

# 4° Esercitazione

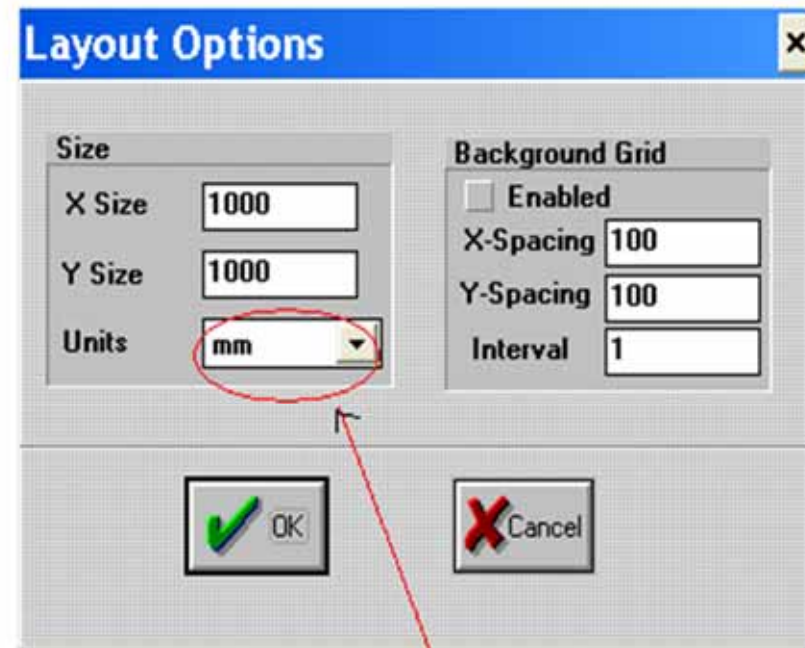
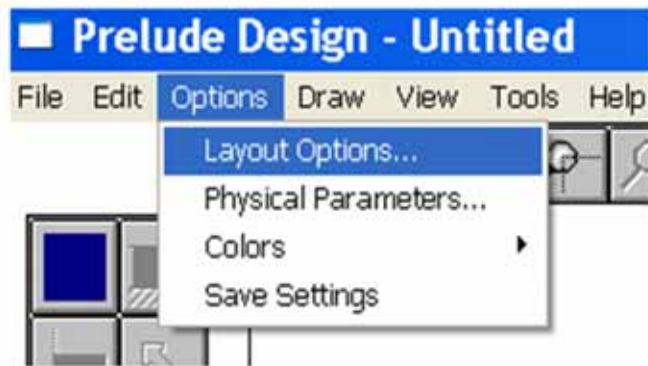
- Antenna stampata singola:  
risonanza e adattamento
- Antenna stampata singola:  
alimentazione inset

# Progettazione di una antenna singola in Risonanza

- ◉ I dati sono i seguenti gli stessi che abbiamo utilizzato nel divisore di potenza:
- ◉  $CEP=1.030 \text{ S/m}$ ,  $h=1.8 \text{ mm}$ ,  $espr = 3$ ,  
 $freq=2 \text{ GHz}$ , linee a  $50\Omega$

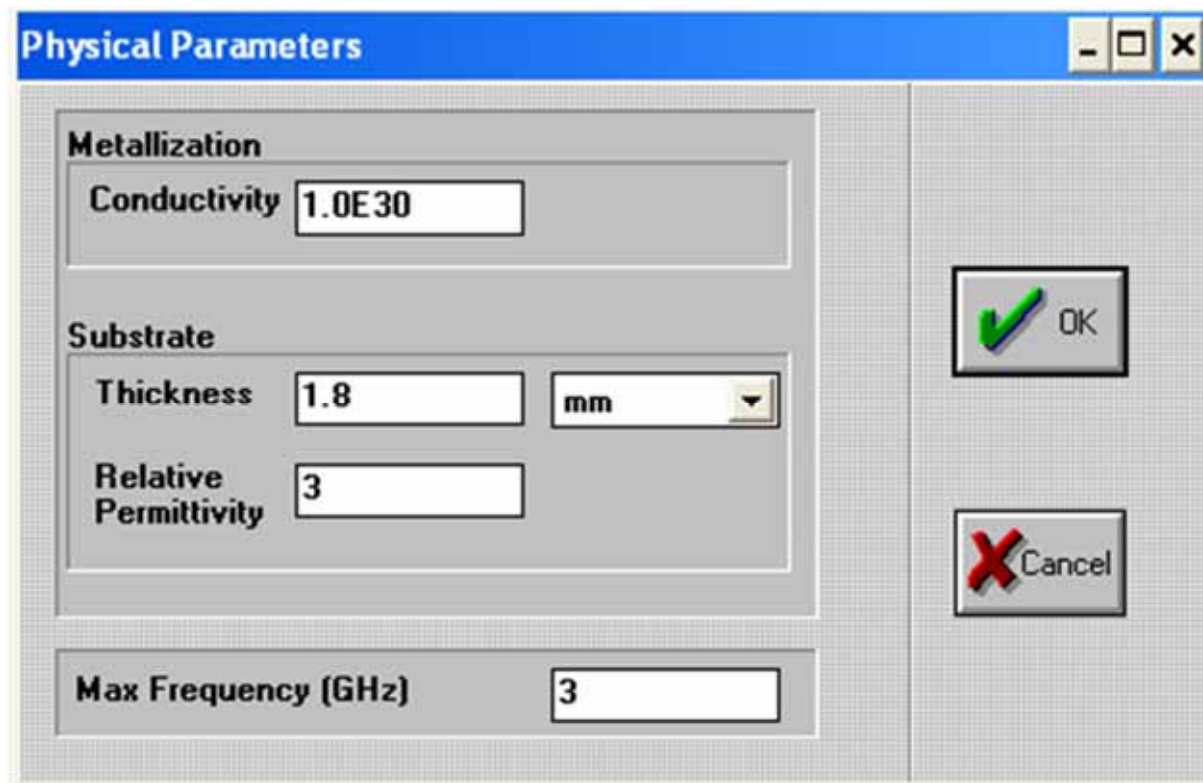
$$R_{IN} = 200\Omega \quad R_S = 100\Omega$$

- ◉ Ora settiamo l'unità di misura:



selezioniamo  
mm

- Ora inseriamo i parametri di progetto:



The image shows a software dialog box titled "Physical Parameters". It contains three main sections for input: "Metallization" with a "Conductivity" field set to "1.0E30"; "Substrate" with "Thickness" set to "1.8" and units set to "mm", and "Relative Permittivity" set to "3"; and "Max Frequency (GHz)" set to "3". On the right side of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons. The "OK" button features a green checkmark icon, and the "Cancel" button features a red X icon.

Section	Parameter	Value	Unit
Metallization	Conductivity	1.0E30	
Substrate	Thickness	1.8	mm
	Relative Permittivity	3	
Max Frequency (GHz)		3	

◉ Alcuni cenni teorici:

- ◉ L'impedenza di ingresso di una antenna stampata alimentata in maniera diretta, è dell'ordine delle centinaia di  $\Omega$
- ◉ Si hanno due Rirr in parallelo a terminazioni aperte

- ◉  $R_{IN} = \frac{\xi}{16 \cdot \pi} \cdot D \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e} \right)^2$  con D=6 che è la

direttività per le antenne stampate si ha:

$$R_{IN} = \frac{\xi}{16 \cdot \pi} \cdot D \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot R_{irr} = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e} \right)^2$$

◉ Alcuni cenni teorici:

$$R_{IN} = \frac{\xi}{16 \cdot \pi} \cdot D \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot R_{irr} = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e} \right)^2$$

Dove con  $w_e$  indichiamo la larghezza equivalente (efficace) dell'antenna.

◉ Se volessimo come in questo caso un

$R_{IN} = 200\Omega$  allora la larghezza dell'antenna  $w_e$   
con  $\lambda_0 = \frac{30}{2} = 15cm$  e  $w_e > w_f$  deve essere pari a:

$$w_e = \sqrt{\frac{1}{2} 90 \frac{\lambda^2}{R_{in}}} = \sqrt{\frac{1}{2} 90 \frac{150^2}{200}} = 71.15mm$$



◉ Alcuni cenni teorici:

- ◉ Scegliamo una  $w_f$  fisica un po' minore della  $\underline{w_e}$  perchè se usassi  $w_e = w_f$  avrei un'antenna con il lato radiante pari a  $w_e$  che quando irradia diventa  $w_e + \Delta w_e$  a causa degli effetti capacitivi ai bordi del patch.

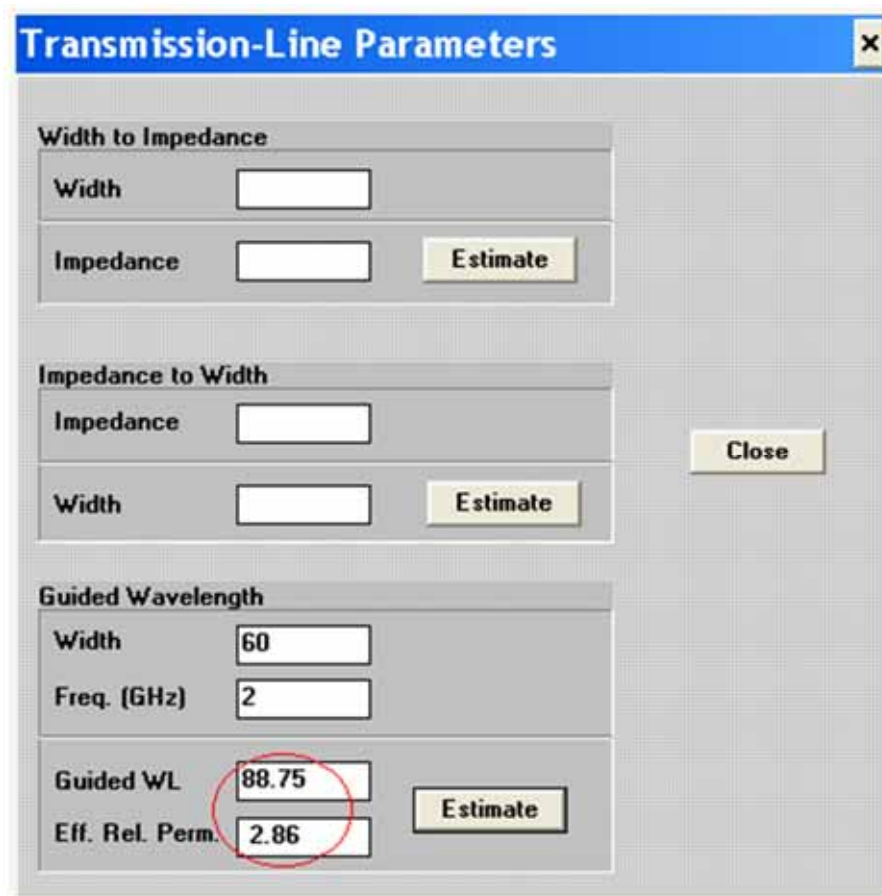
$$R_{IN} = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot \left( \frac{\lambda_0}{w_e + \Delta w_e} \right)^2$$

la resistenza che otterremo sarebbe minore di  $200\Omega$

- Supponiamo, allora, di togliere circa un 10%-16% alla  $w_e$  questa è una scelta arbitraria, e quindi scegliamo  $w_f$  pari a  $\rightarrow w_f=60\text{mm}$ .  
Con questo valore del *lato radiante* da Prelude alla freq=2Ghz si ottiene :

- $\lambda_g = 88.75\text{mm}$  e  $\varepsilon_{eq} = 2.86$

Su Guided Wavelength scriviamo su Width 60 e su freq "2  
clicchiamo su estimate



**Transmission-Line Parameters** [x]

**Width to Impedance**

Width

Impedance  **Estimate**

**Impedance to Width**

Impedance

Width  **Estimate**

**Guided Wavelength**

Width

Freq. (GHz)

Guided WL  **Estimate**

Eff. Rel. Perm.

**Close**

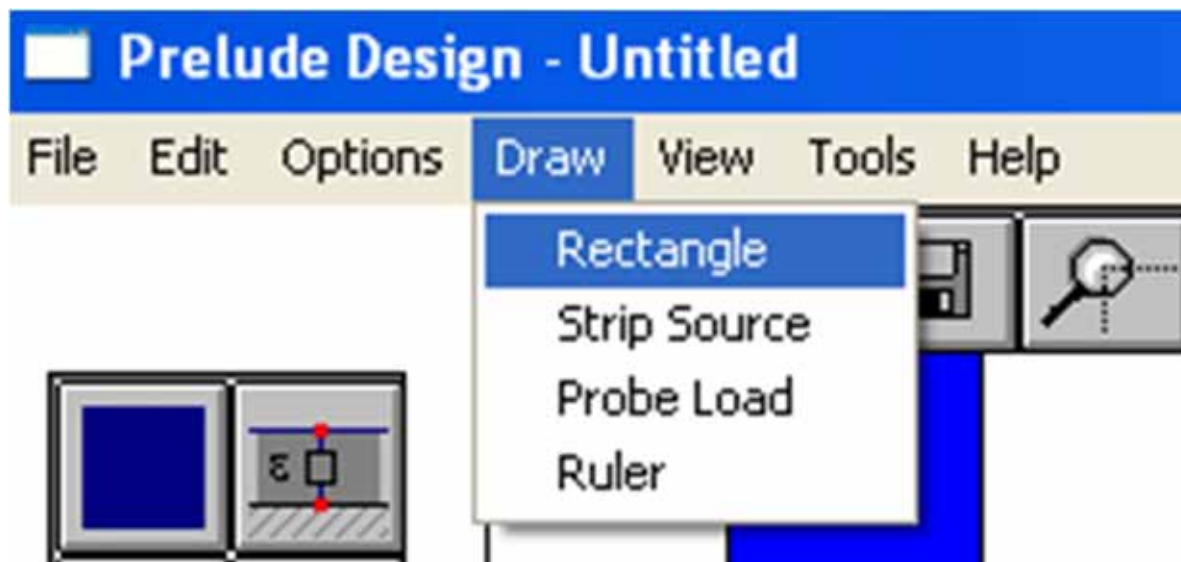
- ◉ Per il lato risonante partiamo da una L minore a

$$\frac{\lambda_g}{2} = 44.375mm \quad \text{nel dielettrico che scegliamo}$$

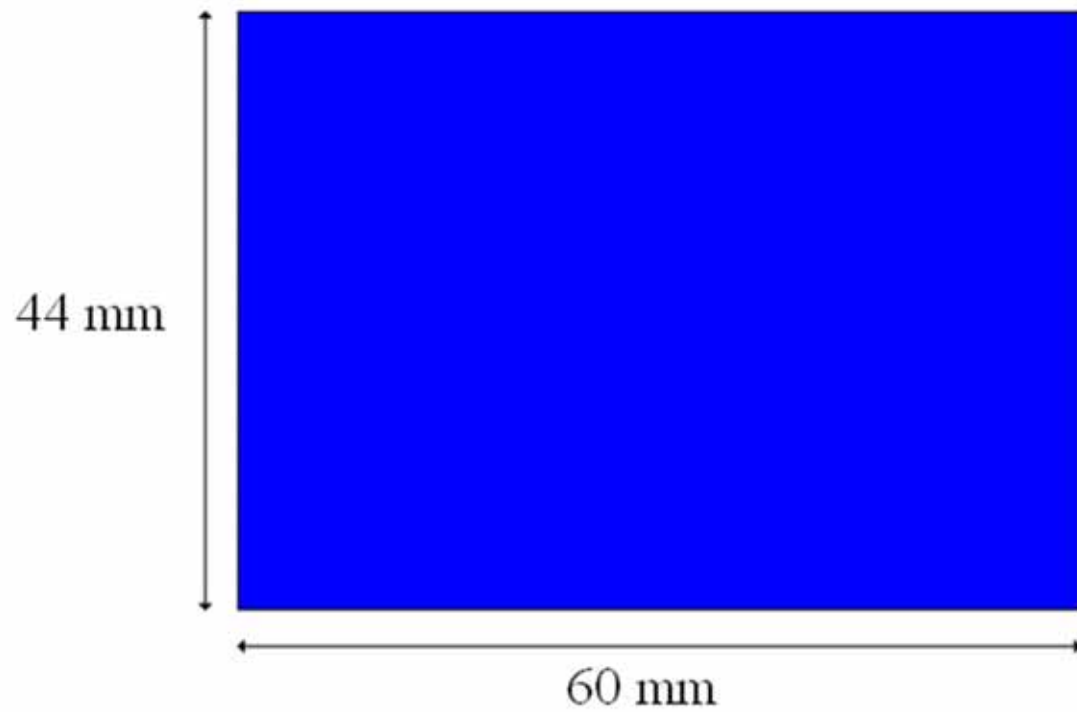
inizialmente pari a  $L_f = 44mm$

Iniziamo a disegnare il patch dell'antenna.

Ora su Prelude clicchiamo su Draw -> rectangle



- E disegniamo l'antenna :



**Rectangle** [X]


Offset Along  
[ ]


Length Along  
44

Length Out  
60

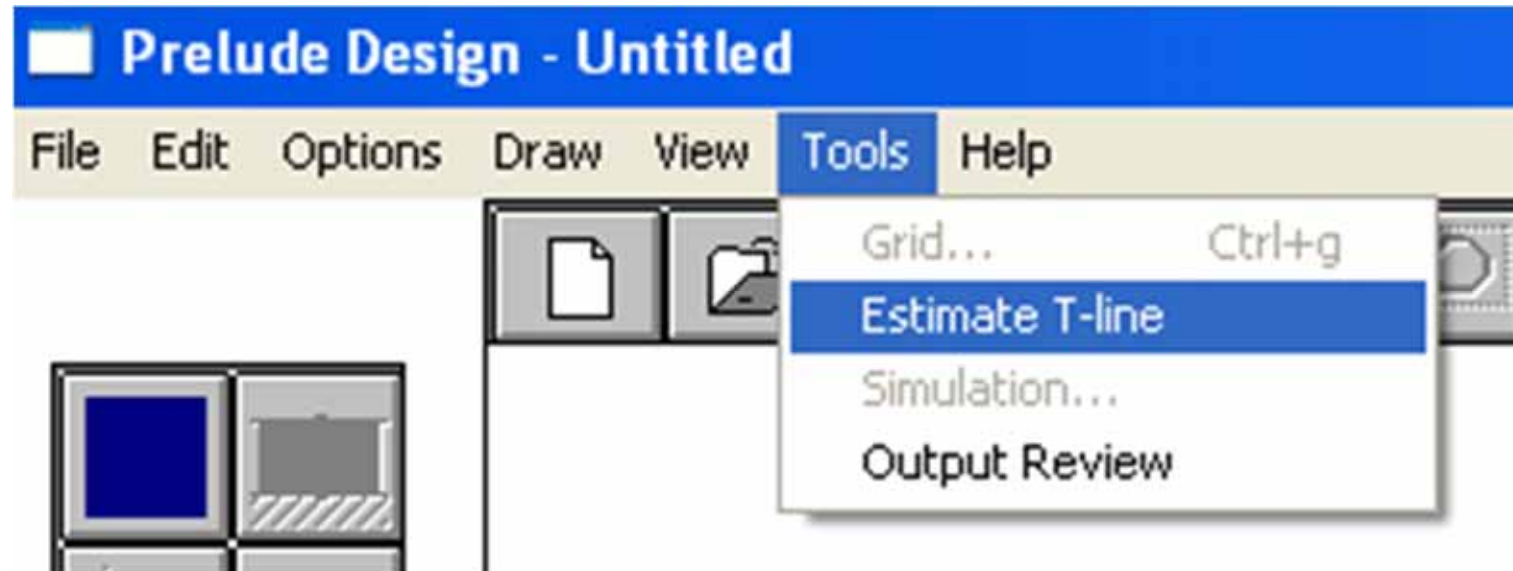
Relative Rotation  
0

☒ Junction Fill  
☐ Center

 OK

 Cancel

Ora clicchiamo su:



Su Impedance scriviamo 100 e clicchiamo su estimate e troviamo  $w_s = 1.2$

The image shows a software window titled "Transmission-Line Parameters" with a close button (X) in the top right corner. The window contains three main sections for parameter estimation:

- Width to Impedance:** Includes input fields for "Width" and "Impedance", and an "Estimate" button.
- Impedance to Width:** Includes an input field for "Impedance" (containing the value 100), an input field for "Width" (containing the value 1.20, which is circled in red), and an "Estimate" button.
- Guided Wavelength:** Includes input fields for "Width", "Freq. (GHz)", "Guided WL", and "Eff. Rel. Perm.", along with an "Estimate" button.

A "Close" button is located on the right side of the window.



Ora inseriamo l'alimentazione:

**Strip Sou...** [X]


**Offset Along**  
0


**Length Along**  
1.200000

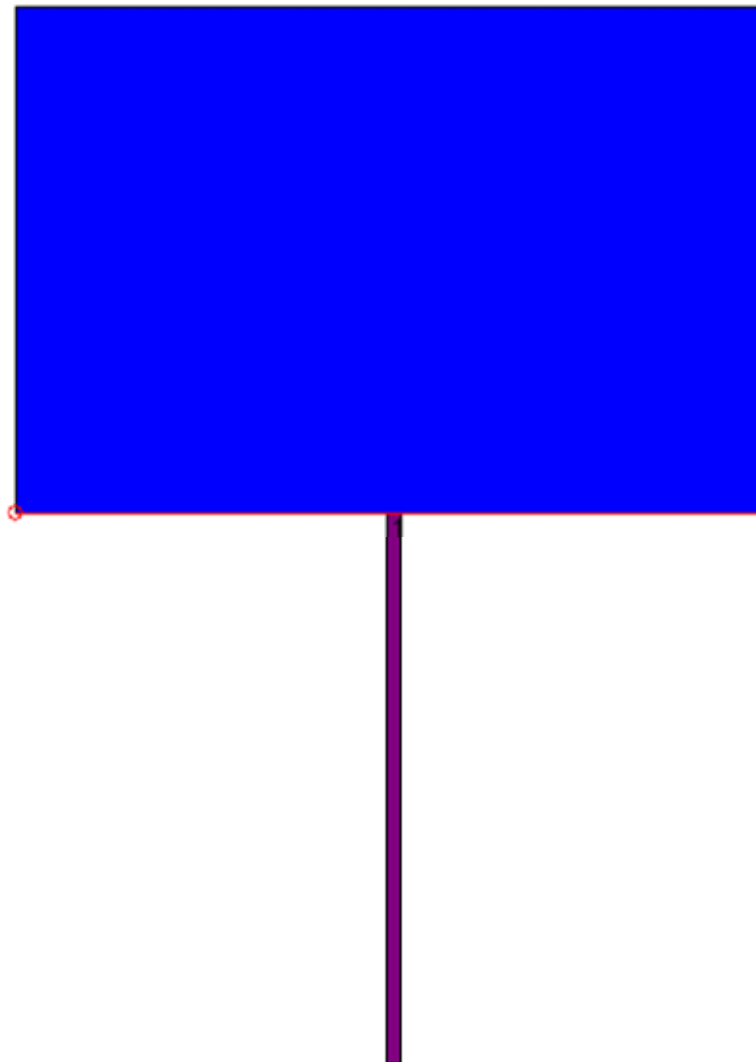
☒ Center

**Source**  
**Amplitude**  
1

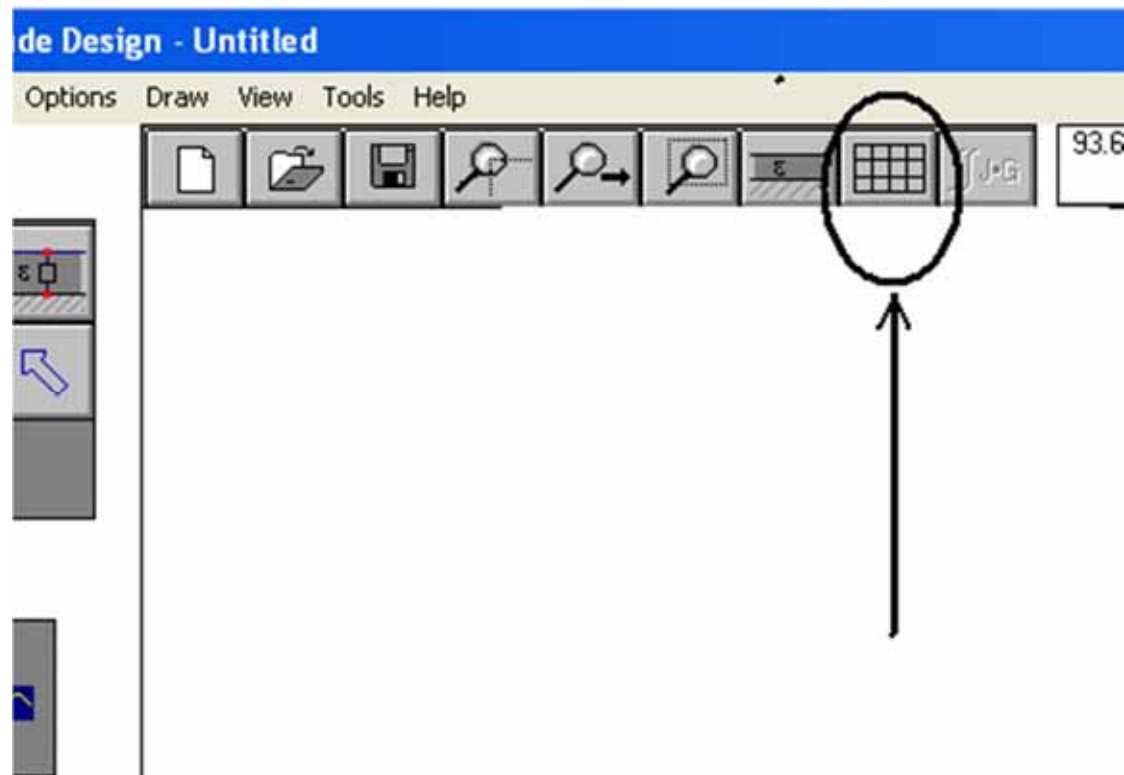
**Phase**  
0

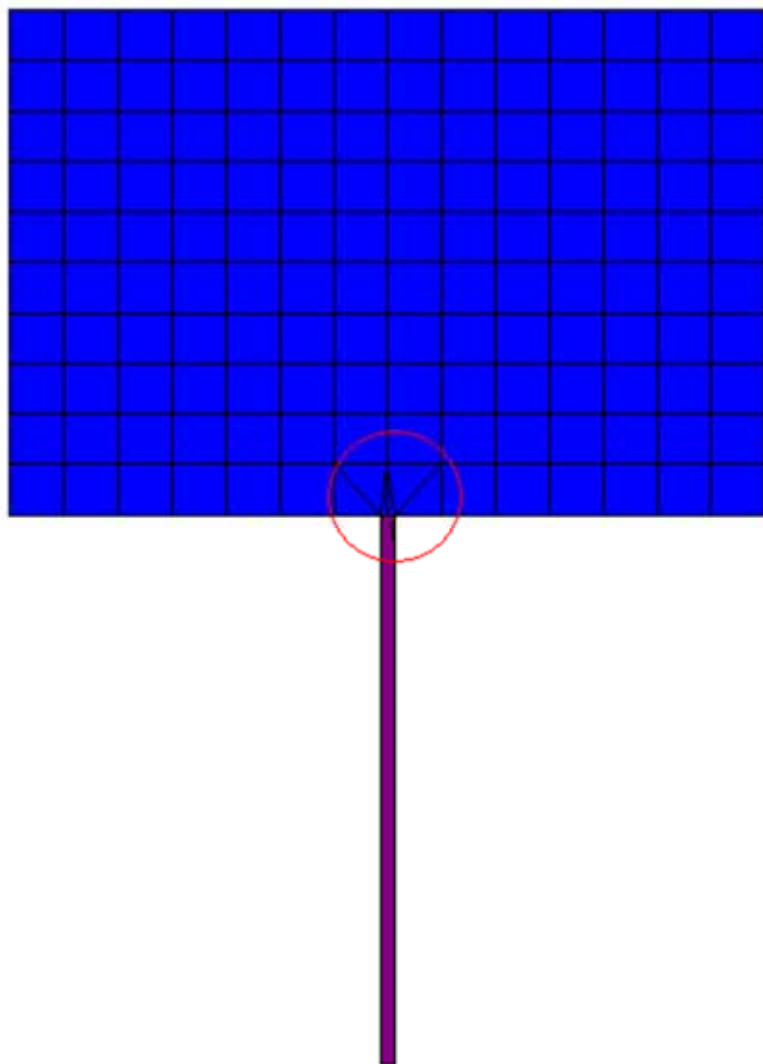
 OK

 Cancel

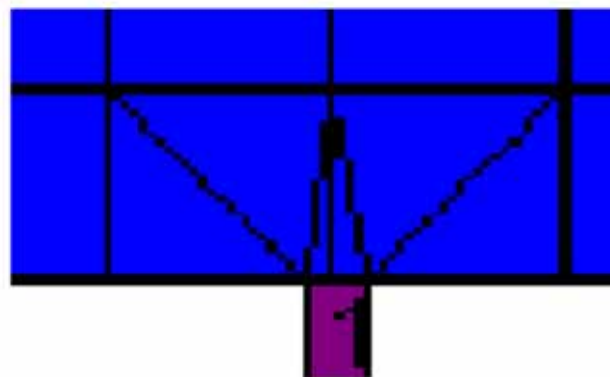


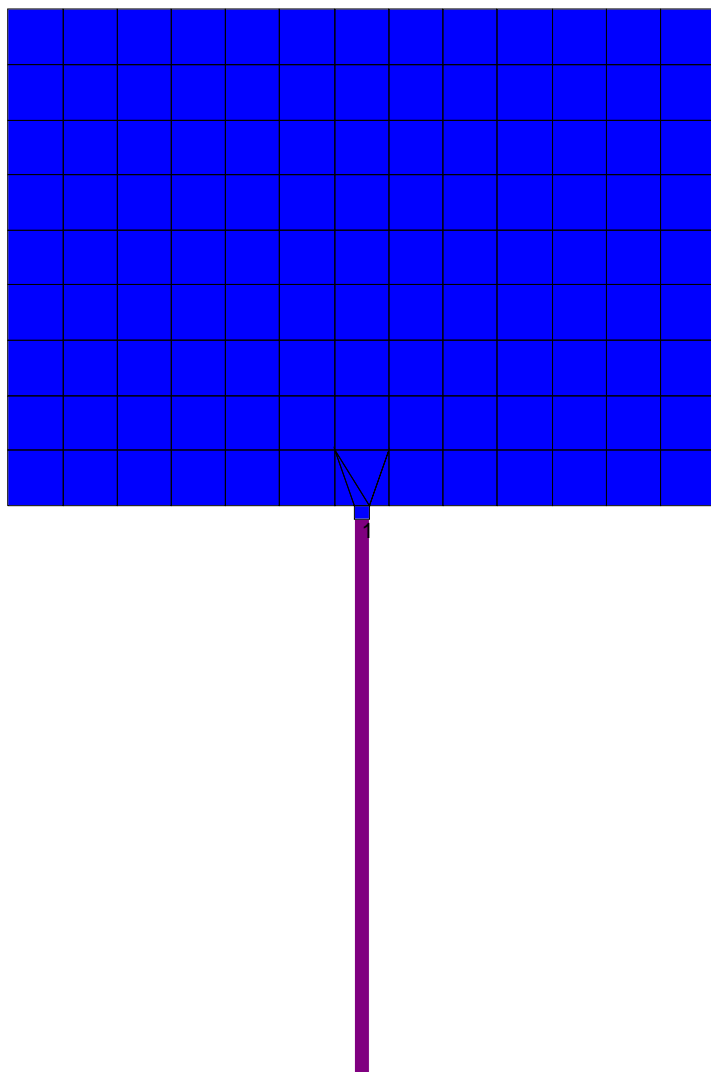
Ora clicchiamo sul grigliato e scegliamo il passo di discretizzazione:



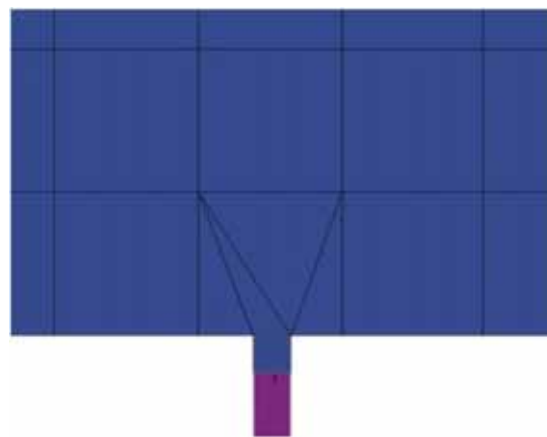


Come si può vedere la discretizzazione  
In prossimità della giunzione con  
l'alimentazione è pessima e questo  
può da luogo a problemi di mal  
condizionamento della matrice

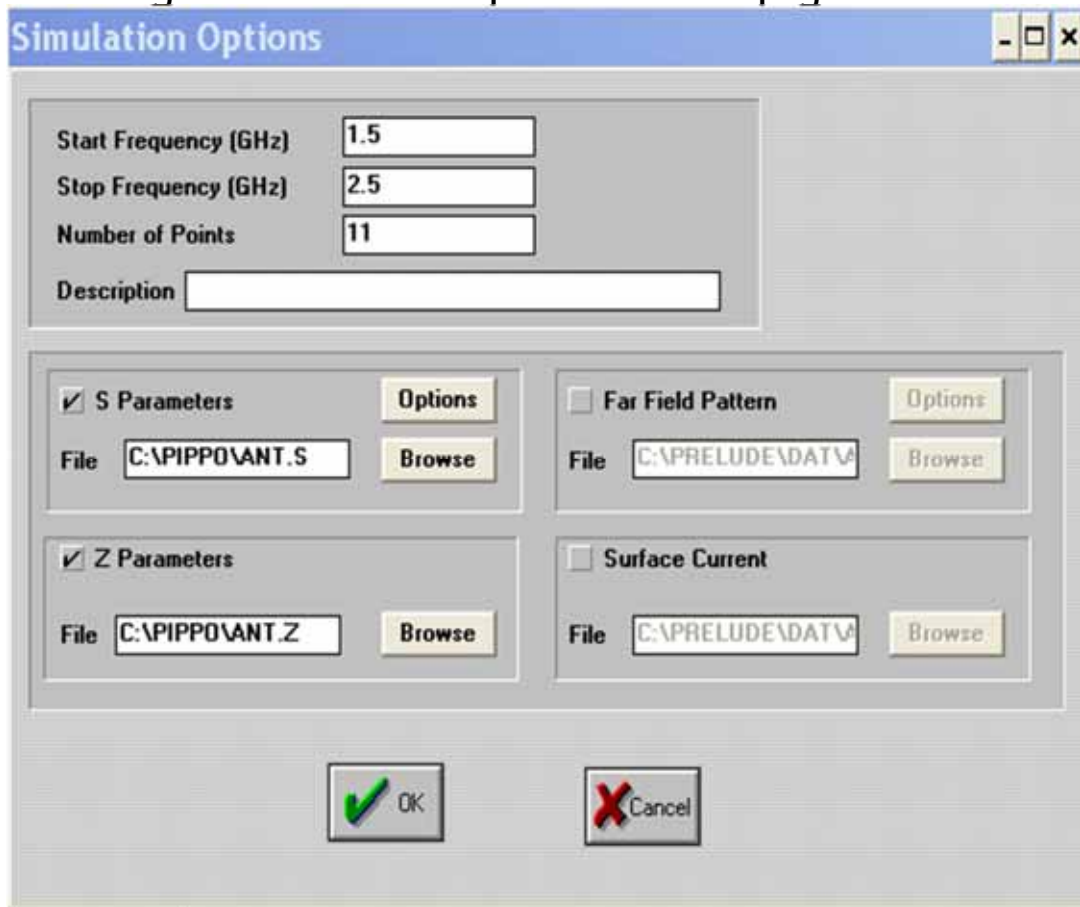




Inseriamo un quadratino nel raccordo con l'alimentazione per forzare una discretizzazione il più regolare possibile. In questo caso in cui l'alimentazione è da 100 Ohm, e quindi ha larghezza  $W_f=1.2\text{mm}$ , facciamo un quadratino di  $1.2\times 1.2\text{mm}$



Ora selezioniamo S e Z parameters e i nomi del file su cui vogliamo salvare i parametri e pigiamo ok:



The **Simulation Options** dialog box is shown. It has a title bar with standard window controls. The main area contains several input fields and checkboxes. At the top, there are three input fields: 'Start Frequency (GHz)' with the value '1.5', 'Stop Frequency (GHz)' with the value '2.5', and 'Number of Points' with the value '11'. Below these is a 'Description' text box. The lower section is divided into four panels. The first panel has a checked checkbox for 'S Parameters' and an 'Options' button. Below it is a 'File' field containing 'C:\PIPP0\ANT.S' and a 'Browse' button. The second panel has an unchecked checkbox for 'Far Field Pattern' and an 'Options' button. Below it is a 'File' field containing 'C:\PRELUDE\DATA' and a 'Browse' button. The third panel has a checked checkbox for 'Z Parameters' and an 'Options' button. Below it is a 'File' field containing 'C:\PIPP0\ANT.Z' and a 'Browse' button. The fourth panel has an unchecked checkbox for 'Surface Current' and an 'Options' button. Below it is a 'File' field containing 'C:\PRELUDE\DATA' and a 'Browse' button. At the bottom of the dialog are two buttons: 'OK' with a green checkmark icon and 'Cancel' with a red X icon.

Simulation Options

Start Frequency (GHz) 1.5

Stop Frequency (GHz) 2.5

Number of Points 11

Description

☒ S Parameters Options

File C:\PIPP0\ANT.S Browse

☐ Far Field Pattern Options

File C:\PRELUDE\DATA Browse

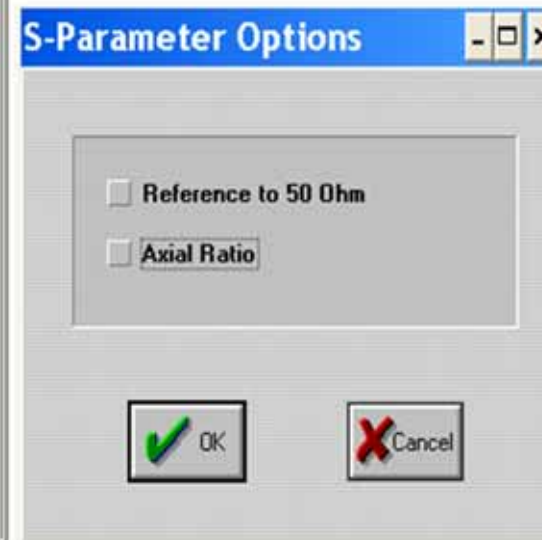
☒ Z Parameters Options

File C:\PIPP0\ANT.Z Browse

☐ Surface Current Options

File C:\PRELUDE\DATA Browse

OK Cancel



The **S-Parameter Options** dialog box is shown. It has a title bar with standard window controls. The main area contains two checkboxes: 'Reference to 50 Ohm' and 'Axial Ratio', both of which are unchecked. At the bottom of the dialog are two buttons: 'OK' with a green checkmark icon and 'Cancel' with a red X icon.

S-Parameter Options

☐ Reference to 50 Ohm

☐ Axial Ratio

OK Cancel

Aprendo i file "ant.s" e "ant.z" vediamo:

```
=====
Freq: 2.00000 (GHz)
=====
```

```

      Eff.Perm.  Propagation Constant  Port Impedance (ohms)
Port 1:  2.25894  (0.58152E+00+j0.63004E+02)  99.7357
[S] matrix:
  i j  Re(S_ij)  Im(S_ij)  Magnitude  Phase  Mag. in dB
  1 1  -0.60745  -0.55072    0.81993 -137.8041(deg.) -1.7244
```

```
=====
Freq: 2.00000 (GHz)
=====
```

```

      Eff.Perm.  Propagation Constant  Port Impedance (ohms)
Port 1:  2.25894  (0.58152E+00+j0.63004E+02)  99.7357
```

[Z] matrix:

```

  i j  Re(Z_ij)  Im(Z_ij)
  1 1   0.11351  -0.38149    0.11351*99.7357=11.320  -0.38149*99.7357=-38.0481
```

Questi valori non vanno bene.

- ◉ Condizione di Risonanza : imponiamo la condizione di risonanza sull'impedenza  $Z$  dell'antenna.
- ◉ Variamo la geometria della struttura per ottenere :
  1.  $\text{Im}(Z) \rightarrow$  molto piccola rispetto alla  $\text{Re}(Z)$   
( variamo le dimensioni del lato risonante  $L$ )

- Dopo qualche prove, l'antenna si deve accorciare fino alla lunghezza di  $L=41.9815$  mm con una resistenza dell'antenna prossima ai 200 Ohm.

```
=====
Freq: 2.00000 (GHz)
=====
```

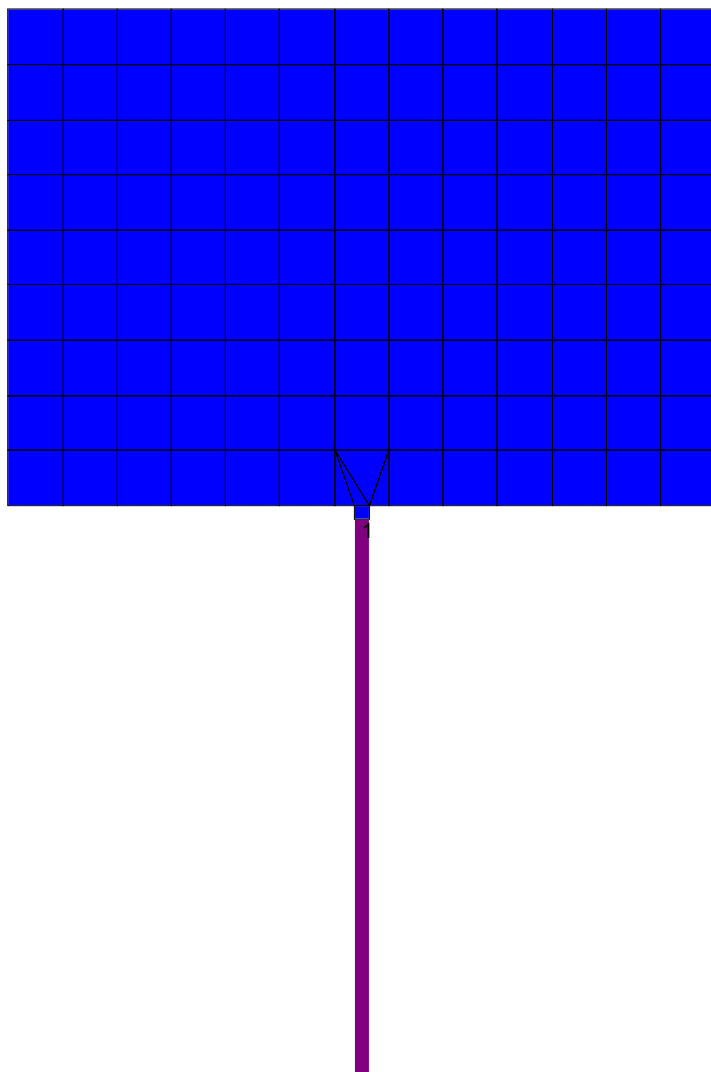
	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	2.24690	(-.16656E+00+j0.62835E+02)	100.0025

[Z] matrix:

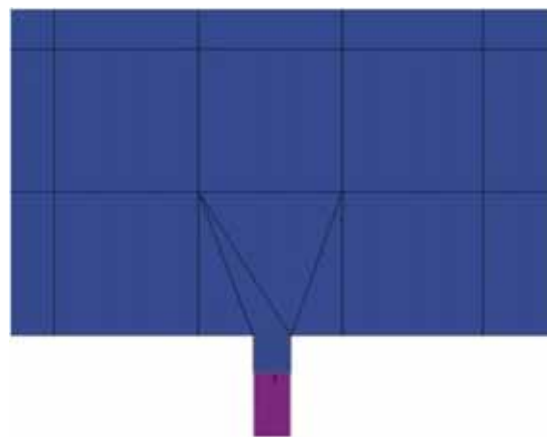
i	j	Re(Z_ij)	Im(Z_ij)
1	1	2.0863	-0.15764E-02



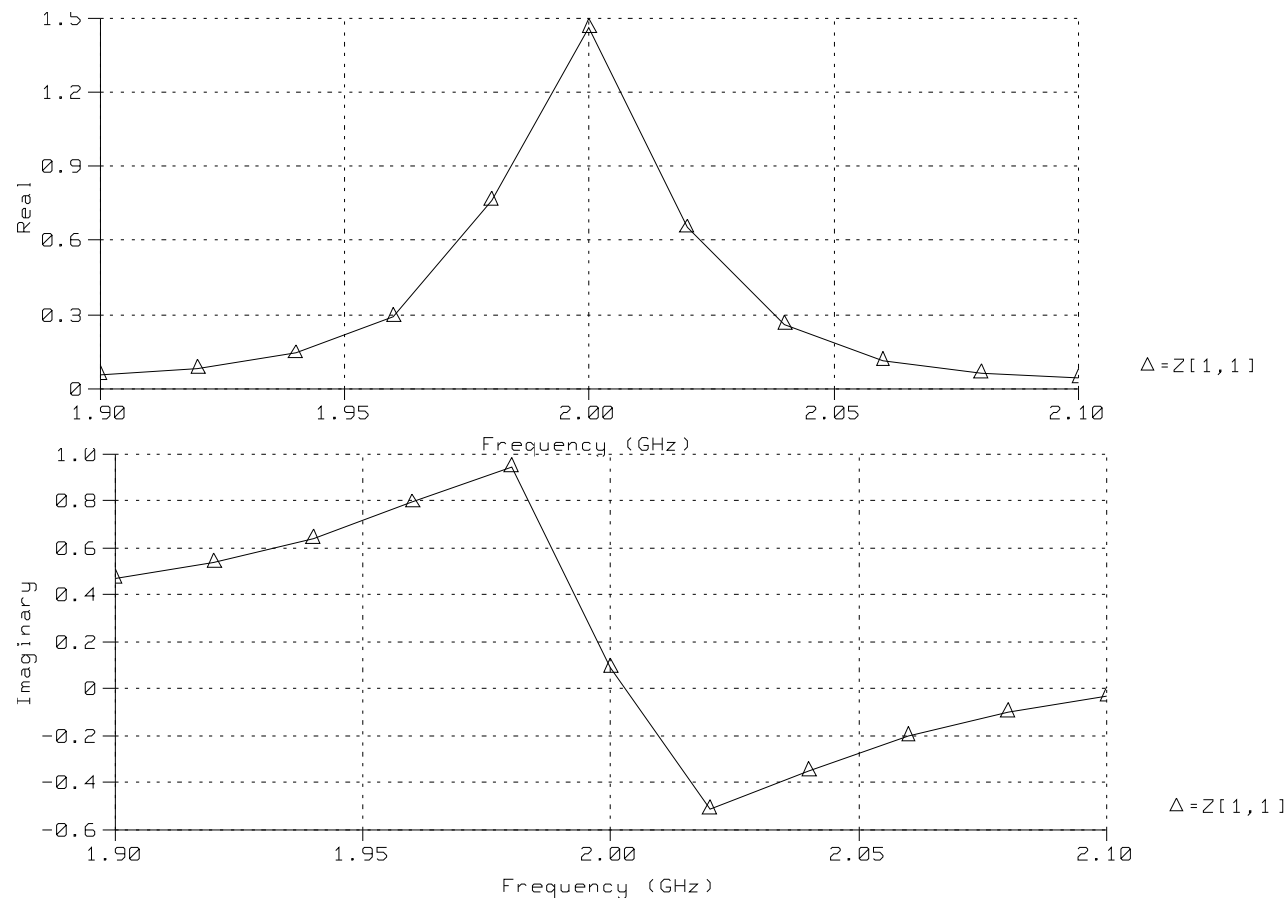
- ◉ L'antenna ha una  $R_{in}$  prossima ai 200 Ohm (come scelto). Dovrò sicuramente interporre fra la linea di alimentazione da 100 Ohm e l'antenna che ha  $R_{in}=200$  Ohm un trasformatore  $\lambda/4$  con  $Z=\sqrt{200 \cdot 100}=141$  Ohm.
- ◉ Quindi alimento l'antenna per trovarne la risonanza direttamente con una linea da 141 Ohm, ossia con  $w=0.45$  mm, dato che l'antenna adattata sarà collegata a questa linea e non direttamente a quella da 100 Ohm. Questo perché la risonanza può variare, anche se di poco, in funzione della larghezza della linea di alimentazione.



Inseriamo un quadratino nel raccordo con l'alimentazione per forzare una discretizzazione il più regolare possibile. In questo caso in cui l'alimentazione è da 141 Ohm, e quindi ha larghezza  $W_f=0.45\text{mm}$ , facciamo un quadratino di  $0.45\times 0.45\text{mm}$



- La risonanza si è spostata, anche se di poco, rispetto alla alimentazione con 100 Ohm, verso frequenz superiori a 2 Ghz. Devo quindi allungare leggermente l'antenna.



- Dopo le prove, l'antenna, alimentata con la linea della larghezza corrispondente al  $\lambda/4$  di adattamento, si deve accorciare fino alla lunghezza di  $L=42.01$  mm.

=====

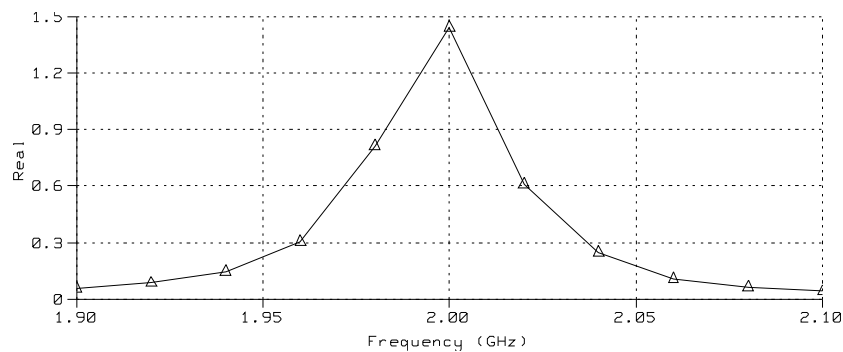
Freq: 2.00000 (GHz)

=====

Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)  
 Port 1: 2.17557 (-.17141E+00+j0.61830E+02) 141.0598

[Z] matrix:

i	j	Re(Z <sub>ij</sub> )	Im(Z <sub>ij</sub> )
1	1	1.4434	-0.28128E-02



$\Delta = Z[1,1]$

Apriendo il file “.z” vediamo:

=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)  
Port 1: 2.17557 (-.17141E+00+j0.61830E+02) 141.0598

[Z] matrix:

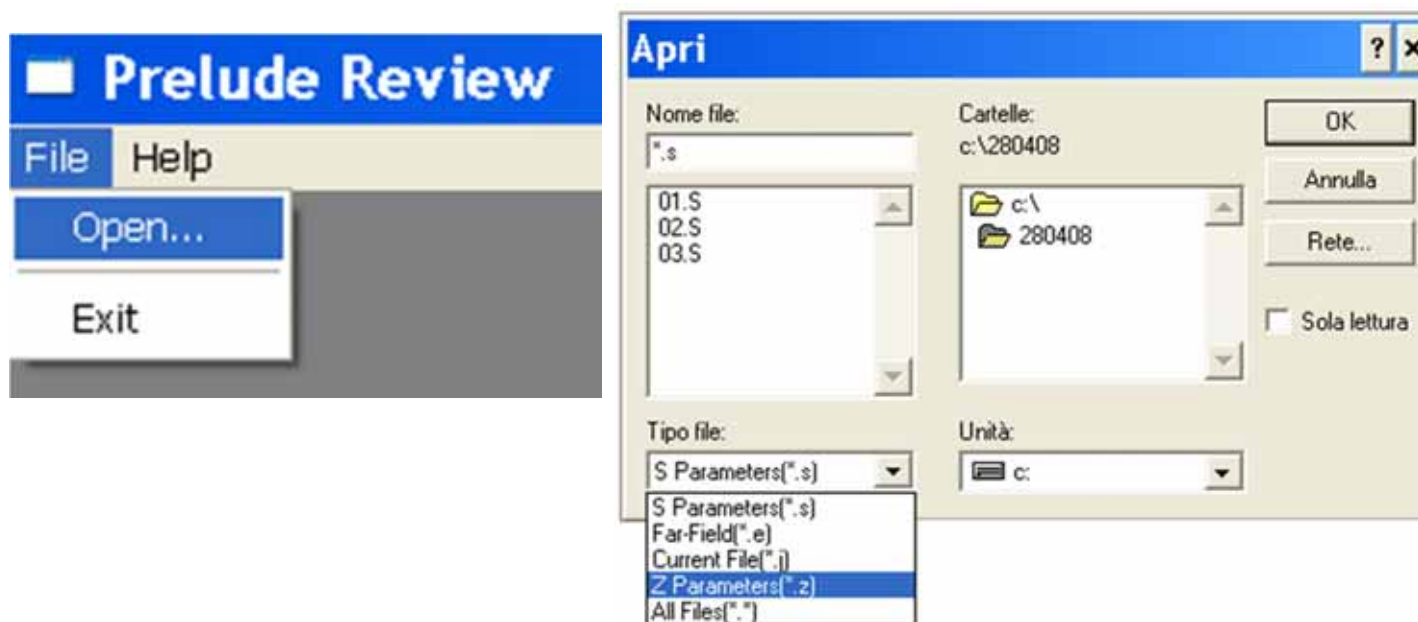
i	j	Re(Z <sub>ij</sub> )	Im(Z <sub>ij</sub> )
1	1	1.4434	-0.28128E-02

$$Z_{in} = (1.4434 - j \cdot 0.28128 \cdot 10^{-2}) \cdot 141.0598 = \mathbf{203.6 - j0.4}$$

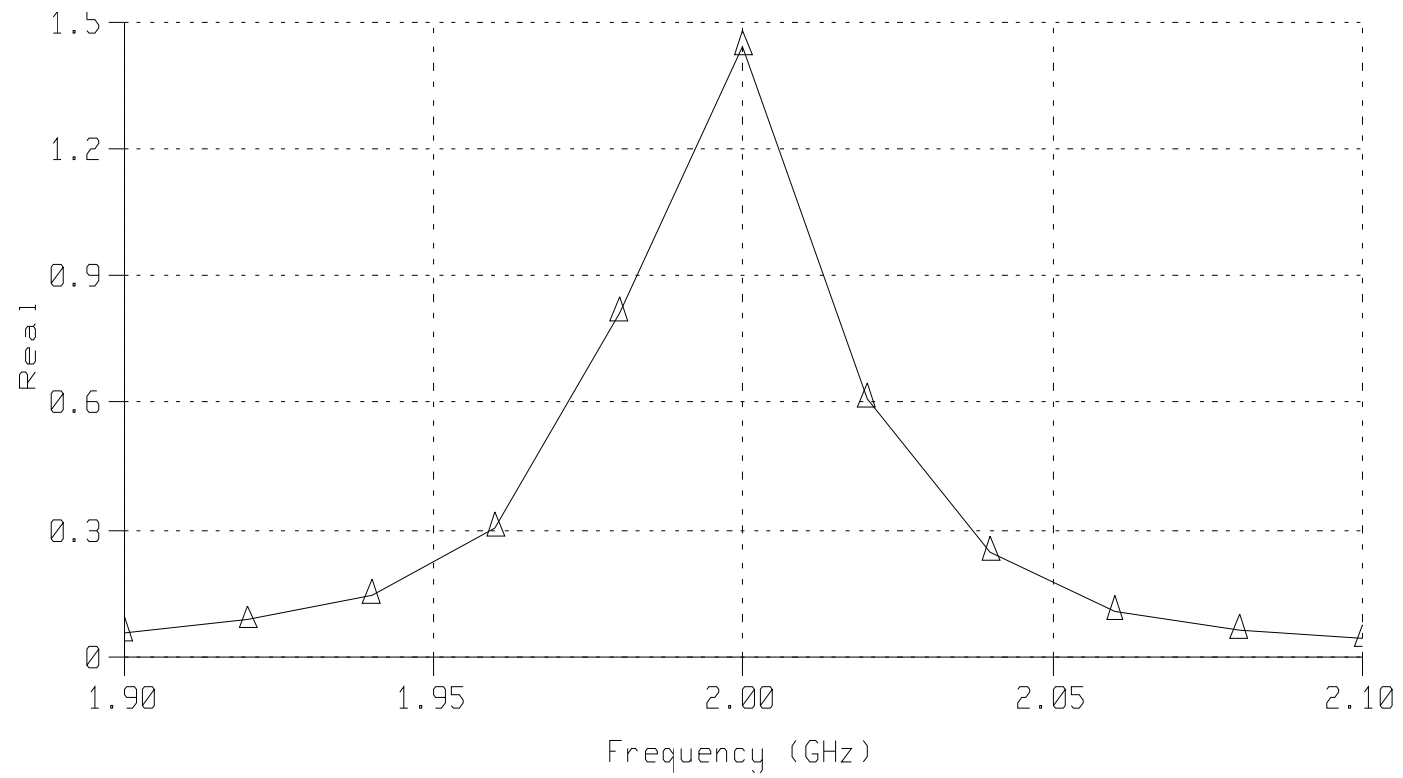
**Re(Z<sub>in</sub>)/Im(Z<sub>in</sub>)=500 volte (OK)**

**Z<sub>in</sub>=204 Ohm molto prossima ai 200 Ohm stimati inizialmente**

Ora utilizzando Prelude Review andiamo a graficare la Zin:

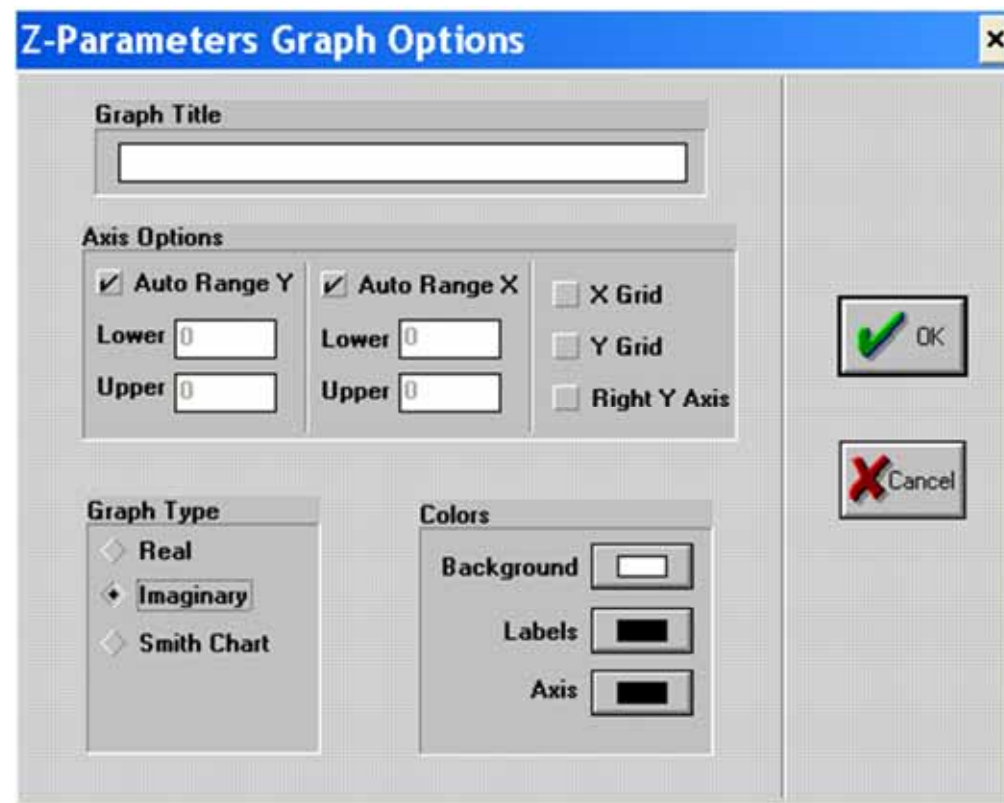
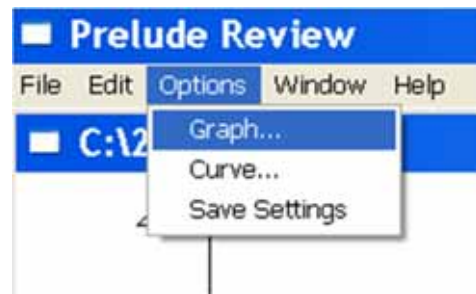


## Parte reale $Z_{in}$



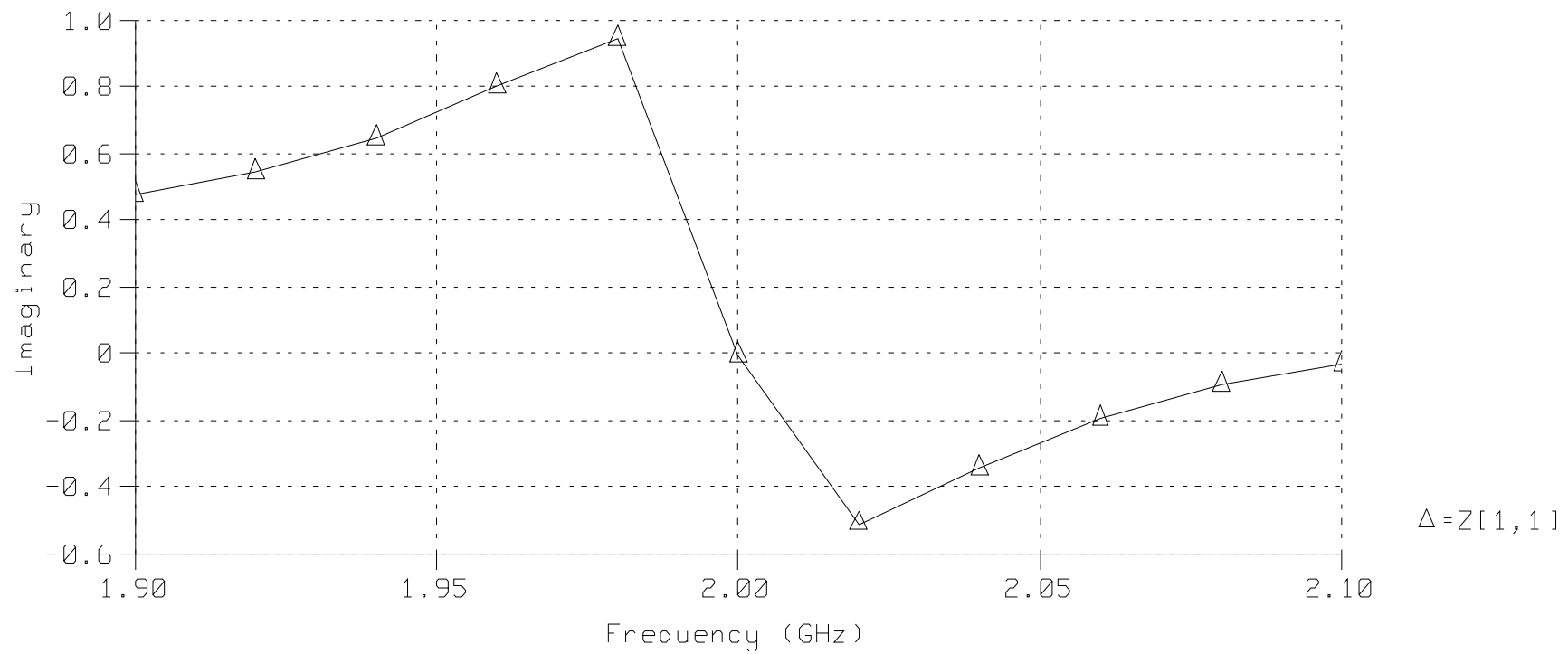
$\Delta = Z[1,1]$

Per graficare la parte immaginaria di Zin:

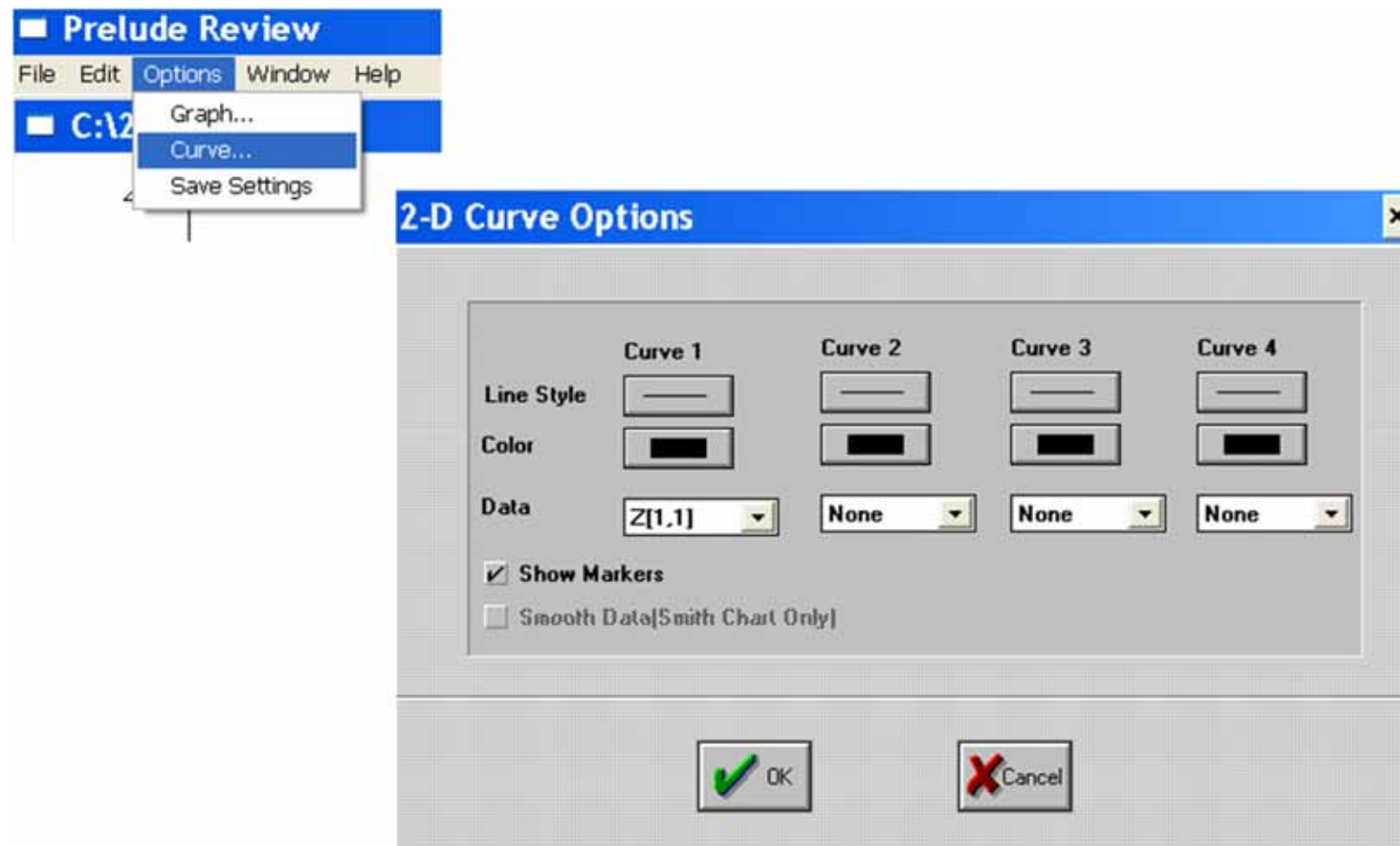




## Parte immaginaria Zin



Per cambiare il colore al grafico è molto semplice:



## ADATTAMENTO

L'antenna ora è risonante e presenta una  $\text{Im}(Z_{\text{in}})=0$ .

Per adattare l'antenna alla linea da 100 Ohm dovrò quindi interporre fra il patch e la linea un trasformatore a  $\lambda/4$  di impedenza pari a 141 Ohm (ossia alla  $\text{Sqrt}(Z_{\text{FEED}} * R_{\text{IN}})$ ) e lunghezza che ricavo dal tool di Prelude:

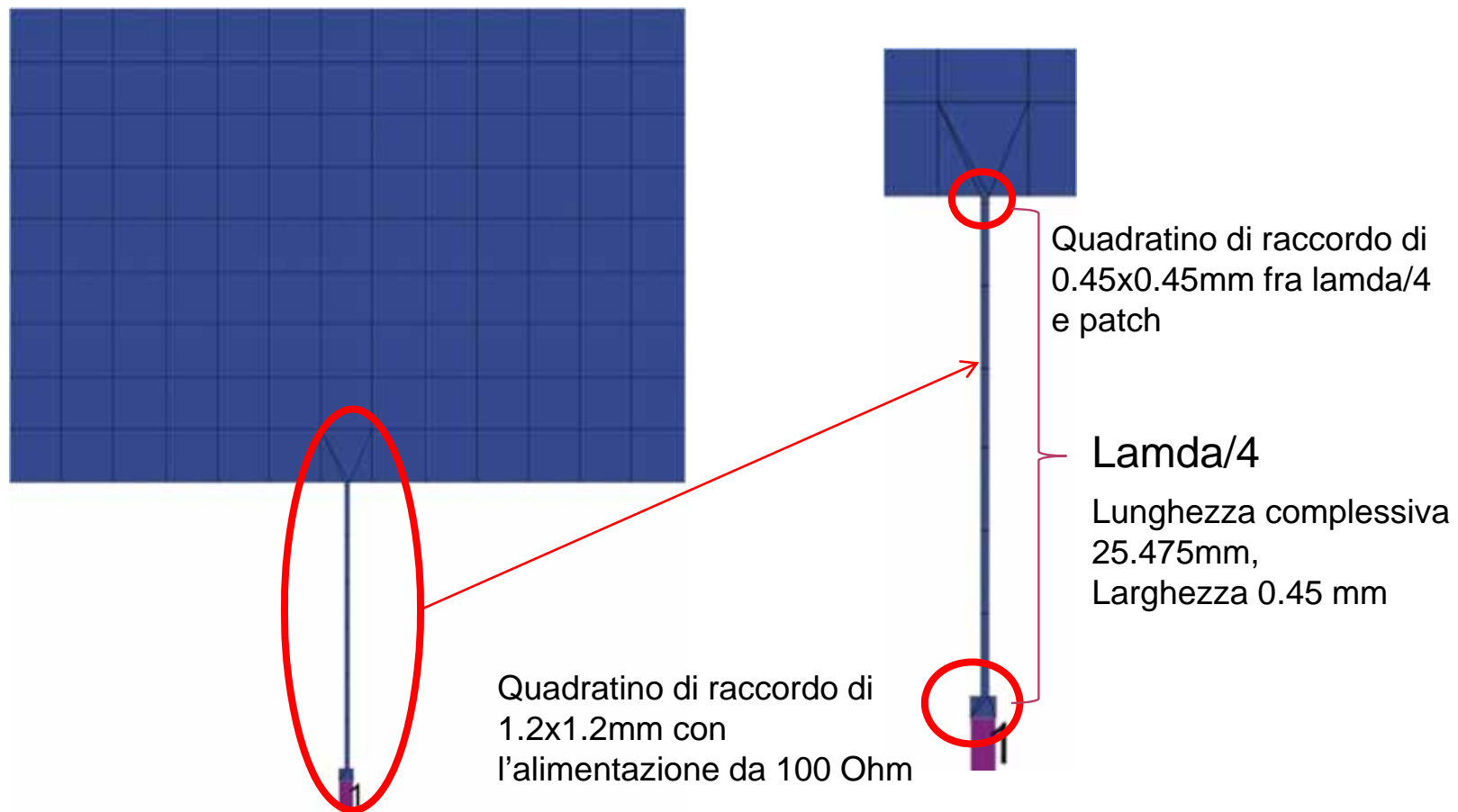
Si ha:

$$W_f = 0.45 \text{ mm} \rightarrow Z = 141 \text{ Ohm} \rightarrow$$

$$\rightarrow \lambda_{\text{ad}} = 101.9 \text{ mm} \rightarrow \lambda/4 = 25.475 \text{ mm}.$$

Tale lunghezza potrebbe dover essere aggiustata per tenere conto delle discontinuità in microstriscia.

## ADATTAMENTO



Aprendo i files ".s " e ".z" vediamo:

=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)  
Port 1: 2.23278 (0.20777E+00+j0.62638E+02) 98.7233

[S] matrix:

i j	Re(S_ij)	Im(S_ij)	Magnitude	Phase	Mag. in dB
1 1	-0.22691E-01	-0.15135E-02	0.02274	-176.1841(deg.)	-32.8636

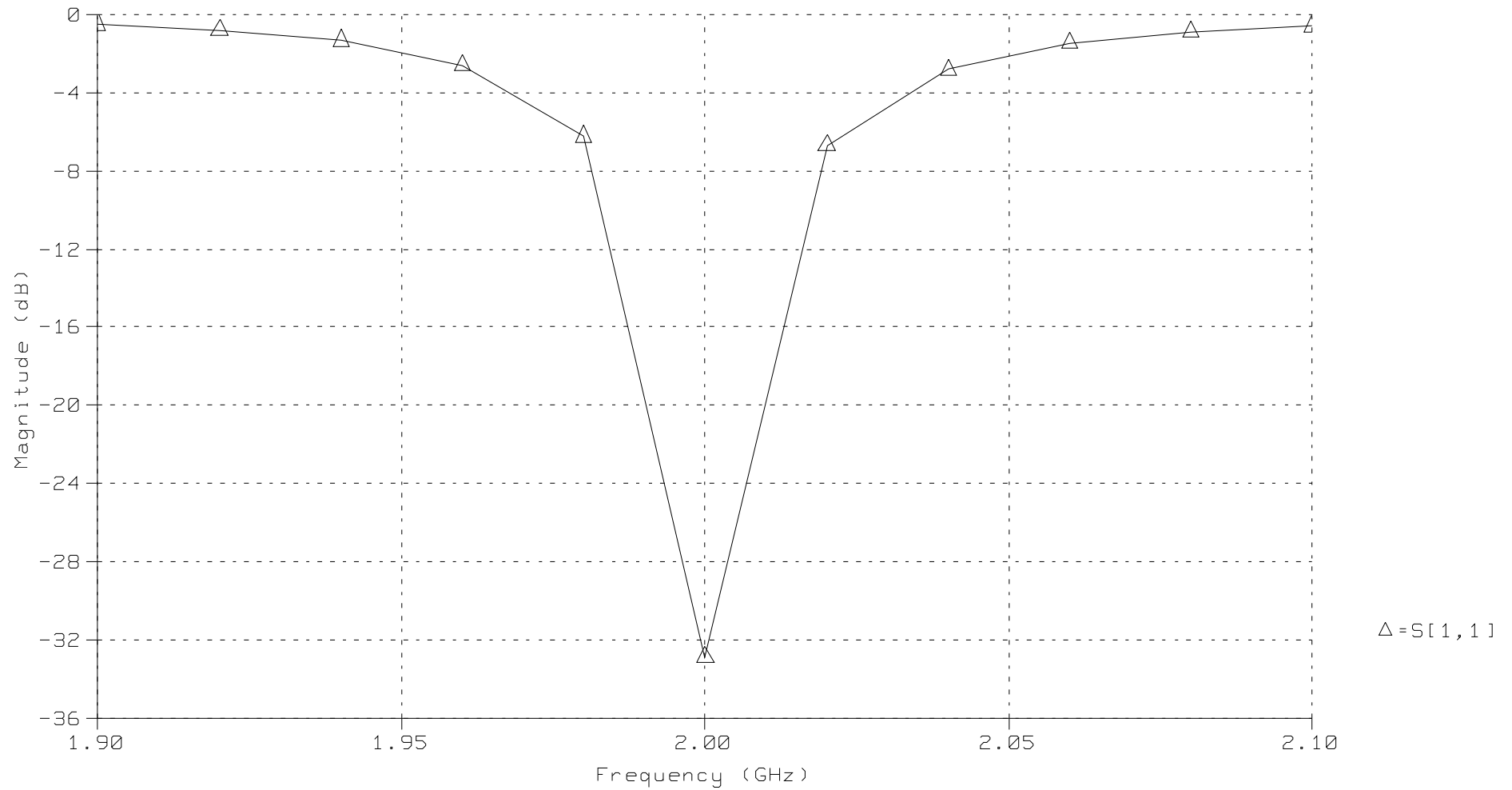
[Z] matrix:

i j	Re(Z_ij)	Im(Z_ij)
1 1	0.95562	-0.28941E-02

L'antenna è quindi ben adattata.

Modificando leggermente la lunghezza e/o la larghezza del tratto a  $\lambda/4$  è possibile migliorare ulteriormente l'adattamento.

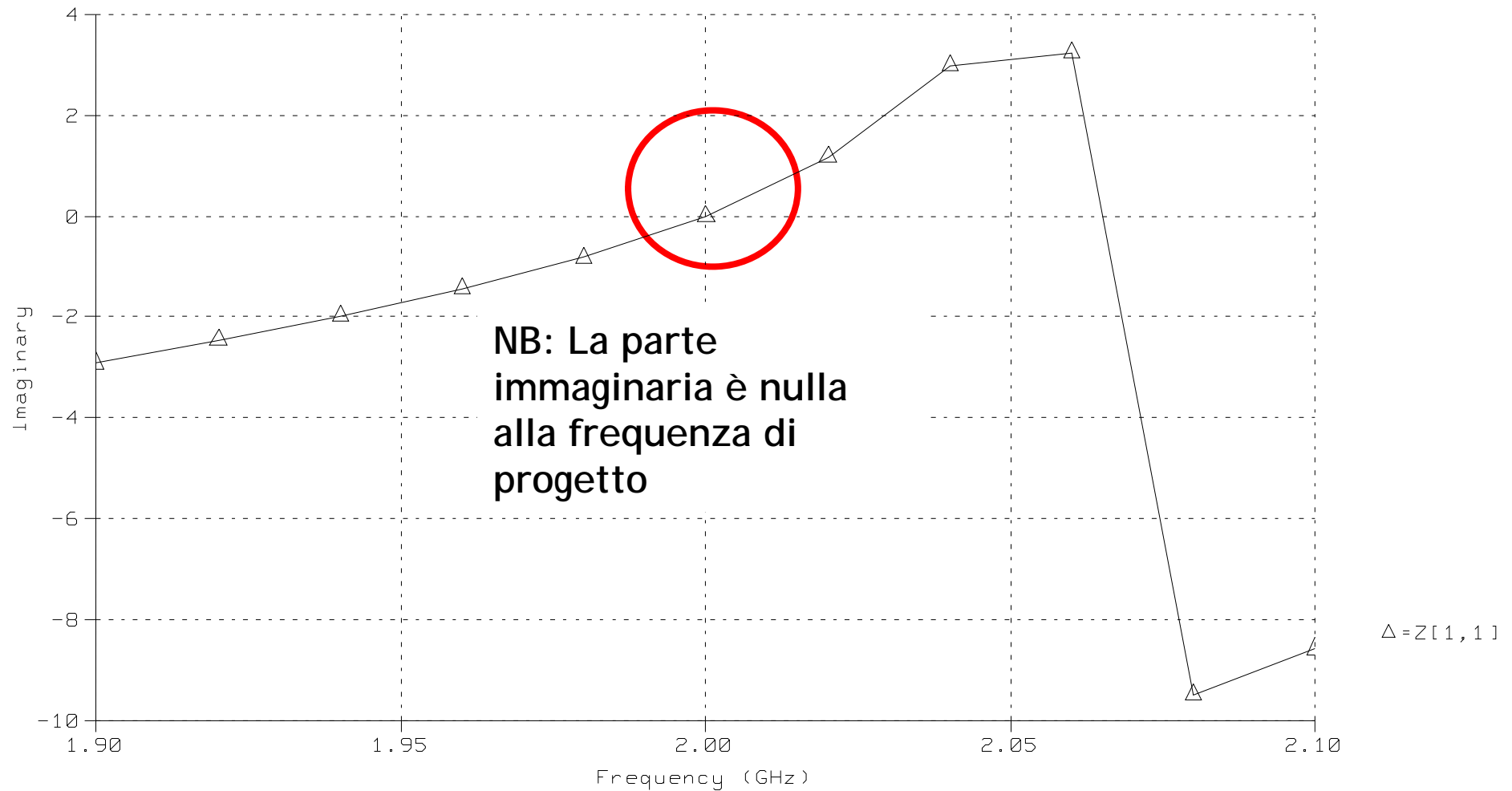
Plottando i grafici, per ottenere anche la larghezza di banda dell'adattamento, si ha per i files .z e .s:



Plottando i grafici, per ottenere anche la larghezza di banda dell'adattamento, si ha per i files .z e .s:

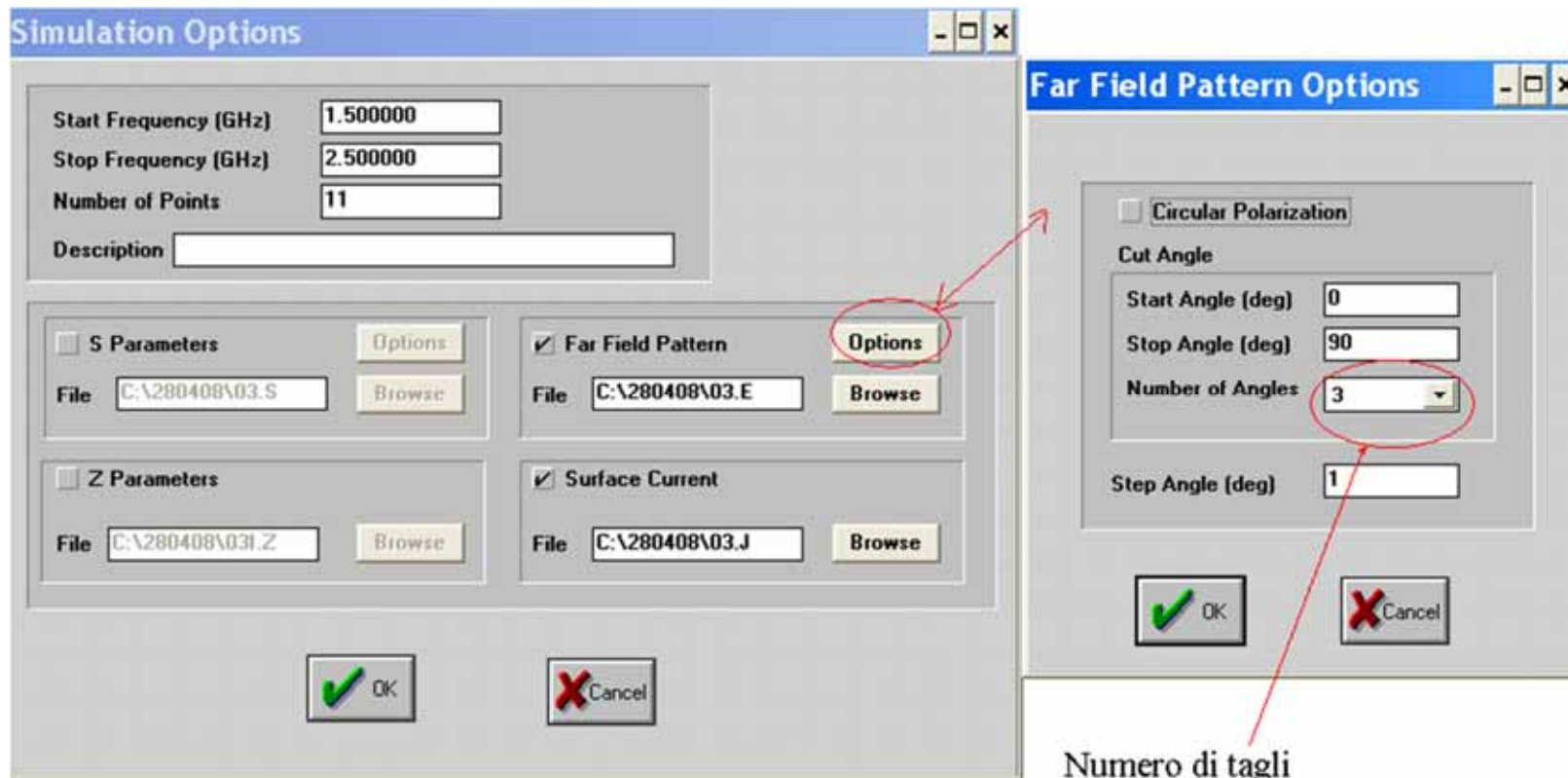


Plottando i grafici, per ottenere anche la larghezza di banda dell'adattamento, si ha per i files .z e .s:





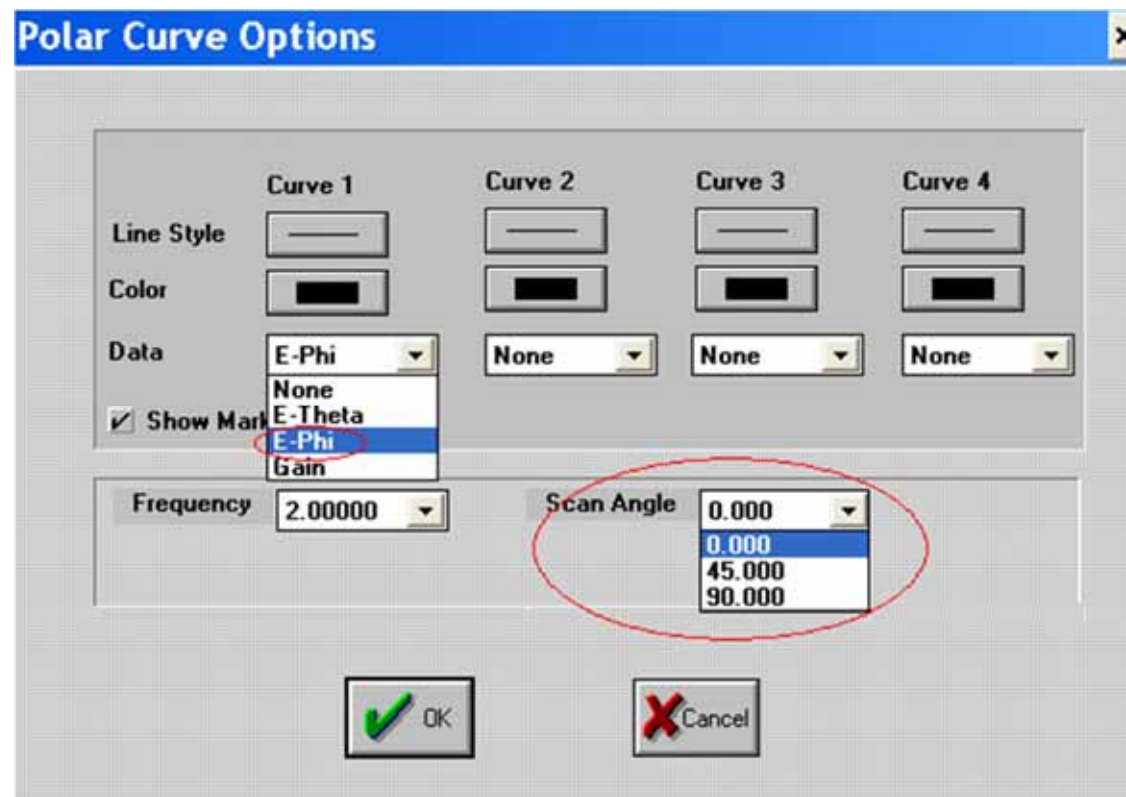
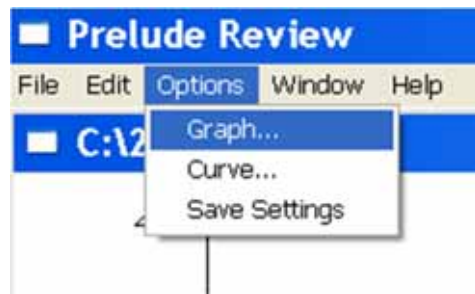
Ora torniamo su Prelude e rifacciamo un'analisi full-wave selezionando "Far Field Pattern" e "Surface current" parameters e i nomi del file su cui vogliamo salvare i parametri e pigiamo ok:



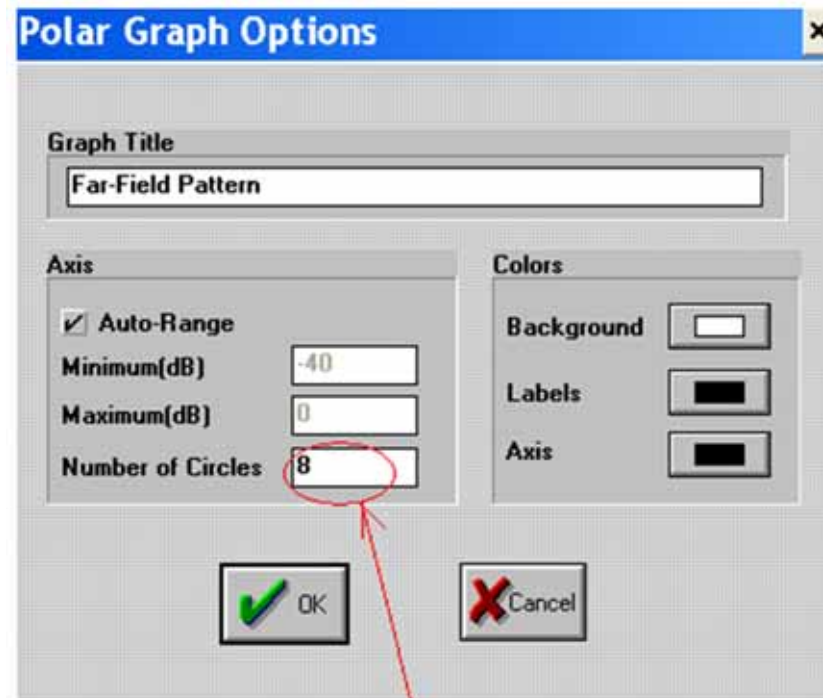
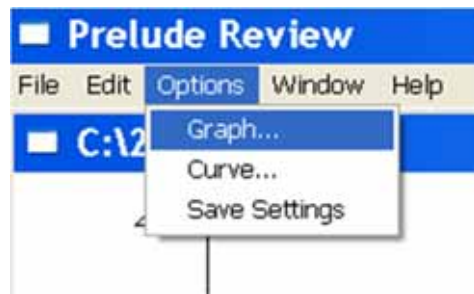
Ora utilizzando Prelude Review andiamo ad aprire il file  
“.E”



Per graficare il “*Far Field Pattern*”

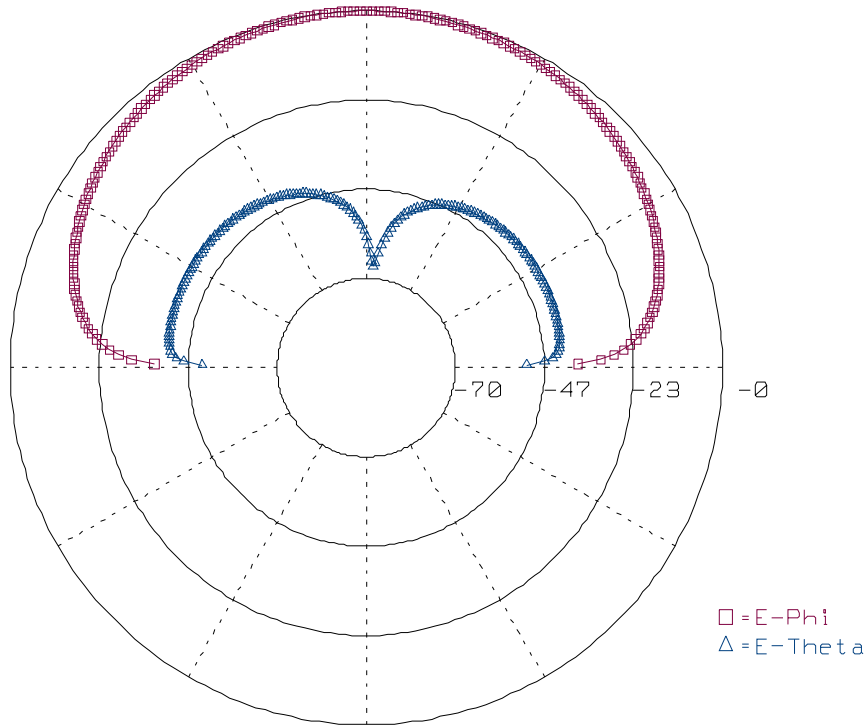


Per graficare il “*Far Field Pattern*”

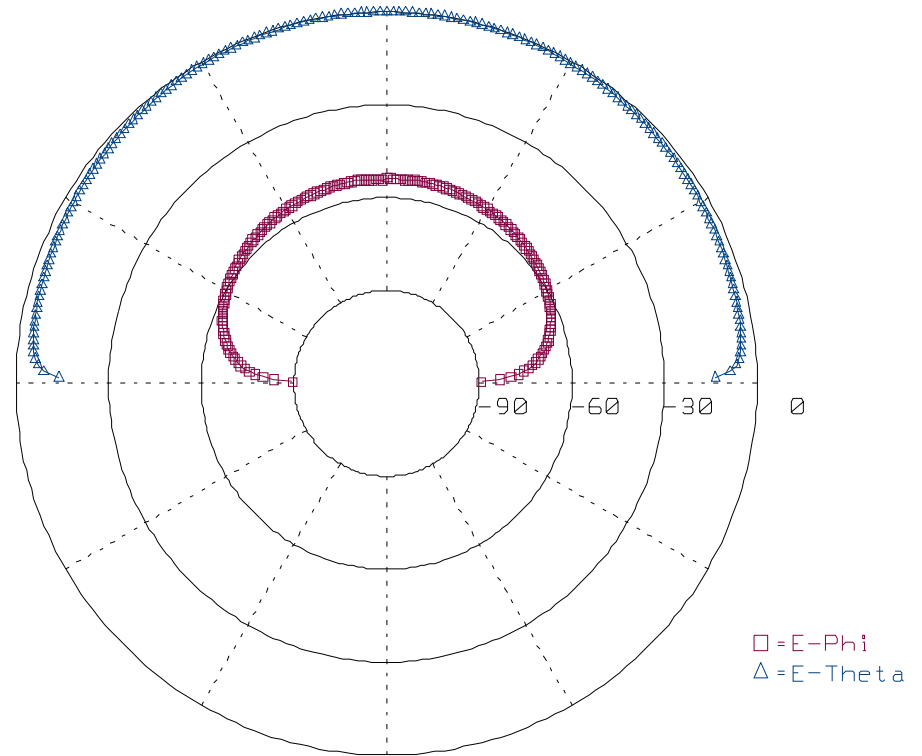


aumentando il  
numero di cerchi  
possiamo infittire il  
grafico

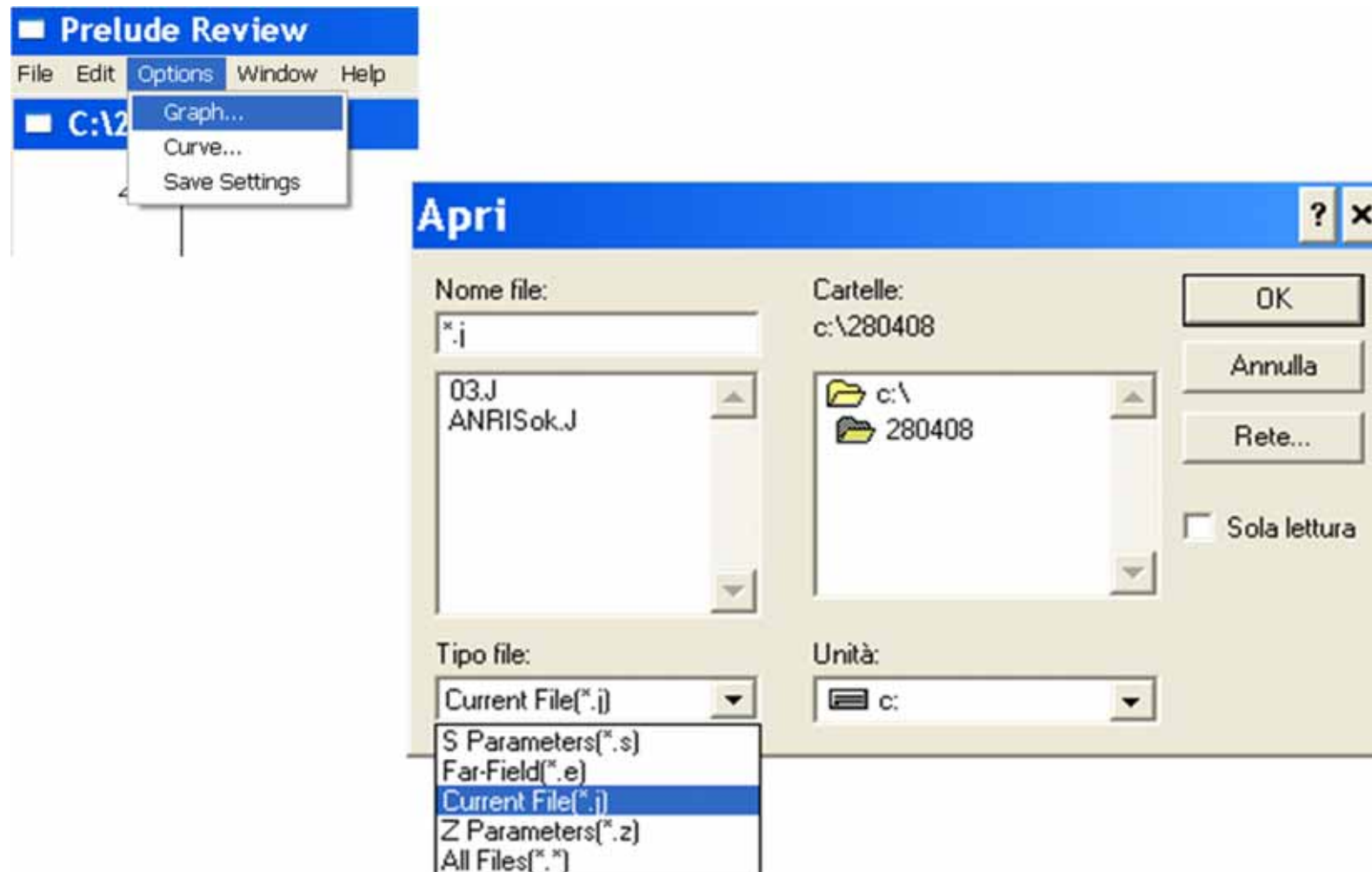
Far-Field Pattern  
 Freq = 2.00000 GHz, Scan Angle = 0.000



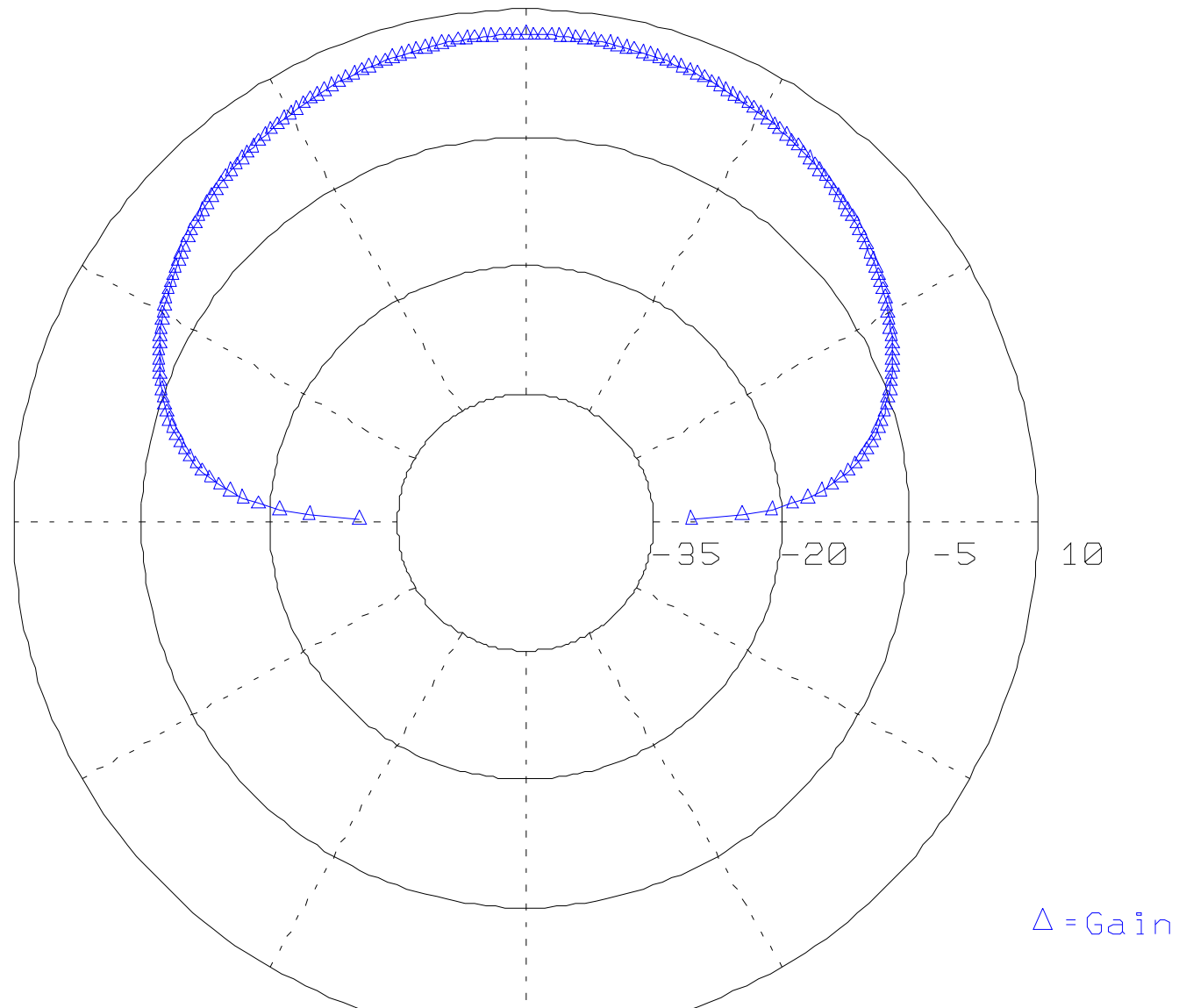
Far-Field Pattern  
 Freq = 2.00000 GHz, Scan Angle = 90.000



Per graficare il “**Guadagno**”



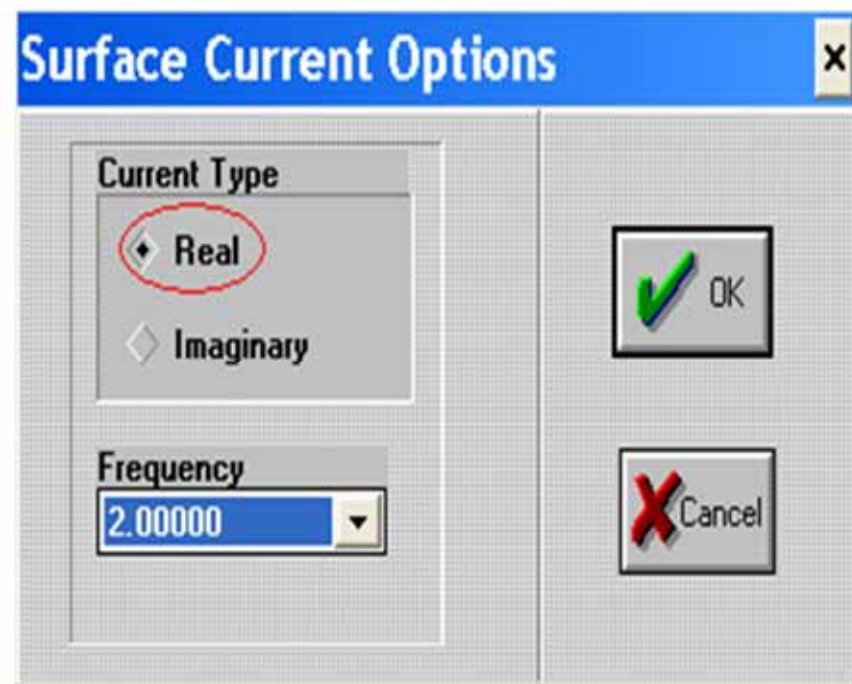
Far-Field Pattern  
Freq = 2.00000 GHz, Scan Angle = 0.000



Ora utilizzando Prelude Review andiamo ad aprire il file “.J”



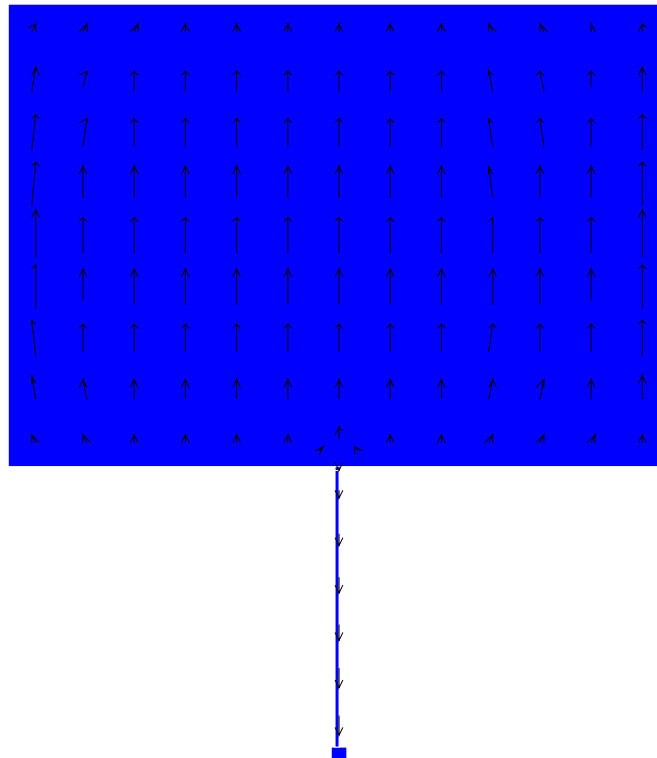


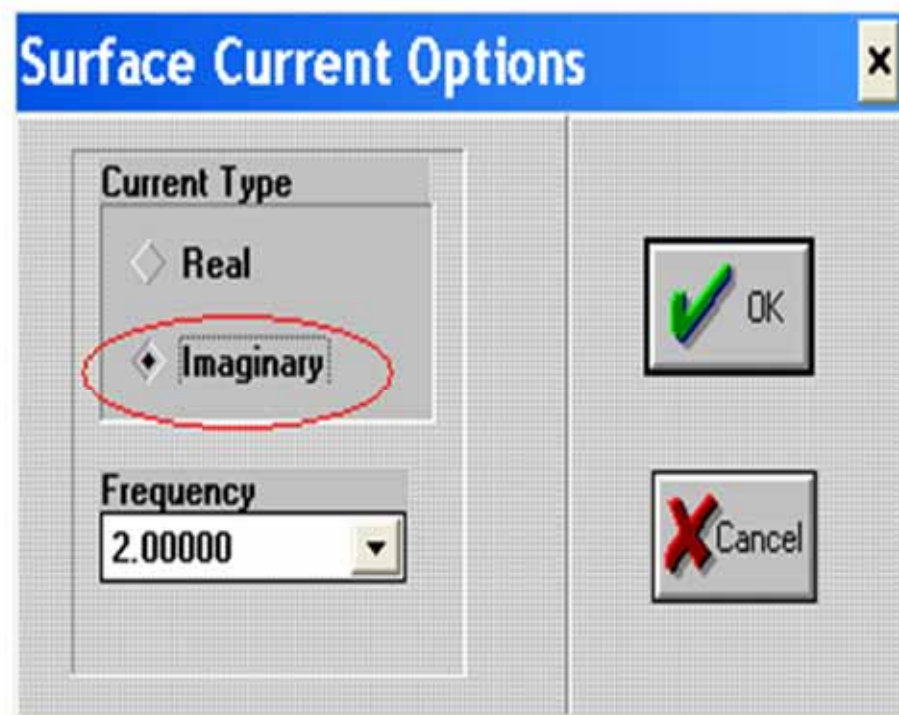
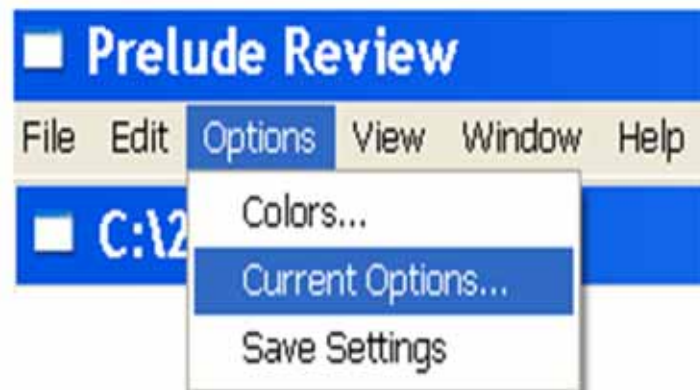


Real Component

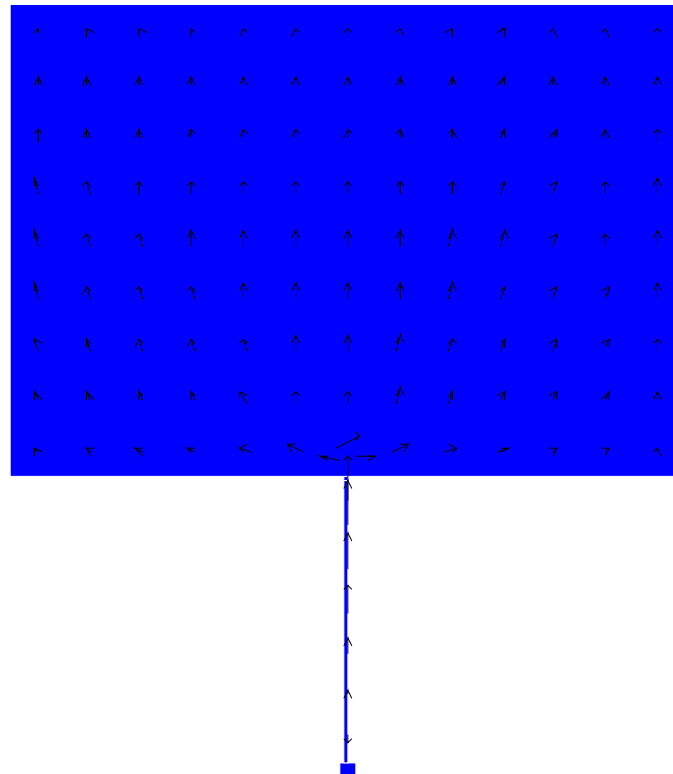
Frequency = 2.00000 GHz

Maximum current = 0.019107





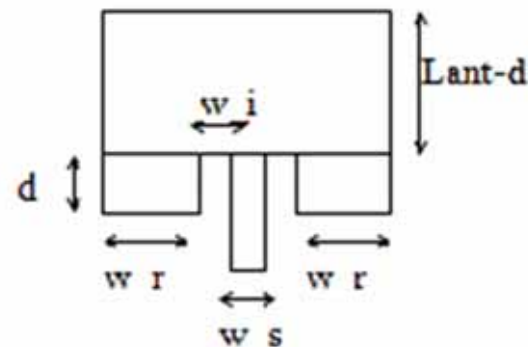
Imaginary Component  
Frequency = 2.00000 GHz  
Maximum current = 0.005830

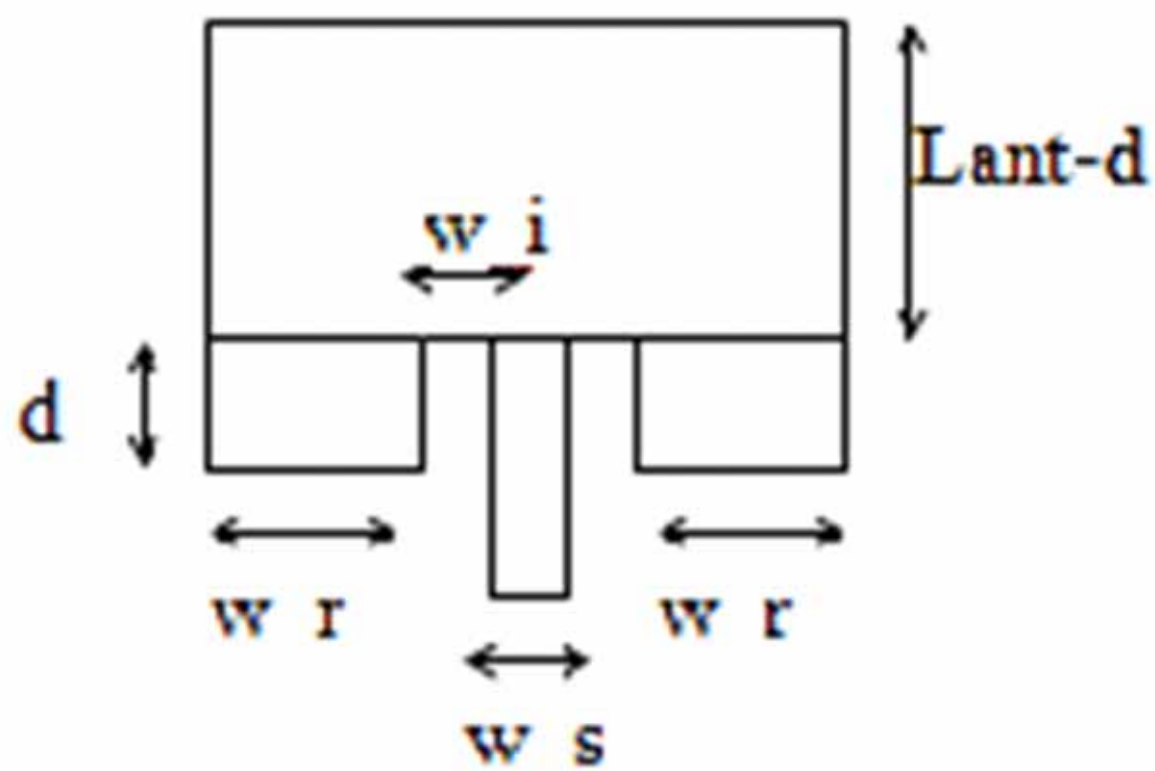


# Progettazione di una antenna singola in Risonanza con alimentazione interna al patch

- Un altro modo per adattare un'antenna è quello di portare l'alimentazione all'interno del patch. Utilizzando l'analisi fatta nella teoria di un'antenna a microstriscia alimentata da un cavo coassiale, nell'ipotesi che si propaghi il modo fondamentale TM<sub>10</sub>, si può scrivere che :

$$Z_{in} = Z_{ant} \cdot \cos^2 \left( \frac{\pi}{L_{ant}} \cdot d \right)$$





La distanza  $w_i$  fra la linea di alimentazione e i due rettangolini dell'antenna incavata deve essere tale che, considerando le larghezze equivalenti della linea di alimentazione stessa e di tali rettangoli, fra antenna e linea di alimentazione non rimanga spazio vuoto.

Tipicamente tale distanza si sceglie pari o superiore ad  $h$ , altezza del substrato.

Quindi poniamo  $w_i = h = 1.8mm$ ,

In realtà tutto questo funziona

per i cavi coassiali.

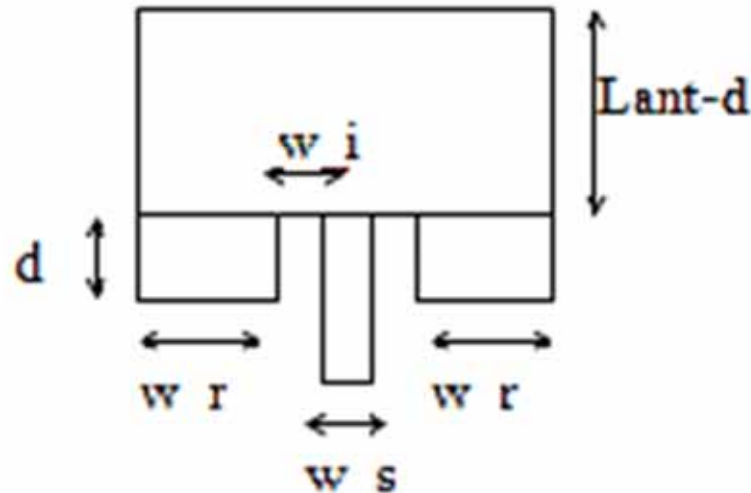
Per le strip, le capacità

dovute alla linea che

entra ed ai lati del patch, introducono una parte (reattiva)

immaginaria abbastanza consistente,

che deve essere annullata





Per rendere utile tale metodo ci sono due strade.

1° strada:

- Faccio risuonare l'antenna "piena" meglio che posso.
- ⊙ Poi a partire dall'antenna "piena" scavo pian piano fino ad ottenere una parte reale della  $Z_{in}$  il più prossima a quella della linea di alimentazione.
- ⊙ Per compensare la parte immaginaria della " $Z_{in}$ ", agisco sulla parte superiore dell'antenna allungandola leggermente (od eventualmente accorciandola)

2° strada:

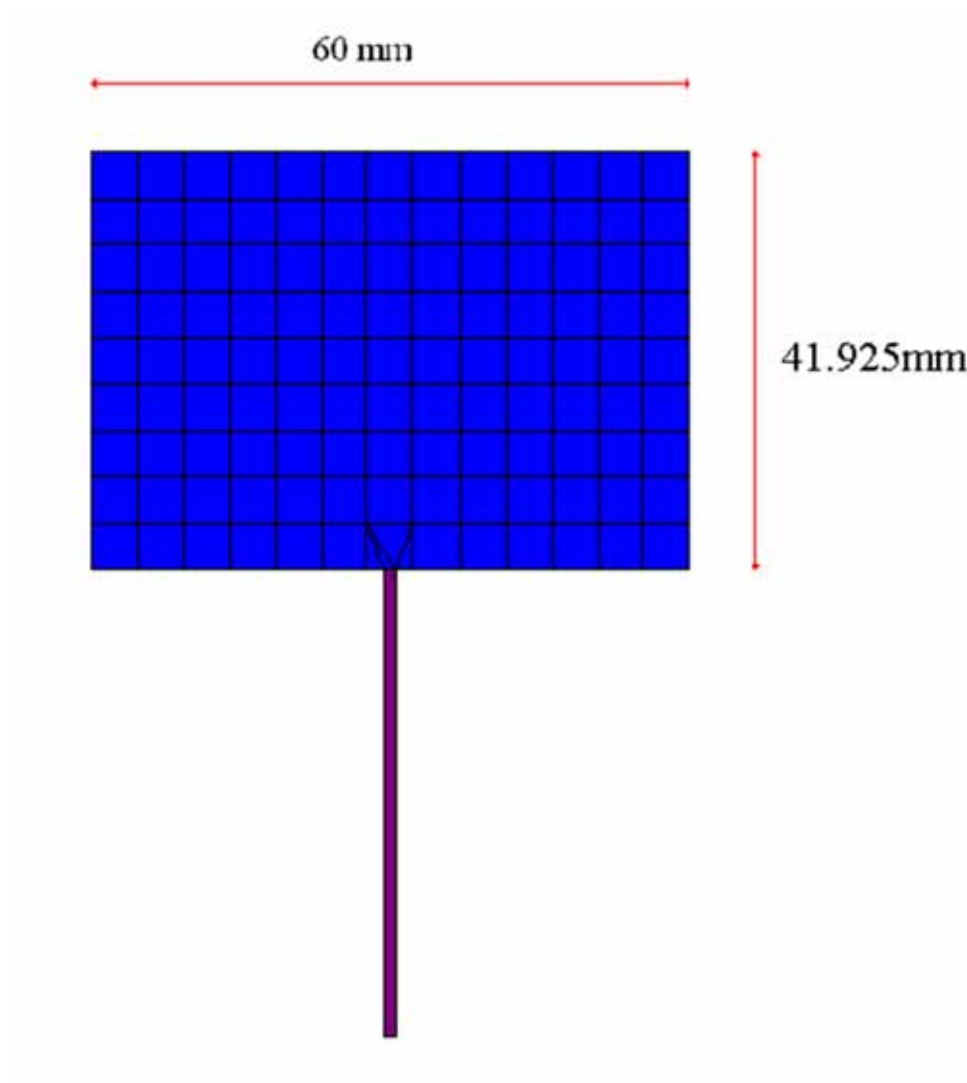
- Faccio risuonare l'antenna "piena" meglio che posso.
- ⊙ Si parte dall'antenna "piena" scavo del valore teorico calcolato " $d$ " e poi agisco sulla lunghezza dell'antenna

⦿ I dati da inserire su Prelude sono i seguenti :

$CEP=1.0E30$  S/m,  $h=1.8$  mm,  $espr = 3$  ,

freq=2 Ghz,

freq max di lavoro = 4 Ghz



=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)

Port 1: 2.24253 (-.19409E+00+j0.62774E+02) 100.0999

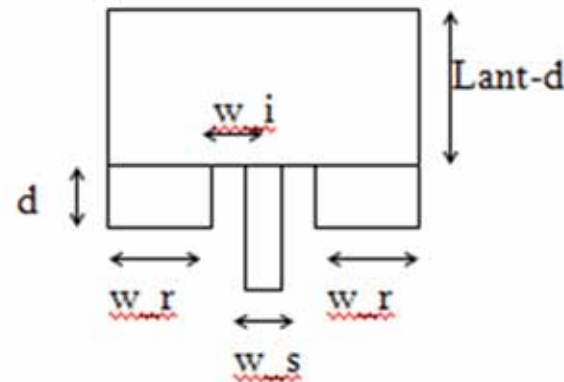
[Z] matrix:

i	j	Re(Z <sub>ij</sub> )	Im(Z <sub>ij</sub> )
---	---	----------------------	----------------------

1	1	2.0297	0.10776E-02
---	---	--------	-------------

$$Z_{in} = (2.0297 + j0.0010776) \cdot 100.0999 = 203.173 + j0.107$$

- ◉ calcoliamo il valore di  $d$  (lunghezza dell'incavo)



$$Z_{IN} = Z_{ANT} * \cos^2(\pi / 41.925 \text{ mm} * d)$$

$$100 = 203.173 * \cos^2(\pi / 41.925 \text{ mm} * d)$$

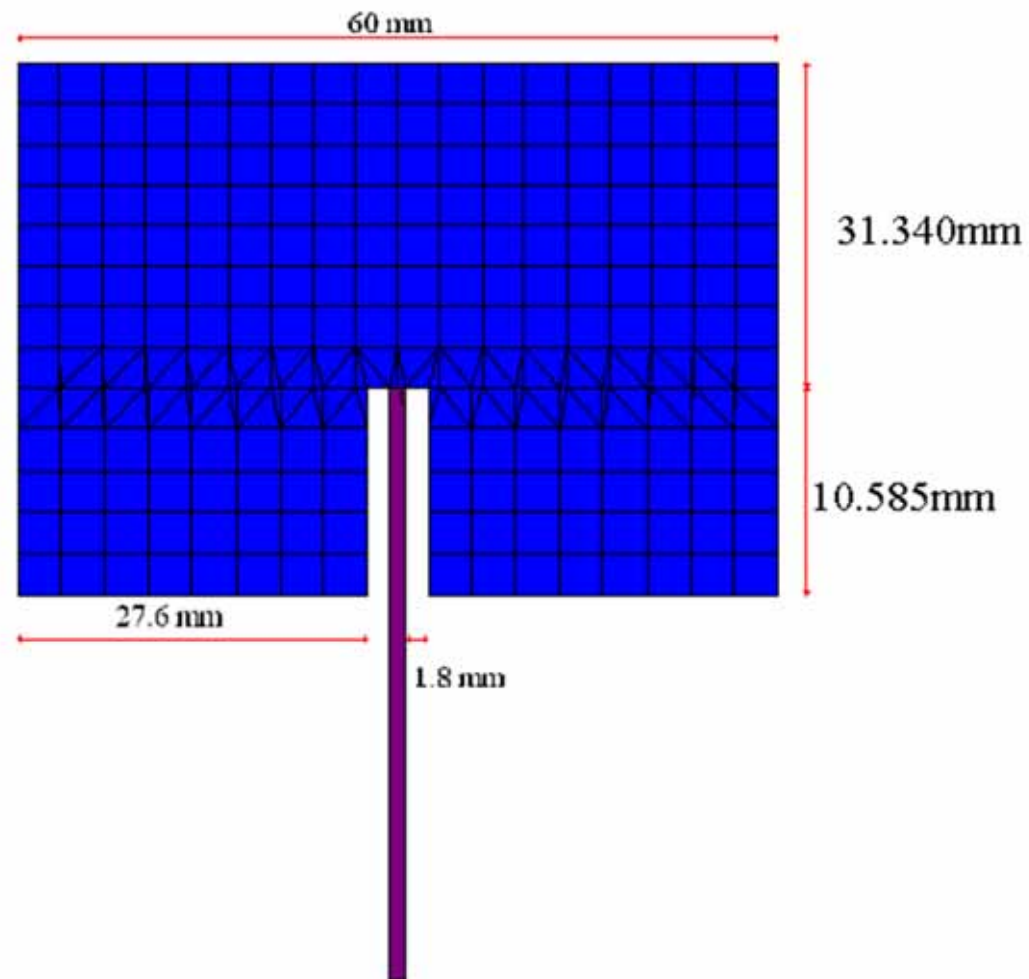
$$\cos(\pi / L_{ant} * d) = \pm 0.793$$

$$d1 = 10.585 \text{ mm}$$

$$L_{ant} = (41.925 - 10.585) \text{ mm} = 31.340 \text{ mm}$$

$$w_f = 60mm = 2 \cdot w_r + 2 \cdot 1.8 + 1.20$$

$$\rightarrow w_r = \frac{60 - 4.80}{2} = 27.6mm$$



=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	2.22778	(-.37436E+00+j0.62568E+02)	100.4307

[Z] matrix:

i	j	Re(Z <sub>ij</sub> )	Im(Z <sub>ij</sub> )
1	1	0.50775	0.57446

$$Z_{in} = (0.50775 + j0.57446) \cdot 100.4307 = 50.9937 + j57.6934$$

=====

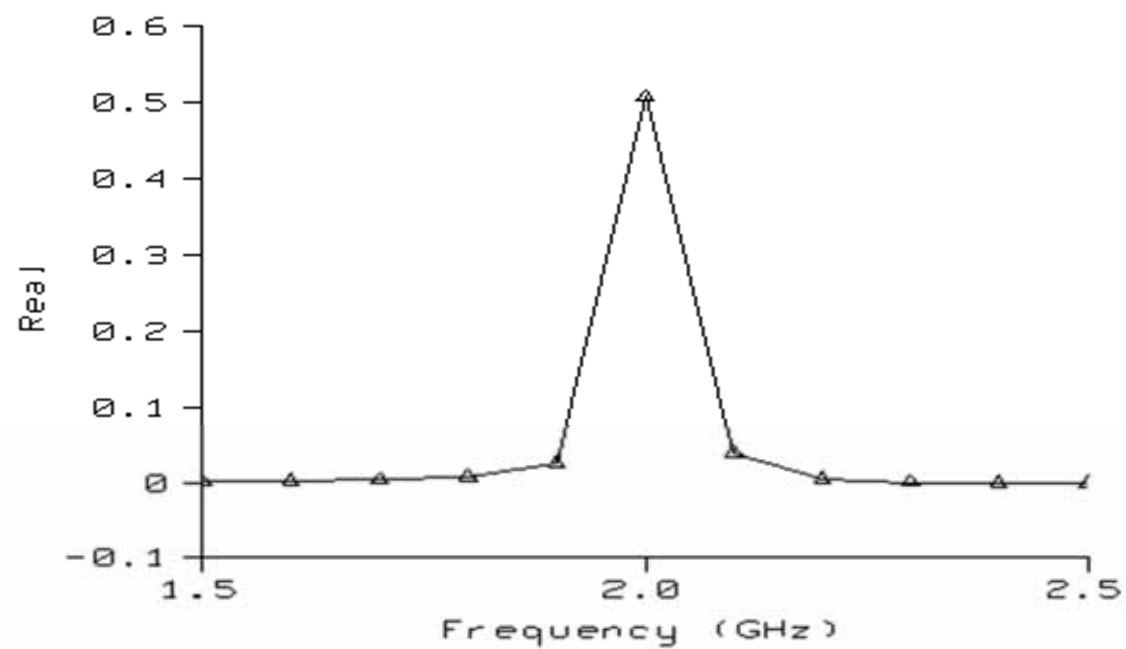
Freq: 2.00000 (GHz)

=====

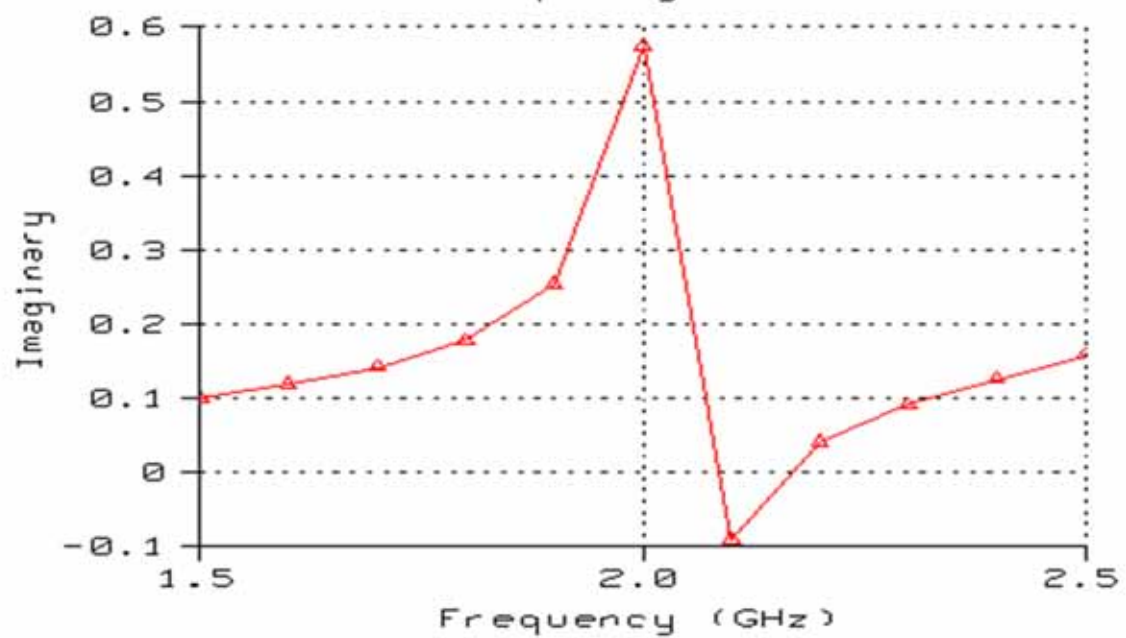
	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	2.22778	(-.37436E+00+j0.62568E+02)	100.4307

[S] matrix:

i	j	Re(S <sub>ij</sub> )	Im(S <sub>ij</sub> )	Magnitude	Phase	Mag. in dB
1	1	-0.15833	0.44133	0.46887	109.7360(deg.)	-6.5789

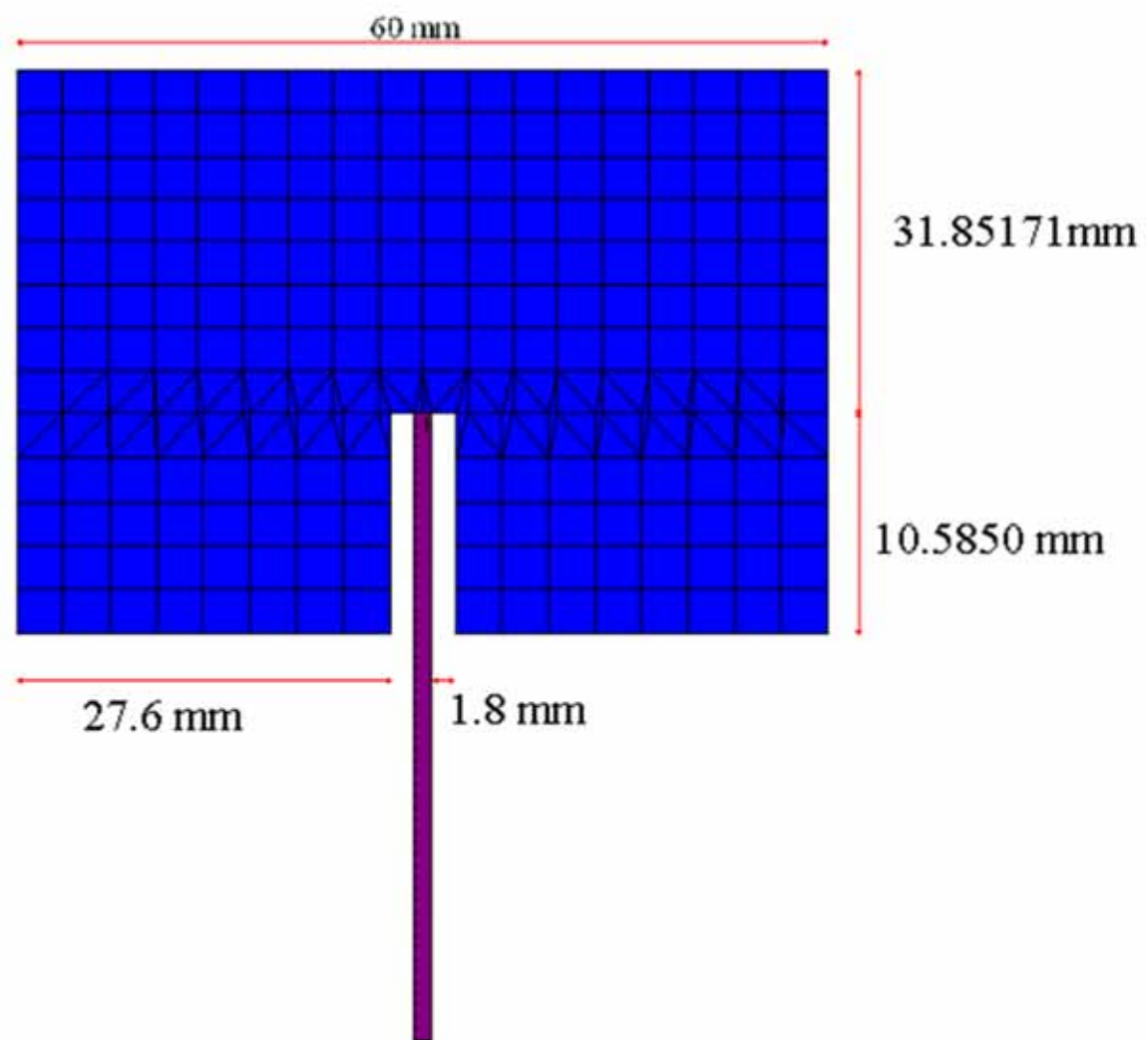


$\Delta = Z[1,1]$



$\Delta = Z[1,1]$





=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)

Port 1: 2.22919 (-.57870E+00+j0.62587E+02) 100.3990

[Z] matrix:

i	j	Re(Z_ij)	Im(Z_ij)
---	---	----------	----------

1	1	0.95177	0.55909E-04
---	---	---------	-------------

$$Z_{in} = (0.95177 + j0.55909E-04) \cdot 100.3990 = 95.5568 + j0.005613$$

=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

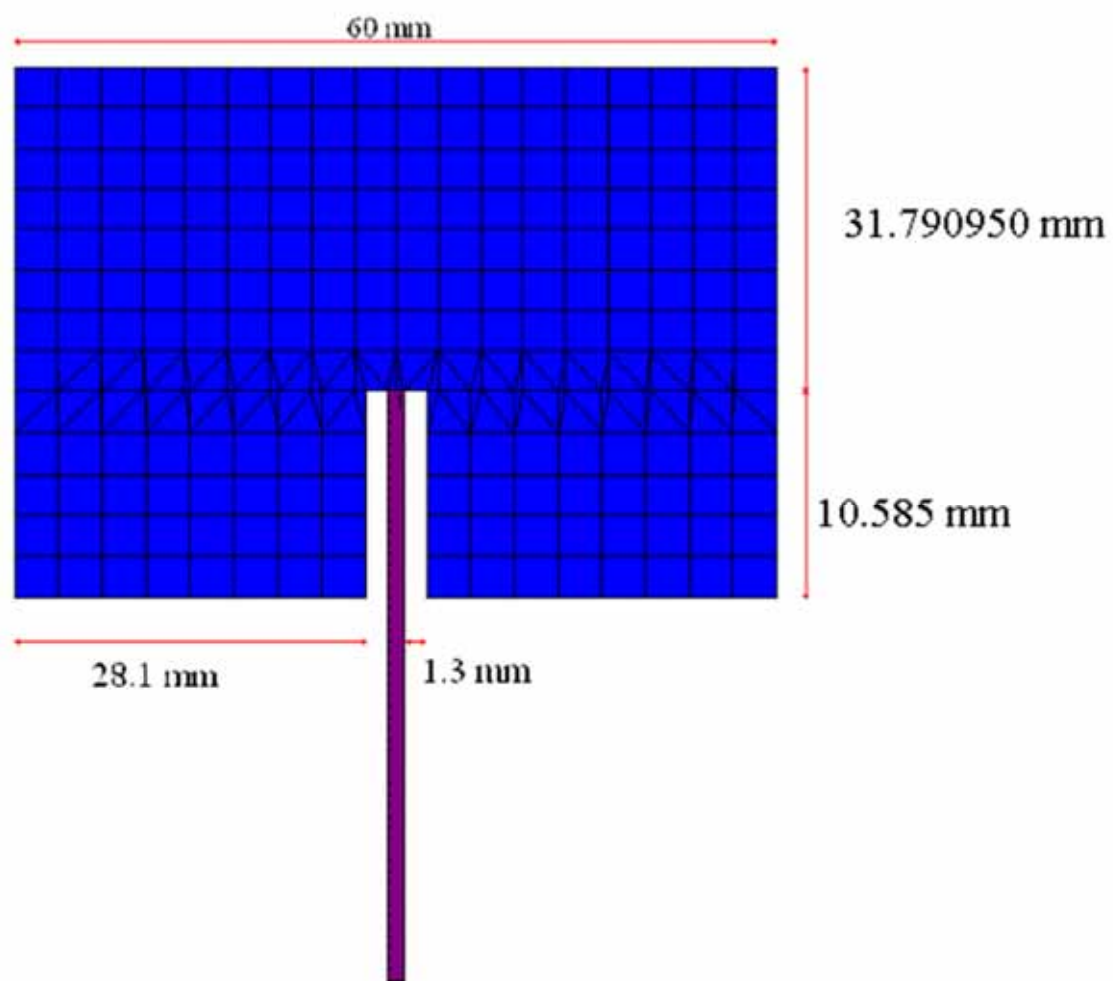
Eff.Perm. Propagation Constant Port Impedance (ohms)

Port 1: 2.22919 (-.57870E+00+j0.62587E+02) 100.3990

[S] matrix:

i	j	Re(S_ij)	Im(S_ij)	Magnitude	Phase	Mag. in dB
---	---	----------	----------	-----------	-------	------------

1	1	-0.24712E-01	0.29353E-04	0.02471	179.9319(deg.)	-32.1419
---	---	--------------	-------------	---------	----------------	----------



=====

Freq: 2.00000 (GHz)

=====

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	2.22754	(-.56135E+00+j0.62564E+02)	100.4361

[Z] matrix:

i	j	Re(Z_ij)	Im(Z_ij)
1	1	1.0060	0.40665E-04

$$Z_{in} = (1.006 + j0.40665E-04) \cdot 100.4361 = 101.039 + j0.004084$$

=====

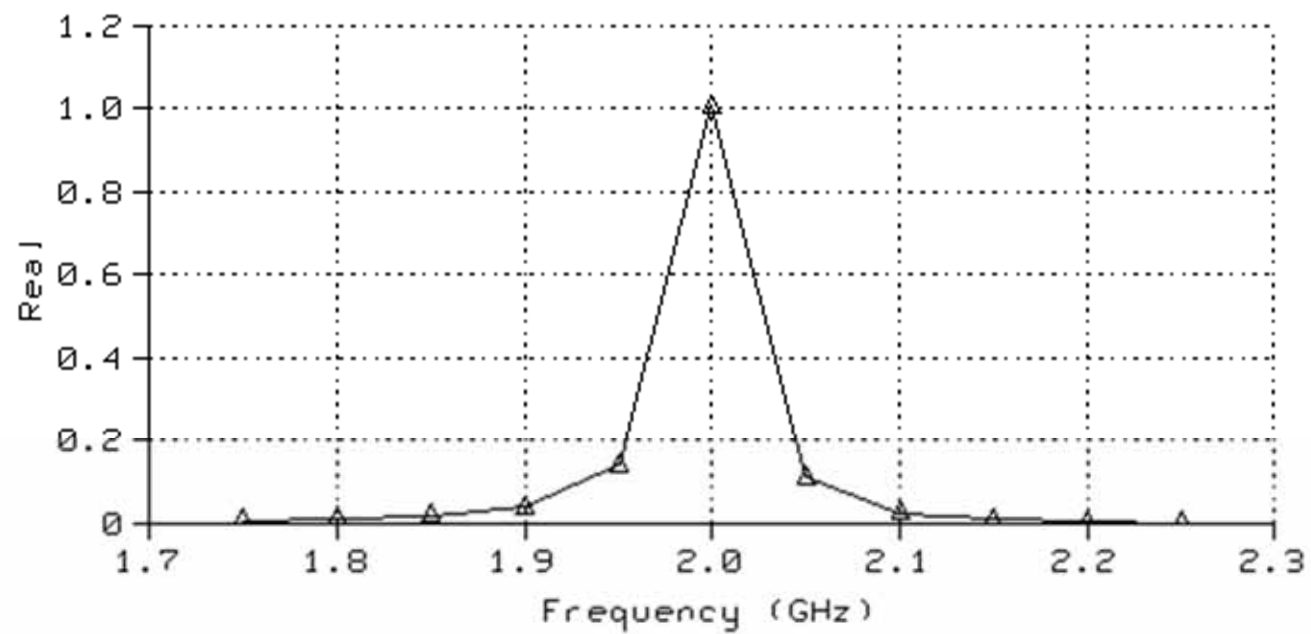
Freq: 2.00000 (GHz)

=====

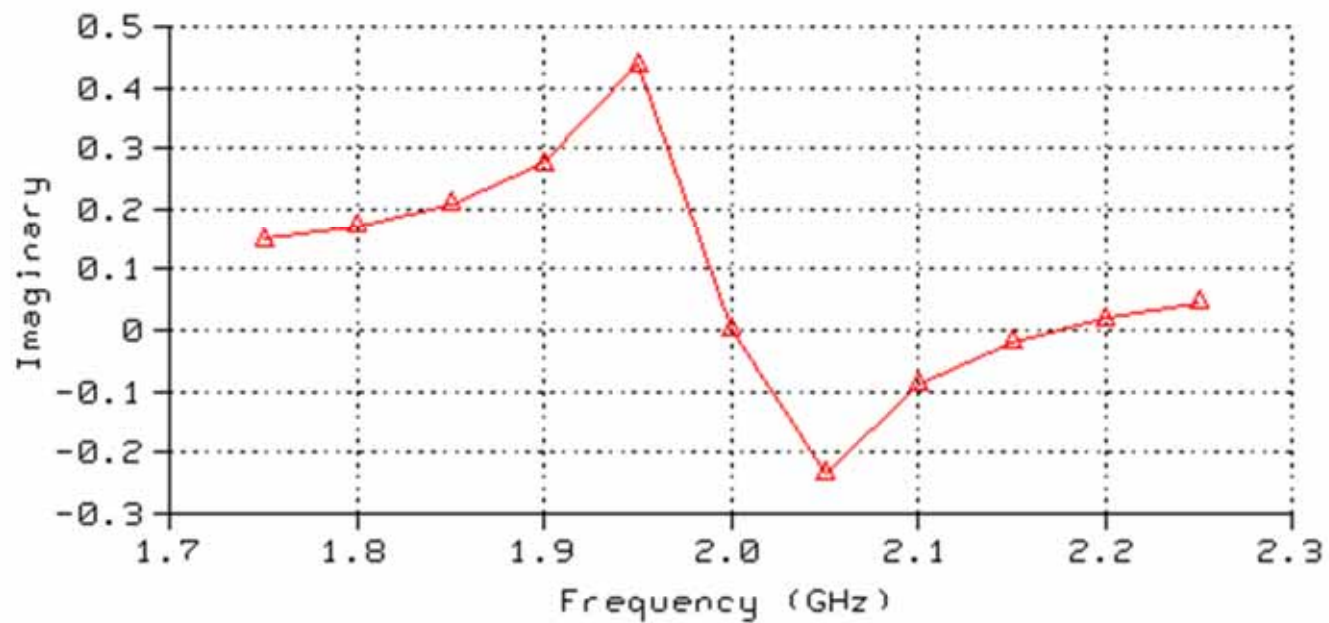
	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	2.22754	(-.56135E+00+j0.62564E+02)	100.4361

[S] matrix:

i	j	Re(S_ij)	Im(S_ij)	Magnitude	Phase	Mag. in dB
1	1	0.29910E-02	0.20211E-04	0.00299	0.3872(deg.)	-50.4834

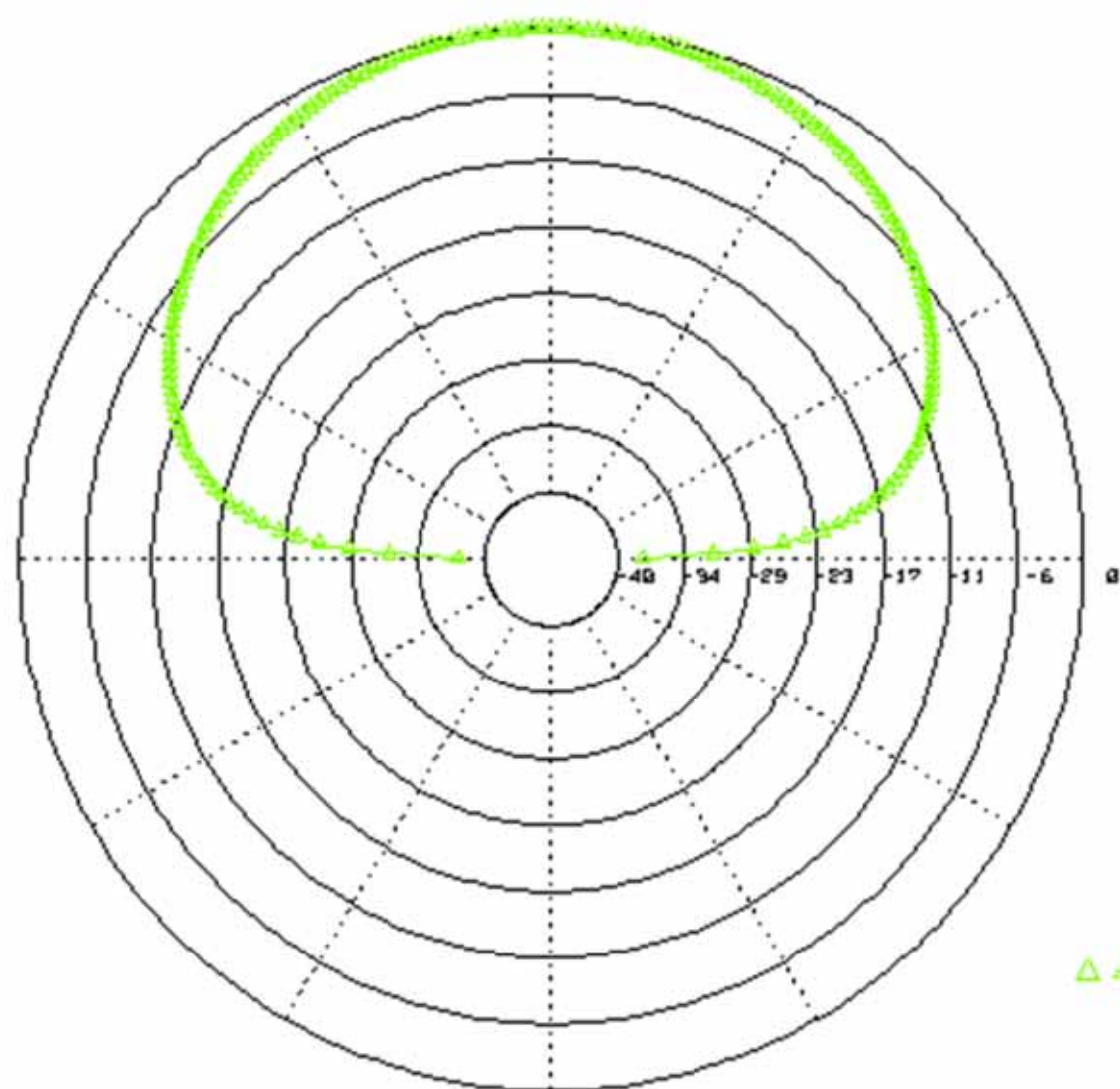


$\Delta = Z[1,1]$



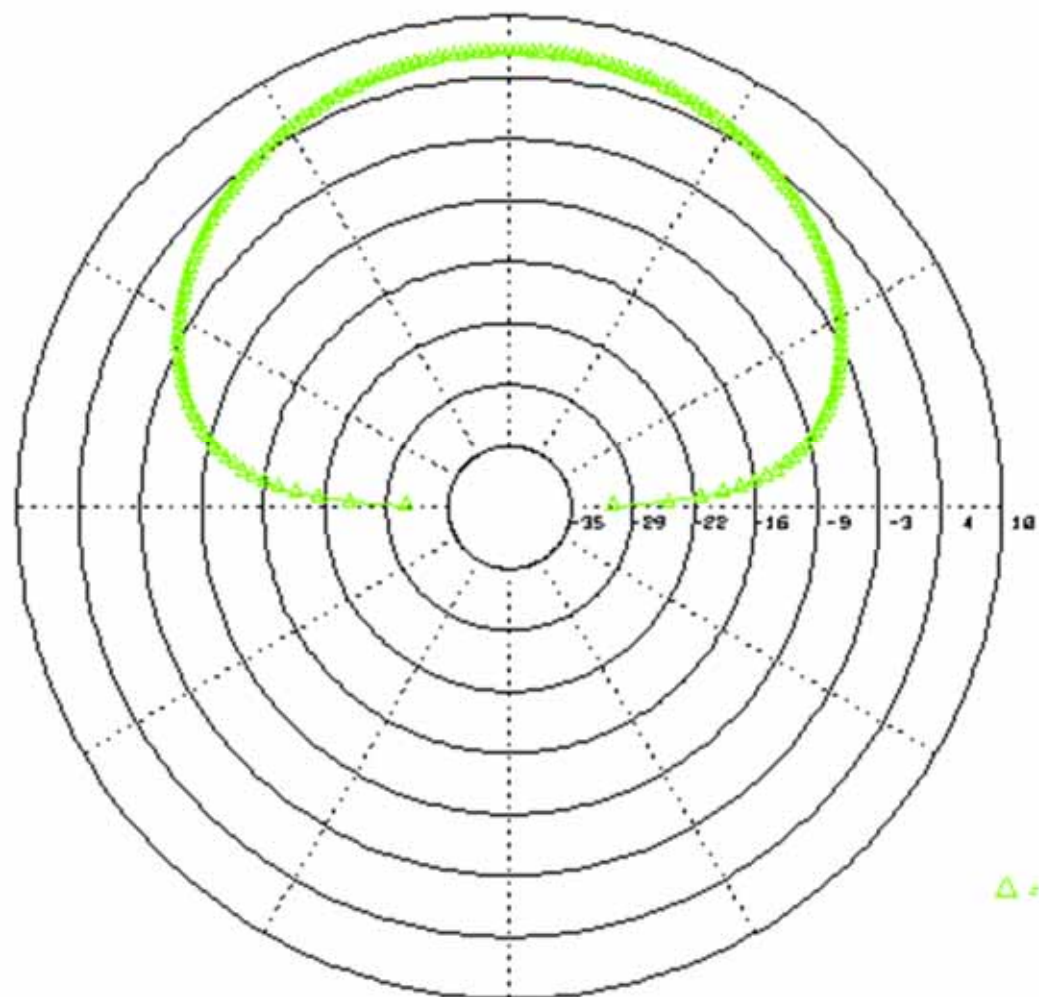
$\Delta = Z[1,1]$

Far-Field Pattern  
Freq = 2.00000 GHz, Scan Angle = 0.000



$\Delta E - \Phi$

Far-Field Pattern  
Freq = 2.00000 GHz, Scan Angle = 0.000

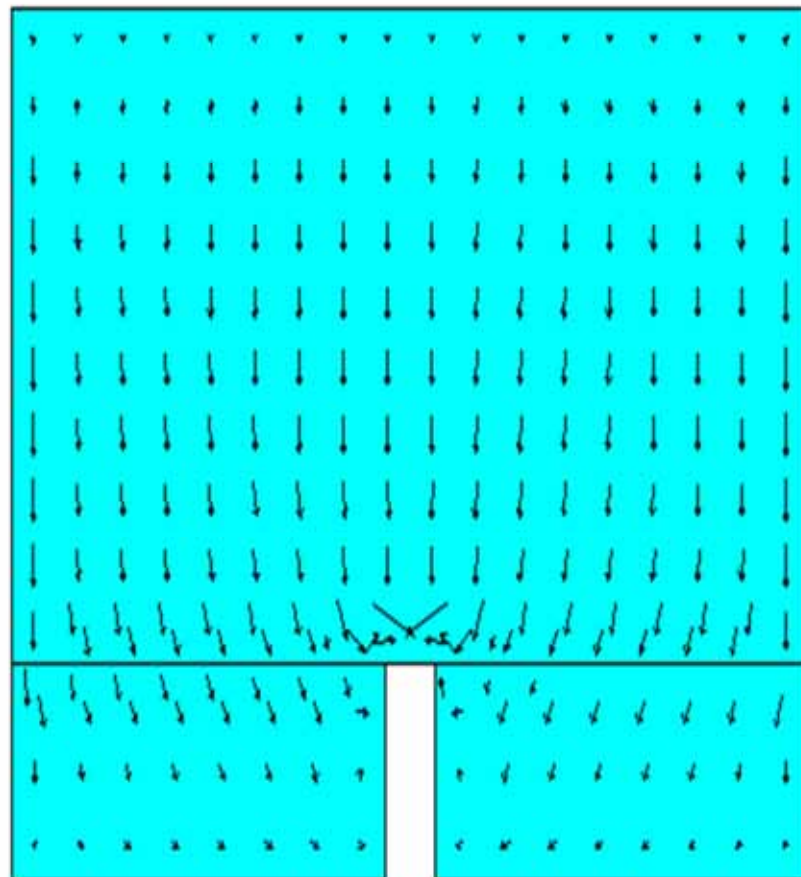


$\Delta$  Gain

Real Component

Frequency = 2.00000 GHz

Maximum current = 0.004228



Imaginary Component

Frequency = 2.00000 GHz

Maximum current = 0.014286

