

SCHIERE DI ANTENNE STAMPATE A BANDA FOTONICA PROIBITA

M.Bozzetti, A. D’Orazio, M. De Sario, V. Petruzzelli, F. Prudeniano, F.Renna

Dipartimento di Elettrotecnica ed Elettronica – Politecnico di Bari

Via Re David 200, 70125 Bari (Italy)

ABSTRACT

The application of photonic band gap (PBG) strategy to the design of microstrip patch antenna allows to overcome several intrinsic limitations of the patch antenna and to enhance gain, bandwidth and radiation efficiency. In this paper, by using a full-wave method, we will focus on the performance improvement of a two-dimensional (2D) PBG patch antenna printed onto a high-thickness substrate and of a PBG patch antenna array.

INTRODUZIONE

Le antenne stampate sono particolarmente interessanti per una serie di applicazioni per via delle loro caratteristiche, quali la leggerezza, l’ingombro contenuto, il basso costo di fabbricazione, lo spessore ridotto, la facilità realizzativa, la possibilità di operare in una banda di frequenze molto ampia, la realizzazione del sistema di alimentazione contemporaneamente all’antenna, la semplicità di integrazione con la circuiteria MMIC. Tuttavia, tali strutture sono penalizzate da una serie di svantaggi che ne limitano l’impiego soprattutto alle alte frequenze: uno scarso disaccoppiamento tra l’alimentazione e l’elemento radiante, una larghezza di banda stretta, un guadagno contenuto e soprattutto la presenza di onde superficiali che comportano irregolarità indesiderate nel diagramma di radiazione ed una scarsa efficienza. Quest’ultimo problema può essere parzialmente risolto grazie all’utilizzo di particolari accorgimenti progettuali, quali un opportuno rapporto tra spessore del dielettrico e lunghezza d’onda (h/λ) in relazione alla costante dielettrica relativa ϵ_r del substrato. Peraltro, l’integrazione con sistemi MMIC richiede l’utilizzo di substrati con elevata costante dielettrica (Si, GaAs e InP) i quali, come è noto, presentano, soprattutto alle alte frequenze, un’elevata inefficienza di radiazione dovuta alle perdite conseguenti all’insorgere di onde superficiali e alla ridotta larghezza di banda.

Per migliorare le prestazioni di un’antenna o di una schiera di antenne stampate si può sfruttare la “strategia” delle strutture a banda fotonica proibita (PBG, Photonic Band Gap), strutture periodiche in grado di interdire la propagazione delle onde elettromagnetiche in determinate bande di frequenza (le cosiddette *band gap*). In origine le strutture PBG sono state analizzate per applicazioni nel campo delle frequenze ottiche [1-2] e successivamente utilizzate anche per applicazioni alle frequenze delle microonde e onde millimetriche [3-5].

Scopo di questa memoria è mostrare come migliorano le prestazioni di antenne patch e di schiere di antenne introducendo una struttura PBG progettata in maniera tale da interdire la propagazione delle onde superficiali alla frequenza di lavoro. L’analisi è effettuata con un pacchetto software (Microwave Studio-CST) che implementa il metodo FIT (Finite Integration Technique) nello spazio interessato dalle strutture.

PROGETTO DI UNA ANTENNA PATCH PBG

L’antenna patch di riferimento è stata progettata utilizzando come substrato dielettrico il teflon Epsilam-10 ($\epsilon_r = 10$) e di spessore h (10 mm) tale da eccitare il solo modo TM_0 . La larghezza $W = 24$ mm e la lunghezza $L = 13$ mm del patch dell’antenna (rame di spessore $t=35$ μm), fissano la frequenza di risonanza a 2 GHz. L’antenna patch è stata alimentata tramite fessura di accoppiamento. Il sistema di alimentazione è caratterizzato dai seguenti parametri: substrato di

alimentazione $\epsilon_r = 10$, altezza $h_f = 1.6$ mm, larghezza della microstriscia di alimentazione $w_f = 1.3$ mm, lunghezza dell'apertura $l_s = 21$ mm, larghezza dell'apertura $w_s = 1.8$ mm, lunghezza dello stub $l_{\text{stub}} = 8.35$ mm. In Fig.1 riportiamo i diagrammi di irradiazione dell'antenna patch convenzionale (a) nel piano E- e (b) nel piano H-principale. I risultati della simulazione ad $f = 2$ GHz mostrano un return-loss pari a $S_{11} = -42$ dB, una larghezza di banda di circa il 10%, un'impedenza d'ingresso $Z_{\text{in}} = 49.62 + j4.8$ Ohm. Il diagramma nel piano E-principale presenta delle ondulazioni dovute alle onde superficiali eccitate dal modo TM_0 , ed inoltre indica l'esistenza di un'irradiazione non trascurabile nelle direzioni back-side ed end-fire. L'ampiezza del lobo principale, inclinato di 24° rispetto alla direzione broadside, è di 23.4 dBi mentre la soppressione dei lobi laterali è solo di 1.6 dB. Anche il diagramma nel piano H-principale mostra un certo ripple. L'ampiezza del lobo principale, inclinato di 40° rispetto alla direzione broadside, è di 2.5 dBi. L'apertura angolare a 3 dB è di 46.4° e la soppressione dei lobi laterali è di 6.9 dB.

Per valutare il miglioramento introdotto dalla struttura PBG, abbiamo considerato la stessa antenna patch con un reticolo PBG quadrato nove per nove costituito da colonnine d'aria di raggio $r = 20.88$ mm e periodo (distanza fra i centri di due fori adiacenti) $a = 43.5$ mm. Questi valori, corrispondenti ad un rapporto $r/a = 0.48$, costituiscono un compromesso fra il massimo valore del band-gap che si può ottenere e la fisica realizzabilità. Le mappe dei band-gap, ottenute con il pacchetto software MIT Photonic-band, per $r/a = 0.56$ hanno il massimo valore del band-gap pari a 0.12 centrato sulla frequenza normalizzata $fa/c = 0.4$, dove c è la velocità della luce nel vuoto. Per questo valore di r/a le colonne d'aria si sovrappongono. Per il valore scelto di r/a , il band-gap massimo si riduce a 0.05 ed è centrato alla frequenza normalizzata $fa/c = 0.29$.

In Fig.2 sono riportati i diagrammi di irradiazione simulati (a) nel piano E e (b) nel piano H dell'antenna patch PBG. Dall'analisi di tali diagrammi, possiamo dedurre che l'antenna patch PBG a 2 GHz mostra disadattamento rispetto all'antenna patch convenzionale essendo $S_{11} = -28$ dB, presenta la stessa larghezza di banda BW (10%) mentre l'impedenza d'ingresso è $Z_{\text{in}} = 52.4 + j1$ Ohm. I diagrammi di irradiazione nei piani principali E ed H evidenziano la riduzione delle ondulazioni dovuta alla soppressione delle onde superficiali. Nel piano E l'ampiezza del lobo principale è 5.6 dBi. La larghezza angolare a 3 dB è 36.6° mentre la soppressione dei lobi laterali è 0.4 dB. Il diagramma di irradiazione nel piano principale H è caratterizzato da un'ampiezza del lobo principale di 5.6 dBi, inclinato di 4° rispetto alla direzione broadside. La larghezza angolare a 3 dB è 75.8° mentre la soppressione del lobo laterale è 13 dB.

Confrontando i diagrammi di irradiazione, concludiamo che la struttura PBG migliora effettivamente le prestazioni dell'antenna patch. In particolare nel piano E e nella direzione $\theta = 0^\circ$ (che per l'antenna patch PBG è la direzione di massima irradiazione), abbiamo ottenuto un guadagno di 8.6 dB; invece l'irradiazione nella direzione end-fire ($\theta = 90^\circ$) si riduce. Il miglioramento nel piano H è più evidente. La direzione di massima irradiazione è quella broadside mentre per l'antenna patch convenzionale è a 40° . Nella direzione laterale ($\theta = 90^\circ$) abbiamo ottenuto un guadagno di circa 7 dB. Si ha una riduzione della retroirradiazione.

PROGETTO DI UNA SCHIERA DI ANTENNA PATCH PBG

In Fig.3a è riportato lo schema della schiera di antenne patch PBG proposto. La schiera broadside è costituita da cinque elementi circondati da un reticolo quadrato di colonnine d'aria forate nel substrato. I parametri fisici e geometrici della schiera di antenne PBG sono gli stessi assunti nel progetto dell'antenna patch PBG.

In Fig. 3b vengono riportati alcuni parametri S della schiera in funzione della frequenza. I parametri di riflessione S_{ii} alle diverse porte mantengono il loro valore intorno a -30 dB, mentre i valori massimi dei parametri di trasmissione S_{ij} sono circa -20 dB. Per esempio, con riferimento al patch centrale (porta 1), otteniamo a 2 GHz: $S_{11} = -28$ dB mentre i parametri di accoppiamento con le porte

adiacenti S_{12} e S_{14} sono circa -20 dB ed i parametri di accoppiamento con le porte più lontane S_{13} e S_{15} sono circa -28 dB: questi risultati indicano un buon accoppiamento alla porta 1 ed un accoppiamento sufficientemente basso con gli altri elementi della schiera.

In Fig. 4 sono riportati i diagrammi di irradiazione nel piano E e nel piano H per la nuova schiera di antenne PBG. Nel piano E e nella direzione broadside, la schiera di antenne patch PBG è caratterizzata da un'ampiezza del lobo principale pari a 11.2dBi con un miglioramento di circa 6 dB rispetto alla singola antenna patch. La larghezza angolare a 3 dB è di 37.1 gradi. Il miglioramento nel piano H è più evidente. Il diagramma di irradiazione nel piano principale H è caratterizzato da un'ampiezza del lobo principale pari ad 11.2 dBi nella direzione broadside. La larghezza angolare a 3 dB è di 18.6 gradi mentre la soppressione del lobo principale è 13.6 dB. In conclusione, nel piano E-principale, come atteso, il diagramma di irradiazione della schiera è quasi coincidente con quello predetto sulla base del principio di moltiplicazione del fascio: questa è un'ulteriore conferma che l'inibizione dell'onda superficiale agisce effettivamente sulla riduzione del mutuo accoppiamento fra gli elementi radianti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] J.D. Joannopoulos, R.D. Meade, J.N. Wien - "Photonic Crystals - Molding the flow of light", Princeton University Press, 1995.
- [2] A.D'Orazio, M.De Sario, V.Petruzzelli, F.Prudeniano: "Numerical modeling of photonic Bandgap waveguiding structures, in "Recent Research Developments in Optics", S.G.Pandalai Editor, 2002.
- [3] V.Radisic, Y.Qian, R.Coccioli, T.Itoh, A novel 2-D photonic band-gap structure for microstrip lines", *IEEE Microwave Guided Wave Letters.*,8,1998, 69-71.
- [4] Y.Qian, R.Coccioli, D.Sievenpiper, V.Radisic, E.Yablonovitch, T.Itoh - "A microstrip patch antenna using novel photonic band-gap structures", *Microwave Journal*, Jan.1999, pp. 66 - 76.
- [5] A.D'Orazio, M. De Sario, V.M.Gadaleta, V.Petruzzelli, F.Prudeniano: A meander microstrip photonic bandgap filter using a Kaiser tapering, *Electronics Letters*, 13 september 2001, vol.37, n.19.

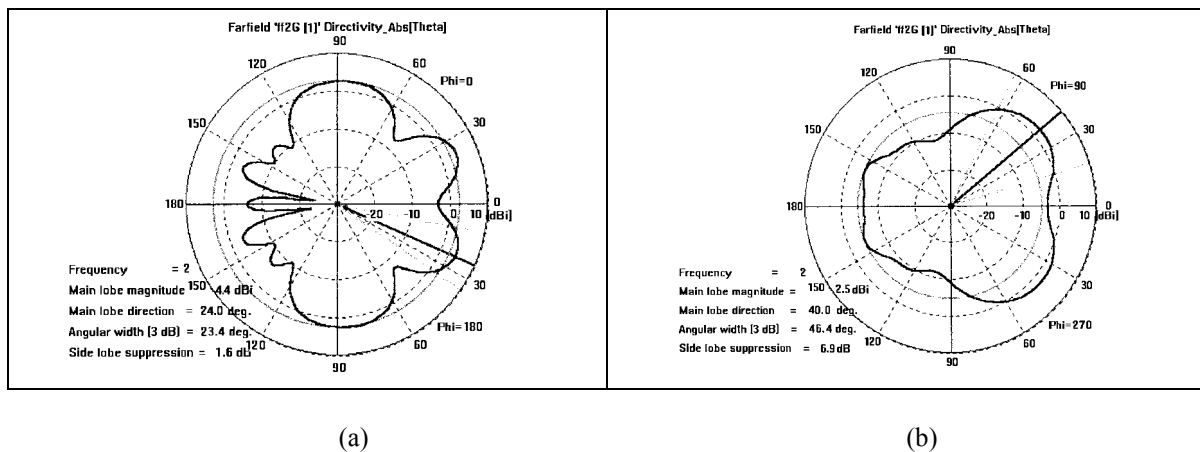


Fig.1: Diagramma di irradiazione (a) nel piano E-principale e (b) nel piano H-principale dell'antenna patch convenzionale.

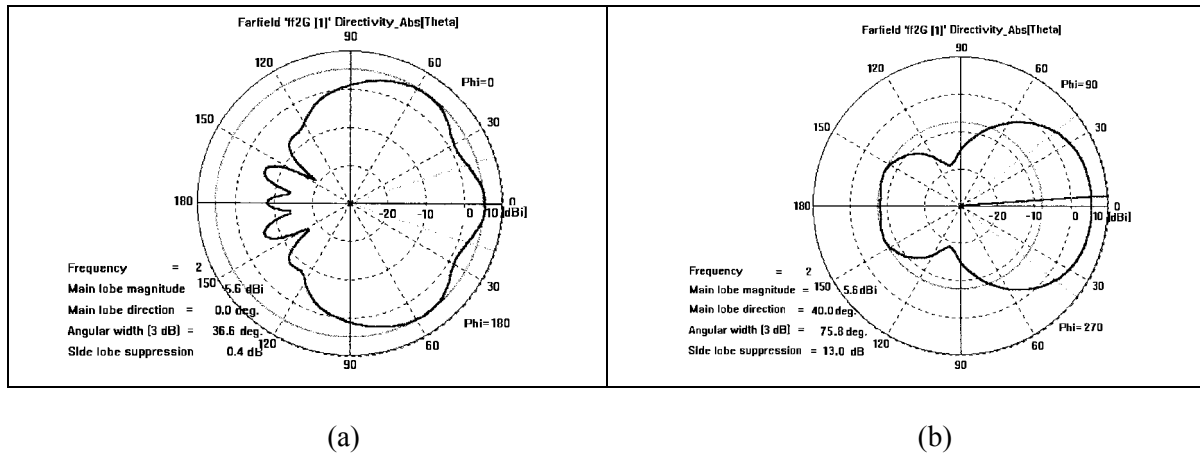


Fig.2: Diagramma di irradiazione (a) nel piano E-principale e (b) nel piano H-principale dell'antenna patch PBG.

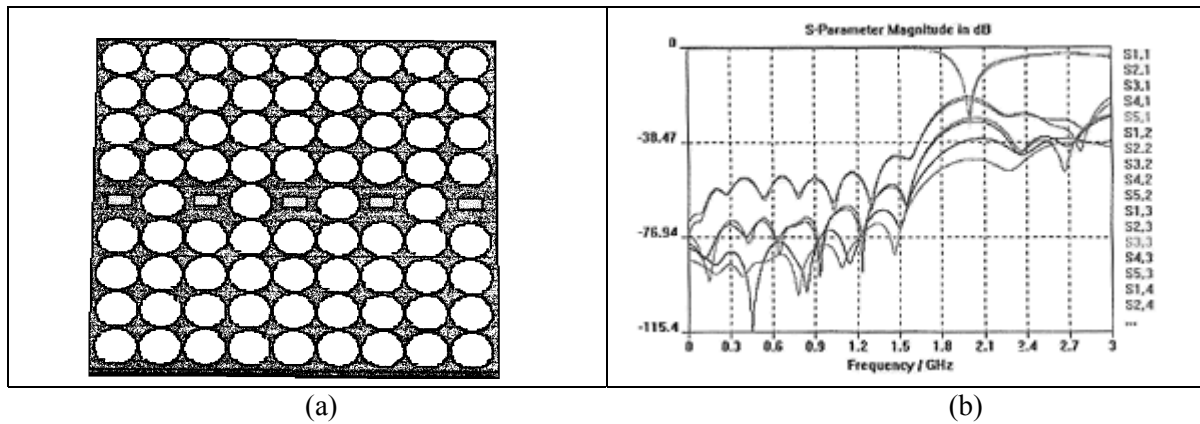


Fig.3: (a) Schema e (b) parametri S della schiera di antenne PBG proposta.

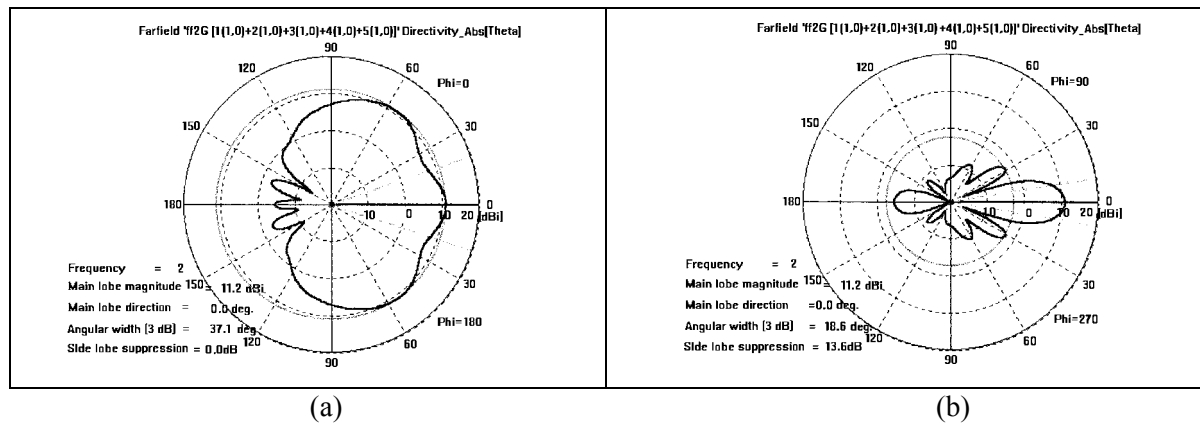


Fig.4: Diagramma di irradiazione nel piano (a) E-principale e (b) H-principale della schiera di antenne PBG.