SINTESI DI ANTENNE A RIFLETTORE SAGOMATO MEDIANTE ALGORITMI GENETICI

A. Armogida, G. Manara, A. Monorchio, P. Nepa
Dipartimento di Ingegneria della Informazione, Università di Pisa
Via Diotisalvi 2, 56126 Pisa
a.armogida, g.manara, a.monorchio, p.nepa@iet.unipi.it

M. Devetti, L. Stringhetti
Fracarro Radioindustrie S.p.A., Via Cazzaro 3, 31033 Castelfranco Veneto (TV)
massimo.devetti, luca.stringhetti@fracarro.com

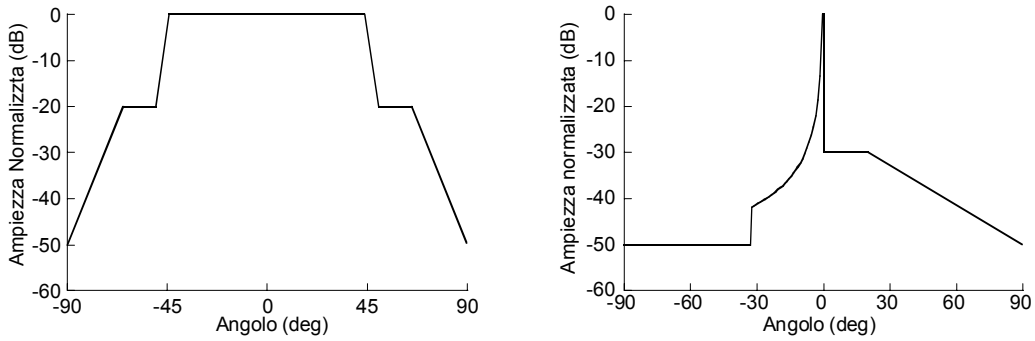
E. Pagana
Antenna Consultant, Via G.D. Cassini 95, 10129 Torino
enrico.pagana@tin.it

Abstract

A genetic algorithm (GA) based synthesis of reflector antennas for point-to-multipoint application in the Q band is presented. For such applications, the antenna must be characterized by a 90 degrees sector azimuthal coverage and a cosecant squared like pattern in the vertical plane. In order to obtain the required radiation patterns, shaped reflectors have been synthesized through a GA optimizer combined with a physical optics (PO) analysis. In particular, distortions are imposed on a paraboloid and are mathematically described by rectangular polynomials containing a set of unknown coefficients. Such coefficients are the genes constituting the chromosome of the GA. The use of real chromosomes instead of binary-coded ones has proved to be more efficient in accelerating the convergence of the algorithm. The objective function minimizes the error between the trial and the desired patterns on both principal planes. The results of the synthesis are presented and compared with measurements performed on an antenna prototype.

INTRODUZIONE

I sistemi *Wireless Local Loop* (WLL) di tipo punto-multipunto a banda larga, per la copertura dell'ultimo miglio mediante onde radio, prevedono una suddivisione del territorio che deve essere coperto dal servizio in celle al centro delle quali è presente una stazione radio base che comunica con le stazioni periferiche. L'antenna di base deve fornire una copertura uniforme nel piano di *azimuth* e un fascio sagomato nel piano di elevazione. Tipicamente, la copertura sul piano orizzontale viene ottenuta mediante antenne settoriali, mentre il diagramma di irradiazione sul piano verticale è del tipo cosecante, in quanto deve garantire un livello del segnale costante al variare della distanza tra la stazione di base e le stazioni periferiche. L'antenna di base deve operare nella banda di frequenze 40.5 GHz- 43.5 GHz, con un ROS≤1.5. Le specifiche richiedono nel piano di *azimuth* un diagramma settoriale a 90º di tipo *flat-topped* (con *ripple* inferiore a 3 dB), e nel piano di elevazione un profilo di tipo cosecante al di sotto dell'orizzonte (sopra l'orizzonte il primo lobo laterale deve avere un'ampiezza relativa inferiore a –20 dB); il livello delle componenti cross-polari deve essere inferiore a 20 dB. I requisiti sui diagrammi di irradiazione nei piani principali sono riassunti nelle maschere in Figura 1. Il guadagno minimo è 22 dBi, la polarizzazione è lineare.



(a) (b)

Figura1. Maschere di irradiazione sui piani principali: (a) azimuth, (b) elevazione.

Le antenne a riflettore costituiscono una soluzione valida per tale applicazione; nondimeno, le specifiche sul diagramma di irradiazione nei piani principali richiedono una procedura di sintesi efficiente per la sagomatura della superficie del riflettore. Gli algoritmi genetici (GA) rappresentano un valido strumento per la progettazione di dispositivi a microonde ed antenne. Una tecnica di ottimizzazione basta su un GA, già impiegata per la sintesi di array planari [1], è stata recentemente combinata con un'analisi mediante ottica fisica (PO) ed utilizzata per definire il profilo dei riflettori di antenne a riflettore sagomato [2]. In questo lavoro, viene presentata la validazione di tale procedura di sintesi, effettuata mediante misure sperimentali su un prototipo.

SINTESI DEL RIFLETTORE SAGOMATO

La configurazione scelta è quella di un'antenna a singolo riflettore in *offset* (Figura 2). Si è fatto ricorso ad un metodo di sintesi di tipo diretto, in cui la superficie del riflettore $Z(x,y)$ è stata descritta introducendo delle deformazioni su una superficie canonica di partenza, come segue:

$$Z(x,y) = Z_p(x,y) + \delta(x,y)\,. \tag{1}$$

La superficie di partenza, $Z_p(x,y)$, è un paraboloide bifocale, in cui la lunghezza focale nel piano di *azimuth* (piano *yz*) è di segno opposto rispetto a quella nel piano di elevazione (piano *xz*). Le deformazioni sono state descritte matematicamente per interpolazione mediante polinomi rettangolari del tipo [3]:

$$\delta(x,y) = \sum_{i=0}^{Gmx}\sum_{j=0}^{Gmy} Cij \left(\frac{x-X_0}{A}\right)^i \left(\frac{y-Y_0}{B}\right)^{2j} \tag{2}$$

dove (X_0, Y_0) individua il centro dell'apertura, A e B sono i semiassi dell'apertura, G_{mx} e G_{my} fissano il grado massimo del polinomio. I coefficienti di peso C_{ij} costituiscono il set di incognite da determinare mediante metodo iterativo. Si fa notare che i polinomi descritti dalla (2) garantiscono la continuità e la derivabilità della superficie finale e realizzano una deformazione simmetrica nel piano azimuthale, condizione necessaria per avere un diagramma simmetrico su tale piano.

La determinazione dei coefficienti incogniti è stata eseguita mediante un ottimizzatore basato su un GA generazionale [4]. I coefficienti C_{ij}, opportunamente organizzati in un vettore, costituiscono la rappresentazione codificata della superficie e costituiscono il patrimonio genetico di un individuo. Dunque, ciascuno dei coefficienti

incogniti è un gene, per un totale di $(G_{mx}+1)(G_{my}+1)$ geni in un cromosoma. Ad ogni individuo (cromosoma) corrisponde un punto nello spazio di ricerca della soluzione, che contiene tutte le possibili superfici di deformazione del riflettore ottenibili con i polinomi del tipo (2). Per avere un tempo di ricerca ragionevole, è stato fissato un campo di variabilità per i coefficienti, che significa limitare la ricerca dell'ottimo ad un sottospazio. Non essendoci a priori la garanzia che la soluzione ottima si trovi nel sottospazio considerato, la soluzione trovata può non coincidere con la soluzione ottima globale. È stato implementato un GA di tipo reale, in cui i geni sono stati inseriti nel cromosoma senza alcuna codifica in binario, come succede in un GA classico. E' stata fatta evolvere Una popolazione di 50 individui applicando i tre operatori principali di *selezione* (torneo binario), *crossover* e *mutazione* che agiscono su cromosomi reali. Inoltre, è stato utilizzato l'operatore secondario di *elitismo* per garantire la monotonicità del *fitness* (valore della funzione obiettivo) di generazione in generazione. La funzione obiettivo minimizza l'errore quadratico medio tra il diagramma prodotto dalla soluzione intermedia sotto esame, e quello richiesto dalle specifiche. Dunque, nella valutazione del *fitness* di un individuo, i coefficienti di deformazione vengono estratti dal cromosoma, e l'antenna con il riflettore deformato è analizzata mediante PO. Per il calcolo del *fitness* occorre fornire le maschere di confronto e dei coefficienti di peso. La funzione obiettivo è l'unico aggancio con la realtà fisica del problema, ed è quindi necessario definirla in maniera conveniente per far sì che l'algoritmo converga al risultato voluto.

Con questa procedura è stata sintetizzata un'antenna a riflettore sagomato di cui è stato fabbricato il prototipo, poi sottoposto a misure.

RISULTATI SPERIMENTALI E CONCLUSIONI

In Figura 3(a) e 3(b) è descritto il profilo del riflettore sui due tagli principali, prima e dopo la sagomatura. I diagrammi di irradiazione misurati sui due piani principali, vengono messi a confronto in figura 4 con i risultati teorici, ottenuti analizzando l'antenna sintetizzata con l'ottica fisica (PO). Per verificare l'efficacia della sintesi, il risultato teorico di confronto è stato ottenuto fornendo al simulatore PO il diagramma di irradiazione del *feed* effettivamente utilizzato. L'accordo tra diagrammi teorici e sperimentali è indubbiamente ottimo. Si nota, in Figura 4(a), che nel piano di *azimuth* il fascio risulta più stretto dei 90 gradi richiesti. Questo risultato non è comunque critico, poiché nella sintesi il riflettore era illuminato da un *feed* standard con diagramma di irradiazione a simmetria circolare di tipo gaussiano che, un con *taper* opportuno, garantiva l'apertura in *azimuth* di 90 gradi. Durante la campagna di misura, invece, è stato utilizzato un *horn* bimodale più direttivo, da cui il conseguente restringimento del fascio. Le specifiche sulle componenti cross-polari sono soddisfatte (< 20dB); il guadagno misurato è 21.6 dBi, contro i 21.8 dBi teorici. Si noti che, per l'antenna sintetizzata si prevedeva un guadagno teorico di circa 23 dBi; la perdita di direttività è legata allo *spillover*, non previsto in fase di sintesi e dovuto, ancora una volta, al *feed* utilizzato che presentava una modesta simmetria circolare. Dunque, per ottenere un fascio di 90 gradi in azimuth e un guadagno maggiore, come da specifiche, si dovrà illuminare il riflettore con un *feed* meno direttivo e con diagramma a simmetria circolare.

In conclusione, i confronti tra i diagrammi di irradiazione misurati sul prototipo e quelli teorici, ottenuti analizzando l'antenna mediante ottica fisica, dimostrano l'efficacia della tecnica di sintesi presentata.

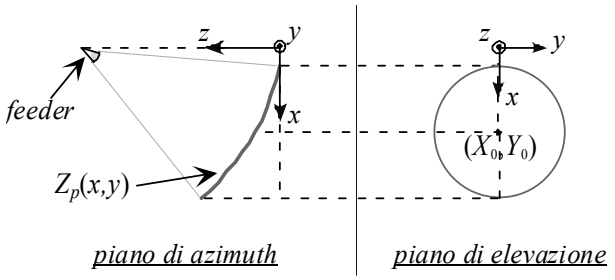
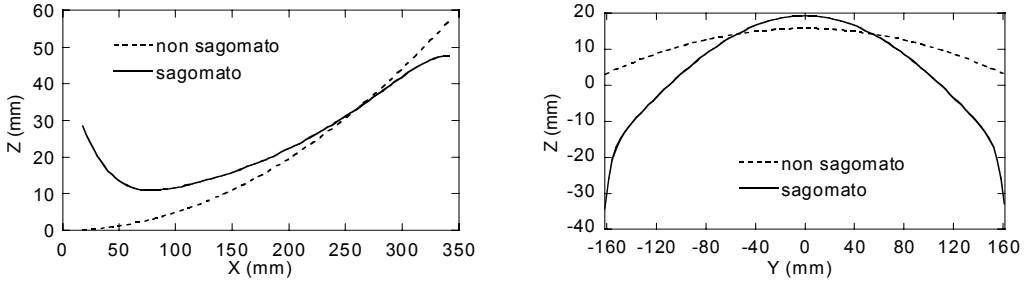
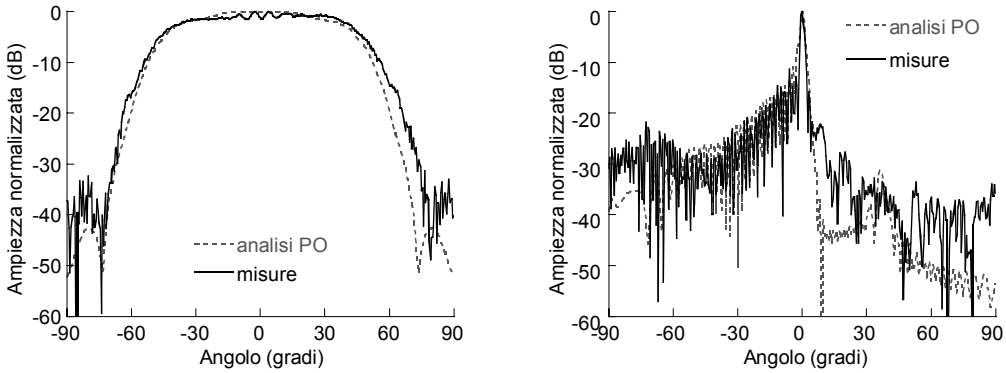


Figura 2. Geometria dell'antenna.



(a) (b)

Figura 3. Profilo del riflettore sui piani (a) *xz* e (b) *yz*.



(a) (b)

Figura 4. Diagrammi di irradiazione sui piani principali: (a) azimuth, (b) elevazione.

Bibliografia

[1] A. Armogida, G. Manara, A. Monorchio, P.Nepa, E. Pagana, "Synthesis of point-to-multipoint patch antenna arrays by using Genetic Algorithms," *2000 IEEE AP- S Internat. Symp.*, Salt Lake City, UT, 2000, Vol. 2, pp. 1038-1041.

[2] A. Armogida, G. Manara, A. Monorchio, P.Nepa, G. Rossi, E. Pagana, " Genetic Algorithm synthesis of a shaped dual reflector antenna", USNC/URSI National Radio Science Meeting, Boston 2001.

[3] P.G. Mantica, E. Pagana, "An efficient Shaping Method for Antenna Reflectors", Atti della XII Riunione Nazionale di Elettromagnetismo (RiNEm), Cetraro (CS), Italia, Ottobre 1998.

[4] D. S. Weile, E. Michielssen, "Genetic Algorithm aptimization applied to electromagnetics: a review," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-45, pp. 343-353, March 1997.