CARATTERIZZAZIONE POLARIMETRICA DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO IN CAMERA RIVERBERANTE

Paolo CORONA, Giuseppe FERRARA, Maurizio MIGLIACCIO
Università degli Studi di Napoli Parthenope
Istituto di Teoria e Tecnica delle Onde Elettromagnetiche,
Via Acton 38, 80133 Napoli, Italy. tel. +39- 081 5513976, fax +39- 081 5512884
e-mail: maurizio.migliaccio@uninav.it

Abstract

In this paper a new methodology for the characterization of the electromagnetic field in reverberating chambers is presented. It is based on the polarimetric decomposition theorem which makes use of the coherence (scattering) matrix [T]. *This new method is interesting both on the theoretical side since it permits to extend the field characterization in complex scattering environments (not limited to the case in question) and on the applicative side since it permits to quantitatively confirm, on a solid theoretical ground, the statement that calls for a totally depolarized field structure in a reverberating chamber.*

I. INTRODUZIONE

Le camere riverberanti sono cavità elettricamente grandi in cui vi è una struttura di campo descritta da molti modi che risentono di condizioni al contorno varianti (camere riverberanti *mode-stirred*) e quindi si ha un campo elettromagnetico per sua natura stocastico [1-4]. La descrizione di un modello teorico e sperimentale del campo elettromagnetico in camera riverberante si è basato su descrizioni modali o a raggi [1-4]. Ciò ha comunque portato a confermare una descrizione del campo basato su di un'analogia termodinamica [1-4].

Tutti questi studi sono sempre convenuti nell'affermare che il campo elettromagnetico in camera riverberante risulta totalmente depolarizzato e ciò comporta delle conseguenze importanti per quanto riguarda il comportamento delle antenne e la determinazione del fattore di merito in camera riverberante [1-4].

Questi fondamentali e basilari studi sono poi importanti perchè questi *test site* sono in grado di realizzare dei campi di particolare interesse per la propagazione in ambito telecomunicativo.

Per tutto ciò è utile ed opportuno descrivere compiutamente ed in tutti i suoi aspetti il campo elettromagnetico in camera riverberante. In questo articolo si esamina il comportamento polarimetrico del campo elettromagnetico. La base teorica del questa nuova caratterizzazione è fondata sul teorema di decomposizione basato sulla descrizione del campo mediante la matrice di coerenza [T] [5]. Questa descrizione univoca del campo permette di determinare il grado di polarizzazione del campo ovvero della sua entropia.

Lo studio teorico è impiegato per caratterizzare il campo elettromagnetico della camera riverberante dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope.

Gli esperimenti mostrano che il campo è praticamente totalmente depolarizzato.

II. LA TEORIA POLARIMETRICA

Il campo elettromagnetico perfettamente coerente che viene posto per eccitare una camera riverberante *mode-stirred* viene scatterato dalle pareti della camera e dagli agitatori (*stirrer*) generando al suo interno un campo elettromagnetico stocastico. Le caratteristiche di questo campo stocastico sono state descritte dagli autori sia per quanto riguarda il modulo che la fase ovvero il comportamento temporale. In questo studio si esamina la caratterizzazione di questo campo stocastico in termini polarimetrici.

In generale lo *scattering* da scenari complessi di un campo perfettamente polarizzato fa si che il campo generato presenti una struttura non più perfettamente polarizzata e ciò rappresenta la "firma" polarimetrica dell'ambiente.

Pur essendo tutto ciò un concetto ben noto e derivante da fondamentali ricerche ed applicazioni ottiche [6], il problema della descrizione di un campo polarizzato è stato oggetto di recenti studi al fine di determinare una rappresentazione non ambigua di tale caratteristica. Per ciò si pensi per esempio al ben noto problema inerente la caratterizzazione polarimetrica di un'onda noto come "dicotomia d'onda" [5]. Se si estende concettualmente questo problema al caso dello *scattering* si comprende come questo aspetto sia stato di concettuale ed effettivo impedimento per la concezione di efficaci e generali schemi interpretativi basati su misure polarimetriche.

E' utile procedere sistematicamente. La maniera classica per descrivere la polarizzazione di un campo è tramite la matrice di scattering o matrice coerente di Jones [S]**:**

$$[\mathrm{S}] = \begin{pmatrix} s_{xx} & s_{xy} \\ s_{yx} & s_{yy} \end{pmatrix} \quad . \tag{1}$$

Si tratta di una matrice 2 x 2 in campo complesso rappresentativa dei coefficienti di scattering secondo due polarizzazioni ortogonali genericamente indicate con x ed y. L'impiego diretto di [S] per discriminare i diversi scenari elettromagnetici ha dato luogo alla cosidetta classe di descrizioni coerenti. Si è inoltre mostrato come sia possibile un legame con un'altra nota e popolare descrizione polarimetrica, ovvero quella centrata sui parametri di Stokes ovvero tramite la matrice di Müller [M]. Purtroppo però si è dimostrato che per scenari complessi ovvero composti da più meccanismi di scattering elementari il legame è tale per cui data [S] si può ricavare [M] ma non viceversa. Ancora più importante si è rivelato il fatto che queste metodologie non hanno condotto a definire un effettivo teorema di decomposizione polarimetrica [5]. Cioè un teorema in grado di descrivere meccanismi di scattering complessi secondo sovrapposizione di meccanismi elementari in maniera univoca e in maniera indipendente dalla base polarimetrica adoperata per la rappresentazione della matrice di Jones [5].

Per superare tutto ciò si deve provvedere ad un'opportuna descrizione polarimetrica.

Per prima cosa si introduce il vettore descrittivo dello *scattering* $\boldsymbol{\kappa}$ composto da quattro elementi e così definito:

$$\kappa_i = \frac{1}{\sqrt{2}} Tr\left([\mathrm{S}] \cdot [\sigma_i]\right) \quad i = 1,2,3,4 \tag{2}$$

dove $[\sigma_i]$ sono le quattro matrici di Pauli e $Tr(\cdot)$ indica la traccia. A questo punto è possibile definire la matrice di coerenza [T] come:

$$[T] = \ < \kappa \cdot \kappa^{\dagger} > \quad , \tag{3}$$

dove il simbolo <·> indica l'operatore di media. La matrice [T] è evidentemente una matrice in campo complesso 4 x 4 hermitiana. La matrice [T] può esser posta in relazione biunivoca con la matrice di Müller [M]. Il fatto che la matrice [T] sia hermitiana evidentemente fa si che gli autovalori corrispondenti siano reali. Associato a ciò consegue il teorema di decomposizione descritto in [5]. In questo lavoro si farà uso dei quattro autovalori λ_1, λ_2, λ_3, λ_4 per definire l'entropia dell'ambiente elettromagnetico considerato H, ovvero:

$$H = -\sum_{i=1}^{4} p_i \, log_4 p_i \quad , \tag{4}$$

dove

$$p_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{l=1}^{4} \lambda_l} \quad . \tag{5}$$

Evidentemente il caso di campo totalmente depolarizzato corrisponde ad H=1 mentre il caso di campo monocromatico a H=0. La parziale depolarizzazione del campo scatterato corrisponde a valori intermedi.

III. GLI ESPERIMENTI

La teoria polarimetrica descritta nella sezione precedente è stata impiegata per caratterizzare il campo elettromagnetico in camera riverberante. Per far ciò si sono condotti degli esperimenti presso la camera riverberante dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope: una camera cubica di lato 2 m in cui l'agitazione è realizzata con tre pale agitatrici poste in prossimità delle pareti e di forma a croce le cui dimensioni approssimative sono di 1.84 m x 0.45 m, 1.84 m x 0.25 m e 1.20 m x 0.25 m rotanti alla velocità di 180, 320 e 390 giri al minuto, rispettivamente.

Negli esperimenti qui illustrati si sono adoperate come antenne riceventi e trasmittenti delle flange WR90 e si è impiegato il Network Analyzer HP-8510C per operare le misure dell'*insertion loss*. La misura dell'*insertion loss* si è realizzata in maniera polarimetrica così da ricavare la corrispondente matrice di Jones [S].

In particolare si è considerato il caso in cui tutte e tre le pale sono state poste in movimento e la camera risultava vuota. L'analisi polarimetrica è stata quindi realizzata per le frequenze di 8.5 GHz, 10 GHz e 11.5 GHz. L'analisi polarimetrica dei dati misurati è stata realizzata fuori linea con un codice numerico originale sviluppato con linguaggio di programmazione LabView™.

I risultati conseguenti sono mostrati in Tabella I in cui sono mostrati per ogni frequenza i risultati relativi a due insiemi di dati. L'analisi dei risultati permette di evincere che effettivamente il campo in camera riverberante risulta essere praticamente totalmente depolarizzato.

Frequenza [GHz]	Insieme di dati	Entropia *H*
8.5	a	0.9959
8.5	b	0.9954
10	a	0.9937
10	b	0.9927
11.5	a	0.9963
11.5	b	0.9958

Tabella I: Relativa alla misura dell'entropia polarimetrica.

IV. COMMENTI FINALI

Una nuova metodolgia per l'analisi polarimetrica del campo in camera riverberante è stata introdotta ed applicata a misure realizzate presso la camera riverberante dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope. Lo studio ha mostrato che effettivamente come dichiarato in letteratura ma mai verificato in maniera oggettiva, la struttura del campo scatterato nella camera presenta delle caratteristiche di totale depolarizzazione.

L'estensione di quest'analisi per la diagnostica del campo in ambienti propagativi confinati è immediata ed è certamente di grande interesse nel campo delle telecomunicazioni *wireless*.

BIBLIOGRAFIA

[1] M.T.Ma, M.Kanda, M.L.Crawford, E.B.Larsen, "A Review of Electromagnetic Compatibility/Interference Measurement Methodologies", *Proc. IEEE,* vol.73, pp.388-411, 1985.

[2] P.Corona, G.Latmiral, "Approccio Termodinamico allo Studio di una Camera Riverberante Elettromagnetica a Geometria Variabile", dal Volume *Studi in onore di Giuseppe Simeon*, 1978.

[3] T.H.Lehman, *A Statistical Theory of Electromagnetic Fields in Complex Cavities*, NIST Interaction Notes 494, 1993.

[4] D.A.Hill, *Electromagnetic Theory of Reverberating Chambers*, NIST Technical Note 1506, 1998.

[5] S.R.Cloude, "Uniqueness of Target Decomposition Theorems in Radar Polarimetry" in *Direct and Inverse Methods in Radar Polarimetry*, Dordrecht (NL): Kluwer, 1992.

[6] M.Born and E.Wolf, *Principles of Optics*, Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1980.