



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

***Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica***

***Caratterizzazione della propagazione radiomobile in ambienti a
cammino multiplo in presenza di masse d'acqua***

***Characterization of radio propagation in multiple walking environments
in the presence of water masses***

Relatore:

Chiar.mo Prof. Franco Moglie

Laureando:

Michele Anthony Crognale

Correlatore:

Chiar.mo Prof. Valter Mariani Primiani

ANNO ACCADEMICO 2022 - 2023

Indice

INTRODUZIONE:	3
ABSTRACT:	4
Capitolo 1	5
1.1 Richiami di elettromagnetismo: equazioni di Maxwell	5
1.2 Richiami di elettromagnetismo: onde elettromagnetiche	6
1.3 Richiami di elettromagnetismo: onde piane.....	7
1.4 Richiami di elettromagnetismo:	8
costante dielettrica, conducibilità, spessore di penetrazione	8
Capitolo 2:	11
2.1 Camera Riverberante: generalità.....	11
2.2 Camera Riverberante: Modi	12
2.3 Camera Riverberante: Stirring	12
2.4 Determinazione ACS in camera riverberante	14
Capitolo 3:	16
3.1 Misure in camera riverberante: misure iniziali	16
3.2 Misure camera riverberante: Acqua	23
3.3 Misure camera riverberante: Acqua e sale	27
Capitolo 4:	33
4.1 Conclusioni.....	33
4.2 Bibliografia:.....	34
Ringraziamenti:	35

INTRODUZIONE:

Lo studio della seguente tesi verterà sulla determinazione del valore dell'ACS dell'acqua variando le concentrazioni di NaCl disciolto in essa.

Questa analisi è dovuta a causa dell'emergenza dell'alluvione che ha colpito l'Emilia – Romagna nel periodo di Maggio e Giugno 2023, con l'interesse di capire perché molti segnali elettromagnetici nella banda delle onde radio (in particolare nelle bande in cui le nostre linee telefoniche lavorano, ovvero principalmente 3G e 4G) siano stati attenuati a causa dei materiali disciolti e presenti nelle acque. I risultati sono stati infine confrontati con quelli ottenuti da Telecom.

Le onde elettromagnetiche sono fenomeni naturali che permeano il nostro ambiente quotidiano, sia provenienti da fonti naturali che da attività umane. Nel contesto del corpo umano, è interessante esplorare come queste onde possano influenzare il nostro organismo e come poter risolvere problemi correlati a situazioni d'emergenza, come gli alluvioni.

Nel primo capitolo ci sarà un richiamo dei concetti elettromagnetici fondamentali per comprendere a pieno le misure, in particolare ci concentreremo nel richiamare i concetti di onde elettromagnetiche, onde piane, costante dielettrica.

Nel secondo capitolo verrà spiegata cos'è e a cosa serve una camera riverberante, sede delle nostre misure, illustreremo il concetto di ACS, come determinare questo parametro nella camera riverberante, le formule che sono utilizzate e i grafici correlati.

Nel terzo capitolo si spiegherà in dettaglio le misure che sono state effettuate nella camera riverberante, illustrando il setup utilizzato, gli strumenti utilizzati. Si illustreranno inoltre i grafici commentandoli. Infine nel quarto capitolo si provvederà ad evidenziare i risultati ottenuti dalle misure, per poi discuterne e commentarli.

ABSTRACT:

The study of the following thesis will focus on determining the Specific Absorption Rate (SAR) value of water by varying the concentrations of dissolved NaCl in it.

This analysis is prompted by the flood emergency that affected the Emilia-Romagna region in May and June 2023. The aim is to understand why many electromagnetic signals in the radio wave band (especially in the bands where our telephone lines operate, primarily 3G and 4G) were attenuated due to the dissolved materials present in the water. The results were ultimately compared with those obtained by Telecom.

Electromagnetic waves are natural phenomena that permeate our daily environment, originating from both natural sources and human activities. In the context of the human body, it is interesting to explore how these waves can influence our organism and how to solve problems related to emergency situations, such as floods.

In the first chapter, there will be a review of fundamental electromagnetic concepts to fully understand the measurements. We will particularly focus on recalling the concepts of electromagnetic waves, plane waves, and dielectric constant.

In the second chapter, we will explain what a reverberation chamber is and what its purpose is. We will illustrate the concept of SAR, how to determine this parameter in the reverberation chamber, the formulas used, and related graphs.

The third chapter will detail the measurements conducted in the reverberation chamber, illustrating the setup and tools used. Graphs will also be presented and commented upon.

Finally, in the fourth chapter, the obtained measurement results will be highlighted, followed by discussion and commentary.

Capitolo 1

1.1 Richiami di elettromagnetismo: equazioni di Maxwell

L'elettromagnetismo è quel ramo della fisica che studia le relazioni tra fenomeni magnetici ed elettrici. Fu il matematico James Clerk Maxwell a sviluppare per primo la moderna teoria dell'elettromagnetismo, basata sul concetto di campo elettromagnetico. Le equazioni di Maxwell sono un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali lineari accoppiate che, insieme alla forza di Lorentz, costituiscono le leggi fondamentali che governano l'interazione elettromagnetica.

Le quattro equazioni mostrano come i campi elettrici dinamici, cioè variabili nel tempo, sono in grado di generare campi magnetici e viceversa, unificando così, a livello teorico e in maniera perfettamente simmetrica, l'elettricità con il magnetismo, già espressa sperimentalmente nella legge Faraday-Neumann Lenz. Le leggi espresse in forma differenziale sono:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\partial \mathbf{B} / \partial t\end{aligned}$$

Dove:

D è il vettore induzione elettrica;

B è il vettore induzione magnetica;

E è il vettore campo elettrico;

H è il vettore campo magnetico;

J è la densità di corrente elettrica;

ρ è la densità di carica elettrica.

Mediante queste equazioni vengono espresse le seguenti proprietà:

- Dovunque si ha una carica elettrica si origina un campo elettrico tale che in ogni volume la carica viene compensata da questo spostamento;
- Il flusso magnetico che attraversa verso l'esterno una superficie chiusa è uguale a quello che l'attraversa verso l'interno;
- Una corrente elettrica è circondata da un campo magnetico;
- Una corrente di induzione magnetica è circondata da un campo elettrico nel senso opposto.

Maxwell dimostra teoricamente che, come un campo magnetico variabile genera un campo elettrico, così un campo elettrico variabile genera un campo magnetico. Un campo magnetico variabile genera un campo elettrico a sua volta variabile, che genera un campo magnetico variabile e così via. Il risultato è un'onda elettromagnetica.

1.2 Richiami di elettromagnetismo: onde elettromagnetiche

Un fenomeno fisico noto come onda elettromagnetica si manifesta quando i campi elettrico e magnetico variano in intensità nel corso del tempo e si spostano nello spazio, trasferendo energia da un punto all'altro. Questo fenomeno è una presenza costante nella vita umana, poiché la luce, il calore (in forma di radiazione infrarossa) e la radiazione ultravioletta sono tutte onde elettromagnetiche.

Sebbene sia la luce, visibile a noi, che le onde radio, invisibili ma rilevabili tramite un'antenna e un'apparecchiatura radio, siano entrambe onde elettromagnetiche, ci si potrebbe chiedere: perché sono così diverse? La distinzione tra di esse risiede unicamente in una variabile, ovvero il numero di oscillazioni al secondo dei campi elettrico e magnetico dell'onda, noto come frequenza, misurata in Hertz (Hz).

A seconda della frequenza, l'onda elettromagnetica si propaga e interagisce con la materia in modi diversi, trasmettendo energia in modo unico.

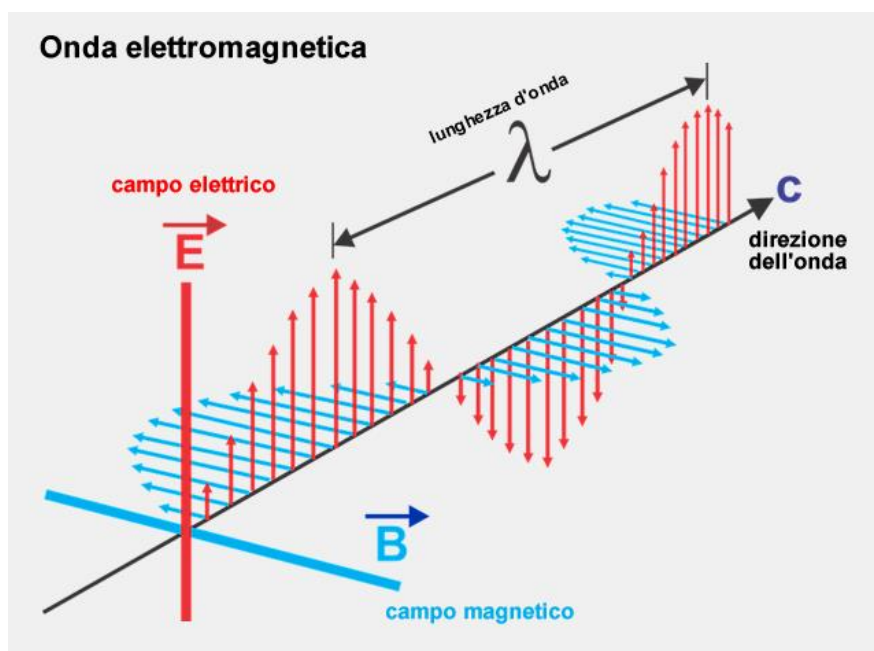


Figura 1: Schema onda elettromagnetica

1.3 Richiami di elettromagnetismo: onde piane

La forma piana rappresenta una soluzione particolare delle equazioni di Maxwell e offre un'ottima approssimazione alle vere onde elettromagnetiche. Nelle applicazioni pratiche, le onde piane uniformi presentano caratteristiche particolarmente semplici, rendendo il loro studio essenziale sia dal punto di vista teorico che pratico. Inoltre, è possibile considerare onde più complesse come il risultato della sovrapposizione di onde piane.

L'onda elettromagnetica piana uniforme si distingue per il suo campo E disposto su un piano perpendicolare alla direzione di propagazione. Con il sistema di riferimento illustrato, su ogni piano (ovvero per ogni valore di z), il campo E mantiene la stessa:

- Direzione
- Ampiezza
- Fase

Il raggio d'onda è parallelo alla direzione di propagazione dell'onda.

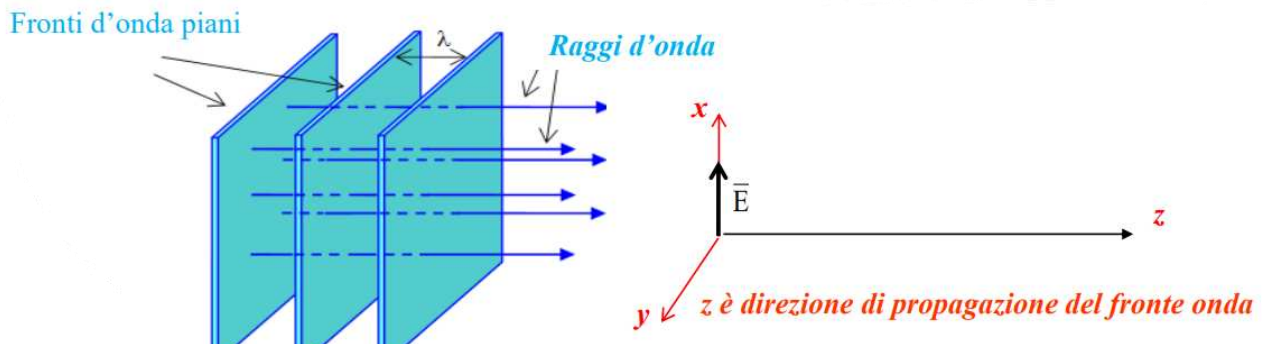


Figura 2: Propagazione onda piana

Il campo elettrico \mathbf{E} in posizione \mathbf{r} , all'interno di una regione dello spazio, priva di sorgenti, può essere rappresentato come:

$$\iint_{4\pi} \mathbf{F}(\Omega) e^{j\mathbf{k}\mathbf{r}} d\Omega$$

Le onde possono provenire da qualsiasi direzione individuata dagli angoli α, β reali, e possono avere ampiezze, polarizzazione e fasi diverse; per questo motivo il vettore spettro angolare dipende dall'angolo solido.

Inoltre si può ottenere il valor medio del campo \mathbf{E} :

$$\langle \mathbf{E}(\mathbf{r}) \rangle = \iint_{4\pi} \langle \mathbf{F}(\Omega) e^{j\mathbf{k}\mathbf{r}} \rangle d\Omega = 0$$

1.4 Richiami di elettromagnetismo: costante dielettrica, conducibilità, spessore di penetrazione

La permittività elettrica, comunemente indicata con il simbolo ϵ (epsilon), rappresenta una caratteristica fisica dei materiali che indica la loro capacità di polarizzarsi in risposta a un campo elettrico applicato. In altre parole, essa quantifica la capacità di un materiale di isolare o schermare gli effetti di un campo elettrico esterno.

I materiali dielettrici, essendo isolanti, non conducono facilmente l'elettricità. Quando un campo elettrico esterno agisce su un dielettrico, gli atomi o le molecole del materiale si polarizzano, separandosi parzialmente in cariche positive e negative. La permittività elettrica rappresenta quindi una misura della suscettibilità di polarizzazione del materiale.

Nel contesto delle equazioni che descrivono il comportamento elettrico dei materiali in un campo elettrico, la permittività elettrica è un parametro significativo. La sua variazione può essere considerevole tra materiali diversi, ad esempio, l'aria ha una permittività elettrica di circa 1, mentre materiali come il vetro o i polimeri possono presentare valori molto più elevati.

La permittività elettrica si altera in base all'orientamento del campo elettrico rispetto al campione analizzato ed è rappresentata attraverso un tensore, una descrizione locale dipendente dalle coordinate del punto e indipendente dal sistema di riferimento scelto. Tuttavia, in condizioni particolari, come nel caso di un materiale lineare, omogeneo e isotropo, tutte le componenti del tensore hanno lo stesso valore, consentendo di trattare la permittività come una grandezza scalare, nota come costante dielettrica. In tale situazione, è possibile definire una relazione preliminare che descrive questa proprietà.

$$\mathbf{D} = \mathbf{E}\epsilon$$

Dove il vettore \mathbf{D} rappresenta l'induzione elettrica, il vettore \mathbf{E} il campo elettrico esterno mentre il simbolo ϵ la permittività elettrica, o in questo caso la costante dielettrica.

La permittività elettrica relativa è quindi formata da un parte reale ed una immaginaria secondo la seguente formula:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_c$$

Il coefficiente di dissipazione tiene conto degli impatti sia delle perdite dielettriche che della conduttività di un materiale. Questo si evidenzia mediante la suddivisione della componente in due termini aggiuntivi, con ϵ_r' che indica le perdite dielettriche e σ_s che rappresenta la conduttività statica del materiale (sarà oggetto di ulteriori approfondimenti).

Conducibilità:

La conduttività elettrica, o conducibilità elettrica è la conduttanza elettrica specifica di un conduttore.

Definita da Stephen Gray nel 1731, il suo strumento di misura è il conducimetro. L'unità di misura del sistema internazionale è siemens su metro (S/m).

$$\sigma = \frac{I\ell}{S\Delta V}$$

Dove:

I = corrente nel tratto

ℓ = lunghezza del tratto

S = area sezione trasversale del tratto

ΔV = d.d.p. ai capi

La conduttività complessiva di un materiale considera non solo il suo contributo 'statico' e intrinseco, come precedentemente discusso, ma tiene anche conto di un ulteriore apporto. Quest'ultimo è associato all'effetto generato da un campo elettrico alternato sul materiale in questione, indicato come σ_a e dipendente dalla frequenza del campo elettrico.

La conducibilità equivalente vale quindi:

$$\sigma_e = \sigma_s + \omega\epsilon''_{rd} = \sigma_s + \sigma_a$$

La permittività relativa può essere perciò definita in termini di conducibilità equivalente:

$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\left(\epsilon''_{rd} + \frac{\sigma_s}{\omega}\right)$$

Nonostante ciò, un materiale dielettrico di qualità presenta una bassa conducibilità statica, che può essere considerata trascurabile durante la misurazione delle perdite dielettriche. La situazione cambia invece quando si tratta della conducibilità causata dall'applicazione di campi alternati. In questo contesto, numerosi materiali, come vetro e plastica, manifestano un elevato valore di questo parametro, dissipando così una considerevole quantità di energia.

Nel nostro caso l'acqua che verrà usata ha una conducibilità a 20°C pari a 533 $\mu S/cm$.

Spessore di penetrazione:

Lo spessore di penetrazione è la profondità entro la quale scorre la maggior parte della corrente in un conduttore elettrico quando è attraversato da una corrente alternata. Dipende dal materiale, dalla frequenza e dalla permeabilità magnetica del conduttore.

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}}$$

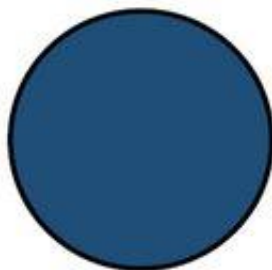
Dove:

ρ = densità del mezzo

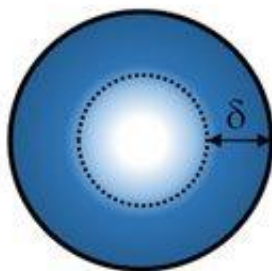
f = frequenza

μ = permeabilità magnetica assoluta del materiale conduttore

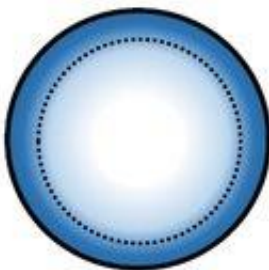
σ = conducibilità



(a) Cross-sectional area available for conducting DC current in a cylindrical conductor



(b) Cross-sectional area available for conducting low-frequency AC current in a cylindrical conductor



(c) Cross-sectional area available for conducting high-frequency AC current in a cylindrical conductor

Figura 4: Spessore di penetrazione di conduttori a varie frequenze

Capitolo 2:

2.1 Camera Riverberante: generalità

Una camera riverberante è una stanza in cui le onde sonore o elettromagnetiche vengono riflesse dalle pareti e si distribuiscono uniformemente nello spazio. Questo crea un campo diffuso che permette di misurare le proprietà acustiche o elettromagnetiche di materiali, sorgenti o componenti.

La si può descrivere come una cavità rettangolare risonante a cui viene combinata una tecnica di stirring. Lo stirring serve a cambiare la frequenza di risonanza della camera e far sì che i campi all'interno della camera possano essere descritti come isotropici e non coerenti.

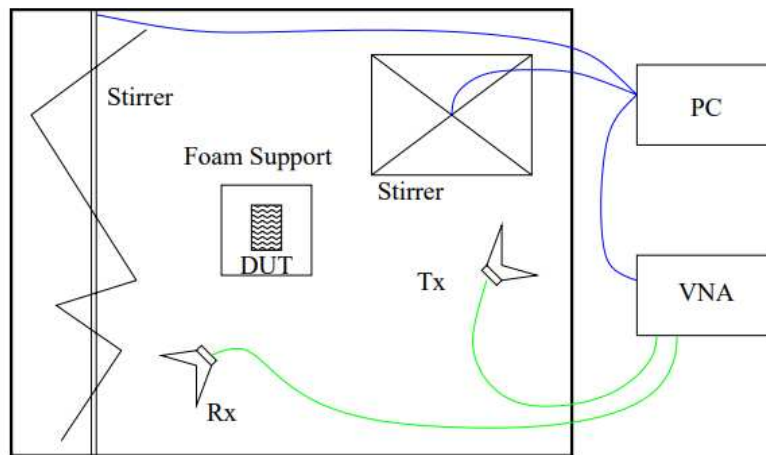


Figura 4: Setup camera riverberante



Figura 5: Antenne e interno camera riverberante

2.2 Camera Riverberante: Modi

Le caratteristiche di un'ambiente riverberante sono influenzate dalle condizioni circostanti. Per analizzare in modo deterministico il campo all'interno di tale ambiente, è possibile fare riferimento alla teoria dei modi. Quando si esamina una cavità rettangolare, completamente vuota, ideale e priva di perdite, con dimensioni lunghezza a , larghezza b e altezza c , utilizzando l'equazione dell'onda trasversale si giunge alla quantizzazione del numero d'onda:

$$K_{lmn} = \sqrt{\left(\frac{l\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{c}\right)^2}$$

I modi sono poi ricavati tramite la relazione:

$$f_{lmn} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{l}{a}\right)^2 + \left(\frac{m}{b}\right)^2 + \left(\frac{n}{c}\right)^2}$$

L'obiettivo è quello di eccitare più modi possibili, creando un campo all'interno della camera che tende ad essere caotico.

Il modo fondamentale in camera è il modo TE_{101} che ha frequenza di taglio f_0 .

Un altro parametro importante è la densità modale: $D_s(f) = \frac{dN_s(f)}{df}$

che determina il numero di modi presenti in una banda su una determinata frequenza (salendo di frequenza si avrà un aumento del numero di modi e della loro densità).

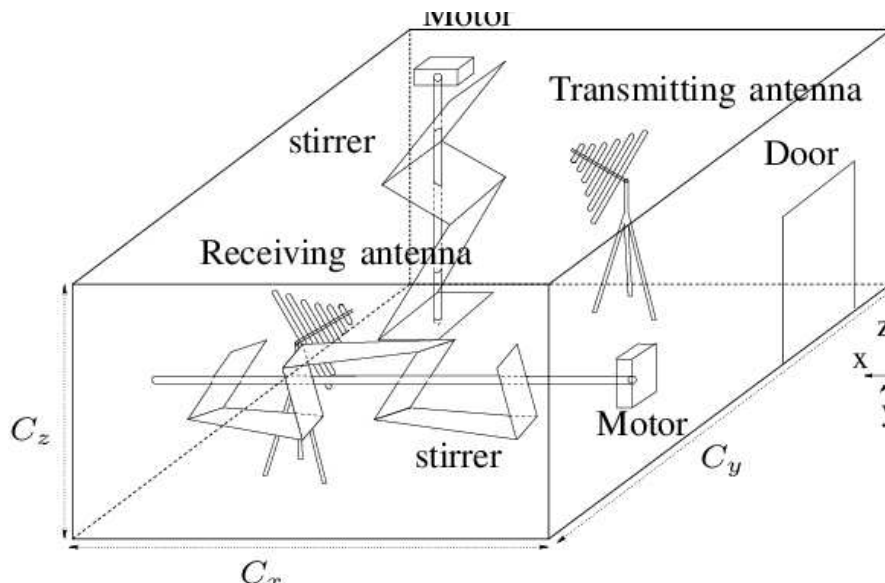


Figura 6: Interno camera riverberante

2.3 Camera Riverberante: Stirring

Attraverso l'impiego di questa metodica, è fattibile omogeneizzare il campo all'interno della camera. I due approcci di mescolamento presi in considerazione sono lo stirring meccanico e quello di sorgente. Il primo si avvale della mescolanza meccanica tramite uno stirrer per alterare le condizioni al contorno della camera. Il secondo implica lo spostamento della sorgente di eccitazione in vari punti della camera.

Il fondamento del processo di agitazione meccanica è rappresentato dallo stirrer, una pala asimmetrica rivestita di materiale metallico che viene fatta ruotare all'interno della camera. Ogni movimento della pala induce variazioni nelle condizioni al contorno della camera e, di conseguenza, nei campi. Poiché ogni spostamento della pala comporta un cambiamento, è necessario effettuare diverse misurazioni per coprire tutte le condizioni corrispondenti ai vari angoli di rotazione. È inoltre essenziale eseguire almeno 100 misurazioni. Nel caso in cui se ne effettuino meno, è richiesto di applicare un derating calcolato mediante la formula $\log(100/N)$, dove N rappresenta il numero di misure.

Le misurazioni possono essere effettuate in due modi differenti. Nel primo metodo, si utilizza una tecnica di "sample and hold": lo stirrer ruota in modo continuo mentre lo strumento campiona il segnale a intervalli prestabiliti. Nel secondo approccio, lo stirrer viene ruotato di un certo numero di gradi prima di effettuare la misurazione. Per entrambi i metodi, è comunque indispensabile che il tempo tra una misurazione e l'altra sia sufficientemente lungo per consentire al campo di stabilizzarsi in risposta alle variazioni del campo elettromagnetico.



Figura 7: Stirrer

2.4 Determinazione ACS in camera riverberante

All'interno di una camera riverberante, una singola misurazione istantanea risulta priva di significato, e tutte le grandezze elettromagnetiche devono essere aggregate mediante il processo di rotazione dello stirrer. Di conseguenza, si definisce il valore medio dell'ACS come:

$$ACS = \frac{\langle P_s \rangle}{S_i}$$

Nel contesto dell'analisi di un campione, la potenza dissipata (P_s) è determinata, e S_i è definito come: $S_i = \frac{\langle |E_T|^2 \rangle}{\eta_0}$ dove $\langle \cdot \rangle$ rappresenta una media sull'orientamento dello stirrer e sulla frequenza di agitazione e η_0 denota l'impedenza dell'onda spaziale libera. Questa definizione assume l'uniformità statistica della magnitudo totale del campo $|E_T|$, con una distribuzione asintotica χ^2_6 (distribuzione chi con 6 gradi di libertà).

Le caratteristiche spettrali di una cavità soggetta a perturbazioni energetiche, come un'inclusione dielettrica a bassa perdita, sono rilevanti, poiché si verificano a causa della marcata sovrapposizione modale tipica del regime ormai superato. Le perdite totali in un circuito RLC (resistenza-induttanza-capacità) derivano da vari meccanismi, tra cui perdite nelle pareti, perdite dell'antenna e perdite nel campione di materiale. Il fattore di merito Q_u , misurato senza il campione di materiale, e $Q_{i,,}$, misurato con il campione all'interno della camera, riflettono i contributi di Q_s , dovuti esclusivamente alla dissipazione del campione:

$$Q_s^{-1} = Q_l^{-1} - Q_u^{-1}$$

Ovvero:

$$Q_s = \frac{\omega W}{\langle P_s \rangle} = \frac{\omega S_i V}{c \langle P_s \rangle}$$

dove ω è la frequenza angolare di eccitazione, W l'energia immagazzinata nella camera, V il volume della camera e c la velocità della luce nel vuoto.

Quindi la formula dell'ACS diventa:

$$ACS = \frac{\omega V}{c Q_s} = \frac{2\pi V}{\lambda Q_s}$$

La stima indiretta del coefficiente di attenuazione sonora (ACS) avviene mediante le misurazioni della perdita di inserzione, sia con che senza l'impiego del campione di materiale, come specificato nella seguente definizione:

$$Q = \frac{16\pi^2 V \langle P_r \rangle}{\lambda^3 \eta_{Tx} \eta_{Rx} \langle P_t \rangle} = \frac{16\pi^2 V \langle |S_{21}|^2 \rangle}{\lambda^3 \eta_{Tx} \eta_{Rx}}$$

dove P_r è la potenza catturata dall'antenna ricevente Rx con totale efficienza η_{Tx} , P_t la potenza iniettata dall'antenna trasmittente Tx con efficienza totale η_{Tx} e S_{21} il parametro di diffusione della trasmissione tra la porta 1, collegata a Tx, e la porta 2, collegata a Rx, di un analizzatore di reti vettoriali (VNA).

Nel nostro caso le dimensioni, i parametri e le caratteristiche della camera riverberante sono le seguenti:

Le dimensioni della camera sono state stabilite a 6.00 m × 4.00 m × 2.50 m al fine di ottenere una frequenza di risonanza del modo fondamentale pari a $f_0 = 45,04$ MHz. Ciò consente di ottenere una frequenza utilizzabile inferiore (LUF) di circa 270 MHz, ottenuta moltiplicando per sei la frequenza fondamentale ($6f_0$).

La camera è dotata sia di stirrer orizzontali che verticali. Lo stirrer verticale è costituito da una pagaia piegata a Z con dimensioni di 2.4 m in altezza e 1.2 m in larghezza. Per quanto riguarda lo stirrer orizzontale, esso è composto da quattro pannelli metallici collegati mediante fogli di alluminio, conferendogli un volume di rotazione simile a quello della sua controparte verticale.

Entrambi gli stirrer possono essere regolati in modo graduale in modo indipendente grazie a motori dedicati, garantendo una risoluzione di 1 grado. Le antenne trasmissive e riceventi sono di tipo double ridge, con modelli specifici come l'EMCO 3115 e l'AH Systems SAS-571. Al fine di evitare eventuali effetti di illuminazione diretta, che potrebbero causare degrado statistico della potenza ricevuta, le antenne sono polarizzate in modo incrociato e orientate verso angoli opposti all'interno della camera.

Capitolo 3:

3.1 Misure in camera riverberante: misure iniziali

Le misure sono state effettuate secondo le norme sulla sicurezza. Il primo passo è stato calibrare la camera, lasciando la radiobase. Successivamente abbiamo posizionato lo stirrer nella posizione iniziale, per poi iniziare le misure usando 72 posizioni nella banda di frequenze da 800 MHz a 8 GHz. Ogni ciclo di misura aveva una durata di circa 5 ore. Le antenne utilizzate sono 2 Log-periodiche e 2 Double Ridge.



Figura 8: RC vuota con radiobase e antenne Log-periodiche e Double Ridge

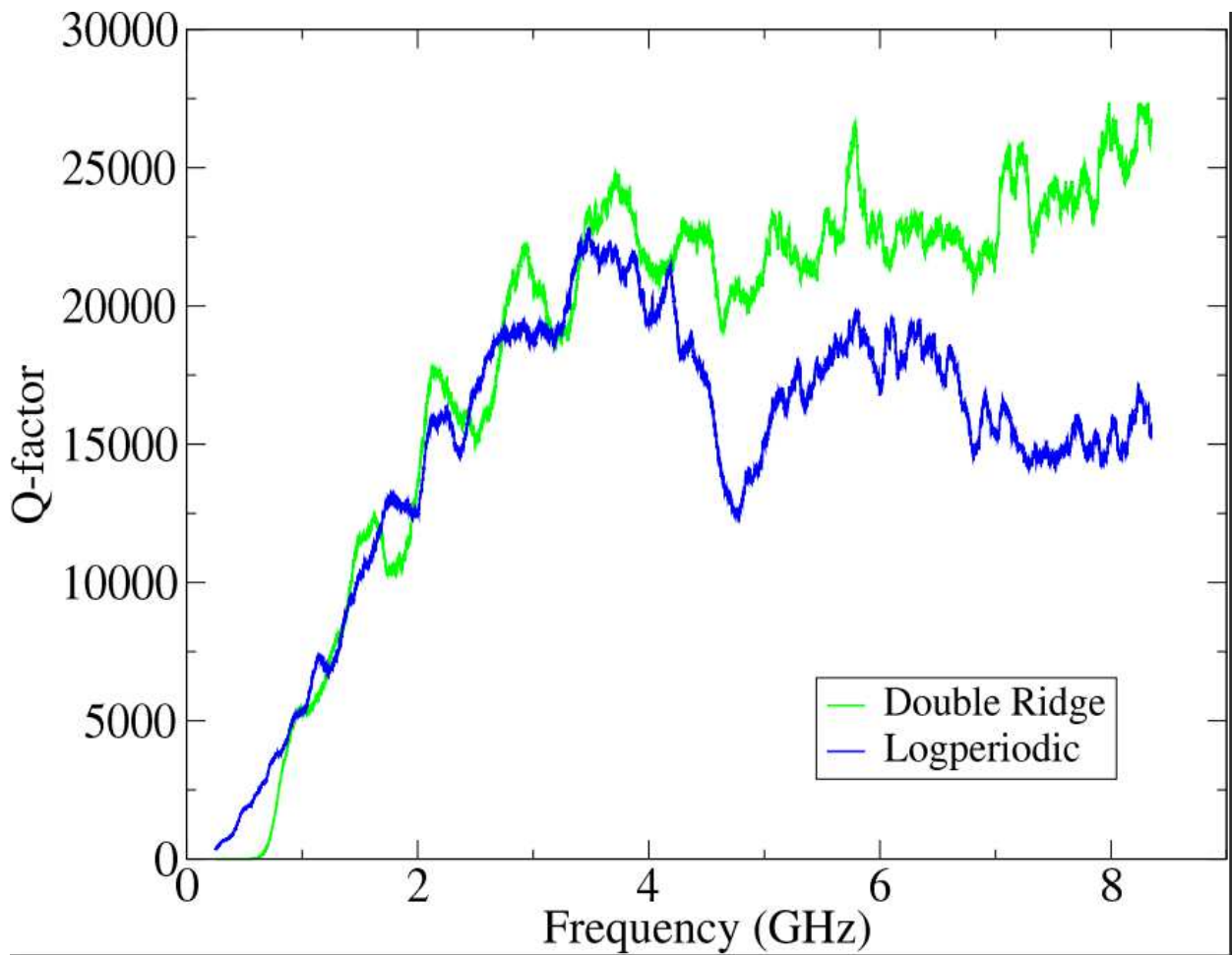


Figura 9: Q-factor delle antenne Log-periodiche e Double Ridge

Nella figura 9 si può notare che in prossimità della frequenza 4.7 GHz le antenne Log-periodiche hanno una tendenza alla risonanza maggiore rispetto alle Double Ridge.

Questo comportamento influenza la misura, che, da quella frequenza in poi, ha un andamento non simil-lineare, a differenza del comportamento simil-lineare delle Double Ridge.

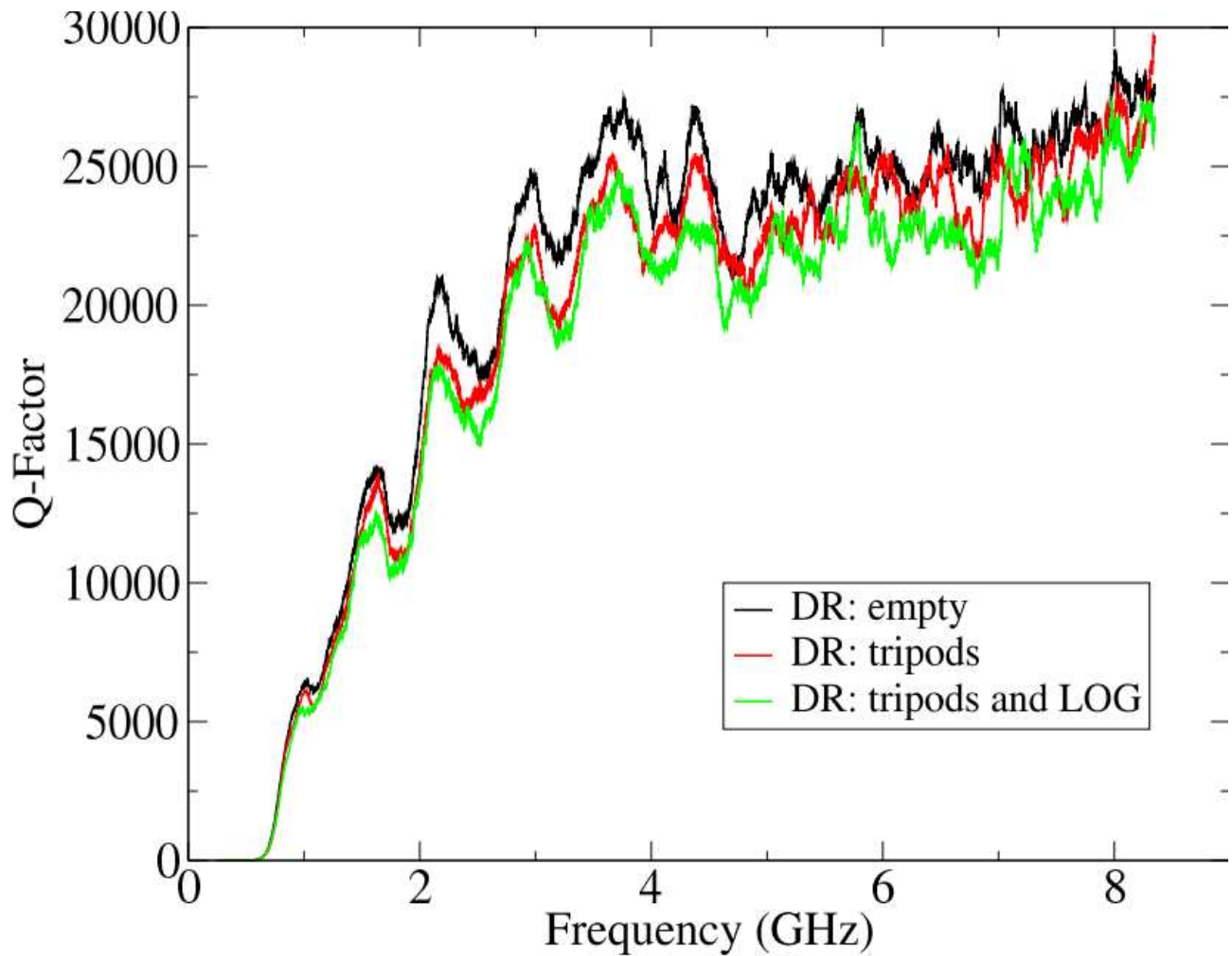


Figura 10: Q-factor delle antenne Double Ridge senza treppiedi (appoggiate), con treppiedi e insieme alle Log-periodiche (non collegate)

A causa del comportamento risonante sopra accennato abbiamo provato ad analizzare il Q-factor delle Double Ridge in diverse situazioni, come si vede nella figura 10:

- Senza treppiedi (appoggiate) e camera vuota
- Con treppiedi: pensavamo che i treppiedi potessero contribuire alla risonanza
- Insieme alle Log-periodiche (non collegate)

Abbiamo dedotto che nonostante ci fossero delle lievi differenze i risultati fossero abbastanza sovrapponibili; quindi, abbiamo lasciato le DR e le misure future saranno effettuate solo da loro.

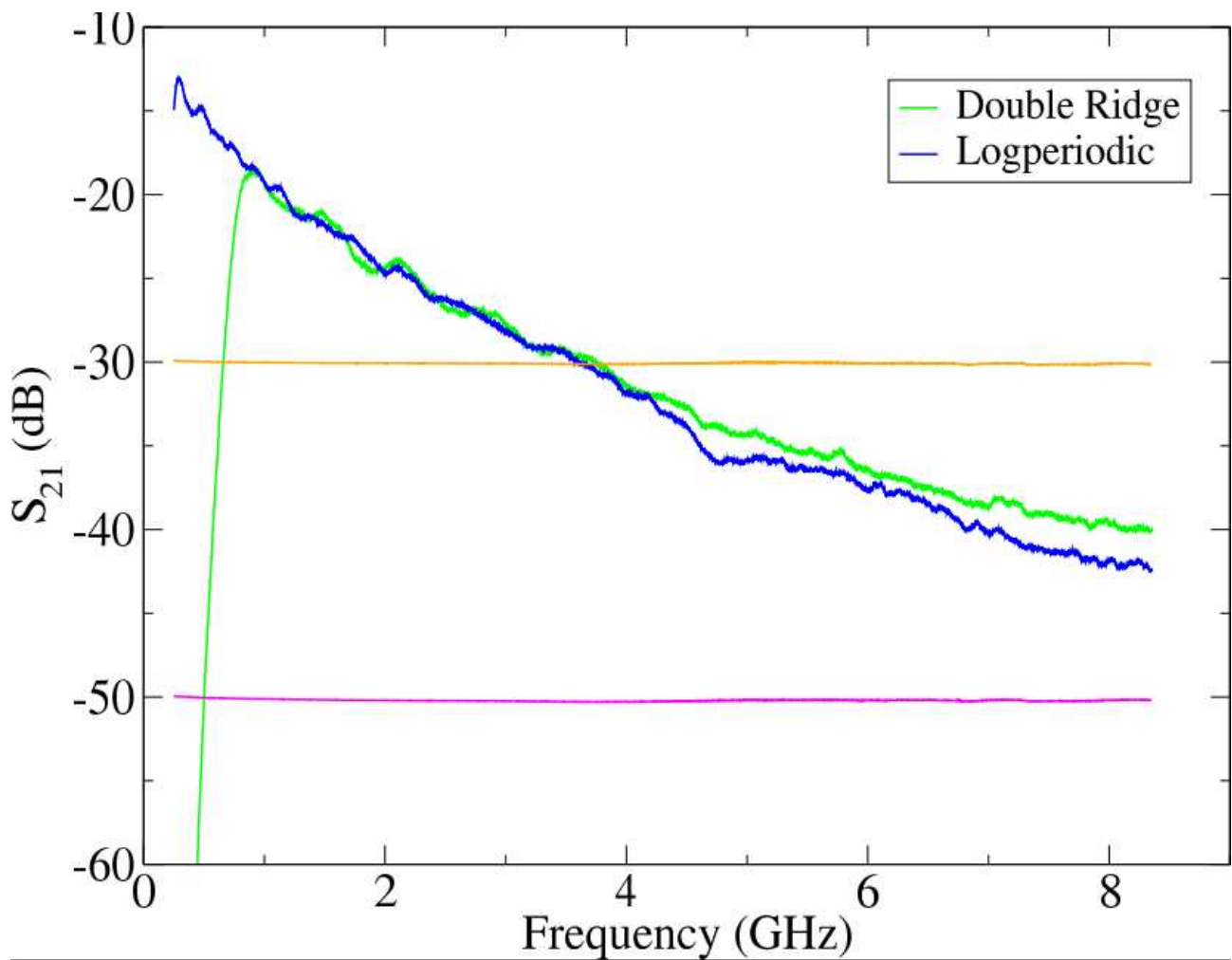


Figura 11: S_{21} delle antenne Double Ridge e delle Log-periodiche

Nella figura 11 si evince che le Log-periodiche hanno una frequenza di lavoro iniziale minore rispetto alle Double Ridge, consentendo una sensibilità maggiore nel range di frequenze più basse (< 1 GHz).

Entrambe le antenne hanno un andamento del S_{21} sovrapponibile nel range di frequenze di nostro interesse.

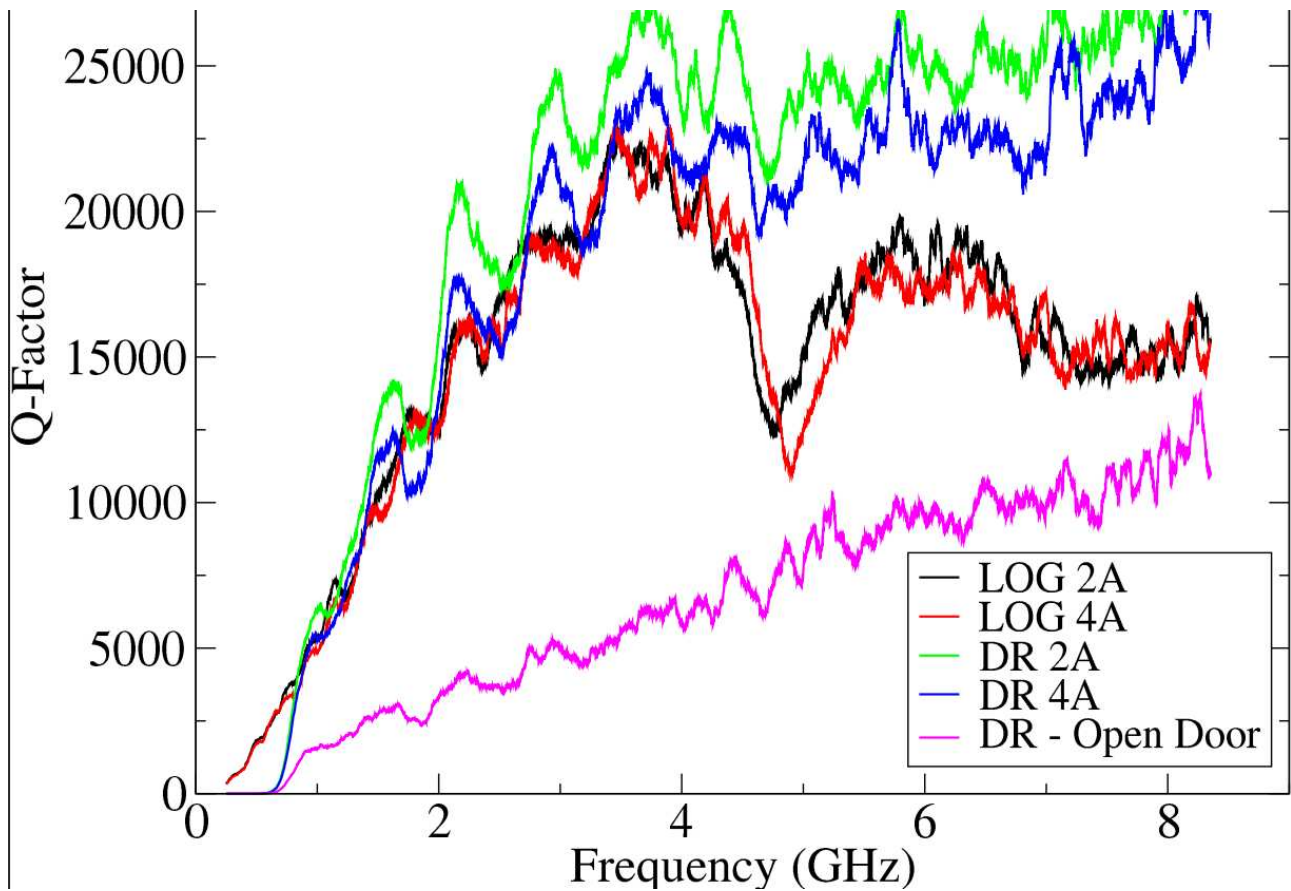


Figura 12

Ulteriori misure del Q-factor in varie condizioni (figura 12):

- le log periodiche senza le double ridge dentro (LOG 2A)
- le log periodiche con le double ridge dentro (LOG 4A)
- le double ridge senza le log periodiche dentro (DR 2A)
- le double ridge con le log periodiche dentro (DR 4A)
- le double ridge senza le log periodiche dentro e la porta aperta (DR - Open Door)

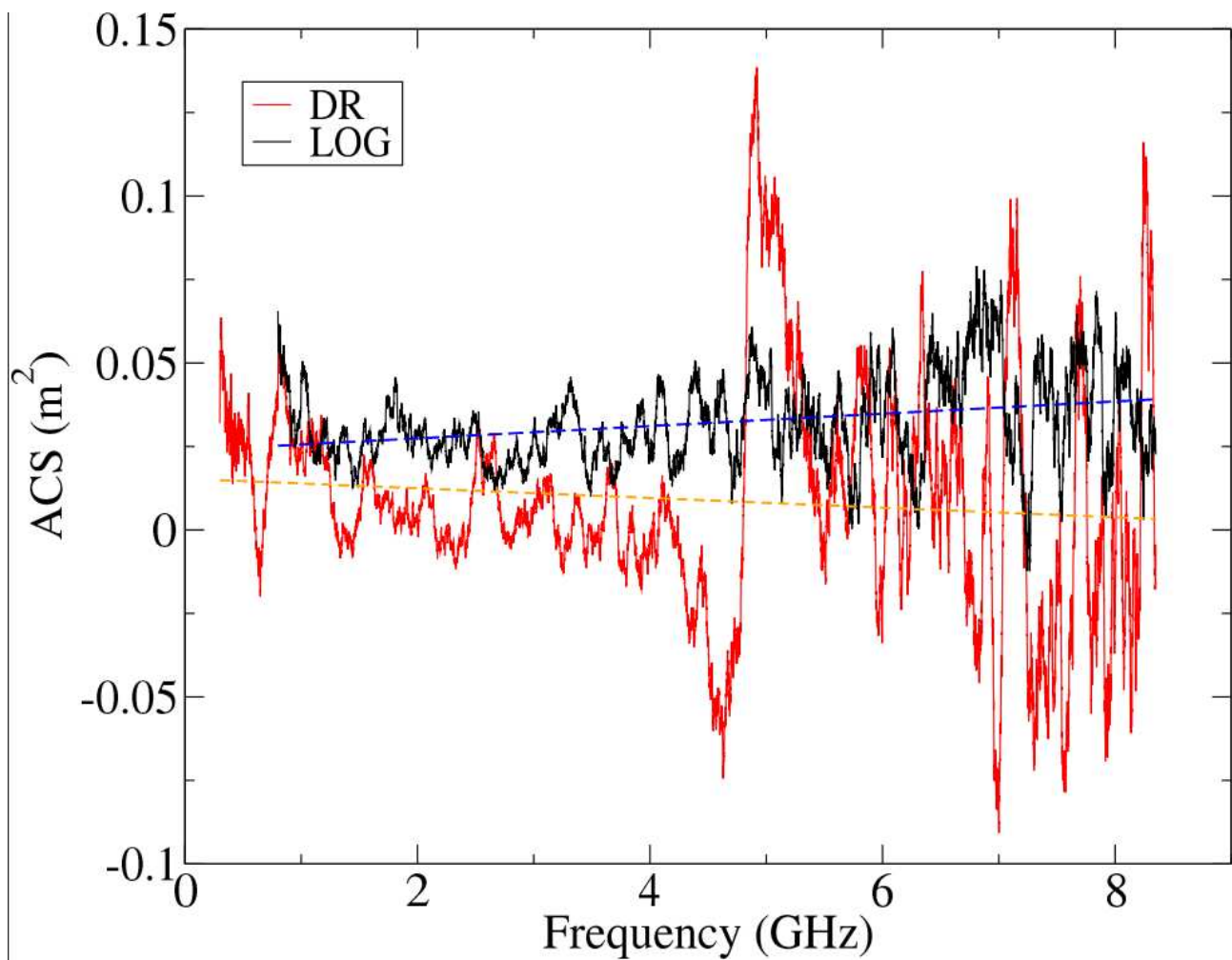


Figura 13

Nella figura 13 possiamo vedere la misura dell'ACS delle Double Ridge misurate con la log periodica e l'ACS delle logperiodiche (e cavalletti) misurate con le Double Ridge.

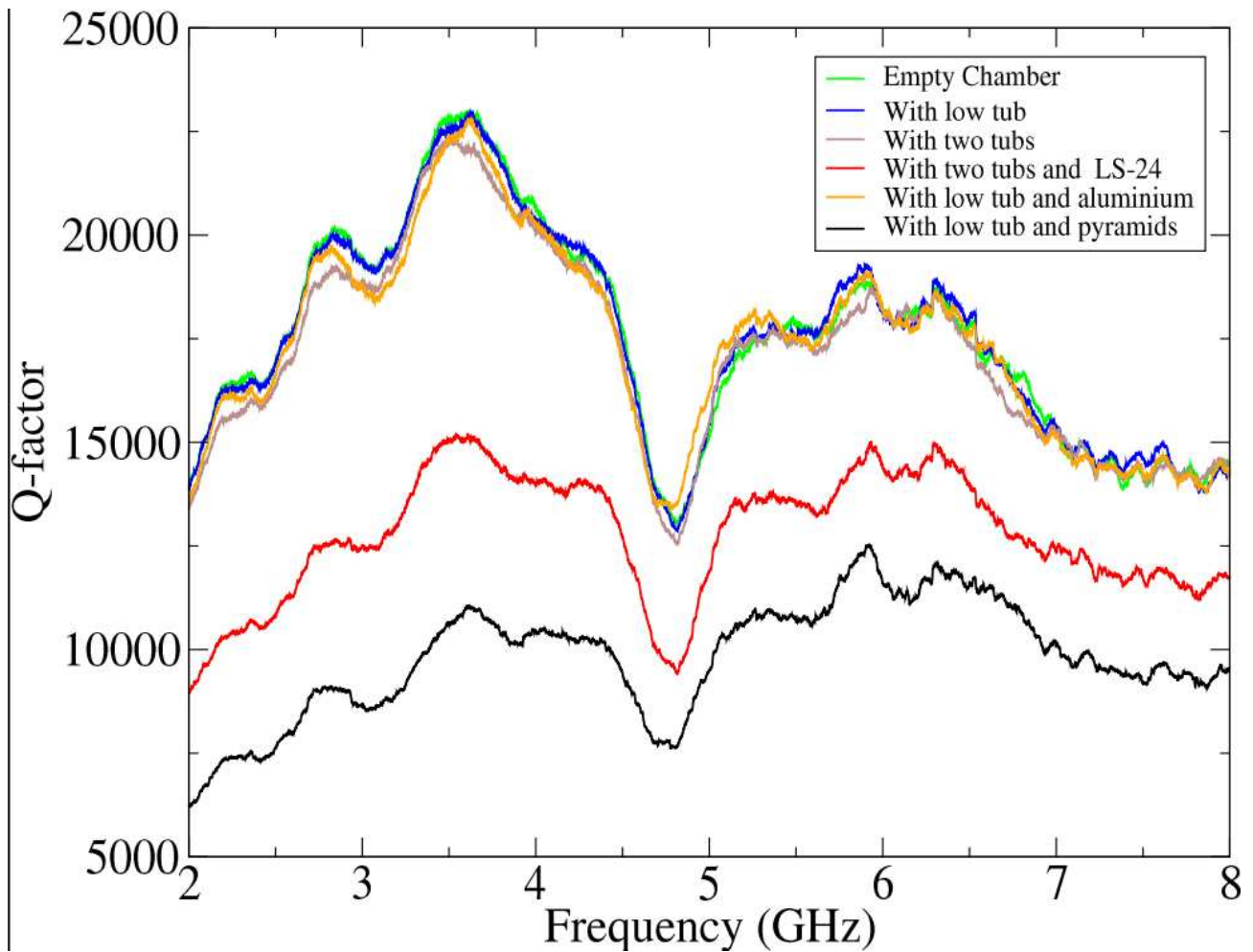


Figura 14

Abbiamo poi inserito nella camera due vasche di dimensioni diverse, in cui verrà poi messa l'acqua.

Inoltre, come si vede nella figura 14, abbiamo confrontato il Q-factor inserendo anche dei pezzi di Ecosorb LS 24, dell'alluminio e delle piramidi di VHP-8-NRL, utili per confronti numerici e sperimentali.

3.2 Misure camera riverberante: Acqua

Successivamente abbiamo inserito solo la mastella per vinacce e abbiamo iniziato a riempirla inizialmente con 20L di acqua:

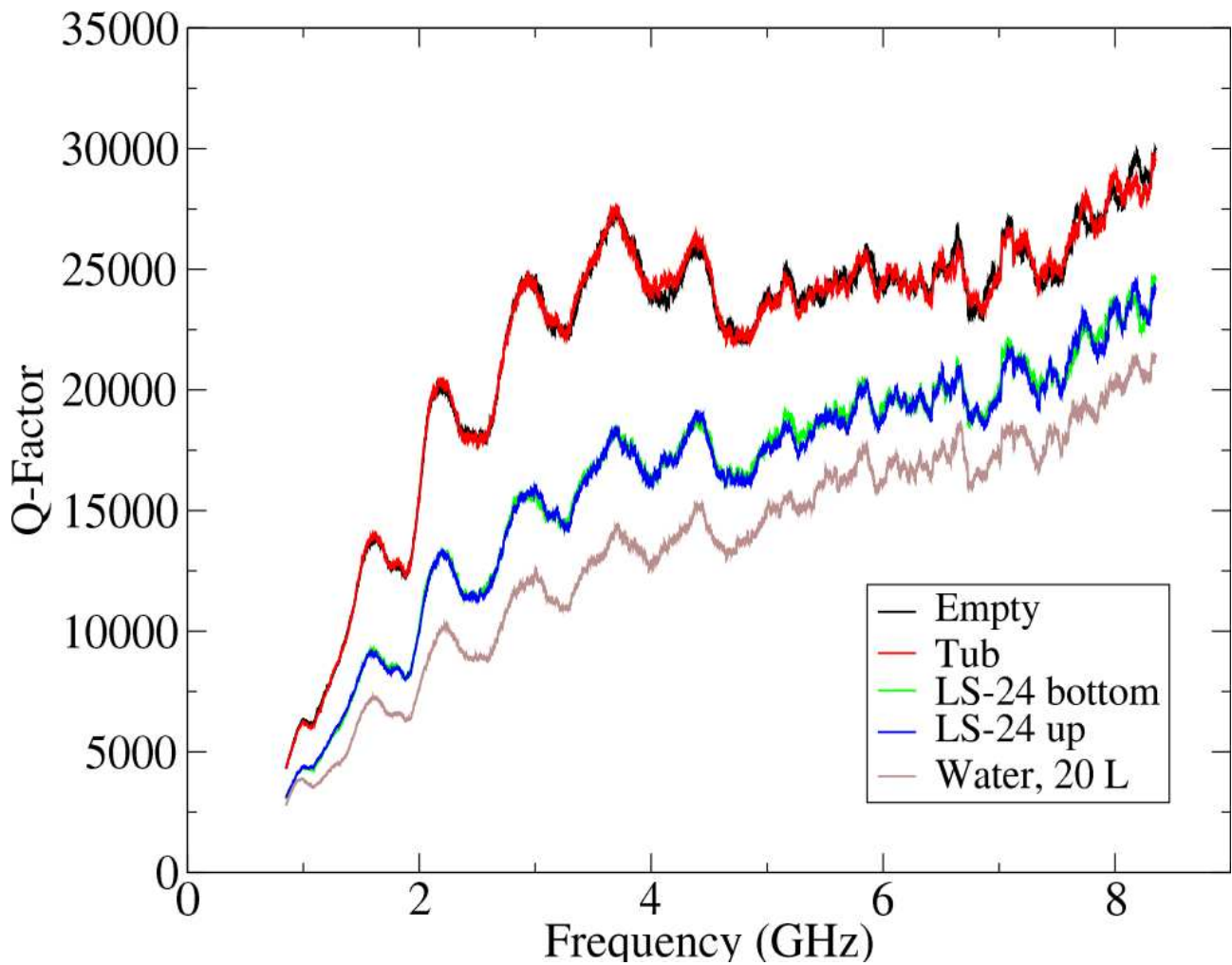


Figura 15

Nella figura 15 riportiamo i risultati del Q-factor con:

- Camera vuota
- Camera con mastella per vinacce
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sopra
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sotto
- Camera con mastella per vinacce e 20L di acqua

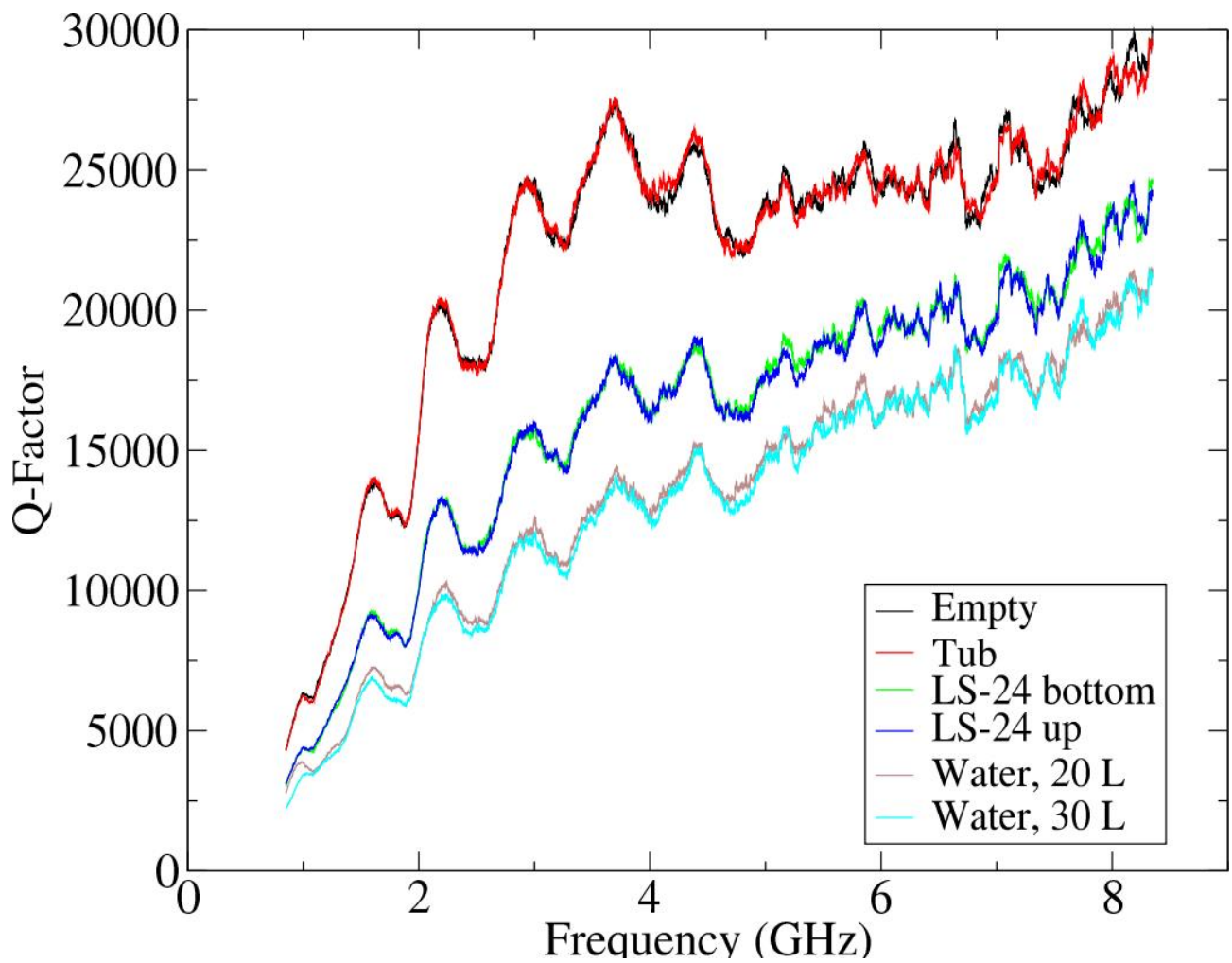


Figura 16

Nella figura 16 si notino le misure del Q-factor con aggiunta di altri 10L di acqua (30L totali):

- Camera vuota
- Camera con mastella per vinacce
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sopra
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sotto
- Camera con mastella per vinacce e 30L di acqua

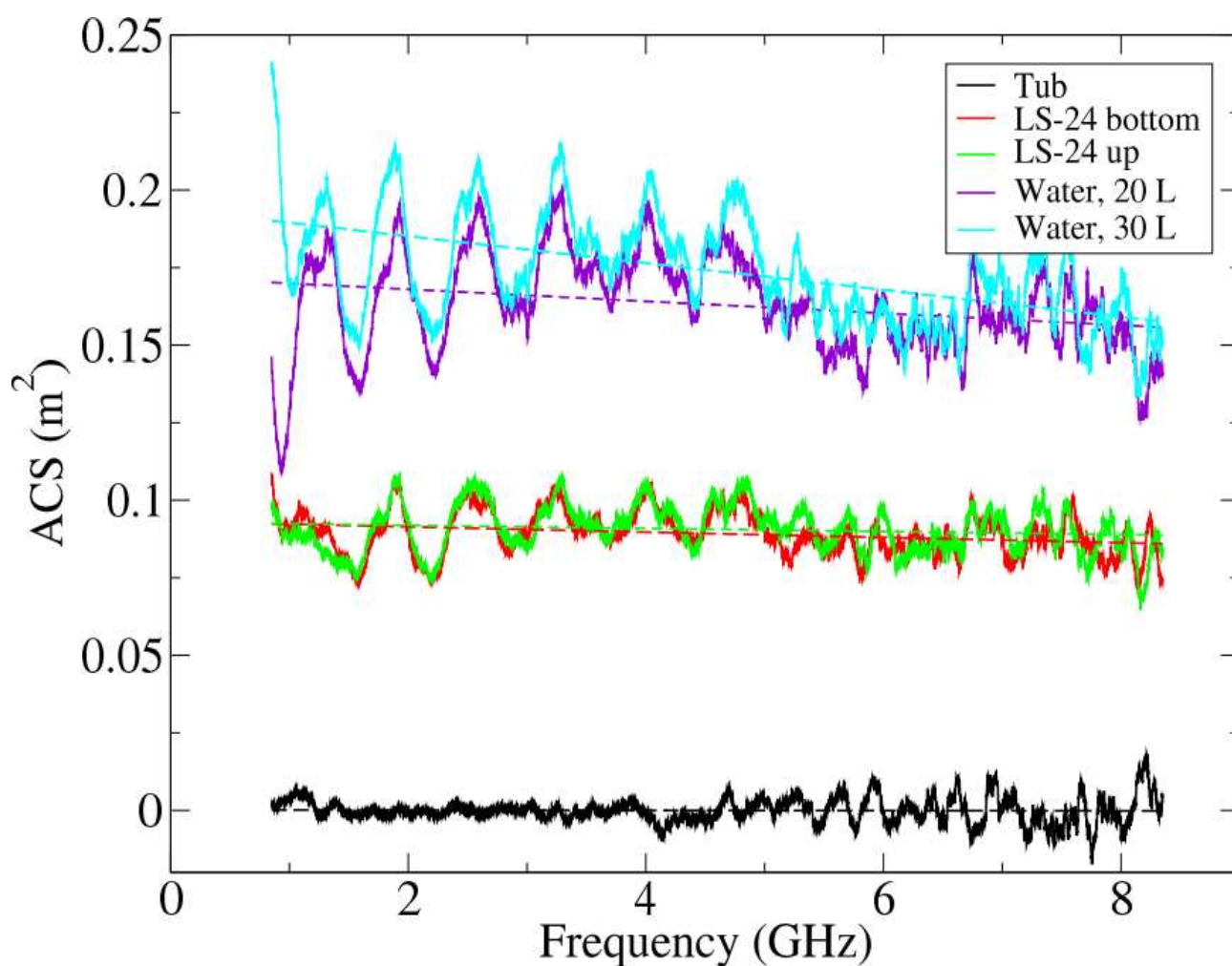


Figura 17

ACS (figura 17):

- Camera vuota
- Camera con mastella per vinacce
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sopra
- Camera con mastella per vinacce e LS 24 sotto
- Camera con mastella per vinacce e 30L di acqua

Si noti come l'aggiunta d'acqua aumenta il valore dell'ACS rispetto alle misure fatte con l'Ecosorb LS 24.

Inoltre si noti come considerando i 30L di acqua si ha un ACS maggiore fino a 5 GHz, per poi avere valori sebbene più alti ma quasi sovrapponibili a quelli considerando 20L di acqua.

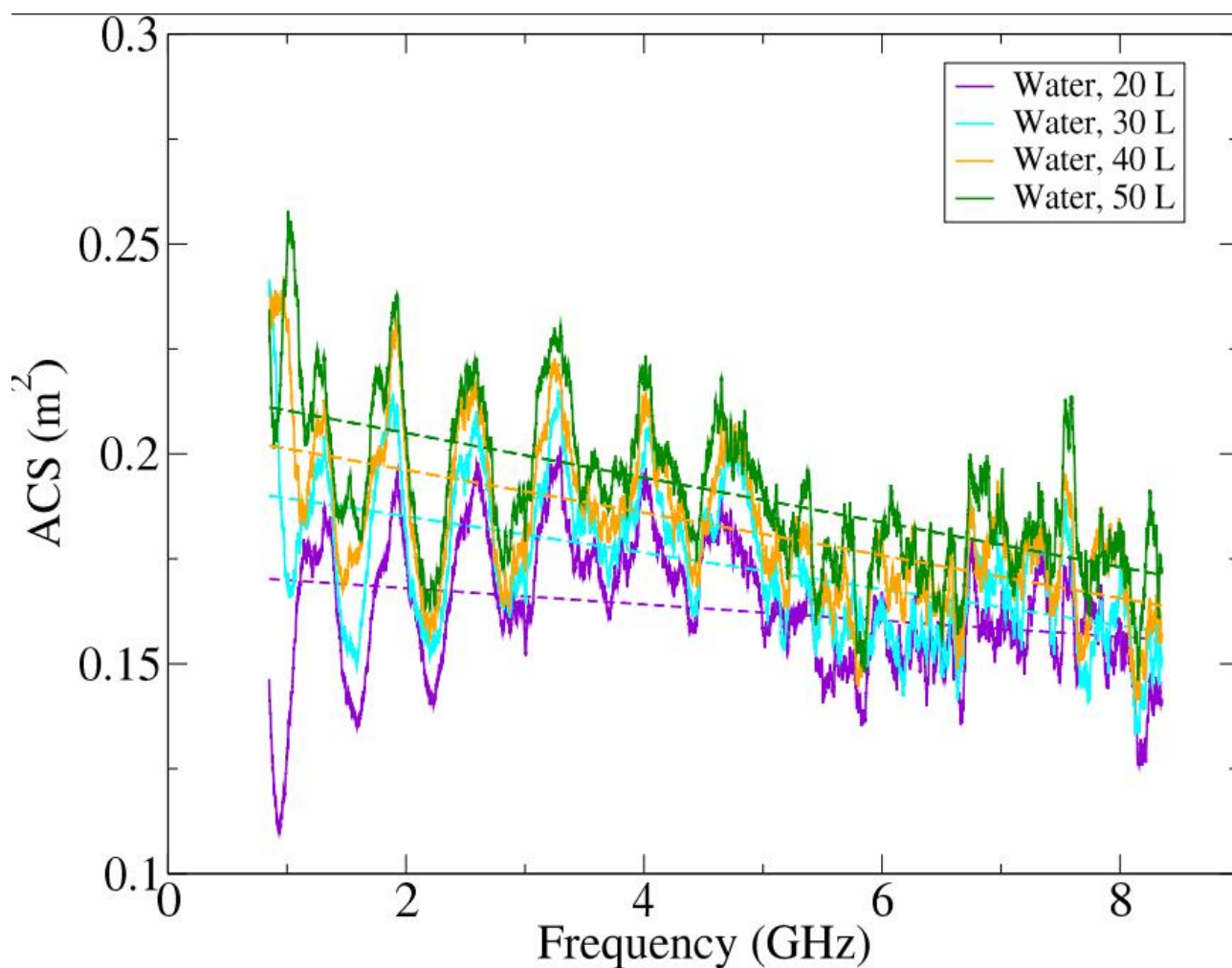


Figura 18

Successivamente abbiamo aggiunto dell'acqua per arrivare a 40L e infine a 50L.

Come si può osservare nella figura 18 con l'aumentare del volume d'acqua anche l'ACS aumenta, da valori minimi inferiori a 0.15 m^2 fino a valori massimi di circa 0.25 m^2 .

3.3 Misure camera riverberante: Acqua e sale

Dopo aver fatto le misure con l'acqua si è passati a mettere il sale.

Utilizzando un codice python abbiamo trovato la costante dielettrica, variando i valori di normalità, frequenza e temperatura.

Normalità: è una delle misure della concentrazione del soluto in una soluzione e più precisamente indica il numero di equivalenti di un soluto disciolti in un litro di soluzione.

$$N = \frac{\text{numero equivalenti di soluto (eq)}}{\text{volume della soluzione (L)}}$$

N.B: nel caso del cloruro di sodio NaCl, la normalità coincide con la molarità.

```
import numpy as np
import scipy.constants as scp
print("pi =", scp.pi)
print("eps0 =", scp.epsilon_0)
import math
#import cmath
T = 24 #Temperatura in gradi centigradi
N = 0.001 #Normalità della soluzione salina
F = 1e9 #Frequenza in Hz
```

```
def kappa(T,N,F):
    eps0 = scp.epsilon_0
    pi = scp.pi
    if T>=0 and T<=40:
        if N>=0 and N<=3:
            A = 1.000-.2551*N+5.151E-2*N**2-6.889E-3*N**3
            B = 1.463E-3*N*T+1.000-.04896*N-.02967*N**2+5.644E-3*N**3
            E0 = 87.74-4.0008E-1*T+9.398E-4*T**2+1.410E-6*T**3
            Tau = (1.1109E-10-3.824E-12*T+6.938E-14*T**2-5.096E-16*T**3)/(2*pi)
            E0tn = E0*A
            Tautn = Tau*B
            Delta = 25-T
            Si25 = N*(10.394-2.3776*N+.68258*N**2-.13538*N**3+1.0086E-2*N**4)
            Si = Si25*(1.000-1.962E-2*Delta+8.08E-5*Delta**2-Delta*N*(3.020E-5+3.922E-5*Delta+N*(1.721E-5-6.584E-6*Delta)))
            D = 1 - 2*pi*Tautn*F*1j
            enne = E0tn-E0*F + 0*1j
            erre = enne/D+E0*F
```

```
        enne = E0tn-E0*F + 0*1j
        erre = enne/D+E0*F
        Ri2 = Si / (2*pi*F*eps0)
        Epslon_c = erre + Ri2*1j
    else :
        print('La Normalità deve essere compresa tra 0 e 3')
    else :
        print('La Temperatura deve essere compresa tra 0 e 40')
    return Epslon_c
```

```
eps_c = kappa(T,N,F)
print('Temperatura = ',T,' gradi centigradi')
print('Normalità = ',N,' Q/l')
print('Frequenza = ',F*1e-9,' GHz')
print('Re(Eps_c) = ',eps_c.real)
print('Im(Eps_c) = ',eps_c.imag)
```



Figura 19: Inserimento del sale all'interno della mastella contenente acqua



Figura 20: Sale all'interno della mastella contenente acqua

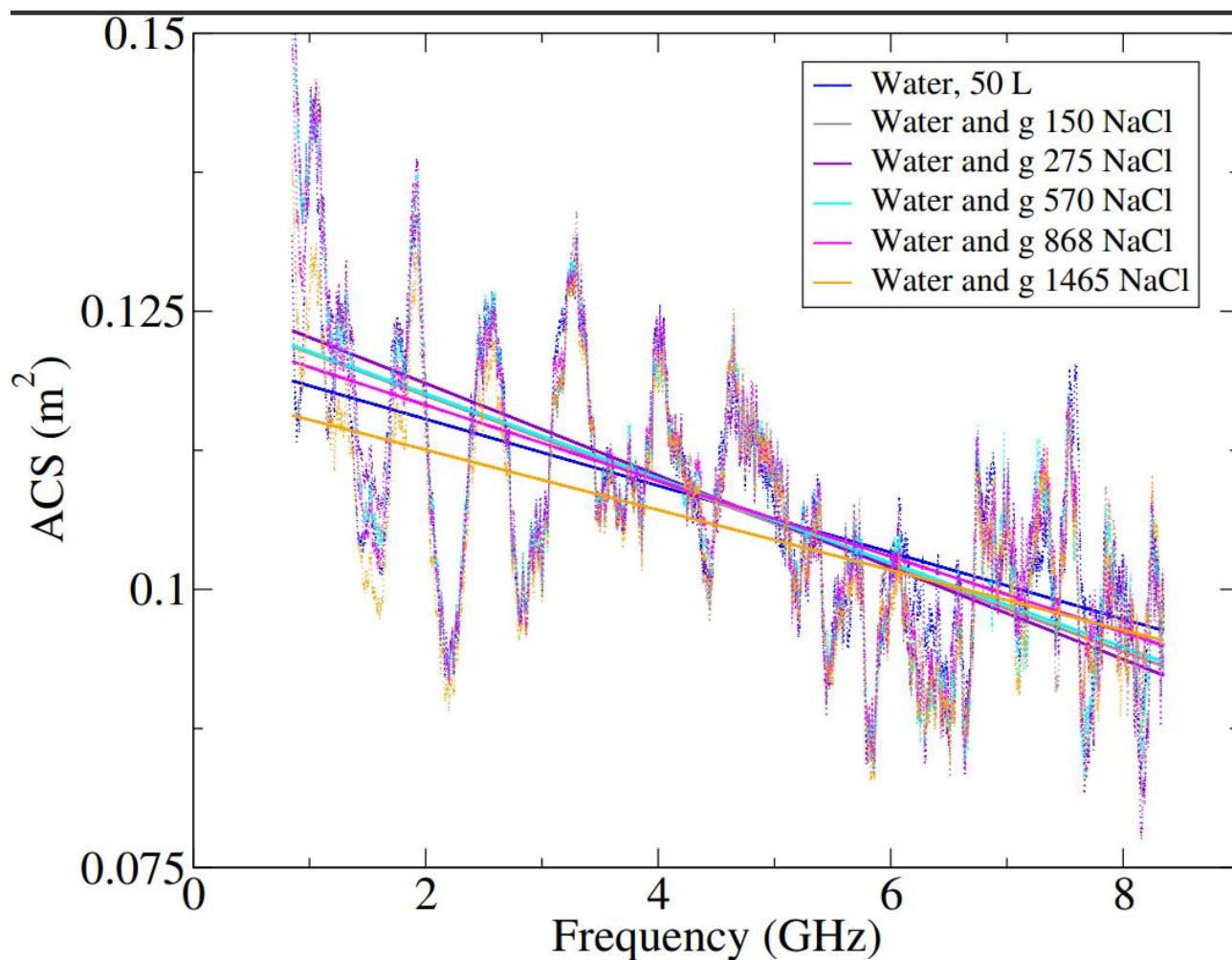


Figura 21

Tenendo costante la temperatura a 24°C e la frequenza a 1 GHz e tenendo conto della formula della normalità si è voluto calcolare la massa di NaCl da disciogliere in 50L d'acqua affinché ogni volta il valore della normalità raddoppiasse (figura 21).

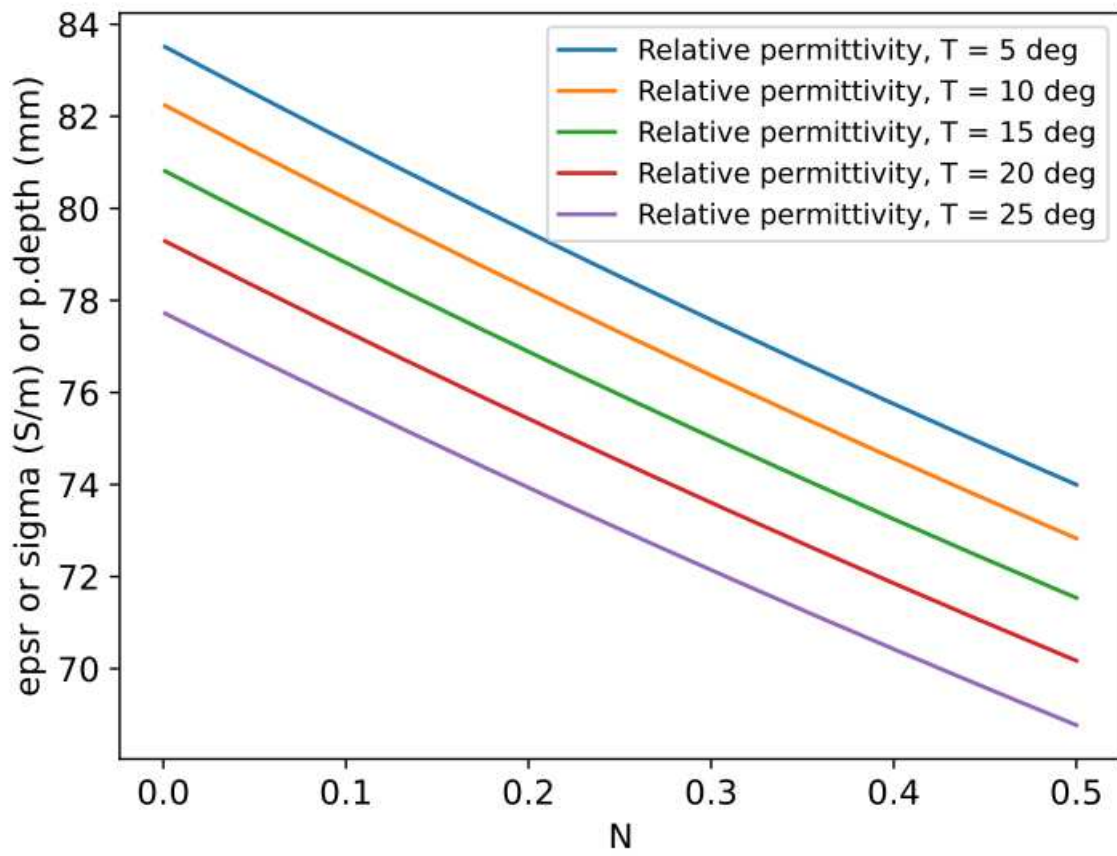


Figura 22

Nella figura 22 si osserva che variando la normalità e la temperatura variano anche la permittività elettrica e lo spessore di penetrazione.

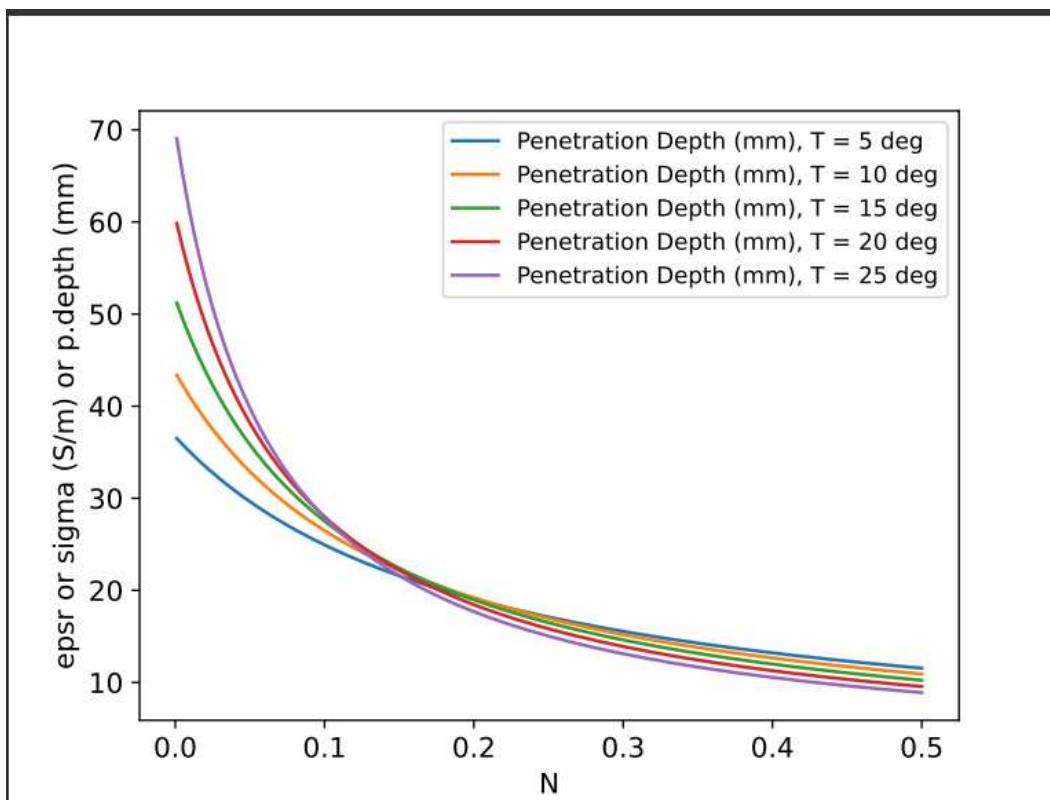


Figura 23: Spessore di penetrazione variando normalità e temperatura.

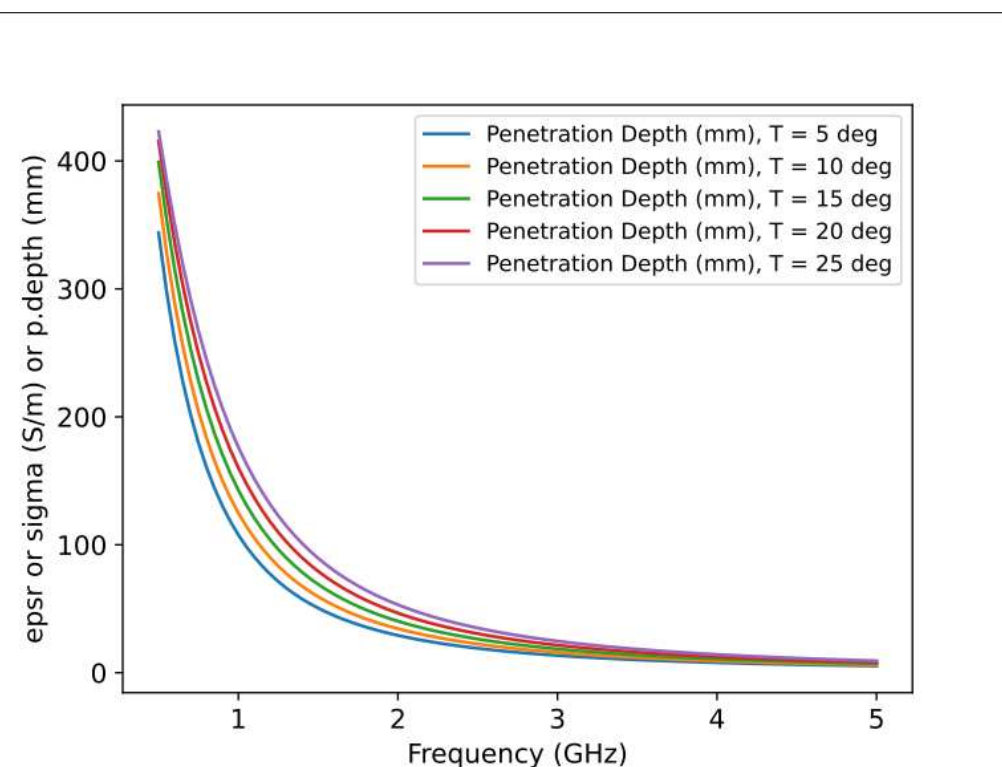


Figura 24: Spessore di penetrazione variando frequenza e temperatura.

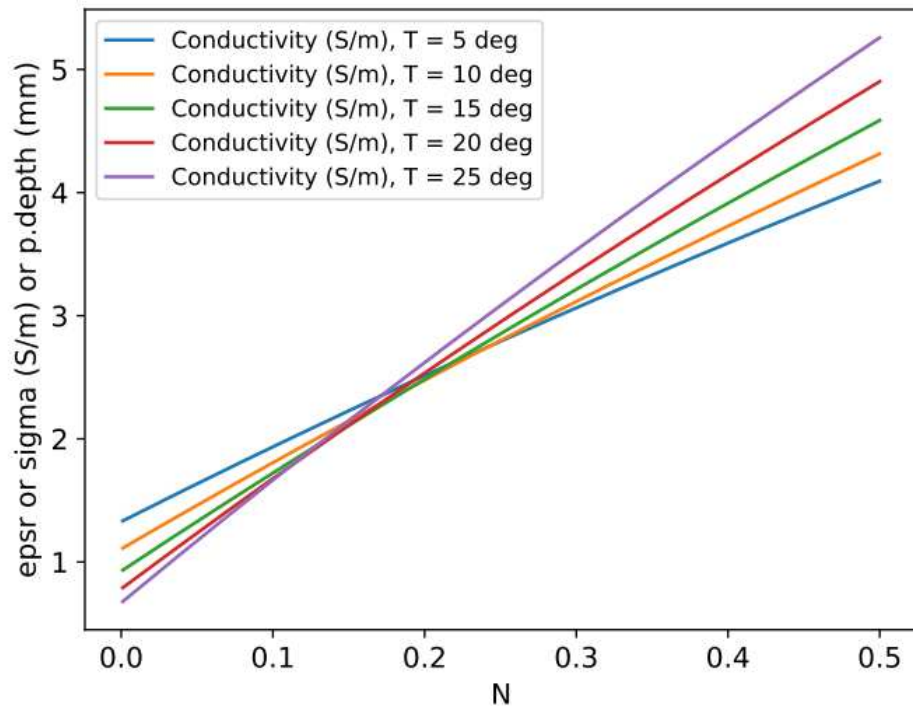


Figura 25: Conducibilità variando normalità e temperatura.

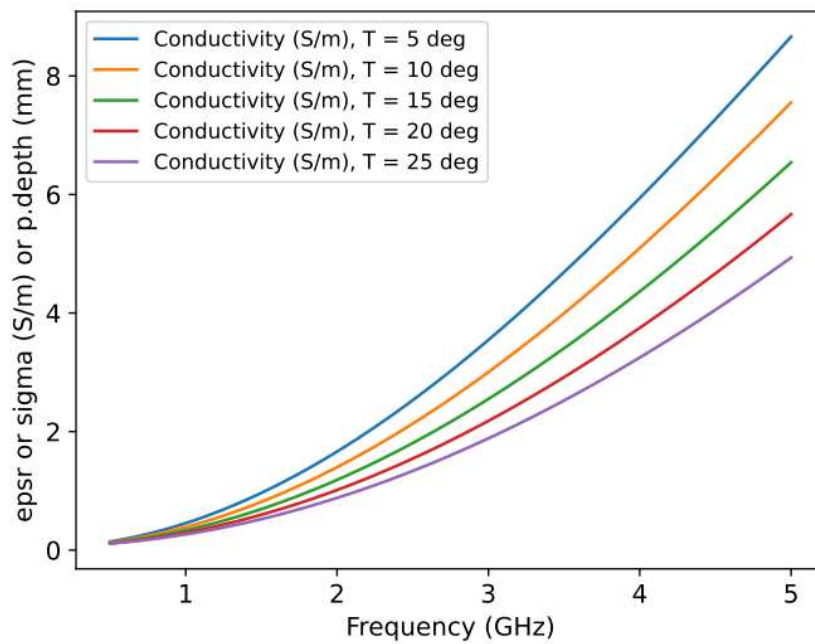


Figura 26: Conducibilità variando frequenza e temperatura.

Capitolo 4:

4.1 Conclusioni

In questa tesi, il nostro obiettivo principale è stato esplorare in dettaglio le caratteristiche elettriche dell'acqua al fine di acquisire una comprensione più approfondita su come tali proprietà possano essere gestite e controllate da enti professionali. L'obiettivo ultimo è fornire un contributo significativo per migliorare le strategie di intervento in situazioni di emergenza future, prendendo spunto da un evento recente come l'alluvione in Emilia-Romagna.

Attraverso i nostri approfonditi studi, abbiamo constatato che le condizioni di impurità, spesso presenti nelle acque di alluvione (ad esempio, NaCl nel nostro caso), influenzano in modo significativo l'ACS. Inoltre, abbiamo osservato come, variando parametri come normalità, temperatura e frequenza, anche i valori di spessore di penetrazione e permittività elettrica mostrino una tendenza all'incremento.

I risultati delle nostre indagini sono stati accuratamente confrontati con quelli ottenuti da Telecom Italia, dimostrando una coerenza notevole e una consistenza tra i due set di dati. Questa validazione incrociata conferma la robustezza delle nostre analisi e amplifica l'applicabilità delle nostre scoperte in contesti pratici e professionali.

4.2 Bibliografia:

- [1] <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/educazione-ambientale/onde-elettromagnetica>
- [2] <https://web.unica.it/unica/protected/377157/0/def/ref/MAT257286/>
<https://www.youmath.it/domande-a-risposte/view/4896-costante-dielettrica-nel-vuoto.html>
- [3] https://it.wikipedia.org/wiki/Permittivit%C3%A0_elettrica
- [4] <https://www.chimica-online.it/download/costante-dielettrica-acqua.htm>
- [5] https://it.wikipedia.org/wiki/Conduttivit%C3%A0_elettrica
- [6] https://it.wikipedia.org/wiki/Effetto_pelle.
- [7] <http://ww.garkonda.altervista.org/joomla/18-elettronica/182-effetto-pelle>.
- [8] <http://www.garkonda.altervista.org/joomla/elettronica/resistenze/18-elettronica/182-effetto-pelle>.
- [9] <https://bsproj.it/effetto-pelle/>.
- [10] https://it.wikipedia.org/wiki/Camera_riverberante_elettromagnetica
- [11] <https://tesi.univpm.it/retrieve/ee4060a9-727a-4e65-bcfe-f73ed58d33b3/TesiDefin.pdf>
- [12] ABSORBING CROSS SECTION IN REVERBERATION CHAMBER: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL RESULTS G. Gradoni¹, D. Micheli², F. Moglie³, * , and V. Mariani Primiani
- [13] https://amslaurea.unibo.it/6849/1/Bartoletti_Eugenio_tesi.pdf
- [14] S. Ramo, J. R. Whinnery, and T. Duzer, "Fields and waves in communication electronics," vol. ser. third edition., 1993
- [15] [https://it.wikipedia.org/wiki/Normalit%C3%A0_\(chimica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Normalit%C3%A0_(chimica))
- [16] https://www.vivaservizi.it/analisicomuni/_VER_Ancona.htm

Ringraziamenti:

A tutti coloro che mi sono stati vicini in questi anni;

Ai miei genitori, senza il quale non ce l'avrei mai fatta, grazie per il vostro continuo sostegno e per il vostro amore;

A mio fratello, che ha sempre creduto in me;

Ai miei amici, che con i loro saggi consigli mi hanno aiutato a prendere le decisioni giuste e che mi hanno rallegrato il cuore nei momenti di gioia e mi hanno donato affetto nei momenti bui.

Ai miei nonni, che da lassù vegliano su di me e che purtroppo non sono qui per poter celebrare questo giorno;

A me stesso, che ho compiuto questo lungo e tortuoso viaggio con le mie forze, che spera in un futuro migliore grazie alle competenze che questa facoltà mi ha lasciato.