



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE**  
**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni  
Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettronica

RELAZIONE DI LABORATORIO

**Progetto di antenne a patch**  
**in polarizzazione lineare e circolare**

Studenti:

Guadagnoli Emanuele

Roselli Claudio

Veltroni Lorenzo

Zavagli Paolo

A.A. 2005/2006

## 1. Introduzione

L'esercitazione consiste nel progetto di antenne a patch con polarizzazione lineare e circolare con più tecniche di alimentazione a probe. Per un efficiente comportamento del patch come antenna occorre che la sua lunghezza sia pari a  $\lambda/2$ , dove  $\lambda$  è relativa alla frequenza di lavoro (in modo che si comporti da risonatore), e la sua larghezza sia sufficiente da garantire una buona radiazione ( $L/W \approx 4/3$ ). Si deve inoltre garantire l'adattamento tra l'alimentazione ed il patch stesso: è quindi necessario determinare il punto in cui l'impedenza presentata dall'antenna è pari a  $50\Omega$ . A tale scopo abbiamo inizialmente realizzato il modello a linea del patch, per poi costruire i modelli EM attraverso i quali si è simulato l'andamento delle correnti superficiali e del campo elettrico verificando così il corretto funzionamento per entrambe le polarizzazioni.

## 2. Antenna a patch in polarizzazione lineare

L'esercitazione richiede di progettare antenne a patch che operino alla frequenza centrale di 2,45GHz, realizzate in rame con spessore di  $35\mu\text{m}$  su substrato con  $\epsilon_r=3,38$ ,  $\tan\delta=0,0012$  e spessore  $h=1,8\text{mm}$ ; per la polarizzazione lineare è indicata una geometria rettangolare con rapporto  $L/W=4/3$ .

### 2.1. Modello a linea del patch

Per adattare l'ingresso dell'antenna all'impedenza di  $50\Omega$  abbiamo costruito il modello a linea del patch che ha permesso il tuning della posizione del probe.

Il circuito (v. Figura 1) è costituito da due tratti di linea (TLINP) di lunghezza tale che la somma risulti essere  $\lambda/2$ , due tratti di linea che modellano lo sfrangiamento del campo e due resistenze che tengono conto della potenza radiata ai bordi; nel modello si trascura la reattanza introdotta dal *via* di alimentazione. Considerando il tipo di substrato richiesto e il rapporto  $L/W$ , utilizzando il tool TXLine abbiamo ricavato i parametri necessari per modellare la linea:  $L=32,81\text{mm}$ ,  $W=24,6\text{mm}$ ,  $Z_0=12,59\Omega$ ,  $\text{loss}=0,7396\text{ dB/m}$  e  $\epsilon_{\text{eff}}=3,217$ .

La lunghezza dei due tratti di linea che modellano lo sfrangiamento del campo elettrico è stata ricavata mediante la formula:

$$\Delta L = 0,412 h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left( \frac{W}{L} + 0,262 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left( \frac{W}{L} + 0,813 \right)}$$

mentre la conduttanza di radiazione può essere stimata considerando un'antenna a slot uniforme infinitamente lunga:

$$G = \frac{W}{(120 \lambda_0)} \left[ 1 - \frac{\pi^2}{6} \left( \frac{h}{\lambda_0} \right)^2 \right]$$

I valori calcolati risultano pari a  $\Delta L = 570,7 \mu\text{m}$  ;  $G = 1,674 \text{ m}\Omega^{-1}$  e sono riportati in Figura 1 nel modello a linee del patch.

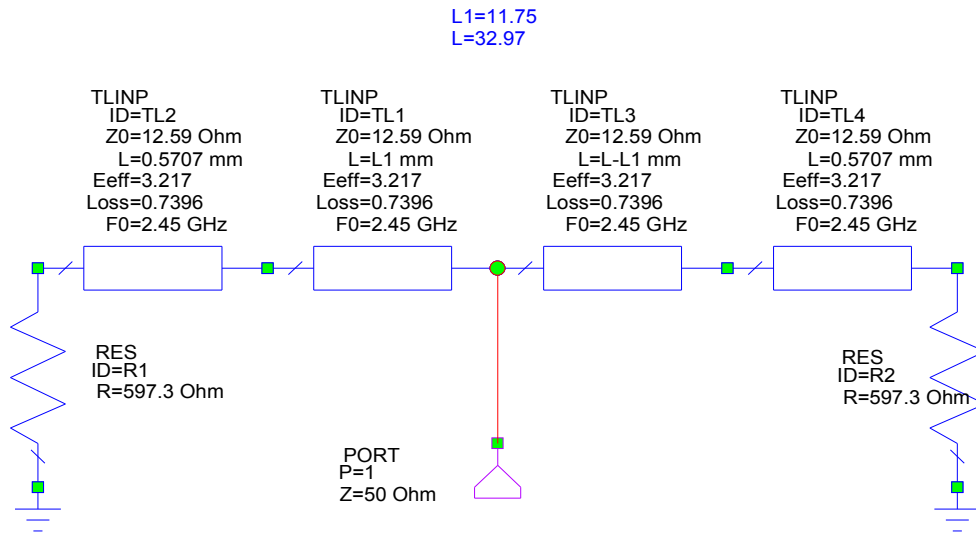


Figura 1: Modello a linea

L'alimentazione a probe è stata simulata inserendo una porta a  $50 \Omega$  in posizione tunabile, in modo tale che la parte reale dell'impedenza di ingresso presentata dal patch risultasse adattata, come mostrato in Figura2.

Per un corretto adattamento è stato necessario effettuare un tuning sia del punto di alimentazione che dell'intera lunghezza del patch; i loro valori risultano essere di 11,75mm e 32,97mm rispettivamente.

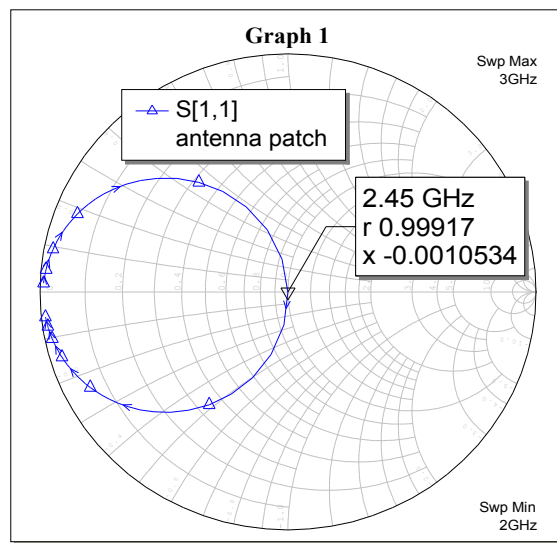


Figura2: Coefficiente di riflessione ( $S_{11}$ )

La Figura 3 mostra come il modello circuitale abbia il tipico comportamento di un risonatore parallelo: alla frequenza di risonanza la  $\text{Re}[Z]$  ha valore massimo, mentre la  $\text{Im}[Z]$  è nulla.

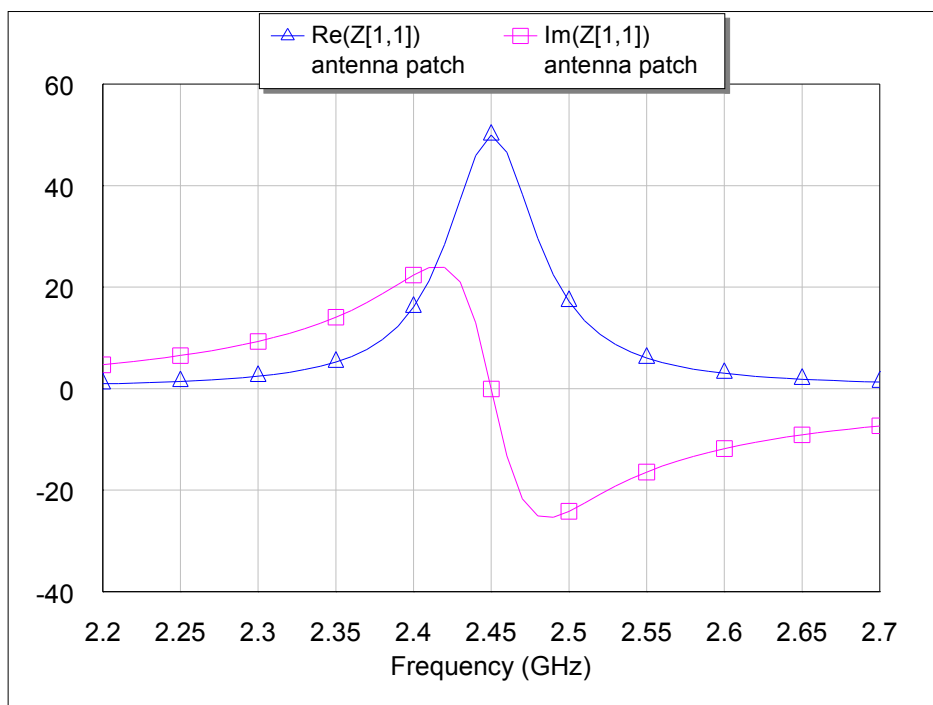


Figura 3: Modulo e fase dell'impedenza di ingresso

## 2.2. Modello EM del patch

Mediante “EM Structures” di MWOOffice è possibile realizzare il modello fisico del patch: abbiamo innanzitutto fissato i parametri del substrato e quindi introdotto un ulteriore layer in modo da simulare le condizioni al contorno dello spazio libero (considerando il suo spessore molto maggiore di quello del primo,  $\epsilon = \epsilon_0$ ,  $\text{loss tan} = 0$  ).

In base alle dimensioni determinate mediante il modello a linee ( $L = 32,97\text{mm}$ ;  $W = 24,6\text{mm}$ ) abbiamo costruito il patch; occorre precisare che la griglia del simulatore è stata fissata con un passo di  $0,5\text{mm}$  lungo l'asse y e  $0,25\text{mm}$  lungo l'asse x (per garantire dei tempi di analisi ragionevoli) e di conseguenza le dimensioni sono state approssimate. L'alimentazione è stata realizzata ponendo un *via* alla distanza di  $11,75\text{mm}$  (determinata in precedenza) dal bordo del patch. La struttura complessiva è riportata in Figura 4.

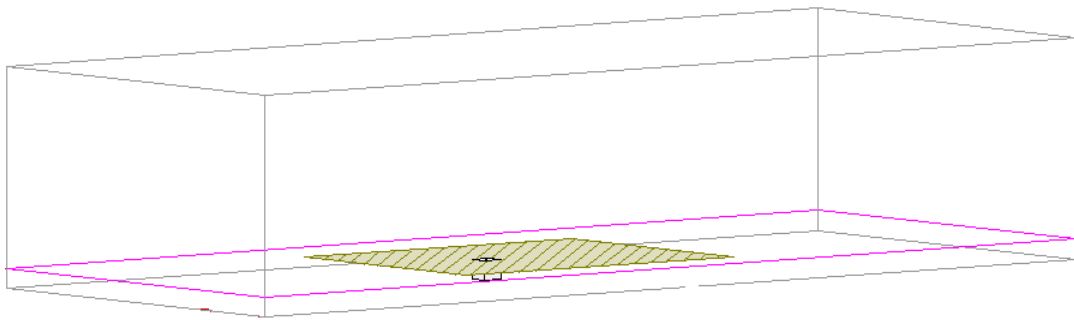


Figura 4: Patch rettangolare

Effettuando una simulazione EM si è notato, osservando sulla carta di Smith l'impedenza d'ingresso, che la struttura non risona alla frequenza di  $2,45\text{ GHz}$  con le dimensioni impiegate, ma ad una frequenza minore; quindi abbiamo accorciato opportunamente la lunghezza del patch in modo che risuonasse alla frequenza di specifica. Abbiamo quindi regolato la sezione del *via* e il suo punto di applicazione in modo da ottenere l'adattamento all'ingresso, tuttavia, anche a causa del passo della griglia che limita la risoluzione, questo non è stato possibile. In Figura 5 è riportato l'adattamento relativo ad un *via* di dimensione  $0,5\text{mm} \times 0,5\text{mm}$  posto ad una distanza di  $13,25\text{mm}$  dal bordo.

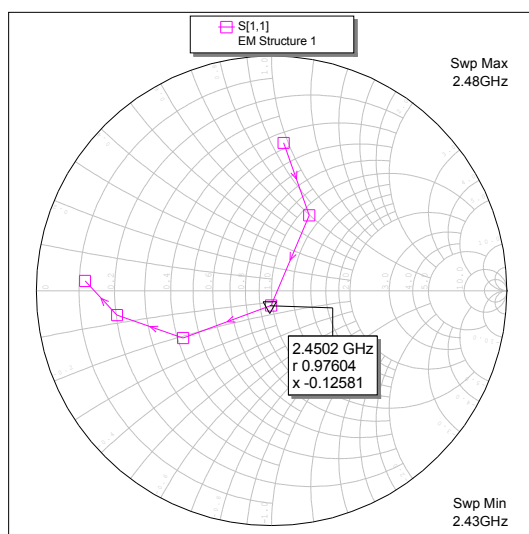


Figura 5: Adattamento del modello EM

In Figura 6 è quindi riportato l'andamento delle correnti e del campo elettrico: è possibile constatare il corretto andamento dei campi, tali che le correnti magnetiche sui due lati radiativi risultino equiverse, ed opposte sugli altri due lati. L'antenna a patch risulta essere così polarizzata linearmente.

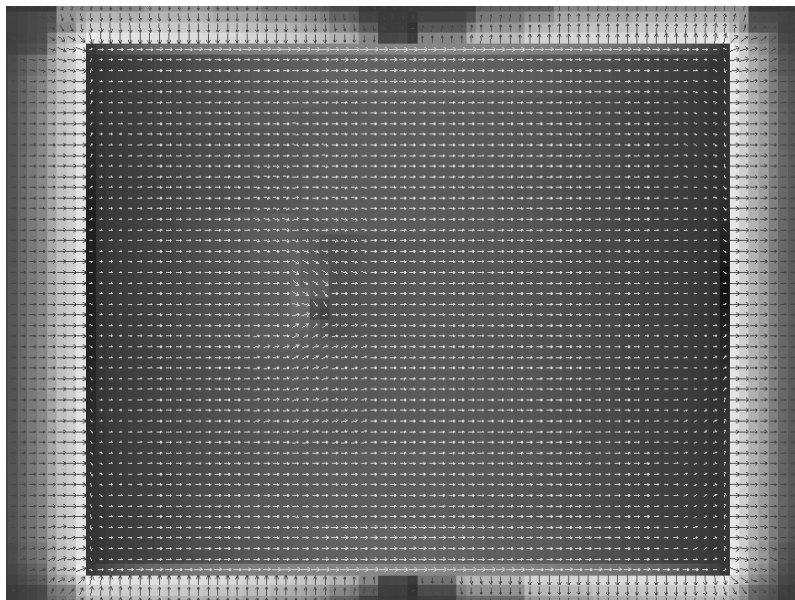


Figura 6: correnti e campo elettrico

### 3. Antenna a patch in polarizzazione circolare

L'esercitazione richiede di progettare sullo stesso substrato del caso precedente un'antenna a patch che deve lavorare alla frequenza centrale di 2.45 GHz con alimentazione a probe tale da generare un campo EM polarizzato circolarmente. Tale polarizzazione può essere ottenuta con due tecniche: impiegando due probe posti sugli assi di simmetria del patch o un singolo probe posto sulla diagonale.

#### 3.1. Alimentazione con due probe

Questa tecnica impiega un patch quadrato di lato pari a  $\lambda/2$ , dove  $\lambda$  è relativa alla frequenza di lavoro, in modo che entrambi i lati si comportino da risonatori. Applicando quindi due alimentazioni sui due assi di simmetria del patch, entrambi ad una distanza tale da verificare l'adattamento a  $50\Omega$ , opportunamente sfasati di  $90^\circ$  tra loro, si ottiene una polarizzazione circolare del campo radiato.

Tenendo conto delle specifiche di progetto, sfruttando TXLine si è ricavato la lunghezza del lato del patch pari a 33,845mm come si può vedere dalla Figura 7.

The screenshot shows the TXLine software interface with the following settings:

- Material Parameters:**
  - Dielectric: GaAs
  - Dielectric Constant: 3.38
  - Loss Tangent: 0.0012
  - Conductor: Copper
  - Conductivity: 5.88E7 S/m
- Electrical Characteristics:**
  - Impedance: 9.8211 Ohms
  - Frequency: 2.45 GHz
  - Electrical Length: 180 deg
  - Propagation Constant: 5318.5 deg/m
  - Effective Diel. Const.: 3.268
  - Loss: 0.74718 dB/m
- Physical Characteristic:**
  - Physical Length (L): 33.845 mm
  - Width (W): 33.845 mm
  - Height (H): 1.8 mm
  - Thickness (T): 35 um

A diagram on the right shows a cross-section of the patch antenna with labels for width (W), height (H), and thickness (T).

Figura 7: TXLine, sintesi delle caratteristiche del patch quadrato

Abbiamo quindi disegnato il patch e applicato inizialmente un singolo *via* per effettuare la simulazione elettromagnetica, onde verificare la correttezza dell'andamento dei campi e delle correnti superficiali; si è notato grazie alla carta di Smith come però la struttura non risuonasse alla frequenza di 2,45GHz, ma ad una frequenza di 2,33GHz. Dalle dimensioni del patch progettato e conoscendo la sua frequenza di risonanza abbiamo ricavato la costante dielettrica effettiva:

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{(2f\sqrt{\epsilon_e})} \text{ e quindi } \epsilon_e = \left(\frac{c}{2fL}\right)^2 = 3,618$$

Utilizzando infine la prima formula si è ricavata la corretta lunghezza del lato del patch per avere risonanza a 2,45GHz, cioè 32,15mm.

Una volta verificata la frequenza mediante simulazione si è poi inserito un ulteriore *via* sull'altro asse di simmetria e si è tunata la posizione in modo da ottenere l'adattamento a 50Ω, come si può osservare in Figura 8. La distanza del probe dal lato più vicino, con un solo *via*, risulta di 12,25mm, ma introducendo l'altro si ha una variazione dell'impedenza presentata agli ingressi per cui si ricava, effettuando un tuning, che il primo *via* deve essere posto a 11,5mm ed il secondo a 11,25mm dal lato più vicino.

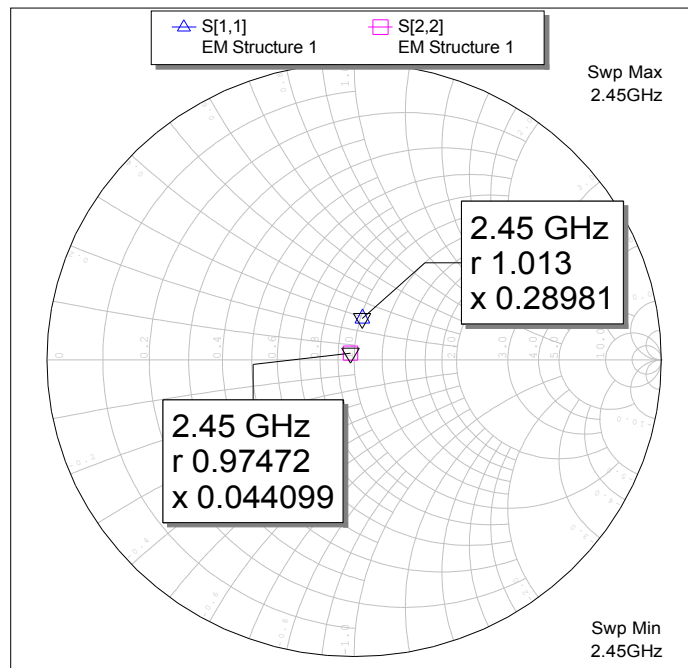
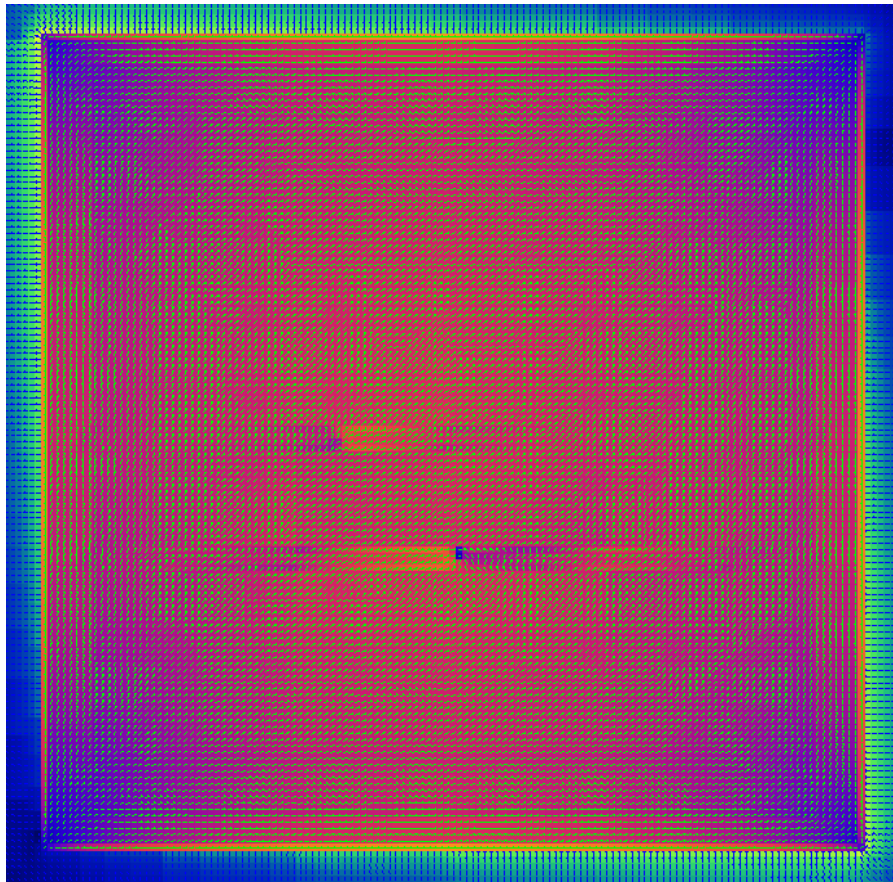


Figura 8: Adattamento del patch con due via

Mediante uno sfasamento dei segnali di alimentazione di 90° abbiamo ottenuto una polarizzazione circolare, come mostrato in Figura 9.





*Figura 9: Correnti e campi radiati dal patch a doppio via*

### **3.2. Alimentazione a singolo probe**

La polarizzazione circolare può essere ottenuta anche alimentando il patch con un solo via posto sulla diagonale. Le dimensioni del patch per un comportamento di risonatore a 2,45GHz risultano le stesse del caso precedente, ma utilizzando un singolo probe per innescare i due modi perpendicolari, affinché siano sfasati di  $90^\circ$ , è necessario che il patch non sia perfettamente quadrato.

Mediante la simulazione elettromagnetica abbiamo determinato il corretto punto di alimentazione, sulla diagonale, in modo da ottenere l'adattamento a  $50\Omega$  come si può riscontrare in Figura10.

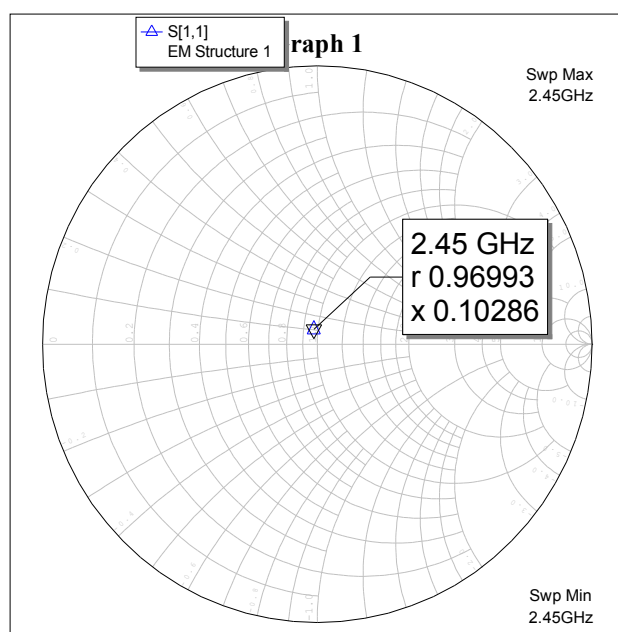


Figura10: Adattamento del patch a singolo probe diagonale

L'andamento dei campi è riportato in Figura 11, dove si può verificare come il patch funzioni in polarizzazione circolare.

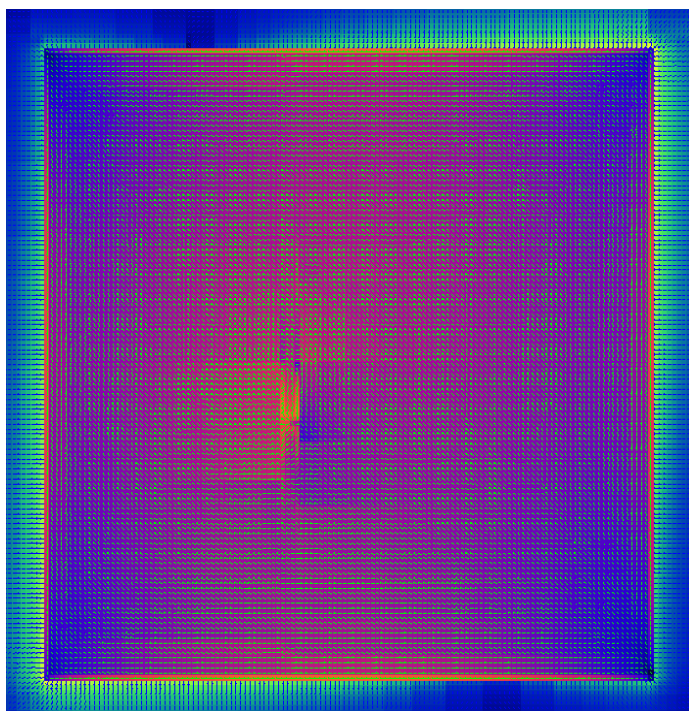


Figura 11: Correnti e campi radiati dal patch a singolo via

## **4. Conclusioni**

L'esercitazione verte sulla progettazione di antenne a patch in polarizzazione lineare e circolare.

Prima della loro realizzazione abbiamo costruito un modello circuitale a linee del patch che tiene conto dei campi sfrangiati e della potenza radiata; il modello ha permesso inoltre di stabilire il punto di alimentazione tramite probe che garantisce l'adattamento a  $50\Omega$ .

Tenendo conto delle specifiche di progetto e dei risultati ricavati dal modello sopra citato, abbiamo quindi realizzato il patch rettangolare in polarizzazione lineare e simulato i campi radiati e le correnti superficiali così da verificare il corretto funzionamento.

Abbiamo poi realizzato il patch in polarizzazione circolare, impiegando come alimentazione sia due probe posti sugli assi di simmetria che un singolo probe posto sulla diagonale; per ottenere una corretta polarizzazione, nel primo caso abbiamo utilizzato due segnali di alimentazione sfasati di  $90^\circ$  tra loro, mentre nel secondo caso è stato necessario ridurre uno dei lati del patch.