

OTTIMIZZAZIONE DI HORN CIRCOLARI CORRUGATI PROFILATI TRAMITE ALGORITMI GENETICI

L. Lucci¹, R. Nesti², G. Pelosi¹, S. Selleri¹

¹Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni
Università di Firenze, Via C. Lombroso 6/17
50134 – Firenze, Italia

²Osservatorio Astrofisico di Arcetri – Istituto Nazionale di Astrofisica
Largo Enrico Fermi 5, 50125 – Firenze, Italia
lucci@ingfi9.det.unifi.it, nesti@arcetri.astro.it,
pelosi@det.unifi.it, selleri@det.unifi.it

Abstract

Profiled corrugated circular horns are among the best feeds used in modern reflector antennas, for their polarization purity, small size and high phase centre stability. In this paper an automatic optimization procedure for such horns is presented, based on Genetic Algorithms and on an accurate full-wave mode matching/combined field integral equation analysis code. The algorithm operates on many geometrical parameters to control a full set of electromagnetic performances. To keep computing time low a full parallel algorithm is employed using an 8 processors parallel virtual machine.

1-INTRODUZIONE

Per l'analisi di horn circolari corrugati profilati (*Profiled Circular Corrugated Horns*, PCCCH) o doppiamente profilati (*Dual Profiled Circular Corrugated Horns*, DPCCH) [1,2] sono attualmente disponibili simulatori numerici, veloci ed accurati, implementabili su PC convenzionali, ma un processo automatico di ottimizzazione richiede comunque tempi di calcolo molto lunghi, poiché necessita di numerose analisi. Recentemente sono stati ottenuti risultati interessanti dall'impiego delle reti neurali artificiali, approccio che però è poco flessibile qualora si richieda un cambiamento del set dei parametri di ottimizzazione [3]. In questo lavoro è proposto l'utilizzo degli Algoritmi Genetici (*Genetic Algorithms*, GA) [4], che permettono di sfruttare direttamente le potenzialità dei codici d'analisi, e un approccio di tipo parallelo per l'abbattimento dei tempi di calcolo. In passato i GA erano stati utilizzati per l'ottimizzazione di strutture a horn planari o dischi, con specifiche semplici, mai per PCCCH o DPCCH con un set completo di specifiche da soddisfare [5,6].

2-PARAMETRI DI PROGETTO E FUNZIONE DI COSTO

Per un DPCCH i parametri geometrici di progetto sono numerosi. Il profilo r che descrive l'involuppo delle corrugazioni dell'horn è definito dalla funzione

$$r(z) = \begin{cases} R_i + (R_s - R_i) \left[(1-A) \frac{z}{L_s} + A \sin^2 \left(\frac{\pi z}{2L_s} \right) \right] & 0 \leq z \leq L_s \\ R_s + e^{\alpha(z-L_s)} & L_s \leq z \leq L_s + L_e \end{cases} \quad (1)$$

in cui il parametro $A \in [0,1]$ consente la modulazione della prima parte di profilo da un andamento di tipo lineare ad un seno quadrato puro, mentre il parametro $\alpha = [\ln(1 + R_a - R_s)] / L_e$ definisce la forma dell'esponenziale in prossimità dell'apertura.

I parametri per la definizione del profilo risultano quindi essere: L_s , R_s , L_e , R_a ed A , essendo R_l fissato dalle dimensioni della guida d'onda d'alimentazione.

Per le corrugazioni è prevista una differente geometria per la zona della gola e per quella finale vicino all'apertura: la variazione avviene secondo una legge di tipo funzionale nell'arco di un numero di corrugazioni di transizione N . I parametri di progetto risultano essere: profondità e larghezza iniziale e finale delle slot s_l, b_l, s, b , larghezza iniziale e finale dei denti t_l, t , numero di corrugazioni di transizione per ciascuna grandezza N_s, N_b, N_t e, infine, i parametri per la definizione della funzione che governa la transizione. Nella sezione 4 si specificherà il subset di parametri utilizzati per la definizione del vettore dei parametri di ottimizzazione \mathbf{p} .

Le grandezze elettromagnetiche d'interesse per un feed-horn sono: la distanza d del centro di fase dall'apertura e la sua stabilità in frequenza, il livello dei lobi laterali SLL , il valore dell'edge-taper in corrispondenza dell'angolo θ_{ET} dalla direzione di broadside $ET @ \theta_{ET}$, il livello della componente crosspolare XL e il valore del return loss RL , che insieme costituiscono il vettore delle prestazioni $\mathbf{c} = [d, SLL, ET @ \theta_{ET}, XL, RL]$, per le quali si definisce un vettore dei valori nominali $\bar{\mathbf{c}}$ e due vettori di tolleranza δ^+, δ^- . L'obiettivo consiste nel far sì che $\bar{c}_n - \delta_n^- \leq c_n \leq \bar{c}_n + \delta_n^+ \quad \forall n$, in corrispondenza del set di frequenze e piani specificati. La funzione di costo è definita come somma pesata delle distanze delle prestazioni dalle specifiche nominali, tenendo conto delle tolleranze:

$C(\mathbf{p}) = \sum_{n=1}^5 w_n D(c_n(\mathbf{p}), \bar{c}_n, \delta_n^-, \delta_n^+)$. La distanza è a sua volta definita come una somma pesata sui risultati dell'analisi in corrispondenza delle frequenze $f_i, i = 1, \dots, N_f$ e di un certo numero di tagli del pattern di radiazione $\phi_j, j = 1, \dots, N_\phi$:

$$D(c_n(\mathbf{p}), \bar{c}_n, \delta_n^-, \delta_n^+) = \sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{N_\phi} u(\{c_n(\mathbf{p})\}_{ij}, \bar{c}_n, \delta_n^-, \delta_n^+) |\{c_n(\mathbf{p})\}_{ij} - \bar{c}_n| \quad (2)$$

Il peso $u(\{c_n(\mathbf{p})\}_{ij}, \bar{c}_n, \delta_n^-, \delta_n^+)$ è una funzione non lineare che serve a garantire contributo nullo per le grandezze che rientrano nei limiti di tolleranza, e a penalizzare fortemente quelle lontane dai valori nominali. La definizione utilizzata in questo lavoro è la seguente:

$$u(\{c_n(\mathbf{p})\}_{ij}, \bar{c}_n, \delta_n^-, \delta_n^+) = \begin{cases} 0 & \text{if } \{c_n(\mathbf{p})\}_{ij} - \bar{c}_n \in [-\delta_n^-, \delta_n^+] \\ 1 & \text{if } \{c_n(\mathbf{p})\}_{ij} - \bar{c}_n \in [-\Delta_n^-, -\delta_n^-] \cup (\delta_n^+, \Delta_n^+] \\ 100 & \text{if } \{c_n(\mathbf{p})\}_{ij} - \bar{c}_n \in (-\infty, -\Delta_n^-) \cup (\Delta_n^+, +\infty) \end{cases} \quad (3)$$

dove Δ_n è un livello di tolleranza aggiuntivo per aumentare la velocità di convergenza.

3-GA PARALLELO

Una delle caratteristiche dei GA è il parallelismo intrinseco: ad ogni passo iterativo sono richieste numerose analisi indipendenti che possono quindi essere eseguite in parallelo, velocizzando il processo di ottimizzazione. L'algoritmo è stato implementato

su un cluster di tipo Beowolf, costituito da quattro calcolatori con un doppio processore Pentium III. Utilizzando uno schema di tipo master-slave, in cui un processo master demanda agli slave l'esecuzione dell'analisi, si limita lo scambio di informazioni tra i processi unicamente ai valori delle funzioni di costo ed ai parametri di ottimizzazione, eludendo il collo di bottiglia legato alla velocità, relativamente limitata, della rete di interconnessione tra i nodi del cluster. Con un approccio di questo tipo si ottiene un incremento della velocità di un fattore praticamente pari al numero di CPU disponibili.

4-RISULTATI NUMERICI

Come esempio si riporta il progetto di un horn a 70GHz con una banda del 20%, di lunghezza totale pari a 19λ , con $\lambda \approx 4.3mm$. Le corrugazioni nella regione di transizione variano con legge di tipo esponenziale definita da $X(i) = Xs + (i-1)^{\beta_x} (Xe - Xs) / (N_x - 1)^{\beta_x}$, dove con $X(i)$ si è indicata la generica grandezza variabile $[s, t, b]$, Xs ed Xe sono i valori rispettivamente iniziale e finale di tale grandezza, N_x indica il numero di corrugazioni di transizione, $i=1, \dots, N_x$ è l'indice che individua le singole corrugazioni, β_x è un numero reale. Per soddisfare la specifica sulla lunghezza totale della struttura si sono mantenute costanti le somme $t_i + b_i$ e $t + b$ e il numero di corrugazioni totali N_{tot} , mentre si è imposto $\beta_b = \beta_t$ e $N_t = N_b$. Il vettore dei parametri di ottimizzazione è dunque costituito da 12 elementi tra cui: R_s , R_a , il numero di corrugazioni della zona seno quadrato N_{cs} e i parametri $A, s_t, s, N_s, \beta_s, b_t, b, N_b, \beta_b$. I vettori $\bar{c} = [-1.5mm, -35dB, -28dB @ 19^\circ, -30dB, 30dB]$, $\delta^+ = [2\lambda, 0, 0, 0, \infty]$ e $\delta^- = [2\lambda, \infty, 0, \infty, 0]$ rappresentano l'obiettivo del progetto, mentre le tolleranze ausiliarie sono date da $\Delta^+ = [2\lambda, \infty, 10dB, 2dB, \infty]$ e $\Delta^- = [2\lambda, \infty, 10dB, \infty, 0]$. Si noti che la specifica sull'edge-taper è imposta solo per $f=70GHz$, mentre per il return loss perde di significato la sommatoria sui tre piani E, H e $\phi=45^\circ$. Dal punto di vista del GA si è utilizzata una popolazione di 54 individui che si sono riprodotti per 30 generazioni, con una probabilità di crossover pari a 0.8 ed una probabilità di mutazione pari a 0.1. Nelle figure della pagina successiva sono riportati i grafici relativi ai risultati del progetto. Il tempo totale impiegato per l'ottimizzazione è stato 14h e 40'.

Riferimenti bibliografici

- [1] CLARRICOATS P.J.B. and OLVER A.D., 'Corrugated Horns for Microwave Antennas' (Peter Peregrinus Ltd, London (UK), 1984)
- [2] GENTILI G.G., NESTI R., PELOSI G. and NATALE V., 'Compact dual-profiled corrugated circular waveguide horn', *Electron. Lett.*, 2000, **36** (6) pp. 486-487
- [3] FEDI, G., MANETTI, S., PELOSI, G. and SELLERI, S., 'Profiled corrugated circular horns analysis and synthesis via an artificial neural network', *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 2001, **49** (11) pp. 1597-1602
- [4] GOLDBERG D.E., 'Genetic algorithms in search, optimization and machine learning', (Addison Wesley Longman Inc., Reading (MA), 1989)
- [5] KUHN E. and HOMBACH V., 'Computer-aided analysis of corrugated horns with axial or ring-loaded radial slots', *Int. Conf. on Antennas and Propagat. (ICAP'83)*, *IEE Conf. Pub.* 219, 1983, pp. 127-131
- [6] GARCIA-MULLER P.L., 'Optimisation of compact horn with broad sectoral radiation pattern', *Electron. Lett.*, 2001, **37** (6) pp. 337-338

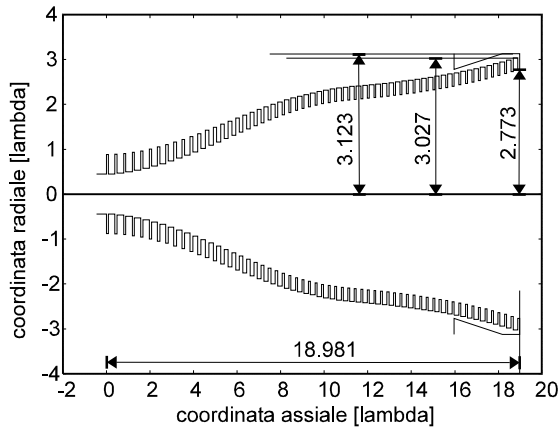


Fig.1 Geometria dell'horn ottimizzato. Le dimensioni sono fornite in termini della lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza di centro banda.

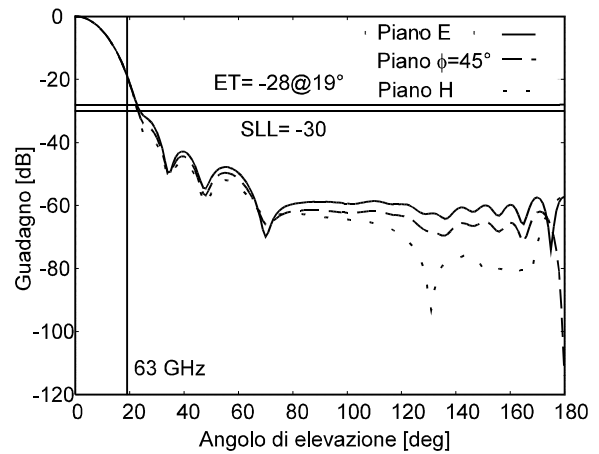


Fig.4 Pattern copolare a 63 GHz al variare dell'angolo di elevazione, sui piani E, $\phi=45^\circ$ ed H.

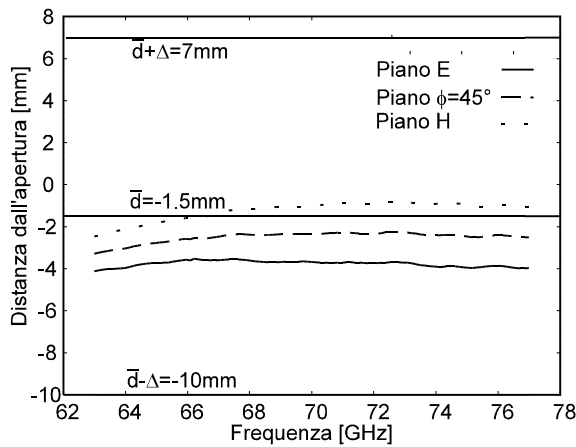


Fig.2 Posizione del centro di fase rispetto all'apertura, sui piani E, H e $\phi=45^\circ$, al variare della frequenza in banda. Sono riportati la posizione nominale e i limiti di tolleranza.

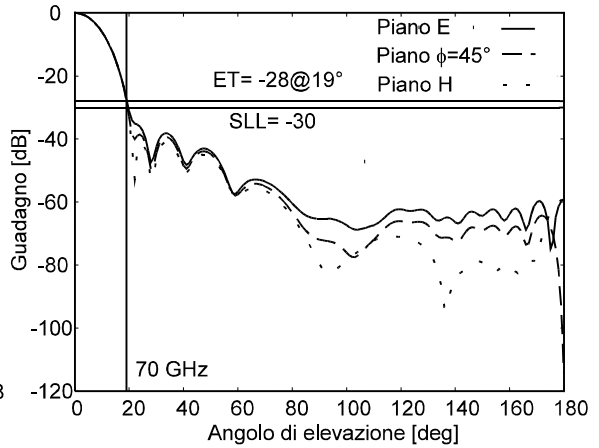


Fig.5 Pattern copolare a 70 GHz al variare dell'angolo di elevazione, sui piani E, $\phi=45^\circ$ ed H.

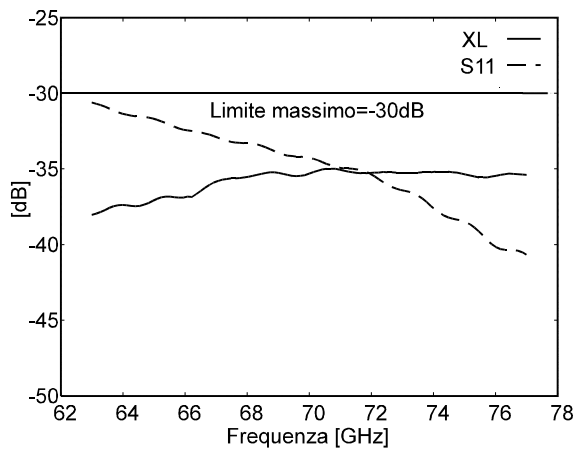


Fig.3 Coefficiente di riflessione S11 e valore massimo della componente crosspolare XL dell'horn ottimizzato al variare della frequenza in banda.

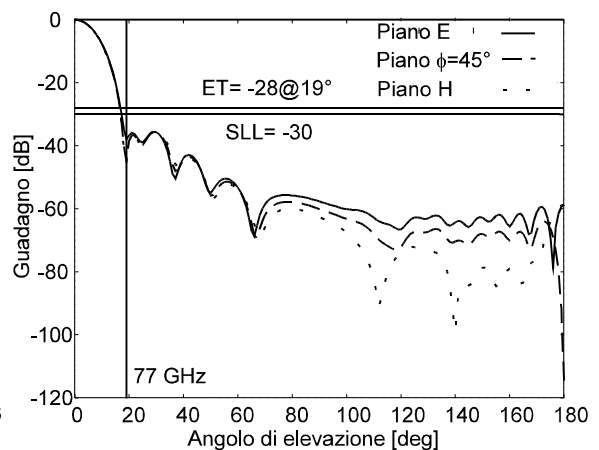


Fig.6 Pattern copolare a 77 GHz al variare dell'angolo di elevazione, sui piani E, $\phi=45^\circ$ ed H.