



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

**Analisi statistica del fattore riciano in camera
riverberante nelle bande utilizzate dal 5G**

Statistical Analysis of the rician factor in a
reverberation chamber at the 5G frequency bands.

Relatore: Chiar.mo

Prof. Valter Mariani Primiani

Tesi di Laurea di:

Pietro Salerno

Correlatore: Chiar.mo

Ing. Alfredo De Leo

A.A. 2021/2022

INDICE

Introduzione

Capitolo 1 Camera Riverberante

1.1 Introduzione.....	4
1.2 Camera riverberante	6
1.2.1 “Mechanical stirring” e “Source stirring”	7
1.3 K-factor.....	9
1.3.1 K-factor in camera riverberante.....	10

Capitolo 2 Setup Strumentazione

2.1 Introduzione	13
2.2 Camera riverberante	13
2.3 Strumentazione.....	15
2.3.1 Analizzatore di reti.....	16
2.3.2 Antenne.....	17

Capitolo 3 Misurazioni

3.1 Introduzione.....	20
3.2 Misurazione e calcolo K-factor.....	20
3.2.1 Dati K-factor.....	28
3.3 Algoritmo massimo K-factor.....	34

Capitolo 4 Risultati

4.1 Valutazioni.....	40
4.2 Conclusione.....	41

Introduzione

L'obiettivo di questa tesi consiste nel caratterizzare un ambiente di propagazione per le frequenze riguardanti il 5G, tramite l'ausilio di una camera riverberante.

La tesi è divisa nella seguente modalità:

- una prima parte riassume gli aspetti teorici della camera riverberante e gli approcci di misura di quest'ultima
- una seconda parte contenente la strumentazione usata per le misurazioni
- una terza parte descrive le pratiche, le tecniche e gli algoritmi utilizzati per i calcoli

Segue l'ultimo capitolo con i risultati e le considerazioni finali.

Si può anticipare che l'impiego di una camera riverberante risulta di grande aiuto per la caratterizzazione della propagazione di campi elettromagnetici e l'utilizzo del Source e Mechanical Stirling attribuisce varietà nella ricerca del massimo valore del K-factor.

CAPITOLO 1 Camera Riverberante

1.1 Introduzione

Al giorno d'oggi l'utilizzo delle comunicazioni è incrementato notevolmente e, di pari passo, anche lo sviluppo di nuove tecnologie capaci di sostenere questa richiesta.

Per testare le prestazioni delle antenne trasmettenti si usa la cosiddetta "Camera Riverberante".

In questa tesi si discute della stima di un fattore chiamato Rician K-factor, valutato tramite propagazione di campi elettromagnetici in camere riverberanti a frequenze comprese nelle bande in uso dal 5G.

Inizio la trattazione discutendo dei principi teorici attinenti alle camere riverberanti. Per la comprensione dell'elaborato è necessaria la descrizione della sua struttura e le sue modalità di lavoro. Questo consiste nell'illustrazione della RC e delle tecniche di mescolamento del campo elettromagnetico: Source stirring e Mechanical stirring.

Successivamente si presenta il concetto di Rician K-factor e l'utilità in camera riverberante.

1.2 Camera Riverberante

La camera riverberante è una struttura metallica cuboide o irregolare, nella quale è possibile trasmettere delle onde elettromagnetiche con diversi modi. I modi sono configurazioni del campo elettromagnetico che si propagano in una guida d'onda, in questo caso la RC, e data la natura metallica della camera, i campi incidenti alle pareti riflettono su esse, facendo in modo che le riflessioni assorbano una minima parte dell'energia dei campi elettromagnetici, permettendo di ottenere internamente onde a elevata intensità, anche introducendo segnali di basse potenze.

Le prime camere riverberanti elettromagnetiche nascono nel 1968 da H. A. Mendes progettate per test di compatibilità elettromagnetica, ovvero valutazioni svolte per ottimizzare la trasmissione e la ricezione di un apparecchio a discapito di perturbazioni dannose. In Figura 1.1 un esempio di camera riverberante.



Figura 1.1 Camera riverberante GTEMCELL

1.2.1 “Mechanical Stirring” e “Source Stirring”

L'immissione di un campo elettromagnetico all'interno di una Camera Riverberante crea una distribuzione spaziale delle onde alquanto disomogenea con punti a elevata intensità e punti all'opposto. Per ridurre questa disomogeneità vengono usate due tecniche di mescolamento del campo: il “Mechanical Stirring” e il “Source Stirring”.

Mechanical Stirring

La prima consiste nell'inserimento di una pala metallica di forma irregolare, capace di ruotare su un asse a intervalli regolari divisi in gradi. La rotazione fornisce al campo una distribuzione diversa a ogni step, ciò implica il cambiamento delle condizioni al contorno e cioè una disposizione più uniforme dei campi. Figura 1.2 .

Source Stirring

Diversamente dal Mechanical, nel Source Stirring la sorgente di eccitazione non è fissa ma al contrario, per la creazione di un campo uniforme, la sua posizione viene modificata in continuazione.

La Camera Riverberante è fornita di vari punti di accesso per l'antenna sorgente, questi sono presenti su ogni faccia in maniera irregolare, così da conferire una distribuzione interna più uniforme possibile. Figura 1.3 .

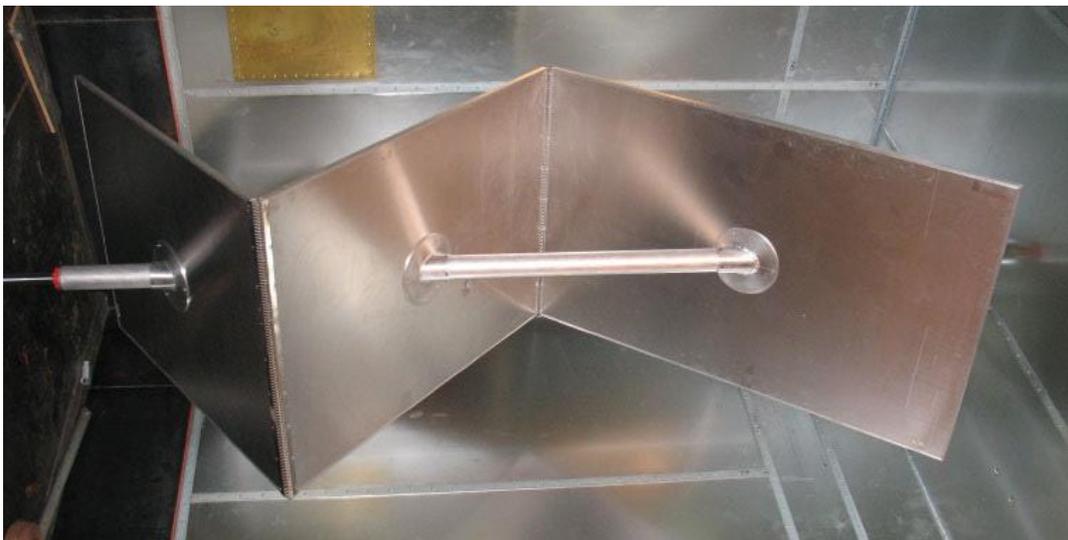


Figura 1.2 Pala Mechanical Stirring



Figura 1.3 Punti per il Source Stirling

1.3 K-factor

Il progresso tecnologico ha portato sempre più nella quotidianità l'utilizzo di dispositivi wireless. Ne è seguita un'ascesa della richiesta di ottimizzazione della suddetta apparecchiatura.

Come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, esiste una metodologia particolare per l'analisi e la simulazione di onde elettromagnetiche.

Grazie all'uso della camera riverberante e di un analizzatore di reti, che verrà descritto nel prossimo capitolo, si può valutare l'efficienza di un campo tramite il calcolo di un valore chiamato Rician K-factor.

Questo fattore è definito come il rapporto tra la componente diretta del campo e la sua componente stirred, cioè la componente nata dal mescolamento e dovuta alla riflessione del campo sulle superfici indesiderate. Da questo se ne deduce che valori alti del K-factor migliorano le prestazioni. Segue quindi la ricerca della minimizzazione della componente stirred e, al contrario, la massimizzazione della componente diretta.

1.3.1 K-factor in Camera Riverberante

Come enunciato in precedenza il calcolo del Rician K-factor risulta di notevole importanza per la caratterizzazione di un ambiente di propagazione.

In una Camera Riverberante l'operazione matematica si riconduce all'utilizzo di due antenne, una trasmittente e una ricevente, e un analizzatore di reti.

Tramite l'uso di questo strumento si può definire la funzione di trasferimento (S_{12}). Questo valore indica l'interazione in termini di componente diretta (S_{12d}) e componente stirred (S_{12s}), tra la prima e la seconda antenna. Da questo si ricava il K-factor con i seguenti passaggi algebrici:

$$S_{12} = S_{12d} + S_{12s} \quad (1.1)$$

È stato inoltre dimostrato che in condizioni ideali, le componenti risultano avere una media e varianza di questo tipo:

$$\langle S_{12s} \rangle = 0 \quad (1.2)$$

$$\text{var}[Re(S_{12s})] = \text{var}[Im(S_{12s})] = \langle [Re(S_{12s})]^2 \rangle = \langle [Im(S_{12s})]^2 \rangle = \sigma^2_R \quad (1.3)$$

$$|\langle S_{12d} \rangle| = d_R \quad (1.4)$$

$$\text{var}[Re(S_{12d})] = \text{var}[Im(S_{12d})] = \langle [Re(S_{12d})]^2 \rangle = \langle [Im(S_{12d})]^2 \rangle = 0 \quad (1.5)$$

In cui $\langle \rangle$ rappresenta la media;

σ indica la varianza;

d un valore della media non nullo.

Si può inoltre scrivere:

$$2\sigma^2_R = \langle |S_{12} - \langle S_{12} \rangle|^2 \rangle \quad (1.6)$$

E il valore medio di S_{12} è:

$$d_R = |\langle S_{12} \rangle| \quad (1.7)$$

Quindi si deduce il valore del fattore K come:

$$K = \frac{d_R^2}{2\sigma_R^2} = \frac{|\langle S_{12} \rangle|^2}{\langle |S_{12} - \langle S_{12} \rangle|^2 \rangle} \quad (1.8)$$

CAPITOLO 2 Setup Strumentazione

2.1 introduzione

Nel seguente capitolo verrà presentata la strumentazione utilizzata durante le sperimentazioni effettuate.

Il capitolo comprende una descrizione dettagliata della Camera Riverberante impiegata in laboratorio, seguita dall'illustrazione dello strumento di calcolo dei parametri S, l'Analizzatore di reti.

Inoltre, per l'acquisizione dati, durante le misurazioni sono state usate due antenne, questo ha fornito più dati su cui effettuare misurazioni.

2.2 Camera Riverberante

La Camera riverberante è una camera schermata chiusa, costituita da pareti metalliche e conduttive.

La struttura presa in esame e utilizzata per le misurazioni da noi effettuate risulta più piccola di una camera generale, infatti la sua dimensione è (0.9 x 0.8 x 1) metri. Figura 2.1 .



Figura 2.1 Camera Riverberante

Presenta nella parte inferiore una piccola porta (sulla sinistra nella Figura 2.2), capace di chiudersi ermeticamente, da cui è possibile inserire apparecchiature all'interno della Camera.

Inoltre è provvisto di una guida d'onda circolare (sulla destra nella Figura 2.2) da cui è possibile inserire un'asta dielettrica cilindrica usata per la rotazione della pala meccanica durante il Mechanical Stirring.



Figura 2.2 Aperture Camera Riverberante

La Camera ha una forma cuboide e ogni sua parete è dotata di 20 buchi posizionati in maniera del tutto casuale, come si può vedere in Figura 2.1. Questi fori sono di diametro minore rispetto al foro per la rotazione meccanica e servono prevalentemente per la tecnica già citata del Source Stirling. Data la loro ridotta dimensione, le fessure non influiscono notevolmente sulle perdite dei campi in quanto il loro diametro è minore della lunghezza d'onda alle frequenze utilizzate.

2.3 Strumentazione

Segue una breve descrizione degli strumenti utilizzati per ricavare dati. Si presenta l'apparecchio elettronico usato e le antenne collegate a quest'ultimo, necessarie per le valutazioni.

2.3.1 Analizzatore di reti

Un analizzatore di reti vettoriale è uno strumento nato per analizzare le proprietà delle reti elettriche, in particolare il comportamento associato alla riflessione e alla trasmissione dei segnali elettrici, sia in ampiezza che in fase. Durante le misurazioni è stato usato un FieldFox Handheld Analyzers, fornito dall'università, capace di lavorare a frequenze comprese tra pochi kHz e 26.5 GHz.

Tramite un'attenta calibrazione, l'analizzatore di reti può caratterizzare un dispositivo trasmettendo un segnale al dispositivo stesso utilizzando una delle sue porte, e misurando fase e ampiezza del segnale riflesso che raggiunge la seconda porta.

Il calcolo del rapporto tra questi segnali fornisce più dati, tra cui la matrice S di Scattering, necessaria per il K-factor.

Figura 2.3 .



Figura 2.3 Analizzatore di reti

2.3.2 Antenne

Le antenne prese in considerazione sono due: antenne conica, antenna a monopolo. Entrambe presentano alla base un connettore tramite il quale, grazie a un cavo, si possono collegare all'analizzatore di reti.

In Figura 2.4 vediamo l'antenna conica usata durante le sperimentazioni. È stata realizzata a mano e quindi non ufficiale. Presenta un disco alla base e una parte superiore con la generica forma conica, entrambi con diametro di 21.5 cm, mentre l'altezza è di 11.5 cm



Figura 2.4 Antenna conica

L'altra antenna utilizzata è l'antenna a monopolo.

Questo tipo di antenna presenta una parte rigida, una base e infine il connettore. La lunghezza viene scelta in base alla lunghezza d'onda dei campi in questione. L'antenna usata ha una lunghezza di 10 cm fino alla base. Figura 2.5 .



Figura 2.5 Antenna a monopolo

CAPITOLO 3 Misurazioni

3.1 Introduzione

In questo capitolo sarà illustrato il procedimento di misurazione e di elaborazione dei dati raccolti in laboratorio.

Le misurazioni sono state effettuate tramite l'uso degli strumenti descritti nel capitolo 2: analizzatore di reti e antenne.

Mentre la lavorazione dei dati è stata eseguita per mezzo della piattaforma Matlab.

La quantità di misurazioni e dati eseguita è consistente, per questo verranno descritte le misurazioni e presentati algoritmi e grafici di maggiore importanza.

3.2 Misurazione e calcolo K-factor

Iniziamo la trattazione esponendo le considerazioni preliminari effettuate al fine di ricercare un valore di K-factor confacente al nostro caso.

Per prima cosa è stata svolta una ricerca sulle bande utilizzate dalla trasmissione 5G.

In Figura 3.1 riportiamo le tabelle ricercate che includono 3 bande intorno ai:

- (1) 700- 800 MHz
- (2) 3-4 GHz
- (3) 26-27 GHz.

Per gli esperimenti sono state usate, per motivi logistici e strumentali legati alle antenne e alla Camera Riverberante, queste due bande:

[713-778] MHz usando l'antenna a monopolo

[3.27-3.8] GHz usando l'antenna conica

Per entrambe le antenne sono state effettuate misurazioni sia per il Source stirring che per il Mechanical stirring.

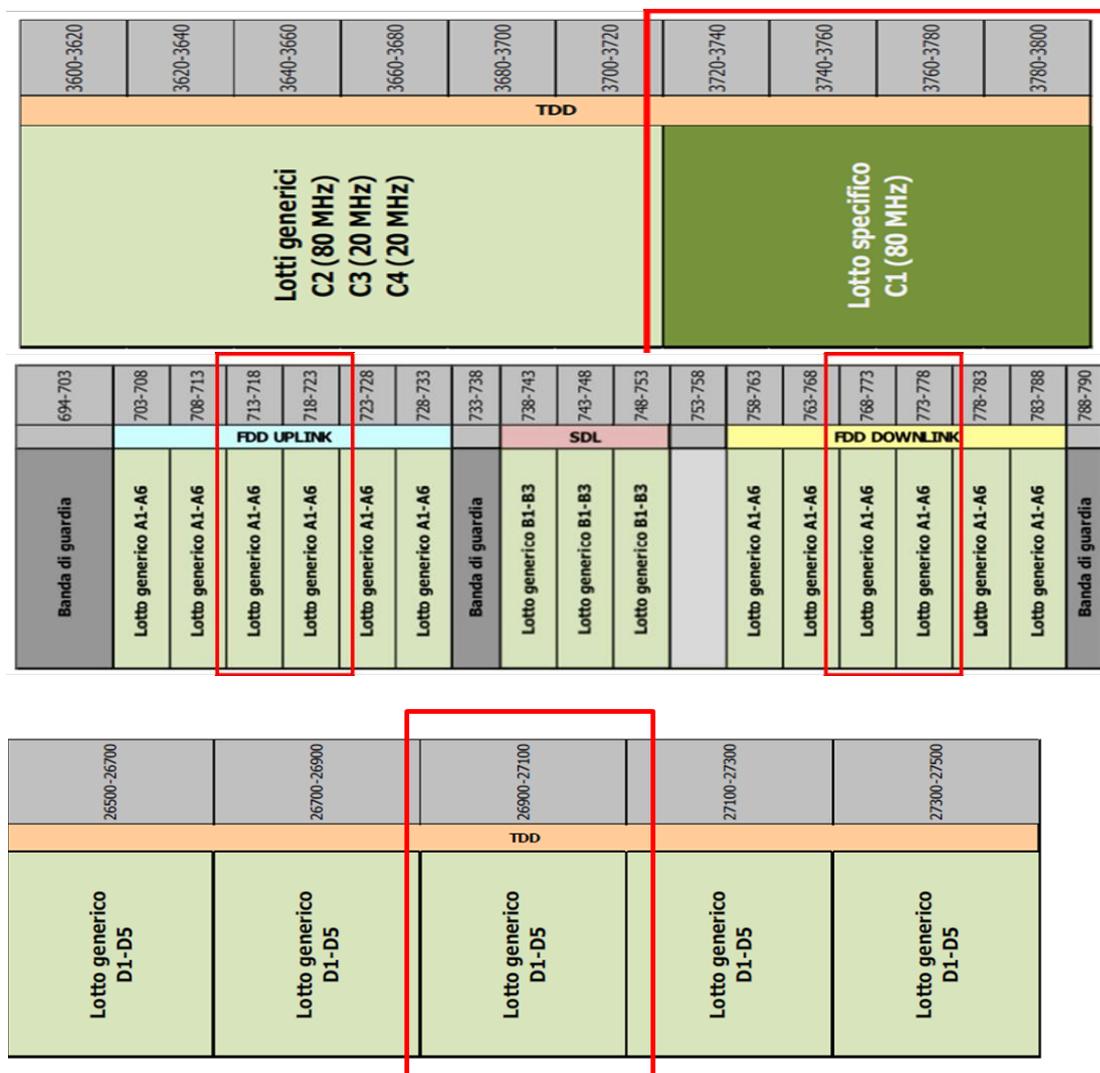


Figura 3.1 Bande 5G

Segue una descrizione delle pratiche impiegate durante la ricerca.

Source stirring

La tecnica del Source stirring per l'antenna conica prevedeva di inserire quest'ultima all'interno della camera e di spostare l'antenna trasmittente su tutti i 100 fori utilizzati, cioè per 5 pareti tranne quella inferiore per motivi di sicurezza. La misurazione si è ripetuta per tre volte, ossia per l'antenna conica rivolta verso le tre direzioni del piano cartesiano, ovvero le facce frontale, a

sinistra e verso l'alto (che per semplicità denoteremo: faccia A,B e C; mentre le opposte sono rispettivamente le facce: E, D, F). Figura 3.2 (a) (b) (c).

Invece per l'antenna a monopolo la ricevente veniva mantenuta ferma su un punto centrale delle pareti A,B e C (una per volta), mentre la monopolo è stata spostata, per ogni misurazione, su ognuno dei fori rimanenti (cioè 97). Figura 3.3 .



Figura 3.2(a) Antenna conica verso faccia A

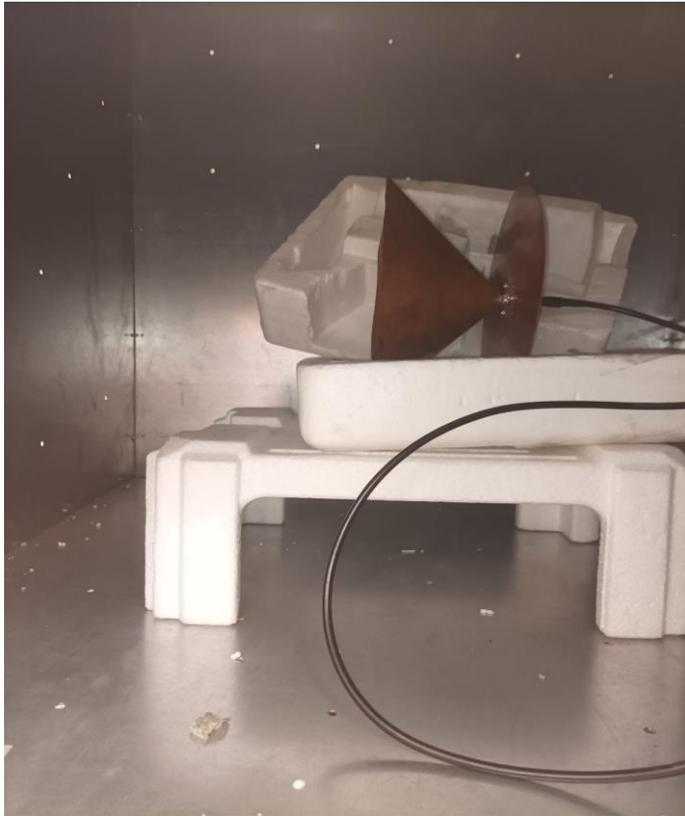


Figura 3.2(b) Antenna conica verso faccia B



Figura 3.2(c) Antenna conica verso faccia C

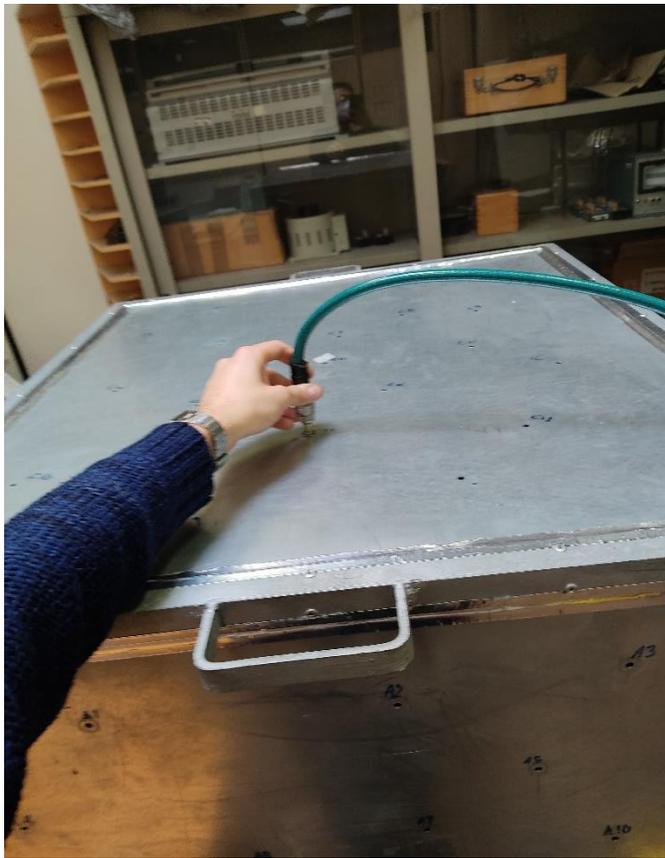


Figura 3.3 Source stirring

Mechanical stirring

Per il Mechanical stirring il procedimento per le antenne riceventi e trasmettenti consiste nel mantenere ferme le stesse, mentre alla pala meccanica si pratica una rotazione di 3.6° a ogni misurazione per un totale di 360° , ossia 100 valutazioni. Figura 3.4 .



Figura 3.4 Pala meccanica interna

Tramite l'uso dell'analizzatore di reti è possibile creare, per ognuna delle 100 misurazioni, una matrice di 1601 righe e 9 colonne, esempio Figura 3.5.1 . La matrice è formata dalle 1601 misurazioni che dividono in intervalli regolari la banda scelta, mentre le colonne rappresentano rispettivamente la frequenza selezionata e, in fila, modulo e fase delle funzioni S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{22} .

Come visto nel paragrafo 1.3.1, per l'ottenimento del K-factor è necessario S_{12} . Grazie all'ausilio di Matlab si può estrapolare questa funzione e ricavare così il K-factor.

In Figura 3.5.2 il codice Matlab utilizzato per il calcolo di K.

frequency	S11	<S11	S21	<S21	S12	<S12	S22	<S22
3270000000	-13.8633152218464	-115.609775976649	-21.2345178479264	-170.405827785607	-21.2804624057594	-173.260785835973	-12.000166114826	134.554820498852
3270331250	-13.665483390368	-65.4327156907881	-16.3216187265794	162.874678307339	-16.3876317565906	160.088360203703	-11.3272299113218	120.189881840883
3270662500	-7.87859067109865	-61.1707784960603	-15.4392927982279	120.623384536851	-15.4958459428926	117.424734423285	-11.8479357065712	111.952924933477
3270993750	-5.81994512374229	-76.4620990017552	-17.5333998851573	87.7383112093707	-17.6474304894443	84.3652961176181	-12.0044576575477	105.201447631005
3271325000	-5.50656109472015	-88.0125701907495	-23.4345413467272	57.7466929678728	-23.6274886828063	54.7523434204866	-12.3548567565632	97.4194677180313
3271656250	-6.48437131913911	-97.0580148713025	-27.9337501389634	139.421751465717	-28.0710534748932	136.032200410557	-11.8148567457296	89.1189257364019
3271987500	-6.97667125188421	-95.177877512493	-22.2176150565628	115.203915811553	-22.384505742885	112.058415176264	-12.1850247003639	62.6786204405488
3272318750	-7.29798147381484	-103.92769904221	-25.3359023786133	114.192557198889	-25.5314937605946	111.439065075	-15.8050541051594	29.311852516768
3272650000	-11.3735732710091	-104.947680172558	-21.3032362156322	131.29404140836	-21.4592544159977	128.852525907379	-25.221603107336	-28.161177439346
3272981250	-11.0413280248392	-69.9418867177827	-21.0016197456006	104.571030169371	-21.1490117039521	102.215439149519	-24.9267117478317	-167.375905010882
3273312500	-7.85564282288019	-59.4713773852299	-20.7776367556093	116.283907020027	-20.8730607400785	113.243934436625	-18.3537024217577	167.061925916468
3273643750	-5.61008890962797	-68.9859411185175	-20.084769977146	100.156808142497	-20.147034208191	97.0743062305694	-15.2936721632104	131.923465119718
3273975000	-5.37671693504164	-76.8481363904573	-21.7879038834212	103.355617763857	-21.0264249055522	100.341207947007	-17.194026967009	104.339197270017
3274306250	-5.55209687962314	-78.9502782433586	-18.9517576921629	112.728072292757	-19.1097516670868	109.905847461853	-20.8245447360102	96.5747464201123
3274637500	-4.92872767494895	-78.809964497608	-17.4212741246387	94.1390215555359	-17.5725909628598	90.902774427234	-26.3978756661335	92.5064844915012
3274968750	-4.47447884197063	-84.9096234169567	-17.5637849913634	84.3725140910255	-17.7295518177514	81.5025064280578	-22.636544906168	156.501317304212
3275300000	-5.0798570564708	-89.3968388769327	-17.0456684320048	74.5481745694898	-17.2213373860458	71.9880232432662	-23.3800044743566	104.206128977146
3275631250	-5.01514965919557	-87.5796941945884	-18.3493374175387	55.6330835367664	-18.5060371737527	52.9960575648435	-21.618801598763	-136.972874983091
3275962500	-5.17848675741475	-89.6393521766695	-21.7445652332818	47.281537597063	-21.8839406298041	44.6150140738555	-17.0358542150547	-179.617946510878

Figura 3.5.1 Esempio matrice S

```

1 function [] = Kfactor(Spath)
2
3 for y=1:100
4     if (y == 13)
5         %faccio un ciclo for che salva i dati ottenuti dalle misurazioni
6         B=importdata([Spath int2str(y) '.s2p']);           %in una struttura B e poi estrae solo la matrice in A
7         A(:, :, y)=B.data;                               %per ogni misurazione
8     end
9 end
10
11 modulo=squeeze(A(:,4,:));
12 modulo=10.^(modulo/20);                                 %poi definisco le colonne modulo e fase
13 fase=squeeze(A(:,5,:))*pi/180;
14
15 for freq=1:1601
16     for c=1:100
17         Re(freq,c)=modulo(freq,c)*cos(fase(freq,c));
18         Im(freq,c)=modulo(freq,c)*sin(fase(freq,c));
19         S12(freq,c)= Re(freq,c)+Im(freq,c)*1i;
20     end
21 end
22
23 S12m=mean(S12,2);                                       %faccio la media di S12 e definisco il numeratore e denominatore di K
24 num=(abs(S12m)).^2;
25 den=(mean((abs(S12-S12m)).^2,2));
26 K=num./den;
27
28 plot(A(:,1,1),K);
29 ylabel('Kfactor');
30 xlabel('frequency [GHz]');
31
32 end
33

```

Figura 3.5.2 Codice K-factor

3.2.1 Dati K-factor

Seguono i dati ottenuti riguardo il calcolo del K-factor per ogni misurazione. I valori del K-factor presentati sono una media di ognuna delle 100 misure per tutte le frequenze valutate. Implica un valore medio di K per i 1601 intervalli di frequenza.

Mechanical stirring

- Antenna conica

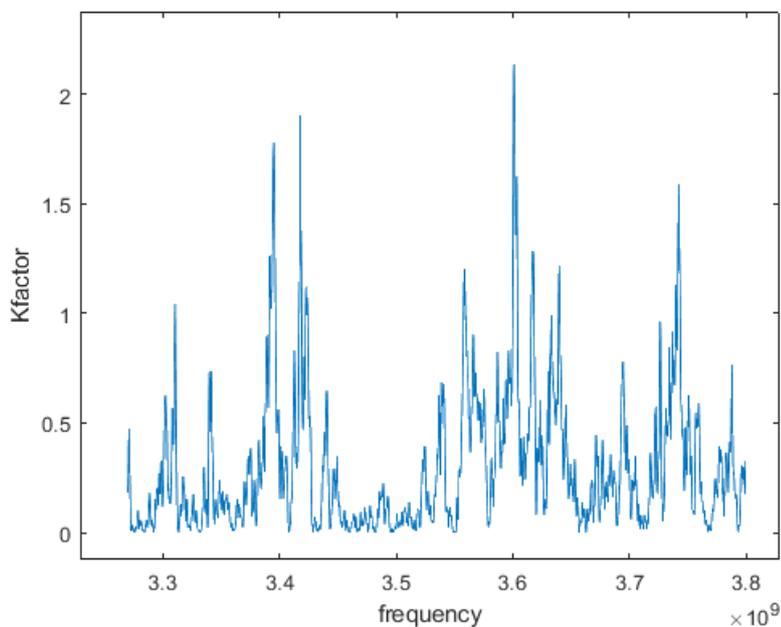


Figura 3.6.1 Faccia A,E

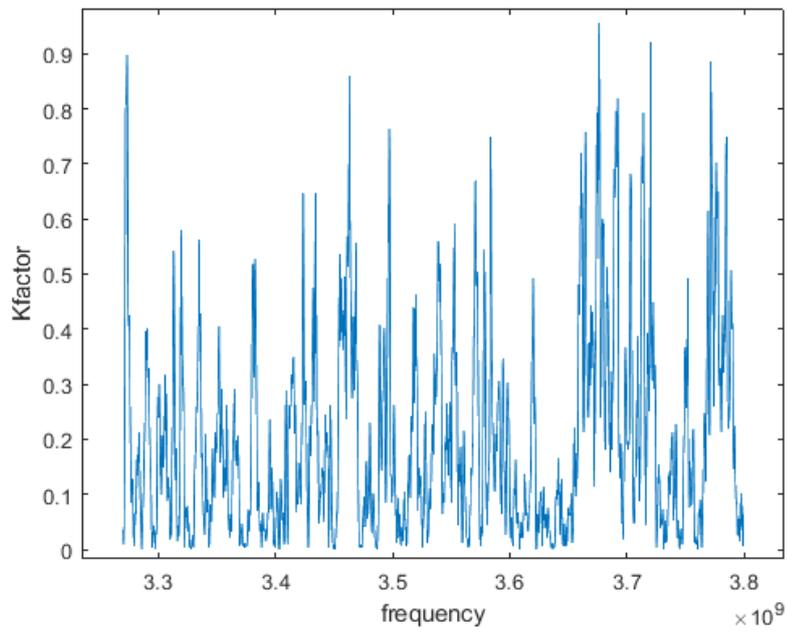


Figura 3.6.2 Faccia B,D

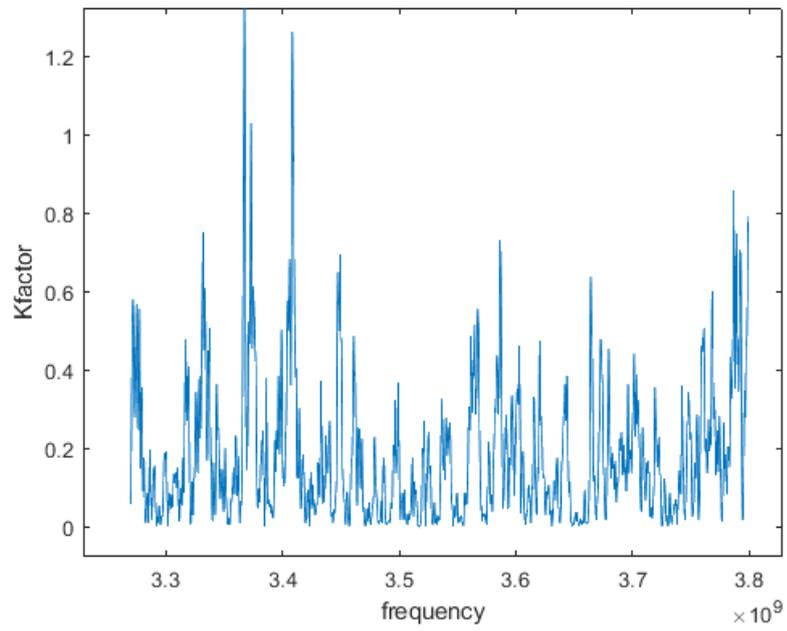


Figura 3.6.3 Faccia C,F

•Antenna monopolo

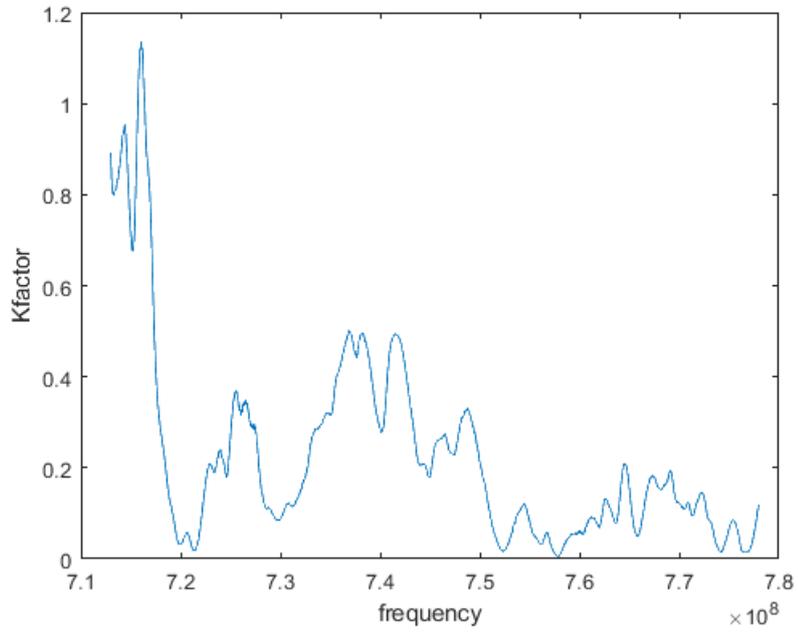


Figura 3.6.4 Faccia A,E

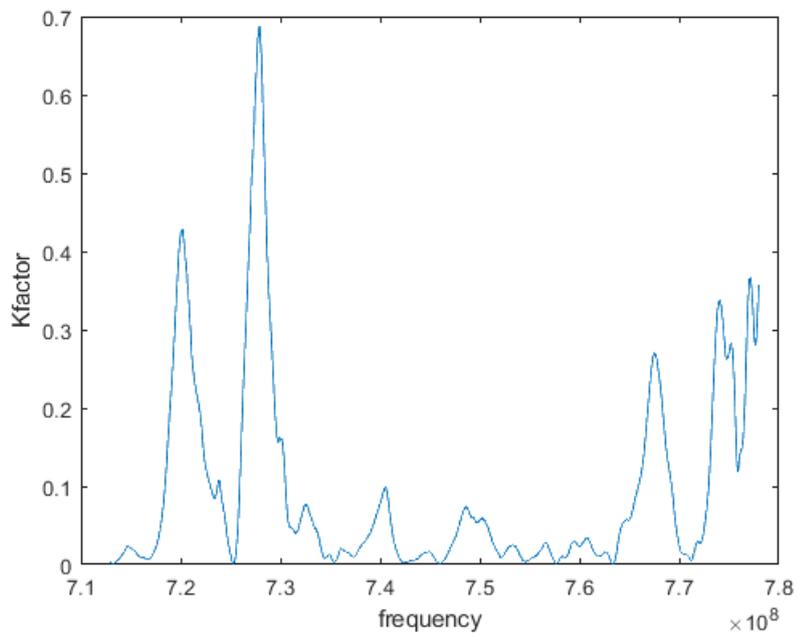


Figura 3.6.5 Faccia B,D

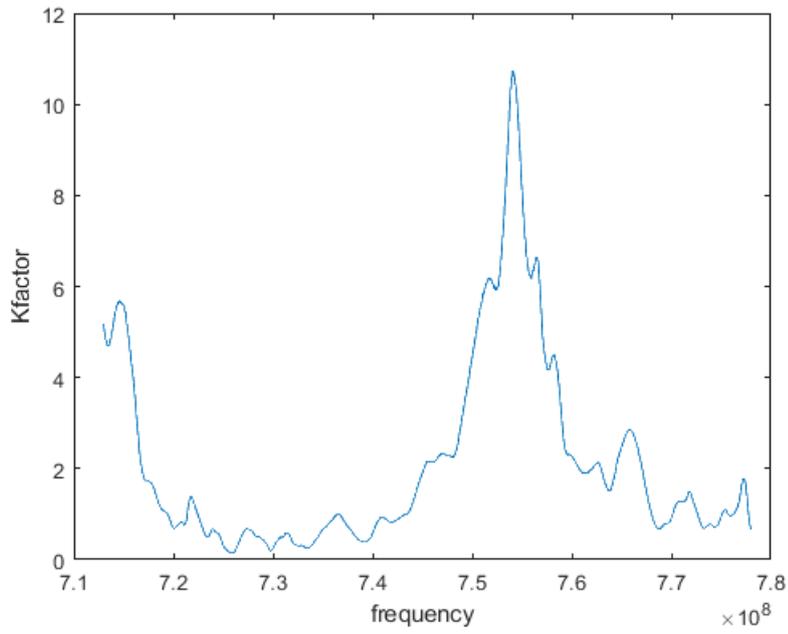


Figura 3.6.6 Faccia C,F

Source stirring

- Antenna conica

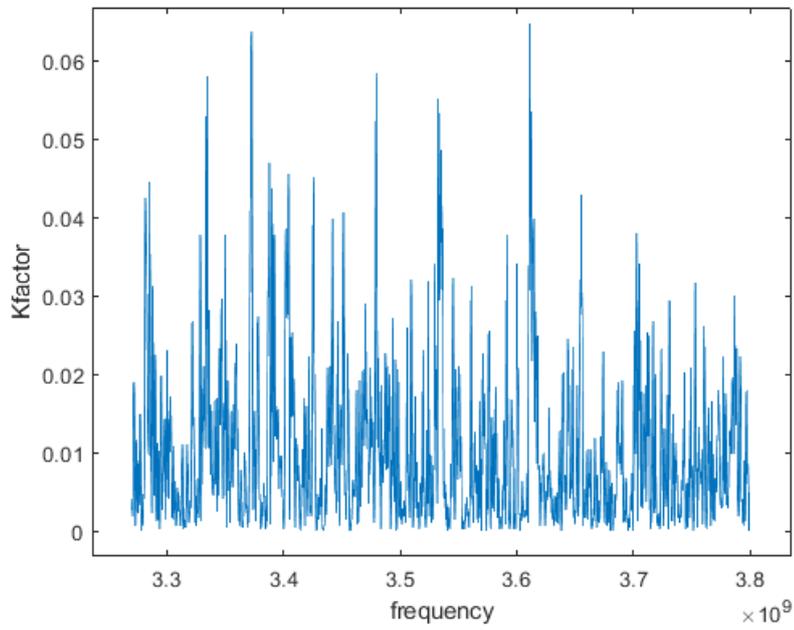


Figura 3.7.1 Faccia A,E

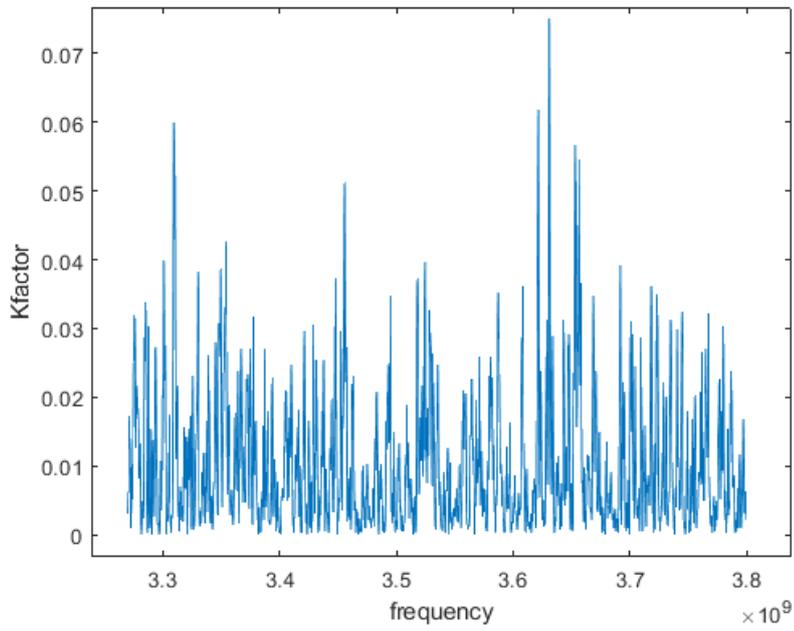


Figura 3.7.2 Faccia B,D

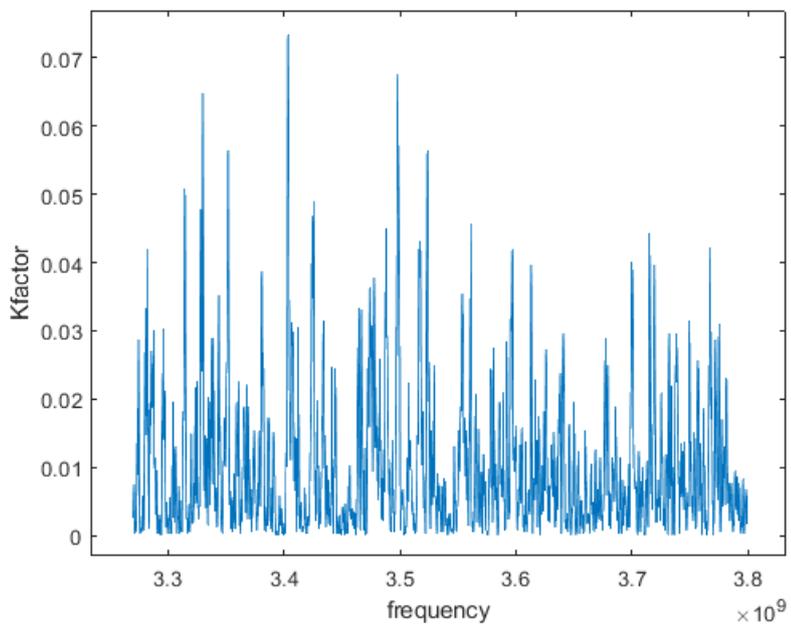


Figura 3.7.3 Faccia C,F

•Antenna Monopolo

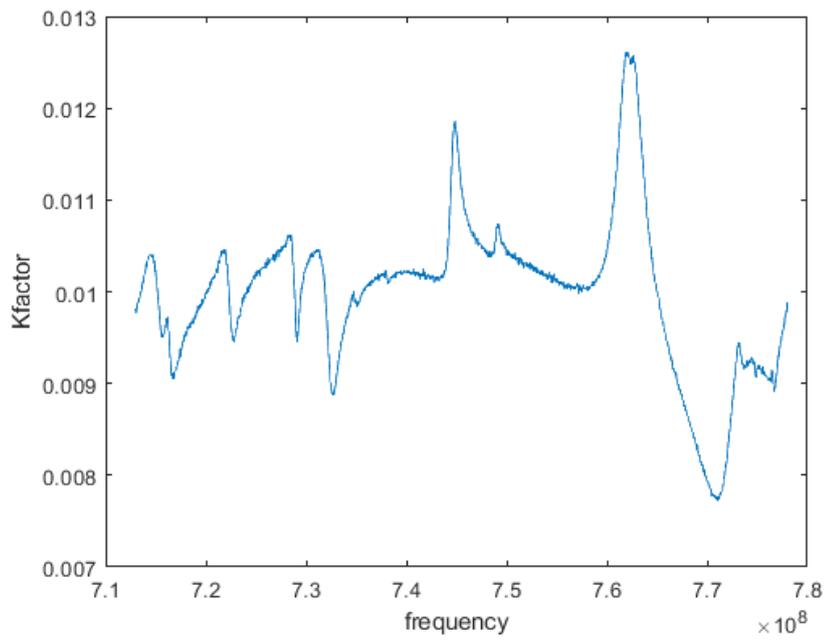


Figura 3.7.4 Faccia A,E

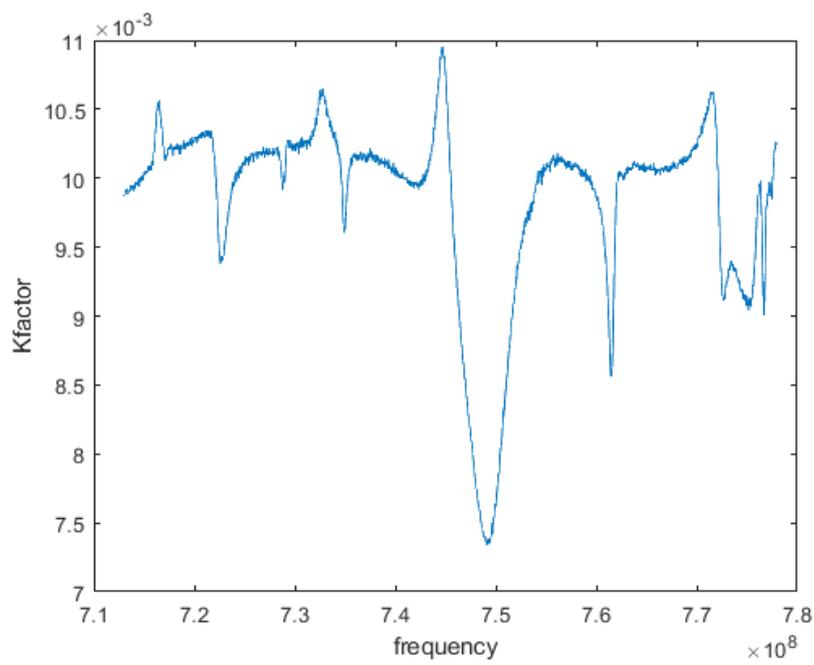


Figura 3.7.5 Faccia B,D

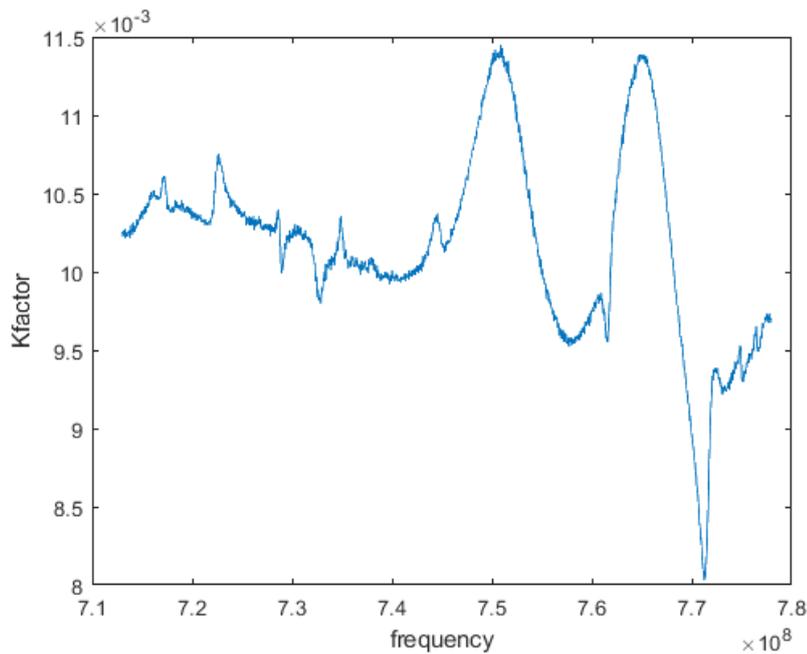


Figura 3.7.6 Faccia C,F

3.3 Algoritmo massimo k-factor

Il calcolo del valor medio del Rician K-factor, valutato per ogni frequenza su 100 misurazioni, fornisce però un valore molto basso e poco utile. Per cui si è optato per un'ottimizzazione del fattore Riciano tramite un ulteriore algoritmo. Figura 3.8 .

L'algoritmo consiste nel localizzare le frequenze con valori di K-factor maggiori e da queste estrarne l' S_{12} . Tramite la funzione "scatter" di Matlab si è in grado di ottenere un grafico nel piano di Gauss raffigurante un insieme di punti,

chiamati costellazione, rappresentanti ognuno una delle 100 misurazioni effettuate a quelle frequenze specifiche.

La definizione di K-factor fornisce una chiara spiegazione sui fattori che sono in grado di aumentare il K, ovvero un numeratore elevato e un denominatore minimo. Questa definizione corrisponde nel piano di Gauss a un punto molto distante dallo zero, che presenta in un suo intorno definito un numero di altri punti relativamente basso.

```
35 costDist = 1/2;
36 cont=0;
37
38 for k = 1:100
39     if (abs(S12(56)-S12(k))/abs(S12(56))<costDist) %Cercare punti vicini
40         cont = cont + 1; %cont alla fine mi dice quanti sono i punti vicini
41         vicini56R(cont,1) = S12imp(k,1); %v è un array con tutti i valori dei punti vicini
42         vicini56R(cont,2) = S12imp(k,2);
43     end
44 end
45
46 %calcolo k factor per i vicini%
47 vicini56 = vicini56R(:,1)+vicini56R(:,2)*j;
48 V56medio=mean(vicini56);
49 num56=(abs(V56medio)).^2;
50 den56=(mean((abs(vicini56-V56medio)).^2));
51 K56=num56./den56
52
53 %scatter%
54 scatter(vicini56R(:,1),vicini56R(:,2));
55 grid on;xlabel('Re');ylabel('Im');
56 axis([-1 1 -1 1]);
57
```

Figura 3.8 Algoritmo massimo K-factor

Riporto alcuni esempi per ogni tipo di antenna utilizzata.

•Antenna Monopolo con Source stirring Faccia A

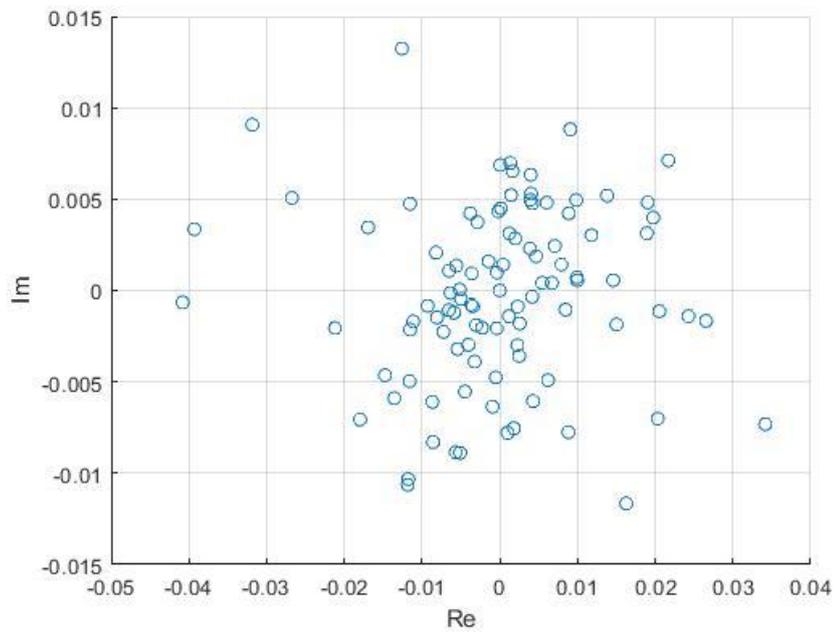


Figura 3.9.1 Frequenza 728.5 MHz

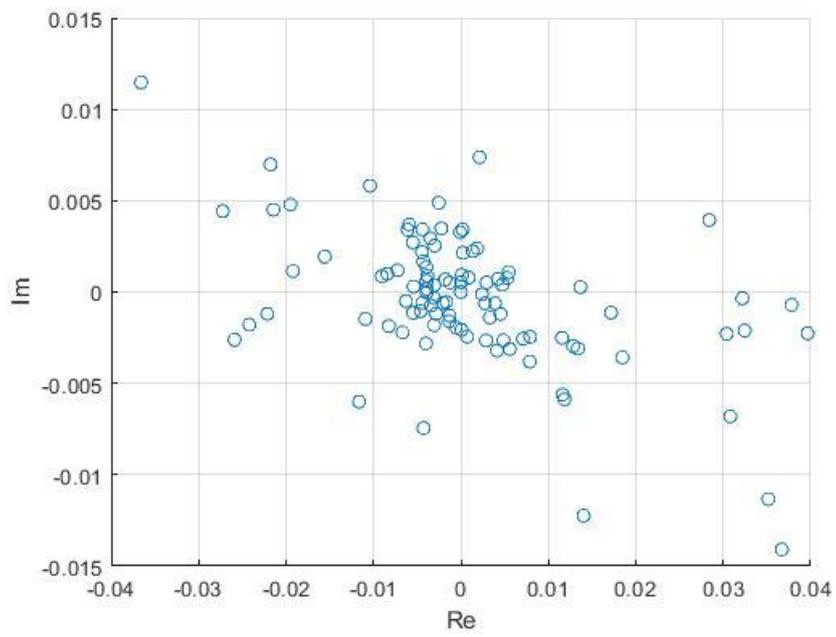


Figura 3.9.2 Frequenza 744.5 MHz

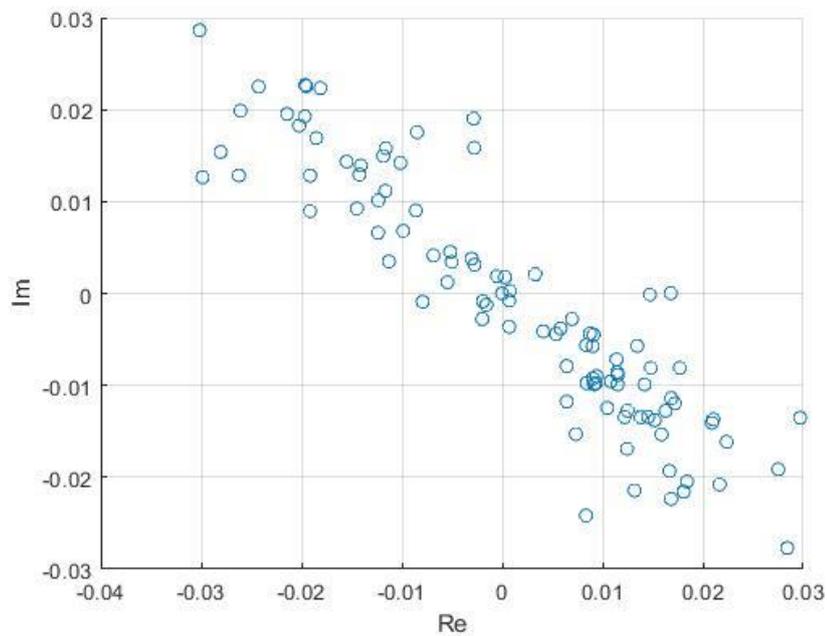


Figura 3.9.3 Frequenza 767 MHz

•Antenna Conica con Source stirring Faccia A

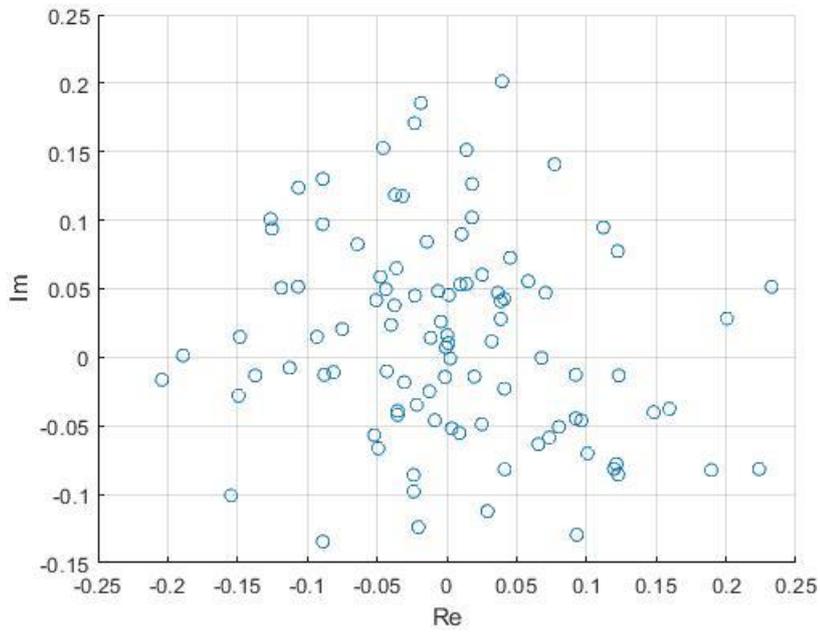


Figura 3.9.4 Frequenza 3.4 GHz

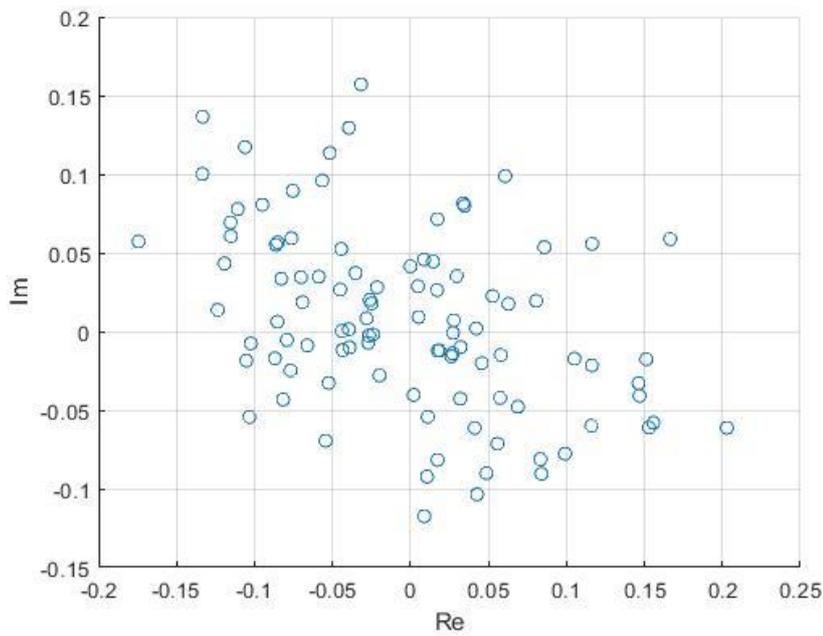


Figura 3.9.5 Frequenza 3.7 GHz

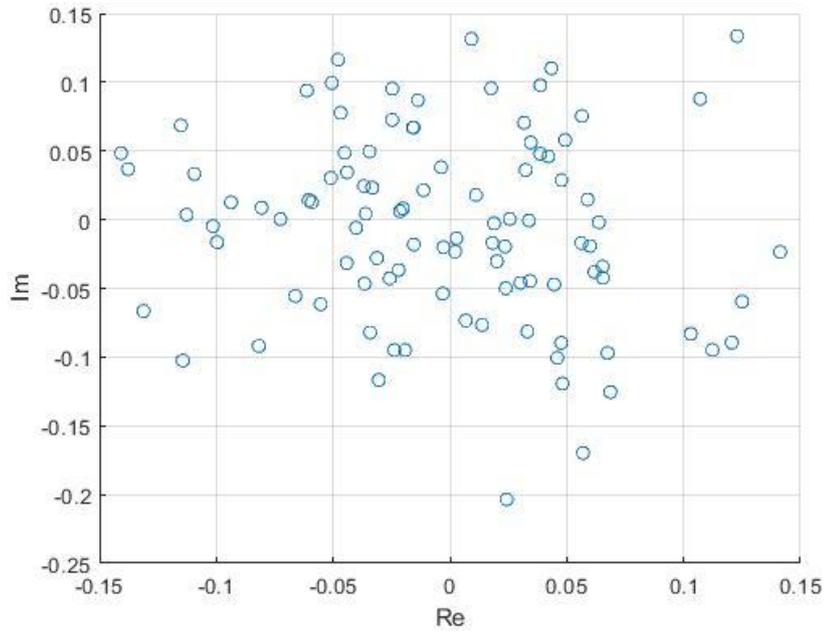


Figura 3.9.6 Frequenza 3.7 GHz

Capitolo 4 Risultati

4.1 Valutazioni

L'algoritmo di massimizzazione del Rician K-factor ha fornito buoni risultati aumentandolo, nel caso migliore, di un fattore circa 10.

Il caso in questione coincide con la misurazione effettuata con l'antenna a Monopolo, direzionata verso la faccia E, con l'utilizzo della tecnica del Source Stirling.

La frequenza esaminata è la 725 MHz che, nel caso totale, ha un valore di K-factor uguale a 0.0185. La stima è stata fatta nello specifico su due campioni:

Punto

56 con componenti [-0.15+0.032j]

39 con componenti [-0.02+0.132j]

Applicando l'algoritmo su questi punti e utilizzando più soglie, per l'intorno dei punti stessi, pari a $1/2$, $1/3$ e $2/3$, si ottengono i seguenti risultati:

SOGLIA	PUNTO 56	PUNTO 39
1/2	6.7684	24.2792
1/3	23.6631	24.2792
2/3	-	7.1329

4.2 Conclusione

Come ultimo paragrafo racchiudo alcune considerazioni sugli esiti finali dell'esperimento.

Si può osservare che con l'utilizzo delle tecniche di Mechanical stirring e Source stirring si è dimostrato ottimo per la distribuzione dei campi e la massimizzazione del K, nonostante le misurazioni siano state effettuate in maniera statica e non utilizzando pale e antenne in movimento continuo. Il metodo del Source stirring ha mostrato però delle prestazioni maggiori rispetto al Mechanical stirring.

Un aspetto degno di nota è stato la possibilità di aumentare il K-factor selezionando opportunamente i valori di S_{12} relativi alle diverse realizzazioni di campo, senza l'inserimento di elementi assorbenti che però intaccano e quindi abbassano il fattore di qualità della camera.

In conclusione l'esperimento ha avuto successo e ha fornito risultati simili a quelli posti come obiettivo iniziale.

Riferimenti

- Chen, X. ; Kildal, P. ; Carlsson, J. (2011) "Estimation of Average Rician K-factor in Reverberation Chamber". International Symposium on Antennas and Propagation
- Christopher L. Holloway, *Senior Member, IEEE*, David A. Hill, *Fellow, IEEE*, John M. Ladbury, Perry F. Wilson, *Fellow, IEEE*, Galen Koepke, and Jason Coder. "On the Use of Reverberation Chambers to Simulate a Rician Radio Environment for the Testing of Wireless Devices"
- Sathyaveer Prasad, Samer Medawar, Peter Händel, Claes Beckman: estimation of the Rician K-factor in reverberation chambers for improved repeatability in terminal antenna measurements
- www.it.Wikipedia.org