ANALISI DI SCHIERE PERIODICHE STAMPATE MULTISTRATO CON IL METODO MOM/BI–RME

M. Bozzi, L. Perregrini, L. Polini

Dipartimento di Elettronica, Università di Pavia, Via Ferrata, 1, 27100, Pavia
bozzi@ele.unipv.it, perregrini@ele.unipv.it

Abstract

This paper presents a novel method for the analysis of printed multilayered periodic structures, used as frequency selective surfaces and mirrors in the microwave and millimeter wave range. Moreover, such structures represent the basic elements for the design of reflectarrays. The analysis is based on the formulation of an integral equation, solved by the Method of Moments with entire–domain basis functions. The proper set of basis functions is calculated numerically by the Boundary Integral–Resonant Mode Expansion method. Some validation examples are also reported.

INTRODUZIONE

Le schiere periodiche stampate sono usate come superfici selettive in frequenza nel campo delle microonde e delle onde millimetriche per numerose applicazioni (sub–riflettori per antenne paraboliche, filtri quasi ottici, polarizzatori) [1]. Inoltre, con l'aggiunta di un piano di massa, queste strutture vengono usate come riflettori, e costituiscono l'elementi base per la sintesi di antenne retroriflettenti [2].
In questo lavoro presentiamo l'analisi di strutture costituite da schiere periodiche di placche metalliche di forma arbitraria, deposte in un mezzo dielettrico stratificato (Fig. 1). Le perdite nel dielettrico e quelle dovute alla conducibilità finita dei conduttori vengono tenute in conto.

IL METODO MOM/BI–RME

L'analisi si basa sull'approssimazione di schiera infinita illuminata da un'onda piana uniforme incidente secondo la direzione (θ,ϕ) (Fig. 1). Le schiere di placche metalliche possono essere deposte su strati differenti, ma devono avere la stessa periodicità.

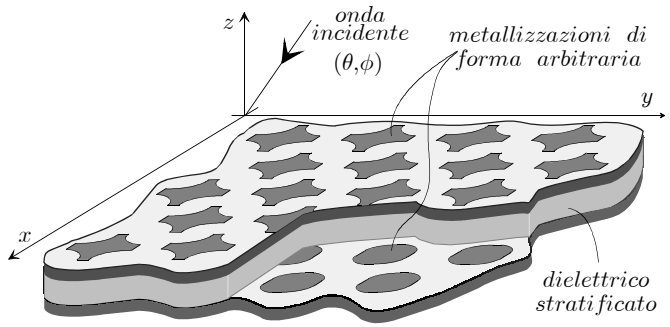


Fig. 1 – Struttura di una generica schiera periodica stampata multistrato.

Attività svolta nell'ambito del progetto "Schiere di antenne riflettenti stampate per applicazioni spaziali" finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Grazie a queste ipotesi, è possibile applicare il teorema di Floquet e ridurre l'analisi della struttura a quella di una cella elementare con condizioni al contorno di periodicità.
Il metodo di analisi è basato sulla formulazione di una equazione integrale, ottenuta imponendo che il campo elettrico tangenziale rispetti la condizione di parete elettrica (se i conduttori hanno conducibilità infinita) o la condizione di Leontŏvic (in caso contrario) su ogni metallizzazione

$$\mathbf{E}_{\mathrm{INC}}(\mathbf{r}) + \int_S \underline{\mathbf{G}}(\mathbf{r},\mathbf{r}') \cdot \mathbf{J}(\mathbf{r}')\, dS = Z_S \mathbf{J}(\mathbf{r}) \qquad \text{su } S \tag{1}$$

dove $\mathbf{E}_{\mathrm{INC}}$ rappresenta la componente trasversa rispetto a z del campo elettrico in assenza delle placche metalliche, $\mathbf{J}$ è la densità di corrente elettrica incognita indotta sulle metallizzazione, S è l'unione delle metallizzazioni, e Z_S rappresenta l'impedenza superficiale. Inoltre, $\underline{\mathbf{G}}(\mathbf{r},\mathbf{r}')$ è la funzione di Green che lega la densità di corrente trasversa $\mathbf{J}$ sulla sezione $\mathbf{r}'$ alla componente trasversa del campo elettrico diffuso sulla sezione $\mathbf{r}$, e può essere scritta come

$$\underline{\mathbf{G}}(\mathbf{r},\mathbf{r}') = \sum_m V_m(z,z')\, \mathbf{E}_m(x,y)\, \mathbf{E}_m(x',y') \tag{2}$$

In (2), la sommatoria è estesa a tutti i modi di Floquet (di tipo TE, TM e TEM), $\mathbf{E}_m$ rappresenta il campo elettrico modale dell'm–esimo modo di Floquet, e V_m è la transimpedenza per lo stesso modo tra le sezioni z e z'. V_m si può calcolare con il metodo del circuito equivalente a linea di trasmissione [3].
L'equazione integrale (1) viene risolta applicando il Metodo del Momenti (MoM) nella formulazione di Galerkin. La densità di corrente incognita $\mathbf{J}$ è rappresenta come combinazione di funzioni di base $\mathbf{h}_p$. L'implementazione del MoM risulta particolarmente efficiente qualora si usino funzioni di base a dominio intero. Tali funzioni sono definite su ciascuna superficie S_n e devono soddisfare la stessa condizione al contorno della $\mathbf{J}$ sul contorno ∂S_n. Nel metodo MoM/BI–RME le funzioni di base sono i vettori magnetici modali di una guida d'onda metallica con sezione S_n, e sono calcolati numericamente con il metodo Boundary Integral–Resonant Mode Expansion (BI–RME) [4]. Utilizzando il MoM si ottiene il problema matriciale

$$[\mathrm{A}][\mathrm{X}] = [\mathrm{B}] \tag{3}$$

dove

$$\mathrm{A}_{pq} = \sum_m V_m \int_{S_m} \mathbf{E}_m \cdot \mathbf{h}_p\, dS \int_{S_m} \mathbf{E}_m^* \cdot \mathbf{h}_q\, dS + Z_S \delta_{pq} \tag{4}$$

$$\mathrm{B}_p = -\int_{S_m} \mathbf{E}_{\mathrm{INC}} \cdot \mathbf{h}_p\, dS \tag{5}$$

e X_p sono i coefficienti peso delle funzioni di base. Si noti che, nell'approssimazione di onda piana incidente, il campo $\mathbf{E}_{\mathrm{INC}}$ può essere scritto come combinazione di due modi di Floquet.
La soluzione di (3) consente di determinate il vettore [X], dal quale si deduce la densità di corrente su tutte le metallizzazioni, e quindi il campo riflesso e trasmesso.
Inoltre, gli integrali di accoppiamento tra i modi di Floquet e le funzioni di base che compaiono in (4)–(5) possono essere calcolati in modo molto efficiente trasformando gli integrali superficiali in integrali di linea [5].

RISULTATI NUMERICI

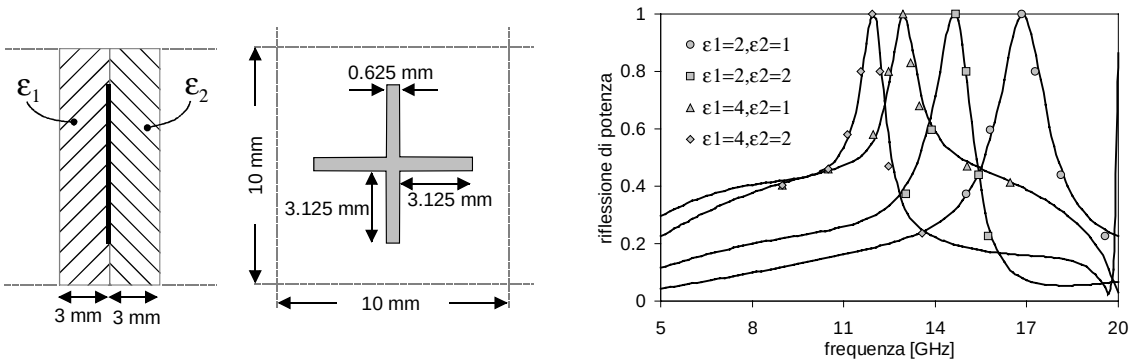
Il metodo descritto nella sezione precedente è stato implementato in un codice di calcolo. Per mostrare l'efficienza e l'accuratezza del codice, si riportano tre esempi.
Il primo esempio si riferisce ad una schiera di metallizzazioni a forma di croce annegata tra due lastre dielettriche (Fig. 2*a*) [6]. La Fig. 2*b* mostra il confronto tra il coefficiente di riflessione calcolato con il metodo MoM/BI–RME (linea continua) e i dati riportati in letteratura [6] (simboli). Si considera il caso di incidenza normale, per diversi valori della costante dielettrica dei due strati. La convergenza del metodo si ottiene con 20 funzioni di base e 800 modi di Floquet, e il tempo di calcolo per 100 punti in frequenza è 12 *sec* su un PC Pentium III @ 1 *GHz*.
Come secondo esempio si considera la schiera mostrata in Fig. 3*a* (*dogbone FSS*) [7]. La Fig. 3*b* mostra come il coefficiente di riflessione della struttura calcolato con il metodo MoM/BI–RME (linea continua) nel caso di incidenza normale, per diversi valori della spaziatura tra i due strati dielettrici, sia in ottimo accordo con i dati riportati in letteratura [7] (simboli). La convergenza del metodo si ottiene con 19 funzioni di base su ciascuna metallizzazione e 570 modi di Floquet, e il tempo di calcolo per 100 punti in frequenza è 9 *sec* su un PC Pentium III @ 1 *GHz*.
Come ultimo esempio si considera una schiera di metallizzazioni rettangolari, deposta su un dielettrico multistrato con piano di massa (Fig. 4*a*) [7]. Il codice MoM/BI–RME può essere esteso all'analisi di tali strutture modificando il calcolo della componente longitudinale della funzione di Green. La Fig. 4*b* mostra il coefficiente di riflessione della struttura nel caso di incidenza obliqua (θ=30°), confrontata con dati riportati in letteratura [7]. La convergenza del metodo si ottiene con 17 funzioni di base e 880 modi di Floquet, e il tempo di calcolo per 100 punti in frequenza è 15 *sec* su un PC Pentium III @ 1 *GHz*.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato presentato un algoritmo per l'analisi di schiere periodiche stampate, multistrato e con perdite. L'analisi si basa sul metodo MoM/BI–RME, che risulta particolarmente efficiente e flessibile, come mostrato dagli esempi riportati, grazie all'uso di funzioni di base a dominio intero, calcolate con il metodo BI–RME.

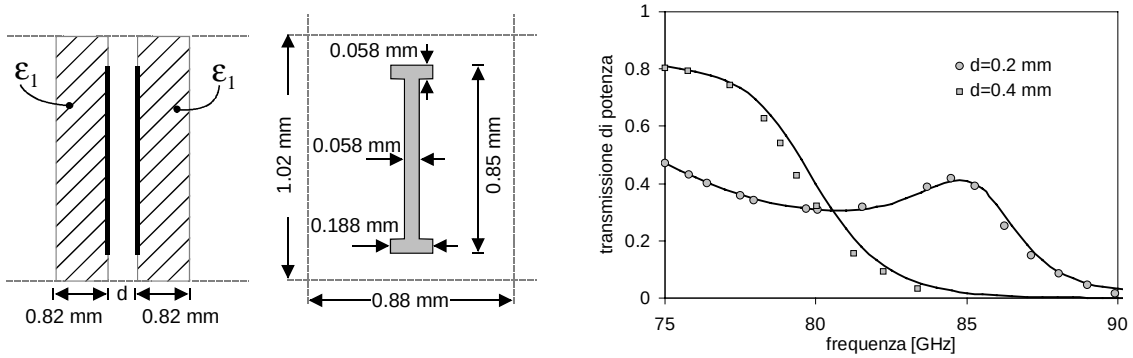
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] T. K. Wu, *Frequency Selective Surface and Grid Array*, John Wiley and Sons, 1995.
[2] J. A. Encinar, "Design of Two–Layer Printed Reflectarrays Using Patches of Variable Size," *IEEE Trans. Antennas & Propagat.*, Vol. AP–49, No. 10, pp. 1403–1410, Oct. 2001.
[3] L. B. Felsen and N. Marcuwitz, *Radiation and Scattering of Waves*, Prentice–Hall, 1973.
[4] G. Conciauro, M. Guglielmi, and R. Sorrentino, *Advanced Modal Analysis*, John Wiley and Sons, 2000.
[5] M. Bozzi, G. Conciauro, and L. Perregrini, "On the Evaluation of Modal Coupling Coefficients by Contour Integrals," *IEEE Trans. on Microwave Theory & Techniques*, Vol. MTT–50, No. 7, July 2002 (to appear).
[6] M. J. Park and S. Nam, "Efficient Calculation of the Green's Function for Multilayered Planar Periodic Structures," *IEEE Trans. on Antennas & Propagat.*, Vol. AP–46, No. 10, pp. 1582–1583, Oct. 1998.
[7] Changhua Wan and J.A.Encinar, "Efficient Computation of Generalized Scattering Matrix for Analyzing Multilayered Periodic Structure," *IEEE Trans. on Antennas & Propagat*, Vol. AP–43, No. 11, pp. 1233–1242, Nov. 1995.



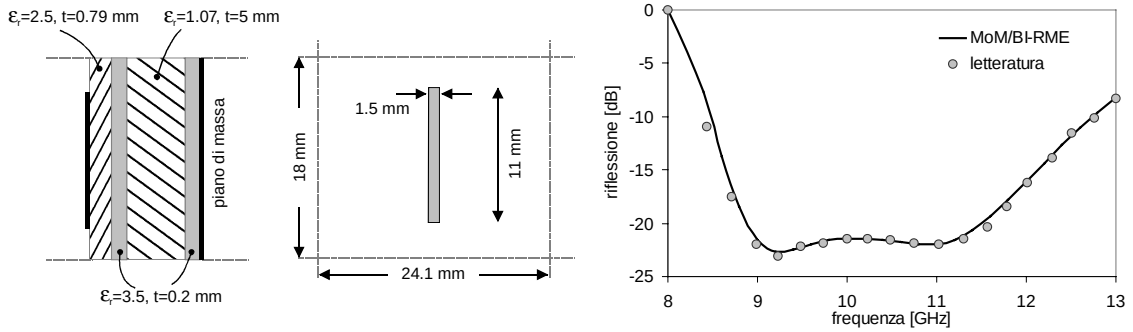
(*a*) (*b*)

Fig. 2 – FSS con metallizzazioni a forma di croce tra due lastre dielettriche: *a*) vista laterale e frontale della cella elementare; *b*) coefficiente di riflessione della potenza al variare della frequenza per diversi valori delle costanti dielettriche relative ε_1 ed ε_2.



(*a*) (*b*)

Fig. 3 – FSS con doppia metallizzazione a forma di **I** con perdite nel metallo ($Z_S = 0.3331 + j0.00888\ \Omega$), deposte su due lastre dielettriche (ε_1=3.8): *a*) vista laterale e frontale della cella elementare; *b*) coefficiente di trasmissione della potenza al variare della frequenza per diversi valori della spaziatura d tra le lastre dielettriche.



(*a*) (*b*)

Fig. 4 – Schiera di metallizzazioni rettangolari su dielettrico multistrato con piano di massa: *a*) vista laterale e frontale della cella elementare; *b*) coefficiente di riflessione al variare della frequenza.