



Università Politecnica delle Marche

Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze dell'Ingegneria
Corso di Dottorato in Ingegneria Industriale

Antenne di Torsione e possibili conseguenze nella Fisica Fondamentale

Ph.D. Dissertation of:

Danilo Paci

Supervisor:

Prof. Gianni Albertini

Ph.D. Course coordinator:

Prof. Ferruccio Mandorli

*Raffaello
Valentino
Vera*

Il mio Riferimento Assoluto.

Prefazione

L'articolo 2 della legge 13.08.1984 , n° 476 e s.m.i. così recita: "Ai pubblici dipendenti ammessi ai corsi di dottorato di ricerca si applica quanto disposto dall'art. 2 della Legge 13.08.84, n. 476, e s.m.i., sul collocamento a domanda in aspettativa o in congedo straordinario per motivi di studio, con o senza assegni, compatibilmente con le esigenze dell'amministrazione di appartenenza e solo nel caso essi risultino iscritti per la prima volta a un corso di dottorato di ricerca.". La succitata legge mi ha permesso di poter aderire al richiamo del mio tutore Professor Gianni Albertini, con il quale già da anni avevo un rapporto di collaborazione in veste di coadiutore didattico, per intraprendere, dopo molti anni di insegnamento negli Istituti di Istruzione Secondaria, una nuova, gravosa, stimolante sfida intellettuale che ha messo alla prova non solo la mia capacità di ricondizionare il mio ormai farraginoso approccio allo studio ma anche di mettere in discussione le stesse basi delle mie conoscenze.

Estremamente stimolante è stato il potermi dedicare in totale indipendenza alla predisposizione di una serie di esperimenti volti, come si vedrà, ad indagare in maniera empirica (spero non nell'accezione Kantiana del termine) attorno a fenomenologie per me fino a tre anni fa sconosciute ma di grande suggestione.

RINGRAZIAMENTI

Durante questi tre anni ho avuto l'avventura di incontrare moltissime persone di grande levatura scientifica spesso comprensive riguardo la mia talvolta totale inesperienza nel campo della specifica attività di ricerca.

A tutti porgo i miei ringraziamenti ma non posso fare a meno di ringraziarne segnatamente alcuni sapendo che purtroppo, per ragioni di vetustà della mia memoria, altri importantissimi incontri resteranno, non volutamente, tagliati fuori.

Per primo devo riconoscere al Professor Antonio Morini il coraggio e l'incoscienza di avermi aperto le porte del laboratorio di microonde e di avermi affidato il suo prediletto strumento di misura con annesse le personali istruzioni sul suo funzionamento; al suo collega Professor Leonardo Zappelli un grazie per l'ironica ma benevola e puntuale disponibilità.

Al Professor Fabio Cardone devo riconoscere il merito di avermi prospettato nuovi orizzonti della fisica con il suo grande spirito pionieristico, le sue capacità di coinvolgimento e la sua straordinaria conoscenza della storia della ricerca scientifica.

Un ringraziamento per la cortese sollecitudine ad Antonio Pinelli ed a Giuliano Giuliani.

Impossibile non citare l'Ing. Andrea Rocchi e l'Ing. Fabrizio Ciciulla che, pazienti compagni di corso, hanno sopportato le mie richieste di aiuto degne di un vecchio utente del "Fortran" e del "LOTUS 123", quale ero, rendendomi quasi un "millennial": grazie!

Voglio qui ringraziare Roberto Mancini che con la sua affabile ed affidabile presenza ha fatto di un rapporto di collaborazione tecnica una purtroppo breve ma sincera amicizia.

Ovviamente, un ringraziamento particolare al più solare, amichevole, gentile, curioso, e indubitabilmente autorevole Tutor che potessi sperare di avere: il Professor Gianni Albertini.

Di nuovo, per tutto questo, grazie Gianni.

Introduzione

Da più di un decennio vari studiosi e ricercatori riportano dati sperimentali che suggeriscono la possibilità di ottenere mediante l'applicazione di presse[1] o di ultrasuoni [2], risultati che sfuggono la spiegazione nell'ambito della fisica nota. Tali risultati troverebbero una spiegazione in una teoria secondo cui le fenomenologie evidenziate possono essere inquadrate nell'ambito di una geometria non Minkowskiana dello spazio-tempo.

La teoria ora chiamata DST (Deformed Space-time Theory) ovvero Teoria dello Spazio-tempo Deformato secondo cui il parametro della energia assumerebbe la funzione di quinta dimensione e giocherebbe un ruolo essenziale nel determinare i fenomeni riportati in letteratura, prevede che anche nel caso delle interazioni elettromagnetiche esista la possibilità che, per opportune concentrazioni di energia, si possano verificare fenomeni non convenzionali. Nel 2014 viene brevettata un'antenna ad opera del Capitano di Fregata Ing. Clarbruno Vedruccio (patent n.ITBO020120598(A1)-2014-05-06) in uso alle Forze Armate Italiane e perciò soggetta a comprensibile riservatezza.

L'inventore, successivamente, per pura curiosità scientifica dettata dalle peculiari caratteristiche della sua invenzione, legate a suo dire al particolare angolo di torsione, si rivolse al prof. Fabio Cardone portando così a conoscenza del gruppo l'esistenza di un ulteriore possibile fenomeno epifanico della DST.

La possibilità di trovarsi di fronte a qualcosa di nuovo, ci ha spinti ad approfondire lo studio del comportamento di un'antenna bipolare a doppio loop in base alla torsione degli stessi.

La ricerca dell'esistente in letteratura riguardo antenne per le quali la torsione attorno ad un asse risultasse basilare, ha prodotto essenzialmente informazioni sull'esistenza delle Quadri Filar Helica (QHF): adatte a ricevere le trasmissioni dei satelliti polari NOAA sat e WX sat sulla frequenza di 137 MHz.[3]

Queste antenne sono state progettate dalla NASA e sono usate in qualsiasi ambito, non solo radioamatoriale, in cui si voglia raggiungere una buona sensibilità ed una opportuna direzionalità.

Esse sono costituite da cosiddetti loop quadri intrecciati in forma spiraleggiante fino a formare un apparente angolo di torsione di 180°; l'inserimento di un balun e la rigidità ne fanno oggetti estremamente diversi da quello da

noi realizzato e lontani dallo scopo che ci si è dati di studiare gli effetti sulle caratteristiche della nostra antenna in risposta alla torsione dei due loop. In letteratura è recentemente apparso uno studio sull'influenza delle torsioni superficiali sulle caratteristiche di una antenna destinata alla collocazione sulla carlinga di elicotteri militari[4, 5]. In effetti l'antenna di torsione che ci proponiamo di studiare è un pseudo quadropolo composto da due dipoli circolari concentrici ma disposti su piani ortogonali e con angolo di torsione variabile misurato rispetto alla condizione in cui i dipoli sono su piani ortogonali. Data la torsione, l'involuppo è un ellissoide di rotazione, al più una sfera, mai un cilindro (nel qual caso si ha un'antenna elicoidale e non di torsione).

Capitolo 1

Obiettivi

Il nostro obiettivo sarà verificare se e come la torsione di due loop costituenti un'antenna possa influenzare la frequenza, l'intensità e la larghezza di banda dei segnali emettibili.

Ci interesseremo anche dell'influenza della forma assunta dall'involuppo tridimensionale dei due loop sulle stesse caratteristiche dell'antenna.

A tal fine si vedranno realizzati due prototipi: il primo dalla forma ellissoidale con la lunghezza dell'asse di torsione non modificabile; l'altro potrà assumere anche una conformazione sferica variando le dimensioni dell'asse di torsione .

Indagheremo l'influenza dell'orientamento spaziale dell'antenna sulle sue caratteristiche.

Metteremo infine a confronto i dati sperimentali ottenuti con quelli teorici provenienti da modelli simulati in un risolutore ad elementi finiti.

Capitolo 2

Le prime misure Antenna 1 AF (ad altezza fissa)

Prima di orientare lo studio sull'analisi dei parametri che si fossero rivelati come importanti, ho realizzato una vasta campagna di misure che mi desse indicazioni sulla ripetibilità dei risultati o sulle eventuali possibili cause di non ripetibilità.

Questa fase preliminare, che poi ha costituito la prima parte della raccolta dati, mi ha anche permesso di prendere confidenza con le problematiche relative alla costruzione delle antenne e alla dipendenza dei risultati finali dalle piccole variazioni introdotte nella realizzazione pratica delle antenne stesse.

Il primo prototipo di antenna era costituito da due loop realizzati con filo di acciaio armonico (vedi rapporto di collaudo n° 17/071605 di SAPA ACCIAI Srl all. 1 ed i risultati dell'analisi EDS eseguita nel nostro dipartimento all. 2) del diametro di 0,5 mm e della lunghezza, nella parte circolare, di 100 e 99.5 cm rispettivamente, terminanti in due "peduncoli" curvati ad angolo retto rispetto le parti circolari (vedi fig. 2.1).

Per la fornitura dei fili d'acciaio e per la curvatura professionale dei loop e dei relativi "peduncoli" ci si è avvalsi della squisita disponibilità del Sig. Sabatini del Mollificio Mazzoni sito a San Biagio di Osimo.

La scelta del metallo è dettata dal fatto che l'acciaio inox, quando eccitato, privilegia il vettore H (campo magnetico) rispetto al vettore E (campo elettrico) nel vettore di Poynting, che descrive l'energia dell'onda, ciò è utile in pratica a causa dei troppi disturbi su E (vedasi per tutti i campi atmosferici) ed anche, più semplicemente, dalla necessità che l'antenna non subisca deformazioni permanenti derivanti dalle torsioni a cui la si vuole sottoporre.

2.1 Dettagli costruttivi

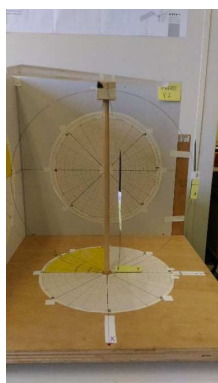
Le quattro estremità di raccordo dei loop con i connettori di tipo N, lunghe circa 12 cm la coppia, già chiamate "peduncoli", penetrano verticalmente all'interno della base lignea dell'antenna per 2 cm, e proseguono ad angolo retto nella parte sottostante la base dell'antenna, vincolati alla stessa da cavalieri di materiale isolante. Tale vincolo si è reso necessario per impedire ai loop di reagire con una rotazione dei loro piani di sviluppo attorno all'asse verticale in risposta all'imposizione della torsione dei piani di sviluppo degli stessi.

I fili di acciaio sono poi stati saldati con connettori di tipo "N" e fissati alla faccia inferiore della base (vedi fig 4.4). Le due parti di raccordo dei singoli loop sono state mantenute il più rigorosamente possibile su piani ortogonali tra di loro e sono state isolate elettricamente con guaina termo-restringente. I piani di sviluppo dei due loop nella configurazione a torsione nulla sono il piano YZ per il primo loop ed il piano XZ per il secondo; l'altezza complessiva dell'antenna lungo l'asse z, perno della torsione dei loop, risulta essere pari a 32 cm ed è costituita da una asticella di legno sormontata da un cubo di P.V.C. di 3 cm. di lato (fig. 4.3),



Figura 2.1: Il filo d'acciaio armonico pre-piegato

all'interno del quale i due fili di acciaio si scavalcano a distanza di 2 mm, senza entrare in contatto e rimanendo reciprocamente perpendicolari. Sulla testa cubica di P.V.C. è stata fissata con viti dello stesso materiale, una piattina di plexiglass attraverso la quale traguardare visivamente il piano di legno costituente la base dell'antenna suddiviso in ottanti ulteriormente ripartiti in settori di 15° . Le immagini delle figure. 2.2 e 2.3 mostrano la "Antenna 1" in configurazione corrispondente alle due torsioni estreme. Sono anche mostrati degli indicatori, non presenti durante le misurazioni, che mettono in evidenza la geometria dell'apparato.

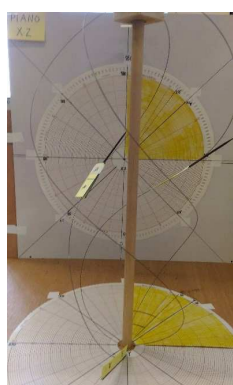


(a) vista frontale

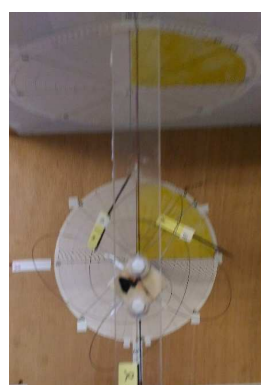


(b) vista dall'alto

Figura 2.2: Antenna 1 (altezza fissa) con Torsione 0°



(a) vista frontale



(b) vista dall'alto

Figura 2.3: Antenna 1 (altezza fissa) con Torsione 225°

con questo primo prototipo abbiamo eseguito misure seguendo le procedure e utilizzando gli strumenti descritti nel prossimo capitolo riguardante i materiali ed i metodi.

Capitolo 3

Standardizzazione delle misure: Materiali e Metodi

3.1 Definizioni delle grandezze misurate

Nella caratterizzazione di un dispositivo a microonde lo strumento principe è l'analizzatore vettoriale di rete che consiste in un circuito a n porte ciascuna delle quali può generare e rilevare segnali in un determinato intervallo di frequenze e di potenza; nel caso si usi un analizzatore a due porte, come nel nostro caso, il dispositivo sotto analisi viene alimentato alternativamente da segnali provenienti da esse; vengono quindi misurati e riportati i valori dei parametri della matrice di scattering S (qui sotto definita) in termini di modulo e di fase.

Il parametro $|S_{11}|$ non è altro che il rapporto tra l'ampiezza b_1 dell'onda riflessa alla porta 1 quando viene alimentata la stessa porta con un segnale di ampiezza a_1 e la porta 2 è terminata su un carico adattato. Tale parametro è noto come coefficiente di riflessione.[6]

Un ulteriore parametro della matrice di scattering S è il coefficiente $|S_{12}|$ noto anche come coefficiente di trasmissione dato dal rapporto tra l'intensità dell'onda trasmessa alla porta 1 e l'onda generata alla porta 2. Esso dà una misura di quanto i dispositivi connessi alle due porte siano elettromagneticamente accoppiati.

Analoga e reciproca la determinazione dei parametri $|S_{21}|$ ed $|S_{22}|$.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} | a_2 = 0 \quad S_{12} = \frac{b_1}{a_2} | a_1 = 0$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} | a_2 = 0 \quad S_{22} = \frac{b_2}{a_2} | a_1 = 0$$

Nell'elaborazione dei dati e nella loro rappresentazione grafica si fa ricorso convenzionalmente all'uso della modalità logaritmica nella quale

$$|S_{11}|[dB] = 10\text{Log}(Re^2 + Im^2) \quad (3.1)$$

Per maggior chiarezza si ritiene utile specificare che in genere nella lettura di tali grafici, ci si riferisce alle grandezze in ordinata come al "Return Loss" [7], anche se la corretta definizione di Return Loss (RL) è la seguente:

$$RL[dB] = 10\text{Log}\left(\frac{P_i}{P_r}\right) \quad (3.2)$$

e risulta essere una quantità positiva quando la Potenza "Pr" riflessa indietro verso la sorgente risulta minore della Potenza "Pi" inviata dalla sorgente verso l'antenna come sarà sempre per noi che avremo a che fare con dispositivi passivi.

In ogni caso, per correttezza di lettura, occasionalmente nell'impostazione di alcuni grafici, i valori provenienti dalle matrici di scattering, naturalmente negativi, verranno resi positivi e ci si riferirà loro come a grafici di Return Loss essendo certi di poter così più opportunamente descrivere la attitudine di un'antenna a trasmettere.

Didascalicamente, laddove il RL risulta pari a 0 dB il segnale inviato all'antenna ritorna senza attenuazione alcuna all'emettitore mentre se il RL è, ad esempio, pari a 10dB solo il 10% del segnale torna indietro, mentre il restante 90% è (auspicabilmente) emesso sotto forma di onda elettromagnetica nello spazio circostante o (eventualmente) dissipato sotto forma di calore nel circuito stesso.

Nell'eseguire le misurazioni si sono registrati i valori delle seguenti quantità:

- α ($^\circ$) : L'angolo di torsione cui sono sottoposti i due loop.
Si tratta dell'angolo di cui si ruota la parte superiore (il cubo superiore di PVC nell'antenna 1) rispetto alla base dell'antenna, che rimane fissa.
- Ω ($^\circ$): L'angolo tra il piano di sviluppo del primo loop ed il Nord magnetico.
- Data ed ora della misurazione.

L'introduzione della variabile Ω è stata dettata dall'esigenza di tener da conto le influenze ambientali possibili derivanti dalla diversa disposizione dell'antenna nell'ambito del laboratorio, la data e l'ora sono state considerate per una più ampia definizione dell'ambito sperimentale; infatti alcuni autori hanno suggerito una dipendenza della violazione dell'invarianza di Lorentz per l'interazione elettromagnetica dall'orientamento rispetto al Nord Magnetico locale preso come una direzione convenzionale di riferimento [8, 9], argomento, questo, che verrà ripreso nel capitolo 9 per le conclusioni.

3.2 Apparato di misura

Le curve di emissione dell'antenna sono state ottenute tramite lo "HP 8510 Vector Network Analyzer" qui di seguito rappresentato (figura 3.1), presente nel laboratorio di microonde.



Figura 3.1: HP 8510 VNA

Si tratta di una macchina capace di una completa analisi degli "scattering parameters" o "parametri S" ritenuta più che affidabile anche se un po' vetusta e capace di misure con intervalli di errore sulle frequenze molto minori dei 2 MHz che sono intrinseci alle nostre letture e senz'altro minori di $\pm 0.1dB$ per quanto riguarda le intensità, nel nostro intervallo di frequenza. [10].

Lo strumento, nel dettaglio, opera su due porte generando e rilevando segnali a microonde in un intervallo di frequenze preselezionabile in una finestra che può andare da 45 MHz a 26.5 GHz.

I nostri due loop venivano alternativamente alimentati da segnali provenienti dalle due porte producendo i valori dei parametri della matrice di scattering in termini di modulo e di fase.

Dopo aver provveduto ad una accurata calibrazione dell'apparato di misura utilizzando l'opportuno "calibration kit" della KEYSIGHT in uso nel laboratorio, ne sono state memorizzate le specifiche per poterle poi richiamare in tutte le sedute successive.

Prevedendo, dall'analisi delle caratteristiche costruttive, una frequenza di risonanza dell'antenna approssimativamente nell'intorno dei 280 MHz ma volendo informazioni più ampie sul suo comportamento, si è analizzato l'intervallo di frequenze che va dai 100 ai 500 MHz con intervalli di scansione di 2 MHz.

3.3 Trattamento dei dati e primi risultati

I risultati delle misure, forniti nello standard "CITIFILE A.01.01 NA VERSION HP8510C.07.16" in formato testo, su supporto floppy-disk (sic!), sono stati riversati su un foglio Excel per poi essere rielaborati e riportati in grafico al variare dell'angolo torsione α .

Le figure 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 riportano l'output tipico dell'apparato di misura dopo il primo trattamento: i due coefficienti di riflessione relativi ai due loop, indicati con i termini $|S_{11}|$ ed $|S_{22}|$, sono riportati, in scala logaritmica, in ordinata mentre in ascissa è riportata la frequenza in MHz.

Le figure 3.3 e 3.5, in particolare, riportano, sempre in dB e a valori molto più bassi, anche il parametro $|S_{12}|$, atto a valutare quanta parte dell'energia "persa" dal primo loop sia stata prelevata dal secondo loop.

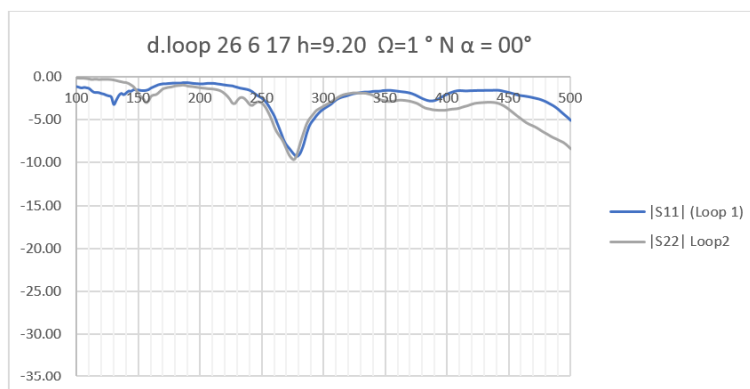


Figura 3.2: I dati di $|S_{11}|$ ed $|S_{22}|$ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$

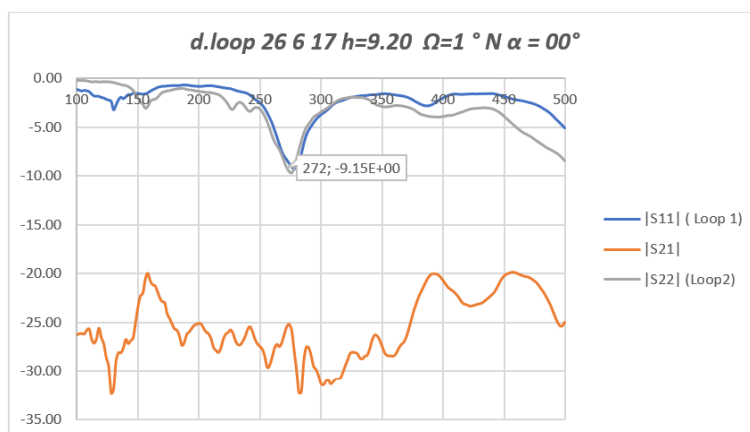


Figura 3.3: Come in figura 3.2 qui con anche $|S_{12}|$

Nelle stesse figure, in alto, si possono ritrovare per ogni misura la data, l'ora, l'orientamento (indicato con " Ω ") del piano di sviluppo del primo loop rispetto al Nord Magnetico ed infine l'angolo di torsione " α " a cui sono sottoposti i loop. Ogni set di misura è consistito nell'acquisizione dei coefficienti di riflessione dei due loop in funzione della frequenza a diversi angoli di torsione α . Inizialmente si sono analizzati i segnali al variare dell'angolo

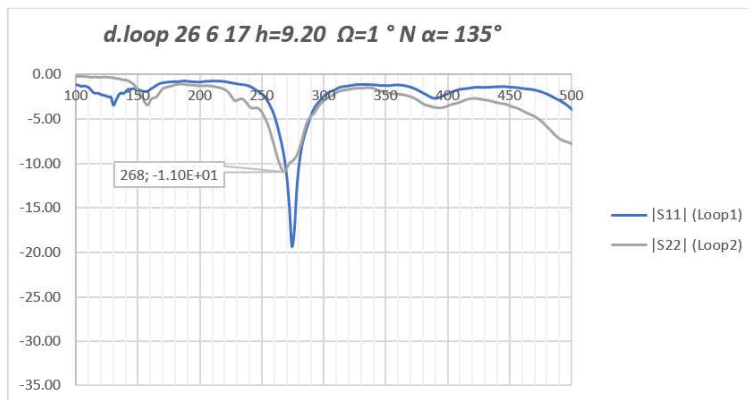


Figura 3.4: I dati di $|S_{11}|$ ed $|S_{22}|$ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0$

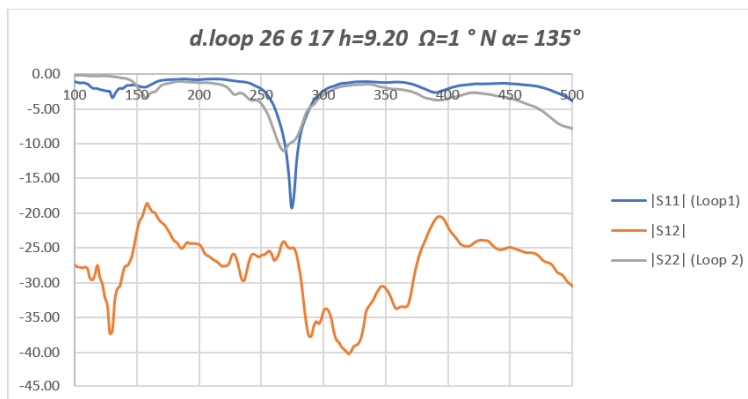


Figura 3.5: Come in figura 3.4 qui con anche $|S_{12}|$

di torsione, ad intervalli di 15° , da 0° fino a 240° ; solo in alcune occasioni ci si è spinti a registrare il RL in corrispondenza dell'angolo di torsione $\alpha=270^\circ$; oltre non si è andati poiché i due loop, già per torsioni di circa 240 gradi, tendono a disporsi in una forma di clessidra stretta al centro e possono entrare in contatto con l'asse centrale dando risultati ritenuti non rigorosamente ripetibili.

Successivamente si è stabilito di standardizzare le misure considerando i seguenti sette valori di α : $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 215^\circ$ e 225° .

Per ciascuna misura si è prodotta una cartella Excel consistente di 9 fogli. Essi sono numerati da 1 a 7, per ciascun angolo di torsione, (denominati con il valore dell'angolo di torsione stesso); nel foglio denominato "0" si sono raccolte le misure relative a tutti gli angoli di torsione i cui valori di rilievo sono poi stati compendati in una tabella (fig. 3.6), qui riportata a mo' di esempio.

In essa sono presenti tutti i dati necessari all'identificazione della misura,

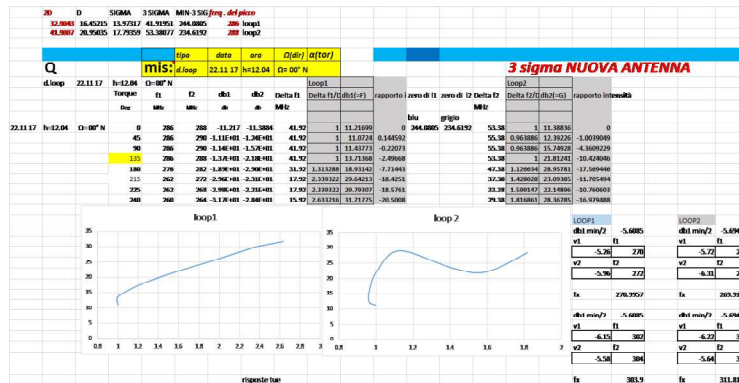


Figura 3.6: La zona dei fogli excel dedicata all’elaborazione di risultati di ciascun gruppo di misure

la procedura per valutare la larghezza (studio del sigma) del picco corrispondente al minimo del coefficiente di riflessione, i valori di detto minimo alle varie torsioni, i valori dei rapporti indicanti le variazioni della frequenza e della intensità dei picchi di minimo al variare dell’angolo di torsione rispetto alla situazione a torsione nulla, per altro visualizzati in grafici di primo acchito.

Nell’ottavo foglio, denominato ”maschera analisi picco”, si riporta una prima analisi dei dati relativi alla variazione della frequenza di centro banda ed a quella dei minimi dell’ $|S_{11}|$ e dell’ $|S_{22}|$ con la torsione.

Sin dai primi risultati ci si è resi conto di aver costruito una antenna dal buon adattamento; infatti il basso valore del coefficiente di trasmissione $|S_{12}|$ che i due loop risultavano decisamente non accoppiati.

In base a questi risultati preliminari abbiamo tralasciato ogni possibilità di ”migliorare” le caratteristiche elettroniche dell’antenna privilegiando invece la estrema semplicità (ed economicità) costruttiva.

Con questa prima antenna si è proceduto nell’esecuzione di molteplici misure eseguite in orari dispersi, compatibilmente con la disponibilità di un laboratorio e di una macchina non di nostro esclusivo uso, su tutto l’arco della giornata, ed in diversi mesi dell’anno (periodo gennaio-luglio 2017); ne risulta essenzialmente una buona ripetibilità e riproducibilità degli andamenti registrati.

Nell’intento di meglio seguire le variazioni dei segnali al variare delle torsioni si è proceduto con il riversare i dati in un vettore con componenti $|S_{ii}|$ in dB, frequenza in Mhz ed angolo di torsione α in gradi sessagesimali, per eseguire grafici di superfici 3D come quello qui riportato in figura 3.7.

Da tali grafici si è reso immediatamente visibile il ridursi della frequenza centrale del picco di risonanza di entrambi i loop ed il contemporaneo abbassamento del relativo parametro $|S_{ii}|$ —(corrispondente ad un aumento

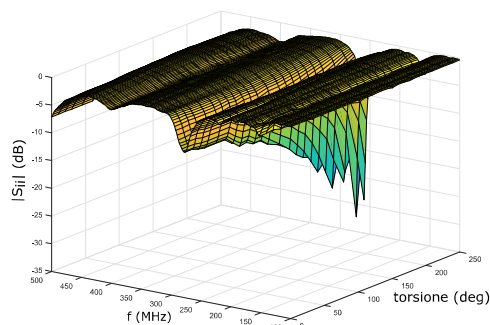


Figura 3.7: I risultati di un insieme di misure relative ad ogni torsione riportati come superficie in 3D

di return loss e quindi a maggior potenza diffusa sotto forma di onda EM) all'aumentare dell'angolo di torsione α .

Nell'ambito dell'interesse per le possibili incidenze dell'orientamento locale del nostro apparato si sono eseguite anche alcune misure con il valore di Ω pari a 89° ed a 45° : il piano del loop 1, normalmente orientato a Nord è stato portato verso Est ruotando tutta l'antenna in senso orario di 45° ed 89° , le misure scaturite da questi tentativi sono qui di seguito riportate a titolo emblematico e non hanno mostrato variazioni di rilievo né per quanto riguarda l'adattamento né per quel che concerne l'accoppiamento; la frequenza di risonanza rimane praticamente identica per ciascuna torsione e, nei limiti della variabilità intrinseca nelle misure, anche i valori dei parametri S non differiscono.

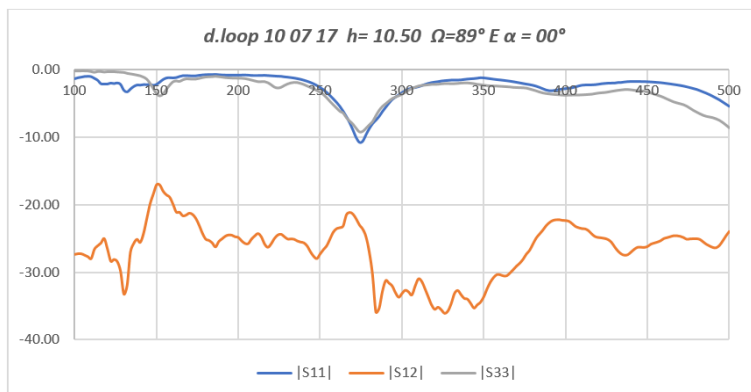


Figura 3.8: I dati di $|S_{11}|$, $|S_{22}|$, $|S_{12}|$ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$ ed $\Omega=89^\circ$

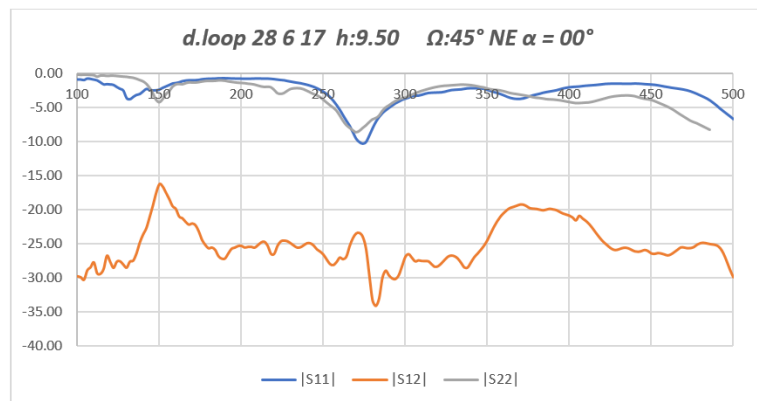


Figura 3.9: I dati di $|S_{11}|$, $|S_{22}|$, $|S_{12}|$ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$ ed $\Omega=45^\circ$

Capitolo 4

La seconda antenna

Antenna 2 GS

(ad altezza variabile)

Volendo indagare quali possibili influenze potessero avere le geometrie dell'inviluppo dei due loop sulle caratteristiche dell'antenna, sull'influenza della presenza fisica di un loop sull'altro ed anche nell'intento di avvicinarsi di più al modello dell'antenna che per prima aveva suscitato il nostro interesse, è stata realizzata una antenna che desse l'opportunità di conservare, al variare della torsione, una configurazione sferica dell'inviluppo spaziale dei due loop che nella prima antenna era vincolato, possedendo una altezza fissa dell'asse di torsione, ad un inviluppo ellissoidale.

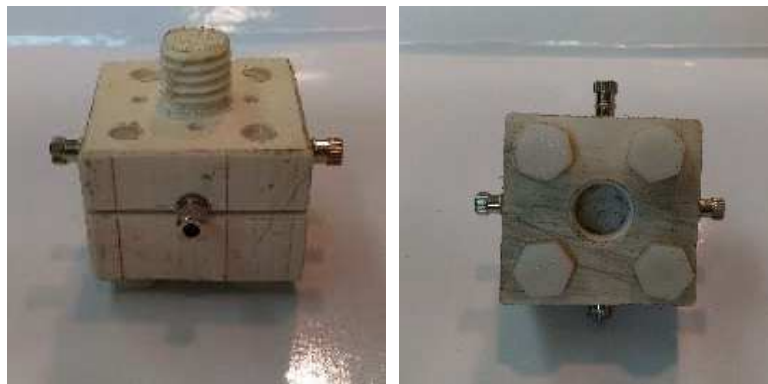
Per realizzarla si è dovuto congegnare il sistema di variare l'altezza dell'asse centrale di torsione, a questo scopo si è predisposto un asse di torsione "telescopico" mediante il quale l'altezza dell'asse stesso, in configurazione corrispondente ad una torsione di 0° fosse di circa 32 cm come nella precedente antenna e diventasse di volta in volta pari a 31- 29 - 27 - 22 - 19,5 e 19 cm in corrispondenza dei sette angoli di torsione standardizzati; nel contempo si è pensato di rendere "modulare" la struttura stessa dell'antenna e di lasciarsi l'opportunità di smontare i due loop per analizzare il comportamento di ciascuno in assenza dell'altro.

4.1 Dettagli costruttivi

Nel congegnare l'apparato si è presentata l'opportunità di costruire due modelli di antenna: la prima, con l'asse di torsione di altezza variabile, atta a riprodurre una "Geometria Sferica" fig (4.5a), l'altra ad "Asse Fisso", con l'asse di torsione bloccato in altezza, in modo da riprodurre il primo prototipo dall'inviluppo ellissoidale (fig.4.5b).

All'uopo si è pensato di costruire una basetta di PVC cubica (3cm di lato) divisa in due strati: lo strato inferiore con 4 forellini da 0,5mm di diametro disposti a croce e corrispondenti ad altrettanti forellini nella base lignea per far passare il filo di acciaio dei "peduncoli" dell'antenna; lo strato superiore con opportune modanature atte ad ospitare e trattenere dei connettori femmina saldati alle estremità superiori dei "peduncoli" stessi.

La basetta (fig.4.1a e 4.1b) è tenuta insieme da 4 viti in PVC ed è corredata da una vite ricavata al tornio al centro della parte inferiore e da una sede filettata nella parte superiore per accogliere l'asse di torsione telescopico regolabile di cui si è fatto cenno precedentemente.



(a) faccia inferiore con la sua vite (b) faccia superiore con l'alloggiamento filettato per l'asse

Figura 4.1: La basetta



Figura 4.2: La basetta: La base inferiore: I collegamenti con i connettori N

Si è provveduto anche alla costruzione di una ulteriore base inferiore (fig.4.2) che racchiudesse i "peduncoli" e li mantenesse in posizione sul piano di legno al di sotto del quale rimanevano fissati i connettori N in modo analogo al primo prototipo. Si è infine passati alla più semplice realizzazione

della "testa" (fig.4.3) anch'essa divisa in due strati con le opportune modanature e fori per accogliere al suo interno quattro prese femmina collegate in croce ma isolate elettricamente.

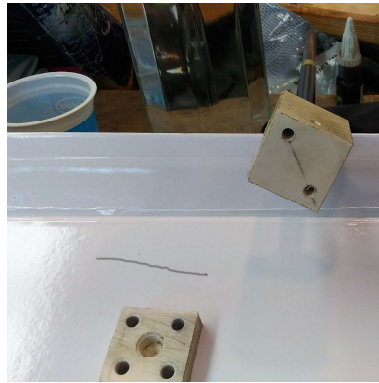


Figura 4.3: La testa di contenimento e raccordo

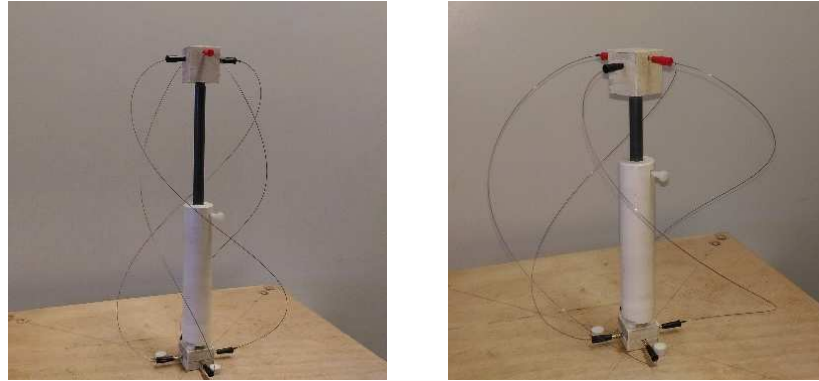


Figura 4.4: Il montaggio delle parti inferiori

Il filo di acciaio armonico pre-piegato appartenente alla stessa partita, è stato, per ciascun loop, diviso in due parti pressoché uguali (47,7 cm per il primo semi-loop e 47,5 cm per il secondo).

Alle otto estremità di tali semi-circonferenze si sono saldati, mediante saldatura a stagno preceduta da brasatura castolin in lega d'argento, connettori a banana (maschi); le relative prese sono state saldate ai "peduncoli" nella basetta ed ai conduttori incrociati nella "testa" con la medesima procedura. In tutto il processo di costruzione di questa seconda antenna si è cercato di riprodurre il più possibile le dimensioni delle componenti della prima antenna; fatta ovviamente eccezione per le saldature con i connettori a banana che non erano presenti nel primo prototipo.

Ne è risultata una antenna di cui qui di seguito si riporta un solo grafico dell' $|S_{ii}|$ corrispondente alla torsione di 0° , per la quale le due versioni so-



(a) "Asse Fisso" con torsione di 180 gradi
(b) "geometria sferica" con torsione 135 gradi

Figura 4.5: L'antenna 2

no equivalenti Fig. 4.6 dal quale si può rilevare l'analogia di andamento sia per quanto riguarda l'adattamento sia per ciò che concerne il grado di disaccoppiamento dei due loop in corrispondenza del picco di risonanza.

4.2 Prova di collaudo

Si ritiene necessario evidenziare che l'unico particolare che rende questa antenna in prima battuta diversa dall'altra è la differenza di 10 ± 4 MHz nella frequenza di risonanza a torsione 0° la quale risulta essere di 284 ± 2 MHz invece che 274 ± 2 MHz mentre il valore del coefficiente di riflessione in corrispondenza dello stesso picco risulta pari a circa -10.9 dB per entrambi i loop; praticamente identico al corrispondente valore del primo prototipo. La lieve differenza nella frequenza di risonanza è attribuibile alle diverse qualità e quantità delle saldature tra i connettori N e le parti di filo di acciaio nelle basette e tra i loop ed i connettori a banana. In particolare il confronto tra i valori degli $|S_{11}|$ ed $|S_{22}|$ delle due antenne lascia percepire che l'introduzione degli spinotti a banana non ha comportato evidenti variazioni dei coefficienti di riflessione.

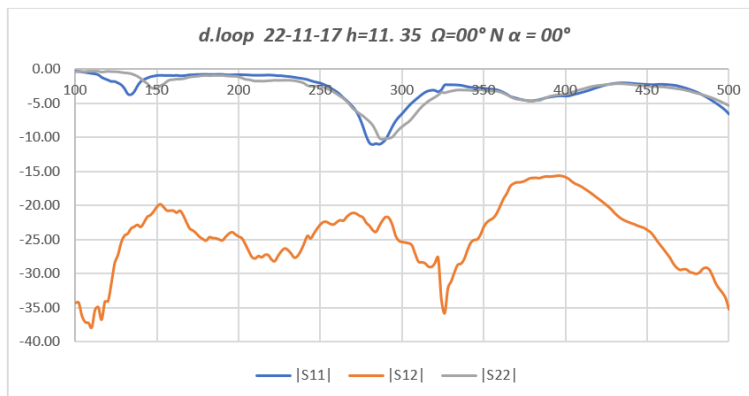


Figura 4.6: I dati di $|S_{11}|$, $|S_{22}|$, $|S_{12}|$ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) per l'antenna 2

Capitolo 5

Modellizzazione teorica

L'esigenza di poter discernere se le piccole variazioni di frequenza e di "intensità" del segnale riflettometrico osservate nelle nostre misure fossero o meno compatibili con i risultati sicuramente aderenti all'ortodossia Maxwelliana ottenibili mediante la simulazione numerica ci ha portato alla scelta di un software agli elementi finiti più collaudato quale l'HFSS di ANSYS. In linea di principio si trattava, apparentemente, in fondo, di disegnare due cerchi e farli torcere di determinati angoli attorno ad un diametro comune... All'apparenza semplice da risolvere con un programma CAD, in effetti gestire nel disegno tecnico la torsione di anche un solo loop si è rivelato essere un problema decisamente impegnativo sia per quanto riguarda le due antenne cosiddette ad "Asse Fisso" che per l'antenna a "Geometria Sferica".

5.1 Approccio trigonometrico

Si è affrontato per primo il problema dell'antenna a "geometria sferica" evidentemente più adatto ad un trattamento di tipo trigonometrico; in stretta collaborazione con il Prof. Albertini, si è riusciti a costruire un algoritmo che per approssimazioni successive forniva le coordinate di segmenti successivi di loop condizionandone la posizione nello spazio 3D con la distanza dal centro e con la lunghezza totale del loop stesso che deve rimanere fissa e pari alla reale lunghezza dei nostri loop.

I plot che ne sono risultati sono riportati qui di seguito (fig. 5.1) e sono discretamente rispondenti alle forme ottenute in realtà con torsioni fino a 240 per la conformazione a "Geometria Sferica"

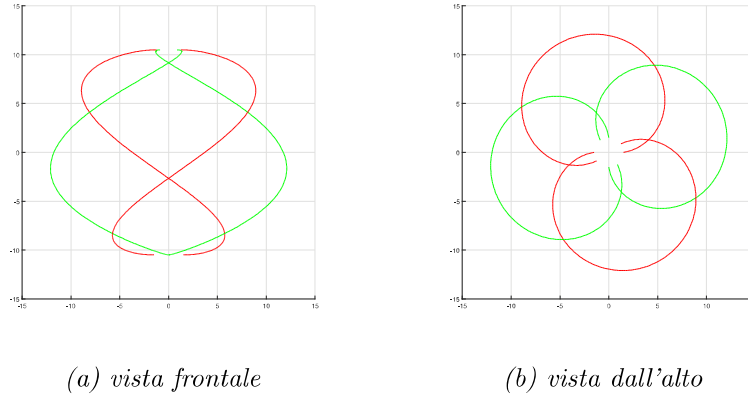


Figura 5.1: Plot ottenuti inizialmente per l'antenna a "Geometria Sferica":180°

Tabella 5.1: Corrispondenza tra angoli di torsione e altezza imposta all'asse centrale per ottenere i modelli dell'antenna a "Geometria Sferica"

Angolo (°)	Altezza (cm)
0	32
45	31
90	29
135	27
180	22
215	19.5
225	19

5.2 Approccio basato sul calcolo degli equilibri spaziali

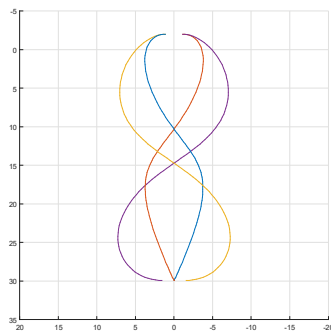
Il cosiddetto "approccio trigonometrico" fin qui descritto risulta però decisamente non capace di riprodurre la forma dell'antenna nella situazione ad "Asse Fisso"; per questo ci si è rivolti ad un esperto della meccanica del continuo a noi accessibile: l'Ing. Dario Genovese, il quale con gradevolissimo spirito di collaborazione ha messo a nostra disposizione la sua profonda conoscenza nell'uso dei quaternioni, ha inquadrato il problema e non si è limitato a fornire pertinentissime indicazioni bibliografiche [11, 12], ma si è prodigato nella compilazione di un programma [all.9.2] che, opportunamente adattato alle nostre esigenze, ha riprodotto le conformazioni della nostra antenna sia nel caso della geometria sferica (fig. 4.5b) sia nella ben più complessa situazione ad asse fisso dove si evidenziava la tendenza del nostro filo di acciaio a disporsi in una conformazione a clessidra impossibile da riprodurre con l'approccio goniometrico (fig. 4.5a). In tale programma

sono presenti come parametri le altezze dell'asse di torsione nella configurazione sferica e le "traslazioni" a cui abbiamo assegnato i valori che sono qui riportati in tabella.

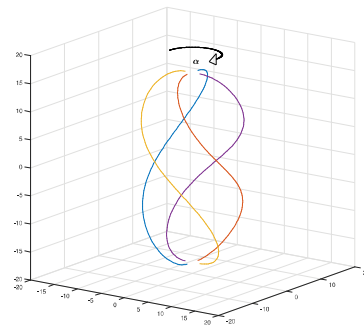
Tabella 5.2: Valori assegnati ai parametri altezza e traslazione per ciascun valore della torsione

Angolo ($^{\circ}$)	Altezza (cm)	Traslazione
0	32	-0.02
45	31	-0.01
90	29	0.01
135	27	0.03
180	22	0.08
215	19.5	0.105
225	19.5	0.11

I plot così ottenuti sono qui di seguito riportati, si noter  l'aderenza dei risultati con i precedenti plot nel caso della conformazione a Geometria Sferica e la altrettanto pronunciata aderenza delle conformazioni ad Altezza Fissa con le forme ottenute nella realt  per le omologhe situazioni, sia con la prima antenna (vedi fig. 4.5a) che con la seconda antenna (fig. 4.5b)

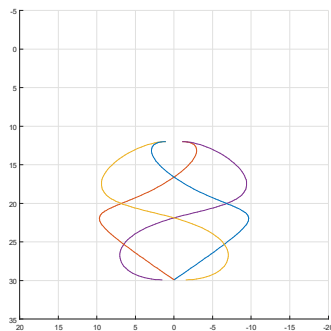


(a) vista frontale

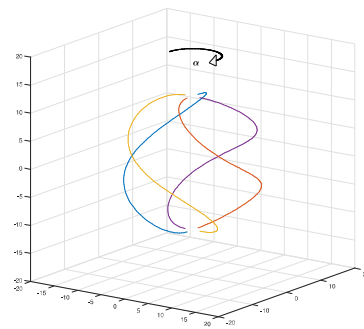


(b) vista 3D

Figura 5.2: Plot conformazione ad Altezza Fissa



(a) vista frontale

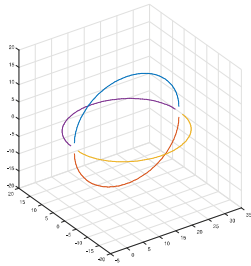


(b) vista 3D

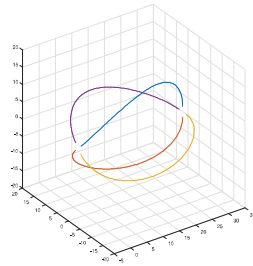
Figura 5.3: Plot conformazione a Geometria Sferica

Il listato del programma fornitoci dall'Ing. Dario Genovese e da noi rimaneggiato, essenzialmente per la parte grafica,   riportato in appendice.

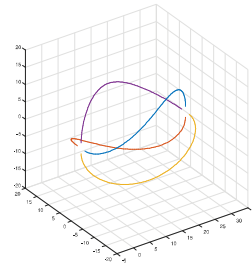
Qui di seguito riportiamo i plot utilizzati per ciascuna delle nostre antenne nelle torsioni canoniche.



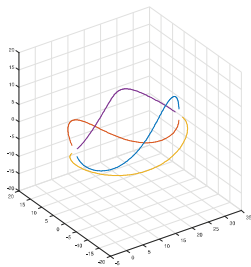
(a) Torsione 0°



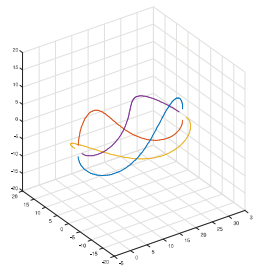
(b) Torsione 45°



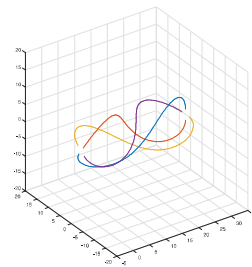
(c) Torsione 90°



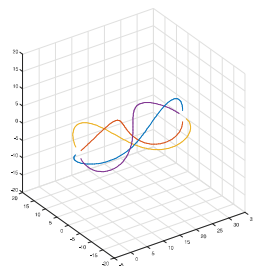
(d) Torsione 135°



(e) Torsione 180°



(f) Torsione 215°



(g) Torsione 225°

Figura 5.4: "MATLAB Genovese" Antenna 2 AF

Come è palese a prima vista le fattezze dell'antenna ad asse fisso sono ben riprodotte in particolare per quanto riguarda la cosiddetta forma a clessidra che tanta fatica ci è costata nella modellizzazione!

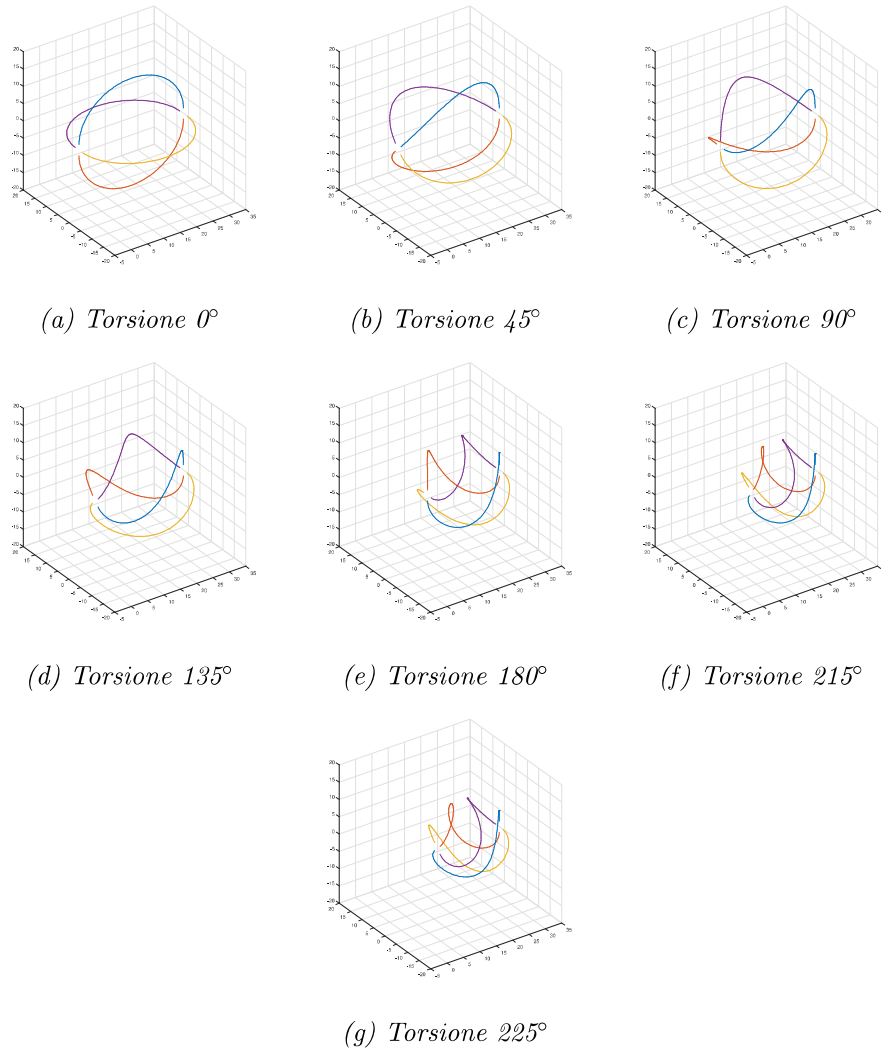


Figura 5.5: "MATLAB Genovese" Antenna 2 GS

Anche le fattezze dell'antenna a Geometria Sferica risultano ben riprodotte dal modello ottenuto seguendo la teoria di Cosserat delle travi [11].

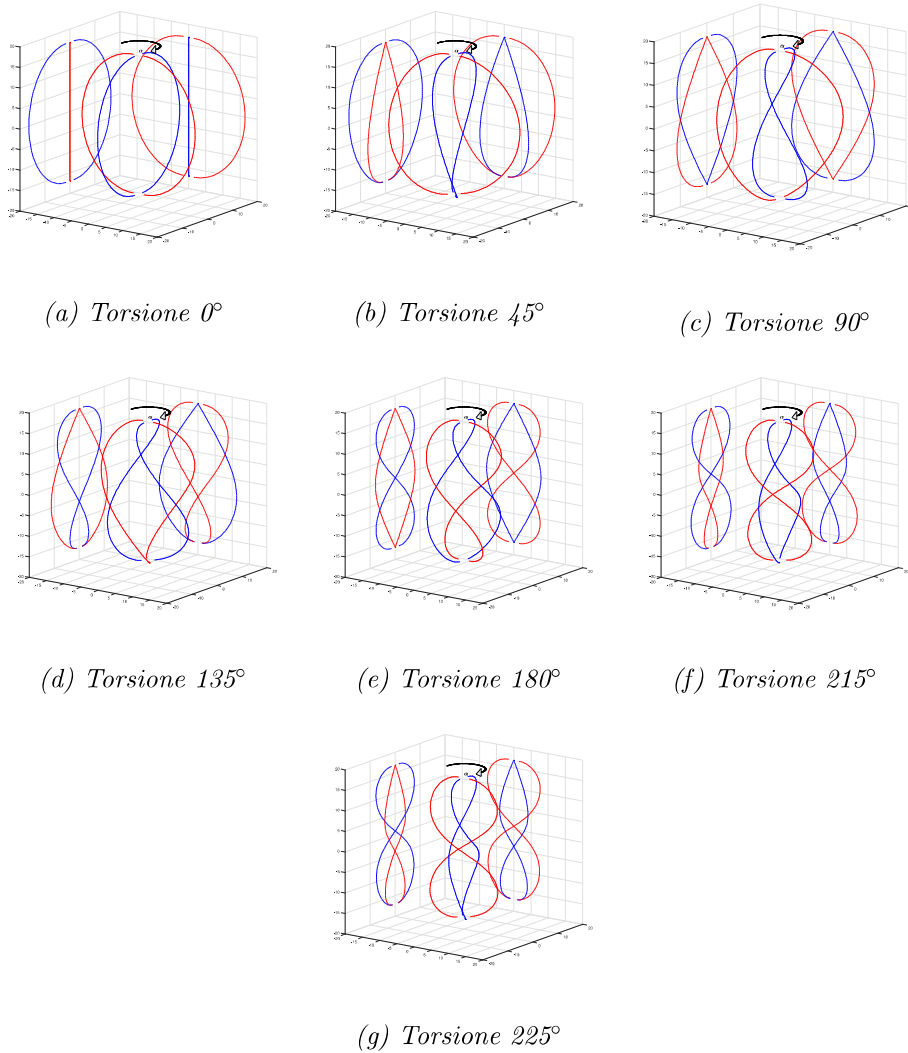


Figura 5.6: Le sette configurazioni con riportate le relative proiezioni dei loop sui piani verticali, per l'antenna ad altezza fissa.

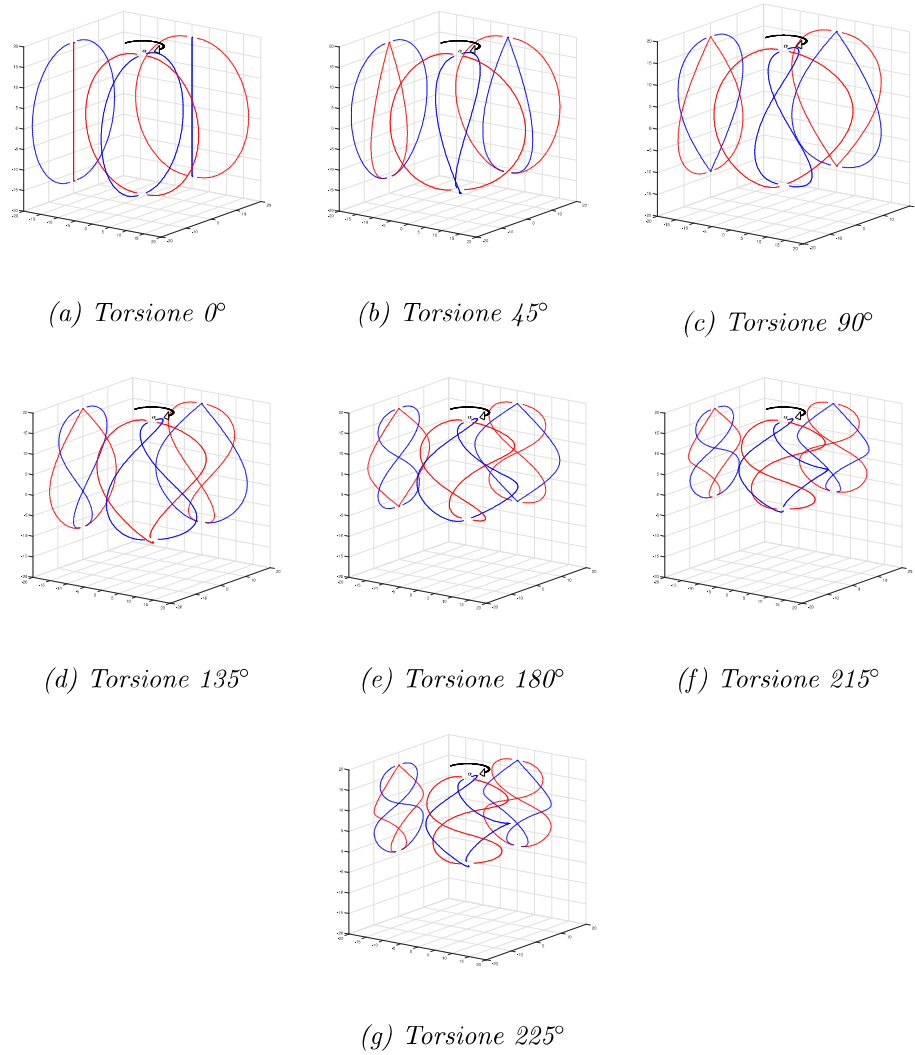


Figura 5.7: Le sette configurazioni con riportate le relative proiezioni dei loop sui piani verticali, per l'antenna a geometria sferica

5.3 Implementazione dei modelli nel programma di simulazione

Ottenute con il secondo metodo nuvole di punti sufficientemente dettagliate, si sono esportati i relativi vettori in "GNU Octave" per poi riversarle in "Rhinceros", un software applicativo commerciale per la modellazione 3D. Si è provveduto quindi mediante l'istruzione "pipe" all'estrusione tangenziale del filo d'acciaio rappresentante i nostri loop che poi sono stati collegati, a livello di disegno tecnico, con le basette delle nostre antenne, precedentemente disegnate e opportunamente dimensionate.

Il collegamento dell'antenna è stato simulato mediante cavo coassiale disegnato "ad hoc" con le caratteristiche qui di seguito riportate in modo da essere pronti alla simulazione con L'HFSS.

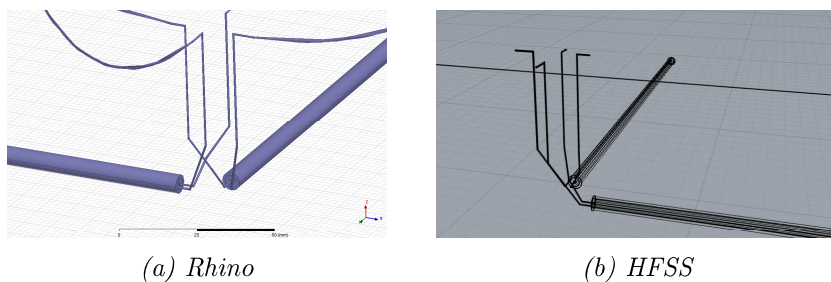


Figura 5.8: Le Basette disegnate con CAD

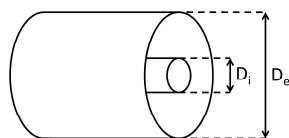


Figura 5.9: modello cavo coassiale $Z =$ impedenza caratteristica $D_e =$ diametro conduttore esterno $D_i =$ diametro conduttore interno $K =$ costante dielettrica dell'isolante

dove

$$Z = \frac{138}{\sqrt{K}} \text{Log}_{10}\left(\frac{D_i}{D_e}\right) \tag{5.1}$$

Per il nostro cavo, essendo
 $D_i = 0,125$ cm
 $D_e = 0,42$ cm
 $K = 2,08$ la costante dielettrica relativa del teflon;

avremo:

$Z_0 = 49.44\Omega$ per frequenze attorno ai 300 MHz

Valore, questo, che ben si accorda con l'impedenza del cavo di alimentazione, nominalmente da 50 Ohm.[6] Nel programma di simulazione il conduttore metallico costituente i nostri loop è stato indicato come "PEC" mentre l'ambiente d'irradiazione del segnale lo si è indicato "Air" ovvero aria secca a 25° ed 1 bar di pressione.

Capitolo 6

Risultati sperimentali e relative simulazioni

Si ritiene utile, vista la molteplicità delle misure effettuate, fornire una nomenclatura di riferimento per tutto ciò che segue:

- Antenna 1 AF: la prima antenna costruita, caratterizzata da un asse di torsione di dimensione non variabile e quindi da un involuppo ellissoidale; essa è ovviamente ad "Asse Fisso".
- Antenna 2 : la seconda antenna costruita; modulare ed a geometria variabile, la si ritroverà nelle versioni:
 - ad "Asse Fisso" (AF) con le caratteristiche meccaniche dell'antenna 1
 - a "Geometria Sferica" (GS) laddove l'altezza dell'asse centrale di torsione viene modificata al variare della torsione, in modo da ottenere una forma sferica
 - a "loop singolo" (Loop 1 e Loop 2) nella quale uno dei due loop viene completamente rimosso per verificare la risposta del loop rimasto connesso, evitando così la possibile interferenza dell'altro loop.
- La dicitura "AF Sim." distinguerà le risultanze delle simulazioni HFSS® dell'antenna 2 in configurazione ad asse fisso.
- La dicitura "GS Sim." mostrerà i grafici ottenuti dalla simulazione della stessa antenna 2 con involuppo sferico.

I grafici qui di seguito riportati riferiscono di quanto risultato in misure eseguite con le varie versioni dell'antenna e nelle simulazioni in HFSS dell'antenna 2 AF e GS. Si noterà che si sono rielaborati i dati in "ORIGIN" e, per un migliore colpo d'occhio sulle sottili variazioni e sulle analogie tra le

misure, si è scelto di compendiare in pagine singole i grafici relativi ai sette valori canonici degli angoli di torsione. Si è altresì scelto di riportare la linea dei -10 dB come riferimento visivo della larghezza di banda convenzionale in corrispondenza della quale il 90% del segnale emesso dal generatore non torna al generatore stesso ma si assume dispersa sotto forma di onda EM.

6.1 Risultati Antenne Altezza Fissa

6.1.1 Risultati Antenna 1 AF

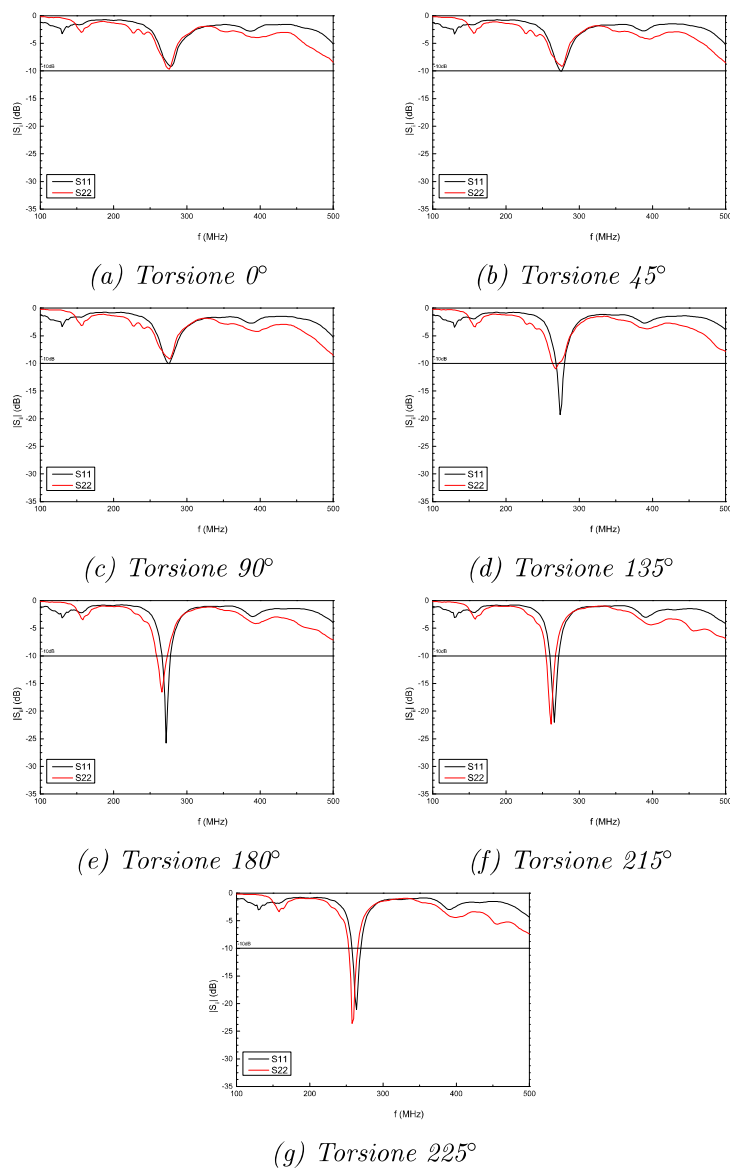


Figura 6.1: Antenna 1 (AF) 26-6-2017 9:20, $\Omega = 1^\circ N$

La figura 6.1. riporta come esempio i risultati ottenuti in un set di misure corrispondenti ai sette valori standardizzati dell'angolo di torsione α . La figura 6.2. riporta i coefficienti di riflessione (cambiati di segno) ottenuti come media su 31 misure, effettuate nel periodo giugno- luglio 2017 con l'antenna1

La figura 6.3 riporta la frequenza corrispondente al minimo di riflessione (massimo di RL), ottenuta mediando sulle medesime misure, in funzione dell'angolo di torsione.

Ciò che si nota nella visione d'insieme per l'Antenna 1 AF è quanto segue:

1. Il RL corrispondente al picco di emissione alla frequenza si intensifica per il loop 1 al crescere della torsione fino ad $\approx 180^\circ$ per poi lievemente decrescere.
2. Al crescere della torsione il valore di $|S_{22}|$ del loop 2, praticamente costante fino a 180° , "sorpassa" quello del loop 1 in corrispondenza di $\approx 215^\circ$

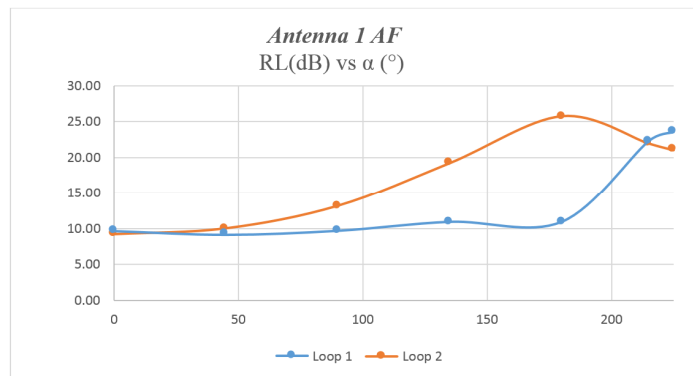


Figura 6.2: Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $|S_{ii}|$, resi positivi per una lettura più confortevole

3. La frequenza di picco d'entrambi i loop si sposta verso valori più bassi di 16 MHz mediamente, in modo disomogeneo, al variare della torsione.

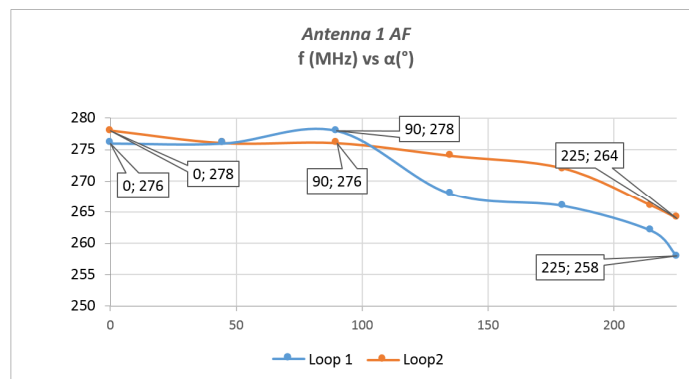


Figura 6.3: Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione

4. È presente una discreta banda di emissione valutata in corrisponden-

za di -10dB larga circa 10 MHz in corrispondenza della torsione di 135° , la stessa banda si mantiene per alfa superiori, come verrà illustrato in seguito (capitolo 8, paragrafi 1-5).

6.1.2 Risultati Antenna 2 AF

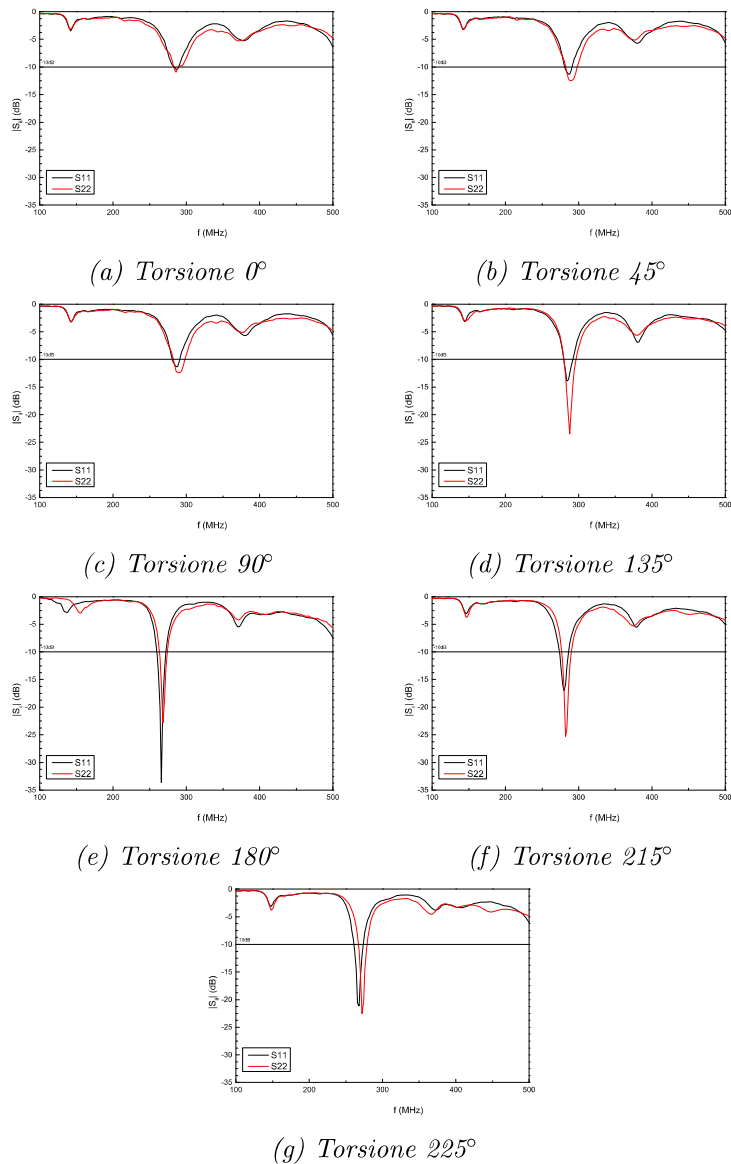


Figura 6.4: Antenna 2 (AF) 16-11-2017 12h25, $\Omega = 0^\circ N$

La figura 6.4 riporta come esempio i risultati ottenuti in un set di misure corrispondenti ai sette valori standardizzati dell'angolo di torsione.

La figura 6.5 riporta i coefficienti di riflessione (cambiati di segno) ottenuti come media su 15 misure, effettuate nel periodo novembre 2017 con l'antenna 2 AF.

La figura 6.6 riporta la frequenza corrispondente al minimo di riflessione

(massimo di RL), ottenuta mediando sulle medesime misure, in funzione dell'angolo di torsione.

Dalla visione dei grafici dell'Antenna 2 AF si nota:

1. Lo spostamento, già riferito, della frequenza del picco centrale ad $\alpha=0$ pari a circa +10 MHz.
2. Si ritrova il cosiddetto sorpasso in intensità tra i loop si riconosce l'andamento pressoché costante del loop 2 ma solo fino a 90° e si nota un valore dei segnali che globalmente è, seppur lievemente, più intenso per entrambi i loop di quanto fosse nella precedente antenna 1.

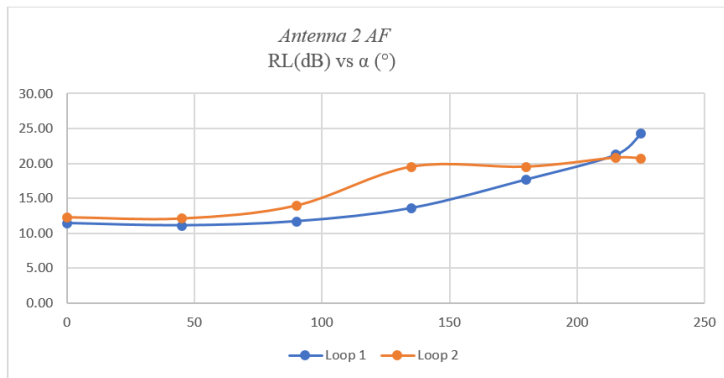


Figura 6.5: Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $|S_{ii}|$ resi positivi per una lettura più confortevole

3. Anche qui le frequenze di picco variano dal valore di 285 MHz comune ai due loop a 0° fino al valore 266 e 274 MHz per il loop 1 e per il 2 rispettivamente, a 225° di torsione. tale variazione è evidente al di là dei 180° .

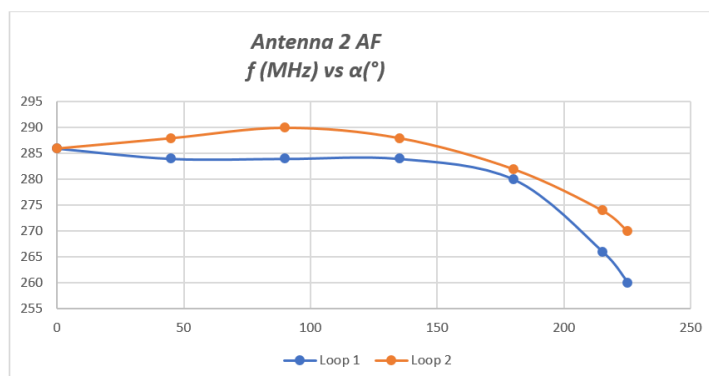


Figura 6.6: Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione.

6.1.3 Simulazione Antenna 2 AF

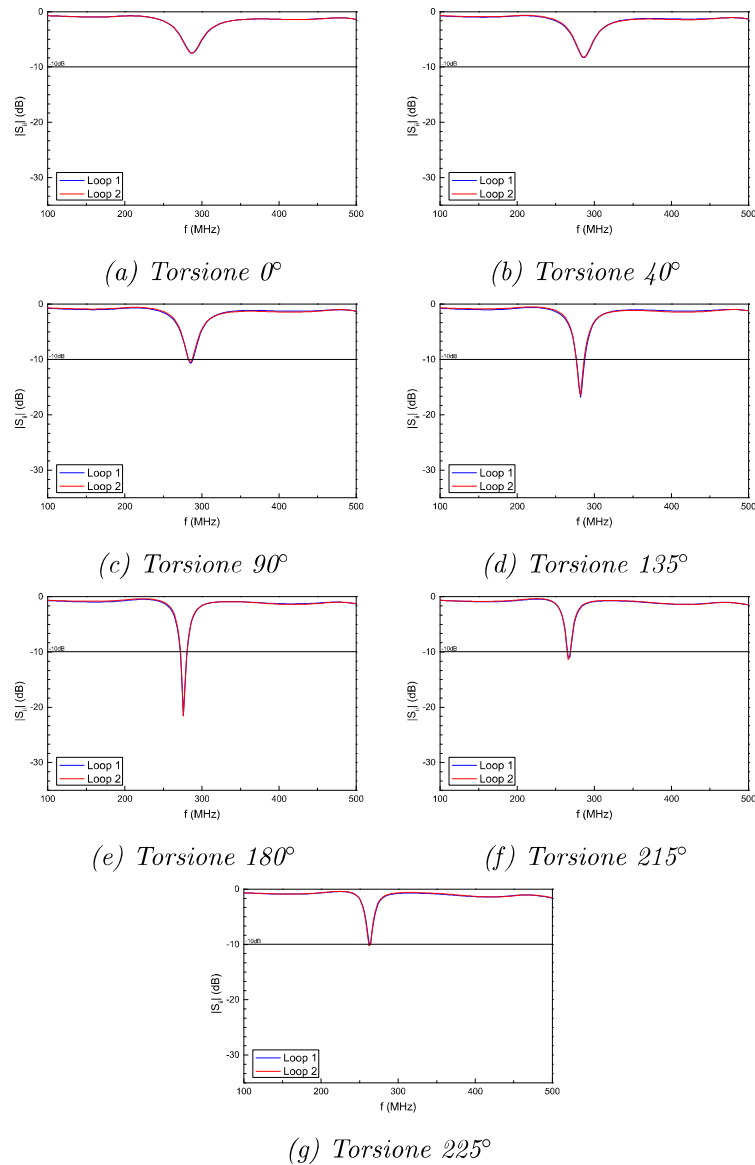


Figura 6.7: HFSS simulazione Antenna AF

La figura 6.7 riporta come esempio i risultati ottenuti in un set di simulazioni relativi alla antenna 2 AF, corrispondenti ai sette valori standardizzati dell'angolo di torsione. Nei corrispondenti grafici di simulazione in HFSS si vedono, per l'Antenna 2 AF, tracciati decisamente più puliti, scevri dai disturbi, presenti nel caso reale nell'intorno di 150 e 380 MHz; si ritiene utile sottolineare che:

1. I valori delle frequenze di risonanza a 0° di torsione, sono coincidenti con i valori misurati.
2. I due loop forniscono valori dei parametri $|S_{ii}|$ quasi perfettamente sovrapponibili tra loro nella simulazione. Tale coincidenza la si attribuisce alla assenza di quelle piccole difformità costruttive reali dei due loop (essenzialmente legate alla grossolanità delle saldature a stagno dei connettori) che nei modelli si limitano invece a differenze millimetriche nel dimensionamento dei loop stessi a livello di disegno tecnico.
3. Più intrigante è notare il comportamento del valore della porzione di energia dispersa in segnale elettromagnetico che nella realtà continua a crescere con l'angolo di torsione passando da un livello pari a circa -12 dB per entrambi i loop quando la torsione è nulla, fino a raggiungere il livello di -21 dB per entrambi i loop in corrispondenza della torsione $\alpha = 215^\circ$ che il secondo loop mantiene ad $\alpha = 225^\circ$ mentre il primo loop raggiunge un valore intorno a -24dB, sorpassando il primo.
Detto comportamento dei valori del RL non trova corrispondenza nelle simulazioni HFSS infatti il parametro S del picco centrale comune ai due loop parte da un valore di -8dB per $\alpha = 0^\circ$, raggiunge -21 dB per $\alpha = 180^\circ$ ma poi si riporta a valori intorno a -10 dB per $\alpha = 225^\circ$.
4. La banda di emissione a -10 dB si presenta, con un valore di circa 10MHz in larghezza, solo in corrispondenza delle torsioni di 135° e di 180° per poi ridursi a pochissimi MHz per $\alpha = 215^\circ$ e scomparire con $\alpha = 225^\circ$.

6.2 Risultati Antenna Geometria Sferica

6.2.1 Risultati Antenna 2 GS

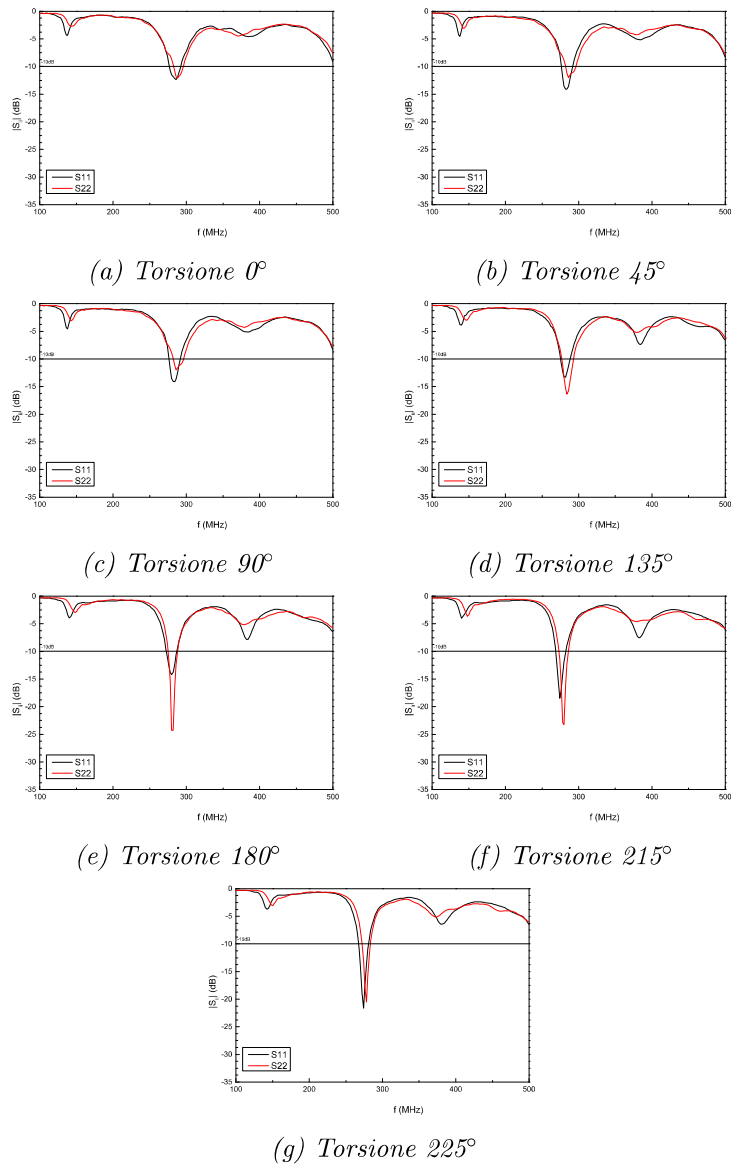


Figura 6.8: Antenna 2 GS 09-03-2018 12h00, $\Omega = 0^\circ$ N

La figura 6.8 riporta come esempio i risultati ottenuti in un set di misure corrispondenti ai sette valori standardizzati dell'angolo di torsione α .

La figura 6.9. riporta i coefficienti di riflessione (cambiati di segno) ottenuti come media su 5 misure, effettuate nel periodo marzo-aprile 2018 con l'antenna 2 GS

La figura 6.10 riporta la frequenza corrispondente al minimo di riflessione (massimo di RL), ottenuta mediando sulle medesime misure, in funzione dell'angolo di torsione. Dall'analisi dei grafici relativi all'Antenna 2 GS si riscontrano fattezze simili a quelle del caso AF già nella configurazione ad $\alpha=0^\circ$:

1. la larghezza di banda è di circa 10 MHz per entrambi i loop con $\alpha=135^\circ$ e si mantiene anche a torsioni più elevate.
2. si nota, nell'intensità del segnale, la completa parità iniziale dei 2 loop il "sorpasso" del loop 2 in corrispondenza della torsione di 135° (-13 dB loop 1 e -16 dB il loop 2) il raggiungimento dei -23 dB del loop 2 contro i -19 dell'altro in corrispondenza di $\alpha = 215^\circ$ ed il riportarsi di entrambi attorno ai -20 dB con $\alpha = 225^\circ$.

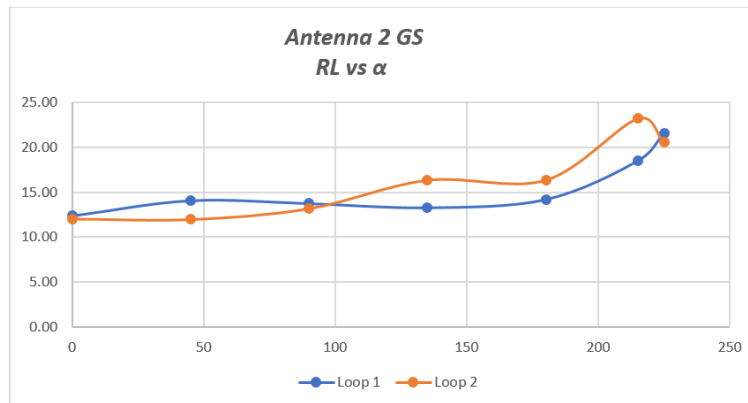


Figura 6.9: Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $|S_{ii}|$ resi positivi per una lettura più confortevole (Return Loss).

3. la frequenza centrale del picco di risonanza per la torsione 0° è praticamente la stessa della configurazione AF, tale frequenza anche qui varia subendo un calo di circa 14 MHz nelle torsioni estreme ma i due loop hanno un comportamento più uniforme che nel caso AF.

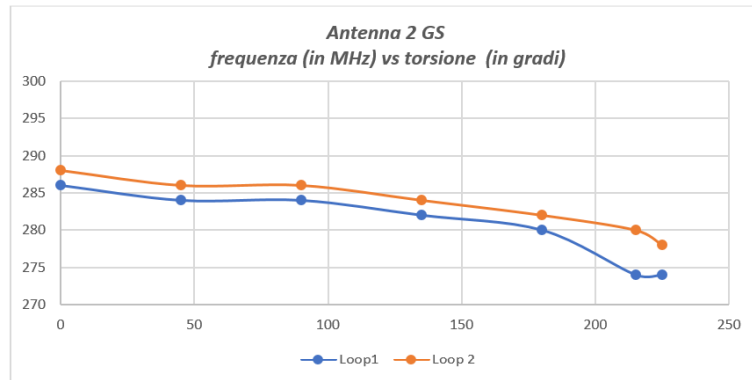


Figura 6.10: Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione.

6.2.2 Simulazione Antenna 2 GS

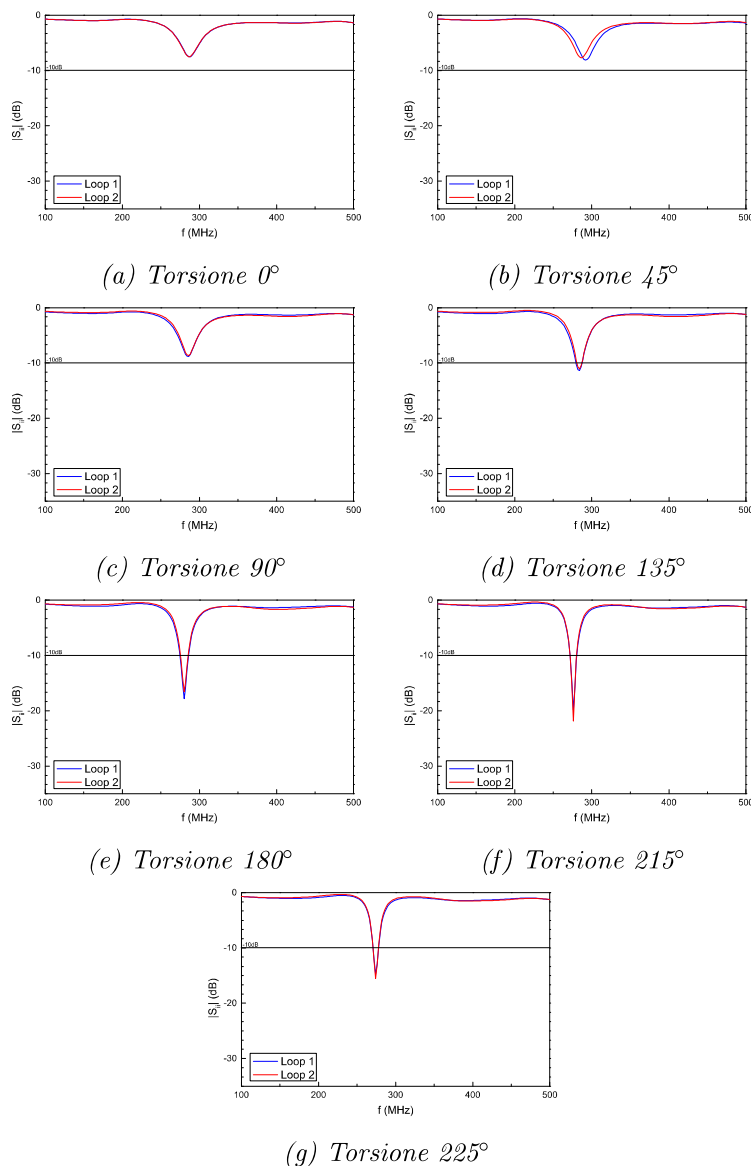


Figura 6.11: HFSS simulazione Antenna 2 GS

La figura 6.11 riporta come esempio i risultati ottenuti in un set di simulazioni relativi alla antenna 2 gs, corrispondenti ai sette valori standardizzati dell'angolo di torsione.

Nei corrispondenti grafici di simulazione in HFSS GS si vedono tracciati come al solito più puliti liberi da disturbi come per la precedente simulazione della conformazione AF si annota comunque quanto segue:

1. I valori delle frequenze di risonanza ad $\alpha=0^\circ$ di torsione, sono coincidenti con i valori reali.
2. I due loop forniscono valori dei parametri S quasi perfettamente sovrapponibili tra loro nella simulazione.
3. La banda di emissione a -10 dB si presenta, con un valore di circa 10MHz in larghezza, solo a partire dalla torsione di 135° con una larghezza di pochi MHz per poi allargarsi a circa 10 MHz e rimanere presente nei casi con torsione maggiore.
4. Le frequenze del centro banda calano da 286 MHz a 274 MHz.
5. I valori del parametro S passano con continuità, per entrambi i loop, da -8 dB ad $\alpha=0^\circ$ fino a -20 e -24 dB in corrispondenza ad $\alpha=215^\circ$ per poi ritornare al valore di -15 e -16 dB rispettivamente per il loop 1 e 2 quando è $\alpha=225^\circ$.

6.3 Misure e Simul. loop collegati separatamente Antenna 2 AF

Qui di seguito verranno confrontati i risultati delle simulazioni e delle misure ottenute escludendo di volta in volta uno dei due loop dalle simulazioni, sia per la conformazione ad AF che per la GS.

6.3.1 Misure Loop 1 Antenna 2 AF

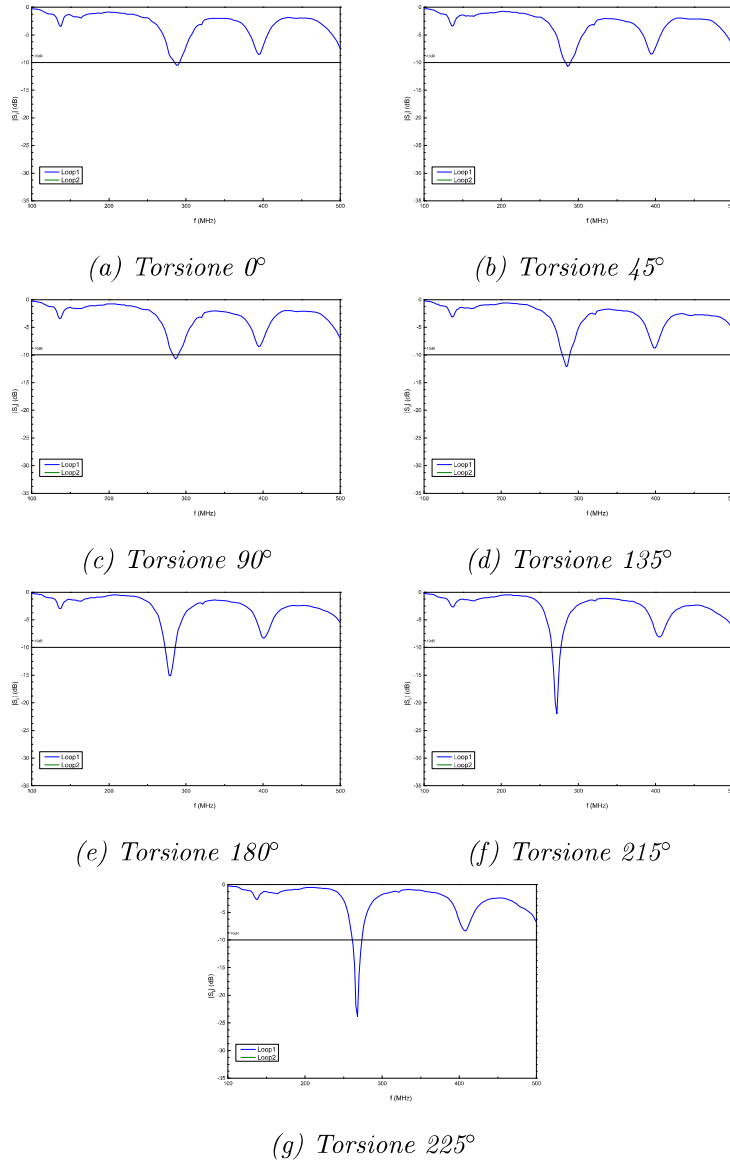


Figura 6.12: Antenna 2 AF Loop 1 17-11-2017 11h10, $\Omega = 2^\circ$ NE

6.3.2 Simulazione Loop 1 Antenna 2 AF

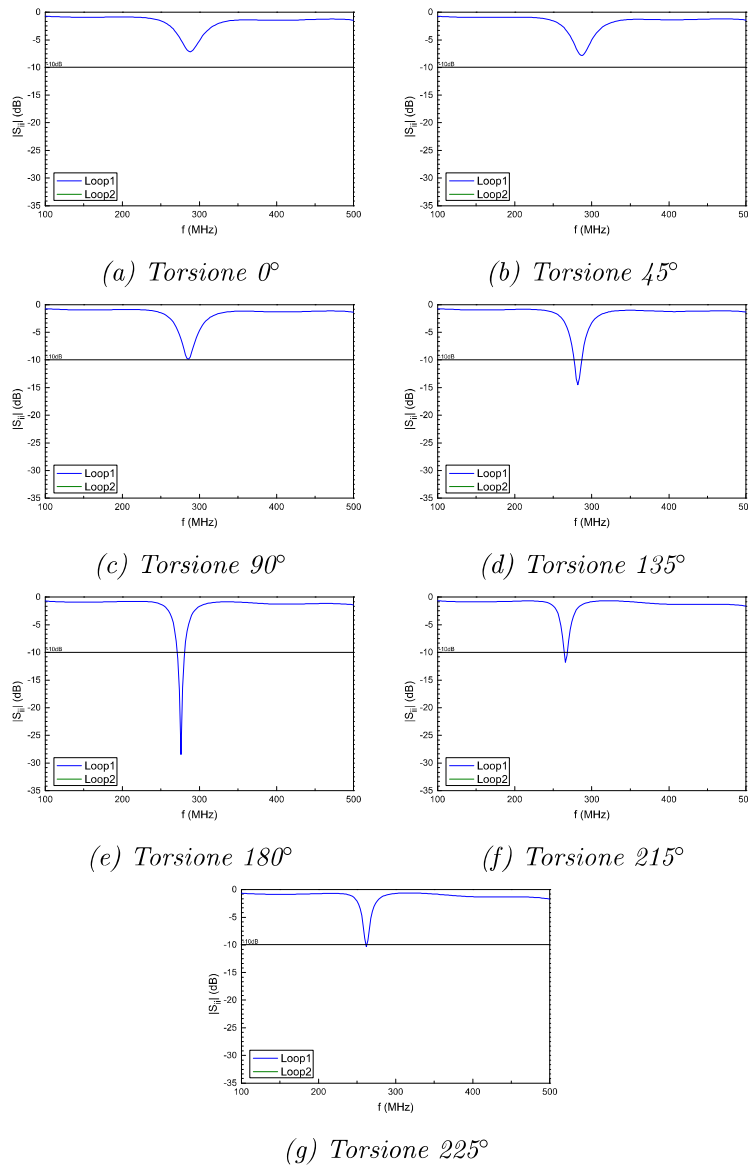


Figura 6.13: HFSS simulazione loop singolo 1 AF

6.3.3 Misure Loop 2 Antenna 2 AF

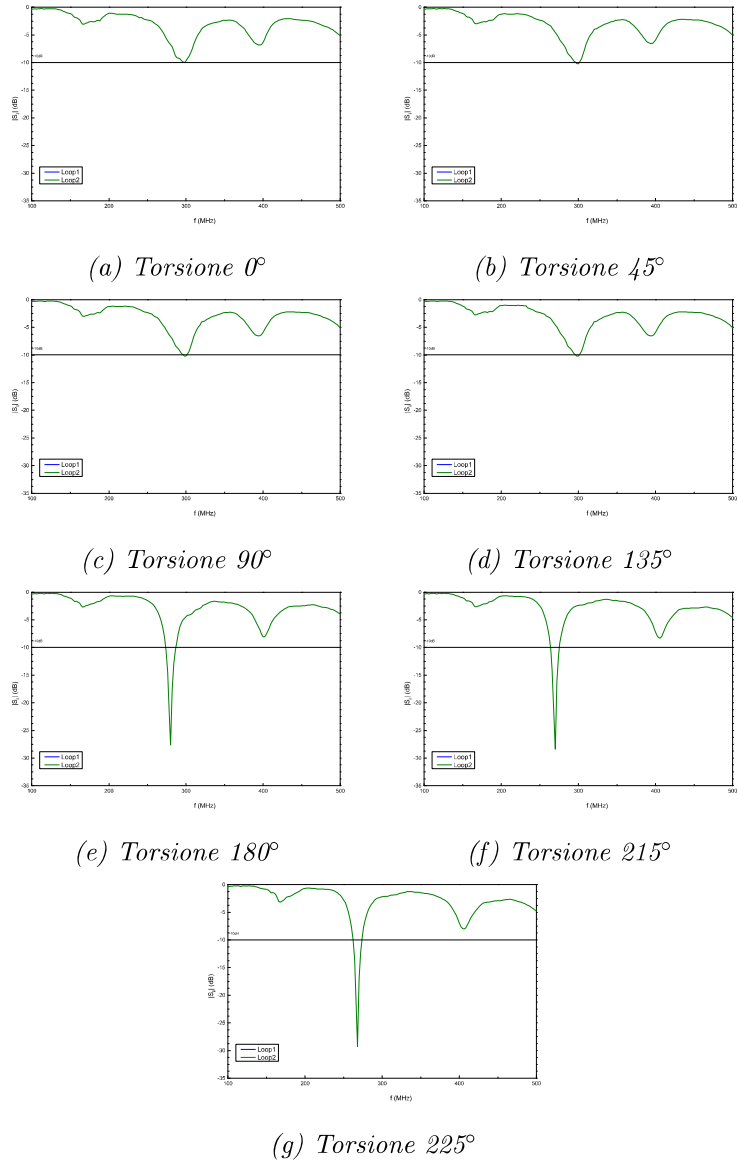


Figura 6.14: Antenna 2 AF Loop 2 17-11-2017 11h20, $\Omega = 2^\circ$ NE

6.3.4 Simulazione Loop 2 Antenna 2 AF

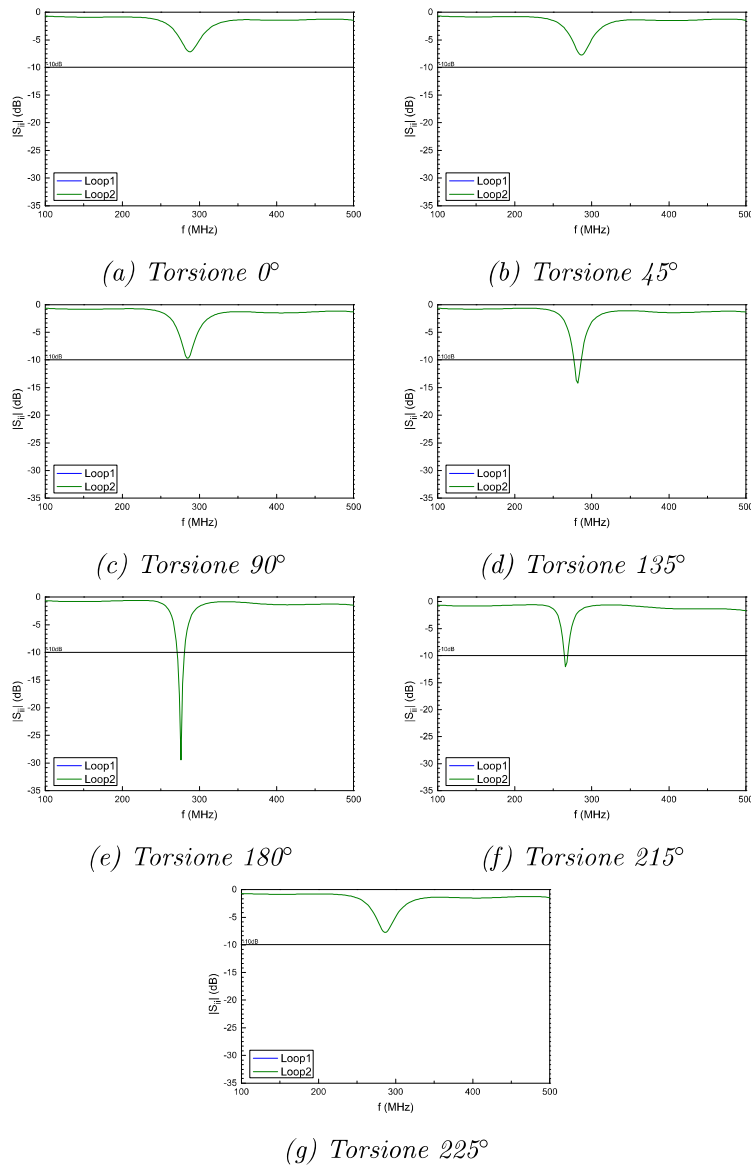


Figura 6.15: HFSS simulazione loop singolo 2 AF

L'analisi dei grafici relativi ai singoli loop in configurazione AF conferma, per il loop 1, entro i limiti del percettibile, gli andamenti già rilevati nella Antenna 2 AF.

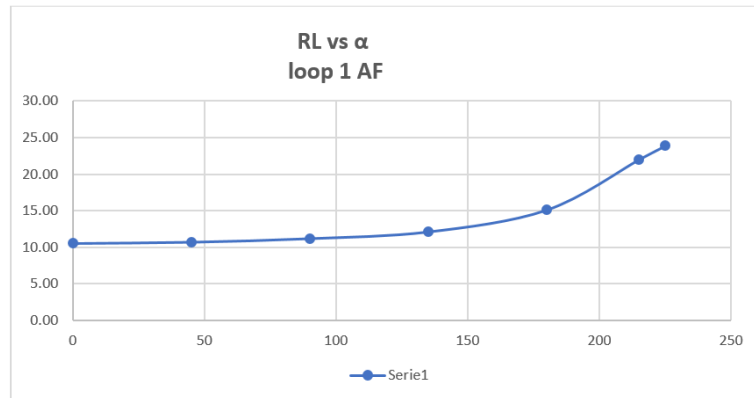


Figura 6.16: Il Return Loss loop 1 AF

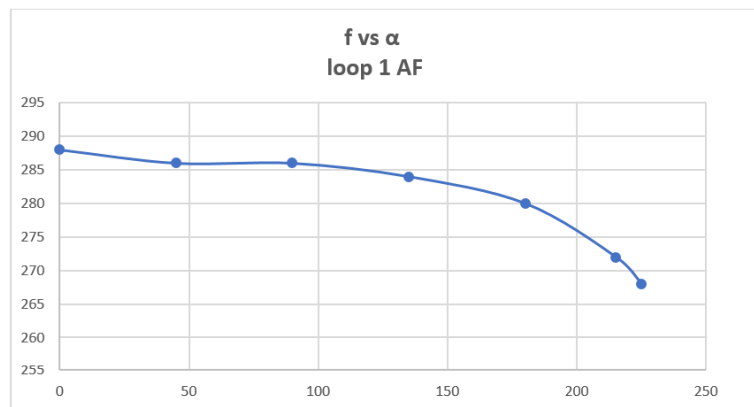


Figura 6.17: La frequenza dei picchi loop 1 AF

Per quanto riguarda il loop 2 si ritrovano dati un po' peculiari:

1. La frequenza inizialmente presenta una lieve crescita successivamente, per α oltre 135° cala repentinamente fino ai valori consueti.
2. L'intensità del segnale sfiora i -30 dB per $\alpha > 180^\circ$.

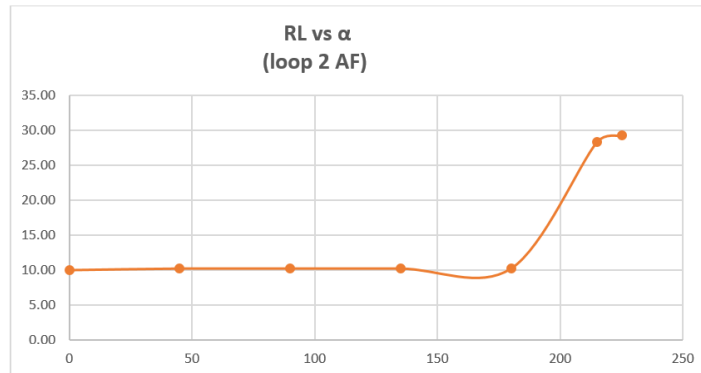


Figura 6.18: Il Return Loss loop 2 AF

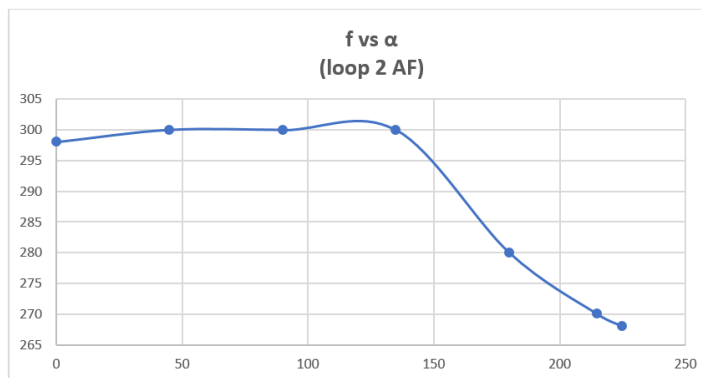


Figura 6.19: La frequenza dei picchi loop 2 AF

6.4 Misure e Simul. Loop collegati separatamente Antenna 2 GS

Qui di seguito vengono riportati i risultati delle misurazioni e delle simulazioni ottenuti per i loop singoli nel caso dell'antenna a Geometria Sferica in analogia con quanto già fatto per la AF.

6.4.1 Misure Loop 1 Antenna 2 GS

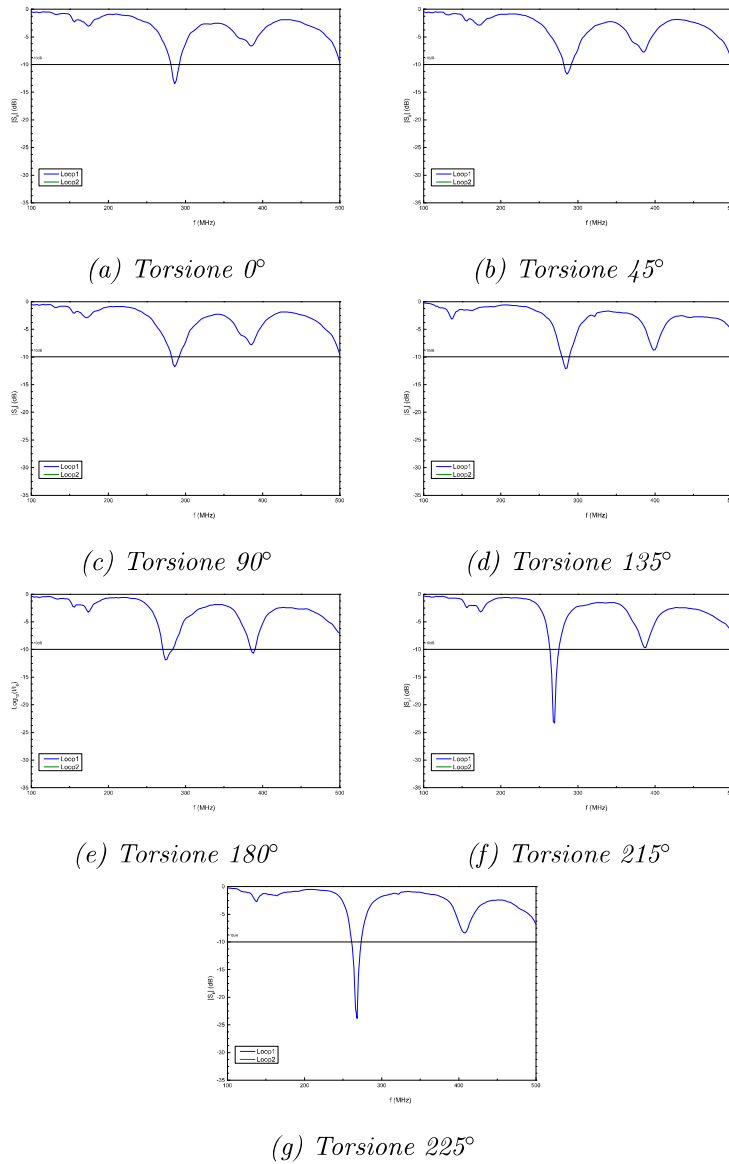


Figura 6.20: Antenna 2 GS loop singolo 1 04-09-2018 11h20, $\Omega = 1^\circ N$

6.4.2 Simulazione Loop 1 Antenna 2 GS

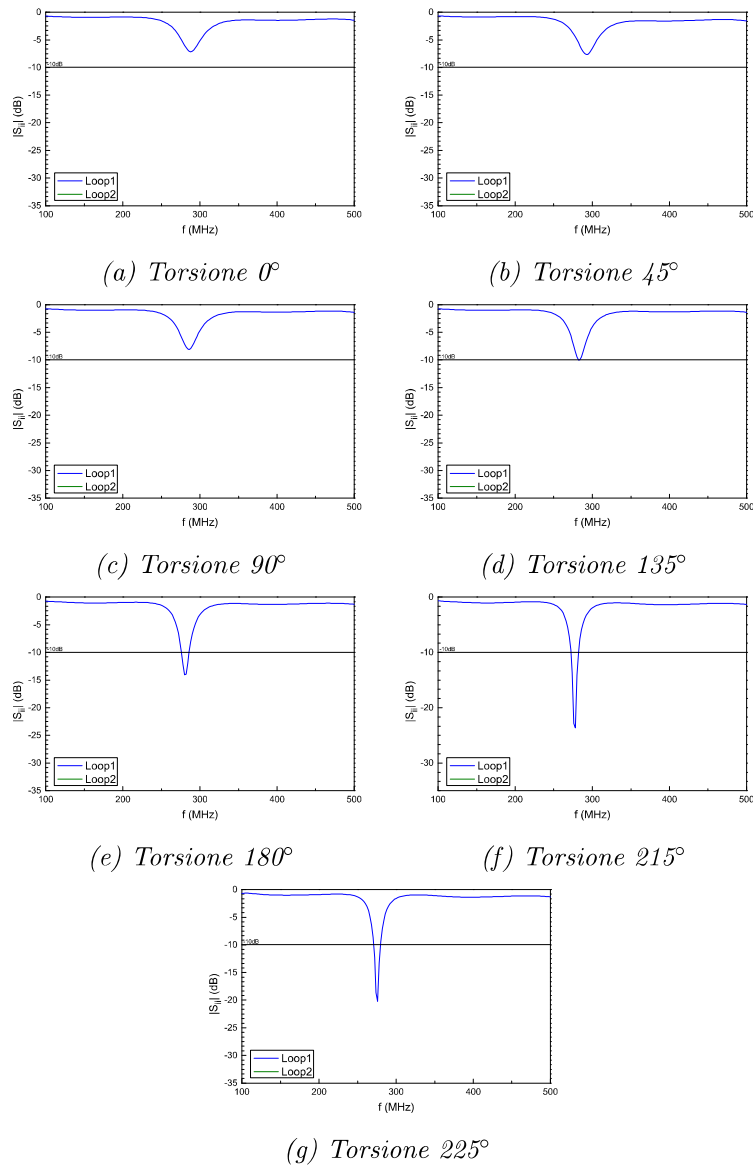


Figura 6.21: HFSS simulazione loop singolo 1 GS

6.4.3 Misure Loop 2 Antenna 2 GS

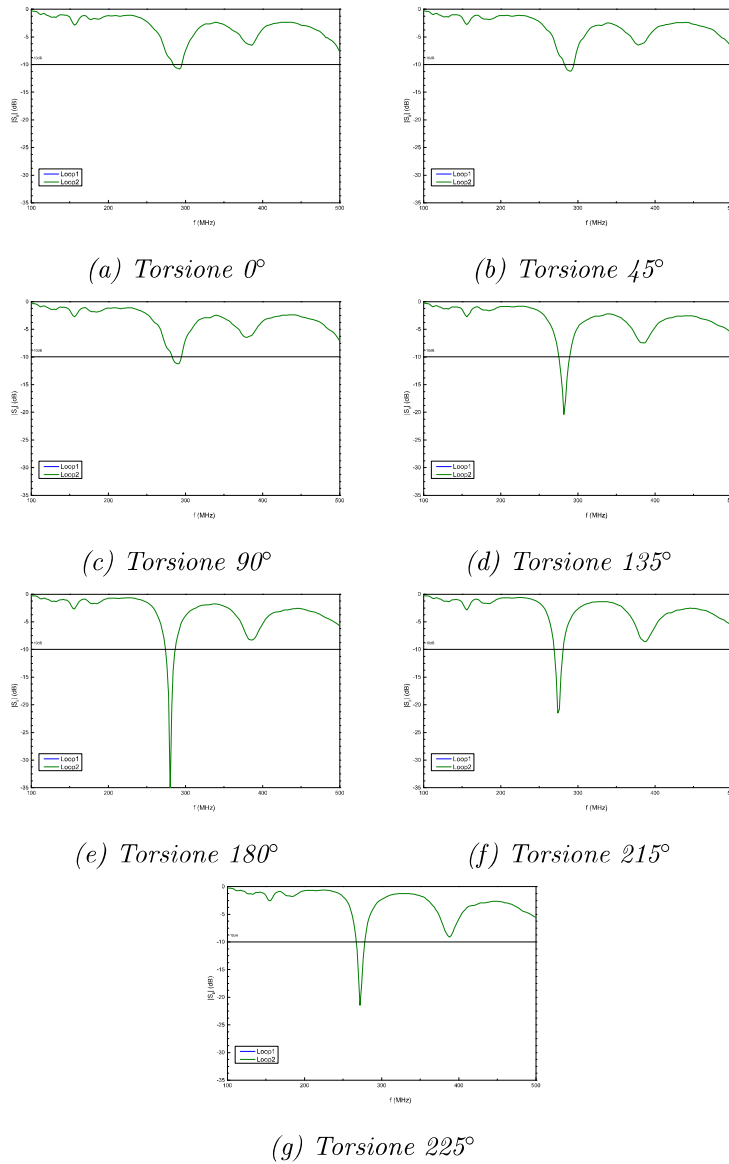


Figura 6.22: Antenna 2 GS loop 2 04-09-2018 11h30, $\Omega = 1^\circ N$

6.4.4 Simulazione Loop 2 Antenna 2 GS

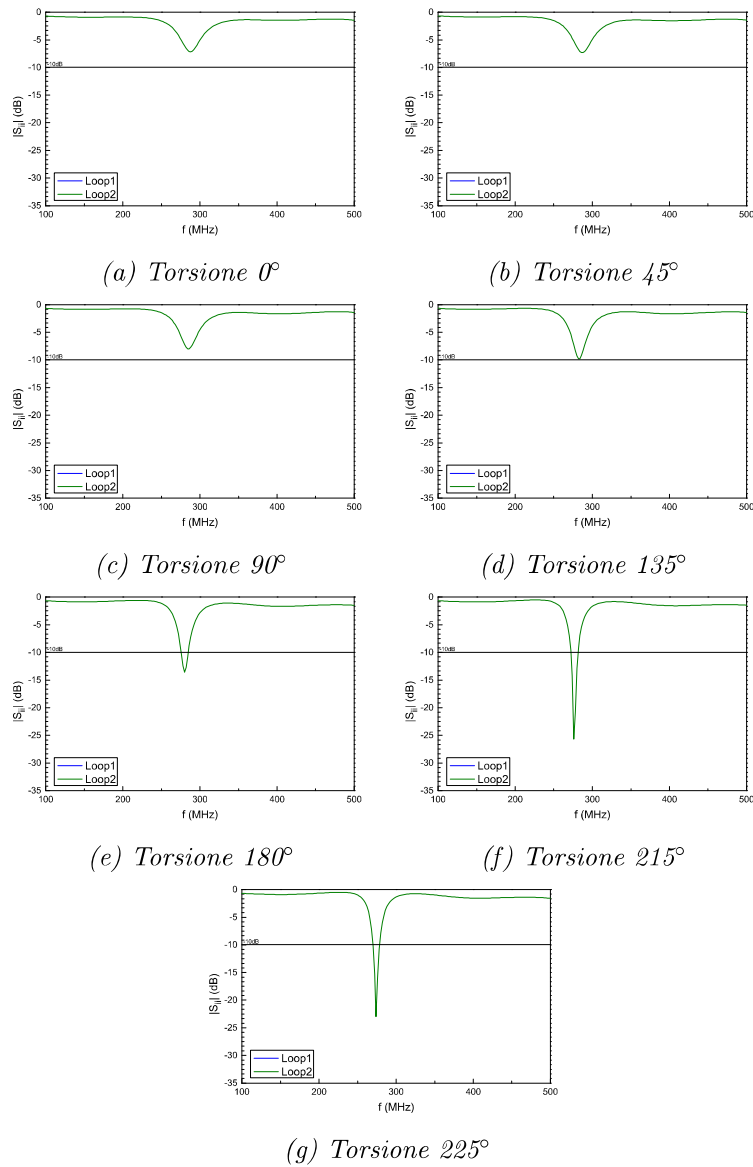


Figura 6.23: HFSS simulazione loop singolo 2 GS

L'analisi dei grafici relativi ai singoli loop in configurazione GS conferma, per il loop 1, entro i limiti del percettibile, gli andamenti già rilevati nella Antenna 2 AF.

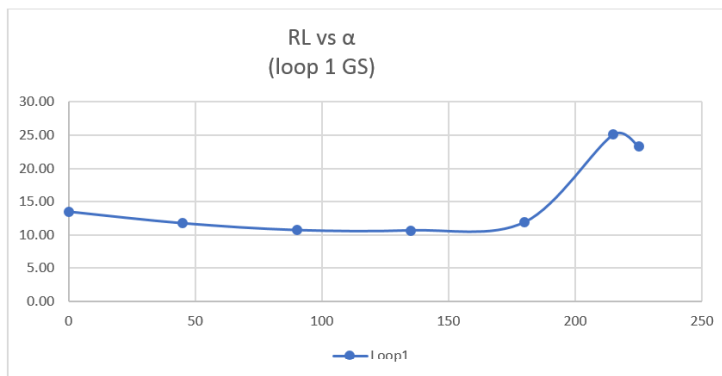


Figura 6.24: Il Return Loss loop 1 GS

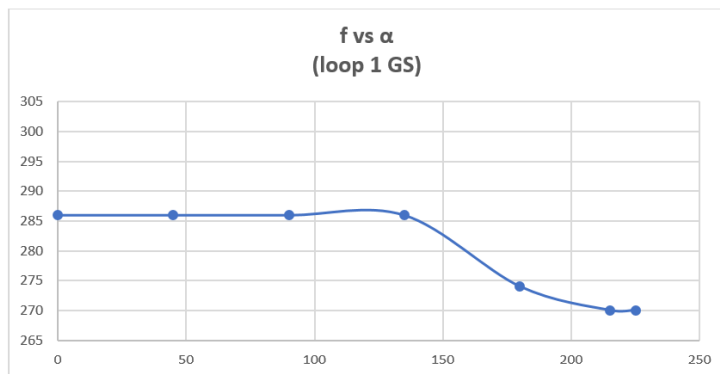


Figura 6.25: La frequenza dei picchi loop 1 GS

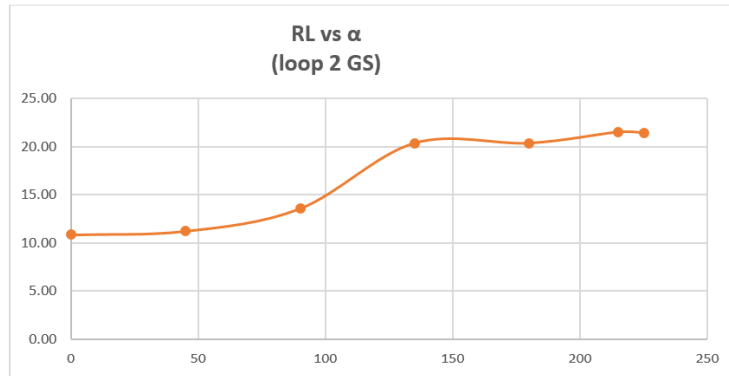


Figura 6.26: Il Return Loss loop 2 GS

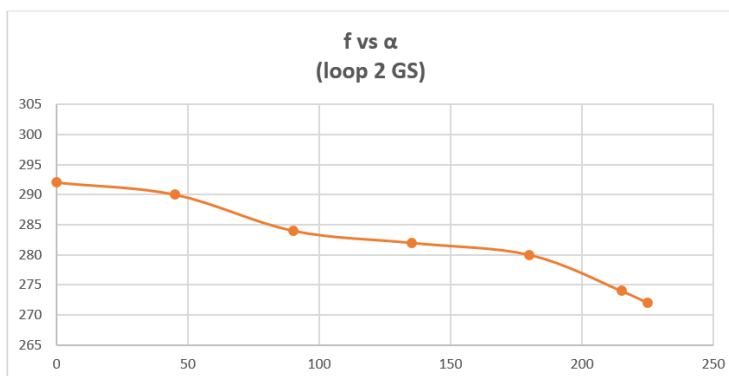


Figura 6.27: La frequenza dei picchi loop 2 GS

Capitolo 7

Antenna 1 AF

Misura in trasmissione

Per problemi logistici è stato possibile realizzare solo una prova di trasmissione con la nostra antenna in configurazione Antenna 1 AF. Per la data 23 Marzo 2017 è stato attrezzato un angolo anecoico in un laboratorio della facoltà; alle ore 9.00 si sono collegati i due loop per tramite di un partitore di segnale Signal splitter da 50Ω alla porta 1 di un analizzatore di rete Keysight Technologies N9928A mentre alla porta 2 dello stesso analizzatore si è collegata come ricevitore, una antenna "log periodica" posta a 2,10 metri dalla nostra sorgente, puntata verso il centro del doppio loop lungo la direttrice nord-sud (circa 2° Nord-Ovest).

L'antenna è stata posizionata in un primo momento su una piattaforma girevole con il suo asse di torsione verticale in modo da ottenere una valutazione del suo irraggiamento sul piano equatoriale nelle diverse situazioni di torsione.

In una seconda fase l'antenna è stata poggiata su un fianco in modo che venisse misurato l'irraggiamento su un piano meridiano coincidente col piano di sviluppo del loop 1.

Una prima prova di ricetrasmissione ha fornito l'indicazione che nel detto allestimento alla frequenza di 240 MHz si otteneva il miglior segnale.

Data la definizione di campo lontano:

$$d \geq \frac{2D^2}{\lambda} \geq 0.4m \quad (7.1)$$

dove :

- d rappresenta la distanza tra sorgente e ricevitore
- D rappresenta la massima dimensione dell'antenna
- λ è la lunghezza d'onda del segnale

Visto che le dimensioni massime della antenna permettono di pensarla sicuramente racchiudibile in una sfera di diametro $D=0,50\text{m}$ e visto che la frequenza di 240MHz corrisponde con buona approssimazione ad una lunghezza d'onda $\lambda = 1,25 \text{ m}$, la distanza $d \geq 2\text{m}$ tra emettitore e sonda ricevente garantisce la condizione per il campo lontano.

In corrispondenza di tale frequenza si sono svolte le misurazioni dell'intensità del segnale $|S_{12}|$ trasmesso sui 360° del piano orizzontale X-Y, per meglio intendere, sul piano equatoriale del doppio loop, e sui 360° del piano Y-Z, per ognuno degli angoli di torsione "canonici".

Dalle misure eseguite si sono ottenuti i grafici polari o diagrammi di radiazione che ci forniscono informazioni sulla distribuzione relativa, in dB, della potenza irradiata in funzione della direzione spaziale.

Essi sono qui di seguito riportati contraddistinti da una "V" ad indicare che l'asse di torsione era posto in verticale e che quindi le misure sono riferite al piano equatoriale dell'antenna e da una "O" indicante che i grafici sono riferiti a quanto misurato tutt'intorno all'antenna sul piano contenente l'asse di torsione.

Si tenga presente che la frequenza di 240 MHz a cui abbiamo operato è stata scelta sulla base di una misura eseguita sul momento in un ambiente non accuratamente predisposto, che la nostra antenna non presenta alcuna possibilità di essere accordata con la ricevente e che la sua frequenza di risonanza naturale varia al variare della torsione e passa da 276 MHz in corrispondenza della torsione nulla per entrambi i loop, a 264MHz per il loop 1 e 258 MHz per il loop 2 al valore estremo di torsione pari a 225° . In tale contesto quindi le osservazioni che si trarranno sono da considerarsi puramente indicative di un comportamento di massima a cui riferirsi in termini solamente qualitativi.

7.1 Diagrammi radiazione sul piano XY

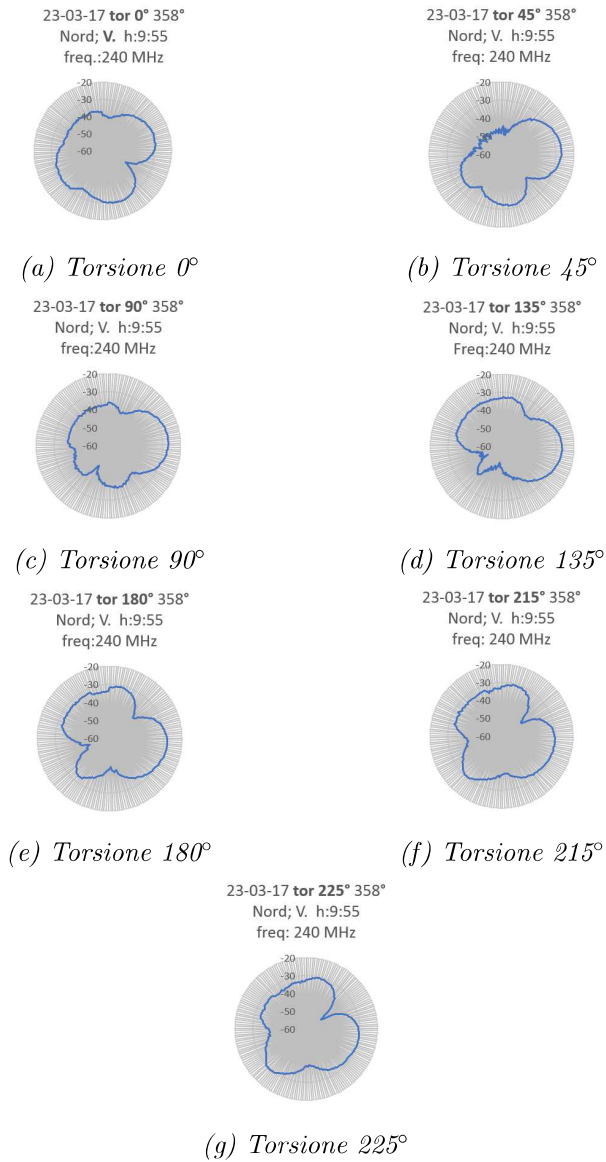


Figura 7.1: Diagrammi radiazione sul piano equatoriale

7.2 Diagrammi radiazione sul piano YZ

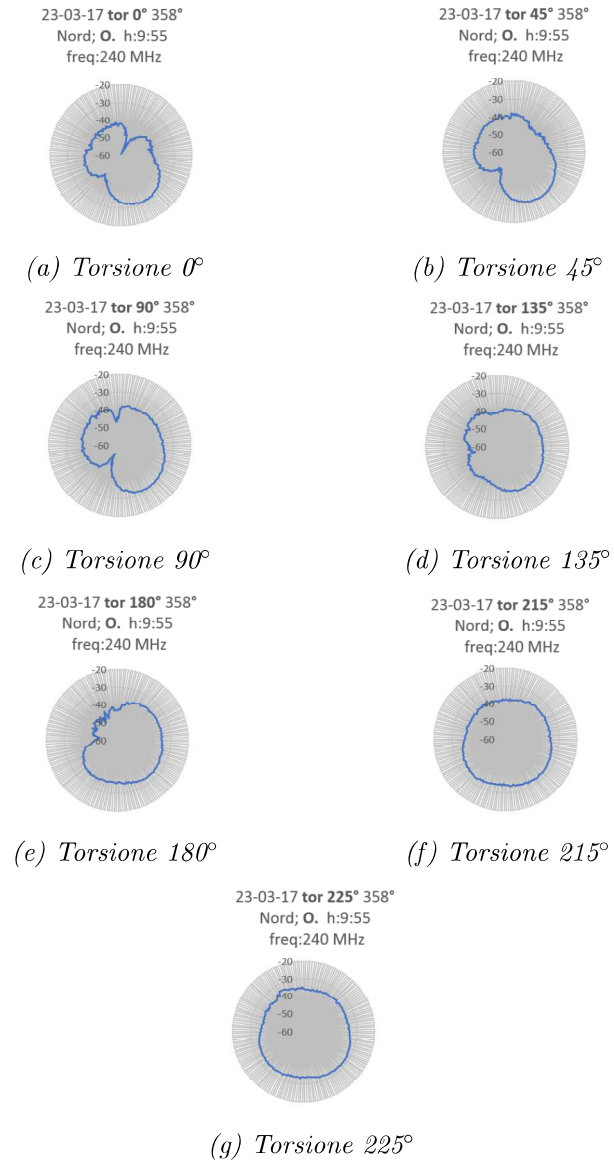


Figura 7.2: Diagrammi radiazione sul piano meridiano contenente il loop 1

7.3 Diagrammi radiazione sul piano XY (simulazioni)

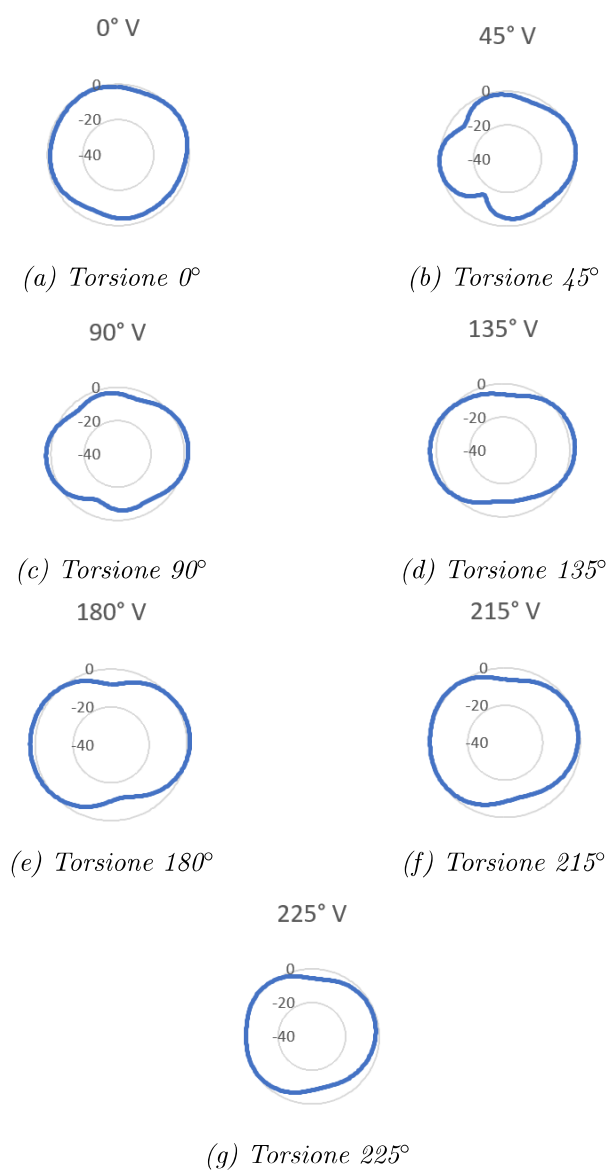


Figura 7.3: Diagrammi radiazione sul piano equatoriale

7.4 Diagrammi radiazione sul piano YZ (simulazioni).

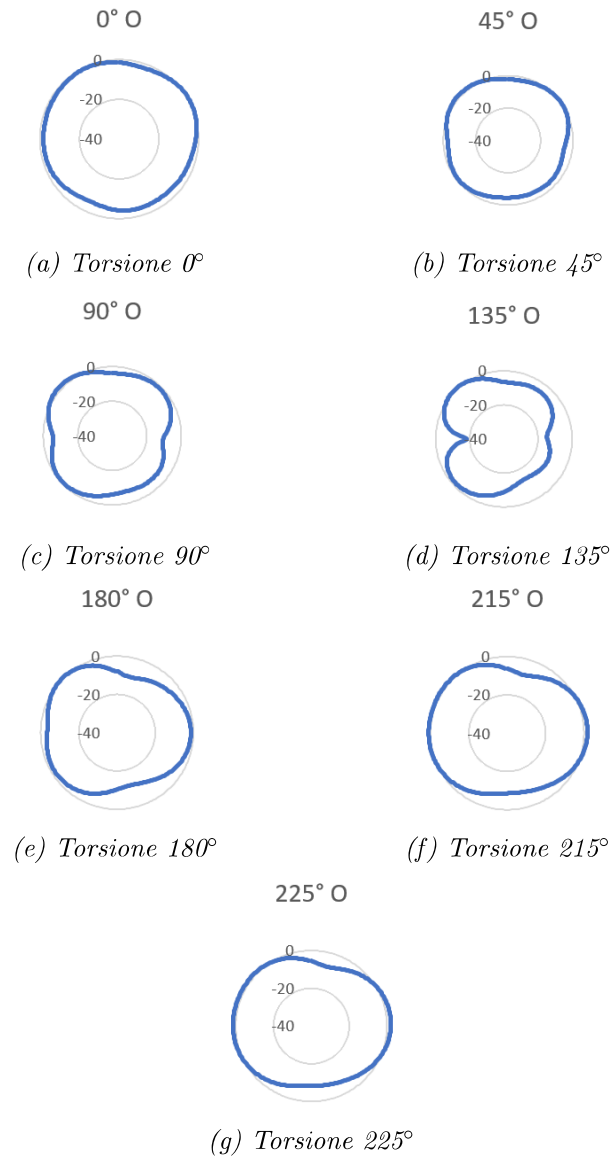


Figura 7.4: Diagrammi radiazione sul piano meridiano contenente il loop 1

Si può certamente asserire che la nostra **Antenna 1** mostra una buona omni-direzionalità che va crescendo al crescere dell'angolo di torsione, soprattutto nel piano azimutale.

Nei diagrammi di radiazione simulati, al contrario, non risulta possibile evidenziare lo stesso tipo di variazioni legate al crescere delle torsioni, piuttosto

un calo di isotropia e di intensità del segnale nei casi di torsione elevata se raffrontati alla netta isotropia dell'antenna non torta.

Evidente, invece, è la presenza di lacune nel segnale visibili nei diagrammi di radiazione reali, esse sono riconoscibili anche nei diagrammi ottenuti con le simulazioni e quindi non necessariamente attribuibili ad artefatti dovuti ad interferenze ambientali.

7.5 Diagrammi radiazione in 3D (simulazioni)

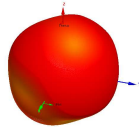
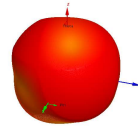
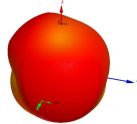
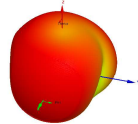
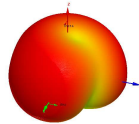
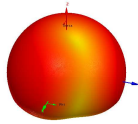
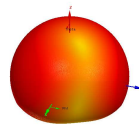
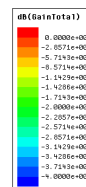
(a) Torsione 0° (b) Torsione 45° (c) Torsione 90° (d) Torsione 135° (e) Torsione 180° (f) Torsione 215° (g) Torsione 225° 

Figura 7.5: Diagrammi di radiazione polari

Capitolo 8

Elaborazione e discussione

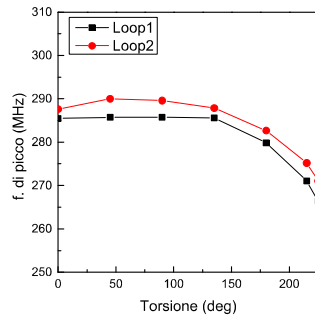
Fin qui si sono riportati i dati sperimentali di singole misure per ciascun tipo di antenna realizzata; in effetti sono state realizzate molteplici misure per le tre tipologie di antenne realizzate:

- Antenna 1 (AF) n° 31 misure dei parametri di scattering (periodo giugno-luglio 2017)
- Antenna 2 (AF) n° 15 misure dei parametri di scattering (novembre 2017)
- Antenna 2 (GS) n° 5 misure dei parametri di scattering (marzo-aprile 2018)
- Antenna 2 (AF) Loop 1 e 2 esaminati separatamente : n° 3 misure
- Antenna 2 (GS) Loop 1 e 2 esaminati separatamente : n° 2 misure
- Antenna 1 (AF) n° 1 prova in trasmissione
- Simulazione in HFSS di antenna 2 in entrambe le configurazioni
- Simulazione in HFSS di antenna 2 con i loop separati in entrambe le configurazioni.

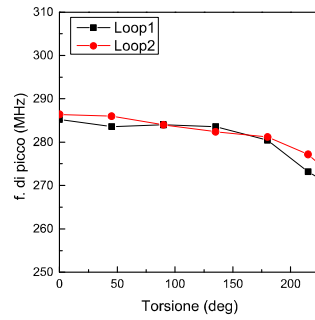
8.1 Diagrammi di confronto

Nei prossimi paragrafi si troveranno riportati i risultati relativi alle simulazioni ed alle misure eseguite con le due tipologie dell'Antenna 2 (AF e GS) con riferimento alle frequenze dei picchi di $|S_{ii}|$, ai loro corrispondenti valori in dB ed alla larghezza di banda in funzione dell'angolo di torsione.

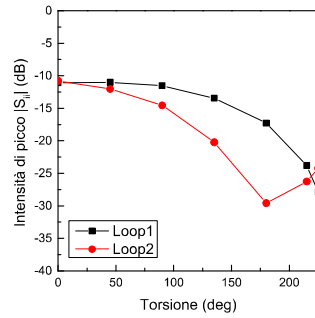
8.1.1 Confronto tra misure AF e GS



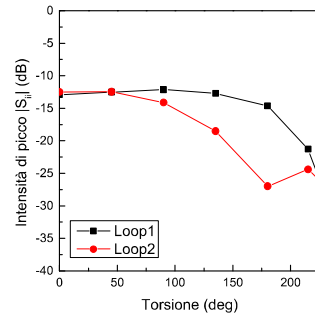
(a) AF frequenza di picco



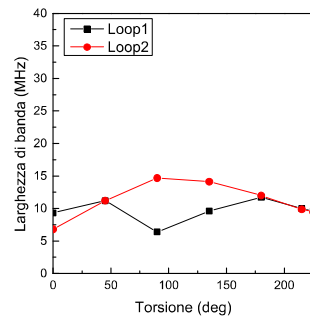
(b) GS frequenza di picco



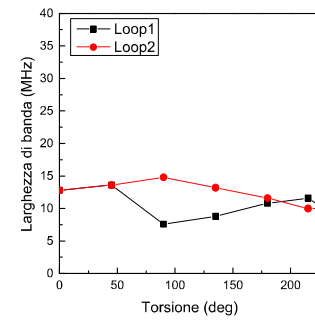
(c) AF intensità



(d) GS intensità



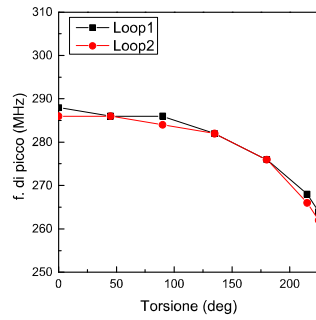
(e) AF larghezza di banda



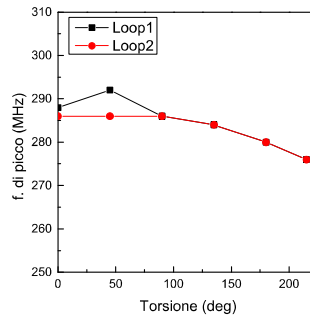
(f) GS larghezza di banda

Figura 8.1: Media delle misure Antenna 2
a,c,e (AF) ; b,d,f (GS)

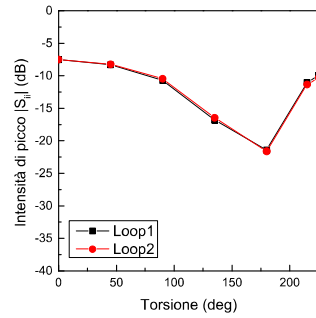
8.1.2 Confronto tra simulazioni AF e GS



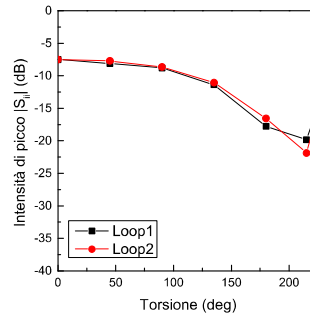
(a) AF frequenza di picco



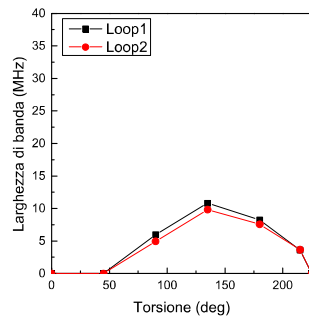
(b) GS frequenza di picco



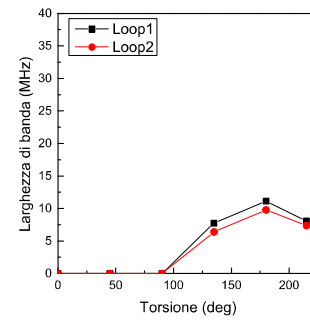
(c) AF intensità



(d) GS intensità



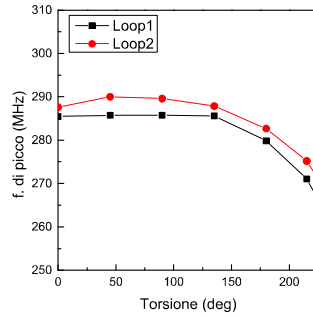
(e) AF larghezza di banda



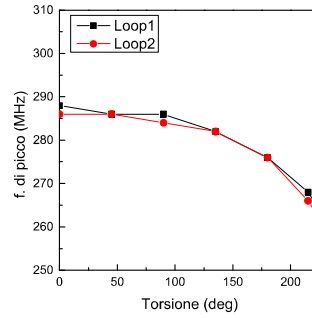
(f) GS larghezza di banda

Figura 8.2: Simulazione HFSS Antenna 2
a,c,e (AF) ; b,d,f (GS)

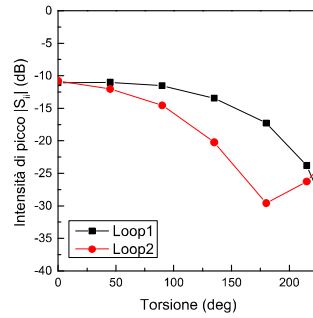
8.1.3 Confronto tra misure AF e simulazioni AF



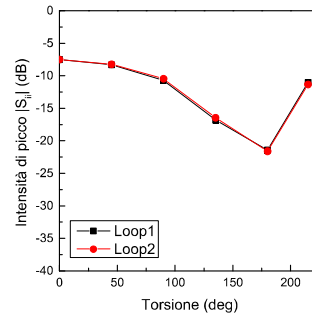
(a) Misura frequenza di picco



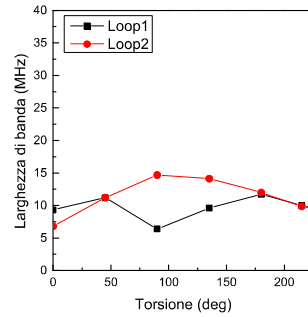
(b) HFSS frequenza di picco



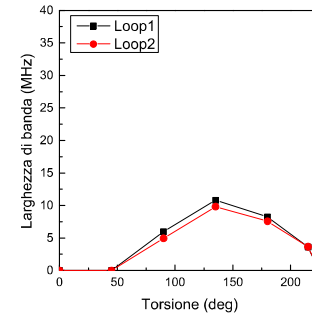
(c) Misura intensità



(d) HFSS intensità



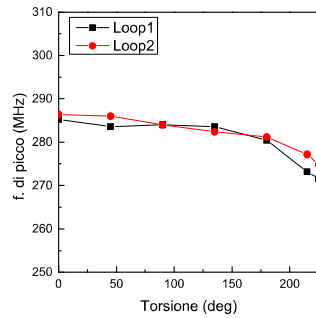
(e) Misura larghezza di banda



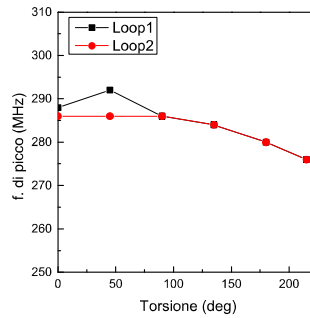
(f) HFSS larghezza di banda

Figura 8.3: Confronto misure (AF) - simulazione
a,c,e AF ; b,d,f (HFSS)

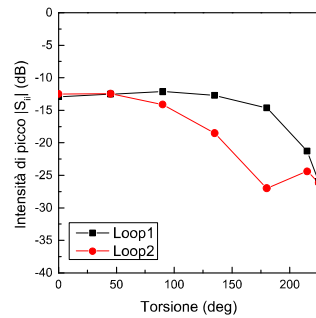
8.1.4 Confronto tra misure GS e simulazioni GS



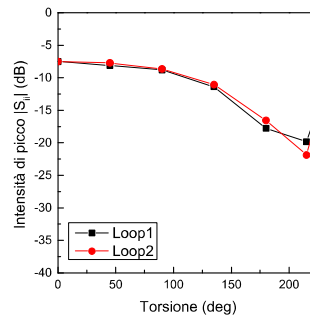
(a) Misura frequenza di picco



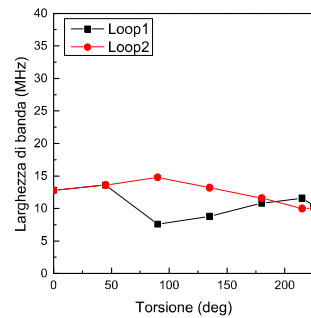
(b) HFSS frequenza di picco



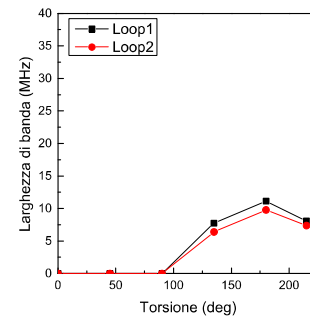
(c) Misura intensità



(d) HFSS intensità



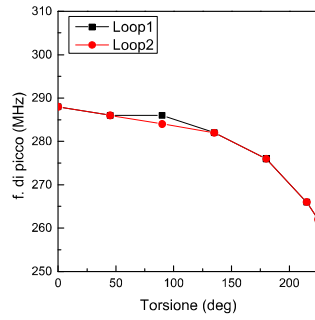
(e) Misura larghezza di banda



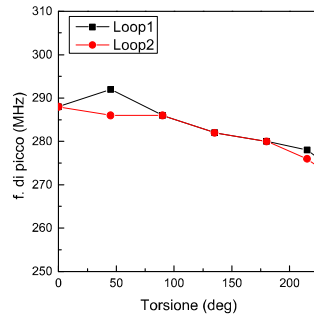
(f) HFSS larghezza di banda

Figura 8.4: Confronto misure (GS) - simulazione GS a,c,e; b,d,f (HFSS)

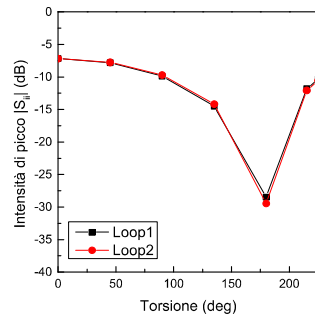
8.1.5 confronto tra simulazioni loop singoli



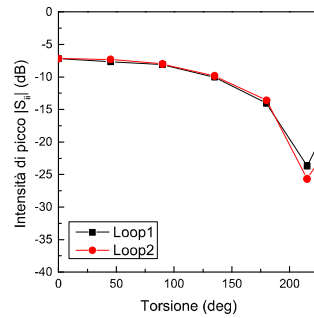
(a) AF frequenza di picco



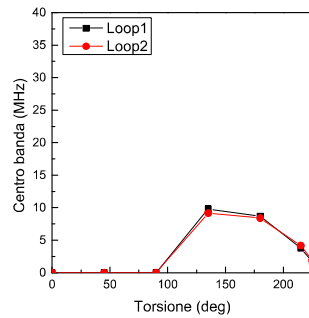
(b) GS frequenza di picco



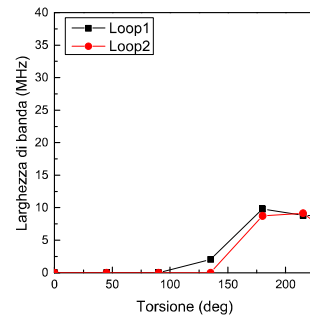
(c) AF intensità



(d) GS intensità



(e) AF larghezza di banda



(f) GS larghezza di banda

Figura 8.5: Confronto simul. loop singoli AF - GS
a,c,e AF ; b,d,f GS)

8.2 Analisi finale dei risultati

Per valori alti della torsione alcuni dati evidenziano un parziale scostamento dalle simulazioni corrispondenti, in particolare per quanto concerne i valori alti delle torsioni, per questo ci si è concentrati sull'analisi dei risultati relativi ad $\alpha \geq 135^\circ$.

A questo scopo si riportano qui di seguito i grafici di unione tra i dati reali mediati per le singole antenne e quelli delle relative simulazioni nell'intervallo $135^\circ \leq \alpha \leq 225^\circ$

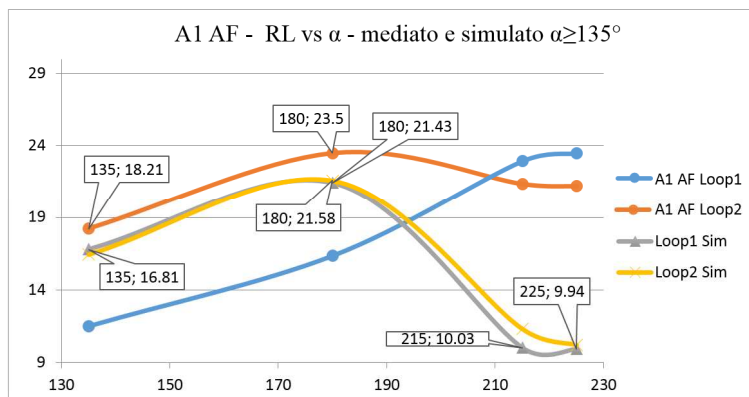


Figura 8.6: RL dei picchi: A1 AF reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

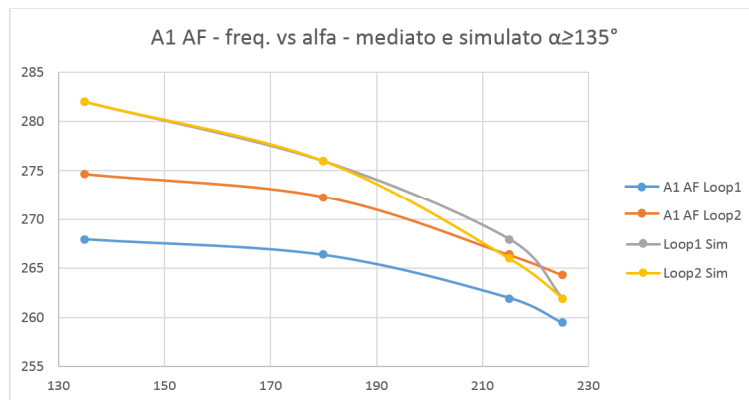


Figura 8.7: Frequenze dei picchi : A1 AF reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

Si può notare che per le frequenze gli andamenti medi sperimentali sono in discreto accordo con i simulati ma c'è sicuramente una decisa discrepanza tra simulazione ed il comportamento reale per quanto concerne i valori di picco del Return Loss dei due loop. Si nota infatti che, pur partendo da

valori identici in corrispondenza della antenna non torta (come già osservato nel grafico emblematico riportato nel capitolo precedente fig. 6.2), il Return Loss misurato arriva ad assumere valori discretamente dissimili tra i due loop per poi scambiare la posizione del loop 1 con quella del loop 2 che nel grafico lo sopravanza; nelle simulazioni invece, il RL è molto coerente tra i due loop ma essi mostrano valori che raggiungono un massimo in corrispondenza di 180° (circa 28.6dB) per poi discendere entrambi a 10 dB.

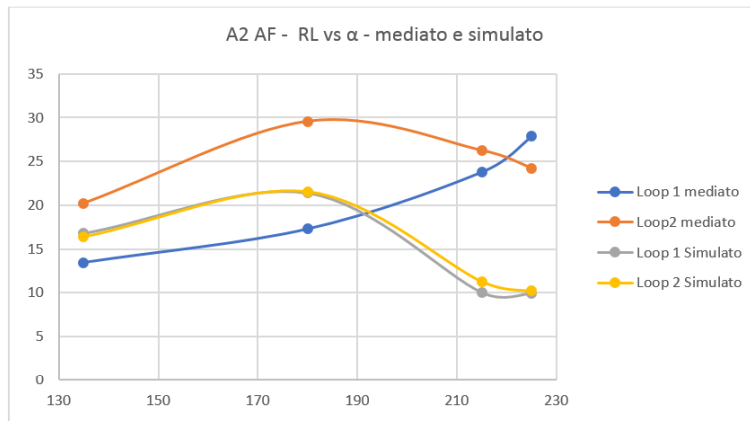


Figura 8.8: RL dei picchi: A2 AF mediato e simulato al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

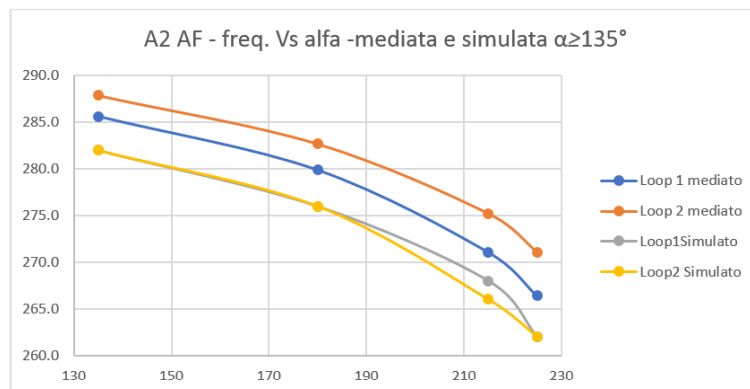


Figura 8.9: Frequenza dei picchi: A2 AF mediata e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

Altrettanto si può dire per gli andamenti delle frequenze dei loop reali nell'antenna 2 ad Altezza Fissa, essi sono infatti praticamente coincidenti con quelli della corrispondente simulazione.

Per quanto riguarda le intensità dei segnali si riscontra anche qui un andamento dissimile tra i dati mediati delle misure reali e quelli delle simulazioni;

i due loop reali danno valori che, pur diversi tra loro inizialmente, procedono crescendo quasi di pari passo fino a 180° di torsione poi, mentre l'uno continua a crescere, l'altro diminuisce sensibilmente ad $\alpha = 215^\circ$ e in corrispondenza di $\alpha = 225^\circ$ si ritrova ad essere al di sotto del valore dell'altro loop; nella simulazione invece, i valori scendono di pari passo per $\alpha > 215^\circ$ e apparentemente si stabilizzano attorno ai -10 dB.

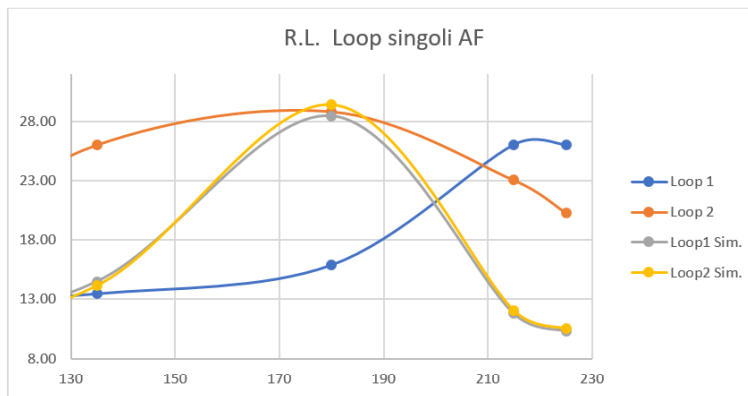


Figura 8.10: RL dei picchi: A2 AF mediata e simulato di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

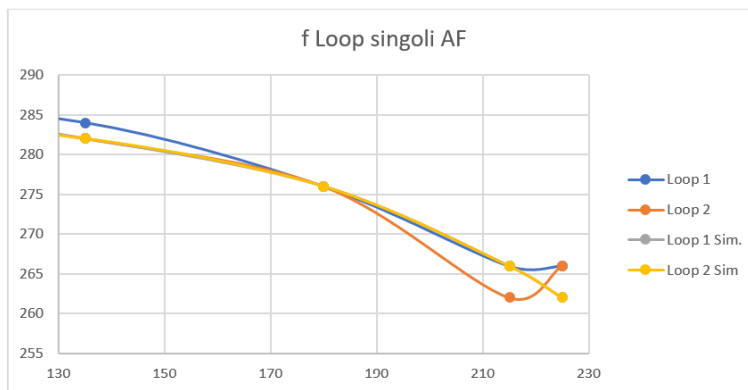


Figura 8.11: Frequenza dei picchi: A2 AF mediata e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

Per quanto riguarda il comportamento dei loop collegati singolarmente gli andamenti nelle simulazioni sono pressoché sovrapponibili e mostrano una crescita del RL con un valore massimo di circa 25dB per una torsione di 215°; l'andamento corrispondente per i due loop reali, separati, è individualmente molto dissimile per loop 1 e loop 2 come lo è anche nel caso del doppio loop della antenna GS dove essi si differenziano più che nell'antenna AF

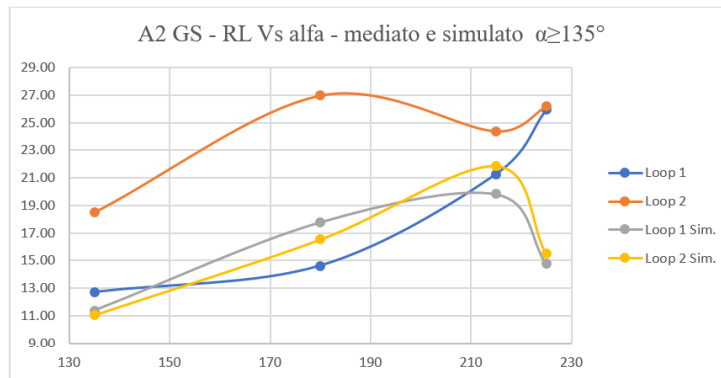


Figura 8.12: RL dei picchi: A2 GS reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

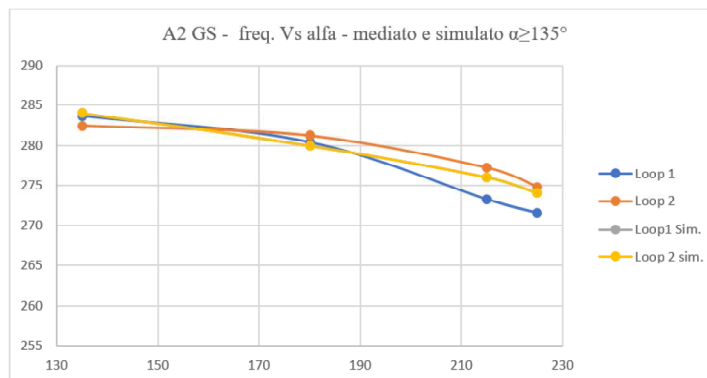


Figura 8.13: Frequenza dei picchi: A2 GS mediata e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

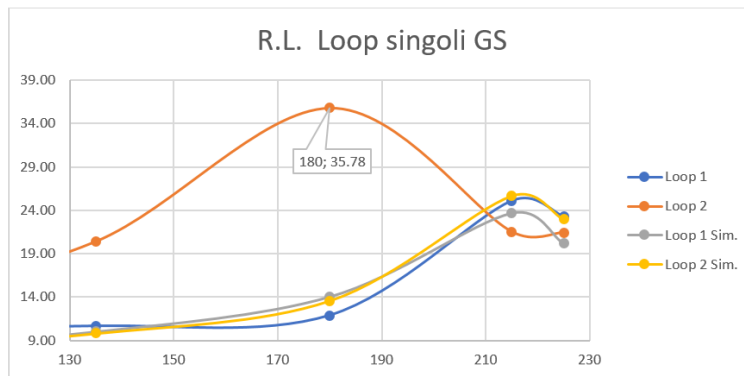


Figura 8.14: RL dei picchi: A2 GS reale e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

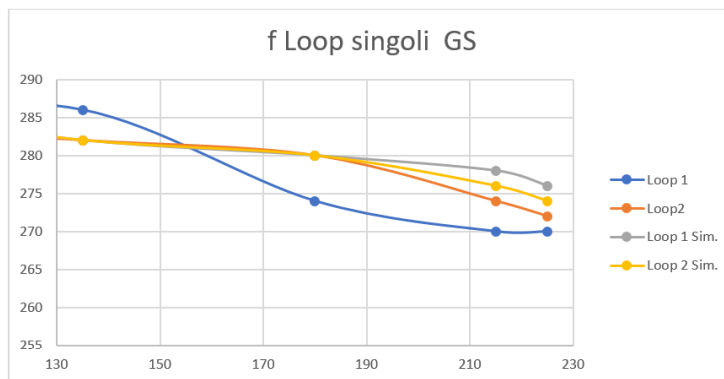


Figura 8.15: Frequenza dei picchi: A2 GS mediata e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$

Capitolo 9

Conclusioni

L'Invarianza di Lorentz, espressa matematicamente dalle cosiddette trasformazioni Lorentz (trasformazione di coordinate tra sistemi di riferimento inerziali), riassume in sé diverse proprietà della velocità della luce. Essa è costante, invariante, ed è la velocità limite per i fenomeni fisici. Indissolubilmente legate alla invarianza di Lorentz sono le proprietà dello spazio e del tempo. Lo spazio è euclideo, cioè omogeneo e isotropo, quindi piatto, e il tempo è omogeneo. Lo Spazio-Tempo è quindi esso stesso piatto ed è indicato con il nome di spazio di Minkowski, il primo a riconoscere l'indissolubilità delle 4 dimensioni geometriche. Ovviamente in uno spazio di questo tipo sono valide le equazioni di Maxwell, essendo state scritte le trasformazioni di Lorentz proprio per descrivere l'invarianza di queste equazioni nel passaggio tra un sistema inerziale ad un altro. Queste considerazioni sono alla base della Relatività Speciale di Einstein (valida per sistemi inerziali). Nel caso di sistemi non inerziali e quindi in presenza della gravità, l'invarianza di Lorentz sembra perdere la sua validità da un punto di vista di Spazio-Tempo globale. La Relatività Generale di Einstein riesce però a descrivere le proprietà dello Spazio-Tempo in modo tale che l'invarianza di Lorentz assume una validità locale. Si parla cioè di Invarianza Locale di Lorentz (ILL). Lo spazio globale ha una curvatura con conseguente perdita di validità delle equazioni di Maxwell, ma localmente continua ad essere piatto, cioè Minkowskiano. Da alcuni anni sono riportate in letteratura evidenze sperimentali di anomalie sia in ambito nucleare sia in ambito elettromagnetico. L'anomalia sarebbe legata al fatto che questi risultati non sono inquadrabili all'interno dell'attuale Modello Standard delle particelle. Tali evidenze sarebbero invece spiegabili lasciando cadere la validità dell'ILL. La teoria dello Spazio-Tempo Deformato (DST) parte proprio dalla violazione dell'ILL ed è in grado di prevedere e spiegare i suddetti fenomeni anomali. Secondo tale teoria la violazione dell'invarianza locale di Lorentz varia al variare dell'energia del fenomeno ed è dipendente dal tipo di interazione fondamentale (elettromagnetica, gravitazionale, leptonica, adronica).

L'obiettivo del lavoro sperimentale svolto in questi 3 anni è stato quello di seguire le orme di questi esperimenti, e cercare di riprodurre opportunamente le condizioni di violazione dell'ILL nel caso elettromagnetico, per poter mettere in evidenza eventuali effetti non previsti dalle equazioni di Maxwell, che, come già detto, cessano di essere valide se la ILL è violata.

Riuscire a trovare e soprattutto a riprodurre tali anomalie sarebbe la via per realizzare nello spazio circostante, e quindi anche in materiali posti in tale spazio, delle condizioni di spazio-tempo anomale, che potrebbero produrre reazioni anomale, come sono state riportate nei casi anomali attribuiti alla rottura della invarianza locale di Lorentz [13, 14] Sotto questa ottica, il lavoro di tesi è nato con l'intento di studiare le caratteristiche elettromagnetiche di un'antenna a doppio loop applicando ai piani di sviluppo dei loop stessi delle opportune deformazioni.

Ad ispirarci in questo sono stati un brevetto, riguardante una particolare antenna a doppio loop, e la Teoria dello Spazio-Tempo Deformato (DST), che in linea di principio ne potrebbe spiegare le peculiarità. I risultati del nostro lavoro possono essere così compendati:

1. Si è riscontrato che in entrambi i tipi di antenna, ad "Altezza Fissa" (AF) e a "Geometria Sferica" (GS) esiste una relazione tra la frequenza di picco del parametro di scattering $|S_{ii}|$ e la torsione cui sono sottoposti i loop. Tale relazione consiste in una diminuzione delle frequenze di picco all'aumentare dell'angolo di torsione α ; detta diminuzione è più pronunciata per la configurazione AF che per quella Sferica figg. 8.1a-8.1b.

Una pressoché identica variazione della frequenza di picco è presente anche nelle simulazioni del comportamento delle due antenne. Come nelle misure, anche nelle simulazioni esiste lo stesso tipo di distinzione tra AF fig 8.2a e GS fig. 8.2b per gli alti valori di α fig 8.9 e 8.13. Perciò tale effetto non è anomalo ma può essere utilizzato per applicazioni pratiche.

2. Per quanto riguarda il valore dei parametri $|S_{ii}|$ corrispondenti al picco massimo (in valore assoluto) abbiamo osservato una netta separazione dei valori relativi ai loop 1 ed al loop 2, essi mostrano infatti una tendenza comune all'aumento con l'aumentare della torsione, ma il loop 2 raggiunge rapidamente i suoi valori più "alti" (in valore assoluto) in corrispondenza di $\alpha = 180^\circ$ poi diminuisce; il primo invece varia più gradualmente ma continua a crescere anche per torsioni più pronunciate.

Gli andamenti descritti per la antenna AF valgono anche per l'antenna GS ma i valori assoluti di $|S_{ii}|$ per quest'ultima sono più ridotti in corrispondenza delle torsioni oltre 180 gradi fig. 8.1c 8.1d.

Nelle simulazioni, al contrario, non si evidenziano diversificazioni tra

loop 1 e 2 ma i valori simulati dei parametri $|S_{ii}|$ sono in valore assoluto più bassi che nella realtà per entrambe le configurazioni figg. 8.2c-8.2d e, per $\alpha \geq 135^\circ$ fig. 8.8 e fig. 8.12.

La differenza di comportamento fra i due loop può essere attribuita a piccole differenze nella realizzazione degli stessi, soprattutto nella zona degli attacchi. Sarebbe tuttavia ancora da esplorare se la differenza sia legata ad una variazione nell'orientamento dei loop rispetto al mondo esterno. Infatti oltre alla convenzione della direzione del Nord Magnetico locale (vedi fig. 9.2), per stabilire la violazione di Lorentz [8, 9], già citata nel par. 3.1, l'orientamento rispetto alla direzione che va verso il punto freddo della radiazione cosmica di fondo (C.M.B.R.) è stato considerato importante per almeno entrambe le interazioni elettromagnetica e nucleare [15, 16, 17]. I valori di Return Loss più alti di quanto previsto dalla teoria, come si sono riscontrati per entrambi i loop e per entrambi i tipi di antenna nello stesso intervallo angolare, potrebbero essere attribuiti ad errori nella modellizzazione, che però riproduce i risultati sperimentali riguardo le frequenze, oppure possono essere il segnale di un'anomalia collegabile alla violazione dell'invarianza locale di Lorentz.

3. L'analisi comparata dei risultati riguardanti la larghezza di banda a -10 dB (sempre per i parametri di scattering $|S_{ii}|$ permette di osservare che essa, nel caso della configurazione AF, per il loop 2, raggiunge i 15MHz per α pari a 90° rimanendo comunque al di sopra dei 10 MHz in entrambe le configurazioni. Il loop 1, invece, mostra anche in questo ambito un andamento diverso dal suo compagno, similmente a quanto osservato nell'analisi degli $|S_{ii}|$. Globalmente infatti si osserva una diminuzione della sua larghezza di banda per angoli di torsione di 90° e 135° proprio laddove il secondo loop possiede larghezze di banda più elevate. Le medesime osservazioni si possono registrare per la configurazione GS figg. 8.1e 8.1f. Molto più sorprendenti nello stesso ambito delle larghezze di banda, sono gli esiti delle simulazioni figg. 8.2e 8.2f nelle quali la banda a -10 dB compare solo per torsioni oltre i 45° in AF e 90° in GS e raggiunge la sua massima estensione di circa 10 MHz solo in corrispondenza di una torsione di 135° la AF, e di 180° la GS.
4. Dall'analisi del comportamento dei loop collegati singolarmente possiamo riconoscere le consuete relazioni tra Return Loss (RL) e torsione per quanto riguarda le misure sperimentali in entrambe le configurazioni. Più particolare è, invece, l'andamento dei valori trovati nelle simulazioni dei due loop separati nel caso della configurazione AF dove si riscontra una forte propensione ad emettere energia in radio frequenza solo con una torsione di 180° . Non è così però nel caso della confi-

gurazione GS dove le "prestazioni" dei due loop separati in termini di RL seguono un andamento di lieve accrescimento fino a raggiungere un massimo di 25-27 dB, a 215° di torsione, intermedio rispetto ai valori dei 2 loop separati reali.

E' doveroso ricordare che i modelli relativi a queste ultime simulazioni sono quelli che più si discostano dalla realtà in quanto nel modello teorico il collegare solo 1 dei loop ha comportato la totale eliminazione dell'altro mentre nella realtà la rimozione di un loop non comporta l'eliminazione della parte di circuito compresa nella basetta dell'antenna da cui lo stesso viene disconnesso.

5. Nei diagrammi di radiazione sperimentali figg. 7.1-7.2 abbiamo potuto riconoscere oltre alla discreta omni-direzionalità della nostra prima antenna, un certo accrescimento dell'intensità di radiazione rilevata al crescere della torsione che ben si accorda con quanto visto nei risultati relativi al RL.

Nelle corrispondenti simulazioni dei diagrammi di radiazione fig. 7.3 e fig.7.4 si osserva invece un progressivo, seppur lieve, contrazione dei diagrammi al crescere della torsione; tale effetto è riconoscibile anche nelle rappresentazioni 3D degli stessi diagrammi riportati in fig. 7.5.

In conclusione possiamo affermare di aver trovato una, seppur lieve e parziale, discordanza tra i risultati reali delle nostre misure e i dati corrispondenti delle simulazioni.

In particolare per torsioni superiori a 135° i modelli teorici prevedono che la porzione di potenza fornita all'antenna ed irradiata sotto forma di onda EM sia minore di quanto misurato, in termini sia di Return Loss che di Larghezza di Banda.

Tali affermazioni valgono soprattutto per il "secondo" dei nostri due loop; quello che nelle nostre prove, inizialmente a torsione 0° , risulta svilupparsi sul piano ortogonale alla direzione del campo magnetico terrestre.

Quest'ultima evidenza ci invita a riconoscere una possibile analogia con quanto sostenuto nell'articolo "New Experimental Results on the Lower Limits of Local Lorentz Invariance"[9]. In esso gli autori sostengono di aver misurato una, lieve per le entità ma clamorosa per i significati, differenza di potenziale indotta ai capi di un conduttore(rettilineo) posto all'interno di una bobina di Helmholtz percorsa da corrente costante. Essendo entrambi, conduttore e bobina, in quiete l'uno rispetto all'altro, sarebbe evidente la totale violazione della Invarianza Locale di Lorentz.

Il suddetto conduttore nell'esperimento riportato, ruota in senso orario nel piano della bobina assumendo staticamente diversi angoli multipli di 45° a

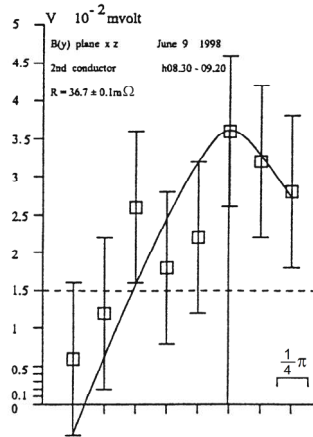


Figura 9.1: : Il grafico mostra in ordinate i volt indotti in un conduttore da un campo magnetico statico prodotto da una bobina. Sia il conduttore che la bobina sono fermi l'uno rispetto all'altro. Tale differenza di potenziale agli estremi del conduttore indica la violazione dell'invarianza locale di Lorentz. In ascisse è presente l'angolo di orientazione del conduttore rispetto alla bobina. [9]

partire dallo zero posto nella direzione dell'asse z negativo, come indicato in fig.9.2b. La differenza di potenziale mostra una crescita al variare dell'angolo raggiungendo il massimo in corrispondenza di 3.757 radianti; ovvero avendo ruotato il conduttore in senso orario di 215°.

I risultati così ottenuti non costituiscono di certo una prova inconfutabile di scostamento dalle teorie dell'elettromagnetismo ma può essere sicuramente intrigante il fatto che i valori di massima discordanza tra modelli numerici e dati sperimentali si collochino in corrispondenza di torsioni a cavallo dei 215° e che anche il nostro apparato possa essere considerato come sensore di una locale perdita di simmetria.

Essa deriverebbe da una deformazione dello Spazio-tempo proposta nell'articolo [9] che farebbe corrispondere ad un angolo piatto dello spazio deformato, un angolo di 3.76 radianti (215°) nello spazio-tempo Minkowskiano non deformato.

Una analisi più accurata richiederebbe una valutazione della lunghezza delle porzioni di antenna (la nostra) che corrispondono alle direzioni dell'esperimento della bobina di Helmholtz sia sul piano orizzontale che su quello verticale ed una successiva discussione sull'effetto combinato delle loro componenti orizzontali e verticali.

E' comunque interessante notare che entrambi i loop presentano per l'antenna ad "altezza fissa" il massimo di discordanza dai modelli teorici per quanto riguarda il Return Loss proprio per le torsioni tra 180° e 225°. In tale intervallo entrambi i loop hanno una delle loro metà in buona parte ma

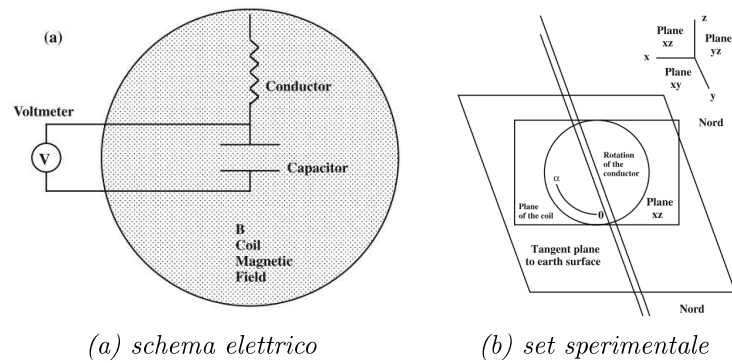


Figura 9.2: In (a) lo schema elettrico che mostra la reciproca posizione della bobina e del conduttore; in (b) lo schema in cui si mostra l'orientazione dell'apparato sperimentale, del campo magnetico della bobina e del campo magnetico terrestre, la bobina è nel piano xz . [9]

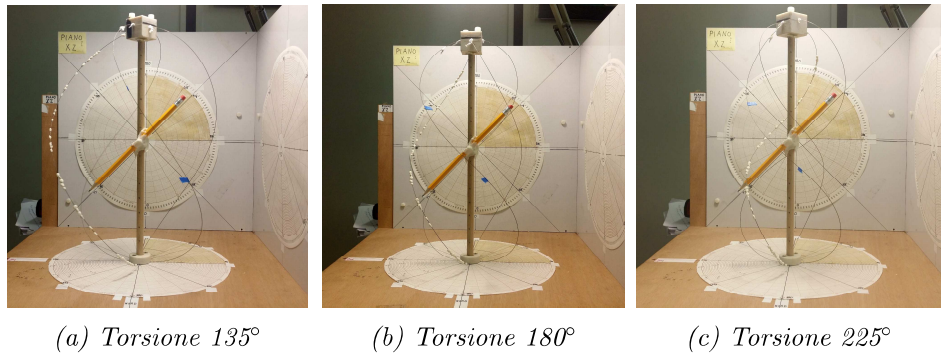


Figura 9.3: L'antenna AF nelle torsioni corrispondenti ai massimi scostamenti dalle simulazioni; la matita indica, dalla parte della gomma, la rotazione di 225° rispetto al semiasse z negativo.

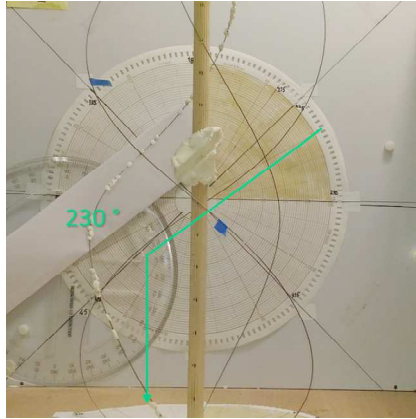
in diverse porzioni, visibilmente orientate nella zona circostante i 215° della bobina fig. 9.3b e fig. 9.3c.

Questa situazione non si verifica per le altre torsioni come, ad esempio, quella di 135° come mostrato in fig. 9.3a

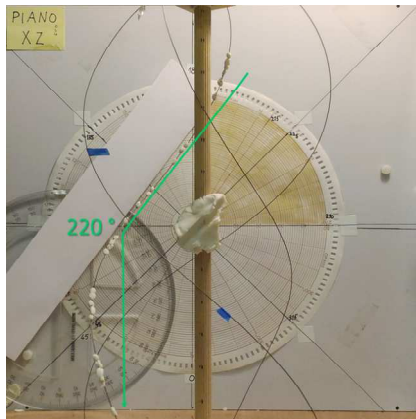
Per meglio chiarire si riportano qui di seguito le foto relative all'antenna AF riferentesi agli angoli di torsione per i quali il RL mostra il massimo scostamento dai valori delle simulazioni.

Essi risultano essere:

- $\alpha=215^\circ$ per il loop 2
- $\alpha=225^\circ$ per il loop 1



(a) loop 2, $\alpha = 215^\circ$; è evidenziata la direzione 230°



(b) loop 1, $\alpha = 225^\circ$; è evidenziata la direzione 220°

Figura 9.4: L'antenna AF nelle torsioni corrispondenti ai massimi scostamenti dalle simulazioni; il loop 1 è distinguibile per le piccole perline bianche, il goniometro virtuale riporta l'angolo di rotazione rispetto al semiasse z negativo.

in corrispondenza di tali torsioni nelle foto si evidenzia l'angolo formato dalla proiezione di ciascun loop sul piano xz: 230° per il loop 2 con $\alpha=215^\circ$ e 220° per il loop 1 con $\alpha=225^\circ$.

A parte le ultime considerazioni che riguardano i fondamenti della Fisica i nostri risultati forniscono informazioni utili per poter costruire antenne più performanti, semplicemente con un'appropriata torsione dei due loop.

Allegati

- Fig 9.5: Scheda tecnica dell'acciaio armonico fornita dal Mollificio Mazzoni (Osimo)
- Fig 9.6: Analisi realizzate al SEM
- Fig 9.7: Spettrometria al SEM
- Programma 9.1: Programma per ottenere le nuvole di punti della Geometria Sferica (approccio trigonometrico)
- Programma 9.2: Programma per ottenere le nuvole di punti in entrambe le configurazioni (approccio meccanica del continuo)
- Sript 9.3: Script in "Python" per la generazione dei modelli



SAPA ACCIAI Srl

VIA ENRICO FERMI 16/18
20090 CUSAGO (MI)
Tel.: +39 02 90.39.00.40
Fax: +39 02 90.39.00.50
commerciale@sapacciai.com

039/14

Azienda con sistema qualità certificato EN ISO 9001

RAPPORTO DI COLLAUDO n° 17/071605

Secondo EN 10204 - 3.1

Dati Cliente:

Peso: Kg 402,10
Nr.Colli: 8

MOLLIFICIO MAZZONI S.R.L.
Vs.ordine: 007/17 del: 25/01/2017
Ns.bolla: 716 del: 10/02/2017

Caratteristiche Meccaniche

Codice di Rintracciabilità: 1702075

Materiale: SH FOSFATATO
Misura m/m: 0,70 SH
Res. / Hard: 2437/2463 N/mm²
Allungamento:
Zincatura gr./mq:
Varie:

Colata n° SF78070
Normativa: EN 10270-1
Trattamento: PATENTATO A PIOMBO
N° Torsioni:
Confez.: COILS

Analisi Chimica del Materiale

C	0.806 %	P	0.013 %	Ni	□ %	Pb	□ %	Al	□ %	Sn	□ %
MN	0.432 %	S	0.004 %	Mo	□ %	Fe	□ %	V	□ %		□ %
Si	0.206 %	CR	□ %	Cu	0.028 %	Zn	□ %	N	□ %		□ %

Il Collaudo:

10/02/2017

Test Fisici:

Numero Rotolo	Misura mm	Resistenza N/mm ²	Cast Helix	Weight	Ovality	Torsion
VAL MAX	0.697	2463	GOOD		0.001	
VAL MIN	0.694	2437	GOOD		0.001	

Figura 9.5: Scheda tecnica acciaio armonico

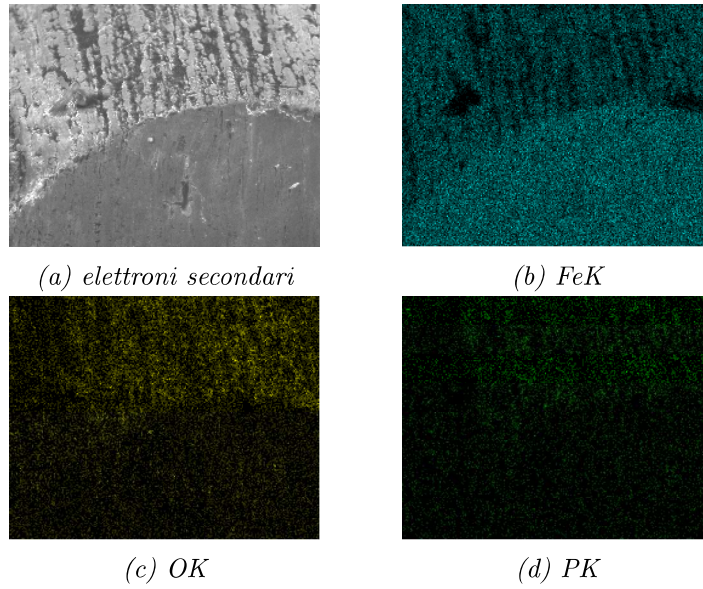


Figura 9.6: Immagini SEM del filo di acciaio

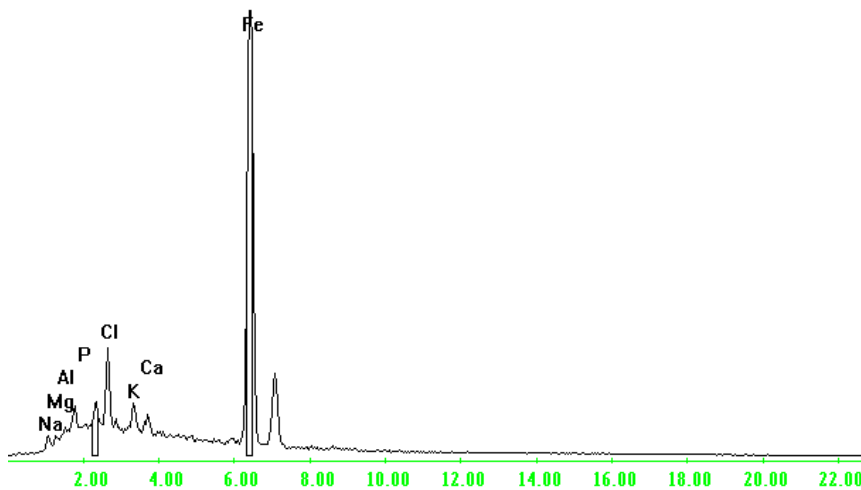


Figura 9.7: Analisi SEM del filo di acciaio

Listing 9.1: Programma basato su approccio trigonometrico

```
1 % METODO 3: i tratti ds ricalcolati
2 % occupano lo stesso delta alfa e delta zeta di quelli
   iniziali
3 % in questo metodo vario solo il rapporto LsuLbig,
   senza sostituire i
4 % valori..
5
6 clear all
7 close all
8
9
10 %===== DATI iniziali =====
11 %T= Mezza altezza dell'antenna (in cm), N=numero passi
   ;alfagrad=alfaingradi
12 Altezza=100/pi
13 T=Altezza/2
14 Rzero= 1.5
15 N=100
16 ncicli=1000
17
18 rotazacroccoinsensorario=0
19
20 Ruotorad=-rotazacroccoinsensorario*pi/180
21
22 alfagrad=180
23
24
25 % ===== prima elaborazione
26 alfa= alfagrad*pi/180;
27 dalfa=alfa/N;
28 DAQ=dalfa*dalfa;
29 dteta=pi/N;
30 arco=T*dteta;
31 DSQ=arco*arco;
32 L=pi*T
33 %
34
35 % Dimensiono un po' di matrici =====
36 teta= zeros ([N+2]);
37 X= zeros ([N+2]);
38 Y= zeros ([N+2]);
```

```

39 Z= zeros ([N+2]);
40 ALFA= zeros ([N+2]);
41 rhov= zeros ([N+2]);
42 %
43 DZQ= zeros ([N+2]);
44 diag2= zeros ([N+2]);
45 a= zeros ([N+2]);
46 deltarho= zeros ([N+2]);
47 %
48 Rtotn= zeros ([N+2]);
49 %
50 % =====
51 %Calcolo di teta, Zeta e alfa
52 %con teta alfa rhovecchio e zeta indico i valori in
    basso
53 for k=1:N+2
54     k1=k-1;
55     teta(k)=k1*dteta;
56     Z(k)=-T*cos(teta(k));
57     if Z(k)<0
58         kstrano=k;
59     end
60     ALFA(k)=k1*dalfa;
61     rhov(k)=T*sin(teta(k));
62     %
63 end
64 %
65 for k=1:N
66     k1=k+1;
67
68     dz=Z(k1)-Z(k);
69     DZQ(k)=dz*dz;
70     Rtot=Rzero+rhov(k1);
71     deltarhov=rhov(k1)-rhov(k);
72     diag2(k)= Rtot*Rtot*DAQ+deltarhov*deltarhov;
73     aQ=DZQ(k)+diag2(k);
74     a(k)=sqrt(aQ);
75     deltarho(k)=deltarhov;
76 end
77 %
78 % Nuova lunghezza totale
79 Lbig=0;
80 for k=1:N
81     Lbig=Lbig+a(k);

```

```

82 end
83     LsuLbig=L/Lbig
84     %
85     LV=L;
86     LsuLbig0=LsuLbig
87     del=LsuLbig/10000;
88     contatore=0;
89     for cicli=1:ncicli
90         %calcolo nuova lunghezza
91
92     for k=1:N
93         if DAQ==0
94             Rtotn(k+1)=Rzero+rhov(k);
95         else
96             nuovalungh=a(k)*LsuLbig;
97             %tolgo dz2
98             menoz2=nuovalungh*nuovalungh-DZQ(k);
99             if menoz2<0
100                 i="tolto dz2 viene negativo per ",k=k
101
102                 STOP
103             end
104
105
106             %tolgo delta rho (dopo averlo scalato del fattore e
107             %calcolo nuovo Rtot)
108             dero=deltarho(k)*LsuLbig;
109             Rtotn2=(menoz2-dero*dero)/DAQ;
110             if Rtotn2<0
111                 i="tolto dz2 e dr2 viene negativo per ",k=k
112                 STOP
113             end
114             Rtotn(k+1)=sqrt(Rtotn2);
115         end
116     end
117     Rtotn(1)=Rzero;
118
119     %
120     % ed ora, signore e signori, le coordinate X e Y
121     % !!!
122     %
123     for k=1:N+1

```

```

124         X(k)=Rtotn(k)*cos(ALFA(k));
125         Y(k)=Rtotn(k)*sin(ALFA(k));
126     end
127
128     %
129     % ===== Calcolo lunghezza filo in questo
130     %           ciclo
131     lunghezza=0;
132     %
133     for k=1:N
134         k1=k+1;
135         lunx=X(k1)-X(k);
136         luny=Y(k1)-Y(k);
137         luz=Z(k1)-Z(k);
138         dlungh=sqrt(lunx*lunx+luny*luny+luz*luz);
139         lunghezza=lunghezza+dlungh;
140     end
141     % =====> calcolo nuovo LsuLbig
142
143     rapporto=L/lunghezza;
144
145     if rapporto>=1
146         LsuLbig=LsuLbig+del;
147         contatore=1;
148     else
149         LsuLbig=LsuLbig-del;
150         if contatore==1
151             del=del/5;
152             contatore=0;
153         end
154     end
155 end
156
157
158     %
159     % =====
160     disegno
161     hold off
162     hold on
163     grid on
164     % =====
165     % parti rigide all'inizio e alla fine
166     % ===== loop 1

```

```

165         xseg=[-Rzero , Rzero ] ;
166         yseg =[0 ,0];
167         zseg=[-T,-T];
168     plot3 ( xseg , yseg , zseg , 'b' );
169         xseg=[-Rzero*cos( alfa ) ,Rzero*cos( alfa ) ];
170         yseg=[-Rzero*sin( alfa ) ,Rzero*sin( alfa ) ];
171         zseg=[T,T];
172     plot3 ( xseg , yseg , zseg , 'b' );
173
174 %==== loop 2
175         xseg =[0 ,0];
176         yseg=[-Rzero ,Rzero ] ;
177         zseg=[-T,-T];
178     plot3 ( xseg , yseg , zseg , 'b' );
179         xseg=[-Rzero*sin( alfa ) ,Rzero*sin( alfa ) ];
180         yseg=[Rzero*cos( alfa ) ,-Rzero*cos( alfa ) ];
181         zseg=[T,T];
182     plot3 ( xseg , yseg , zseg , 'b' );
183
184 %===== asta centrale
185         xseg =[0 ,0];
186         yseg =[0 ,0];
187         zseg=[-T,T];
188     plot3 ( xseg , yseg , zseg , 'b' );
189 %
190     title ( [ 'alfa=' , num2str( alfagrad );" (Gradi)"] )
191     %===== Piano
192     T2=T+2;
193     XP=[-T T T -T];
194     YP=[-T -T T T];
195     ZP=[-T -T -T -T];
196
197     fill3 (XP,YP,ZP,"y")
198 %===== Linea del NORD
199
200     xseg =[0 ,T2*sin( Ruotorad ) ];
201     yseg =[0 ,T2*cos( Ruotorad ) ];
202     zseg=[-T,-T];
203
204     plot3 ( xseg , yseg , zseg ," r" );
205     zseg=[-T2,-T2];
206
207     plot3 ( xseg , yseg , zseg ," r" );
208

```



```

209     xseg=[T2*sin(Ruotorad),T2*sin(Ruotorad)];
210     yseg=[T2*cos(Ruotorad),T2*cos(Ruotorad)];
211     zseg=[-T,-T2];
212
213     plot3(xseg,yseg,zseg,'r');
214
215     %
216     %===== Disegno loop
217     %=====
218     for k=1:N
219         k1=k+1;
220         xseg=[X(k),X(k1)];
221         yseg=[Y(k),Y(k1)];
222         zseg=[Z(k),Z(k1)];
223
224         plot3(xseg,yseg,zseg,'r');
225         plot3(-xseg,-yseg,zseg,'r');
226         plot3(-yseg,xseg,zseg,'g');
227         plot3(yseg,-xseg,zseg,'g');
228     end
229     xlabel('X');
230     ylabel('Y');
231     zlabel('Z');
232
233
234     axis([-T2 T2 -T2 T2 -T2 T2])
235
236
237     %
238     %===== Calcolo lunghezza filo e carico
239     ottanti
240     lunghezza=0;
241     %
242
243     L1XZ= zeros([10]);
244     L2XZ= zeros([10]);
245     L1YZ= zeros([10]);
246     L2YZ= zeros([10]);
247     L1XY= zeros([20]);
248     L2XY= zeros([20]);

```

```

249
250 for k=1:N
251     k1=k+1;
252     lunx=X(k1)-X(k);
253     luny=Y(k1)-Y(k);
254     luz=Z(k1)-Z(k);
255     dlungh=sqrt(lunx*lunx+luny*luny+luz*luz);
256     lunghezza=lunghezza+dlungh;
257
258     % Ottanti
259     lux=lunx*cos(Ruotorad)-luny*sin(Ruotorad);
260     luy=lunx*sin(Ruotorad)+luny*cos(Ruotorad);
261     deca=(atan(luy/luz))*10/pi;
262     yz=round(5.5+deca);
263     L1XZ(yz)=L1XZ(yz)+dlungh;
264     L2YZ(yz)=L2YZ(yz)+dlungh;
265     yz=round(5.5-deca);
266     L1XZ(yz)=L1XZ(yz)+dlungh;
267     L2YZ(yz)=L2YZ(yz)+dlungh;
268     %
269     deca=(atan(lux/luz))*10/pi;
270     xz=round(5.5+deca);
271     L1YZ(xz)=L1YZ(xz)+dlungh;
272     L2XZ(xz)=L2XZ(xz)+dlungh;
273     xz=round(5.5-deca);
274     L1YZ(xz)=L1YZ(xz)+dlungh;
275     L2XZ(xz)=L2XZ(xz)+dlungh;
276
277     % Piano XY
278     deca=(atan(luy/lux))*10/pi;
279     xy1a=round(5.5+deca);
280     xy1b=xy1a+10;
281     if luy >= 0
282         xy1a=21-xy1a;
283         xy1b=xy1a-10;
284     end
285     xy2a=xy1a+5;
286     xy2b=xy1b+5;
287     if xy2a >= 20.5
288         xy2a=xy2a-20;
289     end
290     if xy2b >= 20.5
291         xy2b=xy2b-20;
292     end

```

```

293
294     L1XY(xy1a)=L1XY(xy1a)+dlungh;
295     L1XY(xy1b)=L1XY(xy1b)+dlungh;
296     L2XY(xy2a)=L2XY(xy2a)+dlungh;
297     L2XY(xy2b)=L2XY(xy2b)+dlungh;
298
299
300     end
301     Lunghtot=lunghezza
302     Lunghattesa=pi*T
303
304
305     % =====Figure 2 e 3
306     =====
307     figure
308     subplot(2,3,1)
309     bar(L1XZ,13,"r")
310     title("Loop1 pianoXZ")
311
312     subplot(2,3,4)
313     bar(L1YZ,13,"r")
314     title("Loop1 pianoYZ")
315
316     subplot(2,3,2)
317     bar(L2XZ,13,"g")
318     title("Loop2 pianoXZ")
319
320     subplot(2,3,5)
321     bar(L2YZ,13,"g")
322     title("Loop2 pianoYZ")
323
324     % Piano XZ e YZ - Totale
325     Pianoxz=L1XZ+L2XZ;
326     Pianoyz=L1YZ+L2YZ;
327
328
329     subplot(2,3,3)
330     bar(Pianoxz,13,"b")
331     title("PianoXZ - Totale")
332
333     subplot(2,3,6)
334     bar(Pianoyz,13,"b")
335     title("PianoYZ - Totale")

```

```
336
337 % Piano XY
338 figure
339 subplot(1,3,1)
340 bar(L1XY,13,"r")
341 title("Piano XY - Loop1")
342
343 subplot(1,3,2)
344 bar(L2XY,13,"g")
345 title("Piano XY - Loop2")
346
347 Pianoxy=L1XY+L2XY;
348 subplot(1,3,3)
349 bar(Pianoxy,13,"b")
350 title("Piano XY - Totale")
```

Listing 9.2: Programma basato sul calcolo degli equilibri spaziali

```
1 global R0;
2 global iRrip;
3 global ds;
4 global iEJx;
5 global iEJy;
6 global iGJ0;
7 global ikxGA;
8 global ikyGA;
9 global iEA;
10 global D0;
11 global phi;
12 global splinepoly;
13
14 clc;
15
16 %%
17 %PARAMETRI DA IMPOSTARE
18
19 %parametri elastici trave
20 iEJx=1; %deformabilita flessionale x (inverso
    rigidezza)
21 iEJy=1; %deformabilita flessionale y (inverso
    rigidezza)
22 iGJ0=1.5;%deformabilita torsionale (inverso rigidezza)
23 ikxGA=0;
24 ikyGA=0;
25 iEA=0; %0-0-0 = trave inestensibile
26
27 %parametri geometrici trave
28 ds=0.0075; %semi lato del quadratino
29 iRrip=1/0.105; %inverso raggio della trave a riposo
30 R0=0.07; %raggio curvatura posizione iniziale
31
32 %spostamenti iniziali
33 traslazione=0.035; %spostamento del punto mobile
34 angolo=pi*5/3;%in radianti
35
36 %Precisione
37 iterazioni=6;%Suggerimento: se maggiore dell angolo,
    di solito funziona
38 mesh=50;%mesh (precisione) di discretizzazione
```

```

39 %%
40
41 linsp=linspace(0,pi*R0,mesh);
42 solution=zeros(13,mesh);
43
44 for i=1:mesh
45     solution(:,i)=yzero(linsp(i));
46 end
47
48 splinepoly=spline(linsp,solution(1,:));
49
50 for iterazione=1:iterazioni
51     D0=iterazione*traslazione/iterazioni;
52     phi=iterazione*angolo/iterazioni;
53
54     for i=1:13
55         splinepoly(i)=spline(linsp,solution(i,:));
56     end
57
58     mu=0;
59     solinit=bvpinit(linsp,@yinit,mu);
60     sol = bvp4c(@dydx,@res,solinit);
61     xmesh=linsp;
62     solution=deval(sol,xmesh);
63
64     iterazione
65 end
66 %%%
67
68 %plot
69 plot3(solution(7,:),solution(8,:),solution(9,:))
70 hold on
71 plot3(solution(7,):-solution(8,):-solution(9,:))
72 hold on
73 plot3(solution(7,):-solution(9,:),solution(8,:))
74 hold on
75 plot3(solution(7,:),solution(9,):-solution(8,:))
76 hold off
77 daspect([1 1 1])
78
79 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%funzioni
80
81 function yp=dydx(x,y,mu)
82 global iRrip;

```

```

83 global iEJx;
84 global iEJy;
85 global iGJ0;
86 global ikxGA;
87 global ikyGA;
88 global iEA;
89 %y(1-3)=n
90 %y(4-6)=m
91 %y(7-9)=r
92 %y(10-13)=q
93 %ikxGA ikyGA iEA iEJx iEJy iGJ0
94 %R0
95
96 yp=zeros(13,1);
97 y102=y(10)*y(10);
98 RotMat=2*[ y102+y(11)*y(11)-0.5      y(11)*y(12)-y(10)
            *y(13)  y(11)*y(13)+y(10)*y(12);
99             y(11)*y(12)+y(10)*y(13)  y102+y(12)*y(12)
            -0.5      y(12)*y(13)-y(10)*y(11);
100            y(11)*y(13)-y(10)*y(12)  y(12)*y(13)+y(10)
            *y(11)  y102+y(13)*y(13)-0.5];
101
102
103 np=cross([y(1);y(2);y(3)], [y(4)*iEJx;y(5)*iEJy+iRrip;y
            (6)*iGJ0]);
104 mp=cross([y(4);y(5);y(6)], [y(4)*iEJx;y(5)*iEJy+iRrip;y
            (6)*iGJ0])+cross([y(1);y(2);y(3)], [y(1)*ikxGA;y(2)*
            ikyGA;y(3)*iEA+1]);
105 rp=RotMat*[y(1)*ikxGA;y(2)*ikyGA;y(3)*iEA+1];
106 qp=0.5*[-y(11) -y(12) -y(13);y(10) -y(13) y(12);y(13)
            y(10) -y(11);-y(12) y(11) y(10)]*[y(4)*iEJx;y(5)*
            iEJy+iRrip;y(6)*iGJ0]+mu*[y(10);y(11);y(12);y(13)];
107
108 yp(1)=np(1);
109 yp(2)=np(2);
110 yp(3)=np(3);
111 yp(4)=mp(1);
112 yp(5)=mp(2);
113 yp(6)=mp(3);
114 yp(7)=rp(1);
115 yp(8)=rp(2);
116 yp(9)=rp(3);
117 yp(10)=qp(1);
118 yp(11)=qp(2);

```

```

119 yp(12)=qp(3);
120 yp(13)=qp(4);
121
122 end
123
124 function b cres=res (ya ,yb ,mu)
125 global R0;
126 global phi;
127 global D0;
128 global ds;
129 %y(1-3)=n
130 %y(4-6)=m
131 %y(7-9)=r
132 %y(10-13)=q
133 %D0, phi ,R0
134
135 b cres=[ya (7)-D0;ya (8)+ds*sin ( phi );ya (9)-ds*cos ( phi );ya
        (10)-cos ( phi /2);ya (11)-sin ( phi /2);ya (12);ya (13);yb
        (7)-2*R0;yb (8);yb (9)-ds;yb (10);yb (11);yb (12)-1;yb
        (13) ];
136
137 end
138
139 function y0=yzero (x)
140 global R0;
141 global ds;
142 global iRrip;
143 global iEJy;
144
145 y0=zeros (13,1);
146
147 y0(1)=0;
148 y0(2)=0;
149 y0(3)=0;
150 y0(4)=0;
151 y0(5)=(1/R0-iRrip)/iEJy;
152 y0(6)=0;
153 y0(7)=R0+R0*cos ( pi -x/R0);
154 y0(8)=0;
155 y0(9)=R0*sin ( pi -x/R0)+ds;
156 y0(10)=cos (0.5*x/R0);
157 y0(11)=0;
158 y0(12)=sin (0.5*x/R0);
159 y0(13)=0;

```



```
160 end
161
162 function yi=yinit(x)
163 global splinepoly;
164
165 yi=zeros(13,1);
166
167 for i=1:13
168     yi(i)=ppval(splinepoly(i),x);
169 end
170
171 mm=sqrt(yi(10)*yi(10)+yi(11)*yi(11)+yi(12)*yi(12)+yi
    (13)*yi(13));
172 yi(10)=yi(10)/mm;
173 yi(11)=yi(11)/mm;
174 yi(12)=yi(12)/mm;
175 yi(13)=yi(13)/mm;
176
177 end
```

Listing 9.3: Script per disegno dei loop ritorti

```
1
2 import rhinoscriptsyntax as rs
3
4 filter = "Text file (*.txt)|*.txt|All Files (*.*)
5         |*.*||"
6 filename = rs.OpenFileName("Open Point File", filter)
7 file = open(filename, "r")
8 contents = file.readlines()
9 file.close()
10
11 arrPoints = list()
12
13 for text in contents:
14     items = text.replace(" ", "").split("\t")
15     x = float(items[0])
16     y = float(items[1])
17     z = float(items[2])
18     arrPoints.append((x,y,z))
19
20 rs.AddInterpCurve(arrPoints)
21 rs.AddPoints(arrPoints)
```

Bibliografia

- [1] F Cardone, V Calbucci, and G Albertini. Deformed space-time of the piezonuclear emissions. *Modern Physics Letters B*, 28(2), 2014.
- [2] G Albertini, F Cardone, M Lammardo, A Petrucci, F Ridolfi, A Rosada, V Sala, and E Santoro. Atomic and isotopic changes induced by ultrasounds in iron. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 304(2):955–963, 2015.
- [3] Charles C. Kilgus. Shaped-Conical Radiation Pattern Performance of the Backfire Quadrifilar Helix. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(3):392–397, 1975.
- [4] Ian M Kilgore, Shabir A Kabiri, Andrew W Kane, and Michael B Steer. The Effect of Chaotic Vibrations on Antenna Characteristics. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15:1242–1244, 2016.
- [5] G S Karthikeya, Narayan Agnihotri, Syed Saad Siddiq, K S Mehul, and T Thyagaraj. A conformal UHF antenna for cargo helicopter belly. In *Antennas and Propagation (APCAP), 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on*, pages 285–286. IEEE, 2016.
- [6] David M Pozar. Microwave Engineering 3e. *Transmission Lines and Waveguides*, 2005.
- [7] Trevor S Bird. Definition and misuse of return loss [report of the transactions editor-in-chief]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51(2):166–167, 2009.
- [8] Fabio Cardone and Roberto Mignani. Observation of a dc voltage induced by a steady magnetic field: A possible electromagnetic breakdown of lorentz invariance? *Physics Essays*, 13:645, 2000.
- [9] Fabio Cardone, Roberto Mignani, and Renato Scrimaglio. New experimental results on the lower limits of local lorentz invariance. *Foundations of Physics*, 36(2):263, May 2006.

- [10] B. Donecker. Determining the measurement accuracy of the hp 8510 microwave network analyzer. In *23rd ARFTG Conference Digest*, volume 5, pages 51–84, June 1984.
- [11] T J HEALEY and P G MEHTA. STRAIGHTFORWARD COMPUTATION OF SPATIAL EQUILIBRIA OF GEOMETRICALLY EXACT COSSERAT RODS. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 15(03):949–965, 2005.
- [12] D Genovese. Tensile buckling in shear deformable rods. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 17(6), 2017.
- [13] Gianni Albertini, Vittorio Calbucci, Fabio Cardone, and Andrea Petrucci. Piezonuclear reactions and DST-reactions. pages 769–780, 2013.
- [14] F. Cardone, G. Albertini, D. Bassani, G. Cherubini, E. Guerriero, R. Mignani, M. Monti, A. Petrucci, F. Ridolfi, A. Rosada, F. Rosetto, V. Sala, E. Santoro, and G. Spera. Nuclear metamorphosis in mercury. *International Journal of Modern Physics B*, 29:1550239, 2015.
- [15] Fabio Cardone, Walter Perconti, and Andrea Petrucci. Lorentz Violation, Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropy and Critical Energy Density of the Universe. *Journal of Advanced Physics*, 7(1):81–87, 2018.
- [16] F Cardone, W Perconti, and A Petrucci. Deformed Space Time Asymmetric Emissions and Cosmic Microwave Background Radiation Preferred Directions. *Journal of Advanced Physics*, 6(2):303–307, 2017.
- [17] F Cardone, W Perconti, and C Laposta. Cosmic Microwave Background Radiation Preferred Directions and Asymmetry in Lorentz Violation. *Journal of Advanced Physics*, 4(2):155–159, 2015.

Elenco delle figure

2.1	Il filo d'acciaio armonico pre-piegato	12
2.2	Antenna 1 (altezza fissa) con Torsione 0°	13
2.3	Antenna 1 (altezza fissa) con Torsione 225°	13
3.1	HP 8510 VNA	17
3.2	I dati di $ S_{11} $ ed $ S_{22} $ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$	18
3.3	Come in figura 3.2 qui con anche $ S_{12} $	18
3.4	I dati di $ S_{11} $ ed $ S_{22} $ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0$	19
3.5	Come in figura 3.4 qui con anche $ S_{12} $	19
3.6	La zona dei fogli excel dedicata all'elaborazione di risultati di ciascun gruppo di misure	20
3.7	I risultati di un insieme di misure relative ad ogni torsione riportati come superficie in 3D	21
3.8	I dati di $ S_{11} $, $ S_{22} $, $ S_{12} $ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$ ed $\Omega=89^\circ$	21
3.9	I dati di $ S_{11} $, $ S_{22} $, $ S_{12} $ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) con $\alpha=0^\circ$ ed $\Omega=45^\circ$	22
4.1	La basetta	24
4.2	La basetta: La base inferiore: I collegamenti con i connettori N	24
4.3	La testa di contenimento e raccordo	25
4.4	Il montaggio delle parti inferiori	25
4.5	L'antenna 2	26
4.6	I dati di $ S_{11} $, $ S_{22} $, $ S_{12} $ (in dB) in funzione della frequenza (in MHz) per l'antenna 2	27
5.1	Plot ottenuti inizialmente per l'antenna a "Geometria Sferica": 180°	30
5.2	Plot conformazione ad Altezza Fissa	32
5.3	Plot conformazione a Geometria Sferica	32
5.4	"MATLAB Genovese" Antenna 2 AF	33
5.5	"MATLAB Genovese" Antenna 2 GS	34

5.6	Le sette configurazioni con riportate le relative proiezioni dei loop sui piani verticali, per l'antenna ad altezza fissa.	35
5.7	Le sette configurazioni con riportate le relative proiezioni dei loop sui piani verticali, per l'antenna a geometria sferica . . .	36
5.8	Le Basette disegnate con CAD	37
5.9	modello cavo coassiale $Z =$ impedenza caratteristica $D_e =$ diametro conduttore esterno $D_i =$ diametro conduttore interno $K =$ costante dielettrica dell'isolante	37
6.1	Antenna 1 (AF) 26-6-2017 9:20, $\Omega = 1^\circ$ N	41
6.2	Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $ S_{ii} $, resi positivi per una lettura più confortevole	42
6.3	Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione	42
6.4	Antenna 2 (AF) 16-11-2017 12h25, $\Omega = 0^\circ$ N	44
6.5	Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $ S_{ii} $ resi positivi per una lettura più confortevole	45
6.6	Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione.	45
6.7	HFSS simulazione Antenna AF	46
6.8	Antenna 2 GS 09-03-2018 12h00, $\Omega = 0^\circ$ N	48
6.9	Qui si rappresentano i valori dei coefficienti di riflessione $ S_{ii} $ resi positivi per una lettura più confortevole (Return Loss). . .	49
6.10	Le frequenze corrispondenti ai picchi di emissione al variare della torsione.	50
6.11	HFSS simulazione Antenna 2 GS	51
6.12	Antenna 2 AF Loop 1 17-11-2017 11h10, $\Omega = 2^\circ$ NE	54
6.13	HFSS simulazione loop singolo 1 AF	55
6.14	Antenna 2 AF Loop 2 17-11-2017 11h20, $\Omega = 2^\circ$ NE	56
6.15	HFSS simulazione loop singolo 2 AF	57
6.16	Il Return Loss loop 1 AF	58
6.17	La frequenza dei picchi loop 1 AF	58
6.18	Il Return Loss loop 2 AF	59
6.19	La frequenza dei picchi loop 2 AF	59
6.20	Antenna 2 GS loop singolo 1 04-09-2018 11h20, $\Omega = 1^\circ$ N . .	61
6.21	HFSS simulazione loop singolo 1 GS	62
6.22	Antenna 2 GS loop 2 04-09-2018 11h30, $\Omega = 1^\circ$ N	63
6.23	HFSS simulazione loop singolo 2 GS	64
6.24	Il Return Loss loop 1 GS	65
6.25	La frequenza dei picchi loop 1 GS	65
6.26	Il Return Loss loop 2 GS	66
6.27	La frequenza dei picchi loop 2 GS	66
7.1	Diagrammi radiazione sul piano equatoriale	69

7.2	Diagrammi radiazione sul piano meridiano contenente il loop 1	70
7.3	Diagrammi radiazione sul piano equatoriale	71
7.4	Diagrammi radiazione sul piano meridiano contenente il loop 1	72
7.5	Diagrammi di radiazione polari	74
8.1	Media delle misure Antenna 2 a,c,e (AF) ; b,d,f (GS)	76
8.2	Simulazione HFSS Antenna 2 a,c,e (AF) ; b,d,f (GS)	77
8.3	Confronto misure (AF) - simulazione a,c,e AF ; b,d,f (HFSS)	78
8.4	Confronto misure (GS) - simulazione GS a,c,e; b,d,f (HFSS) .	79
8.5	Confronto simul. loop singoli AF - GS a,c,e AF ; b,d,f GS) .	80
8.6	RL dei picchi: A1 AF reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	81
8.7	Frequenze dei picchi : A1 AF reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	81
8.8	RL dei picchi: A2 AF mediato e simulato al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	82
8.9	Frequenza dei picchi: A2 AF mediata e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	82
8.10	RL dei picchi: A2 AF mediato e simulato di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	83
8.11	Frequenza dei picchi: A2 AF mediata e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	83
8.12	RL dei picchi: A2 GS reale e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	84
8.13	Frequenza dei picchi: A2 GS mediata e simulata al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	84
8.14	RL dei picchi: A2 GS reale e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	85
8.15	Frequenza dei picchi: A2 GS mediata e simulata di loop singoli al variare della torsione per $\alpha \geq 135^\circ$	85
9.1	: Il grafico mostra in ordinate i volt indotti in un conduttore da un campo magnetico statico prodotto da una bobina. Sia il conduttore che la bobina sono fermi l'uno rispetto all'altro. Tale differenza di potenziale agli estremi del conduttore indica la violazione dell'invarianza locale di Lorentz. In ascisse è presente l'angolo di orientazione del conduttore rispetto alla bobina. [9]	91
9.2	In (a) lo schema elettrico che mostra la reciproca posizione della bobina e del conduttore; in (b) lo schema in cui si mostra l'orientazione dell'apparato sperimentale, del campo magne- tico della bobina e del campo magnetico terrestre, la bobina è nel piano xz.[9]	92

9.3	L'antenna AF nelle torsioni corrispondenti ai massimi scostamenti dalle simulazioni; la matita indica, dalla parte della gomma, la rotazione di 225° rispetto al semiasse z negativo. .	92
9.4	L'antenna AF nelle torsioni corrispondenti ai massimi scostamenti dalle simulazioni; il loop 1 è distinguibile per le piccole perline bianche, il goniometro virtuale riporta l'angolo di rotazione rispetto al semiasse z negativo.	93
9.5	Scheda tecnica acciaio armonico	96
9.6	Immagini SEM del filo di acciaio	97
9.7	Analisi SEM del filo di acciaio	97

Indice

1	Obiettivi	9
2	Le prime misure	
	Antenna 1 AF (ad altezza fissa)	11
2.1	Dettagli costruttivi	12
3	Standardizzazione delle misure:	
	Materiali e Metodi	15
3.1	Definizioni delle grandezze misurate	15
3.2	Apparato di misura	17
3.3	Trattamento dei dati e primi risultati	17
4	La seconda antenna	
	Antenna 2 GS	
	(ad altezza variabile)	23
4.1	Dettagli costruttivi	23
4.2	Prova di collaudo	27
5	Modellizzazione teorica	29
5.1	Approccio trigonometrico	29
5.2	Approccio basato sul calcolo degli equilibri spaziali	30
5.3	Implementazione dei modelli nel programma di simulazione	37
6	Risultati sperimentali e relative simulazioni	39
6.1	Risultati Antenne Altezza Fissa	41
6.1.1	Risultati Antenna 1 AF	41
6.1.2	Risultati Antenna 2 AF	44
6.1.3	Simulazione Antenna 2 AF	46
6.2	Risultati Antenna Geometria Sferica	48
6.2.1	Risultati Antenna 2 GS	48
6.2.2	Simulazione Antenna 2 GS	51
6.3	Misure e Simul. loop collegati separatamente Antenna 2 AF .	53
6.3.1	Misure Loop 1 Antenna 2 AF	54

6.3.2	Simulazione Loop 1 Antenna 2 AF	55
6.3.3	Misure Loop 2 Antenna 2 AF	56
6.3.4	Simulazione Loop 2 Antenna 2 AF	57
6.4	Misure e Simul. Loop collegati separatamente Antenna 2 GS	60
6.4.1	Misure Loop 1 Antenna 2 GS	61
6.4.2	Simulazione Loop 1 Antenna 2 GS	62
6.4.3	Misure Loop 2 Antenna 2 GS	63
6.4.4	Simulazione Loop 2 Antenna 2 GS	64
7	Antenna 1 AF	
	Misura in trasmissione	67
7.1	Diagrammi radiazione sul piano XY	69
7.2	Diagrammi radiazione sul piano YZ	70
7.3	Diagrammi radiazione sul piano XY (simulazioni)	71
7.4	Diagrammi radiazione sul piano YZ (simulazioni).	72
7.5	Diagrammi radiazione in 3D (simulazioni)	74
8	Elaborazione e discussione	75
8.1	Diagrammi di confronto	75
8.1.1	Confronto tra misure AF e GS	76
8.1.2	Confronto tra simulazioni AF e GS	77
8.1.3	Confronto tra misure AF e simulazioni AF	78
8.1.4	Confronto tra misure GS e simulazioni GS	79
8.1.5	confronto tra simulazioni loop singoli	80
8.2	Analisi finale dei risultati	81
9	Conclusioni	87