



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di laurea triennale in ingegneria biomedica

Influenza del rumore sulla focalizzazione del campo
elettromagnetico in ambienti riverberanti

Influence of noise on the focusing of the electromagnetic field in a
reverberation room

Relatore: Prof. Franco Moglie
Correlatore: Prof. Valter Mariani Primiani

Tesi di:
Luca Apollonio
1072730

Anno Accademico 2018-2019

Indice

Introduzione.....	5
1 La Camera riverberante elettromagnetica.....	7
1.1 Principi di funzionamento	7
1.1.1 Stirrer e Tuner.....	8
1.2 Rappresentazione dei campi mediante onde piane	9
1.2 Parametri della camera riverberante	10
2 Time-Reversal	12
2.1 L'uso del Time-Reversal nell'elettromagnetismo	12
3 Strumenti per le misure.....	14
3.1 Strumenti utilizzati per le misure.....	14
3.1.1 Analizzatore di reti vettoriale	15
3.1.2 Antenna Logperiodica	16
3.1.3 Alimentatore lineare	17
3.1.4 Personal Computer	18
3.1.5 VHP-8-NRL	19
4 Misure effettuate e Discussione dei risultati.....	20
4.1 Misure effettuate.....	20
5 Analisi e discussione dei risultati	23
5.1 Elaborazione dei dati tramite abbassamento di potenza	23
5.1.1 Discussione dei risultati riguardanti la prima fase.....	27
5.2 Elaborazione dei dati tramite Routine del rumore.....	28
5.2.1 Discussione dei risultati riguardanti la seconda fase	38
6 Conclusioni.....	39
Bibliografia.....	40

Elenco delle figure

Figura 3.1: Analizzatore di rete Agilent E5071B	15
Figura 3.2: Antenna Logperiodica Schwarzbeck USLP 9143.....	16
Figura 3.3: Alimentatore lineare Elind 30H10.....	17
Figura 3.4: Personal Computer del Laboratorio EMC.....	18
Figura 3.5: Motore degli stirrer della camera riverberante.....	18
Figura 3.6: Pannello VHP-8-NRL.....	19
Figura 5.1: Misura n°24 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza 10dBm e 0 dBm.....	24
Figura 5.2: Misura n°30 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza -60 dBm.....	25
Figura 5.3: Misura n°31 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza 10 dBm e 0dBm.....	26
Figura 5.4: Misura n°33 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza -60 dBm.....	27
Figura 5.5: Misura n°24, SNR 5dB.....	28
Figura 5.6: Misura n°24, SNR 5dB, particolare.....	29
Figura 5.7: Misura n°24, SNR 5dB, Generale.....	29
Figura 5.8: Misura n°24, SNR -3dB.....	30
Figura 5.9: Misura n°24, SNR -3dB, Particolare.....	31
Figura 5.10: Misura n°24, SNR -3dB, Generale.....	31
Figura 5.11: Misura n°24, SNR -10dB.....	32
Figura 5.12: Misura n°24, SNR -10dB, Particolare.....	33
Figura 5.13: Misura n°24, SNR -10dB, Generale. Doppio grafico.....	33
Figura 5.14: Misura n°24, SNR -20dB.....	34
Figura 5.15: Misura n°24, SNR -20dB, Particolare.....	35
Figura 5.16: Misura n°24, SNR -20dB, Generale. Doppio grafico.....	35
Figura 5.17: Misura n°24, SNR -40dB.....	36
Figura 5.18: Misura n°24, SNR -40dB, Particolare.....	37
Figura 5.19: Misura n°24, SNR -40dB, Generale. Doppio grafico.....	37

Elenco delle tabelle

4.1 Tabella delle varie misure effettuate.....	20
4.1 Tabella delle varie misure effettuate.....	21
4.1 Tabella delle varie misure effettuate.....	22

Introduzione

Lo scopo principale di questo lavoro di tesi è quello di applicare la tecnica del **Time Reversal (TR)** su un segnale in una camera molto riflettente come la camera riverberante ed analizzare l'influenza del rumore su di esso. La procedura si basa sulla caratterizzazione sperimentale della funzione di trasferimento di un dipolo, ed è stata elaborata attraverso varie misure in camera.

Invece la generazione e l'inversione temporale del segnale, applicato al sistema, viene simulata numericamente a causa dell'assenza all'interno del laboratorio di EMC del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione di un generatore di forma d'onda arbitraria e relativo amplificatore.

Nei primi due capitoli dell'elaborato si andranno a predisporre i concetti base relativi alla camera riverberante elettromagnetica e al Time-Reversal.

Nel terzo Capitolo verrà descritta la strumentazione utilizzata ed i setup di misura per svolgere tutte le misurazioni richieste.

Nel quarto e quinto Capitolo verrà spiegata l'analisi delle misure attraverso un programma di ricostruzione del segnale in linguaggio C ed i risultati ottenuti discutendo la verifica delle ipotesi fondanti della tesi e le rispettive caratteristiche risultanti dall'analisi dei grafici riguardanti il segnale.

Nel sesto Capitolo si trarranno le dovute conclusioni.

Capitolo 1

La Camera riverberante elettromagnetica

La camera riverberante elettromagnetica, è un ambiente dedicato ai test di compatibilità elettromagnetica (EMC), che consistono sulla emissione, immunità o suscettibilità elettronica degli apparati e di valutazione dell'efficacia di schermatura di cavi, connettori etc.

Nel 1986 venne introdotto l'utilizzo delle camere riverberanti per le misure della compatibilità elettromagnetica.

La camera riverberante è una struttura elettricamente grande, con cavità dall'elevato Q-factor grazie alle quali si ottiene un campo statisticamente uniforme attraverso agitazione meccanica o tramite agitazione in frequenza.

Quindi si tratta di una camera schermata che, non assorbe (idealmente) energia elettromagnetica e le cui pareti riflettono le onde incidenti. A causa della piccola quantità di energia assorbita dalle pareti, è possibile ottenere campi di elevata intensità partendo da segnali di media potenza.

1.1 Principi di funzionamento

La forma più usata nella costruzione della camera riverberante è quella rettangolare. La principale caratteristica è quella di fornire un campo statisticamente omogeneo così che il dispositivo all'interno della camera venga colpito ad ogni istante e in qualunque posizione si trovi all'interno del volume di lavoro (WV) da onde piane aventi tutte le possibili direzioni di propagazione e diversa polarizzazione.

Per mantenere l'uniformità di campo, all'interno della camera vengono introdotti uno stirrer meccanico o tuner, ovvero una struttura che comprende dei piatti metallici riflettenti orientati con diverse angolazioni e che, ruotando sul proprio asse, garantisce un continuo cambiamento delle condizioni al contorno. La struttura di campo interna è descritta da molti modi che risentono di queste condizioni al contorno variabili. Quindi si ha un campo elettromagnetico per sua natura stocastico. Esso viene diffuso dalle pareti della camera e dagli agitatori o mescolatori di campo (stirrer) che cambiano continuamente la geometria della cavità, generando un campo elettromagnetico riverberante completamente depolarizzato (idealmente). Dovrà avere una camera larga in termini di lunghezza d'onda e con elevato Q factor. Quando saranno eccitati un numero sufficiente di modi, il campo medio all'interno della camera sarà formato da onde piane uniformemente distribuite che arriveranno da tutte le direzioni e polarizzazioni.

1.1.1 Stirrer e Tuner

Per perturbare un campo elettromagnetico ed ottenere un alto numero di modi si deve variare continuamente la posizione di un oggetto metallico di dimensioni opportune interno alla camera riverberante.

Solitamente si utilizzano delle lamine in metallo piegate il cui scopo è quello di cambiare le condizioni al contorno che portano a modificare i modi della cavità, al fine di ottenere un ambiente elettromagnetico statisticamente uniforme. Il movimento dell'agitatore viene governato da un motore esterno regolato a sua volta da un PC che ne controlla velocità e rotazione.

Parlerò di **Tuner** quando l'agitatore viene ruotato secondo angoli prefissati, e si sposta di posizione in posizione.

Nello **Stirrer** invece il movimento ha luogo con continuità.

Con la rotazione dell'agitatore avrò quindi una variazione del campo elettromagnetico istante per istante. All'interno della camera possono essere presenti anche più mescolatori, i quali possono funzionare separatamente o contemporaneamente.

La maggior parte degli stirrer attualmente in uso sono realizzati piegando lamine in alluminio a forma di "Z", con angoli e lunghezze di lati quanto più possibile diversi tra loro, questo perché lo stirrer non deve presentare simmetrie, così da non ottenere mai la stessa configurazione di campo, durante un giro completo.

Questo permette di massimizzare l'effetto di diffusione interno alla camera per il quale l'agitatore stesso è concepito. Per lo stesso motivo è importante che lo stirrer risulti elettricamente largo cioè, di dimensioni almeno pari a $\lambda/4$, dove λ è la lunghezza d'onda corrispondente alla più bassa frequenza di lavoro.

Un'ulteriore indicazione si può avere dalle misure della camera: le dimensioni dello stirrer dovrebbero essere una frazione significativa della cavità (circa tre quarti della più piccola dimensione).

1.2 Rappresentazione dei campi mediante onde piane

Nella camera riverberante posso rappresentare il campo elettromagnetico che si viene a generare come una sommatoria di infinite onde piane. Utilizzando questo approccio posso ricavare e di conseguenza studiare la risposta del dispositivo testato, interno alla camera, e dell'antenna utilizzata.

Per far ciò si segue l'approccio di Hill [2], non riportato in questo testo, il quale permette di mostrare il significato fisico della sommatoria di infinite onde piane.

Con questo criterio si vengono a studiare tutte le componenti del campo interno alla camera riverberante mediante queste onde, tenendo conto di tutte le variazioni interne ed anche dell'effetto di mescolamento dei modi provocato dallo stirrer.

Grazie all'utilizzo dei mescolatori interni alla camera riverberante è possibile ottenere un campo elettromagnetico uniforme, depolarizzato e isotropo.

Il loro utilizzo aumenta le riflessioni interne alla camera permettendo al dispositivo testato di essere "immerso" in un campo proveniente da tutte le possibili direzioni. Quindi per avere un campo uniforme devo avere un certo numero di modi eccitati.

1.3 Parametri della camera riverberante

1.3.1 Q factor o Fattore di merito

Uno dei parametri caratteristici della camera riverberante è dato dal **Q factor** il quale viene utilizzato per indicare la capacità della camera di immagazzinare energia. Nella costruzione delle camere si tiene conto di questo fattore, ponendo particolare attenzione nell'utilizzo dei materiali utilizzati nella costruzione della camera stessa e degli apparati interni ad essa; questo perché la capacità di immagazzinare l'energia è influenzata negativamente dalle perdite dovute alle pareti ed ai supporti interni della camera stessa.

Un Q factor più alto indica un minor tasso di dissipazione di energia rispetto alla frequenza di oscillazione, per cui le oscillazioni si smorzano più lentamente.

I materiali più utilizzati nella costruzione della camera sono il rame, l'alluminio e l'acciaio i quali offrono un'alta conducibilità e delle basse perdite.

Il **Q factor** viene definito tramite la seguente formula:

$$Q = \omega \frac{U}{P_d}$$

Dove con ω indico con la pulsazione, con U l'energia che ho immagazzinato e con P_d la potenza dissipata dalla camera.

Dove la potenza dissipata dalla camera è composta dalla potenza dissipata nelle pareti metalliche, negli oggetti interni alla camera, nelle aperture e nei carichi delle antenne.

Quindi ho in realtà una somma di quattro **Q factor** inerenti ciascuno ad uno di questi fattori dissipanti P_d .

1.3.2 Minima frequenza di utilizzo e volume di lavoro

Un altro parametro che caratterizza una camera riverberante è la **Minima Frequenza di Utilizzo** (*Lowest Usable Frequency* (LUF)).

Questo parametro indica la minima frequenza alla quale, all'interno della camera, è garantito un campo statisticamente omogeneo ed è strettamente legato alle dimensioni fisiche della camera stessa: camere piccole hanno minime frequenze di utilizzo più elevate.

Si assume che:

$$LUF = 3 \times f_0$$

A questa frequenza però potrebbero corrispondere un numero di modi troppo bassi per effettuare una corretta analisi statistica. Di conseguenza potrebbero venire meno le proprietà fondamentali quali isotropia, depolarizzazione e campo uniforme. Per evitare di lavorare in questa zona critica si prende una $LUF = 6 \times f_0$.

Il **volume di lavoro** (WV) è pari a $\lambda_{LUF}/4$. Come forma di questo volume si prende un rettangolo. Rilevo i valori nei tre assi $x y z$ del campo e ricavo il valor medio per verificare l'uniformità.

1.3.3 Posizioni statisticamente indipendenti

Nella camera riverberante gli agitatori permettono la modifica dei modi ammessi dalla cavità. Durante il periodo di rotazione bisogna star attenti che non ci siano simmetrie rispetto le pareti della camera per non ripetere gli stessi modi in più posizioni. Durante la rotazione quindi si vengono a misurare le variazioni apprezzabili del campo per ogni variazione dell'angolo, queste vengono definite **posizioni statisticamente indipendenti**. Il numero delle posizioni trovate è fondamentale per valutare l'efficienza degli agitatori utilizzati.

Per il calcolo del numero delle posizioni si utilizza la correlazione ai coefficienti di campo, così facendo si considerano solo gli spostamenti con valore di scostamento significativo.

Capitolo 2

Time-Reversal

Possiamo pensare al time reversal come un metodo il quale utilizza la propagazione inversa delle onde per permettere una focalizzazione dell'energia trasmessa in una specifica posizione e in un determinato istante [1].

L'utilizzo dell'inversione temporale sulle onde risale al 1965 dove Parvulescu e Clay studiarono una tecnica chiamata "matched signal". Questa consisteva nella trasmissione di un segnale, il quale dopo la ricezione veniva invertito temporalmente e ritramesso in broadcast.

L'attività dei ricercatori fra gli anni settanta e anni ottanta ha portato alla realizzazione di uno specchio unico per effettuare la coniugazione di fase ottica (OPC). Questo specchio è il mezzo in grado di far tornare indietro un raggio incidente, esattamente nella stessa direzione da cui lo si è ricevuto.

Si discosta dal time reversal (TR) perché il TR stesso opera su qualsiasi banda, a differenza dello specchio che opera solo su onde monocromatiche.

All'inizio degli anni novanta Fink ed i suoi collaboratori dell'Università di Parigi VII svilupparono un dispositivo per l'inversione temporale acustica, chiamato Time Reversal Mirror (TRM) [3][4]. Fink nel Laboratorio di Onde e Acustica (OLA) notò che, ogni cosa pronunciata davanti ad un array di microfoni e megafoni veniva riascoltata ma al contrario.

2.1 L'uso del Time-Reversal nell'elettromagnetismo

La tecnica del Time-Reversal è stata introdotta di recente nell'elettromagnetismo. Tramite questa tecnica si sono condotte numerose ricerche in vari campi[5][6][7][8][9]. In Compatibilità Elettromagnetica, questa tecnica è stata introdotta nelle camere riverberanti [10] per la generazione di livelli di campo elettrico ad alta intensità a partire da segnali di ingresso a basso livello di potenza, così da migliorare l'efficienza dei test di immunità.

Il metodo del Time- Reversal si basa un "capovolgimento" della direzione del tempo [9]:

$$t \rightarrow -t$$

Dove questo viene definito "operatore Time-Reversal".

Questa definizione viene applicata direttamente al campo elettrico $\vec{E}(\vec{r}, t)$ e alla densità di carica $\rho(\vec{r}, t)$. Inoltre, per invertire il campo elettromagnetico, si deve invertire la direzione di propagazione data dal prodotto vettoriale dei campi elettrico e magnetico.

Per il campo magnetico si ha un'inversione aggiuntiva del vettore $\vec{H}(\vec{r}, t)$. Allo stesso modo si inverte $\vec{J}(\vec{r}, t)$:

$$\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r}, t) &\rightarrow \vec{E}(\vec{r}, -t) & \rho(\vec{r}, t) &\rightarrow \rho(\vec{r}, -t) \\ \vec{H}(\vec{r}, t) &\rightarrow -\vec{H}(\vec{r}, -t) & \vec{J}(\vec{r}, t) &\rightarrow -\vec{J}(\vec{r}, -t)\end{aligned}$$

Una condizione necessaria per l'applicazione del Time-Reversal è l'invarianza delle equazioni fisiche. Si dice che un'equazione Time-Reversal sia invariante se le versioni a tempo inverso delle sue soluzioni sono anche valide soluzioni delle equazioni fisiche.

Potrò scrivere le equazioni di Maxwell per mezzo lineare di permittività $\epsilon(\vec{r})$ e permeabilità $\mu(\vec{r})$ e, applicando l'operatore Time-Reversal avrò:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot (\epsilon(\vec{r})\vec{E}(\vec{r}, -t)) &= \rho(\vec{r}, -t) \\ -\nabla \cdot (\mu(\vec{r})\vec{H}(\vec{r}, -t)) &= 0 \\ \nabla \times \vec{E}(\vec{r}, -t) &= -\mu(\vec{r})\frac{-\partial\vec{H}(\vec{r}, -t)}{-\partial t} \\ -\nabla \times \vec{H}(\vec{r}, -t) &= \epsilon(\vec{r}, -t)\frac{-\partial\vec{E}(\vec{r}, -t)}{-\partial t} - \vec{J}(\vec{r}, -t)\end{aligned}$$

Anche avendolo definito nel tempo l'EMTR posso definirlo nel dominio della frequenza. In effetti, se $F(\omega)$ è la trasformata di Fourier di una funzione reale, allora $F^*(\omega)$ corrisponderà a $f(-t)$ dove $*$ denota il complesso coniugato. Questa relazione è valida se $f(-t)$ è una funzione reale.

Capitolo 3

Strumenti per le misure

3.1 Strumenti utilizzati per le misure

Gli strumenti utilizzati per realizzare il setup di misura usato per svolgere le prove di questo lavoro sono:

- camera riverberante presente nel laboratorio EMC del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione di forma rettangolare di lunghezza $C_x = 6$ m, larghezza $C_y = 4$ m ed altezza $C_z = 2.5$ m con frequenza di risonanza del modo fondamentale di circa 45 MHz;
- analizzatore di reti vettoriale (VNA) AGILENT E5071B;
- antenna Logperiodica trasmittente Schwarzbeck USLP 9143;
- dipolino avente funzione di antenna ricevente;
- cavi Sucoflex Hubner-Suhner 100;
- alimentatore lineare Elind 30H10;
- supporti in polistirolo;
- pezzi di VHP-8-NRL;
- Personal Computer con sistema operativo Linux appositamente programmato.

3.1.1 Analizzatore di reti vettoriale

È uno strumento il quale permette di misurare l'energia incidente, riflessa e trasmessa durante la scansione in frequenza. Ad alte frequenze, conviene valutare i parametri S. Questi parametri sono i rapporti tra l'energia incidente, riflessa e trasmessa e dipendono dalle grandezze misurate. Possono essere visualizzati sul piano complesso polare (carta di Smith) o sul piano cartesiano sotto forma di modulo e fase.

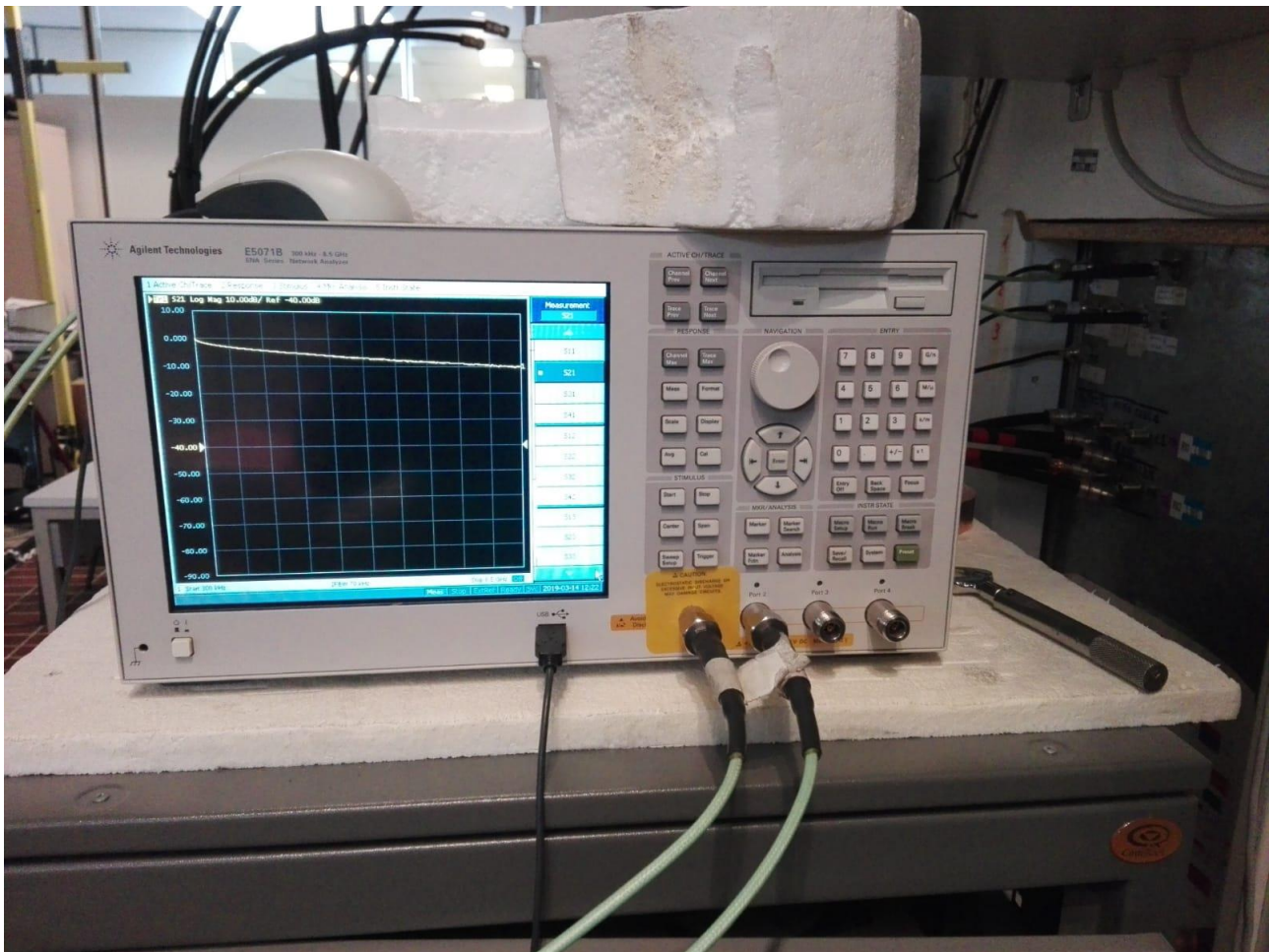


Figura 3.1: Analizzatore di rete Agilent E5071B

Tramite l'analizzatore si fornisce la potenza all'antenna trasmittente che irradia all'interno della camera riverberante e riceve il segnale di ritorno attraverso l'antenna ricevente. Lo strumento prima di essere usato deve essere sottoposto alla fase di calibrazione delle sue porte.

3.1.2 Antenna Logperiodica

L'antenna Logperiodica ha una banda di lavoro compresa tra 300 MHz fino a 4 GHz circa. La caratteristica di questa tipologia di antenna è di avere elevati guadagni (relativamente alla larghezza di banda). Normalmente non superano i 7/8 dB ma questo guadagno è lineare su tutta la banda.

Sono costituite da dipoli montati sull'asse distanziati ad intervalli che seguono una funzione logaritmica della frequenza.



Figura 3.2: Antenna Logperiodica Schwarzbeck USLP 9143

3.1.3 Alimentatore lineare

L'alimentatore lineare o da banco viene collegato al Personal Computer del laboratorio di EMC. Questo tipo di alimentatore gode di elevati valori di stabilità e bassissimi valori di impedenza di uscita. È in grado di erogare tensioni da 0 a 30 V con amperaggio regolabile da 0 a 10 A.



Figura 3.3: Alimentatore lineare Elind 30H10

3.1.4 Personal Computer

Il PC del laboratorio di EMC permette di controllare i motori che governano gli stirrer e le misure collegandolo all'analizzatore di rete grazie ad un software dedicato. Questo software permette la configurazione del sistema di misura mediante semplici file di testo modificabili a nostro piacimento a seconda della prova da effettuare.



Figura 3.4: Personal Computer del Laboratorio EMC



Figura 3.5: Motore degli stirrer della camera riverberante

3.1.5 VHP-8-NRL

È un solido piramidale costituito da poliuretano espanso.

Viene applicato principalmente nelle camere anecoiche come fonoassorbente, o per la copertura di apparecchiature.

Utilizzato nel nostro caso per diminuire l'effetto della camera riverberante.

Con il suffisso NRL si indica la conformità con i requisiti di materiale ignifugo.



Figura 3.6: Pannello VHP-8-NRL

Capitolo 4

Misure effettuate e Discussione dei risultati

4.1 Misure effettuate

Le misure sono state effettuate in camera riverberante con la strumentazione già elencata in precedenza, sono state eseguite 17 misure, ognuna con una particolare caratteristica. Come detto già nell'introduzione, lo scopo di questo lavoro di tesi è quello di studiare il comportamento del TR in presenza di rumore. Per aggiungere il rumore in maniera sperimentale, abbiamo abbassato di volta in volta la potenza del segnale per poi analizzarne i risultati in maniera grafica. Successivamente abbiamo programmato una routine capace di creare rumore bianco secondo una distribuzione gaussiana, così da avere un riscontro anche a livello matematico del comportamento del segnale ad un rumore, in questo caso generato da un programma in linguaggio C.

Le varie misure sono di seguito elencate nella tabella:

Misure	Setup	Setup camera	Setup stirrer	Potenza
01	Dipolo in aria	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza 10 dBm e 0 dBm
02	Dipolo in aria	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -10 dBm
03	Dipolo in aria	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -20 dBm
04	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza 10 dBm e 0 dBm

05	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -10 dBm
06	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -20 dBm
07	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -30 dBm
08	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -40 dBm
09	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -50 dBm
10	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz	Potenza -60 dBm
11	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza 10 dBm e 0 dBm
12	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -30 dBm

13	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -60 dBm
14	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -40 dBm
15	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -50 dBm
16	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -20 dBm
17	Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL	Camera vuota	Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz.	Potenza -10 dBm

4.1 Tabella delle varie misure effettuate.

Di queste misure ci soffermeremo più avanti solo su alcune, ovvero quelle più caratteristiche allo scopo del lavoro di tesi.

Capitolo 5

Analisi e discussione dei risultati

In questo capitolo si parlerà dell'analisi dei risultati dati dalle misurazioni effettuate in camera riverberante e dell'effetto del rumore sul segnale.

Attraverso queste misure si voleva studiare l'influenza del rumore sulla ricostruzione del segnale tramite l'utilizzo del Time Reversal. Per fare ciò è stato utilizzato un programma creato in linguaggio C il quale permette l'elaborazione dei dati ricavati dalle misurazioni in camera riverberante. L'elaborazione dei dati con l'analisi dei grafici ha dato determinati risultati sperimentali i quali verranno discussi in seguito.

5.1 Elaborazione dei dati tramite abbassamento di potenza

La prima fase del lavoro di analisi dei dati è centrato sull'elaborazione dei dati tramite un graduale abbassamento della potenza del segnale,

fino ad arrivare a -60dBm. I grafici sono relativi allo studio della funzione di trasferimento del segnale ricostruito mediante il Time reversal.

In seguito vengono riportati i grafici più significativi:

-Misura 24 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Camera vuota. Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz. Potenza 10 dBm e 0 dBm.

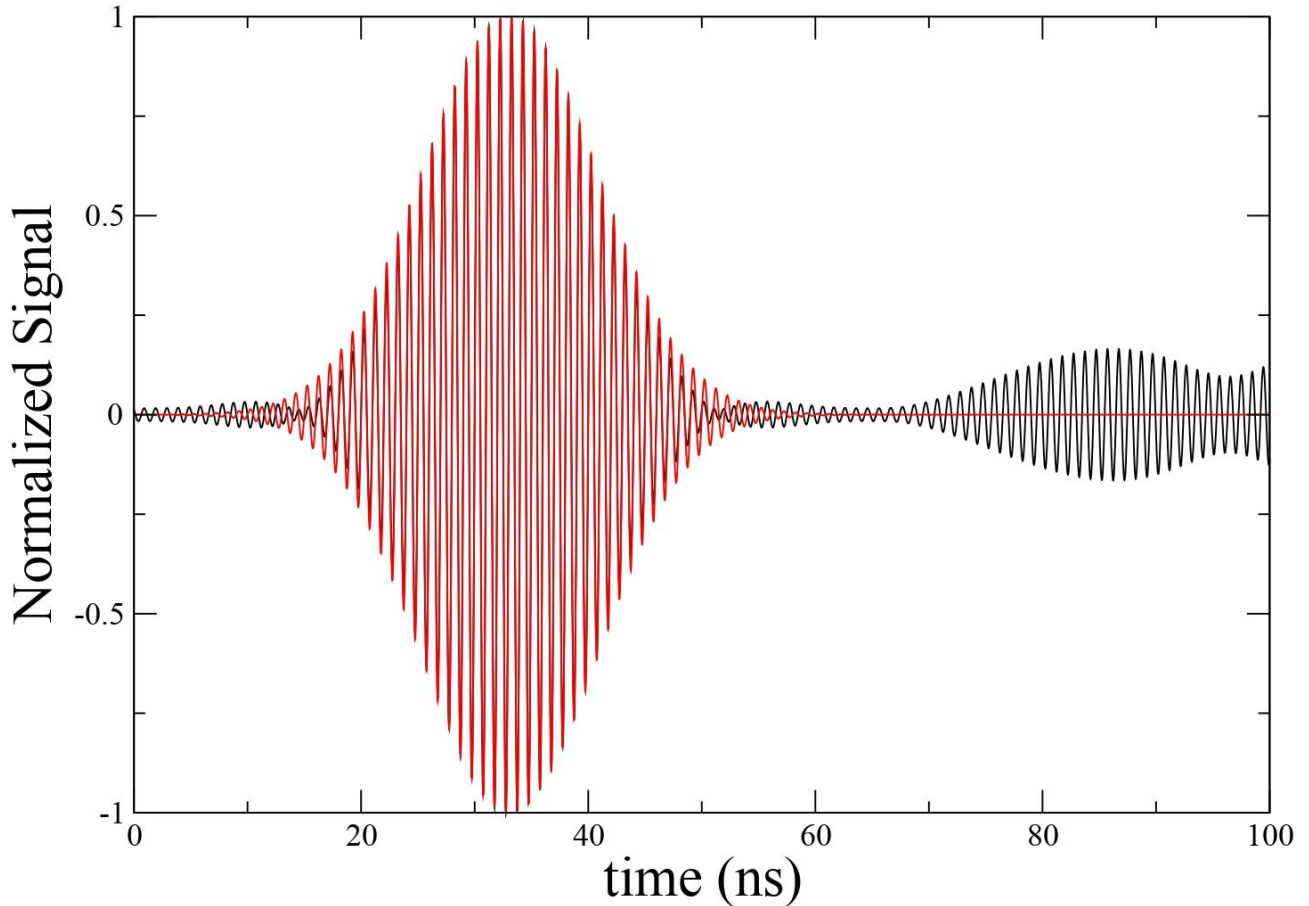


Figura 5.1: Misura n°24 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza 10dBm e 0 dBm.

Come si può notare, con potenza a 10dBm e a 0dBm, il segnale ricostruito non si discosta dall'andamento principale, è un comportamento normale ad una potenza del genere.

-Misura 30 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Camera vuota. Misura con 10 posizioni dello stirrer (30, 31, ..., 39 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz. Potenza -60 dBm.

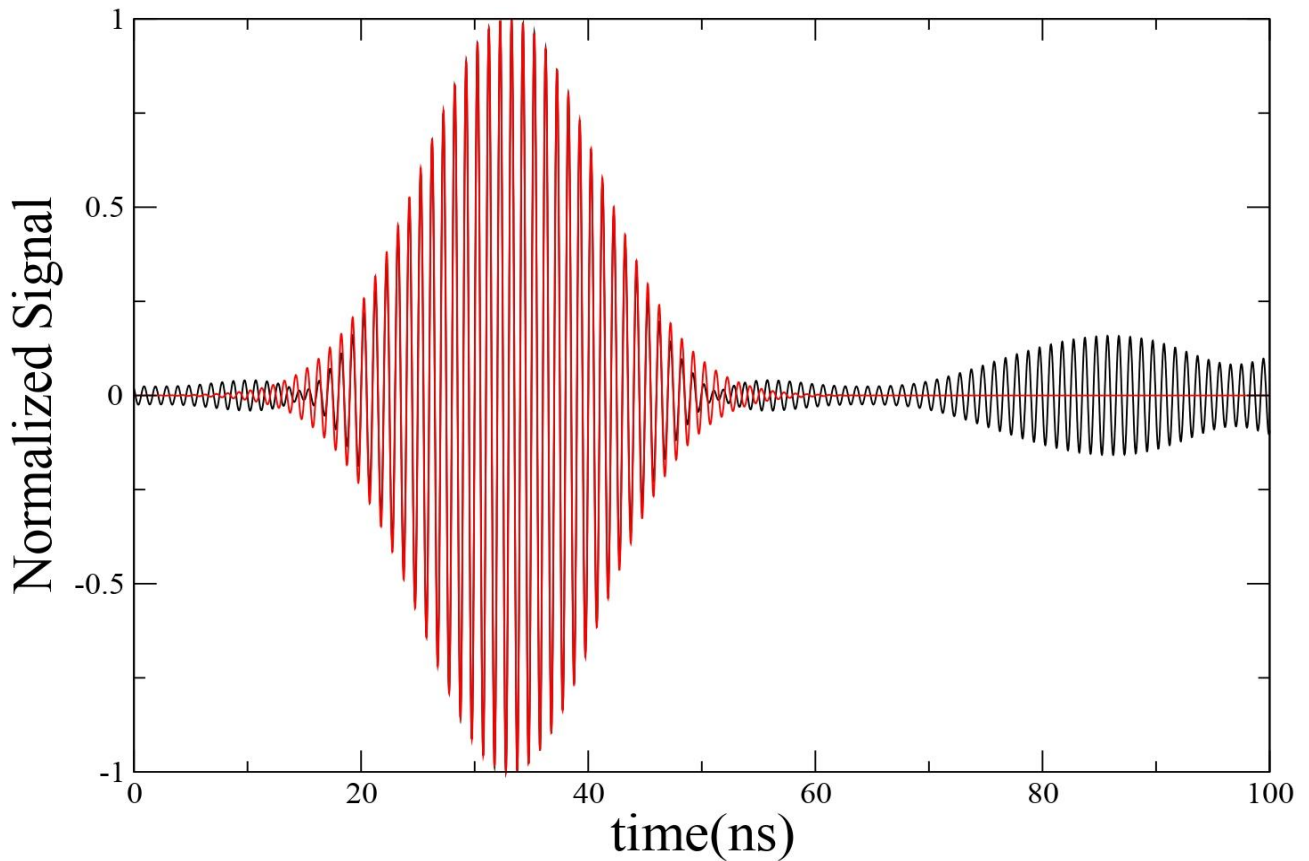


Figura 5.2: Misura n°30 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza -60 dBm.

In questo caso la potenza è pari a -60dBm, il che dovrebbe far pensare ad un discostamento totale del segnale ricostruito dall'andamento principale, ma non è così.

-Misura 31 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Camera vuota. Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz. Potenza 10 e 0 dBm.

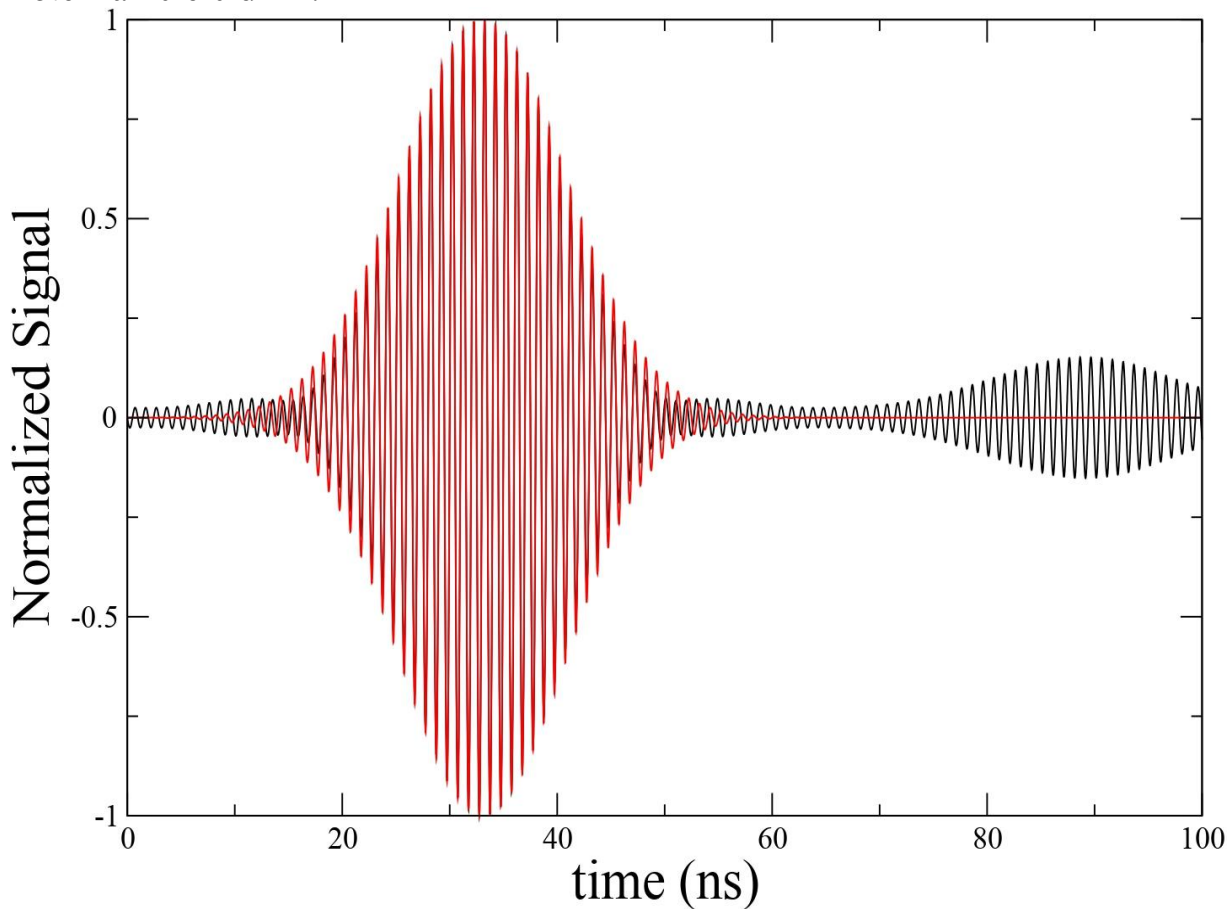


Figura 5.3: Misura n°31 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza 10 dBm e 0dBm.

Anche mantenendo lo stirrer a 30 gradi e ripetendo la misura per 10 volte, in modo da vedere nel tempo come varia il segnale in funzione del rumore, con una potenza di 10 dBm il segnale ricostruito ha un comportamento regolare.

-Misura 33 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Camera vuota. Misura ripetuta 10 volte sulla stessa posizione (30 deg), 169 sottobande da 50 MHz. IFBW=1 kHz. Potenza -60 dBm.

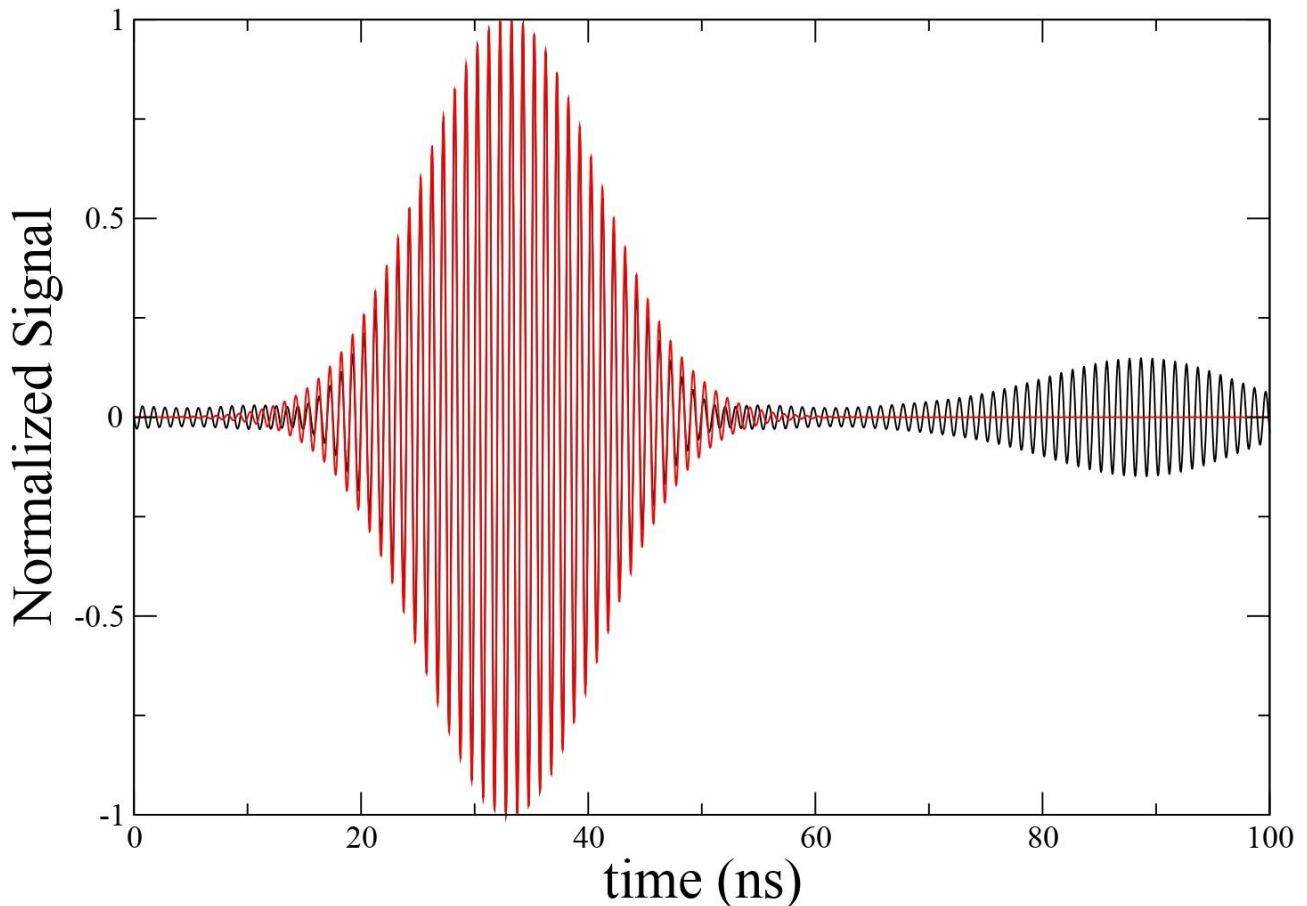


Figura 5.4: Misura n°33 Dipolo tra due pezzi di VHP-8-NRL. Potenza -60 dBm.

In questo caso il segnale, con una potenza in ingresso di -60dBm, ha comunque un comportamento robusto.

5.1.1 Discussione dei risultati riguardanti la prima fase

Analizzando i risultati dati dalle varie misurazioni con un graduale decremento della potenza del segnale in entrata, si è potuto constatare che il segnale, anche con un debole ingresso, ha un comportamento robusto ed il segnale ricostruito tramite il Time Reversal non presenta “deformazioni” significative dovute al rumore.

5.2 Elaborazione dei dati tramite Routine del rumore

In questa seconda fase dell'analisi dei dati relativi alle misure, ci siamo soffermati sul confronto tra il segnale pulito, preso dalla Misura n°24 (potenza 10dBm e 0dBm), ed il segnale "sporco" il quale presenta un rumore bianco dovuto ad una routine matematica aggiunta al programma in linguaggio C utilizzato per l'elaborazione dei dati. La routine si basa su un generatore di valori con distribuzione Gaussiana. Ogni grafico rappresenta il confronto tra un segnale pulito ed il segnale con un Rapporto Segnale-Rumore (SNR signal Noise Ratio) che viene a diminuire gradualmente.

Di seguito sono riportati i grafici che più caratterizzano questo confronto:

(Legenda: Verde- Segnale rumoroso, Nero- Segnale pulito)

Con SNR a 5dB

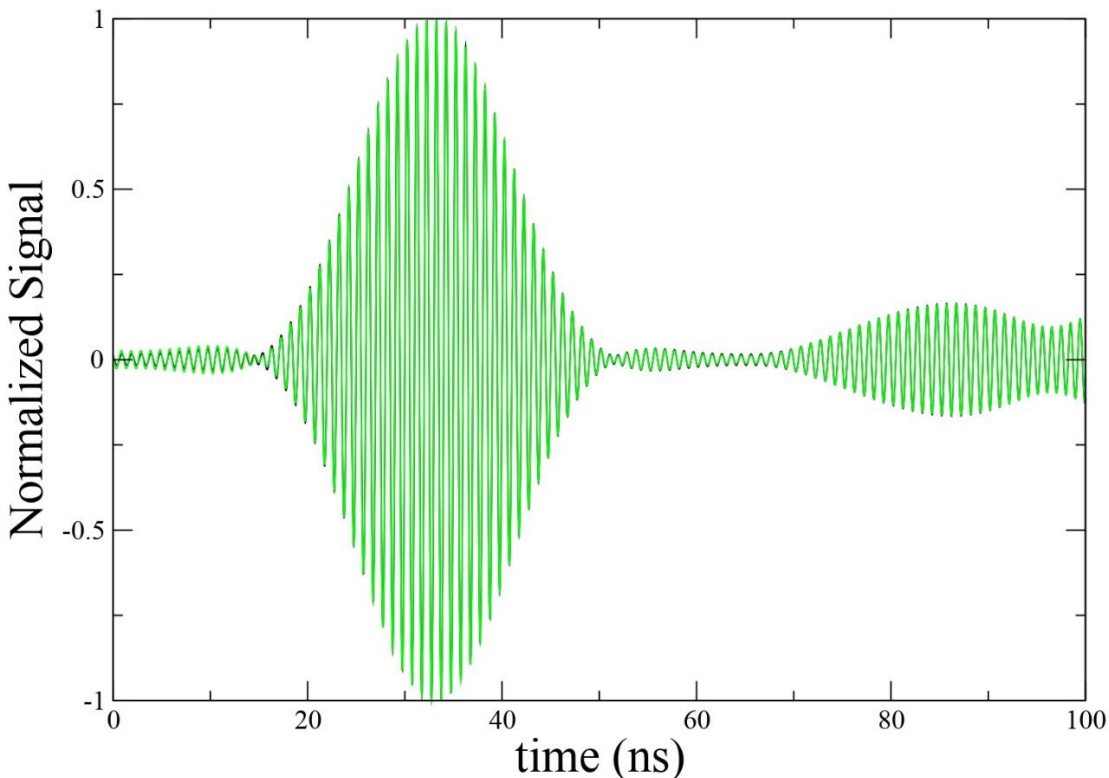


Figura 5.5: Misura n°24, SNR 5dB.

Con un SNR positivo di 5 dB i due segnali si sovrappongono quasi perfettamente, ad attestare che il rumore aggiunto è minimo.

Grafico del particolare:

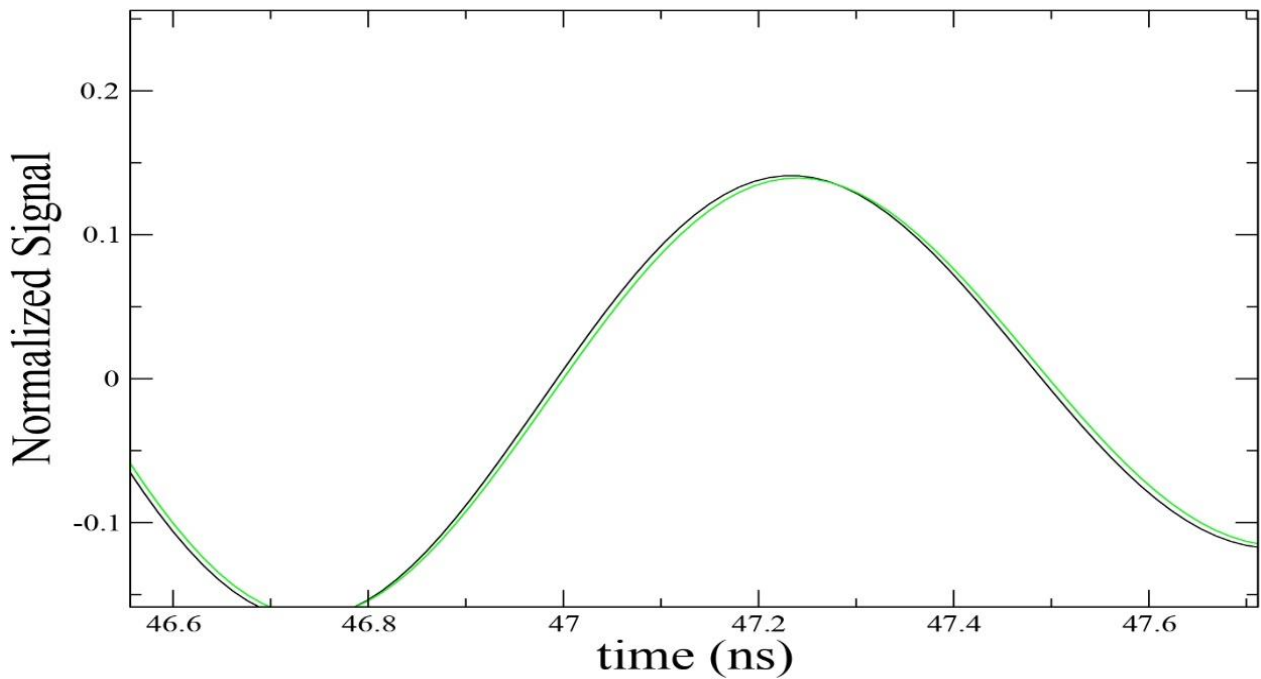


Figura 5.6: Misura n°24, SNR 5dB, particolare.

Grafico generale (time a 500 ns)

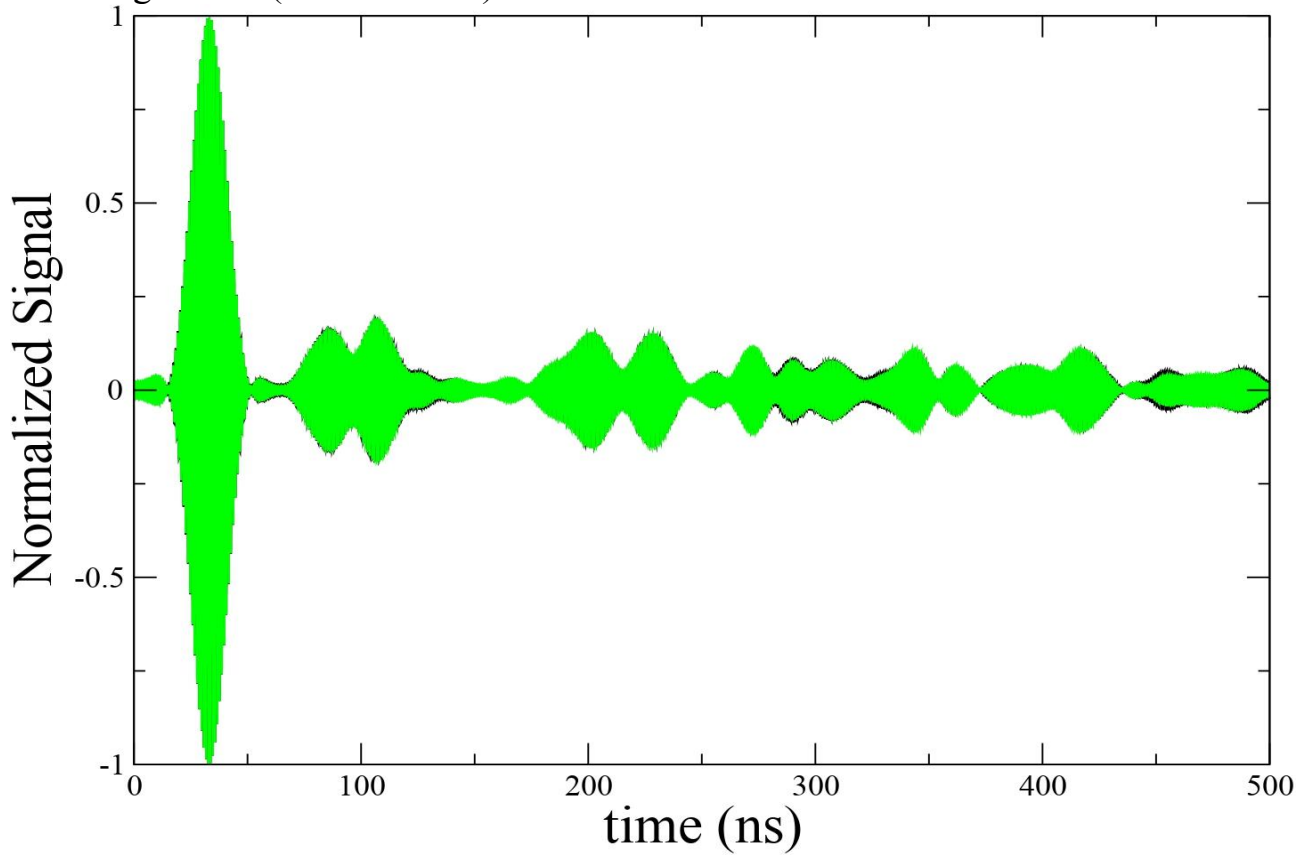


Figura 5.7: Misura n°24, SNR 5dB, Generale.

SNR -3 dB

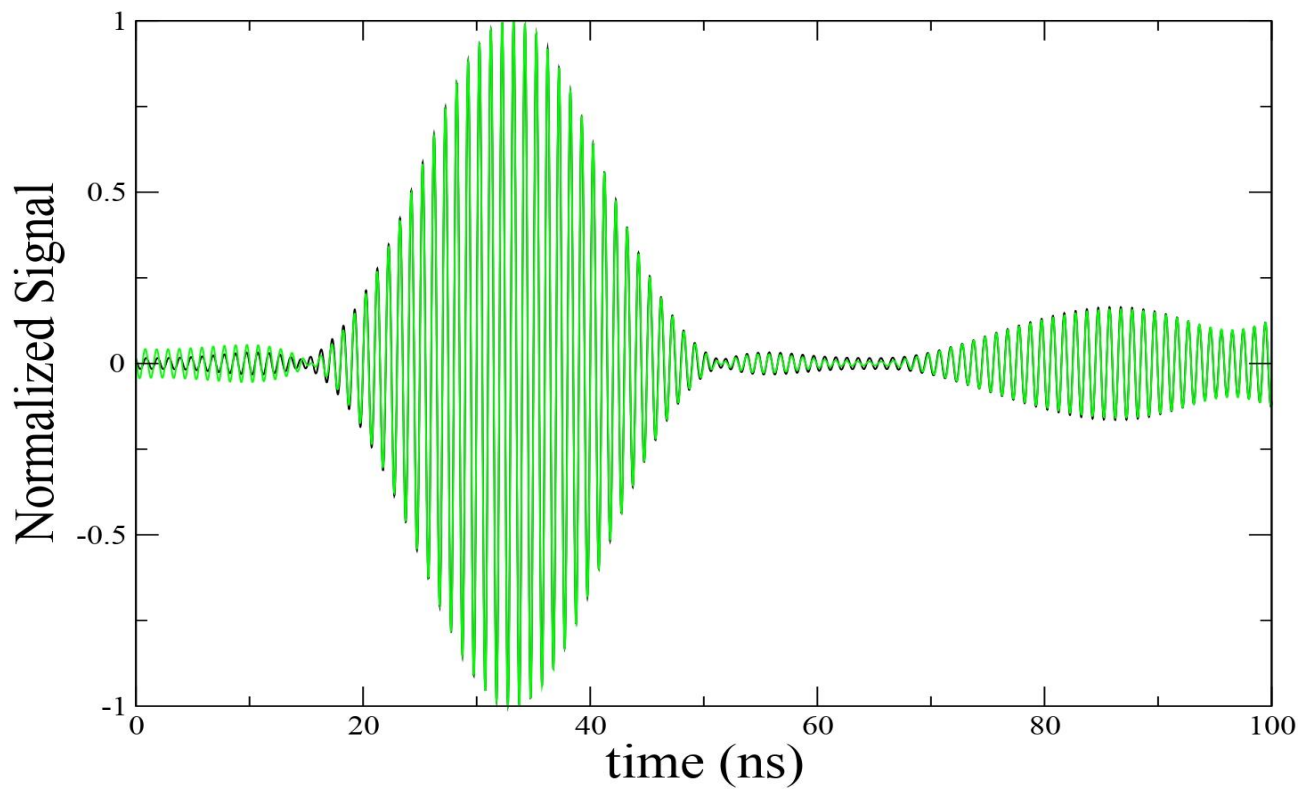


Figura 5.8: Misura n°24, SNR -3dB

Con un SNR a -3dB si può iniziare a notare un piccolissimo discostamento tra i due segnali, questo solo nel particolare e nella coda del grafico generale.

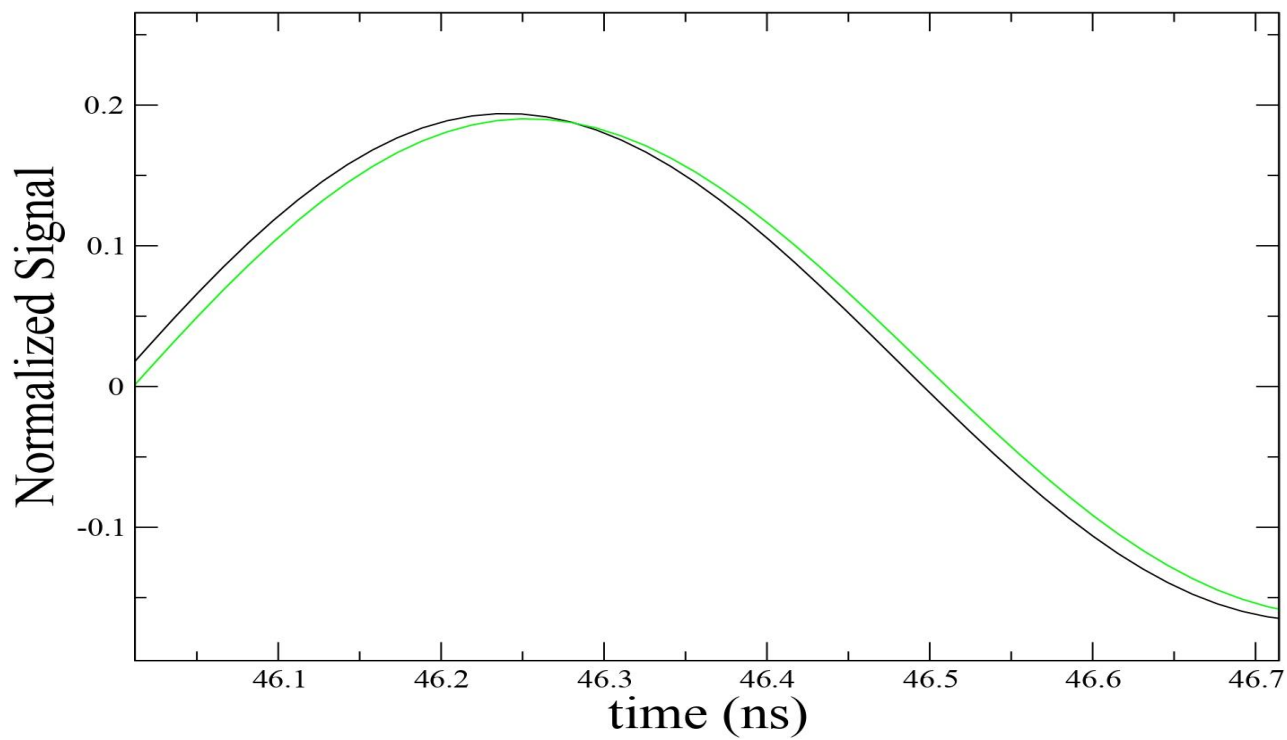


Figura 5.9: Misura n°24, SNR -3dB, Particolare.

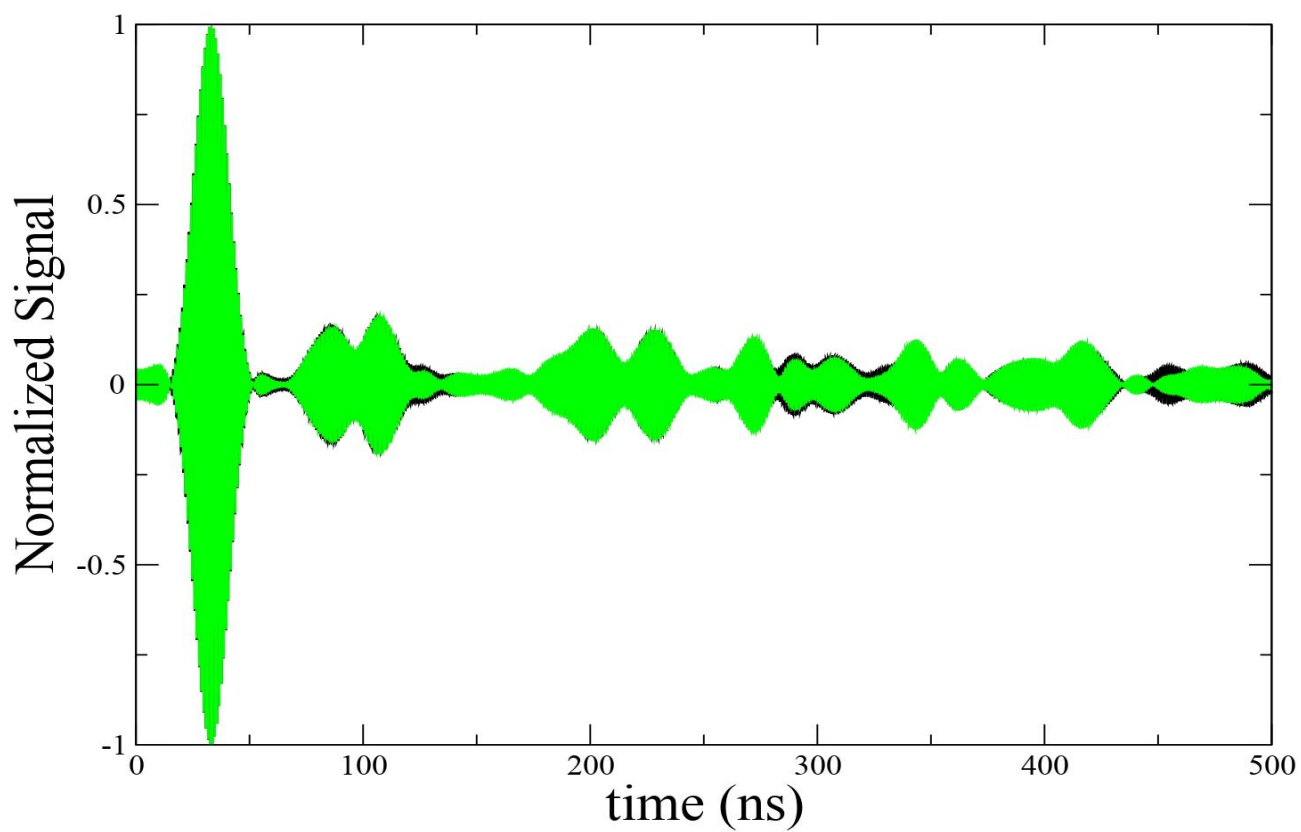


Figura 5.10: Misura n°24, SNR -3dB, Generale.

SNR -10dB

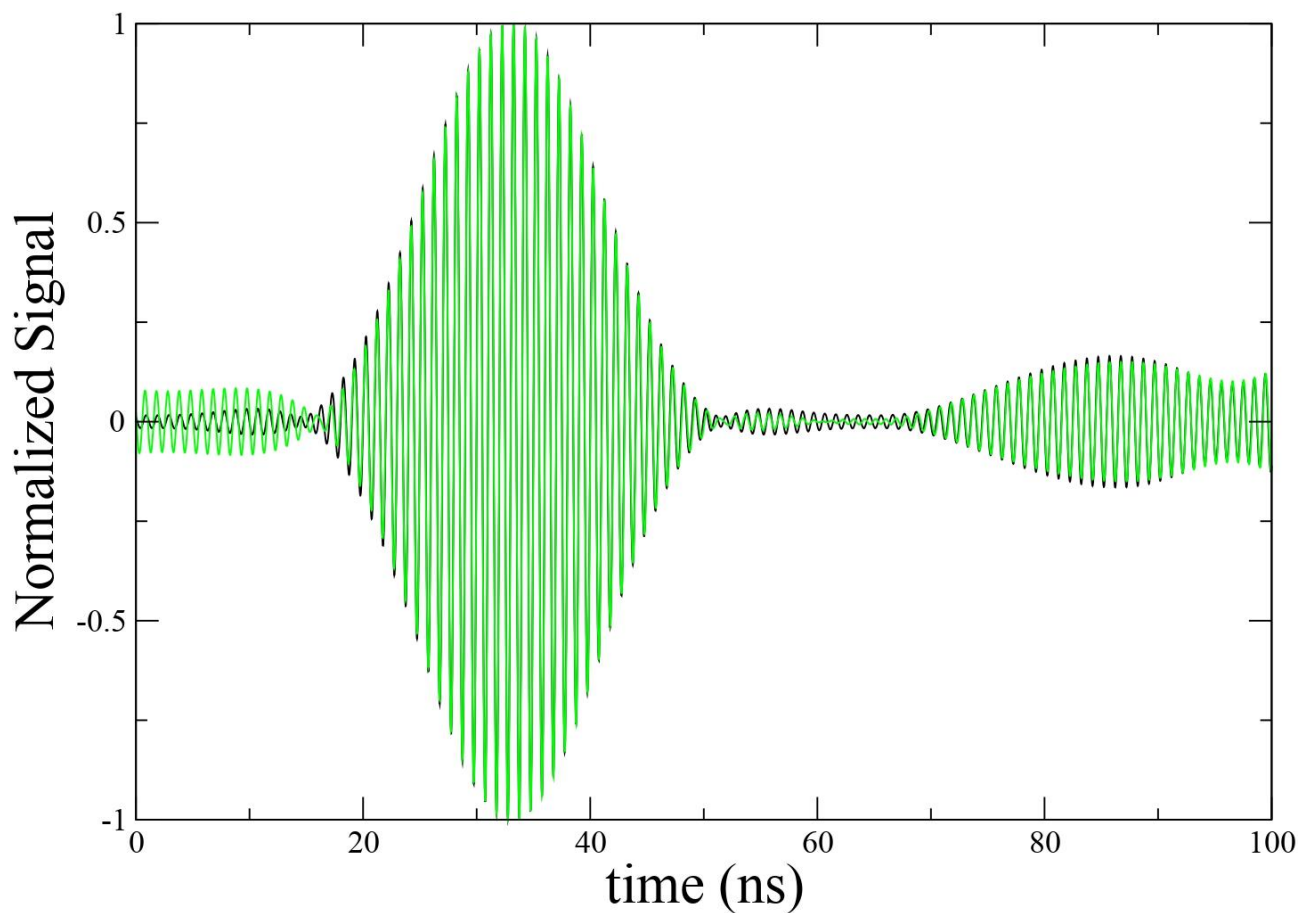


Figura 5.11: Misura n°24, SNR -10dB

Con SNR a -10dB si ha un discostamento maggiore tra i due segnali, questo si può notare solo nel particolare e generale, dove si ha una prospettiva diversa. Nel grafico generale, in questo caso abbiamo adottato un doppio grafico, così da mettere in risalto entrambi i segnali, pulito e non. Anche con un SNR a -10 dB il segnale rimane robusto nella forma.

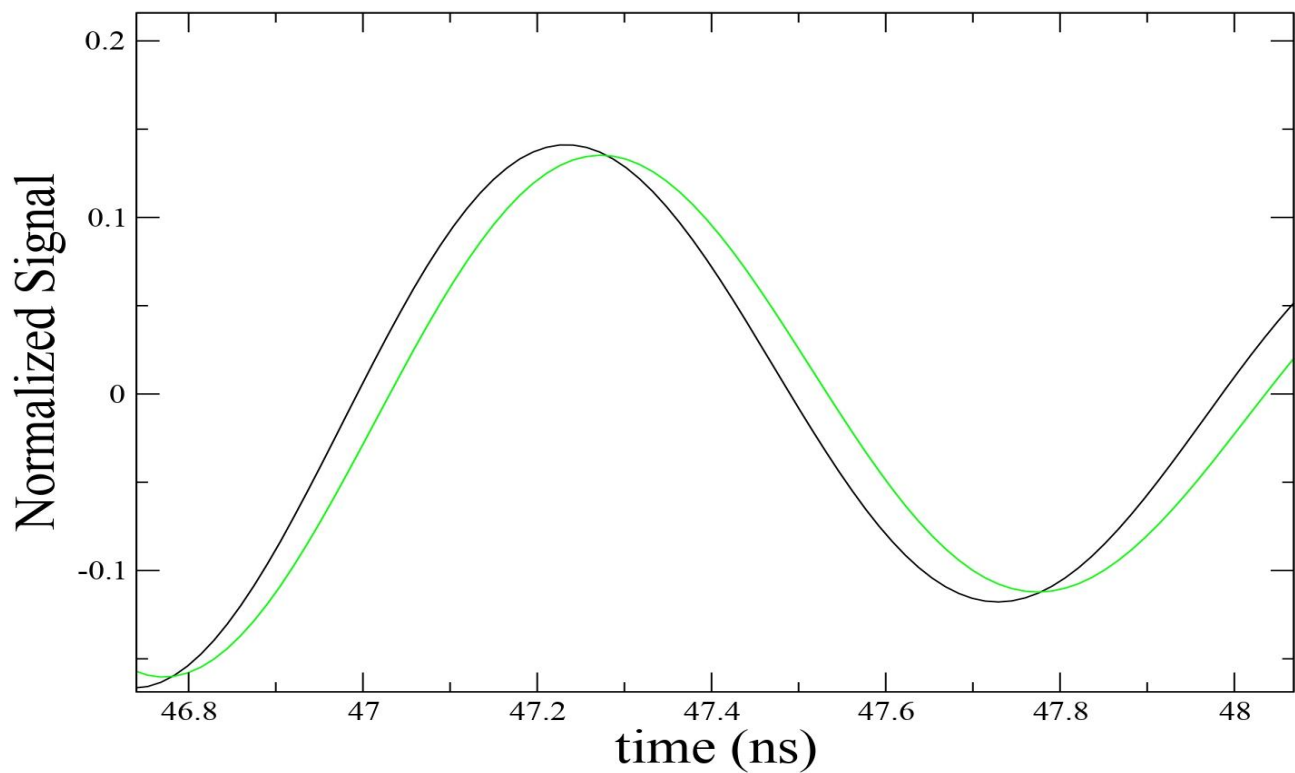


Figura 5.12: Misura n°24, SNR -10dB, Particolare.

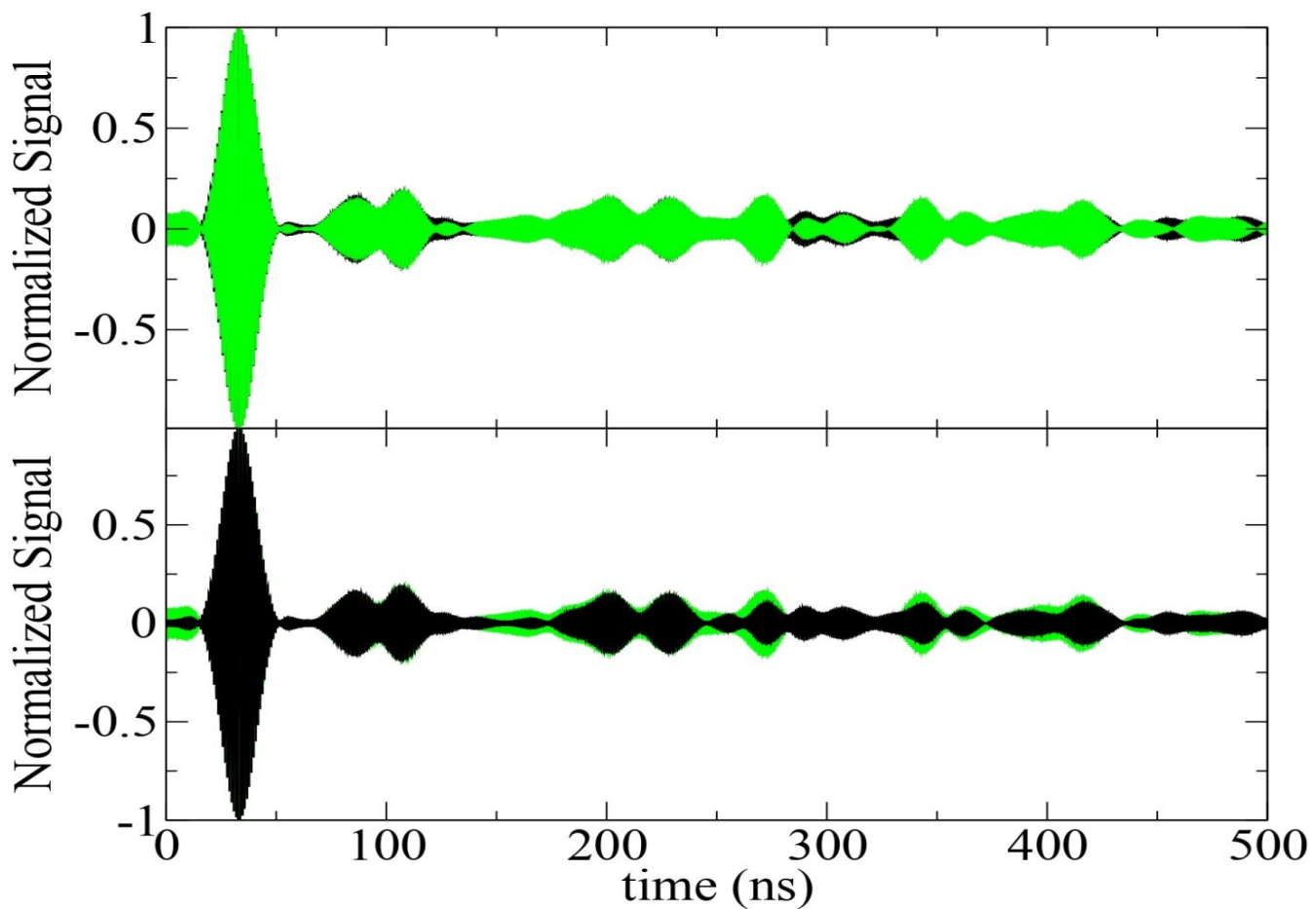


Figura 5.13: Misura n°24, SNR -10dB, Generale. Doppio grafico.

SNR -20 dB

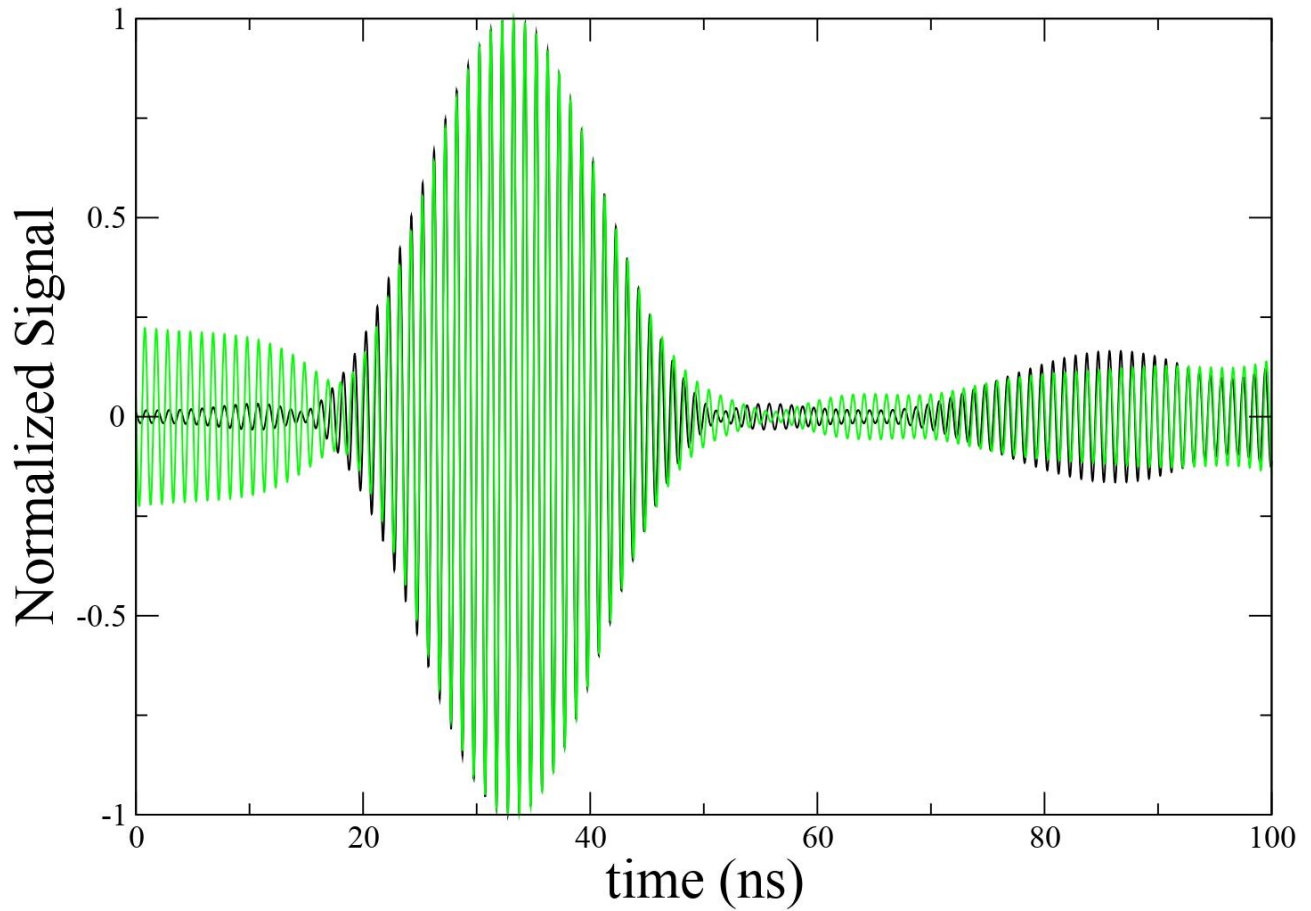


Figura 5.14: Misura n°24, SNR -20dB.

Con un SNR a -20 dB il segnale inizia a distorcersi rispetto al segnale pulito, mantenendo comunque una forma simile al segnale pulito.

Le differenze maggiori possono essere osservate nel grafico particolare e nel doppio grafico generale, nei quali i due segnali sono ben separati tra loro.

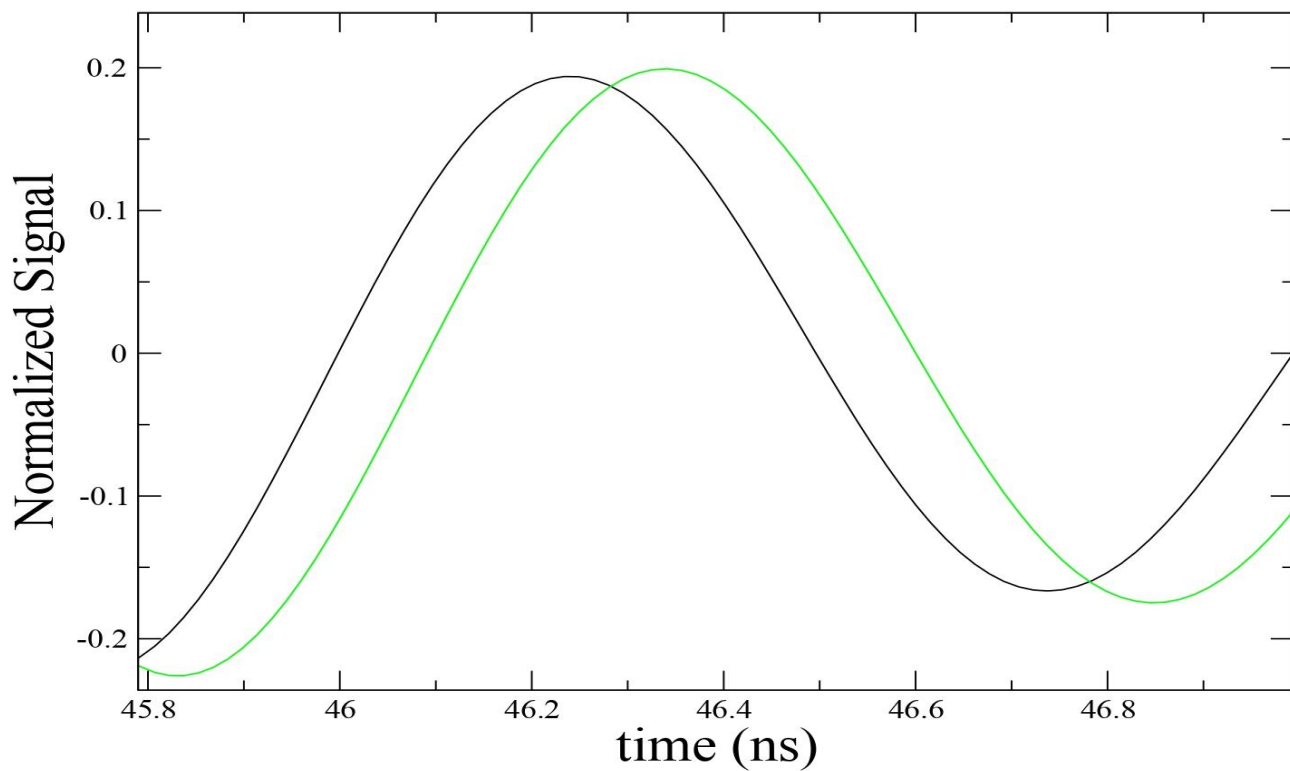


Figura 5.15: Misura n°24, SNR -20dB, Particolare.

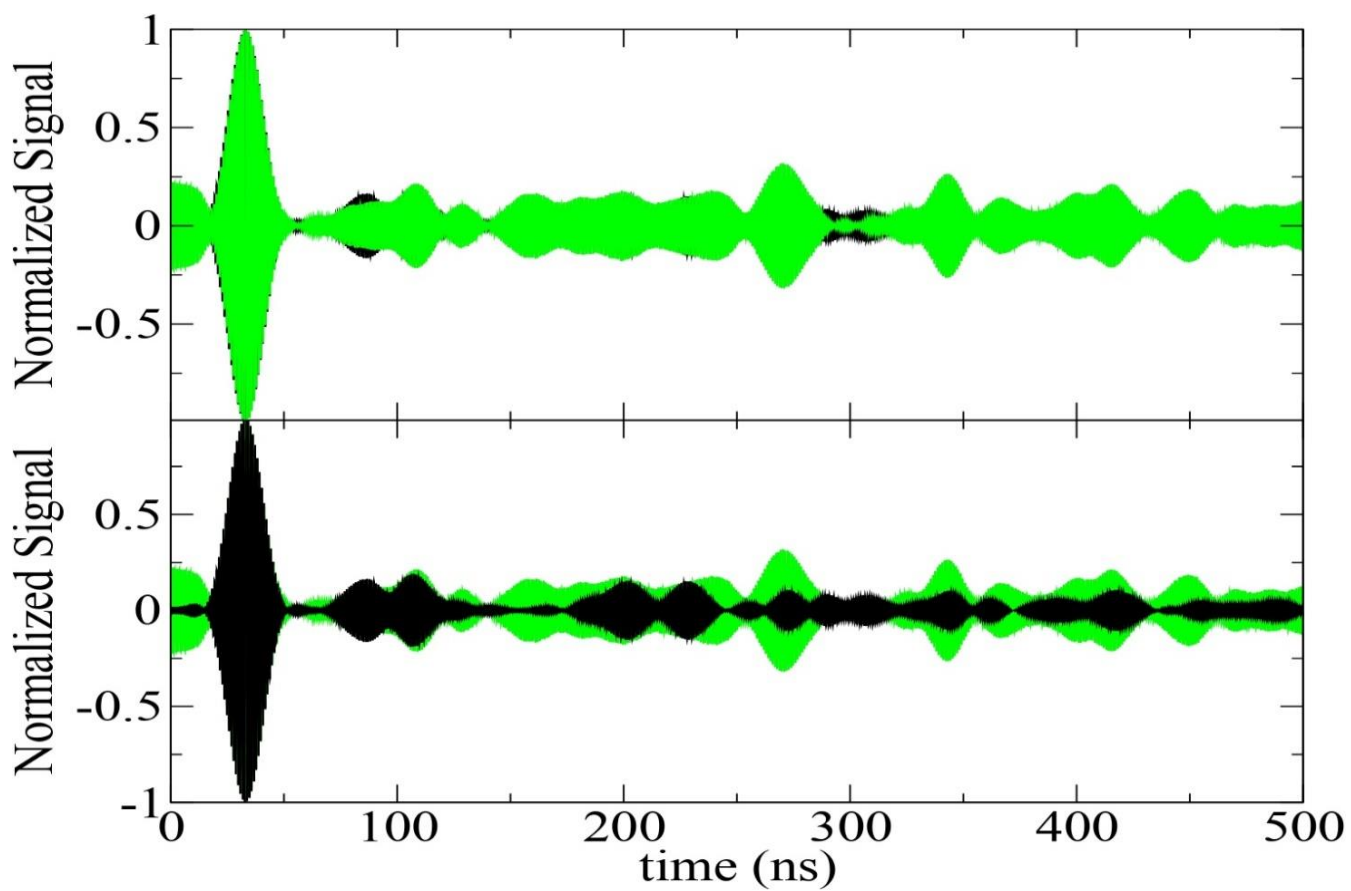


Figura 5.16: Misura n°24, SNR -20dB, Generale. Doppio grafico.

SNR-40dB

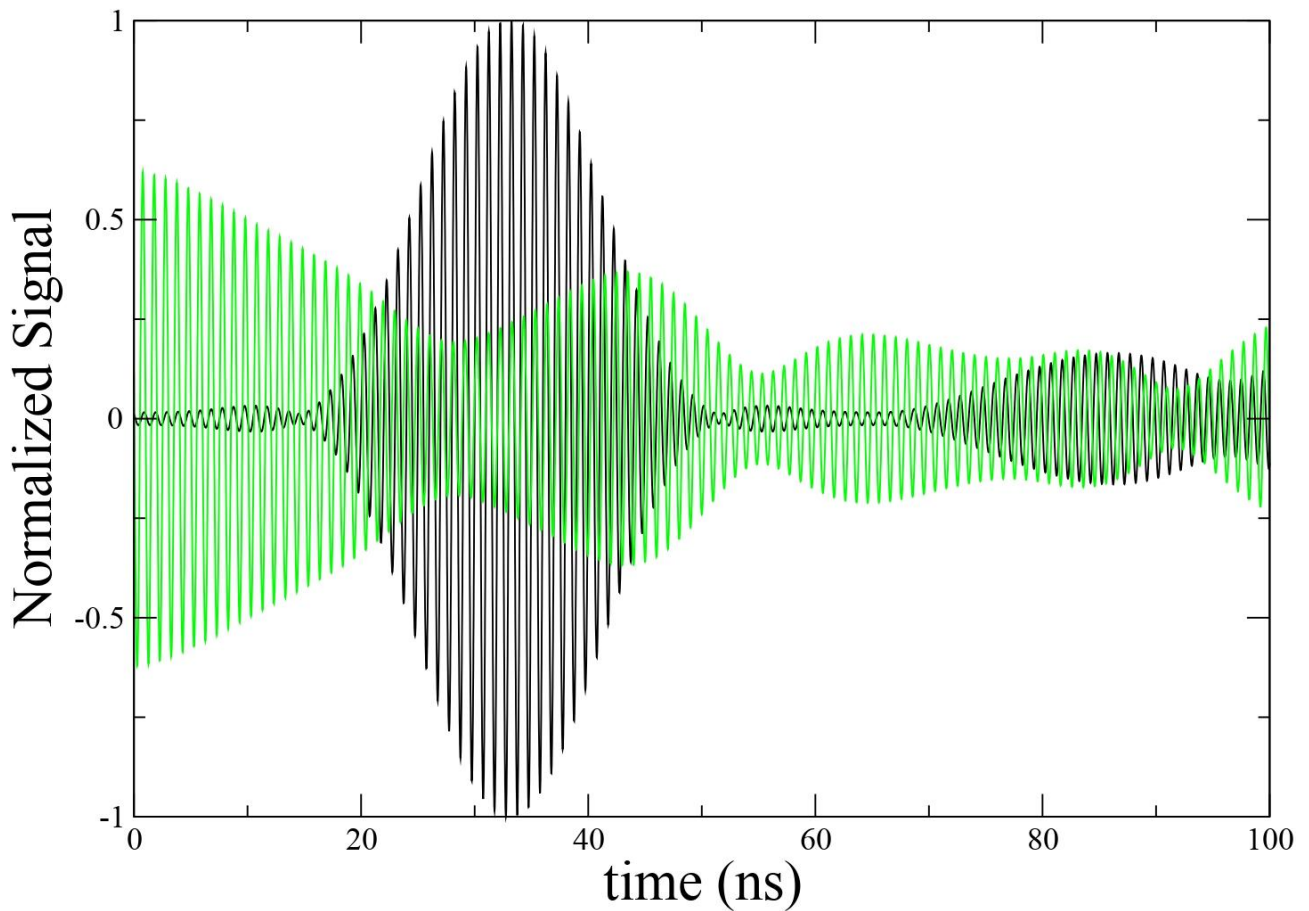


Figura 5.17: Misura n°24, SNR -40dB.

In questo ultimo caso, avendo un SNR a -40dB si nota la quasi totale “distruzione” della forma rumorosa del segnale, il quale viene totalmente coperto dal rumore generato dalla routine.

In tutti i grafici, in questo caso, è apprezzabile la differenza tra il segnale pulito ed il segnale sporco.

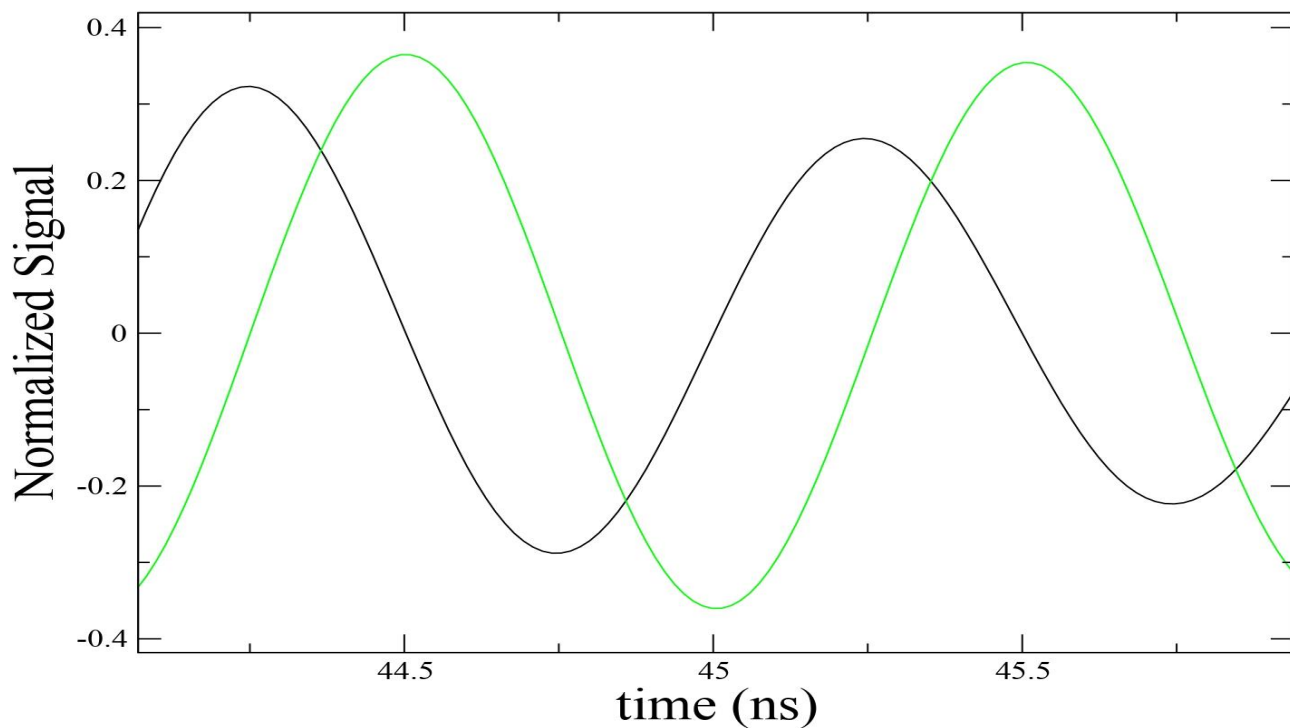


Figura 5.18: Misura n°24, SNR -40dB, Particolare.

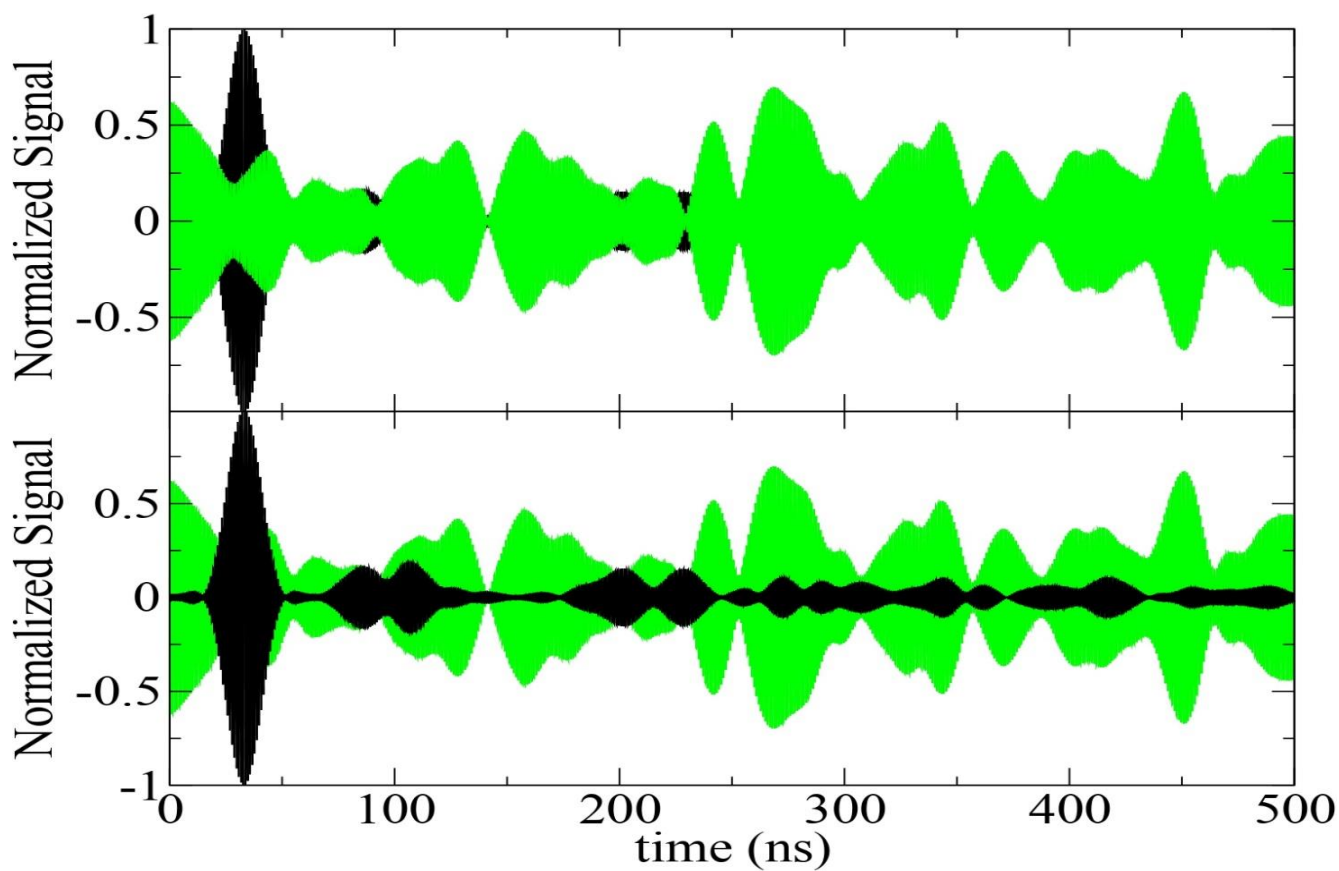


Figura 5.19: Misura n°24, SNR -40dB, Generale. Doppio grafico.

5.2.1 Discussione dei risultati riguardanti la seconda fase

In questa seconda fase, si voleva analizzare e studiare il comportamento del segnale ricostruito mediante Time Reversal, con l'aggiunta di rumore bianco, tramite una routine nel linguaggio C.

Dall'analisi dei grafici è venuto fuori che, il segnale anche se portato a SNR molto bassi, ha un comportamento quasi identico. Il che ci porta a pensare che il segnale ricostruito tramite TR sia un segnale molto robusto.

Capitolo 6

Conclusioni

La conclusione alla quale siamo arrivati, dopo aver analizzato le varie misure, mediante metodo sperimentale e metodo matematico di aggiunta del rumore, è che il TR può essere utilizzato anche al fronte di rumori elevati, ciò lo rende un candidato perfetto per l'utilizzo in ambienti rumorosi.

Questo lavoro di tesi è una piccola parte del lavoro che continua a svolgersi nei laboratori EMC del dipartimento di ingegneria dell'Informazione.

Bibliografia

- [1] Mathias Fink, Didier Cassereau, Arnaud Derode, Claire Prada, Philippe Roux, Mickael Tanter, Jean-Louis Thomas, and Francois Wu. *Time-reversed acoustics. Reports on Progress in Physics*, 63(12):1933, 2000.
- [2] D. A. Hill. *Electromagnetic Theory of reverberation chambers. U. S. Nat. Inst. Stand. Technol. Tech. Note 1506*, 1998.
- [3] M. Fink. *Time reversal of ultrasonic fields. I. basic principles. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 39(5):555–566, September 1992.
- [4] D. Cassereau and M. Fink. *Time-reversal of ultrasonic fields. III. theory of the closed time-reversal cavity. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 39(5):579–592, September 1992.
- [5] S. Cruciani and M. Feliziani. *Uwb source localization by using the pseudospectral time-domain time-reversal method in biological tissues. IEEE Transactions on Magnetics*, 51(3):1–4, March 2015.
- [6] M. D. Hossain, F. Yang, M. J. Abedin, and A. Sanagavarapu Mohan. *Time reversal microwave imaging for the localization and classification of early stage breast cancer. In Asia-Pacific Microwave Conference 2011*, pages 477–480, December 2011.
- [7] P. Kosmas, S. Laranjeira, J. H. Dixon, X. Li, and Y. Chen. *Time reversal microwave breast imaging for contrast-enhanced tumor classification. In 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, pages 708–711, August 2010.
- [8] Biniyam Tesfaye Taddese, Gabriele Gradoni, Franco Moglie, Thomas M Antonsen, Edward Ott, and Steven M Anlage. *Quantifying volume changing perturbations in a wave chaotic system. New Journal of Physics*, 15(2):023025, 2013.
- [9] G. Lugrin, N. M. Mora, F. Rachidi, M. Rubinstein, and G. Diendorfer. *On the location of lightning discharges using time reversal of electromagnetic fields. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 56(1):149–158, February 2014.
- [10] H. Vallon, A. Cozza, F. Monsef, and A. Chauchat. *Time-reversed excitation of reverberation chambers: Improving efficiency and reliability in the generation of radiated stress. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 58(2):364–370, April 2016.
- [11] Franco Moglie and Valter Mariani Primiani. *Analysis of the independent positions of reverberation chamber stirrers as a function of their operating conditions. 53(2):288–295*, May 2011.
- [12] Franco Moglie, Valter Mariani Primiani, and Anna Pia Pastore. *Modeling of the human exposure inside a random plane wave field. Progress In Electromagnetics Research B*, 29:251–267, 2011.

[13] R. De Leo, V. Mariani Primiani, F. Moglie, and A. P. Pastore. Sar numerical analysis of the whole human body exposed to a random field. In 2009 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pages 81–86, August 2009.

Citazioni:

*Focalizzazione di campi elettromagnetici in mezzi dissipativi mediante tecnica dell'inversione temporale in camere riverberanti Ausilia Teresa Frisco 2017-2018
Dalla quale ho preso spunto per la costruzione dell'argomentazione della tesi.*