

REFLECTARRAYS ATTIVI E PASSIVI: ANALISI E TECNICHE DI PROGETTO

L. Boccia¹, F. Venneri¹, G. Angiulli², G. Amendola¹, G. Di Massa¹

¹ Dipartimento di Elettronica, Informatica e Sistemistica

Università della Calabria, 87036 Rende (CS), Italy

boccia@deis.unical.it; venneri@deis.unical.it; amendola@deis.unical.it; dimassa@unical.it

² Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti

Università "Mediterranea" di Reggio Calabria, 89100 Reggio Calabria, Italy

angiulli@deis.unical.it

Abstract

The design of microstrip reflectarrays requires the knowledge of the relation between the phase of the re-radiated field and the geometrical and electrical characteristics of the radiating elements. In this paper this parameter has been evaluated using a simplified approach based on a commercial simulator. The method uses the simulator to characterize the single radiating cell and evaluates the contribution of the finite ground plane with the physical optics approximation. The proposed design technique has been experimentally validated.

Furthermore a new approach for beam steering in reflectarray applications is here introduced. Both active and passive reflectarrays have been designed and tested.

Introduzione

Lo sviluppo di antenne affidabili e leggere riveste una particolare importanza nella preparazione di missioni spaziali. I satelliti lanciati in orbita per offrire vari servizi multimediali nell'ambito delle telecomunicazioni fra i quali la TV interattiva, Internet e la telemedicina, richiedono antenne capaci di fornire una copertura adeguata della superficie terrestre e la possibilità di riconfigurare il fascio al mutare delle esigenze. Le antenne a riflettore parabolico, usate nel recente passato in applicazioni satellitari, sono strutturalmente troppo ingombranti e pesanti per essere integrate ai piccoli veicoli satellitari a bassa orbita. Una valida alternativa in grado di ovviare a questo inconveniente è rappresentata dalle antenne riflettenti stampate (reflectarray) che combinano le migliori caratteristiche dei riflettori parabolici e degli array di antenne a microstriscia.

I reflectarray a microstriscia sono formati da una schiera di antenne elementari stampate su un sottile substrato di dielettrico. Un'antenna primaria illumina la schiera i cui elementi sono progettati per reirradiare ciascuno un campo elettromagnetico con la fase necessaria a formare un diagramma di radiazione assegnato. Questa possibilità rende i reflectarray più versatili dei riflettori parabolici nella determinazione di fasci configurabili per differenti coperture della superficie terrestre. Le schiere riflettenti presentano inoltre buone efficienze poiché, in modo analogo alle tradizionali antenne a riflettore, non hanno bisogno di complesse reti di alimentazione che, nel caso di strutture a microstriscia, sono responsabili di perdite piuttosto elevate. Diverse sono le configurazioni di reflectarray proposte in letteratura. Una prima tecnica utilizza patches rettangolari identici caricati da tratti di linea a microstriscia di diversa lunghezza (stubs) [1]. Questa tecnica affida il controllo della fase del campo diffuso da ciascun elemento alla reattanza variabile introdotta dagli stubs. Altre configurazioni di reflectarray a microstriscia propongono l'uso di patches rettangolari di dimensioni variabili [2], oppure, nel caso di polarizzazione circolare, di patches identici ruotati [3]. L'idea sulla quale ciascuna di queste tecniche si basa è quella di introdurre uno scostamento nella frequenza di risonanza degli elementi radianti con un conseguente cambiamento dell'ampiezza e della fase del campo da essi retrodiffuso. Quando la fase sul singolo elemento può essere controllata dinamicamente, ai

vantaggi dei reflectarray, si aggiunge la possibilità di riconfigurare il fascio al variare delle esigenze di copertura. Le tecniche di controllo attivo possono essere classificate secondo due approcci: uno meccanico che si basa sull'uso di piccoli motori elettrici per modificare la posizione degli elementi radianti, l'altro elettronico, basato sull'integrazione di phase shifters agli elementi della schiera riflettente. Queste tecniche sono affidabili ma aumentano il costo e la complessità della struttura dell'antenna. A tal proposito, in questo lavoro, si propone un semplice approccio per il controllo dinamico della fase del campo retrodiffuso dagli elementi di un reflectarray. Esso consiste nel caricare ciascun patch con diodi a capacità controllabile (varactor). La reattanza capacitiva variabile introdotta dal varactor altera la lunghezza elettrica del patch modificando la fase del campo reirradiato dal singolo elemento [4].

La determinazione della fase del campo diffuso da un patch è un fattore chiave nella progettazione di reflectarray a microstriscia. Sebbene il problema sia stato trattato in una serie di lavori teorici, una caratterizzazione sperimentale di un parametro così importante non è stata mai considerata. In questo lavoro la relazione tra la fase del campo diffuso da ciascun elemento della schiera e le sue caratteristiche geometriche è stata valutata tramite una semplice tecnica numerica validata sperimentalmente [5]. Inoltre sono stati realizzati prototipi di reflectarray passivi ed attivi. I diagrammi misurati mostrano accordo con le specifiche di progetto.

Analisi del campo diffuso dagli elementi di una schiera riflettente

Primo passo nella progettazione dei reflectarray è la determinazione della curva che mette in relazione le proprietà geometriche e/o elettriche dei patches della schiera con la fase del campo da essi riflesso. La caratterizzazione degli elementi di un reflectarray è un problema non banale poiché i patches sono circondati da elementi con caratteristiche variabili in funzione alle proprietà del diagramma di radiazione desiderato. Se affrontato in maniera rigorosa, tale problema richiede uno sforzo computazionale molto elevato.

In questo lavoro è stato utilizzato un approccio semplificato. Esso consiste nell'analisi della fase del campo diffuso da una cella elementare della schiera, supposta isolata (Figura 1). Tale tecnica è valida nel caso in cui il mutuo accoppiamento fra i patches sia trascurabile, cioè, quando la schiera è stampata su un substrato molto sottile rispetto alla lunghezza d'onda. Sotto queste ipotesi la fase del campo riflesso dalle celle elementari di un reflectarray può essere valutata in modo efficiente utilizzando un qualsiasi codice full-wave commerciale. Il campo diffuso dal patch della cella elementare è stato calcolato con il Metodo dei Momenti [6], mentre il campo riflesso dal piano di massa della cella, necessario per ottenere risultati in accordo con quelli sperimentali, è stato valutato in modo efficiente tramite l'Ottica Fisica [5]. Questo approccio è stato utilizzato per il calcolo della fase del campo riflesso rispettivamente, dalla cella elementare di un reflectarray passivo composto da patches con dimensioni differenti, e da quella di un reflectarray attivo con elementi caricati da diodi a capacità variabile. I dati ricavati sono stati validati tramite test sperimentali. Le difficoltà associate alla misura del campo riflesso da un singolo patch a microstriscia, caratterizzato da una scarsa direttività e da un basso guadagno, sono state superate considerando un piccolo array di elementi identici. Infatti, nelle ipotesi di mutuo accoppiamento trascurabile, il campo diffuso nella direzione di broadside da un array di elementi identici illuminati da un'onda piana coincide, a meno di un fattore di ampiezza, con quello diffuso dal singolo elemento lungo la medesima direzione.

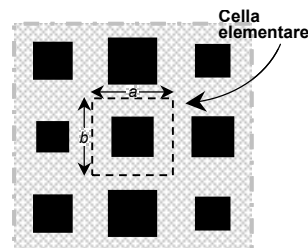


Figura 1 Cella elementare

Il sistema di misura, formato da un'antenna trasmittente e un'antenna ricevente, entrambe connesse alle porte di un Network Vector Analyzer (Anritsu 37255B), acquisisce il modulo e la fase del campo riflesso dall'antenna sotto test nella direzione di broadside (Figura 2).

Caratterizzazione elemento passivo – Sono stati analizzati e misurati un insieme di patches quadrati con dimensioni variabili nell'intervallo [5.556,12.964] mm, stampati su un substrato con $\epsilon_r = 2.33$ e altezza $h = 0.762$ mm (Dielad870). La curva di fase è stata ricostruita fissando la

frequenza a 10 GHz, (frequenza di risonanza del patch di dimensione $9.26 \times 9.26 \text{ mm}^2$). I dati simulati e misurati sono riportati in Figura 3.

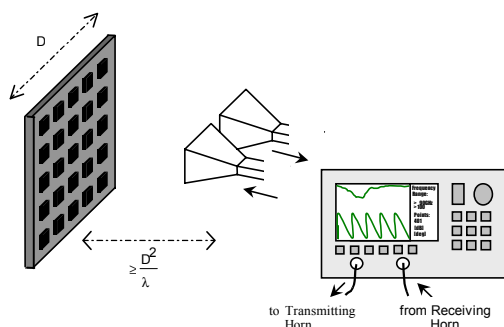


Figura 2 - Sistema di misura

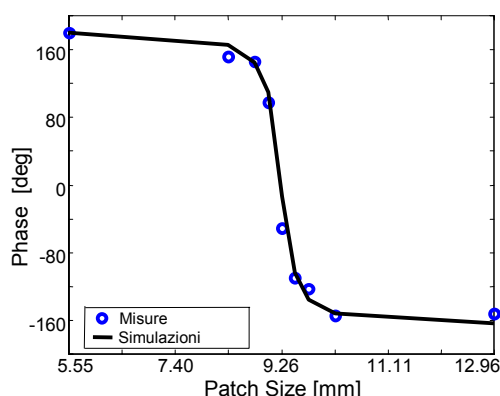


Figura 3 - Fase del campo reirradiato dalla cella elementare –elemento passivo

Caratterizzazione elemento attivo – Il controllo dinamico della fase è ottenuto caricando ogni patch con un diodo varactor posto su uno dei suoi lati radianti (Figura 4). Modificando la tensione di bias del varactor, sulla terminazione dell'antenna a microstriscia viene introdotta una reattanza capacitiva variabile che modifica la lunghezza elettrica del patch. Se la capacità del diodo varia, la frequenza di risonanza dell'antenna può essere modificata entro uno specifico intervallo. Questo effetto è utile nel caso dei reflectarray, poiché permette un controllo dinamico della fase. Infatti, un piccolo scostamento nella frequenza di risonanza del patch si traduce in un cambiamento della fase del campo diffuso. Di seguito è analizzato il comportamento di un patch rettangolare con $W=13 \text{ mm}$ e $L=9.2 \text{ mm}$, stampato su Diclاد870. Sul lato radiante dell'antenna, ad una distanza dal bordo di $d=0.5 \text{ mm}$, è stato inserito un diodo varactor Microsemi GC15006 con capacità variabile fra 1.8 e 0.3 pF, quando la tensione di bias è compresa fra 0 e 22 V. In Figura 5 è riportata la fase del campo reirradiato dall'elemento, calcolato e misurato alla frequenza di 10.8 GHz, frequenza di risonanza del patch quando il varactor assume un valore di capacità posto al centro dell'intervallo di variazione considerato. Come si può osservare la fase varia in un intervallo di ampiezza pari a 180° .

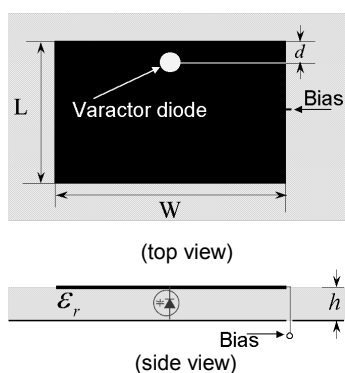


Figura 4 - Patch caricato con un diodo varactor

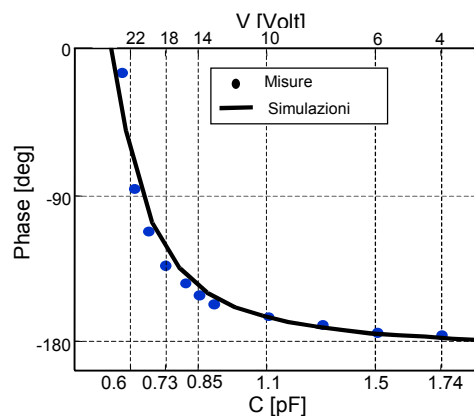


Figura 5 - Fase del campo reirradiato dalla cella elementare – elemento attivo

Prototipi di reflectarray con controllo della fase passivo e attivo: progetto e misura

Per verificare la validità delle curve di fase ricavate nella sezione precedente, sono stati progettati e misurati due prototipi di reflectarray.

Reflectarray passivo – È stato realizzato un reflectarray con 3×5 elementi quadrati di diversa dimensione, illuminati da un trombino piramidale posto in posizione di offset. La spaziatura fra i patch è $0.6\lambda_0$, mentre la dimensione degli elementi è stata scelta in modo da ottenere una

distribuzione di fase progressiva lungo l'asse x, necessaria per posizionare il lobo principale in $\theta = 20^\circ$. Il diagramma di radiazione misurato alla frequenza di 10 GHz, riportato in Figura 6, mostra come le richieste sulla direzione del lobo principale siano pienamente soddisfatte.

Reflectarray attivo – La tecnica di scansione elettronica del fascio, proposta in questo lavoro, è stata testata con il progetto di un reflectarray lineare di 5 elementi. La distanza fra i centri è stata fissata ad un valore di $0.54\lambda_0$ alla frequenza di 10.8 GHz. Questa configurazione permette una scansione continua del fascio nell'intervallo $[-15^\circ, 15^\circ]$. In Figura 7 sono riportati i diagrammi di radiazione del reflectarray misurati in due differenti configurazioni delle tensioni di bias dei varactor. Nel primo caso i varactor assumono valori di capacità identici, la distribuzione di fase sugli elementi è quindi uniforme ed il lobo principale è diretto lungo la direzione $\theta = 0^\circ$. Nel secondo caso le tensioni di bias assumono rispettivamente i seguenti valori $V_1 = 2$ V, $V_2 = 14.2$ V, $V_3 = 19$ V, $V_4 = 21$ V, $V_5 = 22$ V, necessari per posizionare il lobo principale nella direzione $\theta = 15^\circ$. I diagrammi ottenuti confermano la validità tanto dell'approccio di analisi utilizzato quanto della tecnica di controllo attivo della fase proposta.

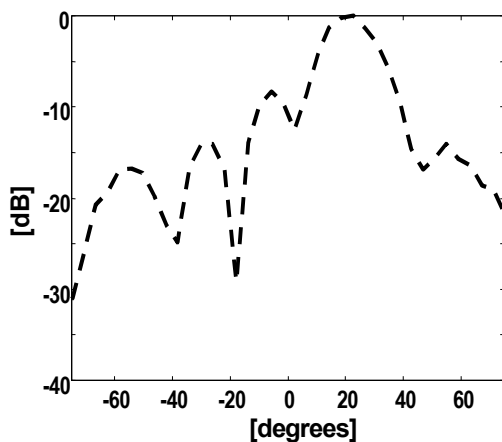


Figura 6 – Diagramma di radiazione del reflectarray passivo di 3×5 elementi

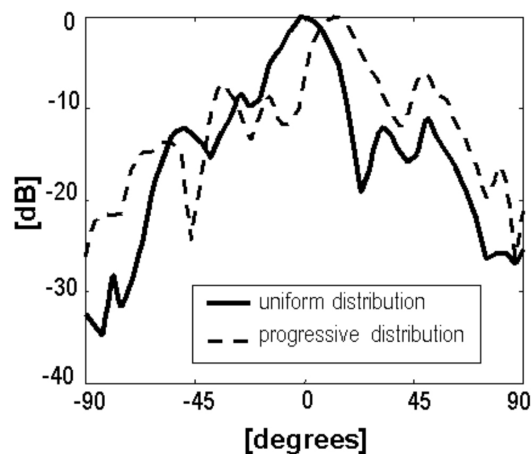


Figura 7 - Diagramma di radiazione del reflectarray attivo lineare in due differenti configurazioni

Conclusioni

E' stato proposto un approccio semplificato per la caratterizzazione degli elementi delle schiere riflettenti passive e attive, valido nel caso di mutuo accoppiamento trascurabile. E' stata valutata la fase del campo diffuso da un patch al variare delle sue dimensioni per il caso passivo, mentre per la configurazione attiva è stato analizzato il comportamento della fase del campo riflesso da un patch caricato da un diodo a capacità variabile. Tale tecnica di controllo dinamico della fase risulta essere più economica e semplice rispetto ai metodi proposti in letteratura.

La validità dei dati simulati è stata verificata tramite test sperimentali e tramite la realizzazione di prototipi di reflectarray. I diagrammi di radiazione misurati mostrano un buon accordo con le specifiche di progetto.

Riferimenti

- [1] J. Huang, 'Microstrip reflectarray'. *IEEE Int. Symp. on A.P.*, 1991, pp. 612-615
- [2] D. Pozar, T.A. Metzger, "Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size", *Electron. Lett.*, 1993, 29, 8, pp.657,658
- [3] J. Huang, R.J. Porgorzelsky "A Ka-band microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles", *IEEE A.P.*, 1998, 46, 5, pp.650,656
- [4] P. Barthia, J. Bahl, "Frequency agile microstrip antennas", *Microwave Journal*, October 1982
- [5] F. Venneri, G. Angiulli, G. Di Massa – "Experimental evaluation of the phase of the field scattered by microstrip patches for reflectarray design" – accettato per pubblicazione su *MOTL – Wiley Interscience*
- [6] Ensemble 8.0, Ansoft Corp.