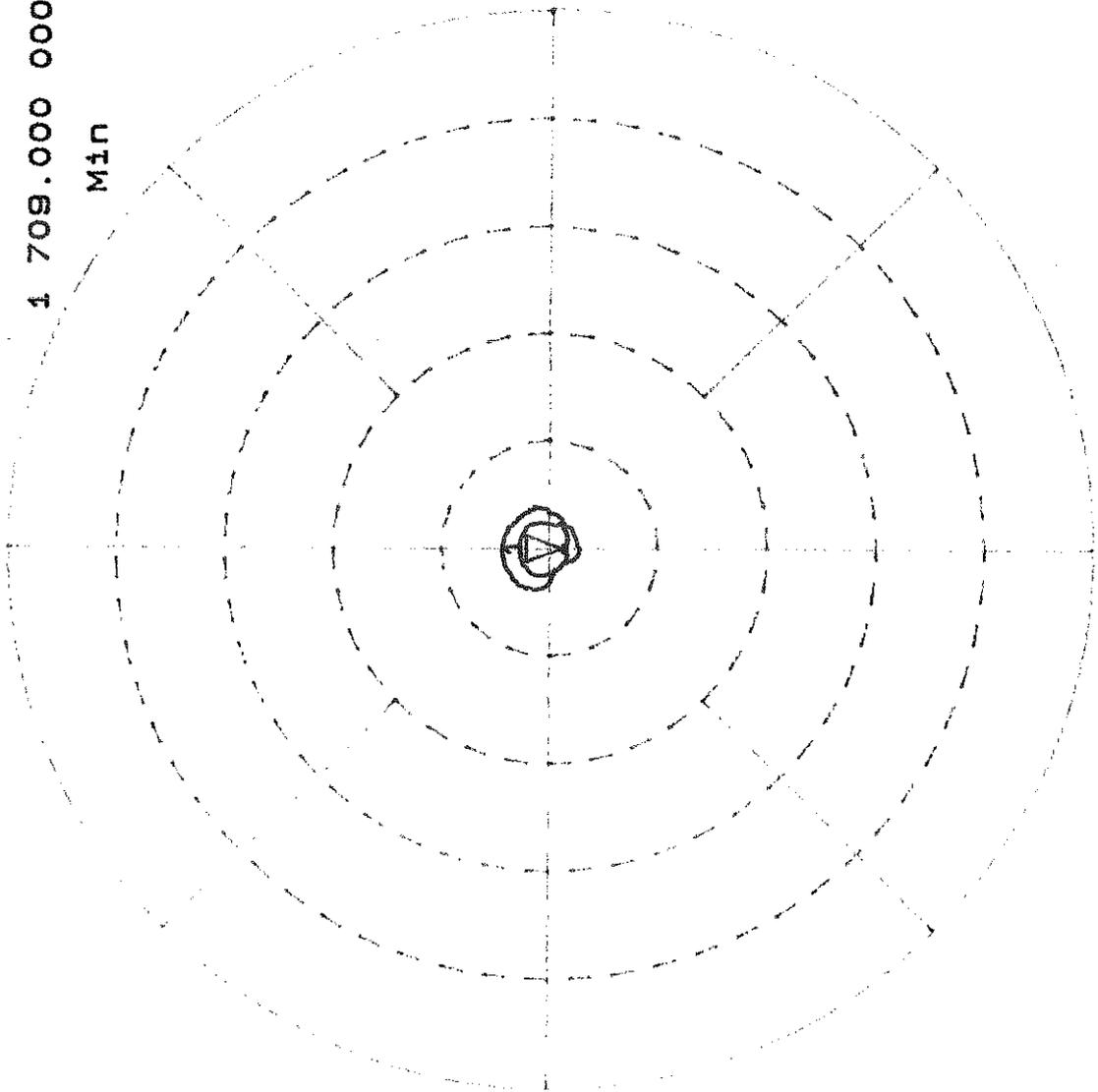


TAVOLA III

Differenza ferro pieno-aria

CH1 S11-M 1 U FS
1: 22.433 MU -89.122 °
1 709.000 000 MHZ

Min



STOP 2 600.000 000 MHZ

START 1 700.000 000 MHZ

CH1 S11-M 1 U FS

1: 22.433 MU -89.122 °

Cor
Del

P?

TAVOLA IV

Inclusione tubo ferro

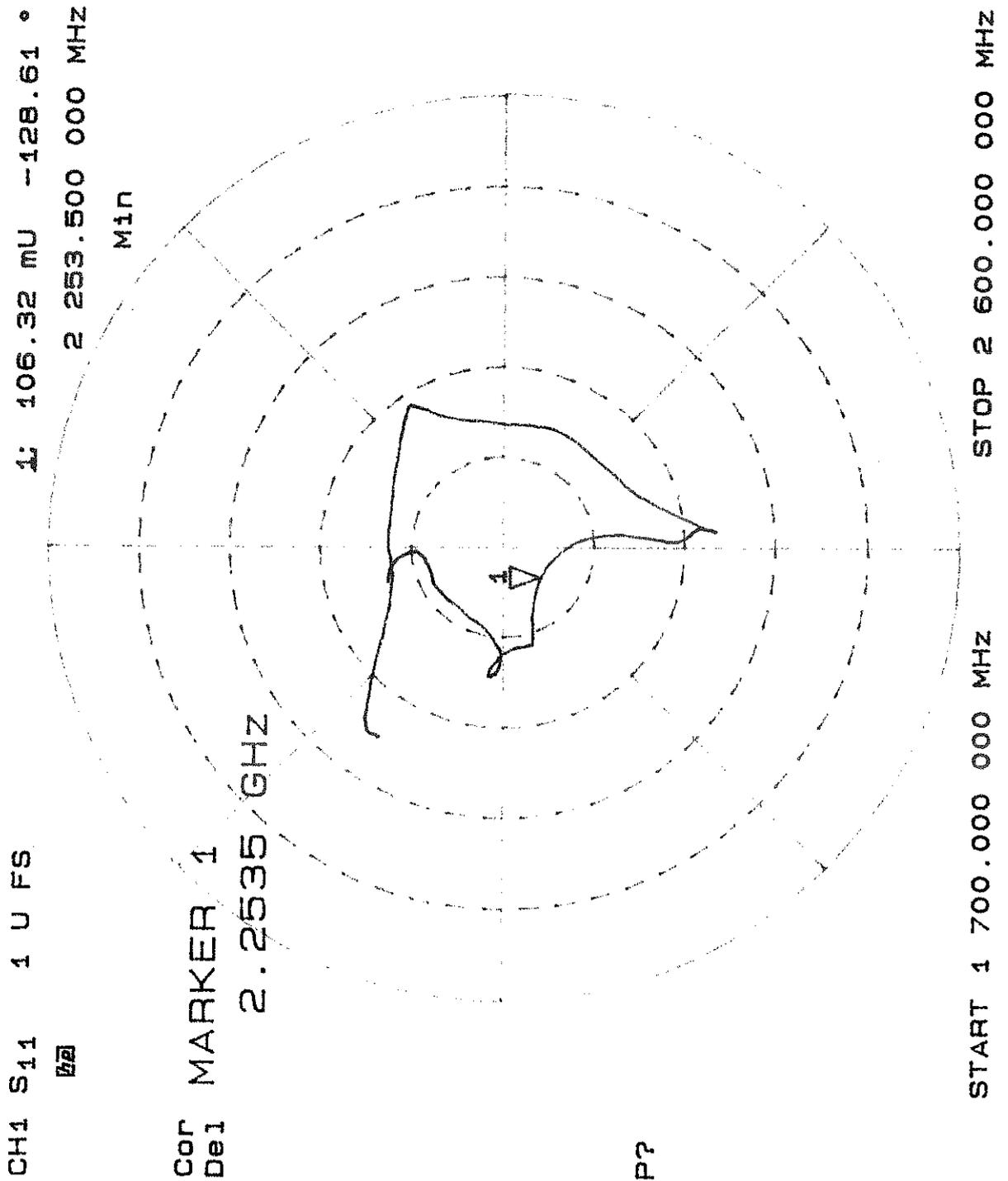
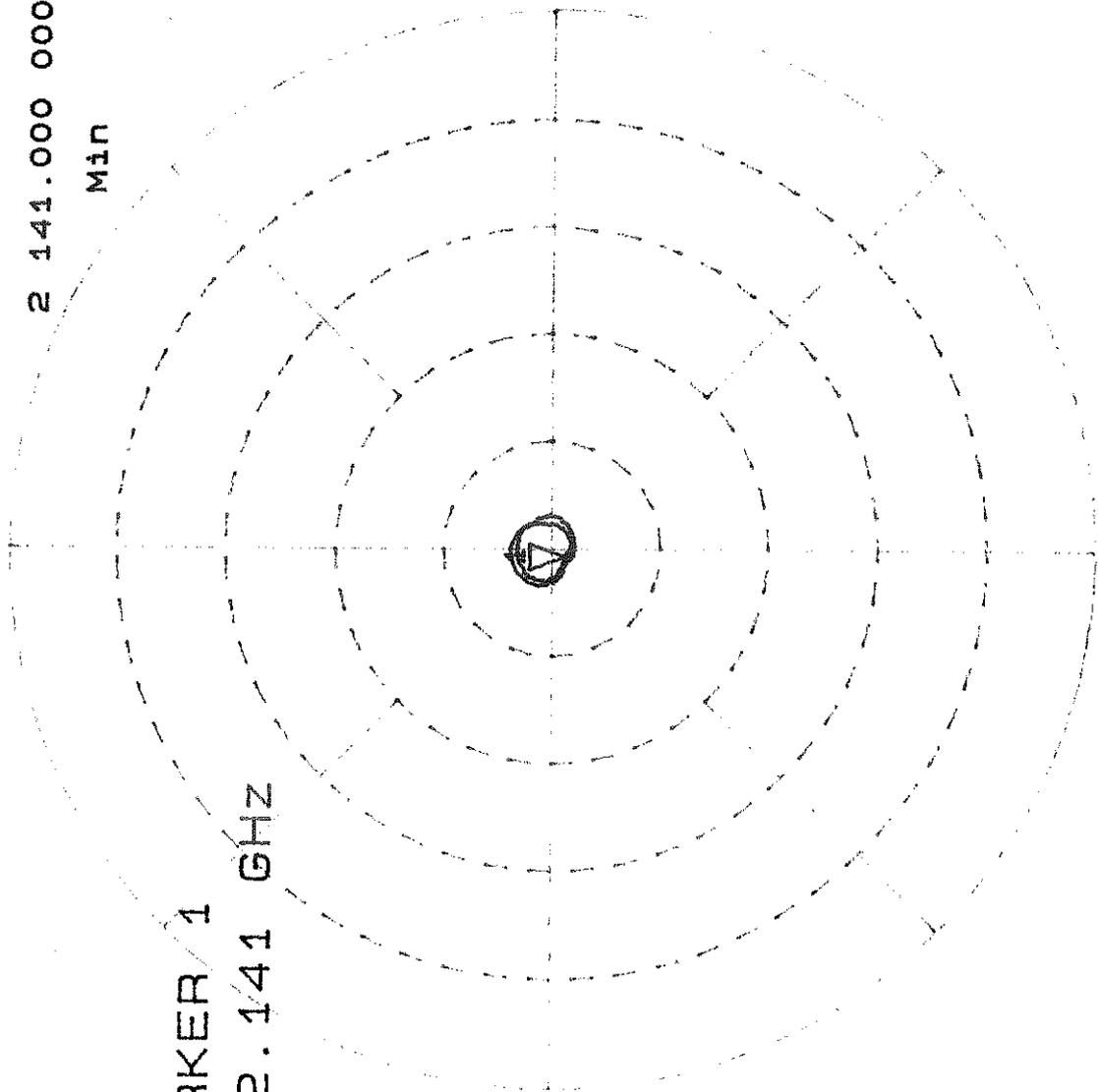


TAVOLA V

Differenza tubo ferro-aria

CH1 S11-M 1 U FS
L: 29.47 MU -115.6 °
2 141.000 000 MHZ

Min



CoF
Del
MARKER 1

2.141 GHZ

P?

START 1 700.000 000 MHZ
STOP 2 600.000 000 MHZ

TAVOLA VI

Inclusione legno

CH1 S11 1 U FS
1: 86.92 MU -114.03 °
2 253.500 000 MHZ

Min



START 1 700.000 000 MHZ
STOP 2 600.000 000 MHZ

Cor
Del

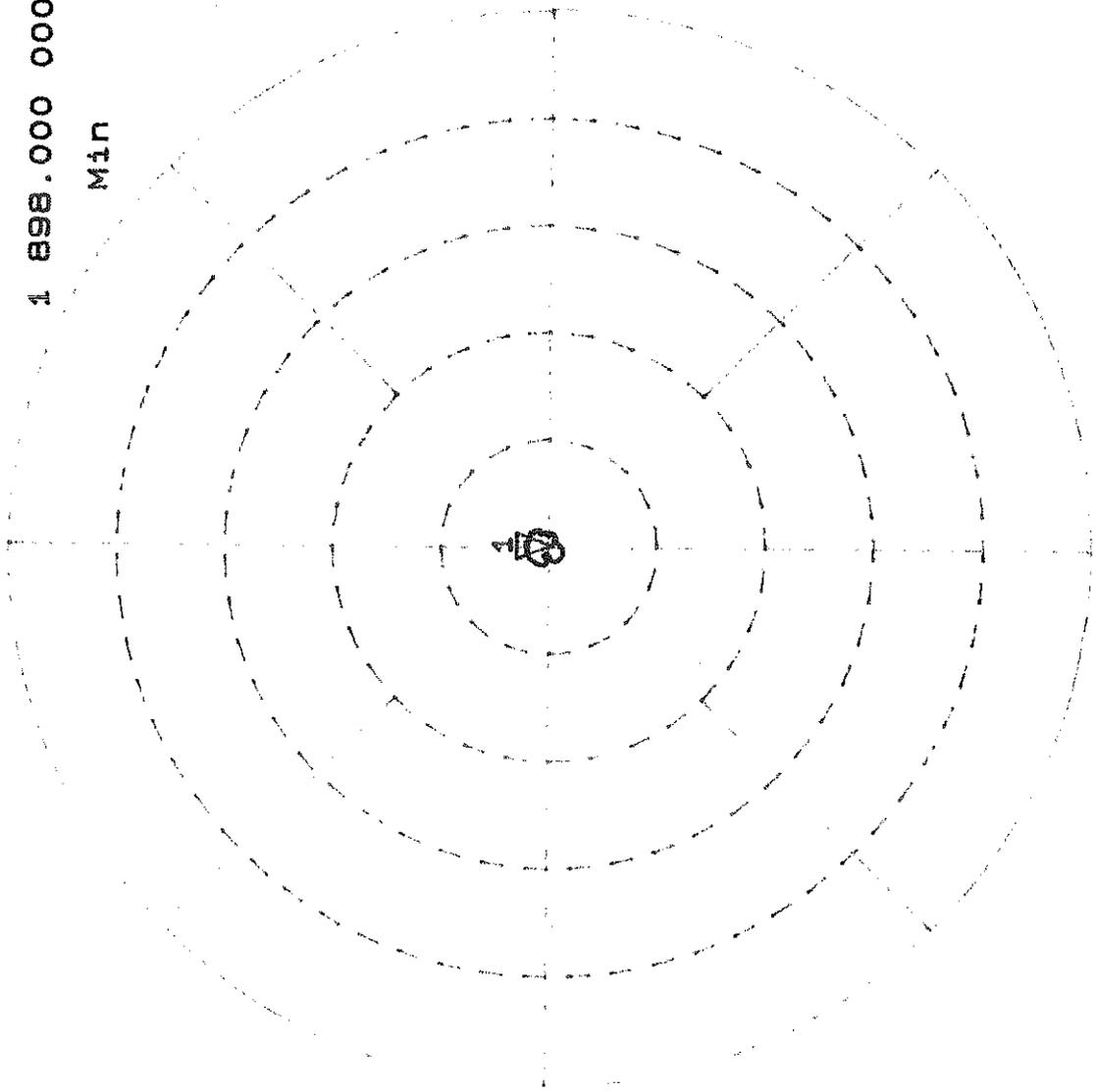
P?

TAVOLA VII

Differenza legno-aria

CH1 S11-M 1 U FS
1: 9.3798 mU -65.88 °
1 898.000 000 MHZ

Min



START 1 700.000 000 MHZ
STOP 2 600.000 000 MHZ

Cor
DeI

P?

Bibliografia

- [1] E. Bozzi, G. Gagliardi, E. Salerno, "Studio di fattibilità di un sistema di misura a microonde per indagini non invasive su manufatti in muratura", IEI-CNR, Pisa, Nota Interna B4-06-02, Aprile 2002.
- [2] S. Cardimona, B. Willeford, D. Webb, J. Wenzlick, N. Anderson, "Ground penetrating radar survey of Interstate 70 across Missouri", University of Missouri-Rolla, Department of Geology and Geophysics, Completed R&D Project, sequence 2. <http://www.utc.umn.edu/Project/Completed/R538002.htm>
- [3] C. J. Korhonen, V. C. Janoo, C. M. Berini, "Time-domain reflectometry of water content in Portland cement concrete", US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special Report 97-27.
- [4] M. Krause, C. Meierhofer, H. Wiggenhauser, O. Bärman, K. Langenberg, R. Frielinghaus, K. Rautkramer, J. Neisecke, F. Wollbold, M. Schickert, "Comparison of pulse-echo-methods for testing concrete", *International Symposium on Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)*, 26-28/09/1995, Berlin, Germany. <http://www.ndt.net/article/concrete/concrete.htm>