

# Esercitazione di Antenne

Dimensionare un array costituito da 4 antenne stampate disposte a rettangolo, su un substrato dielettrico di altezza  $h=1.576$  mm e costante dielettrica  $\epsilon=2.2$ , alla frequenza di 4 GHz, in modo da soddisfare le seguenti specifiche:

- Alimentazione a 50 Ohm
- La distanza tra i centri delle antenne sia 70 mm in verticale e 50 mm in orizzontale
- $|\Gamma_{in}| < -16$  dB a centro banda
- larghezza di banda a  $-10$  dB superiore all'1% (40 MHz)
- componente cross-polare (valutata su entrambi i tagli  $\theta=0^\circ$  e  $\theta=90^\circ$  tra  $\pm 10^\circ$ ) inferiore a  $-15$  dB sulla banda da 3.9 GHz a 4.1 GHz

## Soluzione

### Passo 1

Il primo passo consiste nel trovare la condizione di risonanza e quella di adattamento per l'antenna singola. La lunghezza d'onda a 4 GHz nel vuoto è pari a  $\lambda_0=75$  mm, mentre nel dielettrico, assumendo una  $\epsilon_{eq}=2.18$  a 4GHz (stima Prelude), si ha  $\lambda_d=50.8$  mm. Pertanto la lunghezza teorica di risonanza vale  $\lambda_d/2=25.4$  mm.

Fissiamo una larghezza dell'antenna prossima alla sua lunghezza, e cioè  $W=30$  mm; tenendo conto degli effetti di allungamento dovuti al debordamento del campo alle terminazioni aperte del patch, la lunghezza di risonanza teorica deve essere accorciata di tale allungamento ad entrambe tali terminazioni:

$$L_{ris}=\lambda_d/2-2*\Delta l \cong \lambda_d/2-2*h/2=23.824 \text{ mm}$$

Dopo opportune correzioni, atte ad ottenere una parte immaginaria la più piccola possibile, si ottiene una lunghezza per l'antenna singola pari a:

$$L_{ris}=23.9975 \text{ mm}$$

In corrispondenza di tale lunghezza (calcolata alimentando il patch con una linea da 200 Ohm, e pertanto larga 0.17 mm), si ottiene una impedenza di ingresso, a 4 GHz, pari a circa:

$$Z_{in}=215-j0.85 \text{ Ohm}$$

## **Passo 2**

Per adattare l'allineamento all'ingresso si può fare uso di trasformatori a  $\lambda/4$ .

Dato che ho un allineamento di 4 antenne, collegate a due a due, ciò che mi serve per avere in ingresso 50 Ohm, è avere l'impedenza di ingresso di ogni antenna pari a 200 Ohm, in modo tale che il parallelo fra le antenne mi dia 100 Ohm come impedenza di ingresso, e il parallelo fra la coppia di antenne mi dia 50 Ohm.

Quindi il trasformatore dovrà avere una impedenza di ingresso pari a:

$$Z_{\lambda/4} = \sqrt{(215 \cdot 200)} = 207.36 \text{ Ohm}$$

A tale impedenza corrisponde una larghezza della linea a microstriscia pari a:

$$W_{\lambda/4} = 0.14 \text{ mm}$$

Ed ovviamente la lunghezza del trasformatore sarà  $\lambda/4 = 13.125 \text{ mm}$ .

Per problemi di discretizzazione, non conatteremo direttamente il trasformatore, molto sottile, alla linea a 200 Ohm, ma useremo un quadratino intermedio fra i 2 di dimensioni pari alla linea di alimentazione, ossia 0.17 mm.

L'inserimento di tale trasformatore, sposta la frequenza di risonanza dell'antenna e ciò è dovuto al fatto che si crea un accoppiamento fra il trasformatore e l'antenna.

Per riportare la risonanza a 4 GHz, dobbiamo annullare la parte immaginaria dell'impedenza di ingresso, e quindi dobbiamo modificare la lunghezza, e, se necessario, la larghezza, del trasformatore a  $\lambda/4$ . Dopo alcune prove, si ottiene:

$$W_{\lambda/4} = 0.12 \text{ mm}; \quad L_{\lambda/4} = 12.5 \text{ mm}$$

Con tali valori si ottiene un coefficiente di riflessione in ingresso a 4 GHz pari a -30 dB.

## **Passo 3**

Inseriamo adesso la 2° antenna, ad una distanza pari a 50 mm dalla precedente, come richiesto. Colleghiamo le due antenne tramite una linea da 200 Ohm, ed alimentiamole mediante una linea da 100 Ohm.

L'impedenza di ingresso al sistema di 2 antenne è pari a:

$$Z_{in} = 136.8 + j15.57 \text{ Ohm}$$

Utilizziamo un trasformatore a quarto d'onda per ottenere un'impedenza di ingresso pari a 100 Ohm:

$$Z_{\lambda/4} = \sqrt{(136.8 \cdot 100)} = 117 \text{ Ohm}$$

A tale impedenza corrisponde una larghezza della linea a microstriscia pari a:

$$W_{\lambda/4}=0.97 \text{ mm}$$

L'inserimento di tale trasformatore con i valori appena trovati, produce un aumento del coefficiente di riflessione in ingresso. Per migliorare questo, dobbiamo annullare la parte immaginaria dell'impedenza di ingresso, e quindi dobbiamo modificare la lunghezza, e, se necessario, la larghezza, del trasformatore a  $\lambda/4$ . Dopo alcune prove, si ottiene:

$$W_{\lambda/4}=0.94 \text{ mm}; \quad L_{\lambda/4}=12.025 \text{ mm}$$

Con tali valori si ottiene un coefficiente di riflessione in ingresso a 4 GHz pari a -29.23 dB.

#### **Passo 4**

Inseriamo adesso le restanti 2 antenne, e colleghiamole alle precedenti mediante una linea da 100 Ohm, ponendole ad una distanza di 70 mm come richiesto.

Alimentando tale sistema con una linea da 50 Ohm, che necessariamente dovrà seguire un percorso ad S, il coefficiente di riflessione in ingresso è molto alto, circa -8 dB, alla frequenza centrale. Ciò è dovuto essenzialmente al fatto che il percorso ad S dell'alimentazione introduce una componente capacitiva nell'impedenza di ingresso del sistema. Per ovviare a tale inconveniente, si tagliano gli spigoli del percorso ad S, riducendo in tal modo il valore di tale capacità.

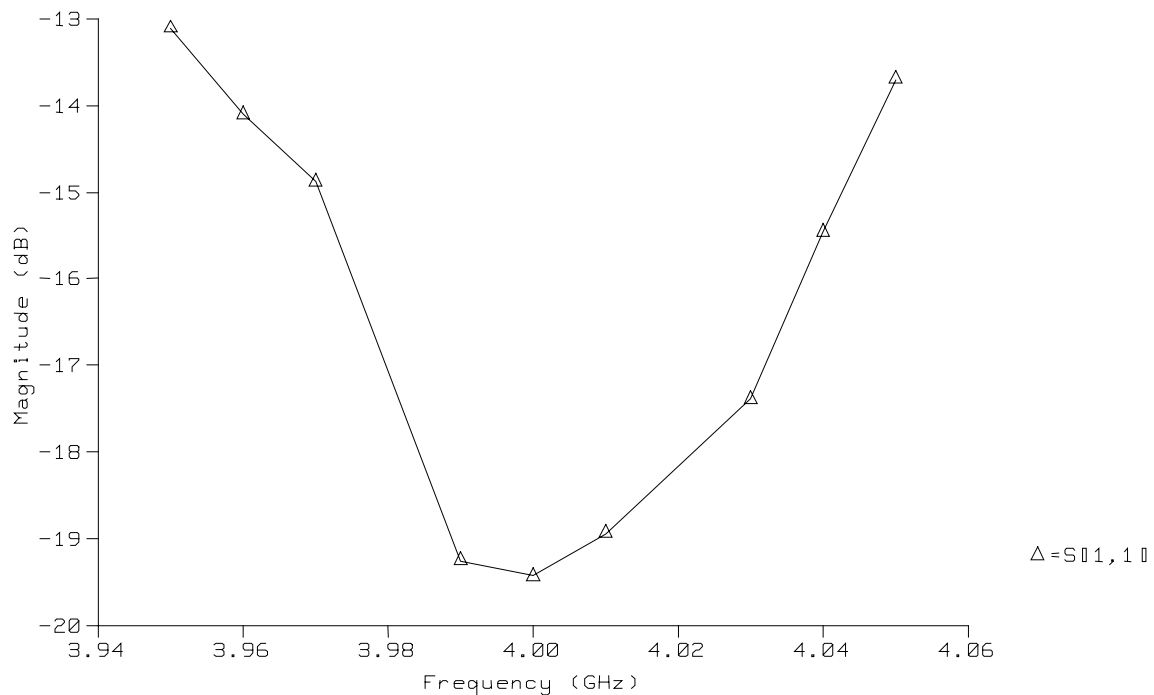
Si ottiene un valore dell' $S_{11}$  che è comunque troppo grande (circa -10 dB), nonostante si siano dimensionate le 2 coppie di antenne in modo da avere una impedenza di ingresso prossima a 100 Ohm.

Ciò è dovuto sia al fatto che la linea da 50 Ohm si accoppia con il sistema di antenne, sia alla discontinuità fra la linea di alimentazione a 50 Ohm (molto più larga) e quella a 100 Ohm.

Il problema si risolve modificando opportunamente la larghezza della linea da 100 Ohm, in modo che l'impedenza di ingresso del sistema di 4 antenne sia prossima a 50 Ohm. Si ottiene dopo qualche tentativo che scegliendo  $W_{\text{linea}_100 \text{ Ohm}}=1 \text{ mm}$ , che corrisponde ad un'impedenza di linea pari a 115 Ohm e non più a 100 Ohm, si ha:

$$S_{11}_{4 \text{ GHz}}=-20 \text{ dB}$$

E pertanto la specifica sul  $|\Gamma_{\text{in}}| < -16 \text{ dB}$  a centro banda è rispettata.  
Vediamo le altre specifiche:



Dal grafico del coefficiente di riflessione in ingresso è evidente che anche la specifica sulla larghezza di banda a  $-10$  dB superiore all'1% (40 MHz) è rispettata, dato che fra 3.95 e 4.05 GHz la risposta è inferiore a  $-13$  dB.

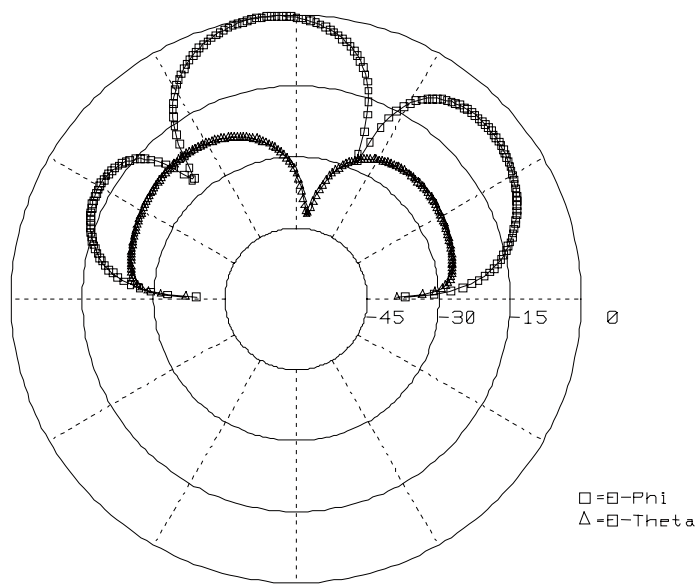
Controlliamo ora il valore della componente cross-polare:

i grafici mostrano che, nella banda richiesta ( $3.9 < f < 4.1$  GHz) sia il taglio a  $0^\circ$  che quello a  $90^\circ$  hanno componenti cross-polari con lobi inferiori a  $-18$  dB, e quindi rispetta ampiamente le specifiche (Basta controllare a 3.9, 4 e 4.1 GHz).

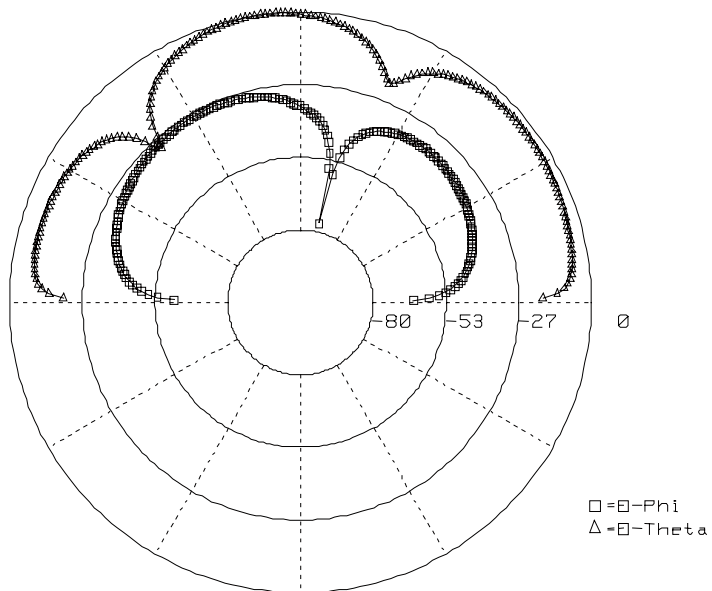
Si noti come il diagramma di irradiazione della componente co-polare ha comunque dei lobi laterali con valori elevati, addirittura prossimi a 0 dB per il taglio a  $90^\circ$ . Ciò è dovuto al fatto che la spaziatura imposta fra le antenne è elevata alla frequenza di 4 GHz, ossia le antenne sono troppo lontane.

N.B.: Dato che si sono dovute utilizzare linee a microstriscia molto sottili (fino a 0.12 mm), il programma di simulazione incontra problemi se si sceglie di fare un'analisi in frequenza su una certa banda e su un certo numero di punti lanciando una sola simulazione, pertanto l'analisi in frequenza è stata fatta simulando una frequenza alla volta.

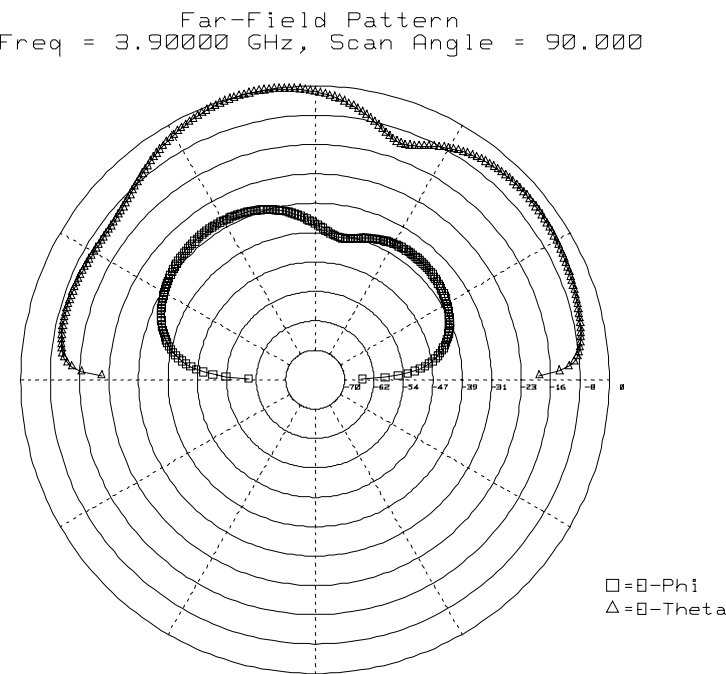
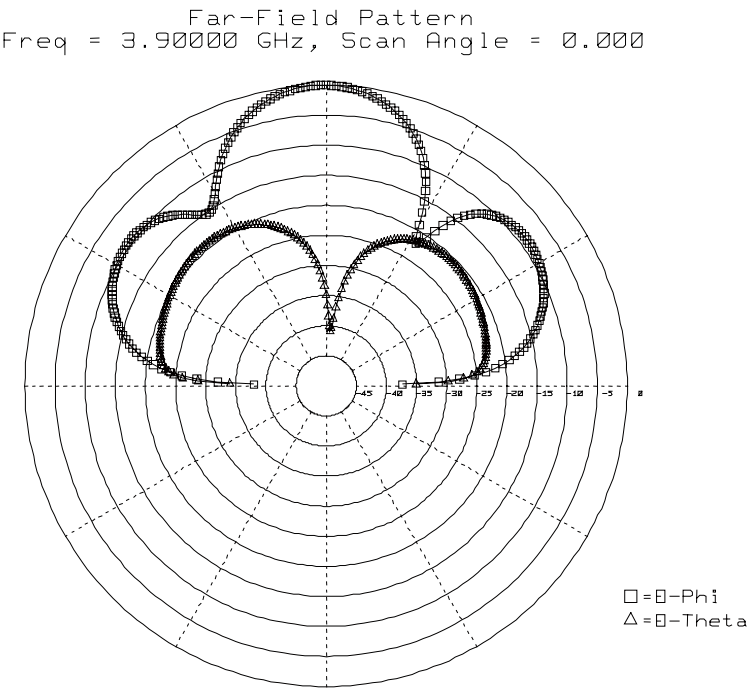
Far-Field Pattern  
 Freq = 4.00000 GHz, Scan Angle = 0.000



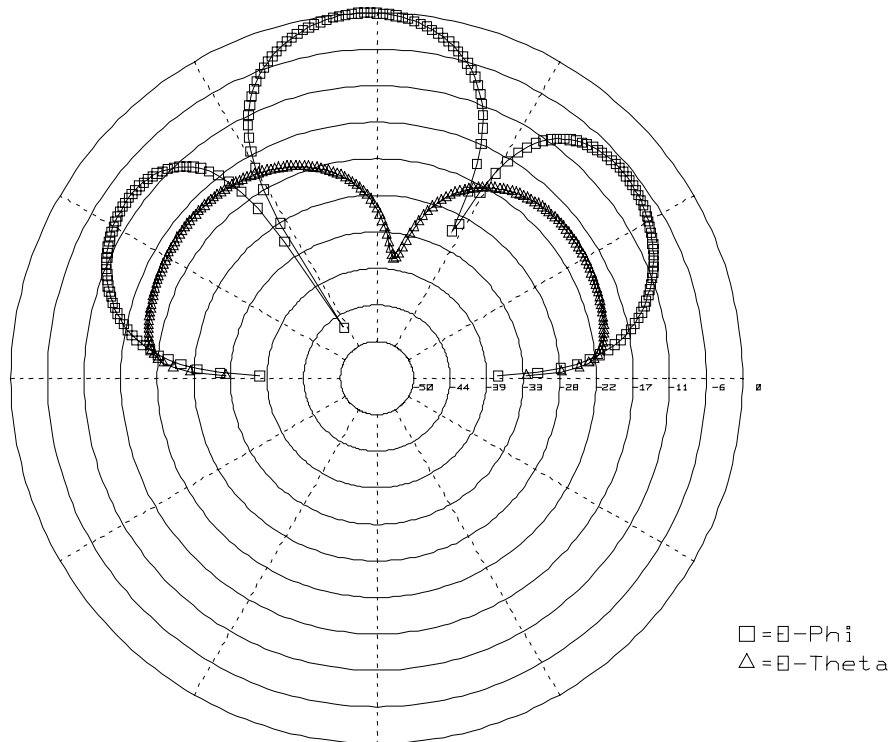
Far-Field Pattern  
 Freq = 4.00000 GHz, Scan Angle = 90.000



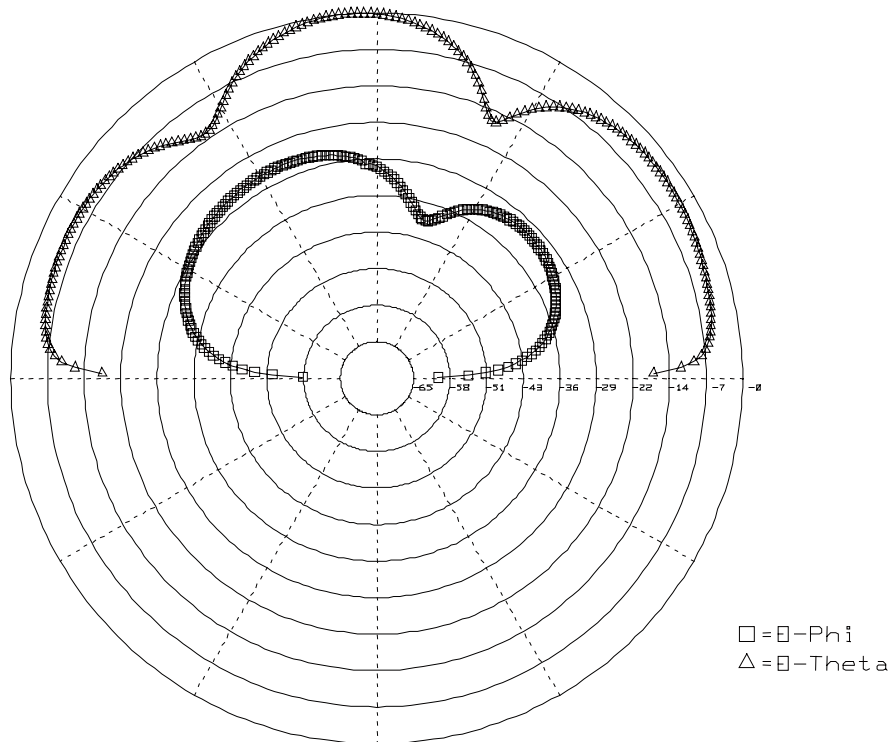
Grafici dei tagli a 3.9 e 4.1 GHz:



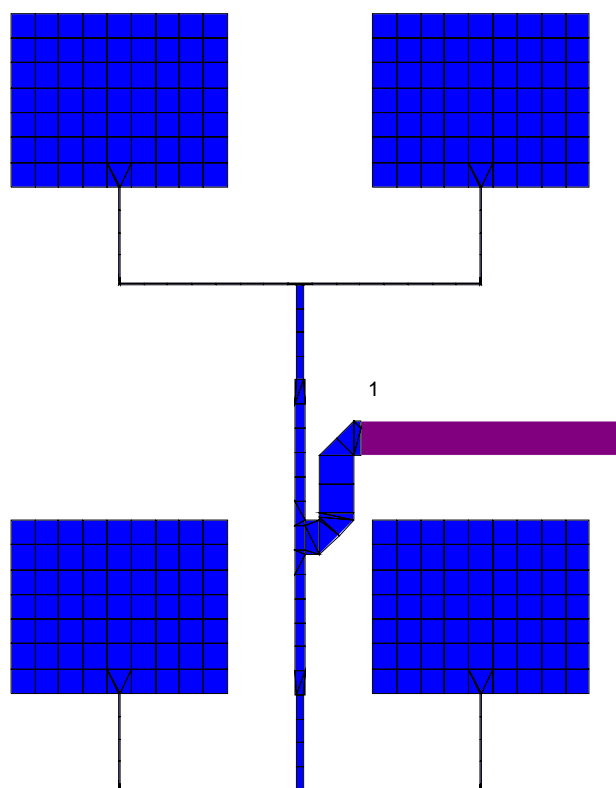
Far-Field Pattern  
Freq = 4.10000 GHz, Scan Angle = 0.000



Far-Field Pattern  
Freq = 4.10000 GHz, Scan Angle = 90.000



Layout indicativo del sistema di antenne:



NOTA: I risultati numerici ottenuti sono anch'essi indicativi, pertanto i valori ottenibili ripetendo il layout con le misure riportate in tale esercitazione potrebbero risultare leggermente diversi da quelli presentati. Lo scopo di tale esercitazione è quello di mostrare un metodo di soluzione per i problemi relativi alle antenne stampate, e di indicare una procedura generale da seguire nella progettazione di un sistema di antenne.