

Caratterizzazione di antenne di diverse tipologie in banda L in camera anecoica

F. Baroni,⁽¹⁾ S. Pilia ⁽¹⁾

⁽¹⁾ "Nello Carrara" Institute of Applied Physics, CNR Florence Research Area, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy

Indice

1 - Antenna a parabola in banda L	25
1.1 - Rilievo geometrico	25
1.2 - Setting	25
1.3 - Analisi in frequenza	27
1.4 - Diagrammi di radiazione	28
1.5 - Impedenza d'antenna.....	28
2 - Antenna a parabola in banda L (continuazione)	29
2.1 - Analisi in frequenza	30
2.2 - Diagrammi di radiazione	30
2.3 - Impedenza d'antenna.....	31
3 - Antenna tipo Yagi-Uda in banda L.....	32
3.1 - Caratteristiche geometriche	32
3.2 - Setting	32
3.3 - Analisi in frequenza	33
3.4 - Diagrammi di radiazione	33
3.5 - Impedenza d'antenna.....	34
4 - Antenna a schiera (array) in banda L	35
4.1 - Setting	35
4.2 - Analisi in frequenza	36
4.3 - Diagrammi di radiazione	36
4.4 - Impedenza d'antenna.....	38
References.....	38

1 - Antenna a parabola in banda L

1.1 - Rilievo geometrico

Sono state rilevate tutte le quote fondamentali del sistema costituito dal ricevitore del tipo dipolo-disco e dal riflettore a parabola. Il dipolo ha una lunghezza $L=105$ mm, quindi adatto a ricevere onde polarizzate linearmente di lunghezza d'onda approssimata pari a $\lambda=2L$, pari a 210 mm, a cui corrisponde la frequenza $f=c/\lambda$ pari a 1.427 GHz. Il diametro massimo del riflettore è $D=750$ mm. Il fuoco F del paraboloide è stato determinato tramite una serie di misure con righe e squadre metalliche da cui si ricavano i parametri dell'equazione della parabola da cui origina il paraboloide per rotazione intorno all'asse di simmetria sistemata in un opportuno sistema di coordinate (Fig. 1). Il fuoco è risultato essere a circa 245 mm di distanza dal vertice del paraboloide con qualche mm di approssimazione.

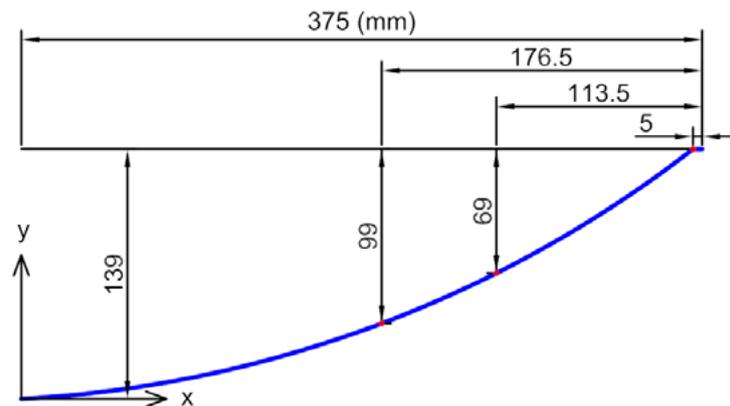


Fig. 1 – I punti rossi sono quelli per cui si è imposto il passaggio della parabola da cui origina il paraboloide.

1.2 - Setting

L'antenna a parabola è stata usata come ricevente. È stata montata su un cavalletto fotografico appoggiato su una piattaforma girevole. Il dipolo è stato per quanto possibile allineato all'asse di rotazione della piattaforma. L'antenna emittente con guadagno noto, VUSLP 9111 log-periodica a banda larga, era montata su un cavalletto in posizione fissa. Gli assi di simmetria delle due antenne sono stati posti in posizione orizzontale e coincidenti con le antenne rivolte l'una verso l'altra. La distanza tra le antenne è stata scelta in modo da essere la massima possibile compatibilmente con la lunghezza della camera anecoica in modo da essere maggiore della distanza di Fraunhofer $r=2D^2/\lambda$ dove D è la massima distanza tra due punti dell'antenna. Nel caso dell'antenna a parabola $D=750$ mm, e per $\lambda=210$ mm risulta $r=5360$ mm. La distanza di Fraunhofer per la VSLP 9111 è senza dubbio minore perché minore è la sua dimensione maggiore. Il setup soddisfa la condizione di Fraunhofer con una certa approssimazione.

Durante una serie di misure preliminari è emerso che il massimo del segnale ricevuto dall'antenna a parabola non era in corrispondenza del dipolo posto nel fuoco F della stessa ma bensì in una posizione più distante rispetto al vertice di qualche cm. È stata avanzata l'ipotesi che ciò fosse imputabile al fatto che l'onda emessa dall'antenna emittente non può essere approssimata con un'onda piana in corrispondenza della parabola ma bensì con un'onda sferica a causa della brevità della distanza tra le due antenne. Infatti in questo caso i raggi incidenti sulla parabola incontrano l'asse del paraboloide in punti che stanno oltre il fuoco F rispetto al vertice (Fig. 3). Si è pensato quindi di eseguire due serie di misure: una con il dipolo posto nel fuoco F e un'altra con il dipolo posto nel punto di massimo del segnale determinato sperimentalmente muovendo a mano il dipolo stesso (chiamato "fuoco massimizzato").

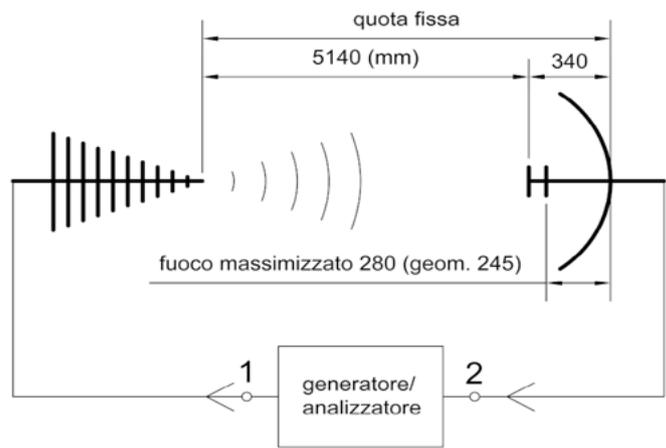


Fig. 2 - Setting dell'antenna a parabola.

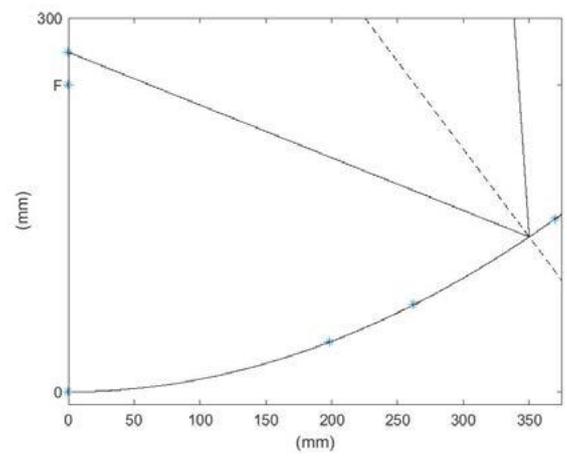


Fig. 3 - Scostamento dal fuoco F di un raggio incidente proveniente da un punto posto a circa 5 m di distanza dal riflettore a parabola.

L'antenna VUSLP 9111 è polarizzata linearmente. Nel setting era sistemata in modo da avere il campo elettrico orizzontale. Complessivamente sono state eseguite 4 scansioni polari come in Tab. 1.

Tab. 1 – Scansioni polari.

Posizione dipolo	Orientazione dipolo	
fuoco massimizzato	H	co-polare, piano E
fuoco massimizzato	V	cross-polare, piano H
fuoco geometrico	H	co-polare, piano E
fuoco geometrico	V	cross-polare, piano H

Ogni scansione polare è costituita da una serie di misure per ogni ° a partire da -180° e a finire con 180° ruotando la piattaforma girevole. La posizione a 0° era riferita agli assi delle antenne coincidenti con antenne guardanti l'una verso l'altra. Per ogni posizione viene eseguita una serie di misure al variare della frequenza tra 1.35 e 1.45 GHz a passi di 1 MHz. Le misure co-polari sono state ottenute con il dipolo della parabola orizzontale, mentre quelle cross-polari ruotando il dipolo di 90°. L'attenuazione dei cavi coassiali di collegamento è stata misurata collegandoli tra loro senza le antenne interposte.

Non sono state eseguite le misure con il piano di polarizzazione del campo elettrico incidente verticale anziché orizzontale, ciò comporta l'impossibilità di produrre il diagramma di radiazione nel piano H con relativo angolo a -3 dB per la co-polarizzazione e lo stesso diagramma nel piano E per la cross-polarizzazione.

1.3 - Analisi in frequenza

L'analizzatore (Fig. 2) produce in uscita 4 segnali: S_{11} , S_{22} , S_{12} e S_{21} corrispondenti agli elementi della matrice di scattering S (2x2) della black box a 2 ingressi costituita dal sistema delle due antenne, dallo spazio libero e dai cavi di collegamento. Per esempio S_{21} è il guadagno lineare complesso, ossia il rapporto tra la tensione emessa dal morsetto 1 e ricevuta dal morsetto 2 con relativo sfasamento. Lo stesso vale per gli altri 3 segnali. Per trovare il guadagno dell'antenna a parabola si è evidentemente interessati al guadagno logaritmico scalare espresso in dB ($S_{21}db$) che viene ottenuto da S_{21} mediante la formula $S_{21}db=20\log_{10}|S_{21}|$, dove $|S_{21}|$ è il guadagno lineare e cioè il modulo di S_{21} . La presenza del fattore 20 si spiega perché S_{21} è proporzionale alla tensione, mentre al fine di trovare il guadagno dell'antenna si è interessati a misurare la potenza $P=V^2/R$. Nel grafico di Fig. 4 si osserva una sensibile differenza nel guadagno a 0°, che teoricamente deve corrispondere al guadagno massimo in funzione della frequenza f , nelle due configurazioni del dipolo. Quando l'antenna è operativa in condizioni normali il dipolo va posizionato nel fuoco geometrico F.

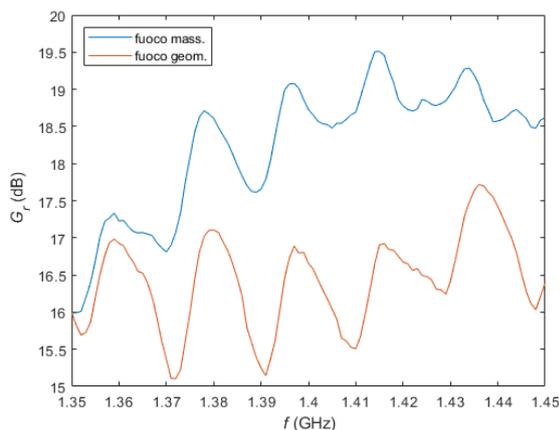


Fig. 4 – Guadagni a 0° co-polari della parabola

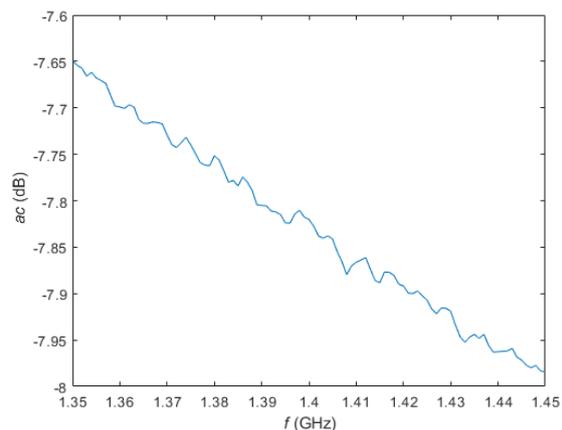


Fig. 5 – Attenuazione dei cavi.

Il guadagno della parabola è stato calcolato con la formula $G_r=S_{21}db-ac-G_t+fspl$ dove $S_{21}db$ è il sopra menzionato guadagno logaritmico scalare, ac è l'attenuazione dei cavi, G_t è il guadagno isotropico dell'antenna VUSLP 9111 e $fspl$ (free-space path loss) è l'attenuazione di spazio libero ottenuto con la formula $fspl=20\log_{10}(4\pi df/c)$ dove d è

la distanza tra le due antenne, f la frequenza e c la velocità della luce. I valori ottenuti per il guadagno massimo e per l'angolo a -3 dB, detto anche *HPBW* (half power beamwidth), sono compatibili con quelli ottenuti teoricamente mediante le formule $G_{max}=20\log_{10}(\pi D/\lambda)\approx 20.9$ dB e $HPBW=1.22\lambda/D\approx 19.8^\circ$.

1.4 - Diagrammi di radiazione

I diagrammi di radiazione sono stati costruiti per la frequenza a cui corrisponde il massimo del guadagno co-polare a 0° per fuoco geometrico e massimizzato (Fig. 4).

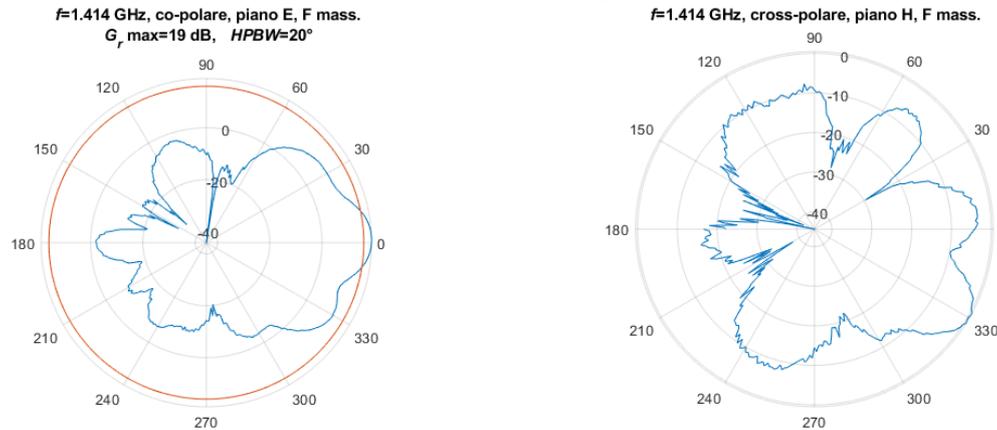


Fig. 6 – Diagrammi di radiazione della parabola con fuoco massimizzato. Il cerchio rosso è a -3 dB rispetto al massimo.

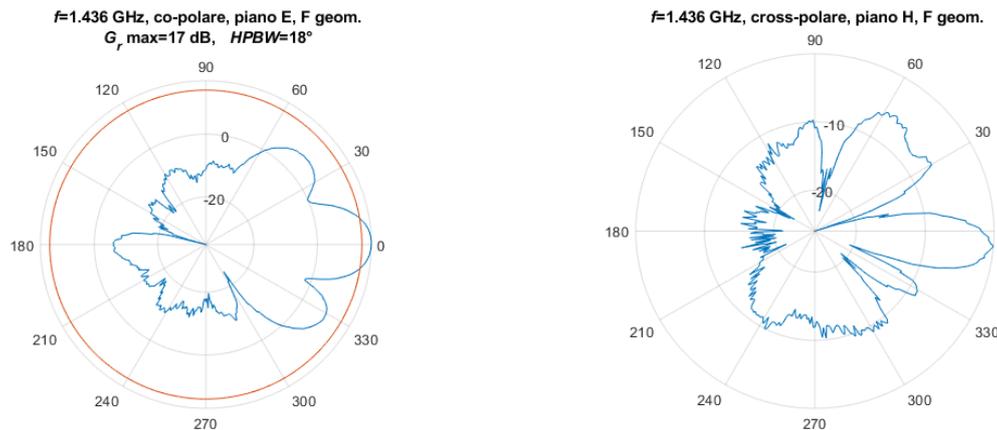


Fig. 7 – Diagrammi di radiazione della parabola con fuoco geometrico. Il cerchio rosso è a -3 dB rispetto al massimo.

1.5 - Impedenza d'antenna

Al fine di adattare l'impedenza al radiometro è stata determinata l'impedenza caratteristica di antenna $Z_a=R+iX$ a partire da S_{22} in base alla formula $\Gamma(l)=(Z_{ing}(l)-Z_0)/(Z_{ing}(l)+Z_0)$, dove $\Gamma(l)=S_{22}$ è il coefficiente di riflessione della porta 2 dell'analizzatore, $Z_{ing}(l)=Z_0[Z_A+iZ_0\tan(2\pi fl/v)]/[Z_0+iZ_A\tan(2\pi fl/v)]$ è l'impedenza d'ingresso del sistema fatto dal cavo coassiale di collegamento e dalla parabola, Z_0 è l'impedenza caratteristica del cavo pari a 50Ω , l è la lunghezza del cavo, i è l'unità immaginaria, f è la frequenza e v è la velocità di propagazione del segnale che è $v=c/\sqrt{\epsilon_r}$ dove c è la velocità della luce nel vuoto e ϵ_r è la costante dielettrica relativa del dielettrico all'interno del cavo. Assumendo per il teflon $\epsilon_r=2.1$, v risulta circa il 70% di c . Z_A è l'unica soluzione fisicamente sensata dell'equazione di 2° grado sopra in funzione di l , λ e Z_0 . L'attenuazione del cavo è stata trascurata.

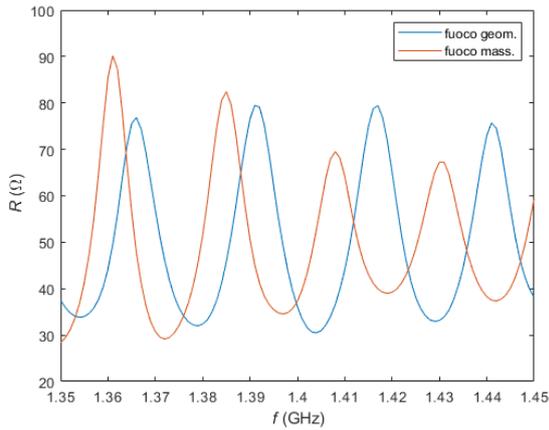


Fig. 8 - Resistenza R.

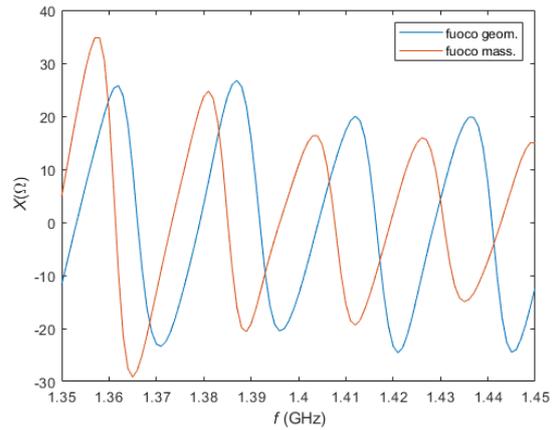


Fig. 9 - Reattanza X.

I valori medi approssimati per R e X risultano rispettivamente 50 e 0 Ω . Non ci sono differenze significative usando S_{22} delle varie serie di misure effettuate. La lunghezza l del cavo non era precisamente nota ed è stata assunta in modo ragionevole pari a 3 m. È stato calcolato anche il rapporto di onda stazionaria (ROS) con la formula. $ROS=(1+|\Gamma|)/(1-|\Gamma|)$.

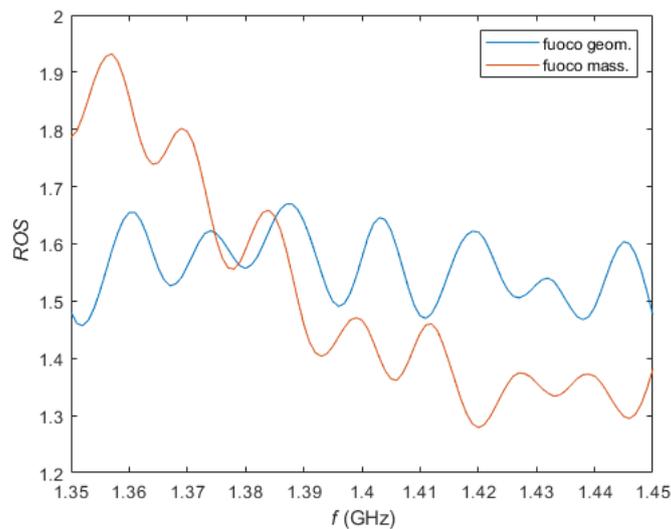


Fig. 10 ROS.

2 - Antenna a parabola in banda L (continuazione)

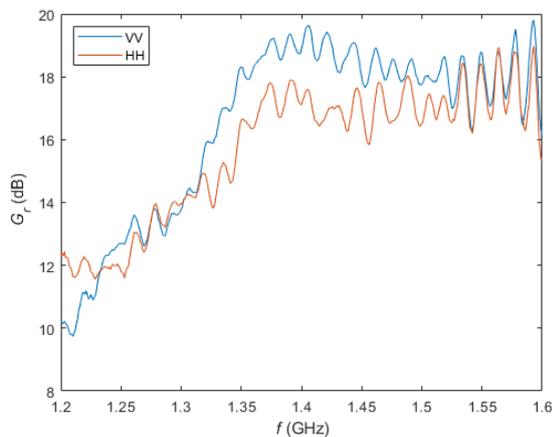
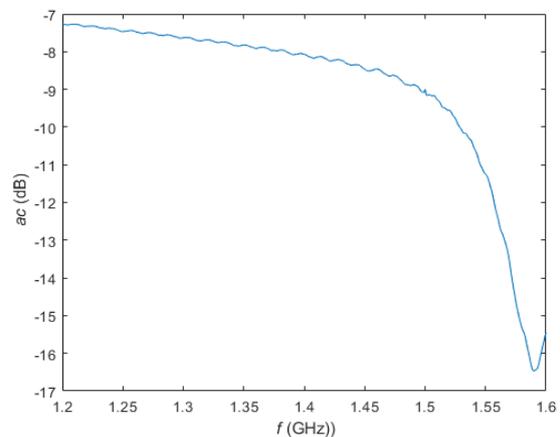
A seguito di una rottura e successiva riparazione e per via di alcune misure non effettuate nella sessione precedente la caratterizzazione della parabola è stata ripetuta. Il setting è identico al precedente salvo piccole differenze nelle misure, in particolare la distanza tra la VULSP 9111 e il disco del ricevitore della parabola è 4943 mm e tra il disco e il vertice della parabola 355 mm. La posizione del dipolo rispetto al riflettore corrisponde a quella che è stata definita nel capitolo precedente come “fuoco massimizzato” ed è stata riottimizzata per l'occasione. È stata eseguita una serie di scansioni da 1.2 a 1.6 GHz con passo di 1 MHz su tutto l'angolo giro con passo di 1° per ciascuna delle combinazioni della polarizzazione come in Tab. 2.

Tab. 2 – Scansioni polari.

Posizione dipolo parabola	Orientazione VULSP 9111	
V	V	co-polare, piano H
V	H	cross-polare, piano H
H	V	cross-polare, piano E
H	H	co-polare, piano E

2.1 - Analisi in frequenza

I cavi chiusi su se stessi mostrano nel grafico di Fig. 12 un tipico picco di attenuazione dovuto ad un disadattamento di impedenza. Se questo disadattamento non è intrinseco ai cavi ma è dovuto al montaggio degli stessi potrebbe non essere più presente quando essi sono collegati alle antenne. In questo caso si ha una sovrastima dell'attenuazione dei cavi che si ripercuote nel grafico Fig. 11 che a destra della risonanza intorno a 1.4 GHz non è più rappresentativo del reale comportamento della parabola.

**Fig. 11** – Guadagni co-polari a 0° della parabola.**Fig. 12** – Attenuazione dei cavi.

2.2 - Diagrammi di radiazione

I diagrammi di radiazione sono stati calcolati per i valori della frequenza corrispondenti ai massimi del guadagno in co-polare per fuoco massimizzato e geometrico. Detti massimi non sono i massimi assoluti dei grafici di Fig. 11 ma bensì nell'intervallo a sinistra di 1.45 GHz. Questo per tener conto dell'andamento anomalo di detti grafici a destra della risonanza probabilmente introdotta dai cavi coassiali come discusso nella sezione precedente.

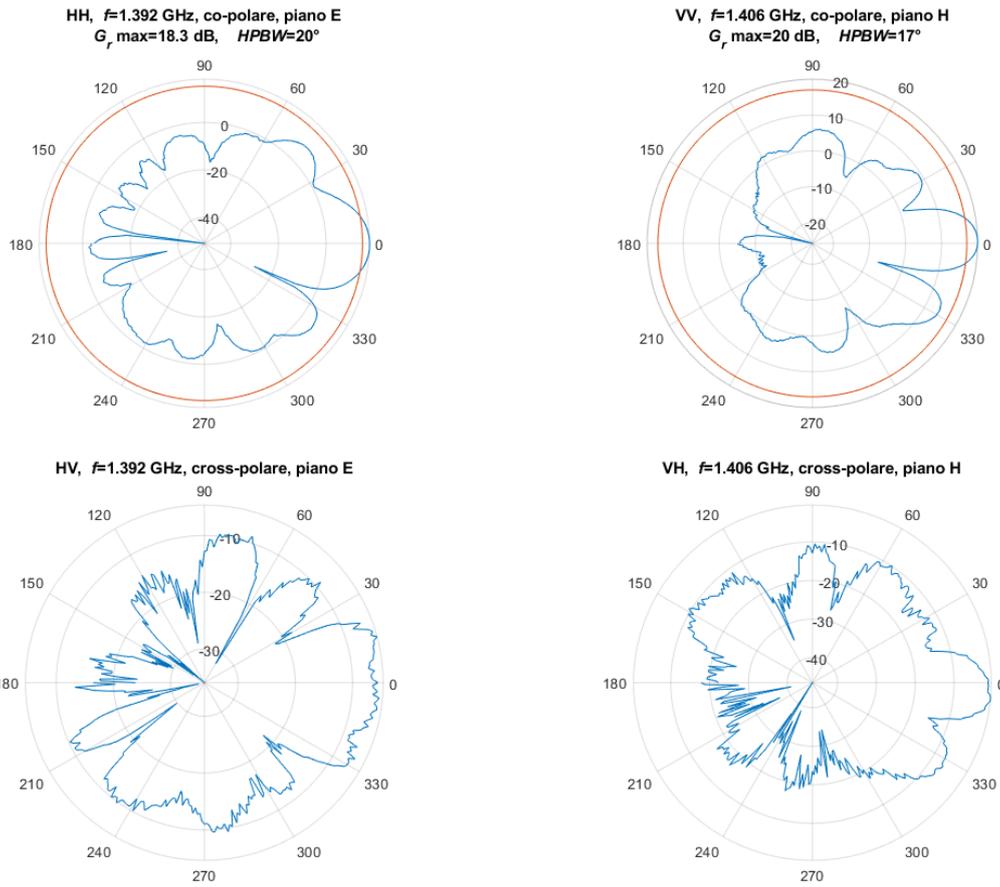


Fig. 13 - Diagrammi di radiazione della parabola. Il cerchio rosso è a -3 dB dal massimo.

2.3 - Impedenza d'antenna

L'analisi procede come nella sezione corrispondente del capitolo precedente. In particolare è stata trascurata l'attenuazione del cavo coassiale.

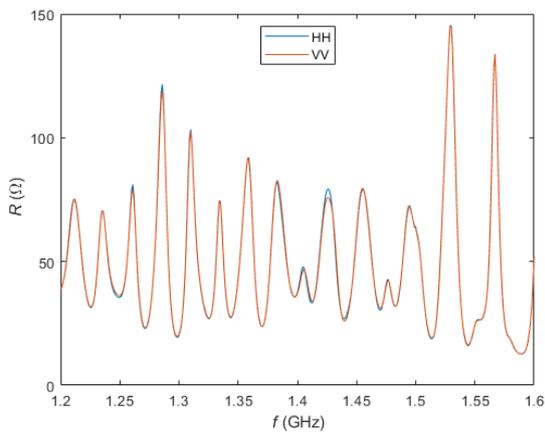


Fig. 14 - Resistenza R.

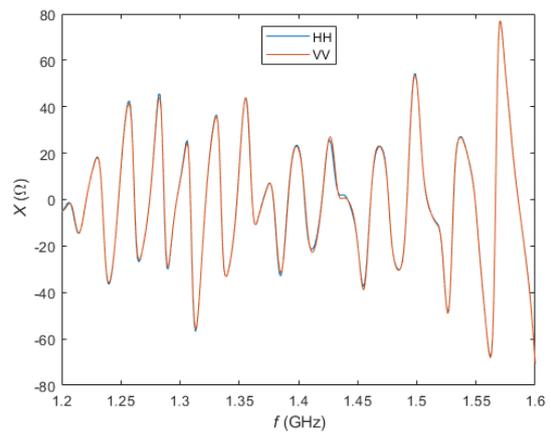


Fig. 15 - Reattanza X.

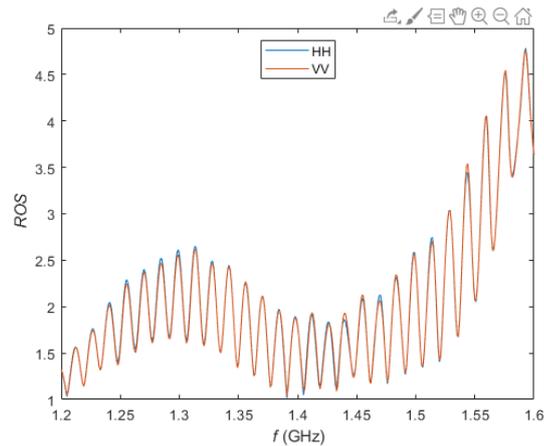


Fig. 16 – ROS.

3 - Antenna tipo Yagi-Uda in banda L

3.1 - Caratteristiche geometriche

L'antenna in esame è costituita da due antenne tipo Yagi-Uda coassiali ed orientate a 90° tra loro (qui chiamate Yagi-Uda 1 e Yagi-Uda 2). Si rilevano deformazioni sensibili dei componenti dell'antenna non risolvibili a mano che potrebbero essere all'origine di alterazioni nei risultati finali. Altre alterazioni potrebbero essere causate da imprecisioni del setup.

3.2 - Setting

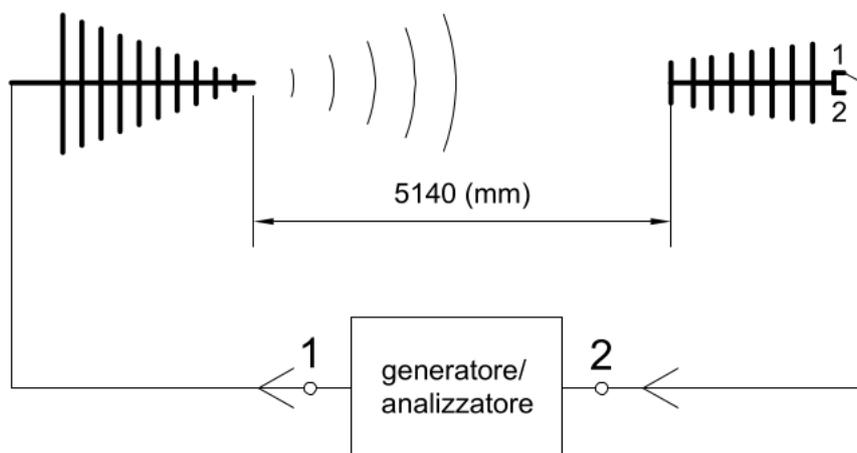
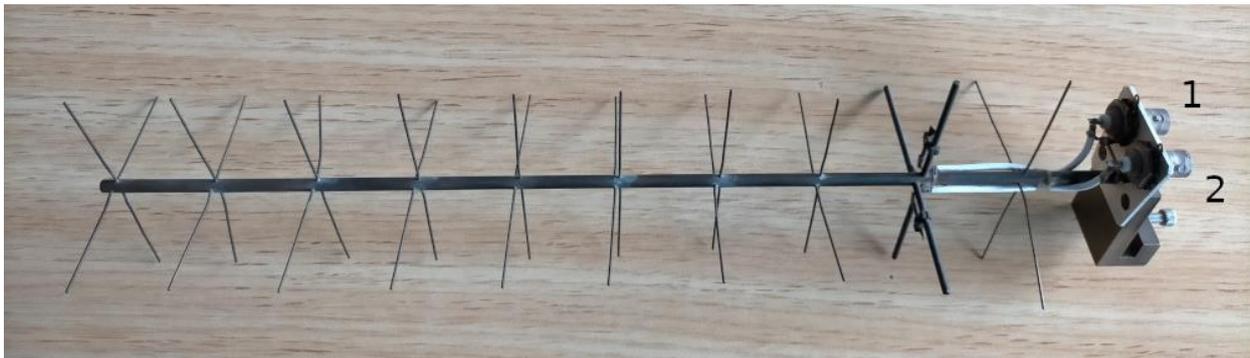


Fig. 17 – Setting antenna Yagi-Uda.

Il setup è identico a quello per l'antenna a parabola. Complessivamente sono state eseguite 4 scansioni polari come in Tab. 3.

Tab. 3 Scansioni polari.

Orientazione VUSLP 9111	Connettore Yagi-Uda	
H	1 (H)	co-polare, piano E
H	2 (V)	cross-polare, piano H
V	2 (V)	co-polare, piano H
V	1 (H)	cross-polare, piano E

La Yagi-Uda non ha mai subito spostamenti rispetto al cavalletto su cui era montata salvo commutare l'attacco del cavo coassiale verso l'analizzatore tra le due uscite, ragion per cui sono assenti le misure corrispondenti alla tabella sopra ma con Yagi-Uda ruotata di 90°. Visti i risultati ottenuti non si è proceduto al completamento delle scansioni mancanti.

3.3 - Analisi in frequenza

L'analisi procede esattamente come per l'antenna a parabola.

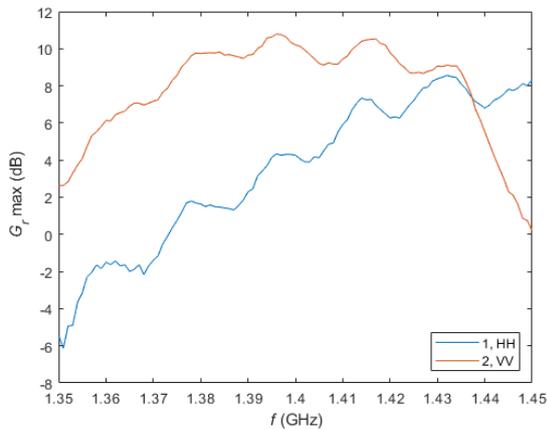


Fig. 18 – Guadagni a 0° co-polari delle due Yagi-Uda.

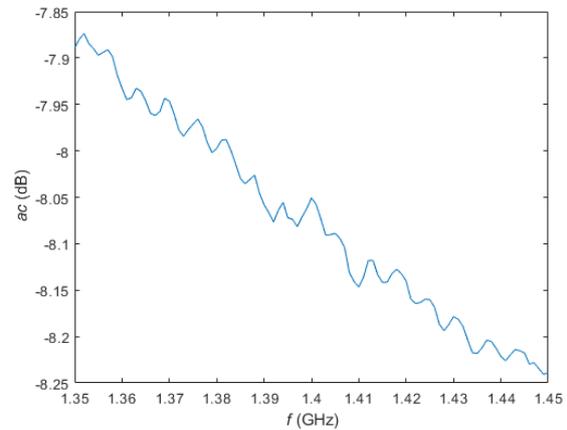


Fig. 19 – Attenuazione dei cavi.

3.4 - Diagrammi di radiazione

I diagrammi di radiazione mostrano sensibili deformazioni rispetto a quanto atteso forse a causa delle deformazioni geometriche dell'antenna. Inoltre il guadagno co-polare massimo risulta sensibilmente più basso rispetto alla parabola e all'array oltretutto con una differenza più ridotta rispetto al guadagno massimo in cross-polare.

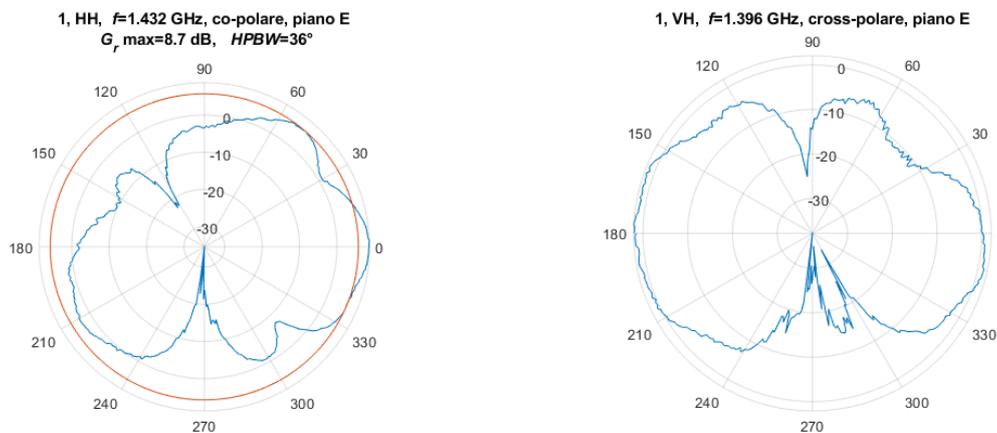


Fig. 20 – Due diagrammi di radiazione della Yagi-Uda 1.

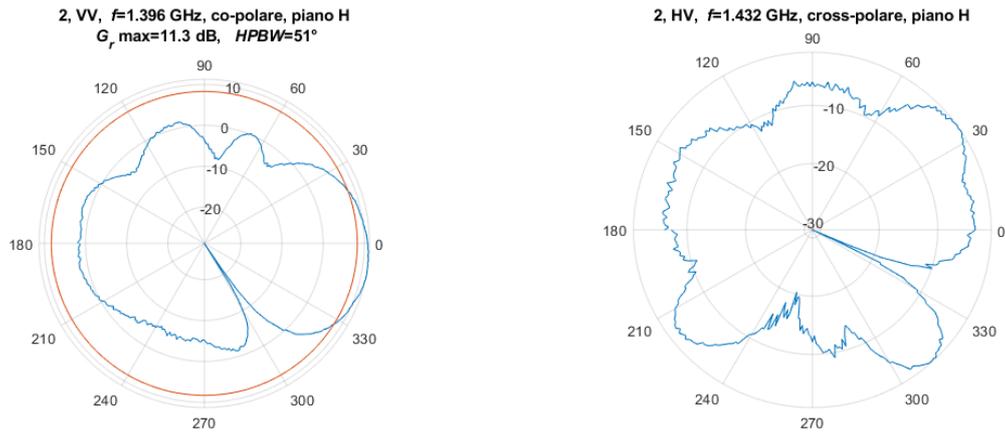


Fig. 21 – Due diagrammi di radiazione della Yagi-Uda 2.

3.5 - Impedenza d'antenna

L'analisi procede esattamente come per l'antenna a parabola.

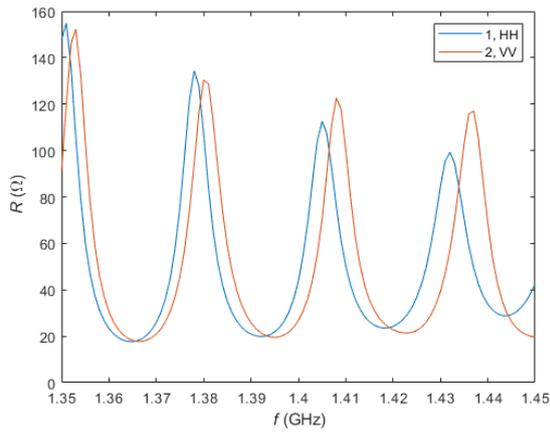


Fig. 22 – Resistenza R .

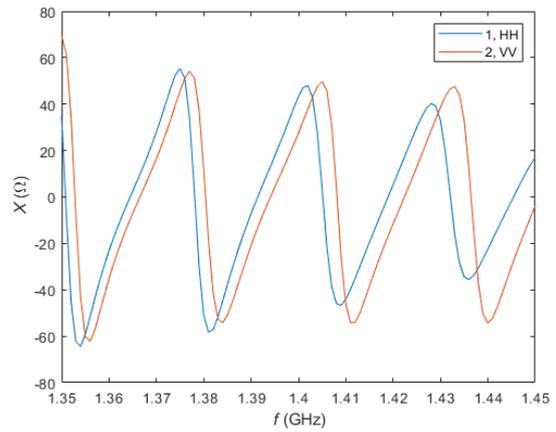


Fig. 23 – Reattanza X .

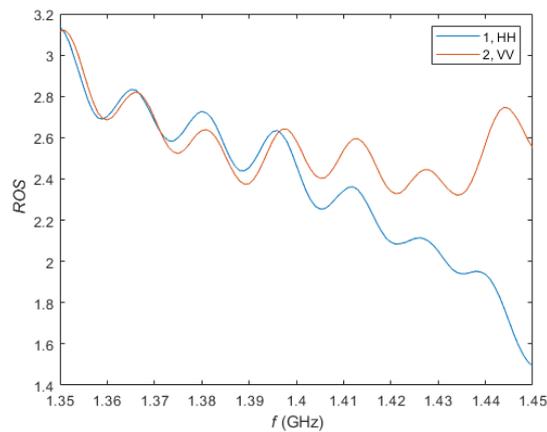


Fig. 24 – ROS.

4 - Antenna a schiera (array) in banda L

4.1 - Setting

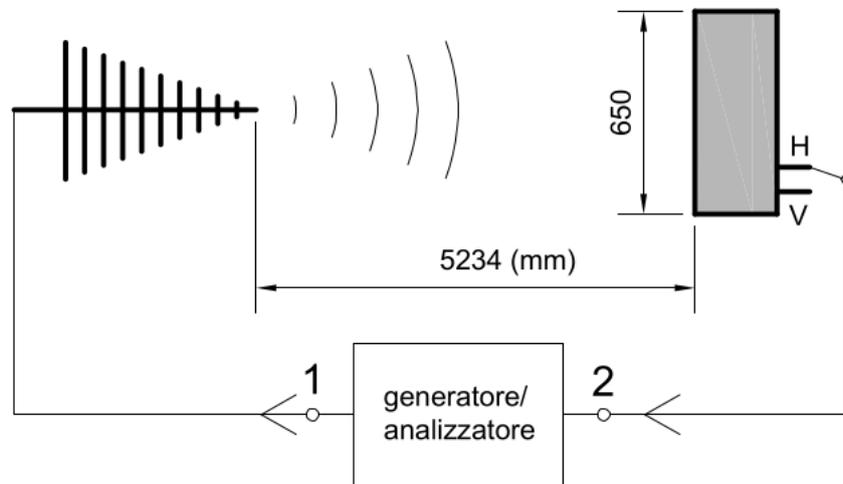


Fig. 25 - Setting dell'antenna a schiera.

Il setting è come per le antenne sopra con distanza tra VULSP 9111 e array di 5234 mm. L'array è contenuta in un cassone a forma di parallelepipedo a base quadrata con lato di 650 mm. La distanza di Fraunhofer $r=2D^2/\lambda$, dove D è la distanza massima tra due punti dell'antenna che si assume pari a $650\sqrt{2}\approx 900$ mm e $\lambda=210$ mm la lunghezza d'onda, risulta essere $r=7700$ mm. Va comunque osservato che D è stata calcolata in base alla dimensione della cassa che risulta certamente maggiore di quella dell'antenna vera e propria anche se non si sa di quanto perché non si è proceduto allo smontaggio. Nella tabella sotto la posizione dell'array "dritta" (D) significa per convenzione con i connettori H e V posti uno sopra all'altro e "rovescia" (R) girata di 90°

rispetto a dritta. Con questa convenzione i connettori indicano la reale polarizzazione dell'antenna in posizione dritta. Sono state eseguite le seguenti 8 scansioni come in Tab. 4.

Tab. 4 – Scansioni polari.

Posizione array	Connettore array	Orientazione VULSP 9111	
dritta (D) V	H	H	co-polare, piano E
D	V	H	cross-polare, piano H
D	V	V	co-polare, piano H
D	H	V	cross-polare, piano E
rovescia (R) H	H	V	co-polare, piano H
R	V	V	cross-polare, piano E
R	V	H	co-polare, piano E
R	H	H	cross-polare, piano H

4.2 - Analisi in frequenza

Dalla posizione dei massimi del guadagno in funzione della frequenza e dell'angolo si evince un offset medio di 2° nell'orientazione nel piano orizzontale dell'array che è stato tenuto in conto nell'analisi delle misure (Fig. 26, Fig. 27). L'attenuazione dei cavi è la stessa di Fig. 12.

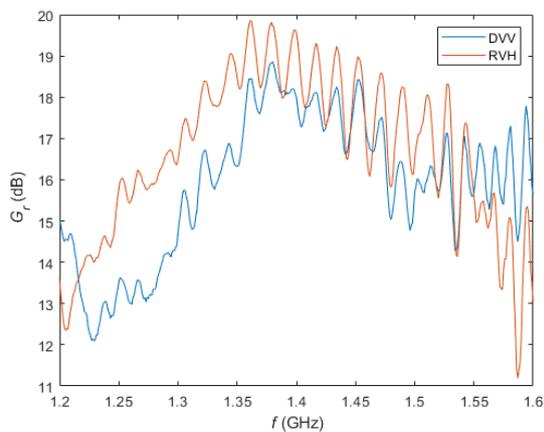


Fig. 26 – Guadagni a 2° co-polari relativi al connettore H.

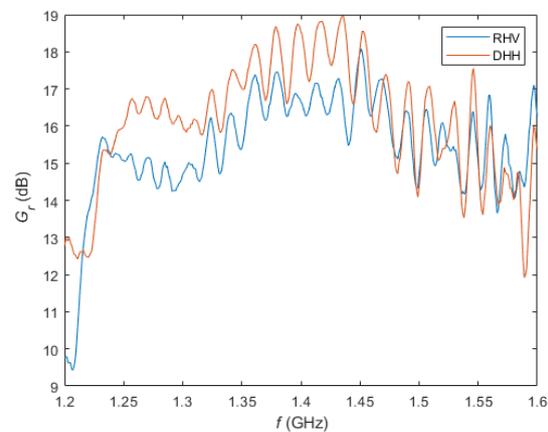


Fig. 27 – Guadagni a 2° co-polari relativi al connettore V.

4.3 - Diagrammi di radiazione

L'analisi procede esattamente come per l'antenna a parabola.

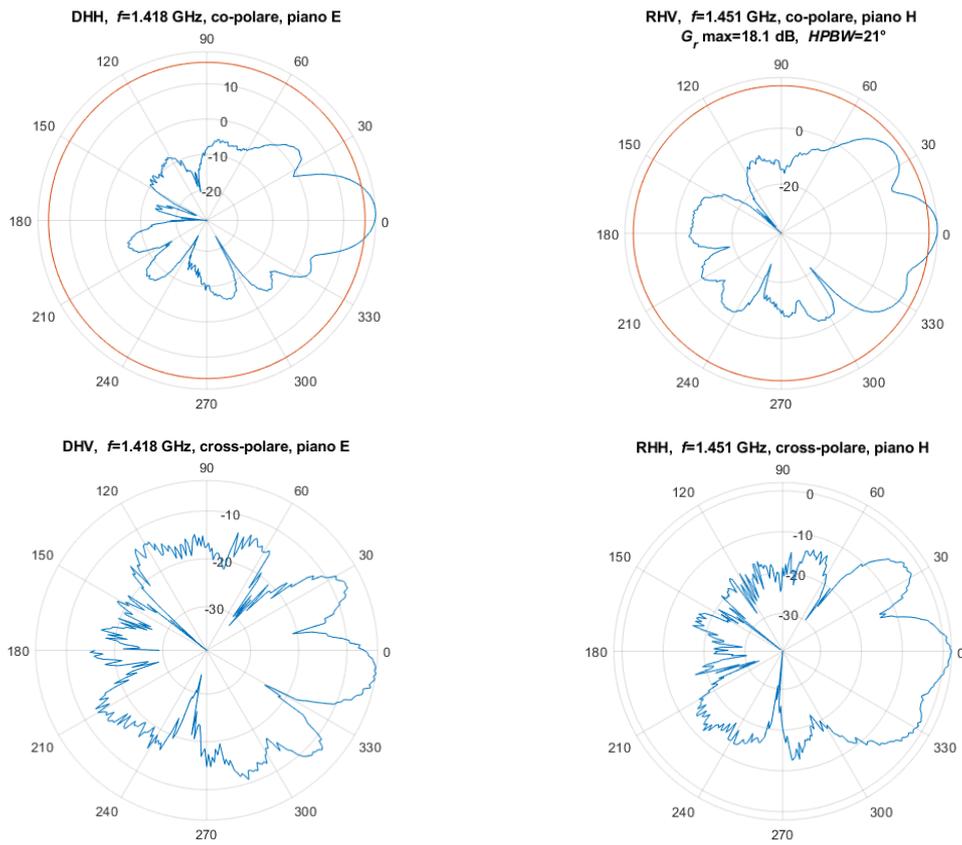
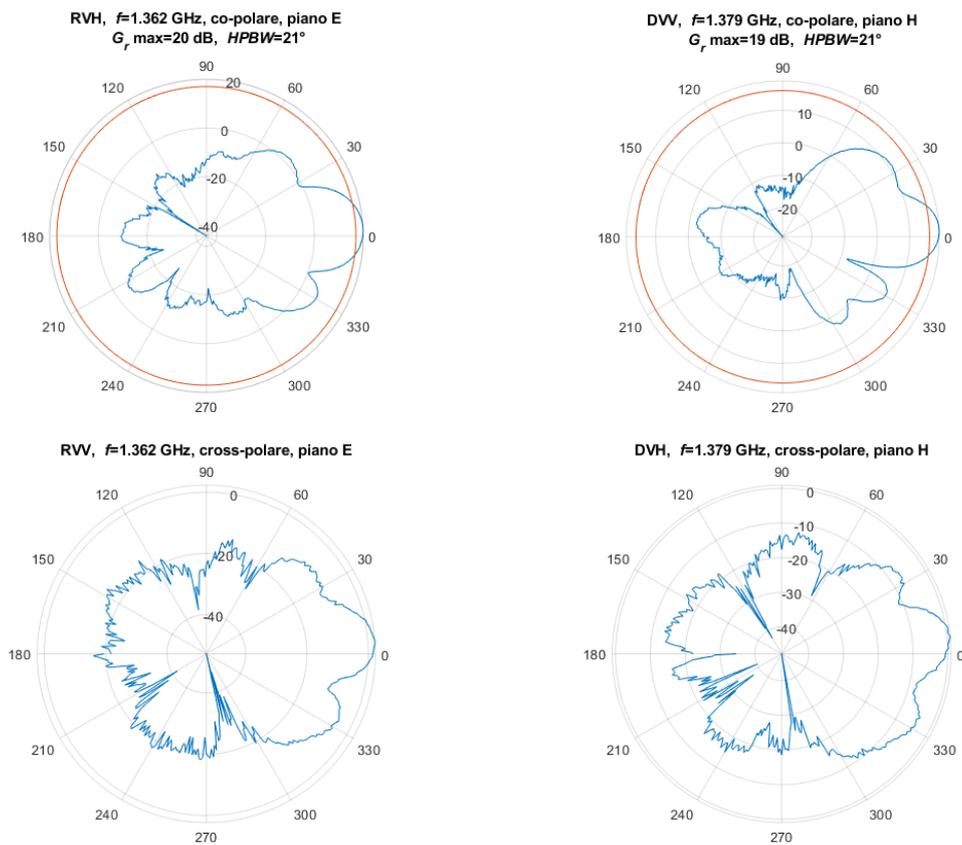


Fig. 28 – Diagrammi di radiazione relativi al connettore H.



3. Fig. 29 – Diagrammi di radiazione relativi al connettore V.

4.4 - Impedenza d'antenna

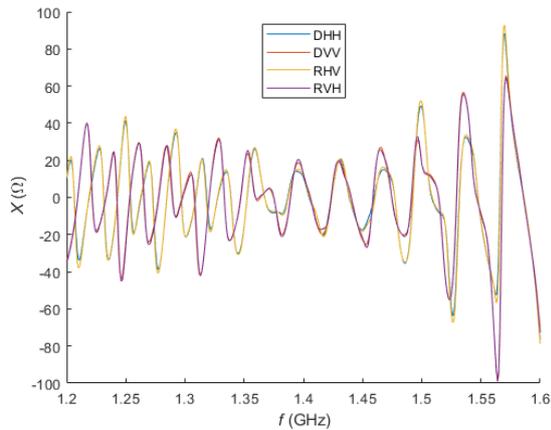


Fig. 30 - Resistenza R .

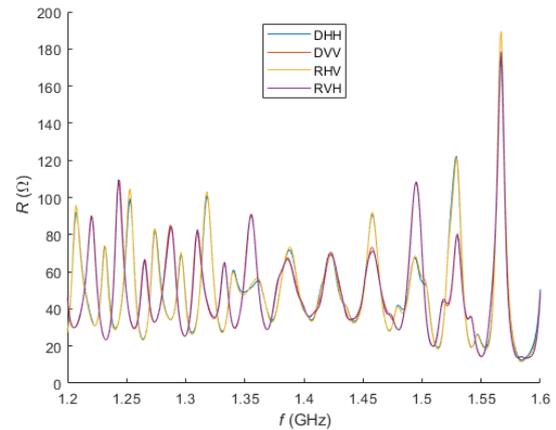


Fig. 31 - Reattanza X .

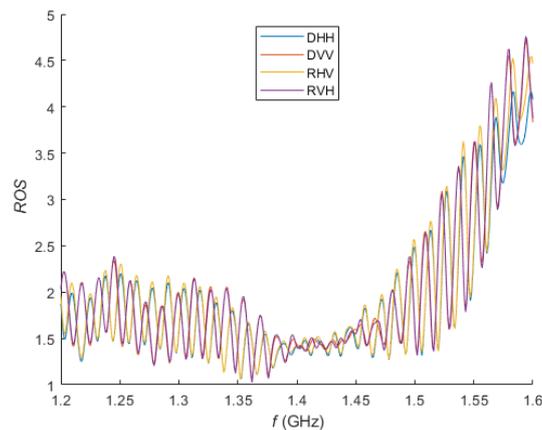


Fig. 32 - ROS.

References

- [1] Restuccia, E., Dal Molin, R., Bertagnolio, P. P., & Muscari, G. (2012). *Caratterizzazione di antenna a 22 GHz presso il laboratorio microonde dell'ISCTI*. La Comunicazione-Note, Recensioni & Notizie.
- [2] Ali, S. M., Zakariya, M. A., Baharudin, Z., Khir, M. H. M., Baba, A. A., Adz, J. J., ... & Othman, M. A. (2012, December). *Recent advances in microwave reflector antenna technology*. In 2012 IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE) (pp. 287-292). IEEE.
- [3] Kildal, P. S. (1985). *A small dipole-fed resonant reflector antenna with high efficiency, low cross polarization, and low sidelobes*. IEEE transactions on antennas and propagation, **33**(12), 1386-1391.
- [4] Pampaloni, P. (1977). *A ring array of Yagi-Uda antennas*. Alta Frequenza, **46**, 192-194.

- [5] Cucini, A., Macelloni, G., Mariottini, F., Riminesi, C., & Toccafondi, A. (2007, November). *Design and measurements of a planar microstrip array antenna for L-band remote sensing*. In The Second European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007 (pp. 1-6). IET.
- [6] Pilia, S., Baroni, F., Fontanelli, G., Lapini, A., Paloscia, S., Pampaloni, P., ... & Cigna, F. (2020, November). *Airborne multi-frequency microwave radiometric measurements in synergy with SAR data for the retrieval of soil moisture*. In 2020 16th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing for the Environment (MicroRad) (pp. 1-4). IEEE.