



ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA METROLOGICA Repository Istituzionale

ILC EM-RF01/2021 Parametri "S" in connessione N 100 kHz - 18 GHz Rapporto finale

Original

ILC EM-RF01/2021 Parametri "S" in connessione N 100 kHz - 18 GHz Rapporto finale / Terzi, P.; Oberto, L.
- (2024).

Availability:

This version is available at: 11696/80141 since: 2024-03-04T15:39:27Z

Publisher:

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

P. Terzi, L. Oberto

ILC EM-RF01/2021
Parametri “S” in connessione N
100 kHz - 18 GHz
Rapporto finale

R.T. n. 6/2024

Marzo 2024

Riassunto

Questo rapporto tecnico presenta i risultati finali di un Confronto Interlaboratorio nell'Area Metrologica Elettricità e Magnetismo – Grandezza: Parametri di Scattering (Parametri "S") ovvero Coefficiente di Riflessione e Coefficiente di Trasmissione/Attenuazione a radiofrequenza in linea coassiale con connettori di tipo "N" nel campo di frequenza da 100 kHz a 18 GHz, codice Identificativo ILC: EM-RF01/2021.

Si tratta di un confronto nazionale di misura (ILC) in accordo con la norma EN ISO/IEC 17043:2010, effettuato nell'anno 2021 e destinato a quattro Laboratori nazionali accreditati, due dei quali hanno sottoposto al confronto due sistemi di misura diversi, per un totale di sei confronti effettivi.

Abstract

This technical report outlines the conclusive findings from an Interlaboratory Comparison within the Electricity and Magnetism Metrological Area. The focus was on Scattering Parameters ("S" Parameters), encompassing Reflection Coefficient and Radio Frequency Transmission/Attenuation Coefficient, measured in coaxial lines with "N" type connectors across the frequency spectrum of 100 kHz to 18 GHz. The assigned ILC identification code is EM-RF01/2021.

Conducted in 2021, this national measurement comparison (ILC) adheres to the EN ISO/IEC 17043:2010 standard. It involved four accredited national laboratories, two of which submitted two distinct measurement systems for comparison, resulting in a total of six actual comparisons.

Sommario

1. Scopo	4
2. Informazioni generali	4
3. Valori di Riferimento	8
4. Problemi durante il confronto	10
5. Esecuzione dell'attività e risultati dei Laboratori partecipanti	10
6. Valutazione dei risultati	11
7. Conclusioni	24
8. Riferimenti	24

1. Scopo

I Confronti Interlaboratorio (ILC) sono lo strumento più diffuso per confrontare i risultati delle misurazioni effettuate da laboratori di taratura accreditati e/o non accreditati nel loro settore pertinente di misura. Essi possono costituire un mezzo molto efficace per accertare la competenza tecnica dei partecipanti, anche ai fini di un eventuale accreditamento formale; infine, sono elemento importante anche per monitorare la qualità dei risultati di taratura, ai sensi della norma ISO/IEC 17025:2018, p. 5.9 [1]. Lo scopo di questi confronti è stabilire la capacità di misura di ciascun Laboratorio partecipante.

Questo rapporto presenta i risultati del confronto interlaboratorio EM-RF01/2021 nell'Area Metrologica Elettricità e Magnetismo – Grandezza: Parametri di Scattering (Parametri "S") ovvero Coefficiente di Riflessione e Coefficiente di Trasmissione/Attenuazione a radiofrequenza in linea coassiale con connettori di tipo "N" nel campo di frequenza da 100 kHz a 18 GHz. Si tratta di un confronto nazionale di misura (ILC) in accordo con norma EN ISO/IEC 17043:2010 [2], effettuato nell'anno 2021 e destinato a quattro Laboratori nazionali accreditati, due dei quali hanno sottoposto al confronto due sistemi di misura diversi, per un totale di sei confronti effettivi.

L'INRIM e i Laboratori hanno misurato sei campioni viaggiatori: un attenuatore da 10 dB, un attenuatore da 40 dB, due carichi adattati (m-f) e due carichi disadattati (m-f), in connessione di tipo N nel campo di frequenza da 100 kHz a 18 GHz.

Vengono, in particolare, presentati i valori di riferimento del confronto ed il grado di equivalenza di ciascun Laboratorio rispetto ad essi insieme al metodo di calcolo utilizzato per l'analisi. I risultati del confronto sono stati valutati utilizzando l'errore normalizzato En definito dal rapporto tra la differenza del valore di riferimento e il valore misurato dal Laboratorio partecipante e l'incertezza estesa di tale differenza (cap.6).

I risultati sono da ritenersi soddisfacenti se l'indicatore $|En| \leq 1$.

2. Informazioni generali

2.1 Organizzazione

L'ILC è stato organizzato dall'INRIM – Divisione Metrologia Quantistica e Nanotecnologie, Strada delle Cacce, 91 - 10135 TORINO (ILC Provider).

L'esigenza di tale ILC è nata da quattro Laboratori operanti in Italia e accreditati (Centri ACCREDIA) per le grandezze in questione, allo scopo di espletare le pratiche di rinnovo dell'accreditamento e, in alcuni casi, di verificare la validità di nuovi banchi di misura non ancora accreditati.

L'ILC si è svolto nel periodo da giugno ad ottobre 2021 con un unico loop, adottando lo schema sequenziale secondo il calendario predisposto e descritto nel protocollo tecnico [3].

Le date ufficiali riguardanti l'ILC sono le seguenti:

Invito di partecipazione	23-02-2021
Taratura di andata INRIM	15-06-2021
Invio protocollo tecnico ai Laboratori	17-06-2021
Taratura Laboratori	dal 02-07-2021 al 14-09-2021
Ricevimento Rapporti dai Laboratori	dal 17-07-2021 al 04-10-2021
Taratura di ritorno INRIM	20-10-2021
Completamento delle Relazioni finali	dal 06-12-2021 al 04-07-2022

2.2 ILC Provider

Come detto precedentemente, l'ILC è stato organizzato dall'INRIM – Divisione Metrologia Quantistica e Nanotecnologie, Strada delle Cacce, 91 - 10135 TORINO.

La competenza dell'INRIM è ampiamente dimostrata dal ruolo esercitato di Istituto Metrologico Nazionale, dall'autorevolezza scientifica e tecnica riconosciutagli in ambito internazionale, dalla importante attività svolta a vantaggio dello sviluppo e della promozione delle conoscenze nell'ambito della metrologia e della scienza delle misure, dalla gestione di importanti e numerosi confronti di misura inter-laboratorio chiave, supplementari, bilaterali svolti in numerosi ambiti scientifici, a livello europeo e mondiale. Per la grandezza Parametri "S", di seguito vengono indicati i confronti di misura internazionali sostenuti nel campo di misura dell'ILC.

TYPE OF ILC/PT	INSTRUMENT TYPE / FIELD	COMPARISON SUPPORTING THIS MEASUREMENT*
CIPM Key Comparison	Misura dei parametri "S" di attenuatori, adapter, carichi adattati e non, in linea coassiale connettori "3.5mm" nel campo di frequenza 100MHz-33GHz.	CCEM.RF-K5c.CL (in corso) INRIM RT 6/2015 febbraio 2015
CIPM Key Comparison	Misura dei parametri "S" di attenuatori, carichi riflettenti e non, in linea coassiale connettori "N" nel campo di frequenza 2GHz-18GHz.	CCEM.RF-K5b.CL * maggio 2010
CIPM Key Comparison	Misura di Attenuazione tramite due attenuatori variabili con connettori "N" nel campo di frequenza 60MHz-5GHz.	CCEM.RF-K19.CL * gennaio 2009
EUROMET Comparison	Misura dei parametri "S" su tre attenuatori, due carichi adattati e due carichi disadattati in linea coassiale da "2.4mm" nel campo di frequenza 45MHz-50GHz.	EUROMET.EM.RF-S16 * novembre 2004

Contatti:

NOME E COGNOME	TELEFONO	E-MAIL
Paolo Terzi	Tel. 011 3919321	p.terzi@inrim.it
Luca Oberto	Tel. 011 3919327	l.oberto@inrim.it

2.3 Laboratori Partecipanti

Come detto in precedenza i quattro Laboratori partecipanti e operanti in Italia, sono Centri accreditati da ACCREDIA per le grandezze in questione. La loro partecipazione a questo ILC è risultata necessaria per espletare le pratiche di rinnovo dell'accREDITAMENTO e, in alcuni casi, per verificare la validità di nuovi banchi di misura non ancora accreditati.

Nella Tabella 1 sono raccolti sinteticamente i dati tecnici delle misurazioni effettuate dai Laboratori. Questi ultimi sono indicati in modo anonimo con una sigla che viene esplicitata nel documento R.T. 7/2024 [4].

Lab.	Sistema di misura	Stato accreditamento (ACCREDIA)	Campioni viaggiatori misurati	Coeff. di Rifless.	Coeff. di Trasmis. / Atten.	Campo di Frequenza	Correlazione con misure INRIM
L1a	VNA	SI	Tutti	SI	SI	da 50 MHz a 18 GHz	NO
L1b	VNA	NO	Tutti	SI	SI	da 100 kHz a 18 GHz	NO
L2a	Sistema 1 non dichiarato	SI	Attenuatore da 10 dB	NO	SI solo S_{12}	da 50 MHz a 18 GHz	SI
L2b	Sistema 2 non dichiarato	SI	Attenuatori da 10 dB e 40 dB	NO	SI solo S_{12}	da 50 MHz a 18 GHz	SI
L3	VNA	SI	Tutti	SI	SI	da 100 kHz a 4 GHz	NO
L4	VNA	SI	Tutti	SI	SI	da 100 kHz a 18 GHz	NO SI, solo per Att. 40dB

Tabella 1: dati tecnici dei laboratori partecipanti

2.4 Campioni viaggiatori

I campioni viaggiatori utilizzati, in tipologia di connessione “N”, sono i seguenti:

- attenuatori Keysight 8491B-10dB sn.MY39269510 e 8491B-40dB sn.MY39269479 (Fig.1);
- carichi adattati (50Ω) Maury 2510E2 sn.CN98 (f) e 2510F2 sn.CS58 (m) (Fig.2);
- carichi disadattati Maury 2561G sn.8692 (f) e 2562G sn.8690 (m) (Fig.3).



Fig. 1: Attenuatori



Fig. 2: Carichi adattati (50Ω)



Fig. 3: Carichi disadattati

La riferibilità delle misure effettuate dall'INRIM sui campioni viaggiatori del presente ILC, è garantita dall'applicazione della Procedura Tecnica INRIM PT-EM.11.3-06 rev.07, validata dal Sistema Qualità INRIM e che è in accordo con la norma ISO/IEC 17025:2018 e con il documento ILAC-P10:2013 par.2, punto 1) [5], nonché dalle Calibration and Measurement Capabilities (CMC) depositate presso il BIPM KCDB (Bureau International des Poids et Mesures Key Comparison Database, <https://www.bipm.org/kcdb/>) approvate in accordo con il CIPM (International Committee for Weights and Measures) Mutual Recognition Arrangement, CIPM MRA:2003 [6] e dalla partecipazione dell'INRIM ai cicli internazionali di misura (Key Comparison) elencati al par. 2.2.

La gestione della strumentazione è avvenuta seguendo il protocollo ILC predisposto [6]. La strumentazione è stata trasferita tra i Laboratori e l'INRIM mediante corriere o trasporto a cura del personale dei Laboratori medesimi, utilizzando un imballo idoneo (Fig.4).



Fig. 4

Al ricevimento da parte di ciascun laboratorio e prima del successivo trasferimento sono stati effettuati i controlli stabiliti nel protocollo. Al termine delle misurazioni, ogni

Laboratorio partecipante ha inviato la strumentazione al successivo partecipante, o al Laboratorio fornitore delle misure di riferimento.

Non si sono verificati eventi che hanno condizionato e influito sull'ILC e/o sui risultati ottenuti dai partecipanti.

2.5 Grandezze misurate

Le grandezze oggetto di questo confronto sono:

- Coefficiente di Riflessione, espresso in forma di Modulo Lineare;
- Coefficiente di Trasmissione/Attenuazione, espresso in forma di Modulo Logaritmico.

Il protocollo prevedeva la taratura dei Campioni viaggiatori alle seguenti frequenze: 9 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz, 50 MHz, 1 GHz, 4 GHz, 6 GHz, 8 GHz, 10 GHz, 12 GHz, 15 GHz, e 18 GHz. L'esecuzione dell'attività da parte dei Laboratori partecipanti è avvenuta secondo le istruzioni riportate nel protocollo ILC con alcune limitazioni legate alle rispettive Capacità Metrologiche dichiarate (vedi Tabella 1) e alle proprie Procedure Tecniche. In questo Rapporto Tecnico verranno esaminati i punti di frequenza che coinvolgono pienamente o solo in parte, i Laboratori partecipanti.

3. Valori di Riferimento

Il laboratorio che ha fornito le misure di riferimento è:

INRIM – Divisione Metrologia Quantistica e Nanotecnologie
Laboratorio di Metrologia a Radiofrequenza e Microonde
Strada delle Cacce, 91
10135 Torino (TO) – ITALIA

La taratura di riferimento dei campioni viaggiatori è stata effettuata dall'INRIM applicando la Procedura Tecnica INRIM PT-EM.11.3-06 rev.07 ed utilizzando il programma di acquisizione ed elaborazione automatica dei dati "VNATools II" [7]. Il "VNATools II" è un programma prodotto dal METAS (NMI Svizzero), che implementa un modello di calcolo delle correzioni degli errori residui del sistema indipendente rispetto a quello fornito dal costruttore dello strumento. Inoltre, il calcolo delle incertezze di misura è eseguito utilizzando un modello che è in accordo con il documento "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (GUM) [8], [9]. Le tarature sono state effettuate applicando la tecnica della misura diretta dei Parametri S con Analizzatore di Reti Vettoriale (VNA), connettendo le porte femmina dei campioni viaggiatori dalla parte di Port1 del VNA e le porte maschio dalla parte di Port2 del VNA.

La riferibilità delle misure effettuate discende dal certificato di taratura VSL N. E1864520 del 2020-08-03, relativo al Calibration Kit INRIM, "N_UserCal". Quale valore di riferimento e relativa incertezza per tutti i punti di misura previsti dal protocollo ILC è stato considerato il valore di misura fornito dall'INRIM come media dei valori di andata e ritorno. I risultati di misura dell'INRIM sono riportati nei certificati di andata n.21-0737-01 e n.21-0737-02 emessi il 2021-10-04 e di ritorno n.21-0836-01 e n.21-0836-02 emessi il 2021-10-25. I valori della media dei dati presenti nei suddetti Certificati di Taratura e delle loro incertezze estese (U), sono riportati nelle seguenti tabelle 2–7. La deriva dei campioni è stata verificata tramite l'analisi delle misure di andata e ritorno eseguite dall'INRIM.

Attenuatore Keysight 8491B-10dB n. MY39269510 (connettore femmina in Port1 del VNA)

Freq. (MHz)	$ S_{11} $ (lin.)	$U_{ S_{11} }$ (lin.)	$ S_{21} $ (dB)	$U_{ S_{21} }$ (dB)	$ S_{12} $ (dB)	$U_{ S_{12} }$ (dB)	$ S_{22} $ (lin.)	$U_{ S_{22} }$ (lin.)
0,1	0,0020	0,0050	9,990	0,100	9,990	0,100	0,0050	0,0050
1	0,0020	0,0050	9,990	0,100	9,980	0,100	0,0050	0,0050
10	0,0020	0,0050	9,990	0,100	9,990	0,100	0,0050	0,0050
50	0,0020	0,0040	9,990	0,030	9,990	0,030	0,0050	0,0040
1000	0,0075	0,0040	10,025	0,031	10,025	0,031	0,0090	0,0040
4000	0,0080	0,0060	10,080	0,070	10,085	0,070	0,0230	0,0060
6000	0,0255	0,0060	10,095	0,070	10,095	0,070	0,0290	0,0060
8000	0,0325	0,0060	10,095	0,070	10,095	0,070	0,0365	0,0060
10000	0,0150	0,0060	10,080	0,090	10,080	0,090	0,0160	0,0061
12000	0,0160	0,0060	10,070	0,090	10,070	0,090	0,0280	0,0060
15000	0,0620	0,0060	10,025	0,090	10,025	0,090	0,0155	0,0060
18000	0,0500	0,0060	9,930	0,090	9,930	0,090	0,0890	0,0070

Tabella 2

Attenuatore Keysight 8491B-40dB n. MY39269479 (connettore femmina in Port1 del VNA)

Freq. (MHz)	$ S_{11} $ (lin.)	$U_{ S_{11} }$ (lin.)	$ S_{21} $ (dB)	$U_{ S_{21} }$ (dB)	$ S_{12} $ (dB)	$U_{ S_{12} }$ (dB)	$ S_{22} $ (lin.)	$U_{ S_{22} }$ (lin.)
0,1	0,0030	0,0050	39,855	0,150	39,860	0,150	0,0025	0,0050
1	0,0030	0,0050	39,855	0,150	39,850	0,150	0,0030	0,0050
10	0,0030	0,0050	39,860	0,150	39,860	0,150	0,0030	0,0050
50	0,0030	0,0040	39,870	0,090	39,860	0,090	0,0025	0,0040
1000	0,0020	0,0040	39,895	0,090	39,900	0,090	0,0050	0,0040
4000	0,0090	0,0060	40,030	0,080	40,030	0,080	0,0150	0,0060
6000	0,0060	0,0060	40,110	0,070	40,110	0,070	0,0220	0,0060
8000	0,0170	0,0060	40,200	0,070	40,210	0,070	0,0325	0,0060
10000	0,0250	0,0060	40,305	0,100	40,310	0,100	0,0420	0,0061
12000	0,0265	0,0060	40,360	0,090	40,365	0,090	0,0225	0,0060
15000	0,0405	0,0060	40,255	0,090	40,260	0,090	0,0310	0,0060
18000	0,0230	0,0060	40,500	0,100	40,500	0,100	0,0995	0,0070

Tabella 3

Carico adattato Maury 2510E2 sn.CN98 (f)

Freq. (MHz)	$ S_{11} $ (lin.)	$U_{ S_{11} }$ (lin.)
0,1	0,0030	0,0050
1	0,0030	0,0050
10	0,0030	0,0050
50	0,0030	0,0040
1000	0,0035	0,0040
4000	0,0035	0,0060
6000	0,0040	0,0060
8000	0,0060	0,0060
10000	0,0035	0,0060
12000	0,0140	0,0060
15000	0,0205	0,0060
18000	0,0270	0,0060

Tabella 4

Carico adattato Maury 2510F2 sn.CS58 (m)

Freq. (MHz)	$ S_{22} $ (lin.)	$U_{ S_{22} }$ (lin.)
0,1	0,0010	0,0050
1	0,0010	0,0050
10	0,0010	0,0050
50	0,0010	0,0040
1000	0,0030	0,0040
4000	0,0070	0,0060
6000	0,0035	0,0060
8000	0,0110	0,0060
10000	0,0150	0,0060
12000	0,0180	0,0060
15000	0,0120	0,0060
18000	0,0230	0,0061

Tabella 5

Carico disadattato Maury 2561G sn.8692 (f)

Freq. (MHz)	$ S_{11} $ (lin.)	$U_{ S_{11} }$ (lin.)
0,1	0,3330	0,0080
1	0,3330	0,0080
10	0,3330	0,0080
50	0,3325	0,0040
1000	0,3300	0,0040
4000	0,3280	0,0080
6000	0,3415	0,0080
8000	0,3415	0,0080
10000	0,3520	0,0080
12000	0,3310	0,0080
15000	0,3395	0,0080
18000	0,2905	0,0080

Tabella 6

Carico disadattato Maury 2562G sn.8690 (m)

Freq. (MHz)	$ S_{22} $ (lin.)	$U_{ S_{22} }$ (lin.)
0,1	0,3330	0,0080
1	0,3330	0,0080
10	0,3330	0,0080
50	0,3320	0,0040
1000	0,3295	0,0040
4000	0,3240	0,0080
6000	0,3270	0,0080
8000	0,3250	0,0081
10000	0,3190	0,0081
12000	0,3130	0,0083
15000	0,3075	0,0085
18000	0,3105	0,0090

Tabella 7

4. Problemi durante il confronto

Non si sono verificati eventi che hanno condizionato e influito sull'ILC e/o sui risultati ottenuti dai partecipanti.

5. Esecuzione dell'attività e risultati dei Laboratori partecipanti

Tutti i laboratori che hanno utilizzato il sistema di misura diretta dei Parametri S tramite VNA (Analizzatore di Reti Vettoriale) hanno connesso la porta femmina dei campioni viaggiatori al Port 1 del VNA e la porta maschio al Port 2 del VNA.

Il Laboratorio L2 che ha usato due sistemi di misura (L2a e L2b), diversi dal sistema basato su VNA, ha considerato la porta maschio degli attenuatori come porta d'ingresso della Potenza RF. In questo caso, quale valore di riferimento del Coefficiente di Trasmissione/Attenuazione, è stato utilizzato il parametro $|S_{12}|$.

A pagina 4 del documento R.T. 7/2024 [4], sono riportate le seguenti informazioni:

- Denominazione sociale dei Laboratori;
- Periodo dell'attività di taratura dei campioni viaggiatori;
- Identificativo dei Certificati o Rapporti di Taratura emessi;
- Risultati di misura di ciascun laboratorio e relativi errori normalizzati

6. Valutazione dei risultati

La valutazione dei risultati prodotti dall'INRIM e dal Laboratorio partecipante è stata eseguita mediante la determinazione dell'errore normalizzato En , definito secondo la norma EN ISO/IEC 17043 [2] e tenendo conto dell'eventualità che i campioni di 1^a linea del Laboratorio fossero stati tarati presso lo stesso laboratorio che ha fornito le misure di riferimento introducendo un contributo di correlazione. Pertanto, i dati relativi a ciascun punto di misura sono stati elaborati nel modo descritto di seguito.

Per ogni punto di misura è stato considerato come misurando il Coefficiente di Trasmissione (CT) o il Coefficiente di Riflessione (CR): i valori di taratura dell'INRIM e del Laboratorio sono stati definiti rispettivamente come:

$$CT_I (CR_I) \pm U_I \quad (1)$$

$$CT_L (CR_L) \pm U_L \quad (2)$$

dove CT_I e CR_I sono le medie dei valori dei Coefficienti di Trasmissione e di Riflessione determinati dall'INRIM nelle misure di andata e ritorno; U_I è l'incertezza estesa propagata a partire da quelle dichiarate nelle tarature di andata e di ritorno. CT_L e CR_L sono i valori dei Coefficienti di Trasmissione e di Riflessione determinati dal Laboratorio; U_L è l'incertezza estesa dichiarata, come riportati nei rispettivi Certificati di Taratura.

Da U_L e U_I sono state determinate le incertezze tipo $u_I \cong \frac{1}{2} U_I$, e $u_L \cong \frac{1}{2} U_L$.

È stato definito quindi un nuovo misurando per ogni punto di misura oggetto del confronto:

$$y = E_L - E_I \quad (3)$$

dove $E_L = CT_L(CR_L)$ e $E_I = CT_I(CR_I)$ e la cui incertezza tipo è:

$$u^2(y) = u^2(E_L) + u^2(E_I) - 2u(E_L)u(E_I)r(E_L, E_I) \quad (4)$$

dove $r(E_L, E_I)$ rappresenta il coefficiente di correlazione fra le misure del Laboratorio e quelle dell'INRIM. Tale coefficiente r , assumerà valore 1 per i laboratori che hanno fatto tarare la propria strumentazione di riferimento presso l'INRIM e valore 0 (correlazione nulla) per i laboratori che hanno fatto tarare la propria strumentazione di riferimento presso altri NMI o altri Laboratori accreditati.

Infine, per ogni punto di misura è stato calcolato l'errore normalizzato En come:

$$En = y / U_y \quad (5)$$

dove

$$U_y = 2u(y) = 2\sqrt{u^2(E_L) + u^2(E_I) - 2u(E_L)u(E_I)r(E_L, E_I)} \quad (6)$$

per un livello di fiducia del 95 %.

I risultati ottenuti dai laboratori partecipanti si ritengono soddisfacenti se $|En| \leq 1$, per ogni valore di misura.

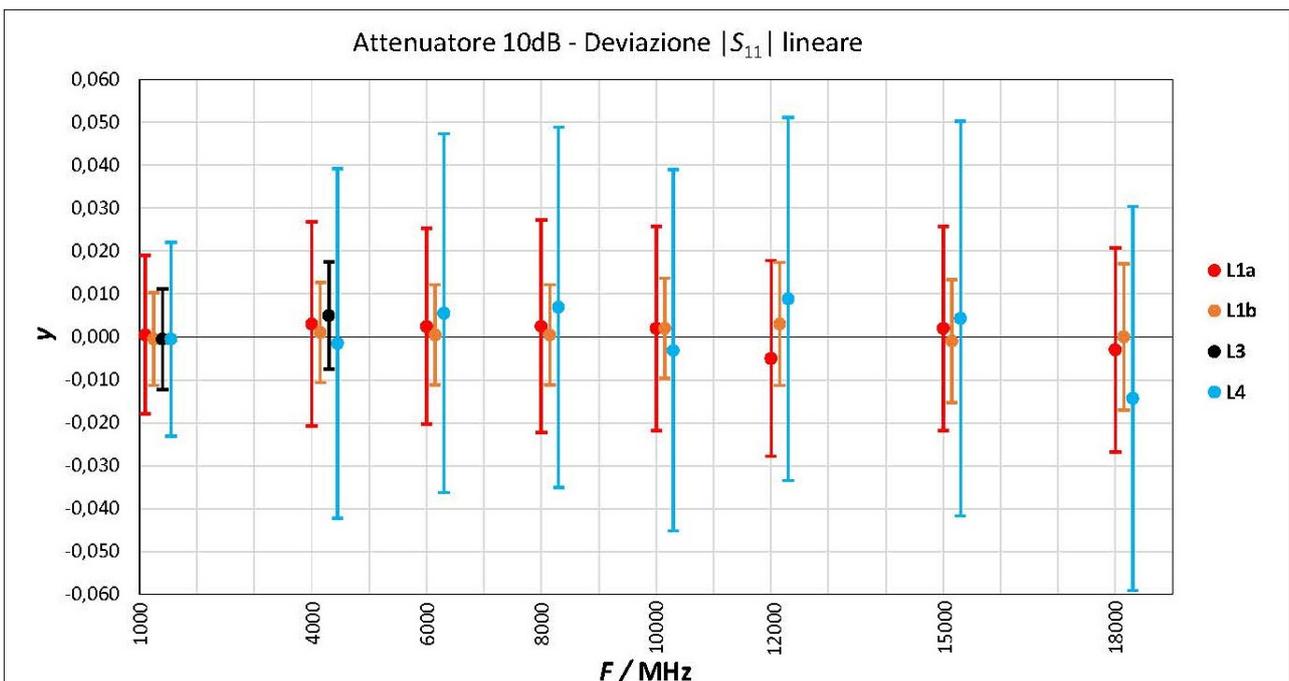
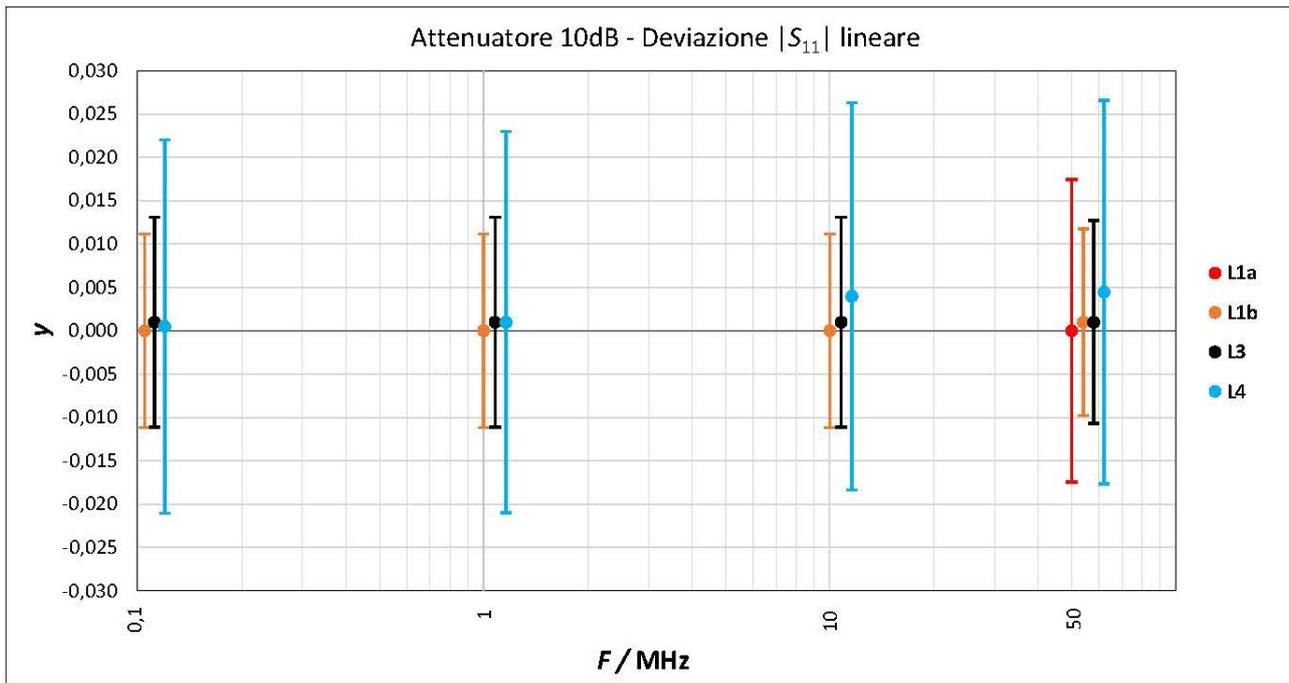
In base all'analisi precedente, i risultati dell'ILC sono stati sintetizzati nei grafici presenti nei successivi paragrafi da 6.1 a 6.6. Essi riportano sulle ordinate i valori della deviazione tra le misure fatte dai Laboratori e i valori di riferimento dell'ILC Provider, come descritti al cap.3 e dall'equazione (3); sulle ascisse i punti di frequenza. Le barre di errore rappresentano l'incertezza estesa della deviazione U_Y (6).

Per migliorare la lettura dei grafici si è provveduto a distanziare tra loro i valori di misura dei Laboratori per lo stesso punto di frequenza.

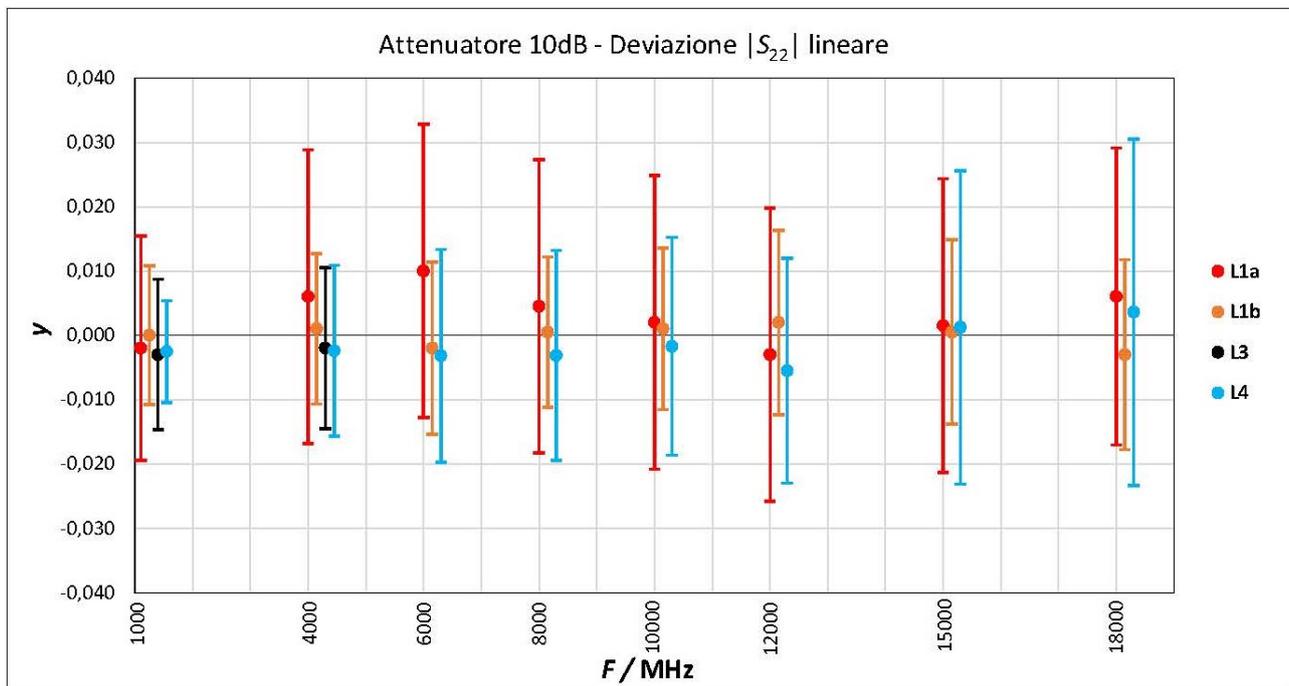
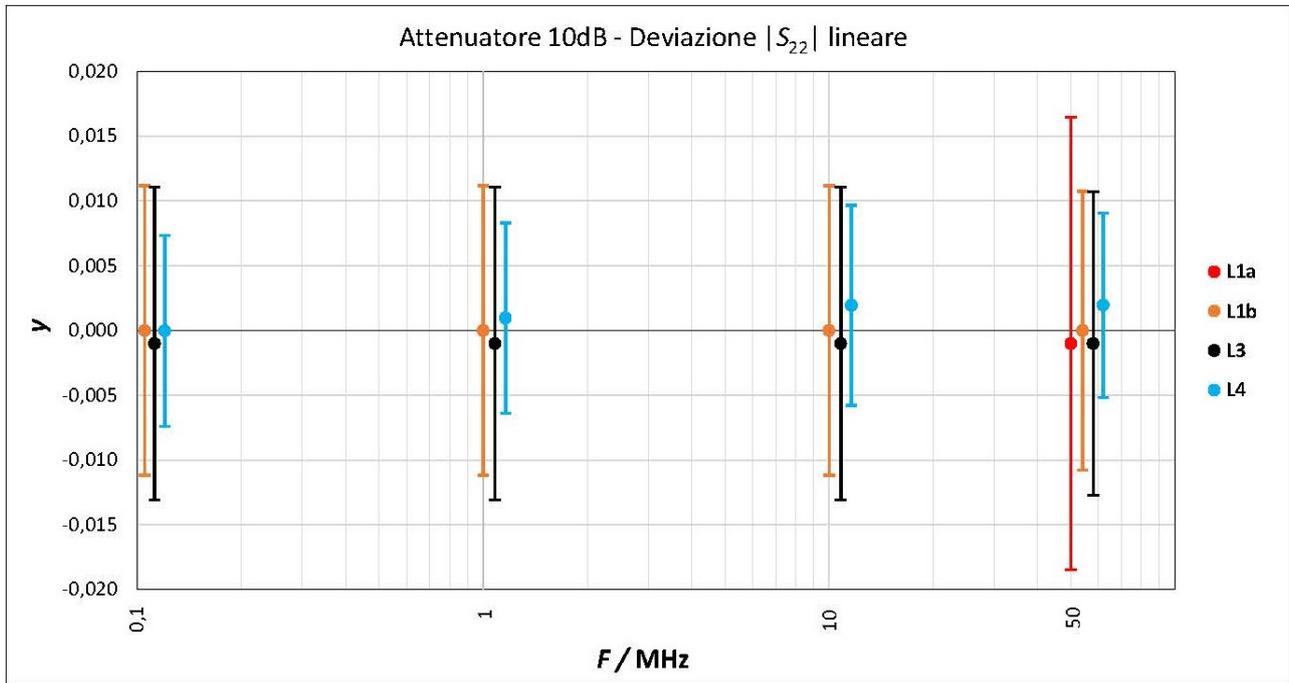
Tutte le misure dell'ILC Provider, dei Laboratori partecipanti e i relativi calcoli degli errori normalizzati (En), sono raccolti nelle tabelle del documento R.T. 7/2024 [4] (da pag.5 a pag.19).

6.1 Attenuatore 10 dB Keysight 8491B-10dB sn.MY39269510

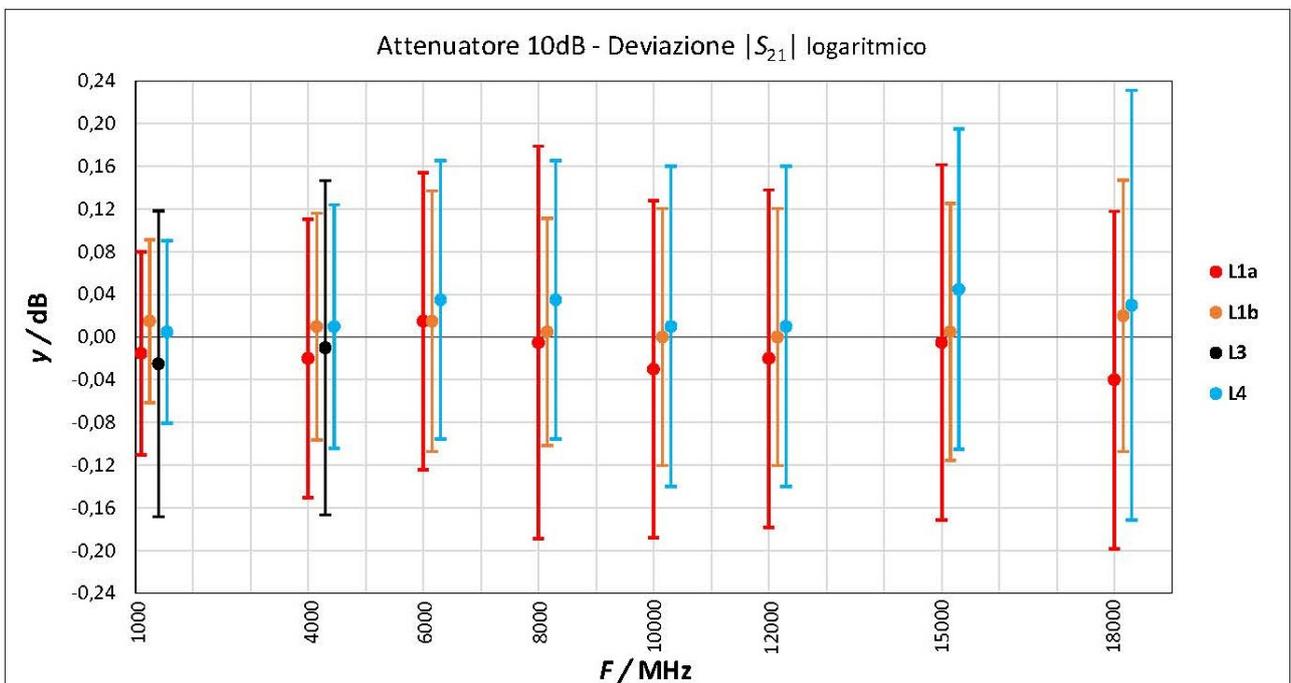
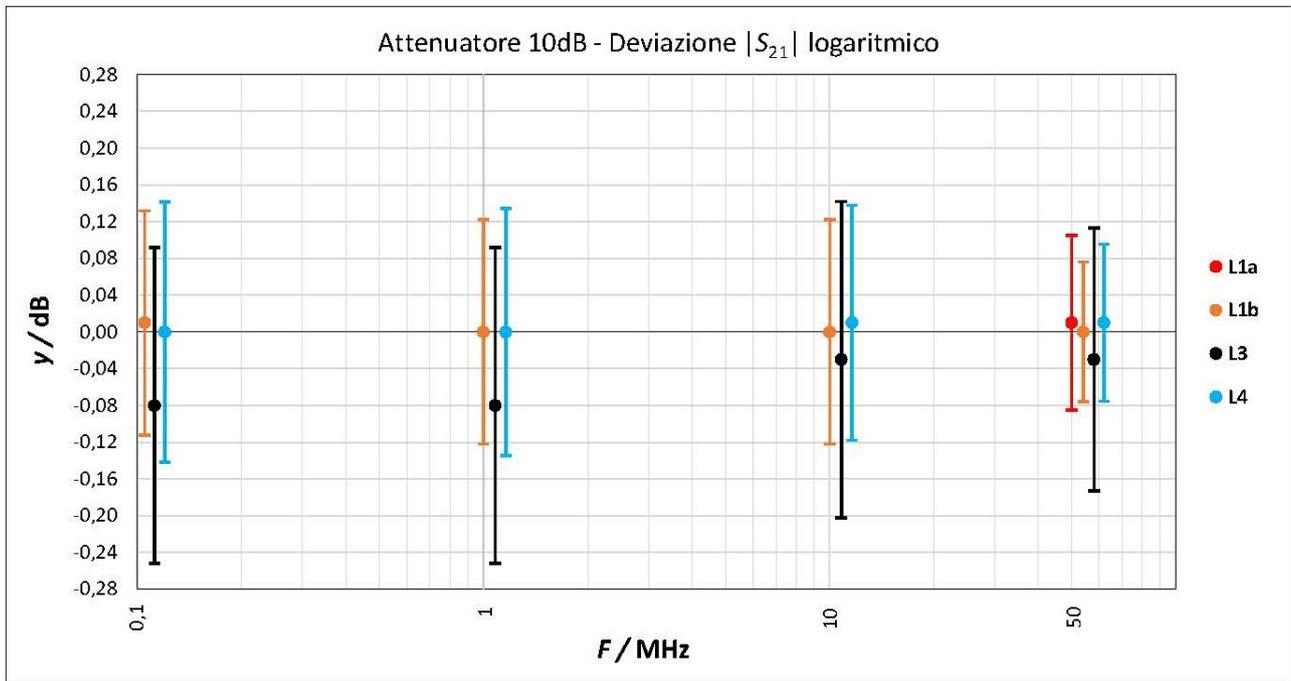
6.1.1 Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{11}|$ lineare



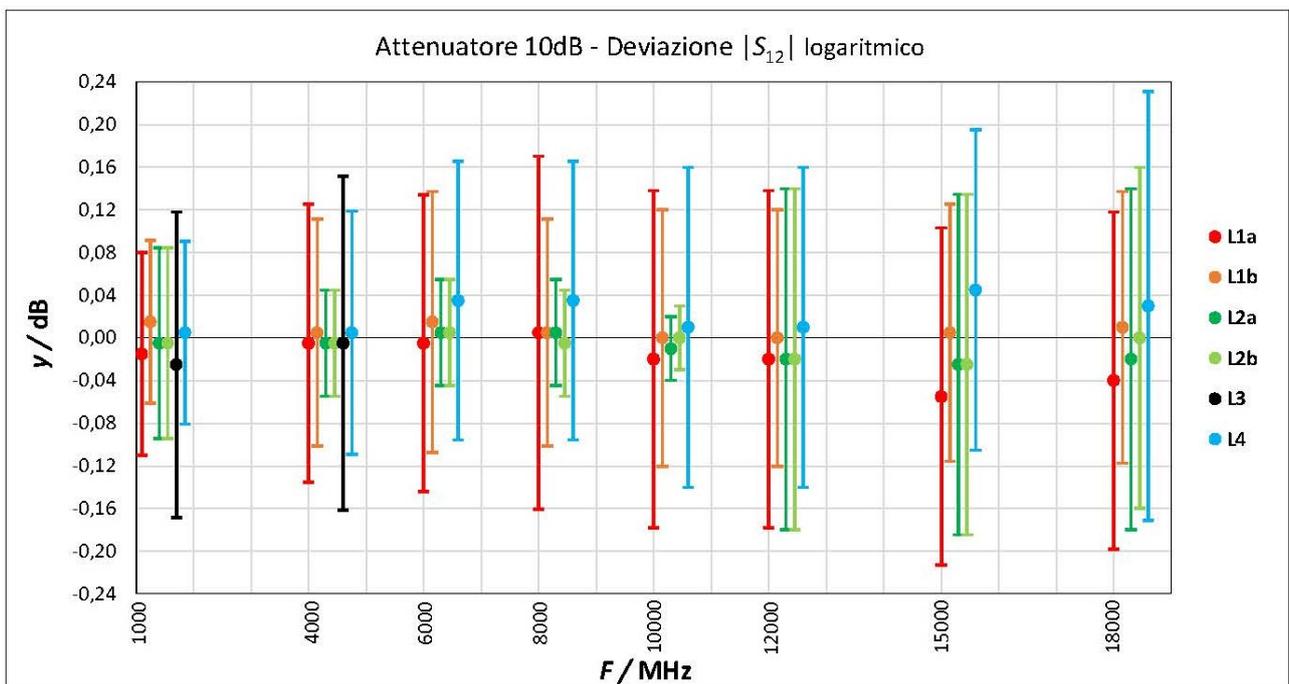
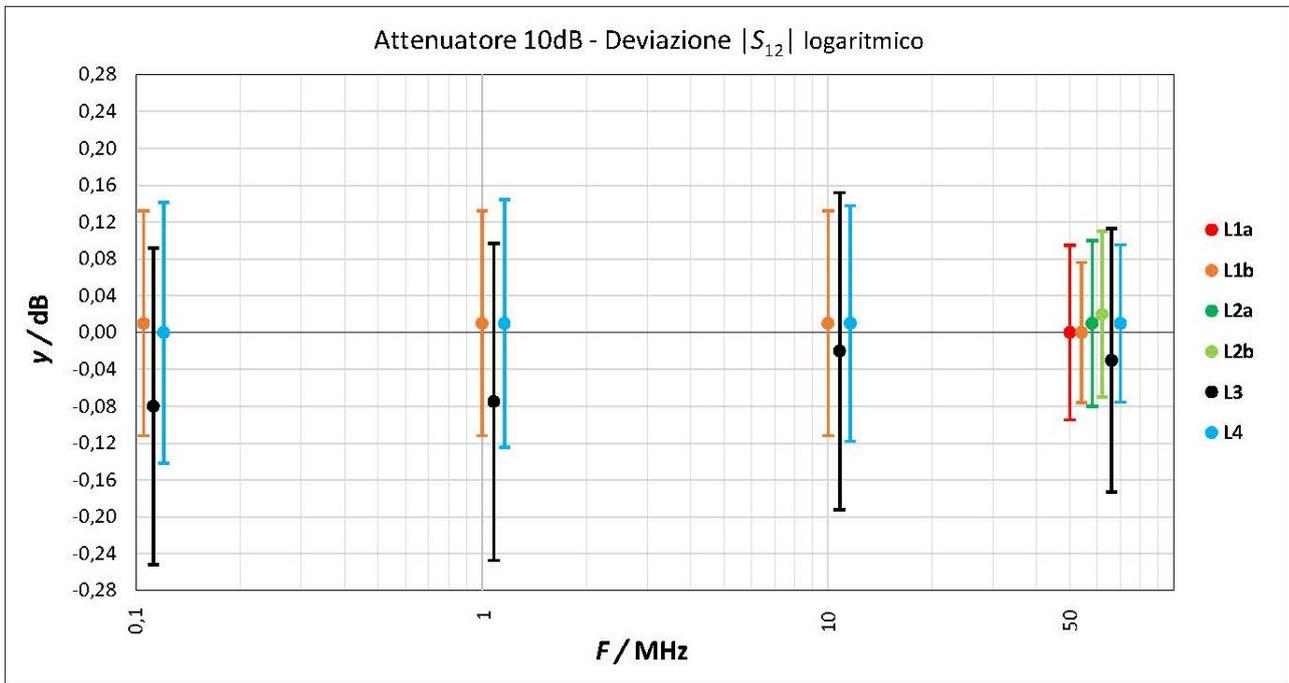
6.1.2 Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{22}|$ lineare



6.1.3 Deviazione Coefficiente Trasmissione $|S_{21}|$ logaritmico

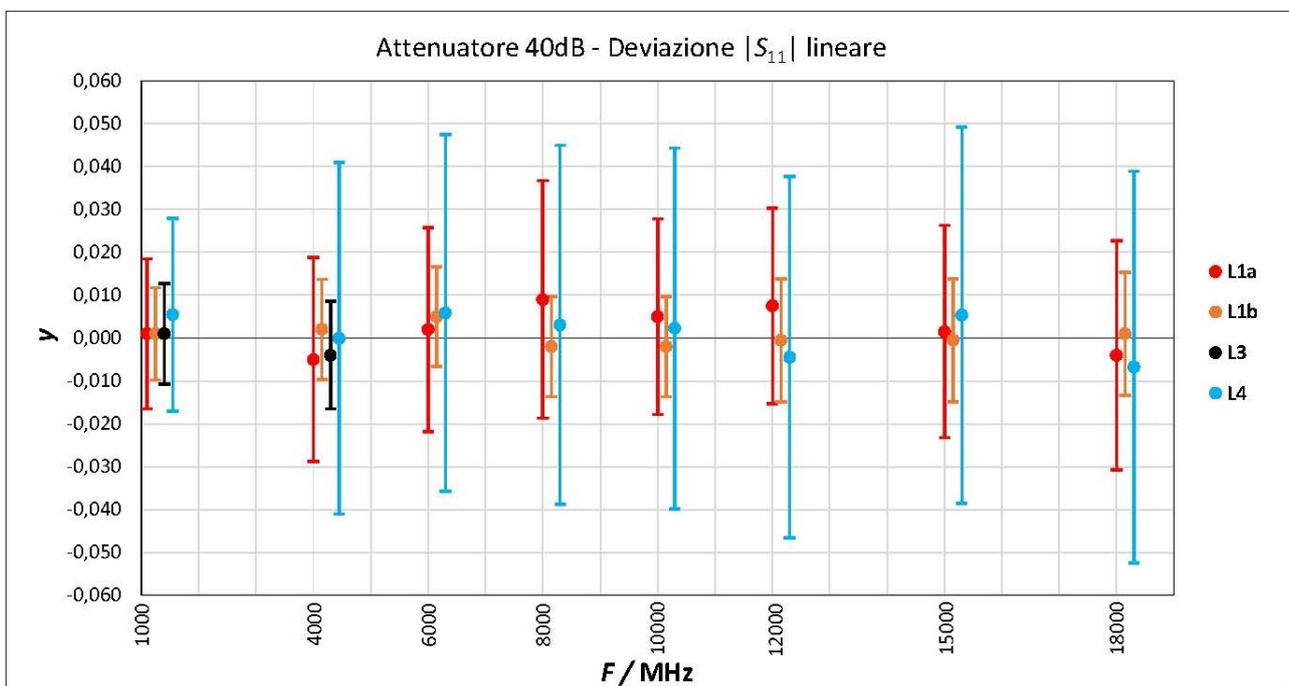
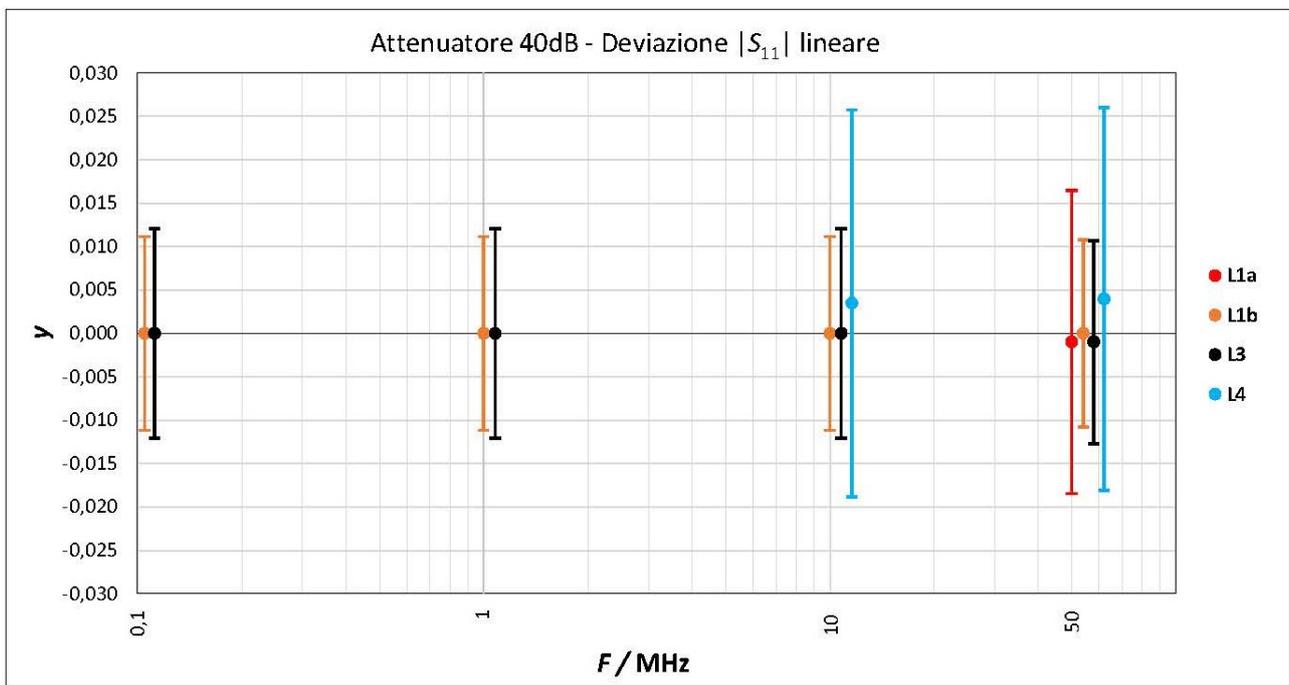


6.1.4 Deviazione Coefficiente Trasmissione $|S_{12}|$ logaritmico

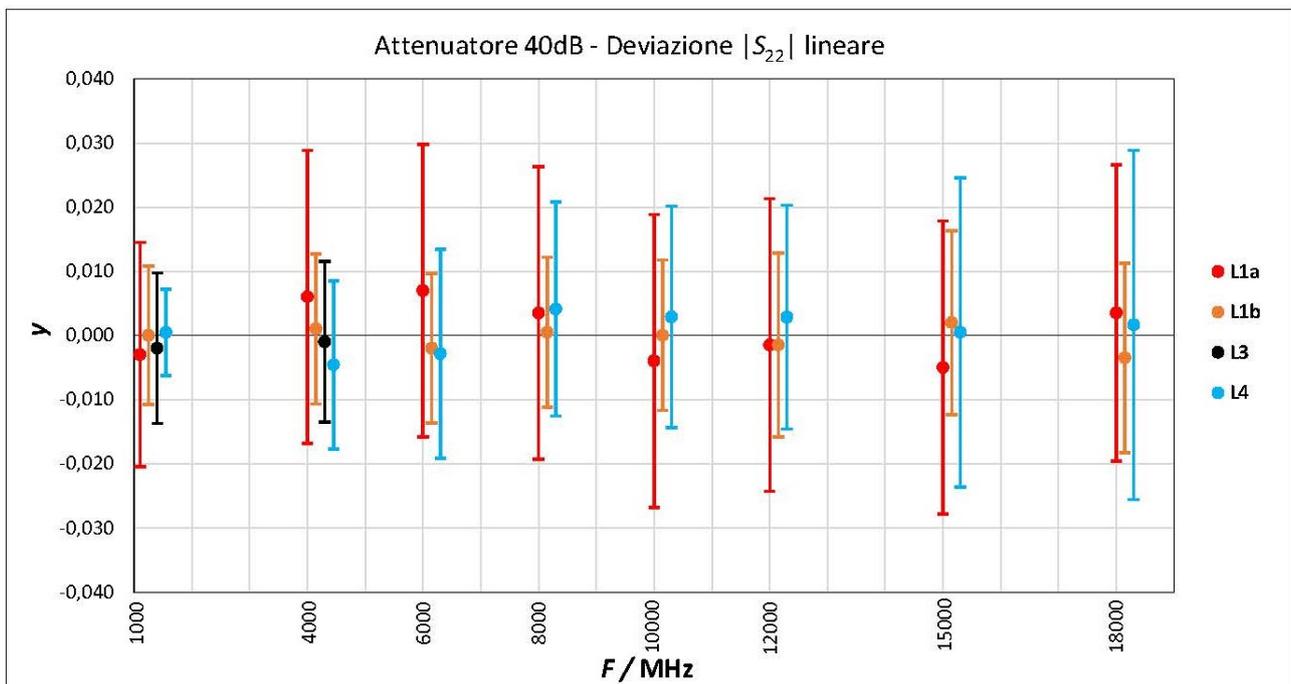
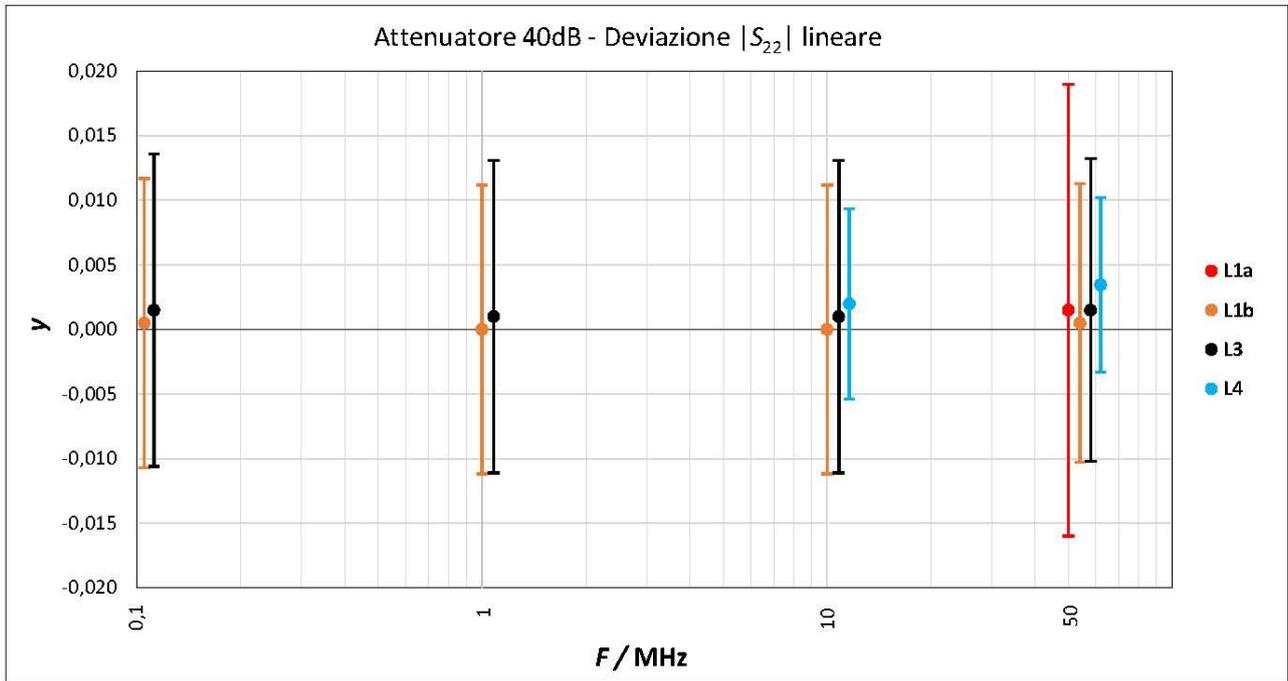


6.2 Attenuatore 40 dB Keysight 8491B-40dB sn.MY39269479

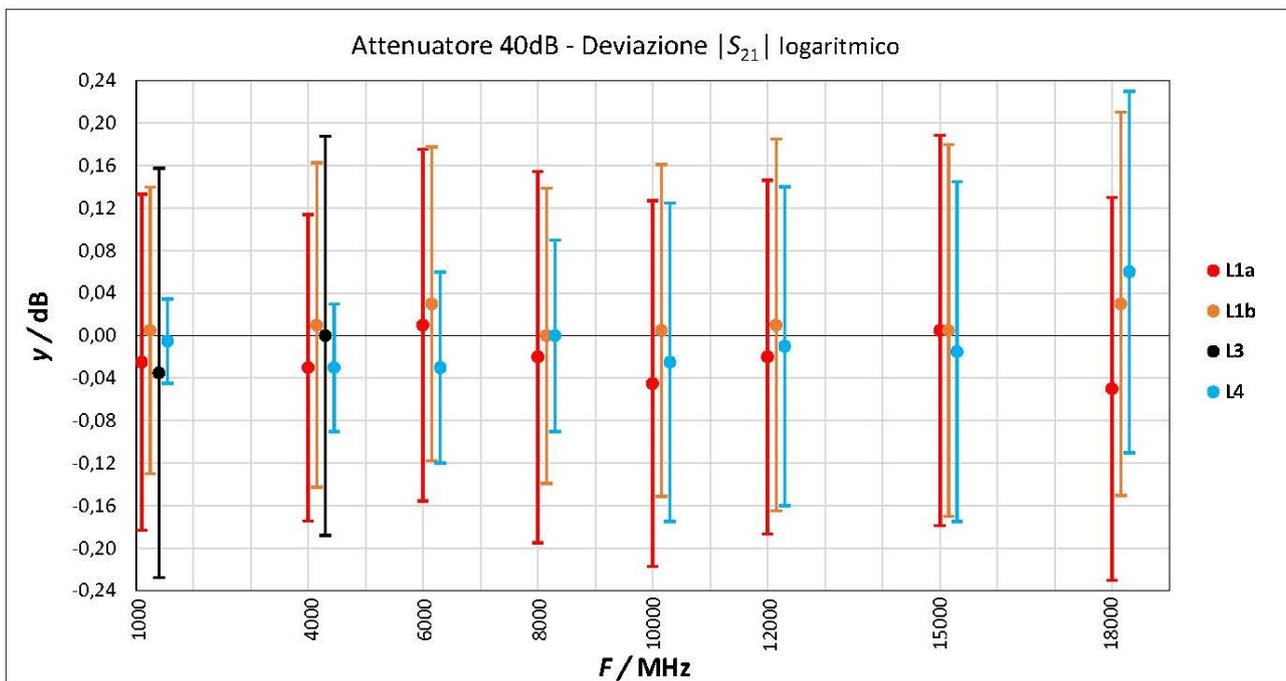
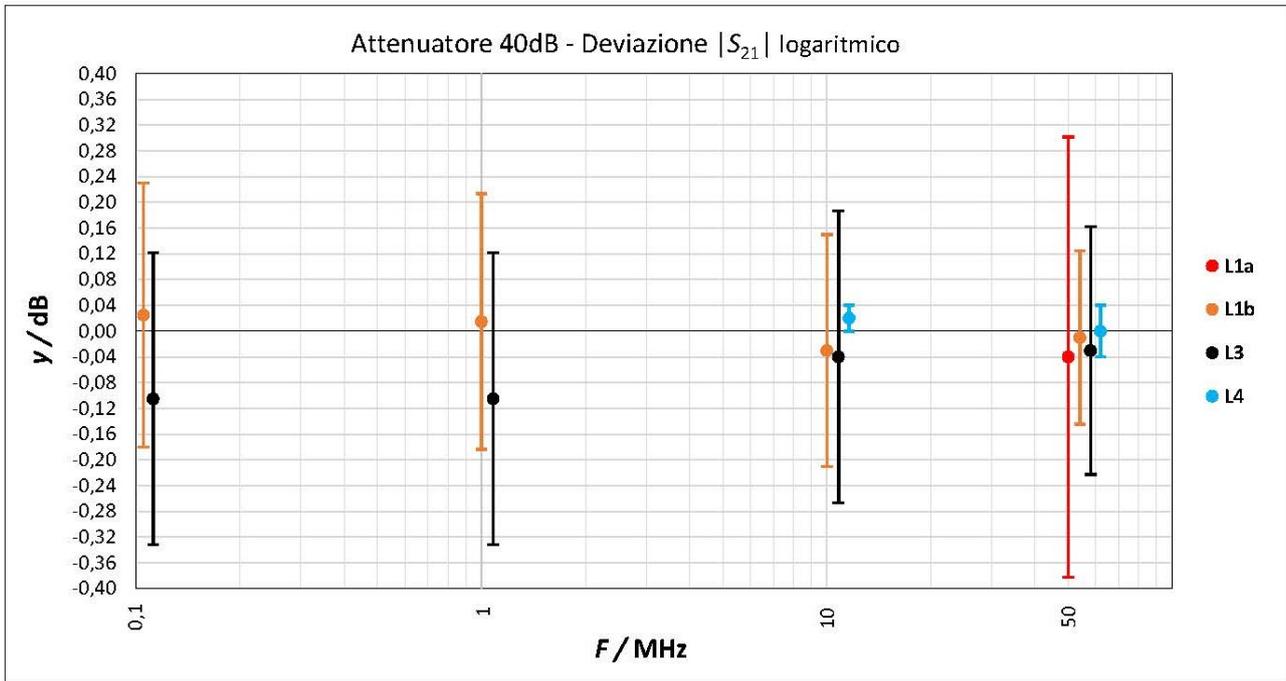
6.2.1 Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{11}|$ lineare



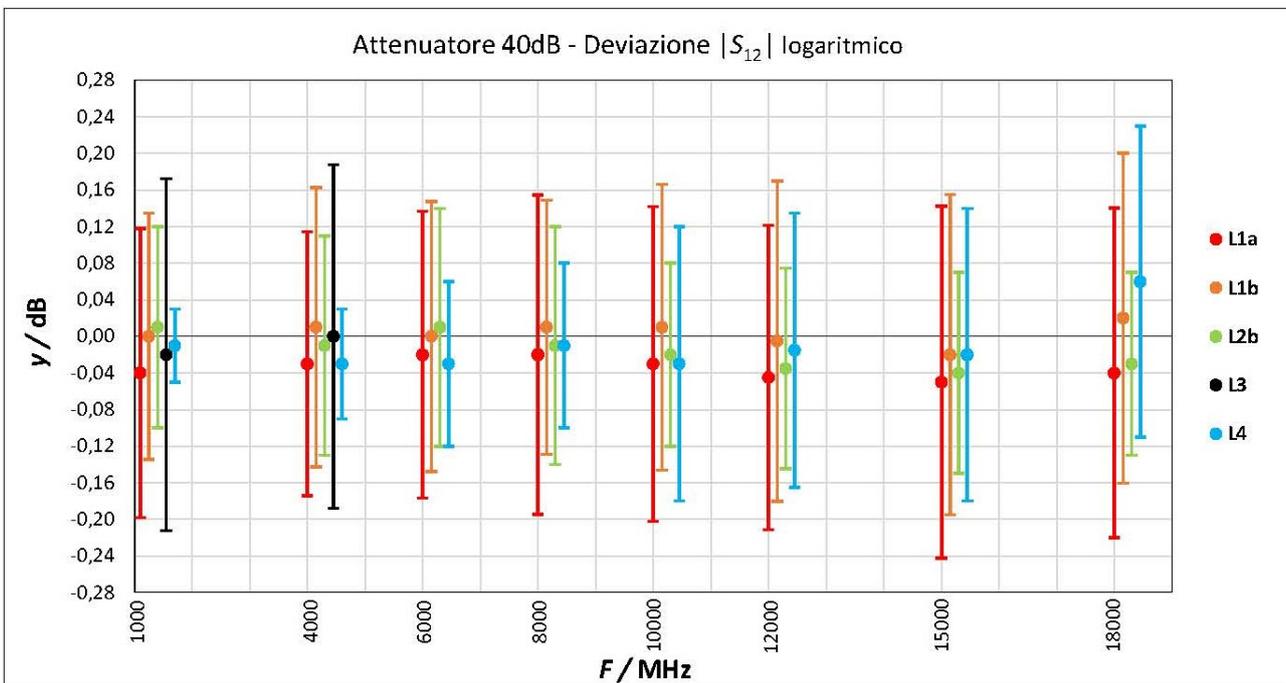
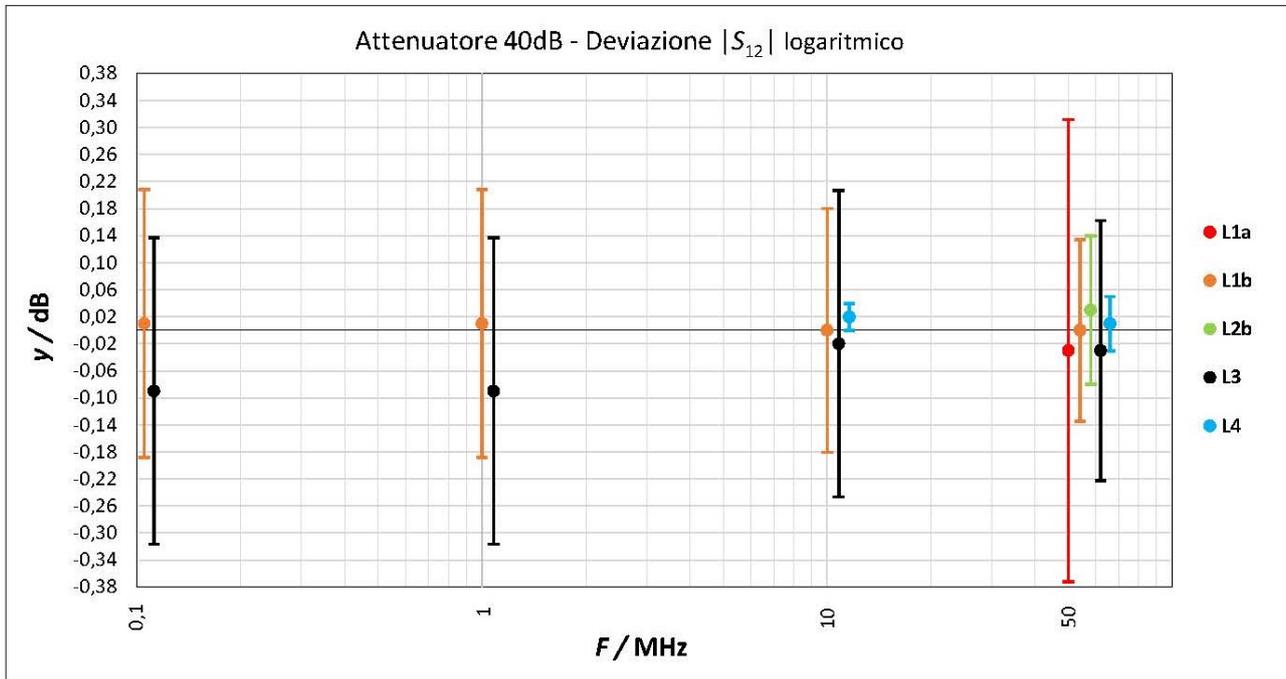
6.2.2 Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{22}|$ lineare



6.2.3 Deviazione Coefficiente Trasmissione $|S_{21}|$ logaritmico

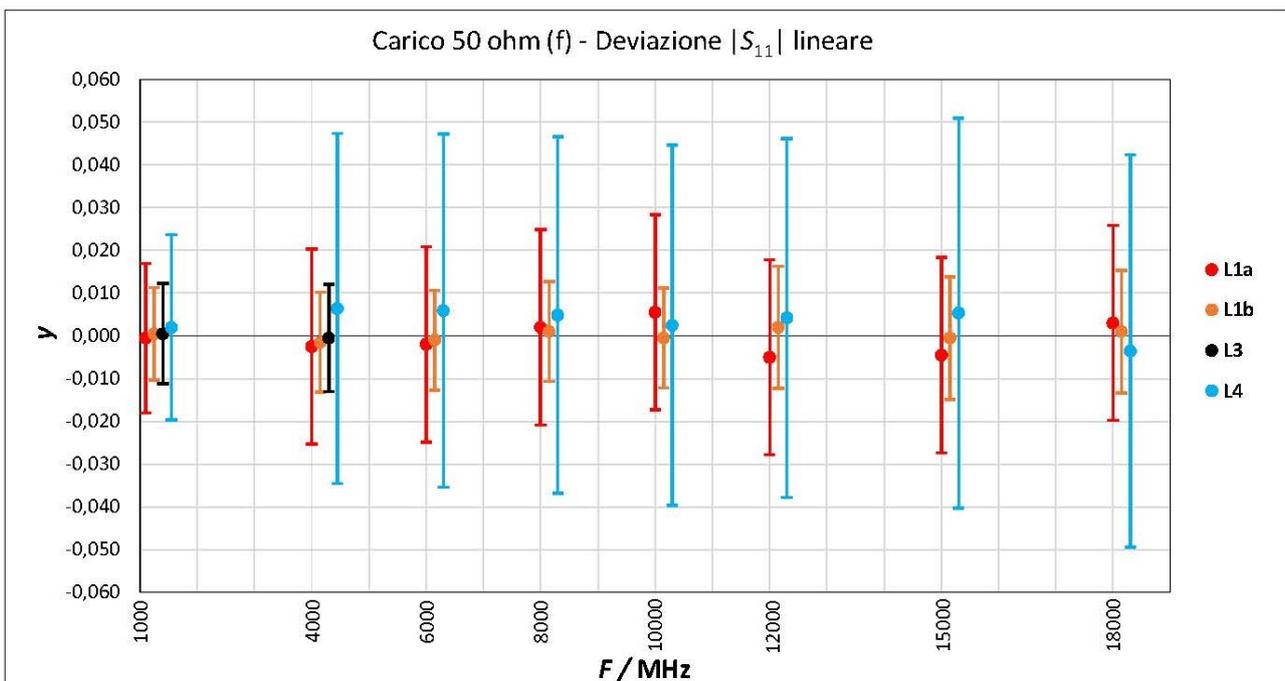
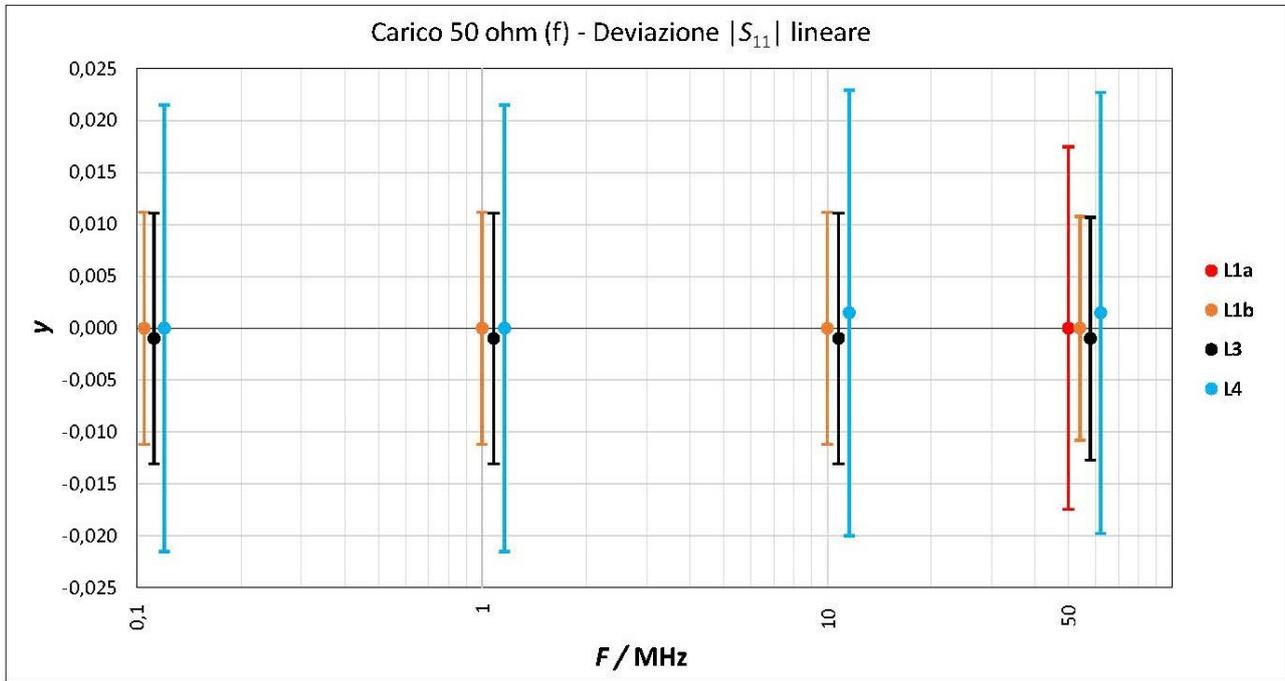


6.2.4 Deviazione Coefficiente Trasmissione $|S_{12}|$ logaritmico



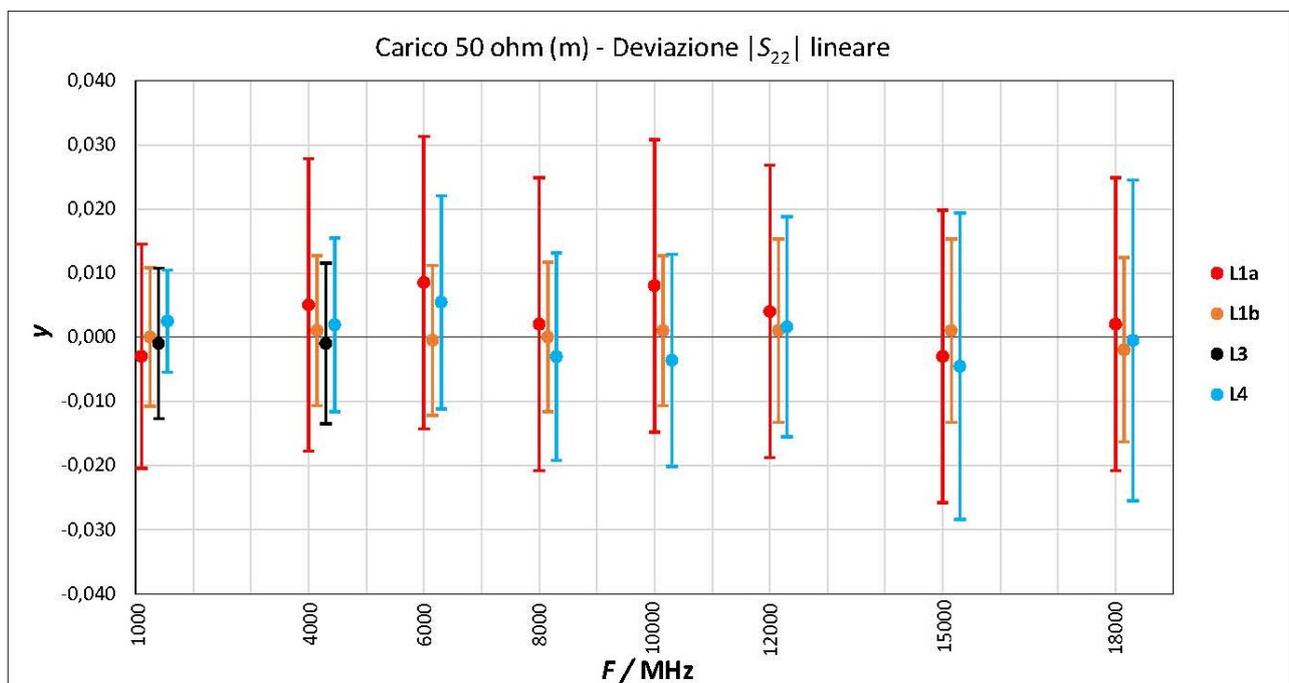
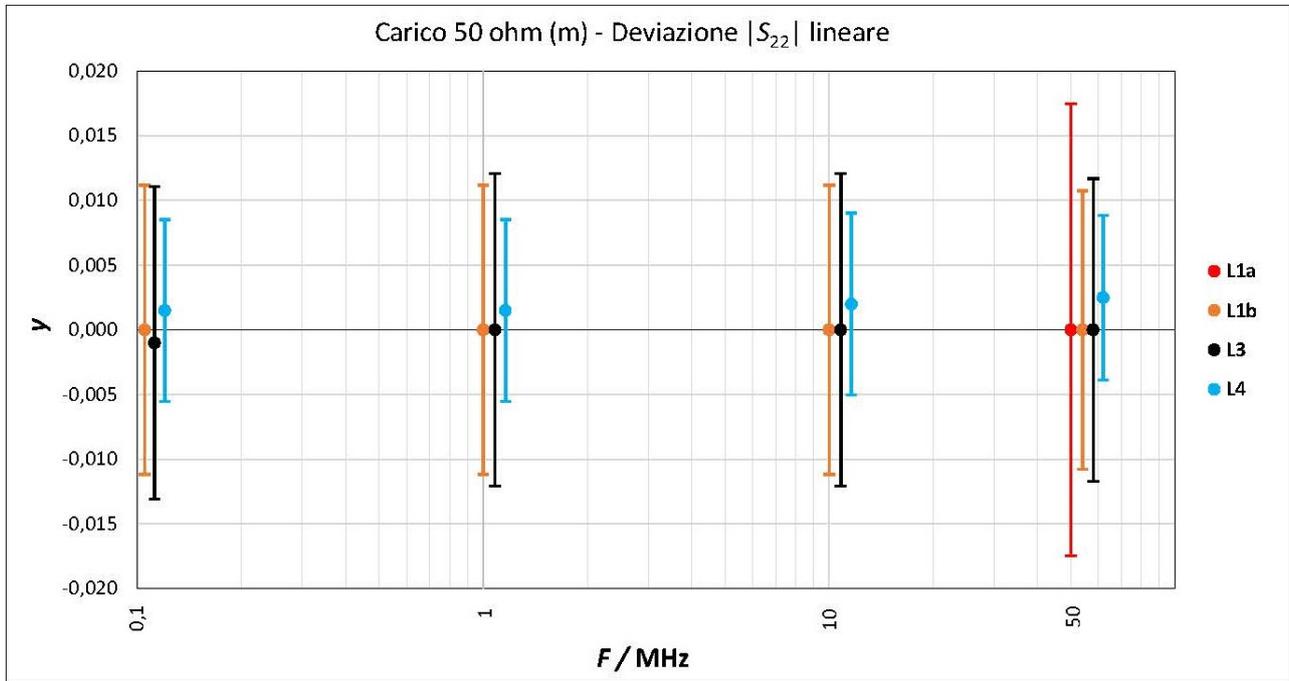
6.3 Carico adattato (50Ω) Maury 2510E2 sn.CN98 (f)

Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{11}|$ lineare:



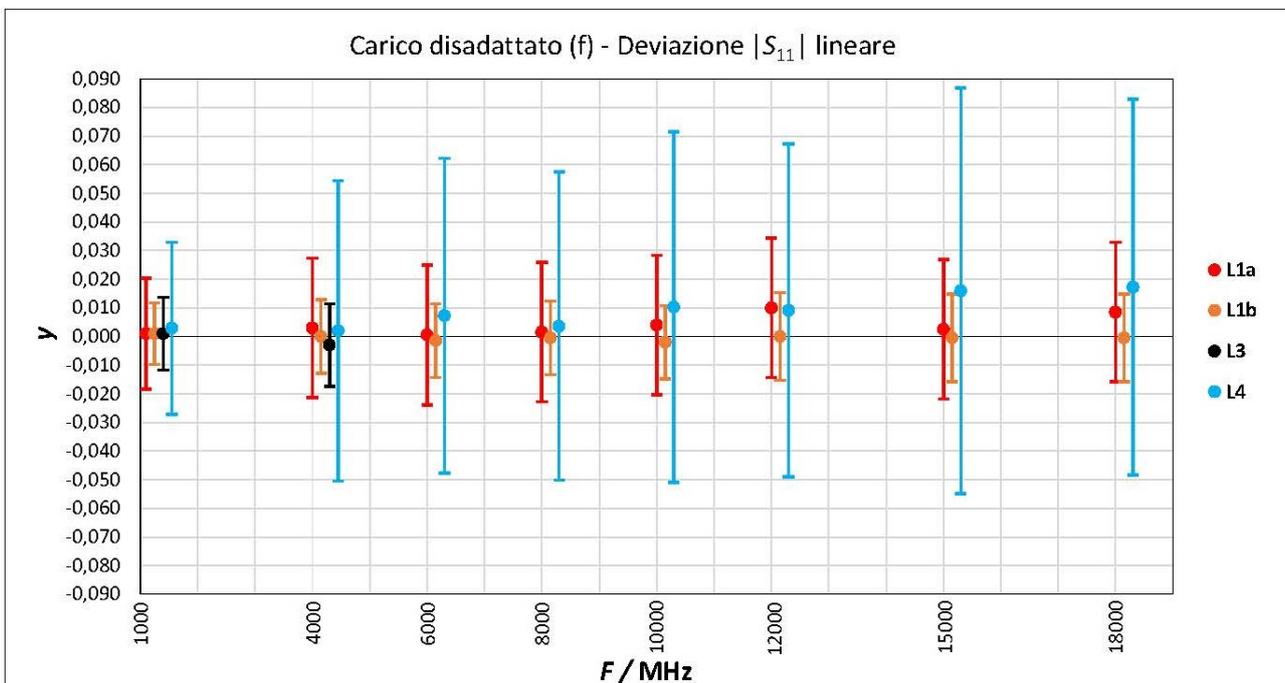
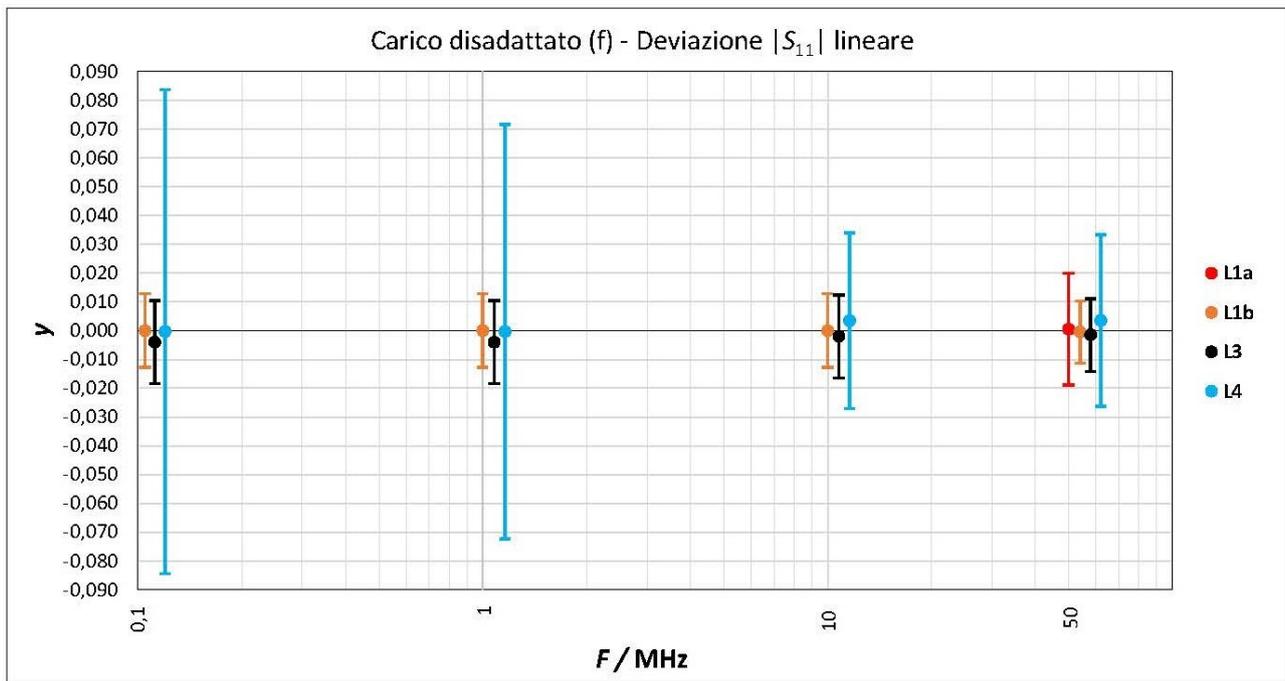
6.4 Carico adattato (50Ω) Maury 2510F2 sn.CS58 (m)

Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{22}|$ lineare:



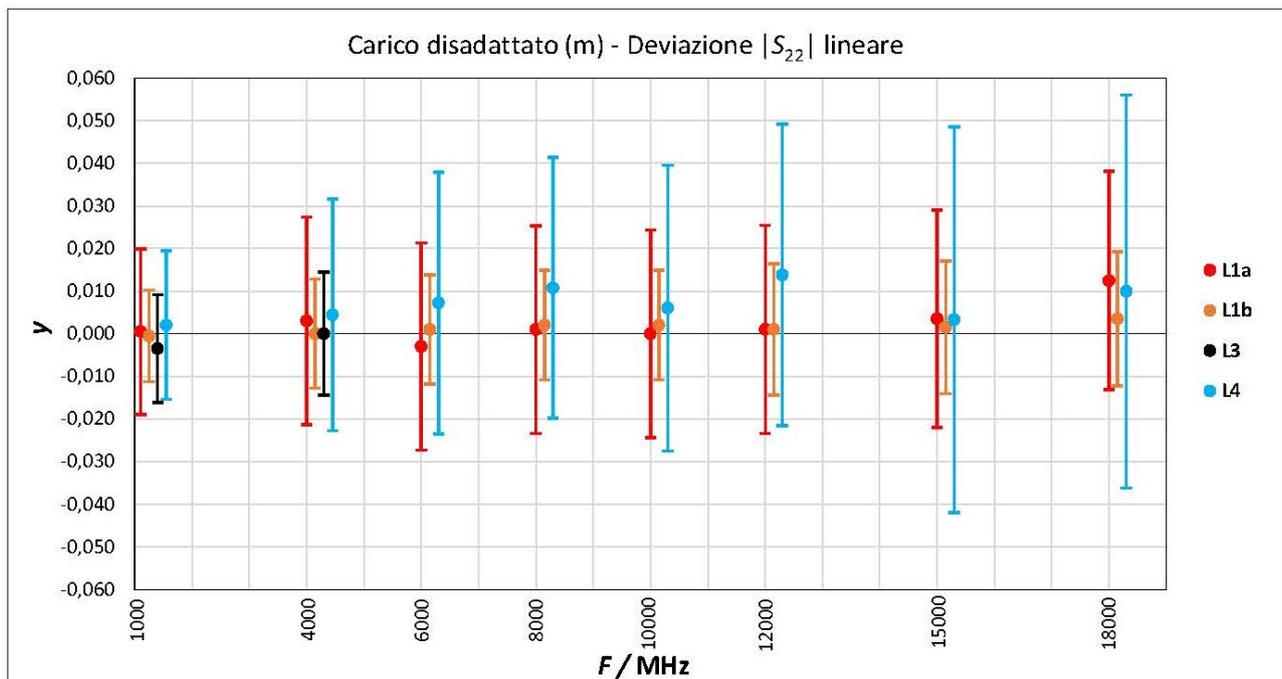
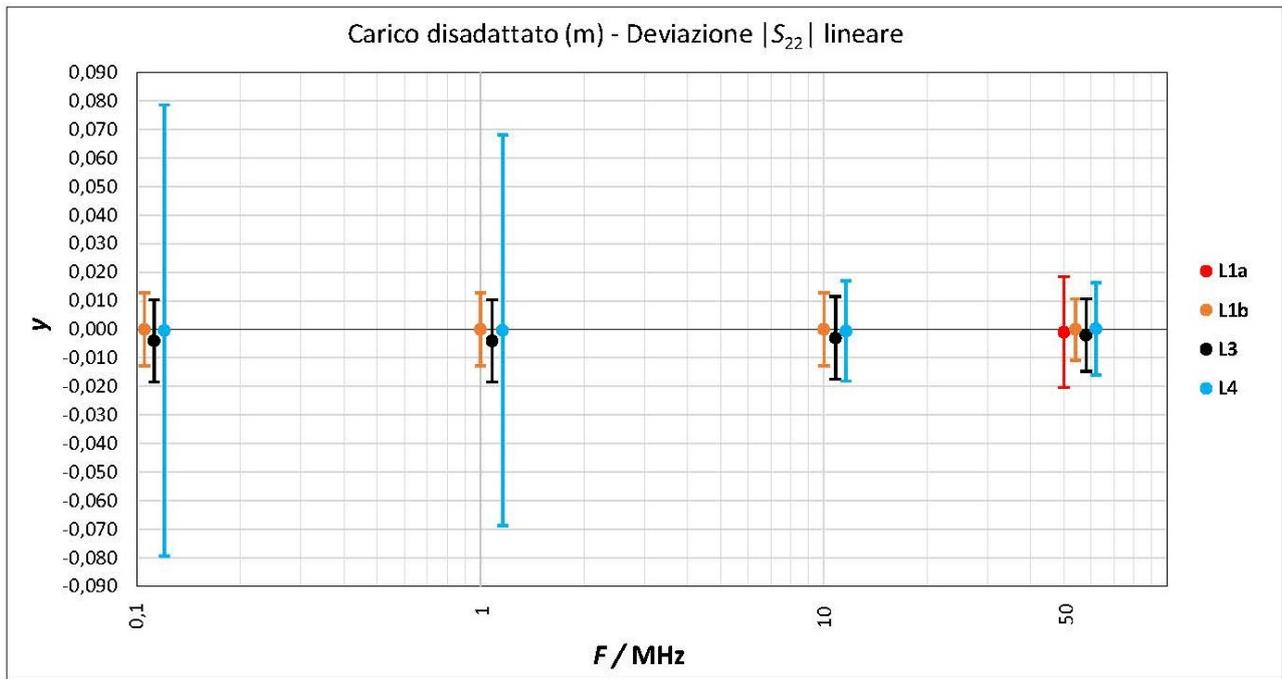
6.5 Carico disadattato Maury 2561G sn.8692 (f)

Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{11}|$ lineare:



6.6 Carico disadattato Maury 2562G sn.8690 (m)

Deviazione Coefficiente Riflessione $|S_{22}|$ lineare:



7. Conclusioni

Il modulo dell'errore normalizzato è risultato inferiore o uguale a 1 per tutti i punti di misura esaminati. Si può quindi affermare che i risultati di misura di tutti i Laboratori partecipanti sono compatibili con quelli prodotti dall'ILC Provider.

Solo le misure eseguite dal Laboratorio "L4" sull'attenuatore da 40 dB e relative ai parametri $|S_{21}|$ e $|S_{12}|$ alla frequenza di 10 MHz, hanno dato luogo ad un errore normalizzato pari a 1.

8. Riferimenti

- [1] ISO/IEC17025:2018 *"General requirements for the competence of testing and calibration laboratories"*.
- [2] EN ISO/IEC 17043:2010 *"Conformity assessment – General requirements for proficiency testing"*.
- [3] P.Terzi, *"Protocollo confronto inter-laboratorio (ILC) EM–RF01/2021"*, 2021.
- [4] P, Terzi, L. Oberto, R.T 7/2024 *"Allegato a R.T. 6/2024 – Marzo 2024"*.
- [5] ILAC P10:07/2020 *"ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results"*.
- [6] CIPM MRA Mutual Recognition Arrangement.
- [7] M. Wollensack, J. Hoffmann, J. Ruefenacht and M. Zeier, "VNA Tools II: S-parameter uncertainty calculation," 79th ARFTG Microwave Measurement Conference, Montreal, QC, 2012, pp. 1-5.
- [8] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections), online:
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [9] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Extension to any number of output quantities, JCGM 102:2011, online:
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>