

# **Comparazione fra Analizzatori Di Reti RF: differenze ed incertezze**

*Sergio Mariotti*

**Rapporto Interno IRA 360 / 2004**

Revisori: Federico Perini

# COMPARAZIONE FRA ANALIZZATORI DI RETI RF: DIFFERENZE ED INCERTEZZE ..... 1

1.	NECESSITÀ .....	3
2.	STRATEGIA.....	3
3.	ATTENUATORE 1 dB “PASSANTE”: CONDIZIONE $ S_{21}  \approx 1$ .....	5
4.	ATTENUATORE 8 dB “PASSANTE”: CONDIZIONE $ S_{21}  \approx 0$ .....	6
5.	ATTENUATORE 1 dB “RIFLETTENTE”: CONDIZIONE $ S_{11}  \approx 1$ .....	7
6.	CARICO ADATTATO”: CONDIZIONE $ S_{11}  \approx 0$ .....	8
7.	8753C: ATTENUATORE 1 dB TIPO N CON USCITA IN CORTOCIRCUITO: .....	9
8.	8751: ATTENUATORE 1 dB TIPO N CON USCITA IN CORTOCIRCUITO:.....	10
9.	8722D: ATTENUATORE 1 dB TIPO N CON USCITA IN CORTOCIRCUITO:.....	11
10.	CONCLUSIONI:.....	12
11.	APPENDICE.....	13
12.	RIFERIMENTI .....	14

Lo scopo del presente rapporto è di confrontare le letture strumentali di tre analizzatori di rete per radiofrequenza.

Se confrontati con altri strumenti di misura comunemente utilizzati nei laboratori, quali voltmetri, oscilloscopi ecc. gli analizzatori di rete sono affetti da incertezze sensibilmente più elevate.

All'incertezza propria dello strumento si somma l'incertezza dovuta alla calibrazione ed alle connessioni.

In questo rapporto verranno confrontati i dati osservati da tre analizzatori di rete, calibrati in differenti modi ma con lo stesso Calibration kit. Quindi questo rapporto ha lo scopo di confrontare, eventualmente creare fiducia anche per VNA che non possano eseguire la calibrazione "full-two-ports".

Questo rapporto non è, e non vuole essere, una "campagna di confronto di misure vettoriali", per le quali è necessario l'utilizzo di un Calibration kit ad hoc, di un Verification Kit e di connettori di precisione di cui non si dispone [4]. Quindi le incertezze quotate nel presente rapporto si riferiscono solo ed esclusivamente al dato "osservato" e non al dato "misurato".

## 1. Necessità

Il presente lavoro si è reso necessario per verificare la possibilità che VNA privi di TEST-SET possano operare a bassa incertezza almeno in un range di frequenza limitato alle VHF.

## 2. Strategia

Per la verifica si è proceduto ad un confronto fra 3 VNA, di cui uno è stato calibrato con grande precisione operativa con metodo "full-two-port" che corregge tutti i 12 termini d'errore, gli altri due sono stati calibrati con metodi che correggono solo alcuni dei 12 termini d'errore.

Sono state eseguite alcune misure di alcuni DUT con parametri  $s$  "mirati" in modo che fosse coperto il più possibile il piano complesso della Carta di Smith ovvero  $s_{11}$  è stato scelto sia vicino al cerchio esterno della carta di Smith sia vicino al centro, e  $|s_{21}|$  sia circa 1 sia circa 0.

I DUT utilizzati sono componenti robusti, stabili, affidabili, ripetibili e con range di frequenza ben superiore a quelle utilizzate.

La seguente tabella mostra il sommario degli strumenti utilizzati nel confronto, i rispettivi metodi di calibrazione e i parametri salienti utilizzati:

<b>VNA Utilizzati, calibrazioni e frequenze</b>		
<b>8722D</b>	<b>8753C</b>	<b>8751</b>
Full 2 port SOLT	Port1: $s_{11}$ , SOL Port1-2: Response, Thru	Port1: $s_{11}$ , SOL Port1-2: Response, Thru
50 MHz – 6050 MHz	0.3 MHz – 3000 MHz	5 Hz – 500 MHz
-10 dBm	- 10 dBm	-10 dBm
IF=300 Hz	IF=300 Hz	IF=200 Hz
Avg=1	Avg=1	Avg=1

La seguente tabella mostra come sono state ottenute le 4 configurazioni estreme nella carta di Smith.

Si noti che il carico adattato utilizzato è stato scelto differente da quello utilizzato per la calibrazione.

Per ciascuna delle seguenti 4 condizioni sono stati raccolti i dati osservati nei 3 VNA.

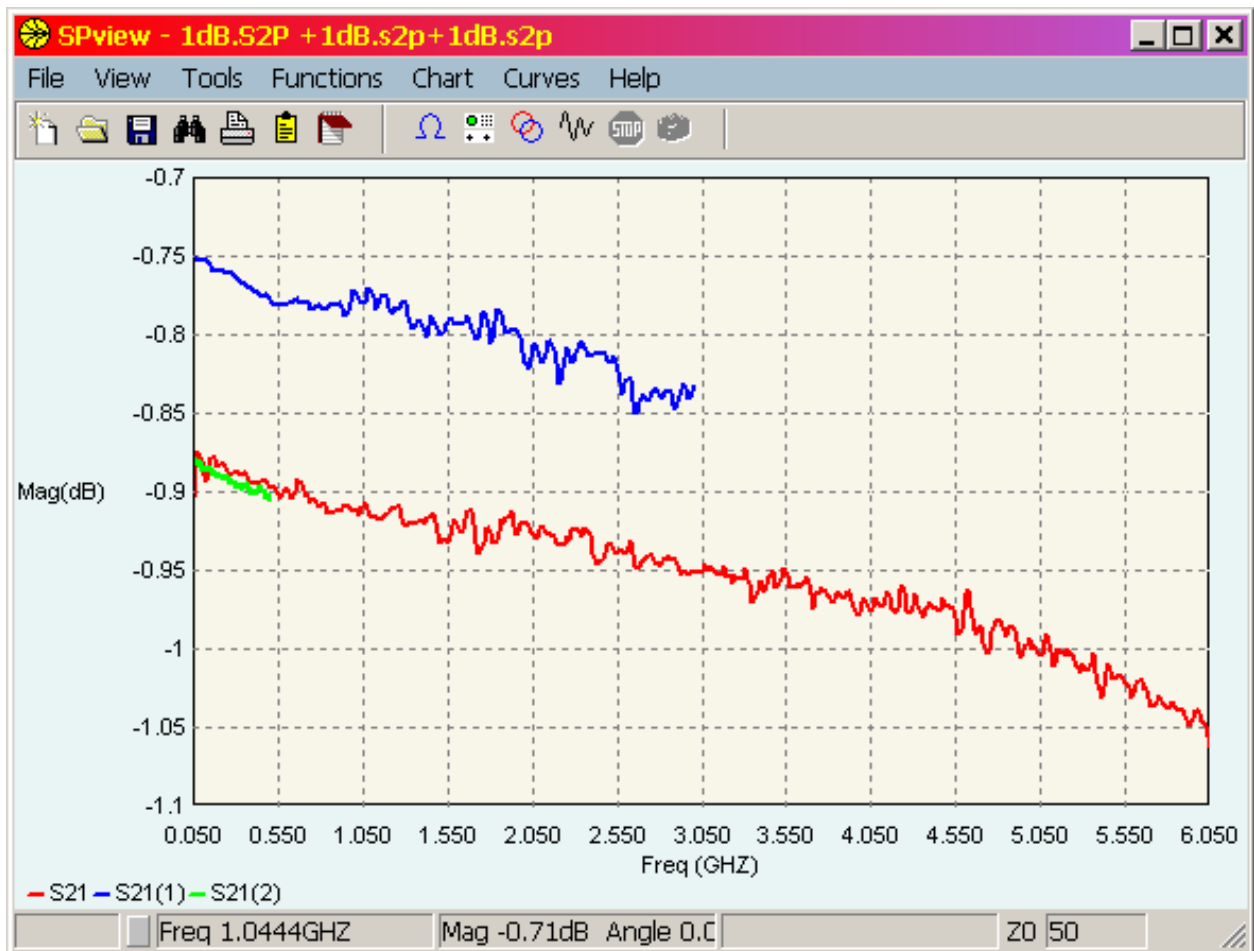
	<b>Attenuatore 1 dB . Tipo N:</b>	<b>Attenuatore 8 dB . Tipo N</b>	<b>Carico adattato</b>
<b>Condizione “passante”</b>	$ s_{21}  \approx 1$	$ s_{21}  \approx 0$	
<b>Condizione “riflettente”</b>	$ s_{11}  \approx 1$		$ s_{11}  \approx 0$

Di seguito è stato eseguito un confronto fra  $s_{11}$ , relativi allo stesso DUT, ma acquisiti in due maniere molto diverse come indicato nella seguente maniera:

	<b>Setup</b>	<b>Valori s in misura</b>	<b>Post processing</b>
DUT: Attenuatore 1 dB Tipo N	2 porte, DUT “passante” Calibrazione: full 2 port, SOLT	$ s_{11}  \approx 0$ $ s_{21}  \approx 0$	Caricato nel simulatore MWOoffice e chiuso in corto la porta 2 in modo software, calcolato nuovo $s_{11}$
	1 porta, DUT cortocircuito altra porta. Calibrazione: 1port SOL	$ s_{11}  \approx 1$ $ s_{21}  \approx n/a$	

La stima delle incertezze di misura è stata eseguita applicando gli algoritmi proposti da Agilent Technologies™. Per il calcolo è stato utilizzato il foglio di calcolo MS-Excel® fornito da Agilent Technologies™ stessa [1]. I parametri utilizzati nella stima dell’incertezza sono variati di volta in volta a seconda del valore letto, del tipo di calibrazione utilizzato ecc.

### 3. Attenuatore 1 dB “passante”: condizione $|s_{21}| \approx 1$



#### Legenda:

Traccia rossa fino 6 GHz:	8722D
Traccia blu superiore, fino a 3 GHz	8753C
Traccia verde fino 500 MHz:	8751

#### Fasce di incertezza, probabilità 95% :

$U(s_{21} \text{ 8722D})$ := +/- 0.08dB (relativa alla curva rossa fino 6.05 GHz)
$U(s_{21} \text{ 8753C})$ := +/- 0.40 dB (relativa alla curva blu fino a 3.0 GHz)
$U(s_{21} \text{ 8751})$ := +/- 0.40 dB (relativa alla curva verde fino a 500 MHz)

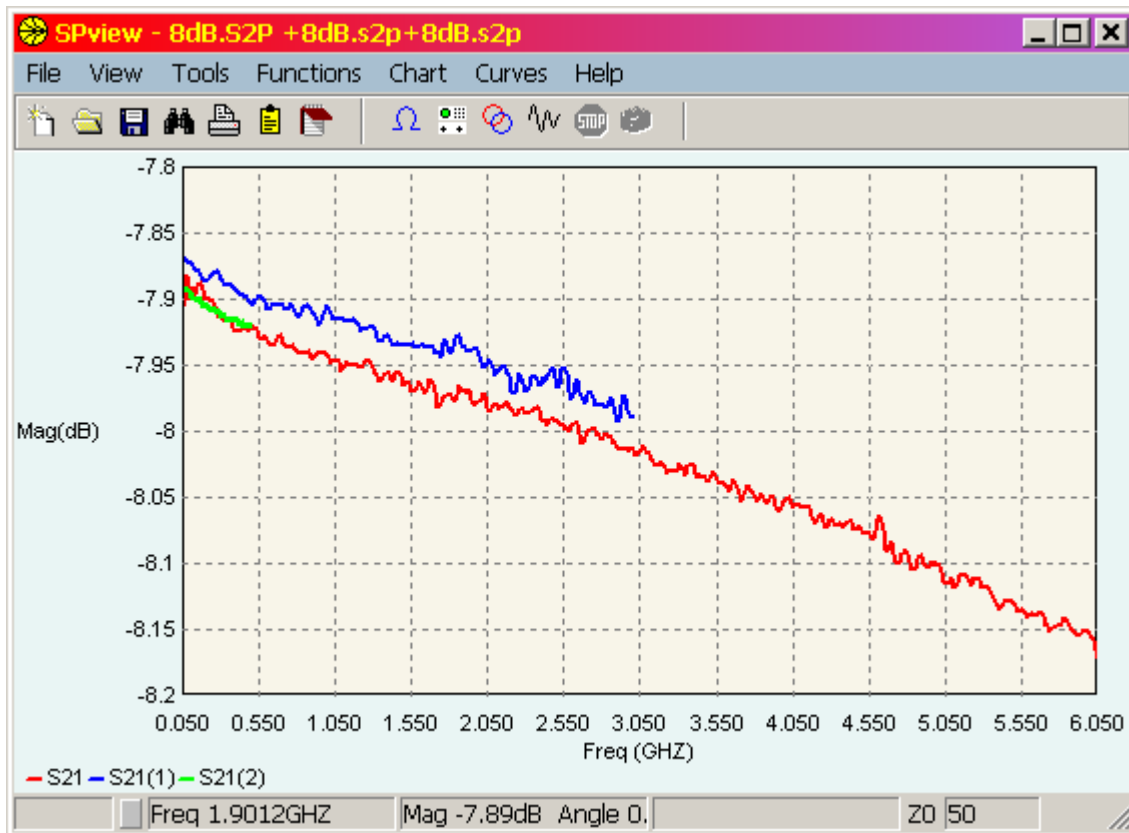
#### Discussione:

L'evidenza maggiore è che 8753 fornisce una lettura diversa dagli altri due misuratori.

Le fasce d'incertezza sono talmente capienti per cui le misure si debbono considerare uguali e generosamente contenute nelle fasce d'incertezza stesse.

Per quanto riguarda 8751, nonostante la fascia d'incertezza sia molto larga, la lettura copia, entro 0.01 dB la lettura del più accurato 8722D.

#### 4. Attenuatore 8 dB “passante”: condizione $|s_{21}| \approx 0$



#### Legenda:

Traccia rossa fino 6 GHz:	8722D
Traccia blu superiore, fino a 3 GHz	8753C
Traccia verde fino 500 MHz:	8751

#### Fasce di incertezza, probabilità 95% :

$U(s_{21} \text{ 8722D})$ := +/- 0.1dB (relativa alla curva rossa fino 6.05 GHz)
$U(s_{21} \text{ 8753C})$ := +/- 0.30 dB (relativa alla curva blu fino a 3.0 GHz)
$U(s_{21} \text{ 8751})$ := +/- 0.30 dB (relativa alla curva verde fino a 500 MHz)

#### Discussione:

Anche in questo caso, l'evidenza maggiore è lo scostamento della lettura dell'8753C dalle letture degli altri due strumenti, tale differenza è di soli 0.03 dB.

Le fasce d'incertezza sono talmente capienti per cui le misure si debbono considerare uguali e generosamente contenute nelle fasce d'incertezza stesse.

Per quanto riguarda 8751, nonostante la fascia d'incertezza sia molto larga, il dato letto copia, entro 0.01 dB quello osservato dal più accurato 8722D.

## 5. Attenuatore 1 dB “riflettente”: condizione $|s_{11}| \approx 1$



### Legenda:

Traccia rossa fino 6 GHz:	8722D
Traccia blu superiore, fino a 3 GHz	8753C
Traccia verde fino 500 MHz:	8751

### Fasce di incertezza, probabilità 95% :

$U(s_{11} \text{ 8722D}) := \pm 0.17 \text{ dB}$	(relativa alla curva rossa fino 6.05 GHz)
$U(s_{11} \text{ 8753C}) := \pm 0.25 \text{ dB}$	(relativa alla curva blu fino a 3.0 GHz)
$U(s_{11} \text{ 8751}) := \pm 0.20 \text{ dB}$	(relativa alla curva verde fino a 500 MHz)

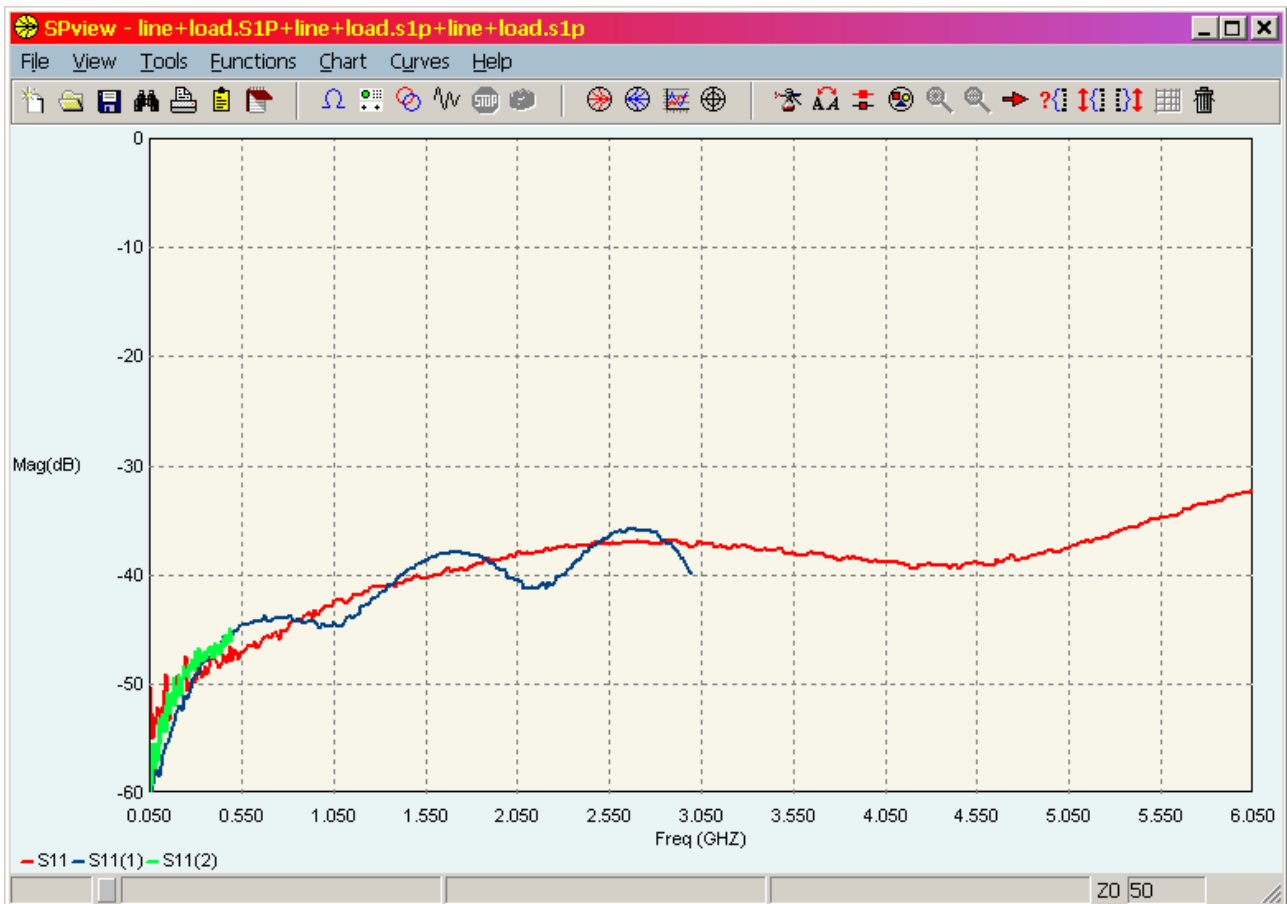
### Discussione:

Anche in questo caso, l'evidenza maggiore è lo scostamento della lettura dell'8753 dalle letture degli altri due strumenti, tale differenza è mediamente contenuta entro 0.1 dB nel 99% della banda dell'8753.

Le fasce d'incertezza sono talmente capienti per cui le misure si debbono considerare uguali e generosamente contenute nelle fasce d'incertezza stesse.

Per quanto riguarda 8751, nonostante la fascia d'incertezza sia molto larga, il dato letto copia, entro 0.01 dB quello osservato dal più accurato 8722D.

## 6. Carico adattato”: condizione $|s_{11}| \approx 0$



### Legenda:

Traccia rossa fino 6 GHz:	8722D
Traccia blu, fino a 3 GHz	8753C
Traccia verde fino 500 MHz:	8751

### Fasce di incertezza, probabilità 95% :

- $U(S_{11} \text{ 8722D}) := + 5/-10 \text{ dB}$  (relativa alla curva rossa fino 6.05 GHz)
- $U(S_{11} \text{ 8753C}) := + 5/-10 \text{ dB}$  (relativa alla curva blu fino a 3.0 GHz)
- $U(S_{11} \text{ 8751}) := + 5/-10 \text{ dB}$  (relativa alla curva verde fino a 500 MHz)

### Discussione:

Le letture osservate dai tre diversi strumenti si possono considerare uguali all'interno delle generose fasce d'incertezza.



**7. 8753C: Attenuatore 1 dB tipo N con uscita in cortocircuito:  
comparazione fra  $s_{11}$  misurato con corto "reale" vs  $s_{11}$  calcolato con corto virtuale**



**Legenda**

curva superiore, rosso: dato osservato con misura  $s_{11}$  e calibrato con full 2 port SOLT  
 curva blu inferiore: calcolato in base a parametri  $s$  letti da 8753C e simulando un corto circuito alla porta N°2 del DUT

**Fasce di incertezza, probabilità 95% :**

$U(s_{11}) := +/- 0.17$  dB (relativa alla curva rossa, superiore)

$U(s_{11}$  calcolato) : la determinazione dell'incertezza contempla una complicata analisi statistica "Montecarlo" che esula dagli scopi di codesto rapporto. Per una stima grossolana si prenda il valore +/- 0.17 dB.

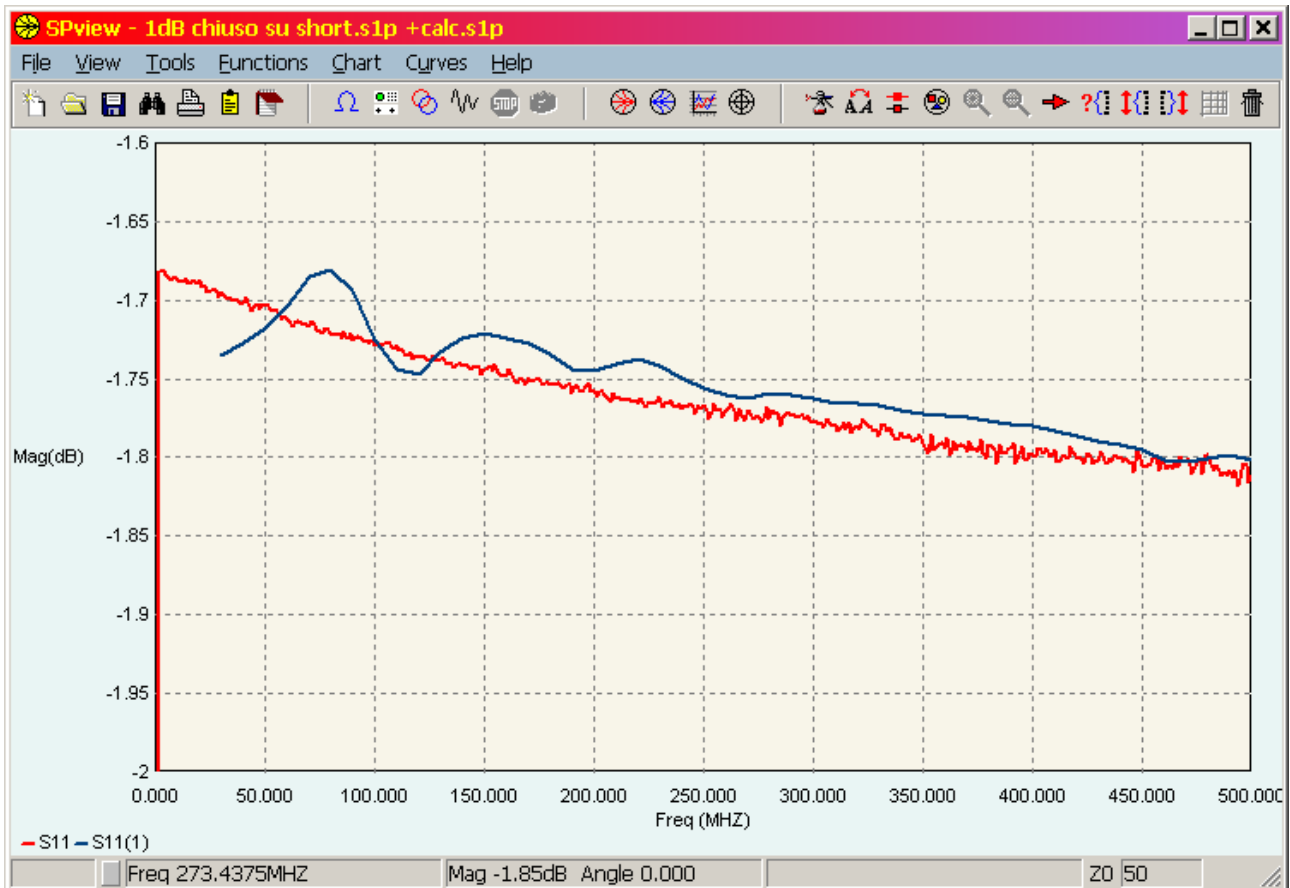
**Discussione:**

I dati osservati sono stati acquisito con strumenti che hanno lavorato in due diverse e "lontane" zone della Carta di Smith. Pertanto questo confronto è da considerarsi estremo.

Come per i precedenti confronti, si nota un certo scostamento fra i valori letti dall'8753C e dall'8722D.

Nonostante ciò le misure sono da considerarsi uguali all'interno delle fasce di incertezza.

**8. 8751: Attenuatore 1 dB tipo N con uscita in cortocircuito:  
comparazione fra  $s_{11}$  misurato con corto "reale" vs  $s_{11}$  calcolato con corto virtuale**



**Legenda**

curva rossa monotona: dato osservato con misura  $s_{11}$  e calibrato con full 2 port SOLT  
 curva blu, affetta da ripple inferiore: calcolato in base a parametri  $s$  letti da 8751 e simulando un corto circuito alla porta N°2 del DUT

**Fasce di incertezza, probabilità 95% :**

$U(S_{11}) := +/- 0.20$  dB (relativa alla curva rossa, superiore)

$U(S_{11}$  calcolato) : la determinazione dell'incertezza contempla una complicata analisi statistica "Montecarlo" che esula dagli scopi di codesto rapporto. Per una stima grossolana si prenda il valore +/- 0.20 dB.

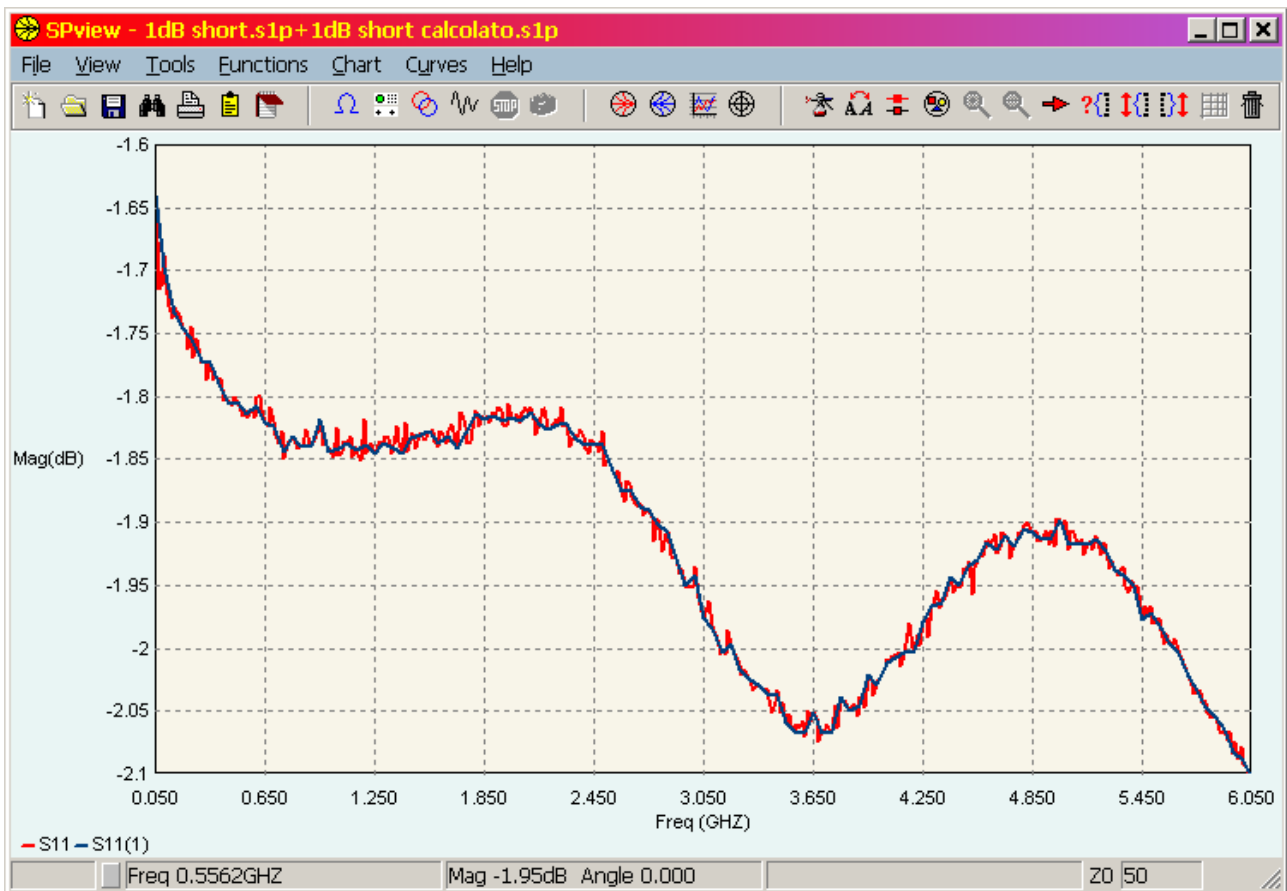
**Discussione:**

I dati osservati sono stati acquisito con strumenti che hanno lavorato in due diverse e "lontane" zone della Carta di Smith. Pertanto questo confronto è da considerarsi estremo.

Come per i precedenti confronti, si nota un certo scostamento fra i valori letti dall'8751 e dall'8722D.

Nonostante ciò le misure sono da considerarsi uguali all'interno delle fasce di incertezza.

## 9. 8722D: Attenuatore 1 dB tipo N con uscita in cortocircuito: comparazione fra $s_{11}$ misurato con corto "reale" vs $s_{11}$ calcolato con corto virtuale



### Legenda

curva rossa "rumorosa": dato osservato con misura  $s_{11}$  e calibrato con full 2 port SOLT  
curva blu, "smooth": calcolato in base a parametri  $s$  letti da 8722D e simulando un corto circuito alla porta N°2 del DUT

### Discussione:

I dati osservati sono stati acquisiti con strumenti che hanno lavorato in due diverse e "lontane" zone della Carta di Smith. Pertanto questo confronto è da considerarsi estremo.

Le curve sono da considerarsi uguali.

## 10. Conclusioni:

Il confronto fra dati letti provenienti da tre diversi VNA hanno mostrato accordo all'interno delle fasce d'incertezza.

Il confronto è stato eseguito con DUT diversi al fine di coprire il più possibile il piano complesso della Carta di Smith in modo tale da far emergere eventuali situazioni critiche.

Per il confronto si è utilizzato lo stesso Calibration Kit, ed i DUT non hanno connettori di precisione, pertanto si può parlare solamente di confronto fra dati osservati e non di confronto fra dati misurati. Infatti non vengono prese in considerazione l'incertezza di connessione e l'incertezza relativa al Calibration Kit; questo tipo di incertezze verrebbero invece considerate nei programmi di comparazione internazionali [4].

Si è dimostrato che per frequenze relativamente basse (es.  $< 500\text{MHz}$ ) una calibrazione semplice tale che corregga solamente 3 su 6 coefficienti d'errore di un percorso (source tracking, directivity, response,) è sufficientemente accurata. Le differenze sono largamente contenute entro la più bassa incertezza ottenibile cioè utilizzando calibrazioni full 2 port. Specificatamente tale semplice calibrazione è Ch1->s11, s11-1PORT. Ch2->s21, RESPONSE .

Il coefficiente d'errore "load match" è praticamente nullo in quanto la porta d'ingresso B del 8751 ha  $\Gamma_{IN} \approx -40 \text{ dB}$ . È bene però utilizzare un adeguato cavo di collegamento oppure un attenuatore a fra DUT e cavo.

## 11. Appendice

### Si può utilizzare un Cal Kit diverso da quello memorizzato nel VNA?

Non si può. Questa appendice analizza l'errore che si commetterebbe.

L'8751 ha un probabile "baco software" che non consente l'introduzione da tastiera dei parametri di un Calibration Kit definito dall'utente, mentre permette di selezionare fra una rosa proposta di Calibration Kit, fra i più popolari.

Il Calibration Kit in uso c/o il radiotelescopio di Medicina, valigetta 85032B (connettori N, Freq. max 6 GHz) non è contemplato, mentre è contemplato un generico Kit N con diversi coefficienti.

Lo scopo di questa appendice è dimostrare che il Cal Kit N proposto dall'8751 è compatibile con la valigetta 85032B nonostante i diversi coefficienti.

Il primo passo è prendere atto che i p/n dei singoli standard contenuti nei Cal Kit N, per frequenze inferiori a 6 GHz, sono sempre gli stessi in diverse valigette (le quali hanno nomi diversi). Pertanto i parametri intimi (Offset Loss, Offset Delay, C0, C1, C2...) non possono che essere uguali.

Il secondo passo è focalizzare l'attenzione sullo standard "open". Gli standard "open" vengono forniti dal produttore con un polinomio che determina la capacità di "fringing" al variare della frequenza.

Solitamente vengono forniti quattro coefficienti,

C0	C1	C2	C3
[ fF ]	[ fF * Hz <sup>-1</sup> ]	[ fF * Hz <sup>-2</sup> ]	[ fF * Hz <sup>-3</sup> ]

Mentre invece l'8751 accetta solamente i coeff. C0, C1, C2.

Si è condotto uno studio per determinare quale errore si commette trascurando il coeff. C3.

Il risultato è il seguente:

Il coeff. C0 è sempre dominante sugli altri.

Per frequenze inferiori a 1 GHz, i coeff. C1, C2, C3 sono praticamente ininfluenti.

Lo standard "open" della valigetta 85032B ha un C0=108 fF mentre i dati del kit inserito nel 8751 prevedono C0=120 fF. Tale differenza se non corretta produce un errore di 1° alla frequenza di 500 MHz.

Si può pertanto affermare che è possibile prescindere dal memorizzare nel 8751 i coefficienti della valigetta 85032 (Cal Kit N) è però necessario ricordarsi di utilizzare i coefficienti del Cal Kit N già pre-impostati.

## **12. Riferimenti**

- [1] *Agilent Technologies*<sup>TM</sup> Foglio elettronico MS-Excel<sup>®</sup> UncertTest VNA.xls
- [2] SPView<sup>®</sup> 1.42 - Eseguitibile per trattare e visualizzare parametri s
- [3] *AWR*<sup>TM</sup> - Microwave Office<sup>®</sup> ver. 5.5
- [4] *IEEE - ARFTG* - [http://www.arftg.org/Meas\\_Compare\\_Pgm/Measurement\\_Comparison\\_Program.html](http://www.arftg.org/Meas_Compare_Pgm/Measurement_Comparison_Program.html)