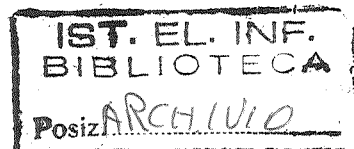


*Consiglio Nazionale delle ricerche*



**ISTITUTO DI ELABORAZIONE  
DELLA INFORMAZIONE**

**PISA**

**A System for the Automatic Acquisition  
of the Electromagnetic Backscattering  
Field in a Microwave Tomographic Unit**

**M. Bramanti, E. Salerno, A. Ribolini, P. Risaliti**

**PROGETTO FINALIZZATO SISTEMI INFORMATICI E  
CALCOLO PARALLELO  
SOTTOPROGETTO 2: PROCESSORI DEDICATI**

**Rapporto tecnico N. R/2/24**

**Nota Interna B4-62**

**Dicembre 1990**

**PROGETTO FINALIZZATO  
SISTEMI INFORMATICI E CALCOLO PARALLELO**

**SOTTOPROGETTO 2**

**Coordinatore Prof. Franco Denoth**

**Processori Dedicati**

**M. Bramanti, E. Salerno, A. Ribolini, P. Risaliti \***

**A System for the Automatic Acquisition of the  
Electromagnetic Backscattering Field in a  
Microwave Tomographic Unit**

**N. R/2/24**

**Novembre 1990**

**Rapporto tecnico**

**\*Istituto di Elaborazione della Informazione, Consiglio  
Nazionale delle Ricerche, via Santa Maria 46, 56126 Pisa**

# SISTEMA AUTOMATICO DI ACQUISIZIONE DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO DI BACKSCATTERING PER UN MODULO DI IMAGING TOMOGRAFICO A MICROONDE

M.Bramanti, E.Salerno, A.Ribolini, P.Risaliti  
IEI-CNR, Via S.Maria, 46 - 56126 PISA

## 1. Introduzione

Si descrive un banco automatico per l'illuminazione di un oggetto con un campo elettromagnetico e la misura del corrispondente campo retroirradiato per diversi angoli di incidenza (campo di backscattering), al fine di fare una verifica sperimentale delle prestazioni della tecnica di tomografia a microonde proposta in [1] e basata sull'approssimazione di Born. Questo lavoro fa seguito a un insieme di ricerche, teoriche e di simulazione, svolte presso l'IEI dal 1984 in poi [2] [3] [4] [5] [6] [7] [10] [11] [12] [14] [17]. L'oggetto di tali ricerche è stato dapprima lo studio della risoluzione e della fedeltà teoriche della tecnica di ricostruzione in esame, in funzione delle frequenze di esplorazione, della dinamica delle immagini originali e del disadattamento del corpo in esame rispetto al mezzo in cui si trova immerso. In [8] e [9] era già stato proposto per grandi linee un banco sperimentale per l'acquisizione dei dati necessari all'implementazione dell'algoritmo ricostruttivo legato alla tecnica tomografica. In seguito a quelle prime idee, e tenendo conto dei risultati teorici ottenuti per quanto riguarda la scelta delle frequenze di esplorazione oltre che delle nuove disponibilità commerciali per quanto riguarda gli strumenti di misura, si è passati alla realizzazione dell'apparato descritto nella presente nota. Esso è basato su un analizzatore di reti vettoriale dotato di sorgente sintetizzata interna che serve sia per l'illuminazione, attraverso un'antenna a tromba, sia per la misura del campo di backscattering; l'analizzatore è controllato attraverso un bus IEEE-488 da un personal computer. Il posizionamento dell'oggetto è ottenuto per mezzo di un motore passo-passo comandato dallo stesso calcolatore, attraverso un canale dedicato. I dati acquisiti dal sistema, costituiti dall'involuppo complesso del campo di backscattering per ogni angolo di incidenza e per ogni lunghezza d'onda di esplorazione, possono essere registrati su disco rigido o floppy disk oppure processati in linea.

Nei paragrafi seguenti sono descritti in dettaglio i componenti usati con le rispettive modalità di impiego ed è presentato anche il programma in Fortran che è servito per i test di funzionamento del sistema.

## 2. Breve richiamo alla tecnica tomografica [14]

Si supponga che un corpo non magnetico e non dissipativo, caratterizzato dalla sua permittività  $\epsilon(x,y,z)$ , sia irradiato da un campo elettromagnetico monocromatico, a

frequenza  $f_i$ , in onda piana e uniforme, emesso da un'antenna posta nel piano x-y in zona di campo lontano, che funge anche da elemento di ricezione del campo di backscattering. Si supponga che la sorgente sia fissa e che il corpo ruoti attorno all'asse z del sistema di riferimento scelto. Si consideri la seguente funzione (detta *densità di riflettività*):

$$p(\mathbf{r}) = \frac{\epsilon(\mathbf{r})}{\epsilon_m} - 1 \quad (1)$$

in cui  $\mathbf{r}=(x,y,z)$  è il vettore posizione di un generico elemento di volume nello spazio e  $\epsilon_m$  è la permittività del mezzo omogeneo in cui è immerso il corpo. Se sono valide le condizioni per l'applicazione dell'approssimazione di Born [13], l'involuppo complesso del campo di backscattering misurato in zona lontana per angoli di incidenza che coprono l'intero angolo giro è proporzionale ai valori della trasformata di Fourier di  $p(\mathbf{r})$  su una circonferenza centrata nell'origine dello spazio trasformato, giacente sul piano  $s_x$ - $s_y$  di tale spazio, e di raggio:

$$R_i = \frac{2f_i}{c} \quad (2)$$

essendo  $c$  la velocità della luce nel mezzo di permittività  $\epsilon_m$ . Per il teorema di proiezione-sezione [4], questi valori sono anche proporzionali alla trasformata di Fourier bidimensionale della funzione

$$g(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y, z) dz \quad (3)$$

che qui manterrà il nome di densità di riflettività e che, nel caso di corpi a prevalente estensione nel piano x-y, sarà circa proporzionale a  $p(x,y,0)$ . Se l'irradiazione del corpo avviene successivamente con radiazioni aventi  $n$  diverse frequenze si arriva alla conoscenza della trasformata di  $g$  su un insieme di circonferenze di raggi  $R_i$ ,  $i=1, \dots, n$ . Supponendo nulla la trasformata al di fuori di questo insieme si può passare all'antitrasformazione per ottenere una stima  $\hat{g}$  della densità di riflettività bidimensionale, che, in forma polare, è esprimibile nella forma:

$$\hat{g}_p(r,\varphi) = \sum_{i=1}^n \frac{4\pi f_i}{c} \int_0^{2\pi} G_i(\theta) \exp\left\{j \frac{4\pi f_i}{c} r \cos(\varphi-\theta)\right\} d\theta \quad (4)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \varphi = \arctg\left(\frac{y}{x}\right)$$

in cui  $G_i(\theta)$  è appunto l'involuppo complesso del campo ricevuto a frequenza  $f_i$  e angolo di incidenza  $\theta$ . Gli integrali in (4) sono riconoscibili come convoluzioni circolari tra le funzioni  $G_i(\theta)$  e le funzioni  $\exp\{j 4\pi r f_i / c \cos(\theta)\}$  per ogni valore dell'indice  $i$  e per i valori desiderati di  $r$ . Sfruttando algoritmi di FFT è dunque possibile un'implementazione numerica veloce della (4), che ci consente di ricavare la  $\hat{g}$  su un opportuno reticolo polare sul piano x-y.

Si presenta quindi l'esigenza di disporre di un sistema in grado di generare i necessari campi "esploranti" e di misurare i valori di  $G_i(\theta)$ .

### 3. Apparato di misura

Si faccia riferimento alla Figura 1, in cui sono mostrate schematicamente la parte controllo-acquisizione e la parte ambiente di misura dell'intero sistema. Tutto ciò che sta nell'ambiente di misura è rappresentato al di sotto della linea tratteggiata orizzontale e dovrebbe essere racchiuso entro una camera anecoica per simulare al meglio le condizioni di corpo immerso nello spazio libero. Poiché tale condizione ideale non sarà mai verificata occorrerà sottrarre dalla misura fatta il valore delle riflessioni provenienti dalle pareti dell'ambiente di misura e dal dispositivo di sostegno della piattaforma rotante, oltre che dai disadattamenti interni. Trattandosi di valore indipendente dall'angolo di rotazione dell'oggetto, a parte il contributo di eventuali riflessioni multiple, qui trascurate, tale operazione di sottrazione non comporta problemi e si può effettuare automaticamente per mezzo dell'analizzatore vettoriale di reti scelto (HP-8753B [18]). Tale strumento è dotato di una banda di misura compresa tra 300 KHz e 3 Ghz ed è in grado di misurare e memorizzare ampiezza e fase relativa del segnale riflesso dall'ambiente di misura. E' pertanto possibile memorizzare il segnale ricevuto in assenza di oggetto, quindi proveniente soltanto dai disadattamenti interni e dalle riflessioni degli altri oggetti presenti nel volume di misura, poi sottrarlo automaticamente dal segnale ricevuto in presenza di oggetto per ogni angolo di rotazione ottenendo così, con ottima approssimazione, il valore delle riflessioni provenienti dal solo oggetto rotante. Le frequenze di esplorazione saranno scelte in modo da coprire la banda utile dell'antenna, che va da 1.7 GHz a 2.6 GHz [20]. L'analizzatore vettoriale viene comandato tramite l'interfaccia HP-IB (Hewlett-Packard Interface Bus), collegata ad un personal computer corredato di interfaccia standard IEEE-488 (National Instruments PCIIA). Il calcolatore può gestire il funzionamento completo dell'analizzatore eseguendo i settaggi necessari per effettuare le misure alle frequenze prescelte e prelevando dallo stesso i risultati delle misure effettuate. In Figura 2 è mostrato uno schema approssimato del sistema (*test-set* in Figura 1) adoperato per il prelievo del segnale di riferimento e la separazione del segnale trasmesso da quello riflesso (HP 85044A Transmission Reflection Test-Set [19]).

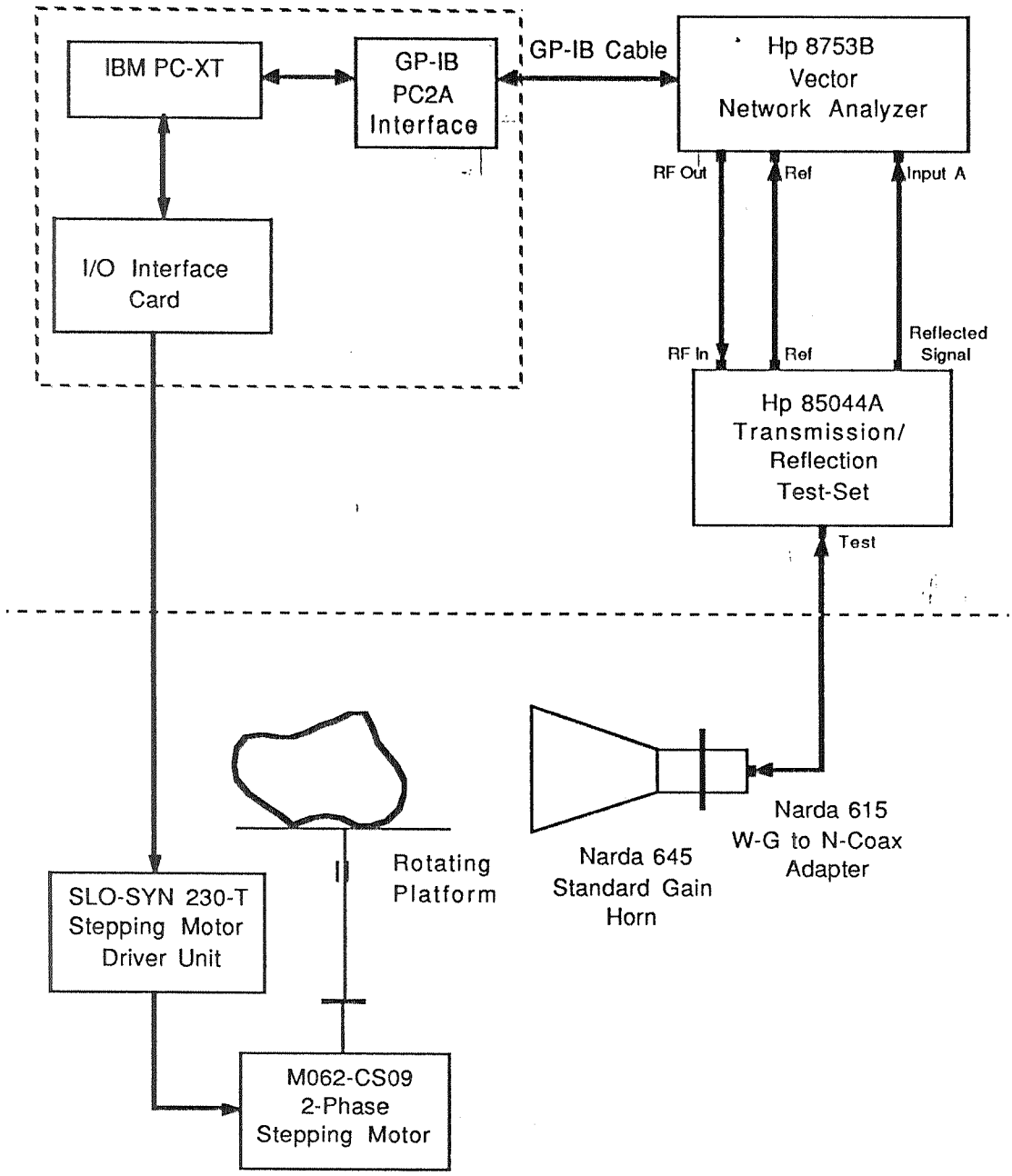
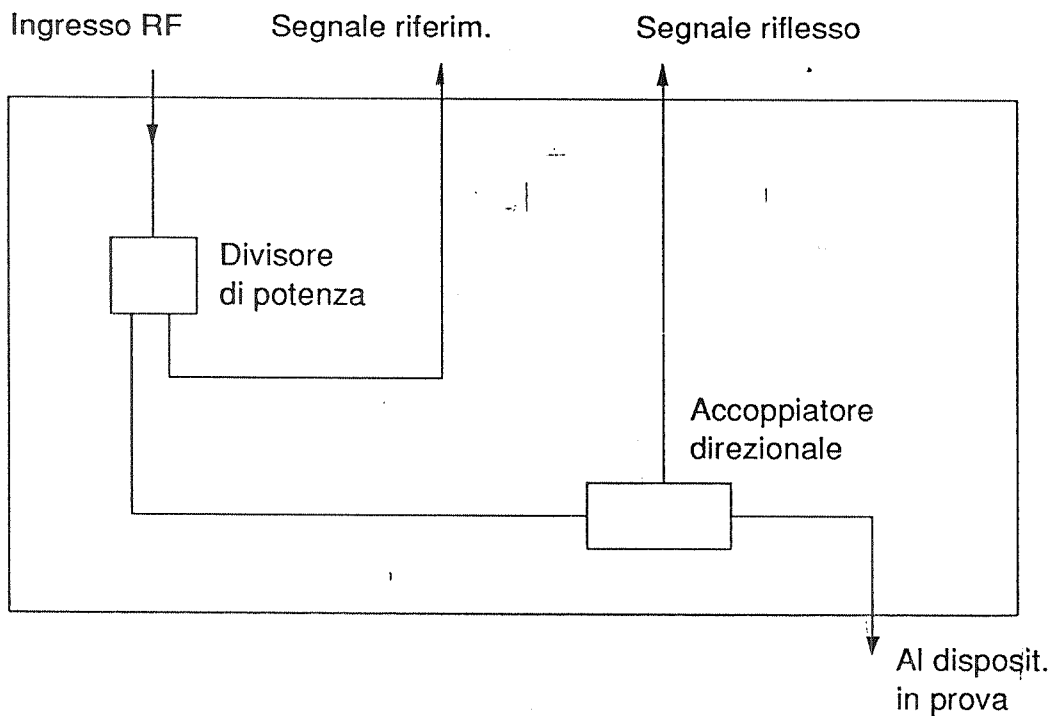


Figura 1

Schema complessivo



**Figura 2**

### **Schema semplificato del Test-Set**

#### **4. Posizionamento del pezzo**

Per trascinare in rotazione la piattaforma che sostiene il corpo in esame è stato scelto un motore passo-passo e si è valutato che un controllo ad anello aperto può essere sufficiente per la presente applicazione. Il modello scelto è il Superior Electric SLO-SYN M062-CE09 [25] [26], con avvolgimenti collegati in serie, che assicura una coppia motrice superiore a 70 Ncm per velocità inferiori a 1000 passi/secondo (1 giro = 200 passi). Il funzionamento di questo motore è comandabile attraverso il computer, tramite l'azionamento indicato in Figura 1 come Stepping Motor Driver Unit, Modello Superior Electric SLO-SYN 230T, che riceve dal computer la sequenza di impulsi di controllo tramite la scheda di ingresso-uscita descritta in [15] e provvede a fornire agli avvolgimenti del motore la corrente idonea ad ottenere l'avanzamento voluto. In Figura 3 è mostrato lo schema di collegamento del motore e del suo azionamento con la necessaria sorgente di tensione continua di 28 Volts nominali. I ponticelli che collegano due coppie di terminali del connettore motore sono fatti allo scopo di ottenere il collegamento in serie tra le bobine dello statore [24].

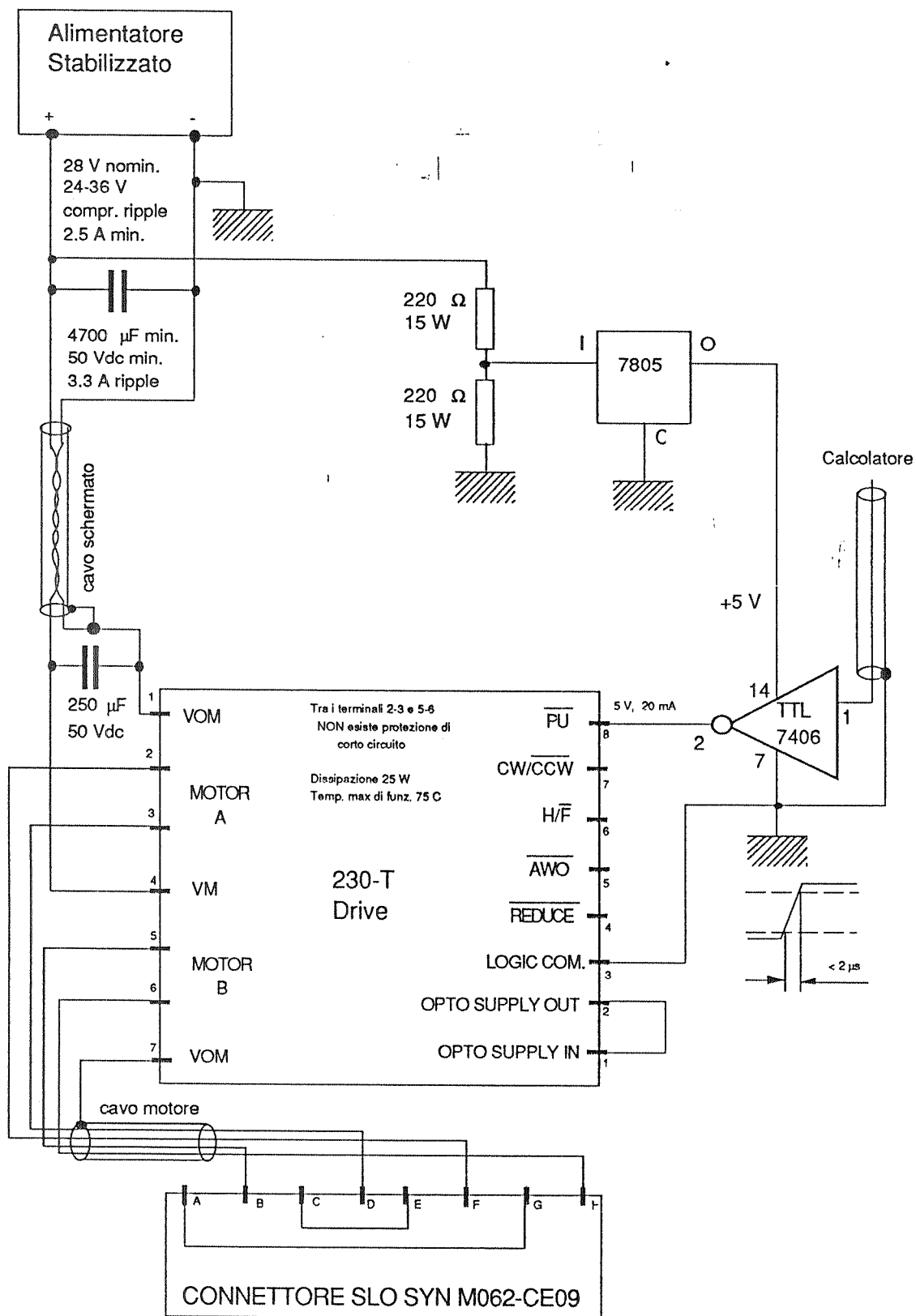


Figura 3

Collegamenti motore e azionamento

## 5. Controllo

Come scheda di interfaccia tra il personal computer e il bus HP-IB si è scelto il modello National Instruments GPIB-PCIIA, al cui manuale [21] si rimanda per una descrizione particolareggiata delle funzioni e le norme di installazione. Accanto al software standard [22] si è aggiunta la libreria software chiamabile da linguaggio Fortran [23], finora utilizzato per la scrittura di tutti i programmi di simulazione del metodo tomografico che si vuole verificare sperimentalmente.

Si riporta qui di seguito il listato del programma Fortran che è servito per il test del funzionamento di tutto il sistema. Lo scopo di questo programma è quello di inizializzare l'analizzatore di reti e porlo in una configurazione di misura già memorizzata in un suo registro interno, poi misurare il valore di fondo del campo di backscattering, memorizzarlo, effettuare le misure di backscattering per ogni angolo di rotazione, determinato per mezzo di comandi al motore passo-passo, e fornire al calcolatore i valori delle misure depurati, per ogni frequenza, del valore corrispondente del fondo. I dati così ottenuti saranno poi registrati in un file di disco definibile dall'operatore.

L'analizzatore di reti dispone di capacità elaborativa e di memoria locale e di un estesissimo set di istruzioni, per cui il suo funzionamento può essere comandato da un programma Fortran utilizzando il bus HP-IB in maniera trasparente, inviando direttamente le stringhe di caratteri mnemoniche utilizzando la subroutine IBWRT(UNITÀ,'COMANDO;',NBYTES), in cui UNITÀ è una variabile che indica la specifica unità GP-IB cui deve essere inviata la stringa "COMANDO;", in questo caso sempre l'analizzatore hp8753b, e NBYTES è il numero di bytes di cui è composta tale stringa, compreso il punto e virgola, che è il carattere (obbligatorio) di fine stringa. Alla variabile UNITÀ viene assegnato un opportuno valore dalla subroutine di inizializzazione IBFIND('NOME UNITÀ').

Lo stato iniziale dello strumento (con l'eventuale calibrazione) si suppone già impostato in precedenza e memorizzato in una memoria interna non volatile. Tale stato è richiamato in fase di inizializzazione con il comando "reca3;", dato via IBWRT. Il segnale riflesso in assenza di oggetto viene misurato per 32 volte, e la media tra queste misure viene memorizzata e quindi sottratta alla misura corrente, che viene effettuata facendo la media su sole 5 misure, per rendere tutto più veloce. I dati per ogni posizione angolare e per ogni frequenza, resi disponibili sul bus come stringhe di caratteri ASCII in seguito al comando "outpmark;", possono essere letti da programma per mezzo della subroutine IBRD(UNITÀ,VARIABILE IN USCITA,NBYTES). In questo caso vengono letti i valori di parte reale, parte immaginaria e frequenza di misura relativi al segnale riflesso misurato, depurato del valore di fondo memorizzato in precedenza.

La subroutine IBLOC(UNITÀ) serve per abilitare il funzionamento in locale dello strumento prima dell'uscita dal programma di controllo.

L'azionamento del motore passo-passo provoca l'avanzamento di un passo del motore ogni volta che riceve in ingresso una transizione basso-alto nello standard TTL. I registri della scheda di ingresso-uscita utilizzata [15] sono visti come locazioni di memoria. Il registro di controllo ha in questo caso indirizzo 499; la scheda viene programmata in modo che la porta all'indirizzo 497 sia utilizzata come uscita ponendo il valore decimale 128 nel registro di controllo per mezzo della subroutine OUTPF(LOCAZIONE,VALORE). Quello che ci interessa è il valore di un solo bit nella porta di uscita, per cui, sempre per mezzo della OUTPF, per fare avanzare di un passo il motore modifichiamo il contenuto del registro da 0 a 1, prelevando poi dal connettore in uscita il solo bit meno significativo. Per quanto riguarda la velocità massima ottenibile, dalle prove fatte è risultato che comandando l'azionamento da Fortran non si può andare oltre i 2500 passi al secondo (12.5 giri/secondo con rapporto di trasmissione 1:1). Questa velocità è certamente adeguata agli scopi che ci si prefiggono perché, almeno allo stato attuale, la fase critica in termini di impiego di tempo è quella di misura e non quella di posizionamento della piattaforma.

```

c programma di test per il sistema di acquisizione
c dati di campo di backscattering
c
c Emanuele Salerno - IEI-CNR - 3/10/1990
c
c Inclusionione file di dichiarazione per il
c funzionamento della libreria Fortran
c
c $include: 'decl.for'
c
c Inizializzazione variabili di lavoro
c
c     character lett(100)
c     character*15 ingre,output
c     integer brd0
c     integer*2 bit1,bit0,ouput
c     data bit0,bit1,ouput/0,1,128/
c     write(*,*)'nome file di uscita'
c     read(*,200)output
200  format(a15)
c     open(unit=6,file=output)
c
c Programmazione scheda di interfaccia I/O
c come dispositivo di uscita
c
c     call outpf(499,ouput)
c
c Inizializzazione Bus IEEE-488
c
c     dvm=ibfind('hp8753b ')
c     brd0=ibfind('gpib0 ')
c     call ibtmo(dvm,0)
c     call ibwrt(dvm,'inte 10;',8)
c     call ibwrt(dvm,'reca3;',6)
c
c Fase di registrazione del valore di fondo
c Volume di misura libero
c
c     write(*,*)'misura e registrazione del valore di fondo'
c     write(*,*)'liberare la zona di misura e premere <enter>'
c     pause
c     call ibwrt(dvm,'averfact 32;',12)
c     call ibwrt(dvm,'numg 32;',8)
c     call ibwrt(dvm,'dati;',5)
c     call ibwrt(dvm,'dispdmm;',8)
c     call ibwrt(dvm,'averfact 5;',11)
c     write(*,*)'numero di viste (sottomultiplo intero di 200)'
c     read(*,*)nth
c     nstep=200/nth

```

```

c
c Fase di misura del campo di backscattering con il pezzo in posizione
c
  write(*,*)'posizionare il pezzo e premere <enter>'
  write(*,*)'(s = stop)'
  read(*,100)ingre
  if(ingre.eq.'s')then
    call ibloc(dvm)
    stop
  endif
100  format(a1)
     do 2 ith=1,nth
       if(ith.eq.1)go to 10
c
c Incremento posizione piattaforma (si suppone di
c avere un rapporto di riduzione di 1:1
c
     do 3 istep=1,nstep
       call outpf(497,bit1)
       do 5 i=1,100
         ouput=inpf(498)
5         continue
       call outpf(497,bit0)
       do 4 i=1,100
         ouput=inpf(498)
4         continue
3         continue
c
c Acquisizione dati, mediati su 5 misure
c
10  call ibwrt(dvm,'numg 5;',7)
     call ibwrt(dvm,'mark1 1.7 ghz;',14)
     call ibwrt(dvm,'mark1;',6)
c
c Lettura dati alle frequenze prestabilite
c E scrittura sul file di uscita
c
     do 1 i=1,11
       call ibwrt(dvm,'outpmark;',9)
       call ibrd(dvm,lett,100)
       write(6,*)(lett(k),k=1,48)
       call ibwrt(dvm,'up;',3)
1       continue
2       continue
     call ibloc(dvm)
     stop
     end

```

## 6. Esempio di misura del campo e ricostruzione dell'immagine

In Figura 4 è mostrato in pianta un fantoccio, formato da due barre cilindriche, utilizzato per un test delle prestazioni della tecnica descritta al Paragrafo 2, i cui risultati sono qui mostrati come esempio. Le figure 5 e 6 mostrano i risultati delle misure effettuate per angoli di rotazione compresi tra  $0^\circ$  e  $360^\circ$ , rispettivamente in modulo-fase e reale-immaginario. In Figura 7 si vede il risultato dell'operazione (4) applicata alla funzione  $G(\theta)$  mostrata in Figura 6. Si nota che il risultato della ricostruzione rispecchia abbastanza fedelmente la posizione delle barre e anche la riflettività diversa per i due diversi materiali di cui sono costituite. La presenza di artefatti così pronunciati è dovuta al fatto che si è fatto uso di una sola frequenza esplorante.

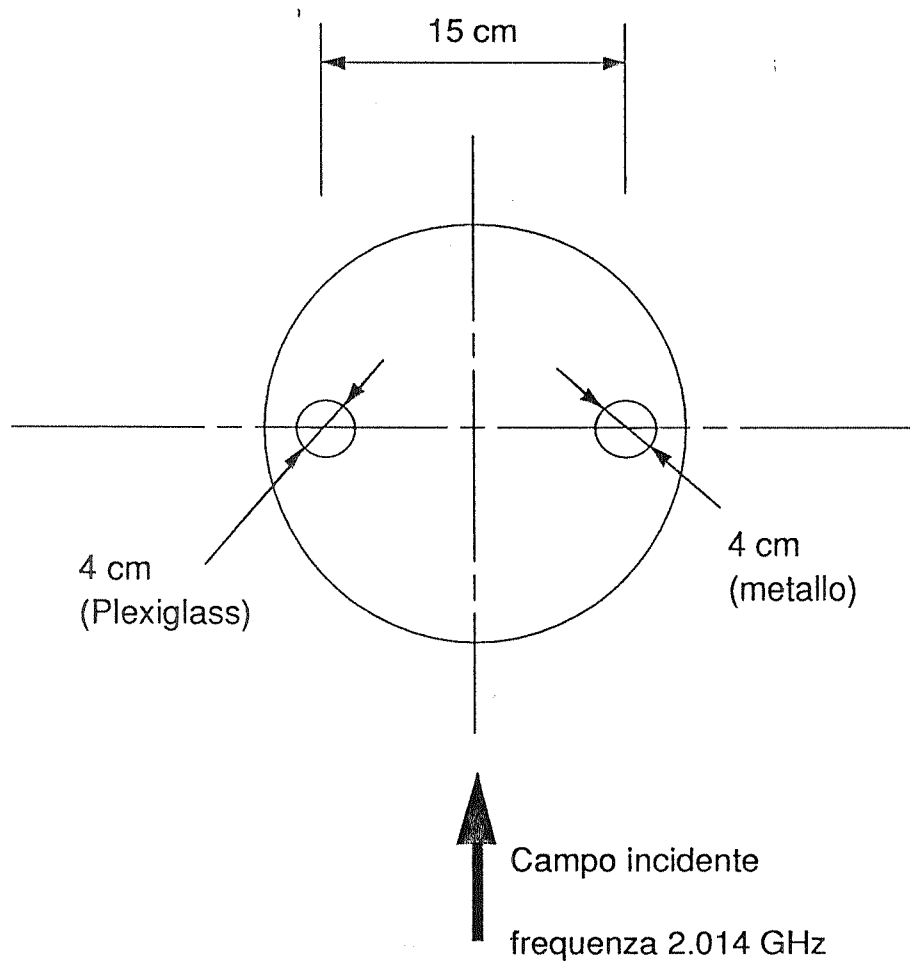


Figura 4

Fantoccio adoperato

Figura 5

Inviluppo complesso del campo misurato

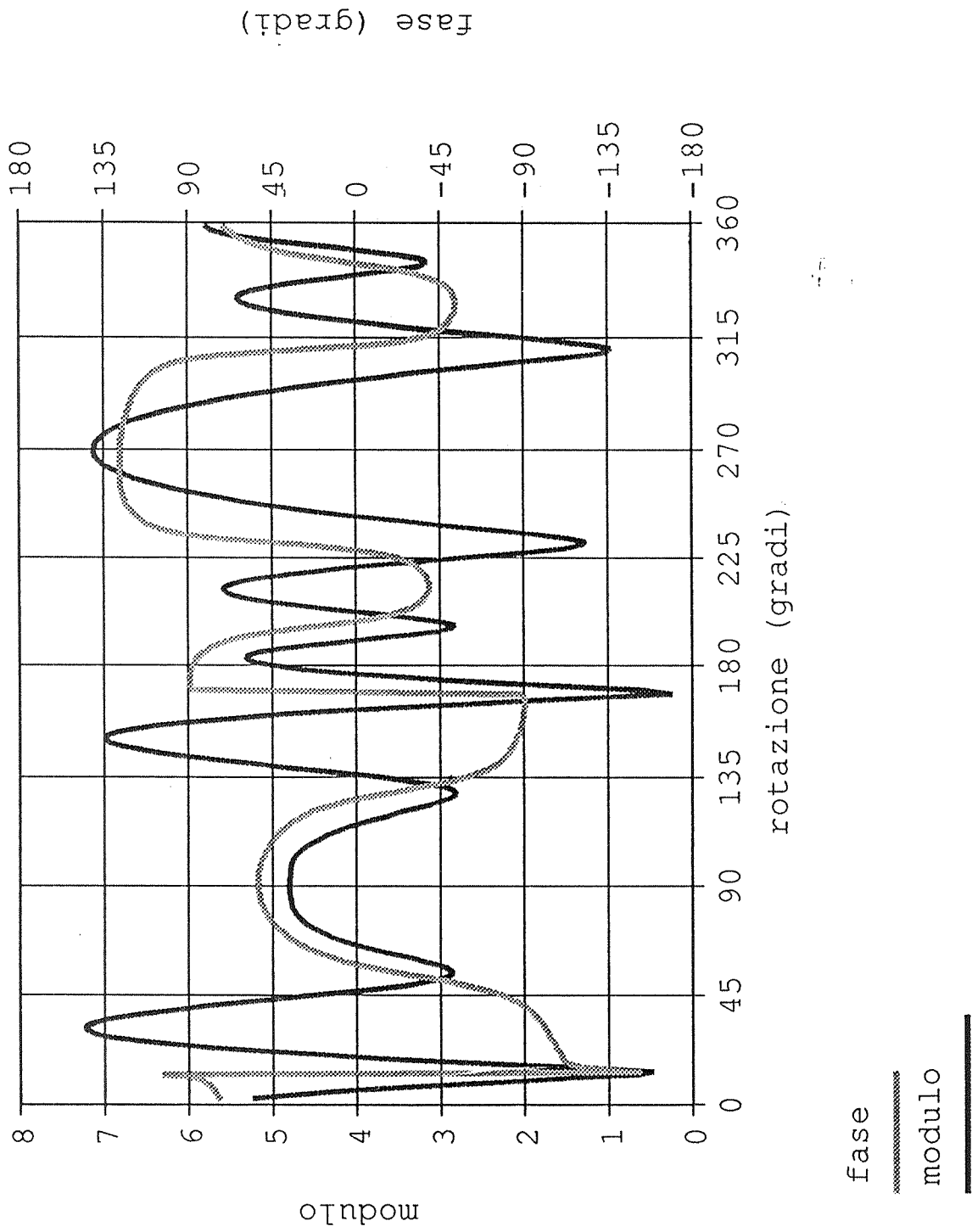
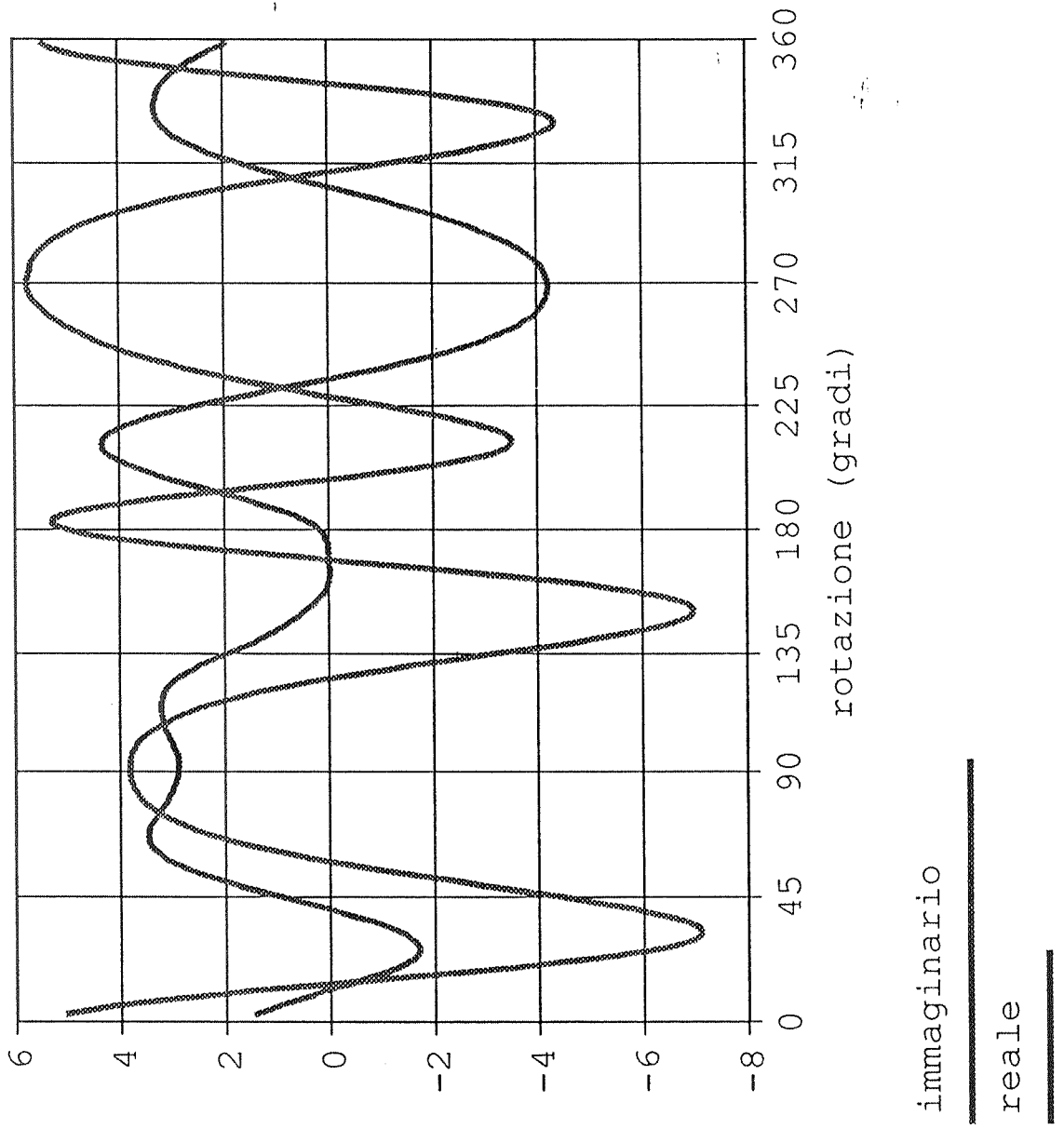


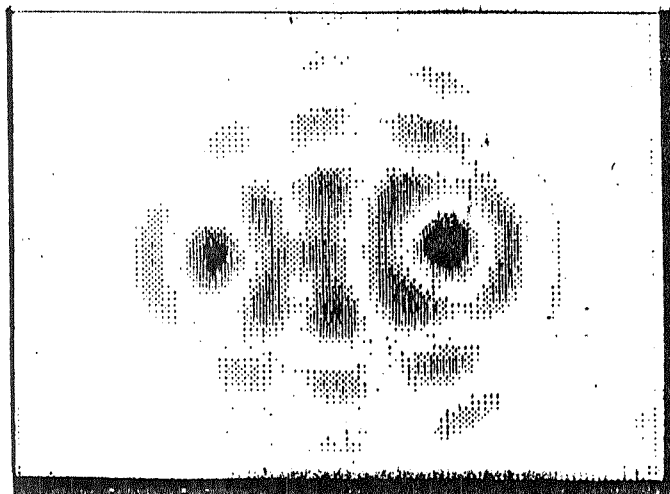
Figura 6

Inviluppo complesso del campo misurato



**Figura 7**

**Immagine ricostruita**



## Bibliografia

- [1] D.Mensa, S.Halevy, G.Wade: "Coherent Doppler Tomography for Microwave Imaging", IEEE Proc., Vol. 71, no. 2, Feb. 1983, pp. 254-261.
- [2] M.Bramanti A.Tonazzini, E.Salerno: "Some Theoretical Aspects of a Backscattering Based Tomographic Imaging Technique", IEI-CNR, Pisa, N.I. B84-25, Dic. 1984.
- [3] M.Bramanti, A.Tonazzini: "On the Resolution Properties of a Particular Tomographic Technique for Industrial Testing Using Ultrasounds or Microwaves", Dixième Colloque sur le Traitement du Signal et ses Applications, Nice, du 20 au 24 Mai 1985.
- [4] E.A.Salerno: "Tecniche di Tomografia Ricostruttiva a Microonde di tipo Diffrittivo", Tesi di Laurea in Ingegneria Elettronica, Università di Pisa, a.a. 1984/85.
- [5] M.Bramanti, Sang En Fang: "On the Performance of a Backscattering Based Tomographic Technique in Reduced Angular Extent Exploration" International Conference on Advances in Image Processing and Pattern Recognition, Pisa, Dec. 10-12, 1985, pp. 42-46.
- [6] M.Bramanti, A.Tonazzini, E.Salerno: "Some Theoretical Aspects of a Backscattering Based Tomographic Imaging Technique", Signal Processing, Vol. 10, no. 4, Jun. 1986, pp. 415-425.
- [7] M.Bramanti, E.A.Salerno: "La Tomografia a Microonde per il Rilievo di "Inclusioni" all'Interno di Laminati e Profilati in Materiali Compositi", IEI-CNR, Pisa, N.I. B4-62, Nov. 1986.
- [8] M.Bramanti, E.A.Salerno: "Proposta di un Banco Sperimentale per Tomografia a Microonde Basata sulla Misura del Campo di Backscatter", IEI-CNR, Pisa, N.I. B4-66, Dic. 1986.
- [9] M.Bramanti, E.A.Salerno: "Progetto di Antenna in Microstrip per Tomografia a Microonde", IEI-CNR, Pisa, N.I. B4-75, Dic. 1986.
- [10] M.Bramanti, E.Salerno: "On the Performance of a Backscattering Based Tomographic Imaging Technique: Some Results for an Actual Case", IEI-CNR, Pisa, N.I. B4-08, Mar. 1987.
- [11] E.Salerno: Prog. strat. "Elaborazione di Segnali e Immagini"; Borsa di Studio "Algoritmi e Tecniche per la Ricostruzione e il Trattamento di Immagini Bi-Tridimensionali"; "Rapporto sullo Stato di Avanzamento Delle Ricerche nel Campo della Tomografia Diffrittiva", Inviato al CNR in Data 6/10/1987.
- [12] E.Salerno: Prog. strat. "Elaborazione di Segnali e Immagini"; Borsa di Studio "Algoritmi e Tecniche per la Ricostruzione e il Trattamento di Immagini Bi-Tridimensionali"; "Relazione Dettagliata sulle Ricerche Svolte nel Periodo: 1/05/1987 - 31/08/1987", Inviato al CNR in data 6/10/1987.
- [13] E.Salerno: "Caratterizzazione del Fenomeno dello Scattering con Particolare Riferimento al Problema Inverso ed Applicazioni all'Imaging Diffrittivo", IEI-CNR, Pisa, N.I.B4-04, Feb. 1988.
- [14] M.Bramanti, E.Salerno: "On the Performance of a Backscattering Based Tomographic Imaging Technique: Some Results for an Actual Case", Signal Processing, Vol. 14, no. 2, Mar. 1988, pp. 153-163.
- [15] E.Bozzi, A.Landucci, A.Ribolini: "Stimolatore Multisensoriale per Prove Attitudinali. Progetto e Ingegnerizzazione della Scheda di Interfaccia", IEI-CNR, Pisa, N.I.B4-33, Lug. 1989.
- [16] E.Salerno: "Algoritmi di Inversione per Sistemi di Tomografia Diffrittiva", IEI-CNR, Pisa, N.I.B4-47, Sett. 1989.
- [17] E.A.Salerno: "Moment Method Simulations Applied to Performance Evaluation for a Born Approximation Microwave Tomographic Imaging Technique", IEI-CNR, Pisa, N.I.B4-07, Febbraio 1990.

- [18] Hewlett-Packard Company, May 1988, "HP 8753B Network Analyzer System Operating and Programming Manual".
- [19] Hewlett-Packard Company, May 1988, "HP 8753B Network Analyzer Test-Sets and Accessories Manual".
- [20] Narda Microwave Corporation, 1988, "Microwave Products and Instruments Catalog 25".
- [21] National Instruments Corporation, 1989, "Getting Started with Your GPIB-PCII/IIA and the NI-488 MS-DOS Handler".
- [22] National Instruments Corporation, 1990, "NI-488 MS-DOS Software Reference Manual".
- [23] National Instruments Corporation, 1990, "NI-488 Function Calls for IBM and Microsoft FORTRAN".
- [24] Superior Electric Company, 1986, "Instruction Manual for SLO-SYN<sup>R</sup> Micro Series Motion Controls. Translator Modules Types 230-T, 430-T, 230-TH and 430-TH".
- [25] Superior Electric Company, "SLO-SYN<sup>R</sup> Brushless DC Stepper Motors".
- [26] Superior Electric Company, "SLO-SYN Micro Series Step Motor Drives & Programmable Motion Controls".