

Elio Restuccia, Roberto Dal Molin

Ministero dello Sviluppo Economico - Dipartimento per le Comunicazioni - ISCOM

Pietro Paolo Bertagnolio, Giovanni Muscari

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione Roma 2

CARATTERIZZAZIONE DI ANTENNA A 22 GHz PRESSO IL LABORATORIO MICROONDE DELL'ISCTI

(CHARACTERIZATION OF A 22 GHz BAND ANTENNA AT THE ISCTI MICROWAVE LABORATORY)

Sommario

Il Laboratorio Microonde dell'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione esegue misurazioni su apparati e componenti operanti fino alle frequenze delle onde millimetriche.

Il campo delle applicazioni comprende anche la caratterizzazione di alcuni parametri delle antenne ed in questo articolo vengono esposti i risultati ottenuti su di un'antenna paraboloidica offset destinata ad uno spettrometro per il monitoraggio del vapor d'acqua nella media atmosfera in sviluppo presso i laboratori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma.

Abstract

The Microwave Laboratory of the Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione carries out measurements on devices and components operating at frequencies up to millimeter wavelengths.

One of the applications is the characterization of antenna parameters: this paper reports the results obtained on the offset parabolic antenna of a ground-based spectrometer for middle atmospheric water vapour monitoring currently in development at the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in Rome.

1. Introduzione

Presso l'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione (Dipartimento per le Comunicazioni del Ministero dello Sviluppo Economico), nella Divisione IV "Comunicazioni Elettroniche Sistemi e Servizi" diretta dall'Ing. Giuseppe Pierri, opera il Laboratorio Microonde che raccoglie il retaggio dell'intensa attività profusa, nei decenni passati, durante lo sviluppo delle dorsali in Ponte Radio a microonde della rete nazionale di telecomunicazioni realizzata dall'ASST (Azienda di Stato per i Servizi Telefonici) e per la quale ha fornito consulenza ed ha curato le operazioni di collaudo degli impianti.

A questo scopo il Laboratorio è stato inizialmente attrezzato per potere espletare al meglio la sua attività sugli impianti che, storicamente in tecnica analogica, hanno seguito successivamente l'evoluzione epocale verso la tecnica digitale.

A seguito della privatizzazione degli impianti ASST, confluiti nella Società Telecom, questa attività veniva meno ma il patrimonio acquisito non è stato disperso.

Esso è stato mantenuto e tenuto aggiornato, con il procedere del progresso tecnologico, per poter affrontare gli impegni che hanno successivamente sostituito tale attività sempre nel campo delle apparecchiature radio a microonde.

Oggi il Laboratorio esegue misurazioni su apparati e componenti operanti fino alle frequenze delle onde millimetriche.

Un panorama di dispositivi che si allarga di anno in anno sempre di più.

Molte applicazioni infatti, non essendo più sufficienti le bande di frequenze tradizionali già intensamente utilizzate, avanzano richieste di spettro radioelettrico nelle bande a frequenze superiori come nuovi territori da colonizzare.

È in questo contesto che il Laboratorio Microonde opera oggi con misurazioni di vario genere sia di tipo condotto, al banco, sia di tipo irradato, in ambienti idonei, per determinare prestazioni comportamentali di apparati e per caratterizzare dispositivi e componenti anche prototipali e di tipo sperimentale.

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

di Roma ha richiesto di effettuare alcune misurazioni su di un'antenna paraboloidica di tipo offset destinata ad uno spettrometro, per osservazioni atmosferiche, denominato "VESPA 22" (water Vapour stratospheric Emission SPectrometer for Antarctica at 22 GHz), in sviluppo presso i propri laboratori.

Essa è costituita da un illuminatore a tromba conica a polarizzazione lineare, opportunamente realizzata per ottimizzare, nella banda di frequenze di interesse, l'illuminazione di un riflettore, costituito da uno specchio di paraboloide in posizione offset [1] rispetto all'illuminatore. Le operazioni sono state effettuate in un ambiente interno, denominato "indoor site", configurato come specificato dalla norma tecnica europea EN 300 440 [2] che riguarda i dispositivi di piccola potenza operanti fino a 40 GHz.

L'ambiente è stato ulteriormente curato ed attrezzato con pannellature anecoiche sia fisse, su parete di fondo e soffitto, sia mobili e riposizionabili, grazie a supporti dotati di ruote, al fine di minimizzare l'effetto indesiderato di eventuali cammini multipli.

Inoltre alcune misure sono state ripetute in ambiente esterno ("open site") al fine di validare quelle ottenute in ambiente interno e verificarne l'accuratezza.

Scopo delle misurazioni è la caratterizzazione accurata della risposta in frequenza e dei diagrammi di radiazione dell'antenna limitati al lobo principale.

Di seguito vengono descritte le misurazioni e riassunti i risultati.

2. Misure sull'illuminatore in campo lontano

Il primo gruppo di misurazioni effettuate ha come scopo la caratterizzazione completa in campo lontano del solo illuminatore (feed-horn) nell'"indoor site".

L'antenna sotto esame è stata usata come ricevente mentre, come antenna sorgente, è stata utilizzata una tromba piramidale collegata ad un generatore di segnali e montata su un treppiedi regolabile (fig. 1) posizionandola ed orientandola in modo da indirizzare il proprio massimo verso la ricevente lungo una direzione orizzontale.

La tromba conica sotto misura è stata montata sulla sommità di un sostegno con supporto avente snodi ruotabili che permettono l'orientamento, nel piano orizzontale e nel piano verticale, e dotato di

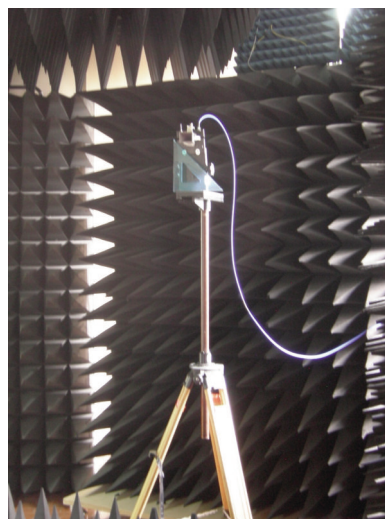


Figura 1: Antenna a tromba piramidale utilizzata come sorgente. Sullo sfondo le pannellature anecoiche dell'"indoor site".

goniometro con precisione della lettura di 0.5° .

Il sostegno, essendo metallico, è stato rivestito con ritagli di pannelli anecoici al fine di minimizzare le rirradiazioni indesiderate.

L'antenna è stata connessa ad un preamplificatore a basso rumore, per aumentare la dinamica della misura, e quindi ad un analizzatore di spettro destinato alle misure di livello.

Le operazioni sono state condotte nel laboratorio "indoor site", con una distanza fra l'antenna sorgente e quella sotto misura di 4 m circa.

Sono state effettuate scansioni nel piano E e nel piano H della tromba conica, sia con le antenne ricevente e trasmittente allineate sullo stesso piano di polarizzazione (misure co-polari), sia ruotate fra loro di 90° (misure cross-polari).

È stato quindi tracciato l'andamento del livello di potenza ricevuto che, una volta normalizzato rispetto al massimo, rappresenta il diagramma di radiazione nell'intorno del lobo principale.

Come mostrato in Fig. 2, l'angolo fra i minimi del lobo principale è di circa 50° e il livello dei primi lobi secondari è inferiore a -35 dB rispetto al lobo principale, come anche il livello della potenza ricevuta da polarizzazione incrociata.

Il guadagno dell'antenna, in corrispondenza del massimo, è stato determinato con il metodo del confronto [3], illustrato in Fig. 3, grazie ad un'antenna calibrata avente guadagno nominale di 20.0 dBi a 22.2 GHz.

Il guadagno dell'illuminatore è risultato di 21.7 dBi.

Una volta ottimizzati l'orientamento dell'intero set di misura ed il posizionamento dei pannelli mobi-

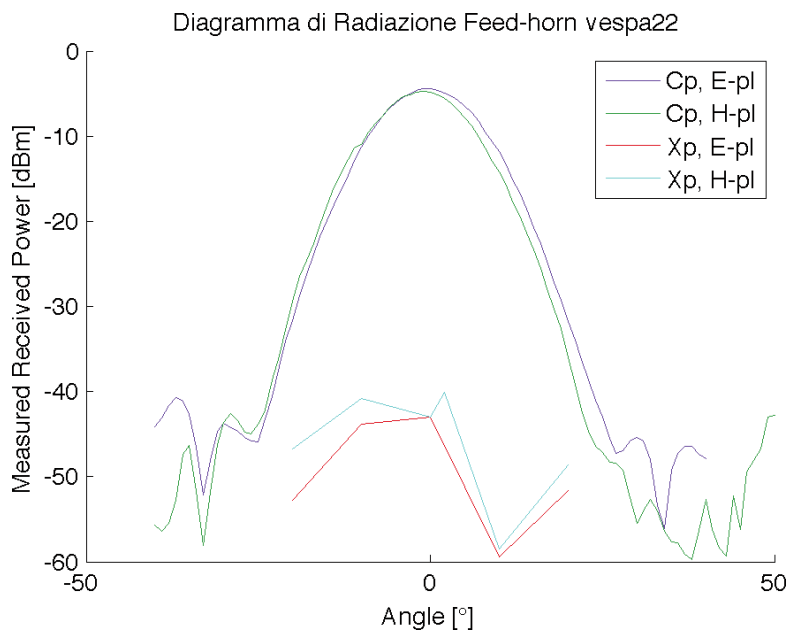


Figura 2: Diagramma di radiazione dell'illuminatore di VESPA 22: potenza ricevuta in funzione dell'angolo alla frequenza di 22.235 GHz.

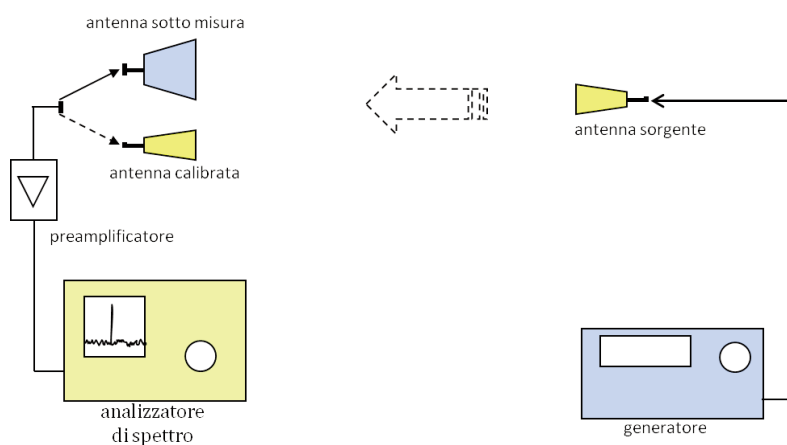


Figura 3: Schema di misura

li anecoici, l'incertezza stimata delle misure è valutabile in ± 1.5 dB.

Nella Fig. 4 sono raffigurati in modo sintetico, con i livelli rappresentati con scala di colore, le variazioni del diagramma di radiazione (valutato come l'andamento dei livelli ricevuti), in funzione della frequenza, nei due piani E e H.

Dall'analisi della figura si può rilevare come la forma del diagramma del feed-horn resti in buona misura costante al variare della frequenza, con una lieve diminuzione della larghezza del lobo principale all'aumentare della frequenza, in accordo a simulazioni teoriche condotte in precedenza [4].

Per angoli superiori ai 20° e potenze inferiori ai -35 dB, rispetto al massimo, si possono notare due diversi pattern sovrapposti, uno a trama più fitta, dovuto a riflessioni ineliminabili all'interno del setup di misura, e l'altro invece dovuto al diagramma di radiazione dell'antenna.

3. Misure sull'illuminatore in campo vicino

Il secondo gruppo di misurazioni ha come scopo la caratterizzazione dell'illuminatore nella regione di campo vicino.

Di particolare interesse è la verifica dell'uniformità della fase, alle

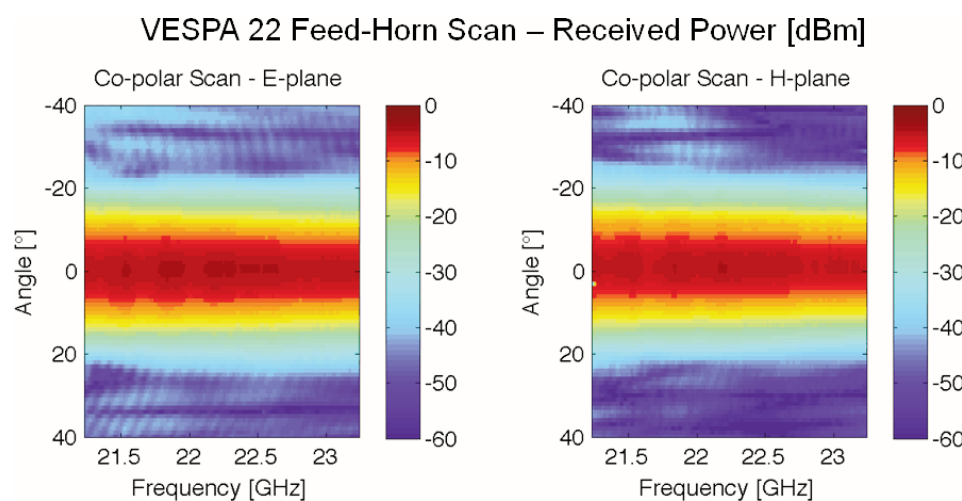


Figura 4: Potenza ricevuta in funzione dell'angolo e della frequenza (fra 21.235 e 23.235 GHz) nei due piani E ed H.

distanze ottimali per il posizionamento del riflettore paraboloidico (43 cm) e di un eventuale ulteriore specchio (29.3 cm).

Allo scopo è stato utilizzato un analizzatore di rete vettoriale in grado di effettuare la misura dei parametri di scattering, in ampiezza e fase, fino a 60 GHz (Fig. 5).



Figura 5: Setup utilizzato per le misure con il feed-horn in campo vicino

È stato selezionato il parametro S_{21} (trasmissione in avanti) e sono state effettuate alcune serie di sondaggi utilizzando una transizione guida-cavo come antenna sorgente, connessa alla porta 1 dello strumento, ed il feed-horn montato su supporto mobile dotato di goniometro, come antenna ricevente, connessa alla porta 2 dello strumento tramite un preamplificatore per migliorare la dinamica di misura.

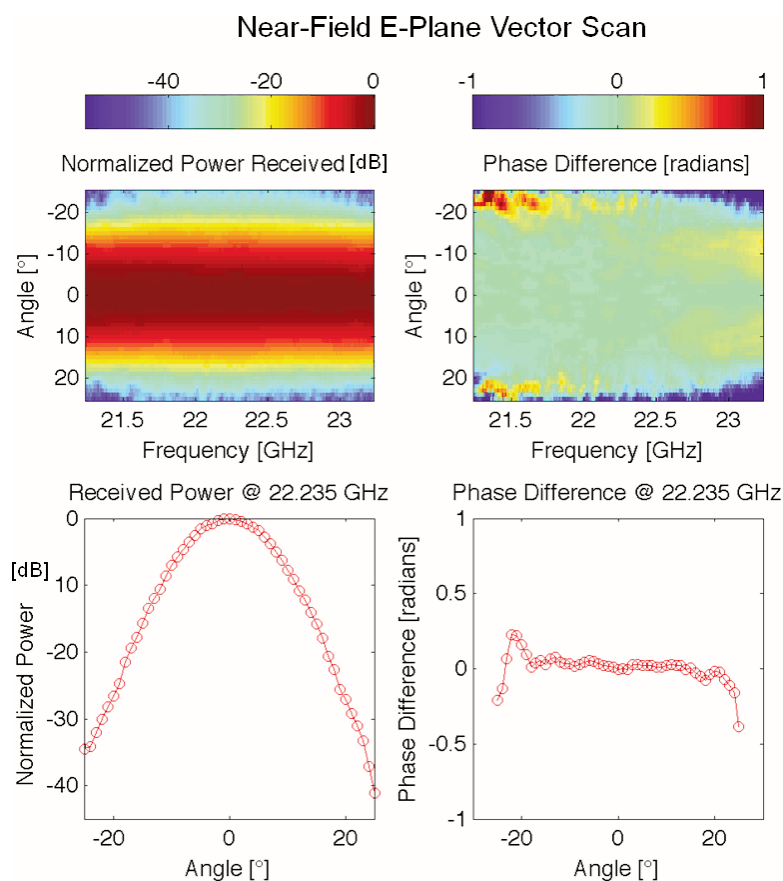
Entrambe le antenne sono state connesse alle porte dell'analizzatore di rete vettoriale per mezzo di cavi coassiali flessibili al fine di agevolare i movimenti.

Nelle Figg. 6 e 7 sono raffigurati i risultati ottenuti con rotazioni rispettivamente nel piano E e nel piano H alla distanza di 43 cm fra il centro di fase del feed-horn e la transizione guida-cavo usata come sorgente.

Le Figg. 6 e 7 mostrano come, nell'angolo interessato dalla larghezza del riflettore paraboloidico ($\pm 23^\circ$), la variazione di fase sia trascurabile sia sul piano E che sul piano H.

Questo risultato ha reso possibile determinare esattamente la posizione del centro di fase del feed-horn, a una distanza di 14.75 cm dall'apertura verso l'interno della tromba.

Nella Fig. 8 sono visibili gli analoghi risultati ottenuti con rotazione nel piano H alla distanza ancora più ravvicinata di 29.3 cm fra il centro di fase del feed-horn e la sorgente.



4. Misure sull'antenna completa nel sito interno

La serie di misure più significativa è stata quella relativa alla caratterizzazione dell'intera antenna paraboloidica offset (feed-horn più riflettore montati alla distanza di 43 cm)

Figura 6: Misure di radiazione in campo vicino del feed-horn alla distanza di 43 cm con rotazione nel piano E.

In alto: ampiezza (sx) e fase (dx) in funzione di frequenza e angolo.

In basso: ampiezza (sx) e fase (dx) in funzione dell'angolo alla frequenza di 22.235 GHz.

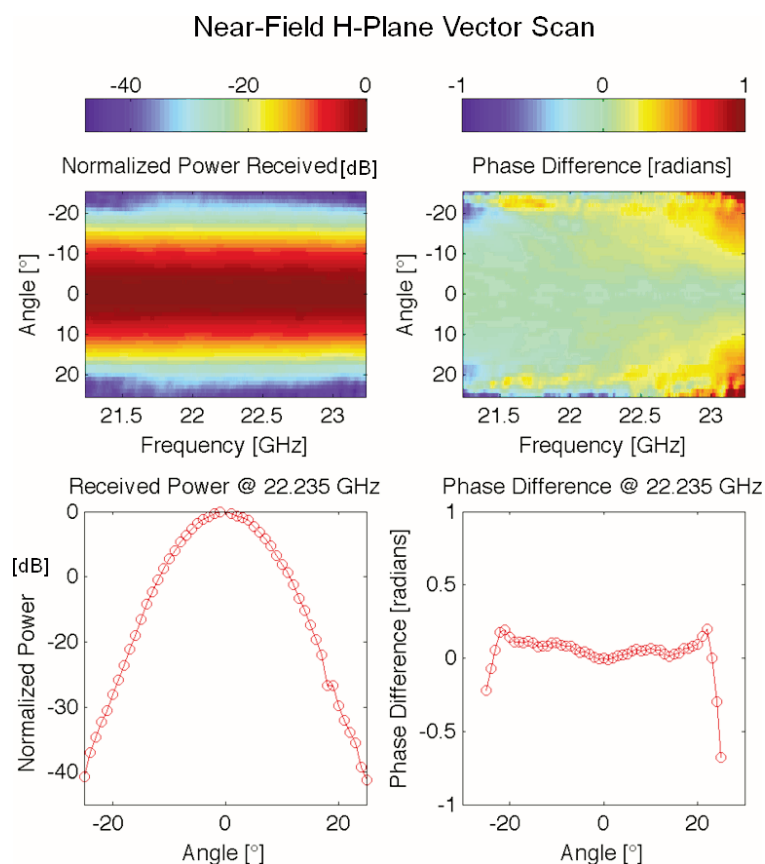
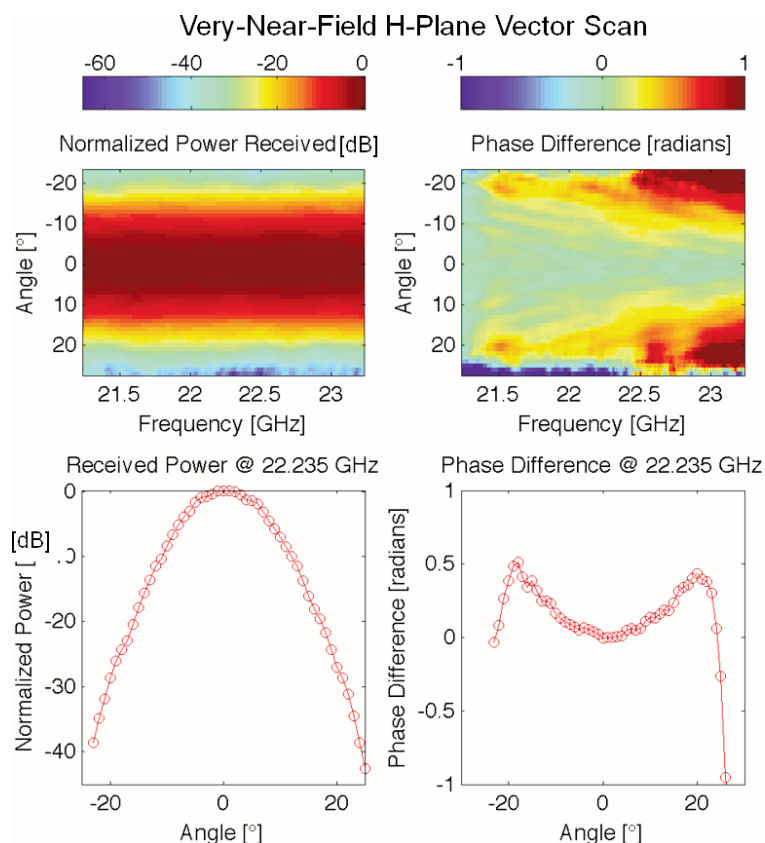


Figura 7: Come nella Figura 6, con rotazione nel piano H.



effettuate all'interno del laboratorio "indoor site".

E' stata utilizzata la stessa configurazione di misura già impiegata per il feed-horn (fig. 3): l'antenna sotto misura è stata montata sullo stesso sostegno, con supporto regolabile in elevazione e azimuth (fig. 9), già usato per il feed-horn.

Il segnale in uscita dall'antenna ricevente, tramite il preamplificatore a basso rumore, è stato misurato e registrato, dall'analizzatore di spettro.

La dimensione dell'antenna (40 cm) consente di calcolare [3] il limite inferiore della distanza, relativa al regime di campo lontano, che risulta di 24 m.

Le misurazioni sono state eseguite alla massima distanza possibile di 4 m nell'"indoor site" e questo ha comportato un'approssimazione del regime di campo lontano [5], [6] ma che non ha comunque fatto perdere significatività al risultato.

Quest'ultima ipotesi è stata successivamente verificata a seguito della ripetizione delle stesse misure, in ambiente aperto sulla terrazza dell'ISCOM, a distanza notevolmente maggiore come riportato nel punto 5.

Al fine di ottenere i diagrammi di radiazione sono state effettuate otto scansioni principali, nell'intervallo di frequenze fra 21.235 GHz e 23.235 GHz, nel piano E e nel piano H dell'antenna, in polarizzazione relativa parallela (misure co-polari) e ruotata di 90° (misure cross-polari), e nelle due posizioni operative del riflettore ad osservare l'orizzonte (segnale) e lo zenit (riferimento).

Per confronto con l'antenna calibrata è stato misurato il guadagno risultando un valore di 34.1 dBi.

I risultati presentati nelle figure 10 e 11 confermano quanto previsto dalle simulazioni teoriche effettuate con il pacchetto GRASP [7], con un livello dei

Figura 8: Come in Figura 6 ma alla distanza di 29.3 cm, con rotazione nel piano H.

In alto: ampiezza (sx) e fase (dx) in funzione di frequenza e angolo. In basso: ampiezza (sx) e fase (dx) in funzione dell'angolo alla frequenza di 22.235 GHz

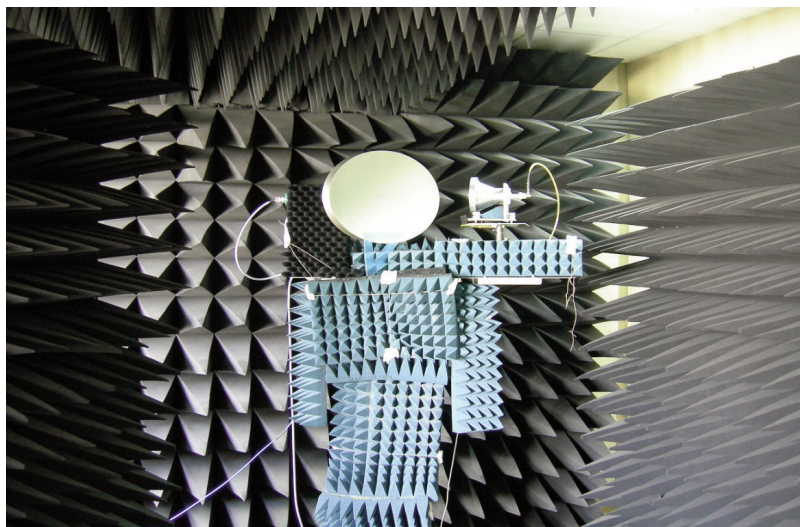
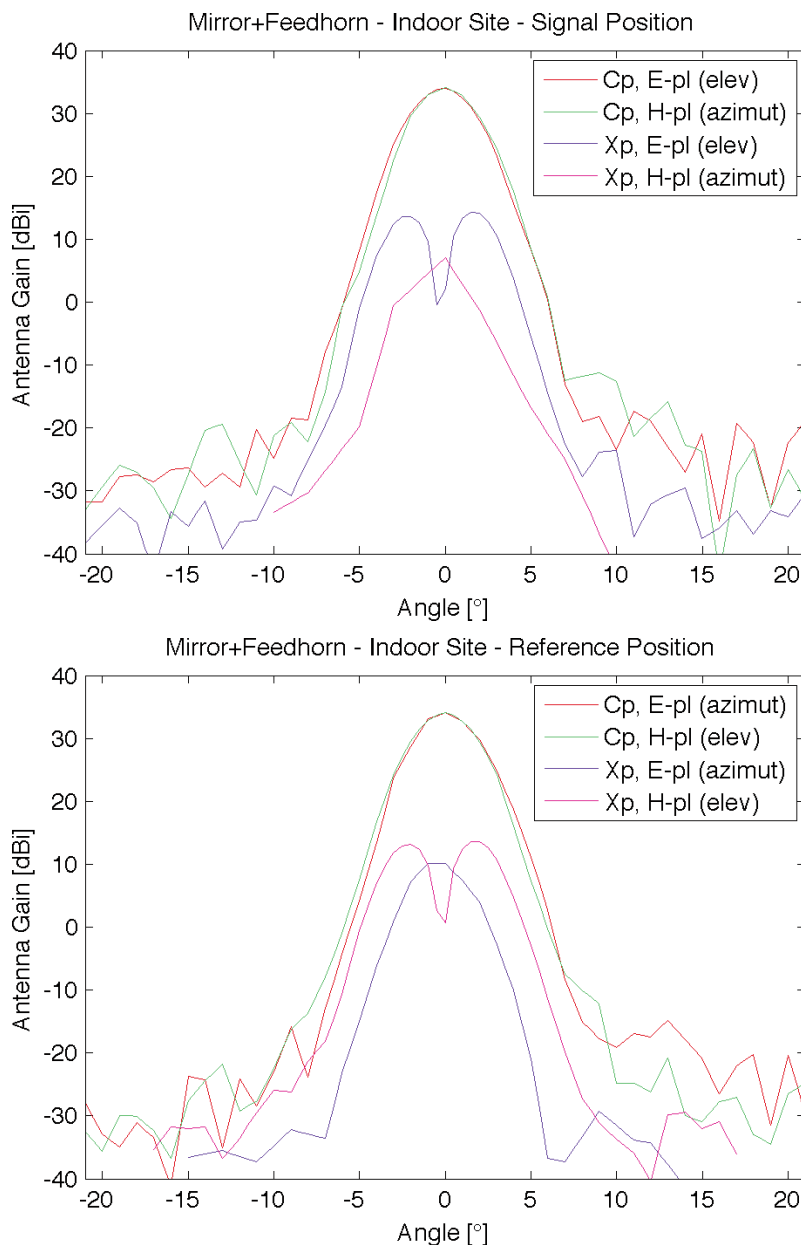


Figura 9: Setup utilizzato per le misure con l'antenna completa nell' "indoor site".



lobi secondari inferiore a -40 dB rispetto al massimo.

La reiezione di cross-polarizzazione del sistema è di 24 dB, valore inferiore rispetto al caso del solo feed-horn a causa dell'asimmetria della configurazione offset.

L'angolo fra i minimi del lobo principale è di circa 30°. Non si notano significative differenze fra i diagrammi nei due diversi piani (piano E e piano H).

5. Misure sull'antenna completa in campo lontano

Per confermare l'accuratezza delle misure ottenute nell'"indoor site", sono stati effettuati rilievi di diagrammi di radiazione e valutazione del guadagno sulla terrazza della sede dell'ISCOM ad una distanza di 34.5 m dall'antenna sorgente, superiore al limite minimo teorico calcolato di 24 m per la

Figura 10
 Diagramma di radiazione in campo lontano dell'antenna completa rilevato nell'"indoor site", nella posizione di osservazione "segnale", alla frequenza di 22.235 GHz.
 Le quattro configurazioni di osservazione variano per polarizzazione relativa (co-polare e cross-polare) e piano principale (E ed H).

Figura 11:
 Diagramma di radiazione in campo lontano dell'antenna completa rilevato nell'"indoor site", nella posizione di osservazione "riferimento", alla frequenza di 22.235 GHz.
 Le quattro configurazioni di osservazione variano per polarizzazione relativa (co-polare e cross-polare) e piano principale (E e H).

**Parabolic Antenna - Indoor Site
Signal Position - Antenna Gain [dBi]**

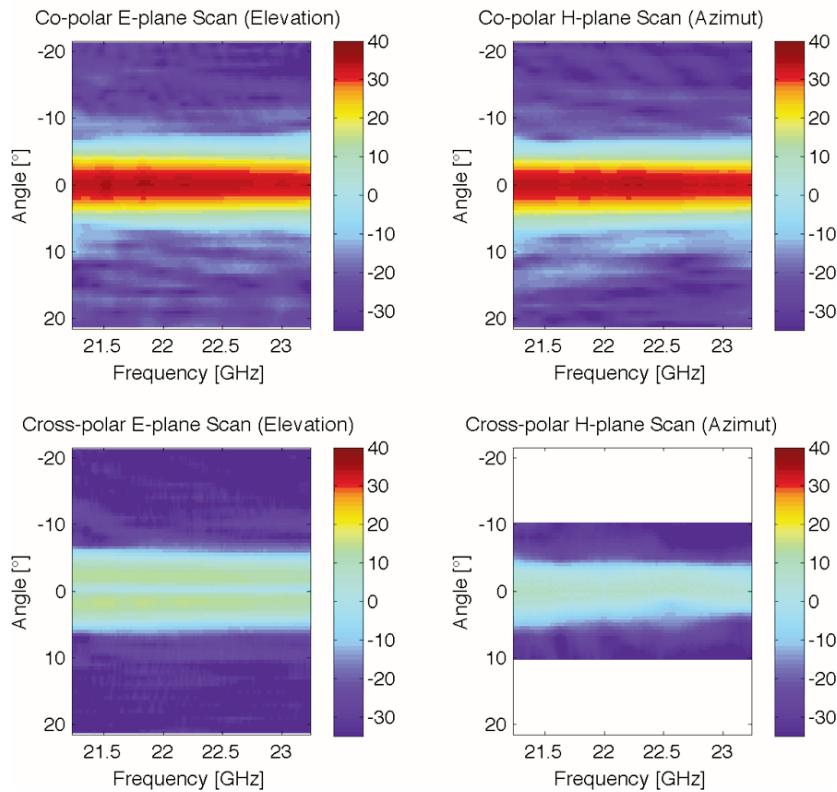


Figura 12:
Parabolic Antenna - Indoor Site
Signal Position - Antenna Gain [dBi]
Guadagno [dBi] dell'antenna completa in
posizione "segnale" in funzione dell'angolo e
della frequenza (fra 21.235 e 23.235
GHz) nelle quattro configurazioni combinate
di polarizzazione (co-polare e cross-polare)
e piano principale (E ed H).

**Parabolic Antenna - Indoor Site
Reference Position - Antenna Gain [dBi]**

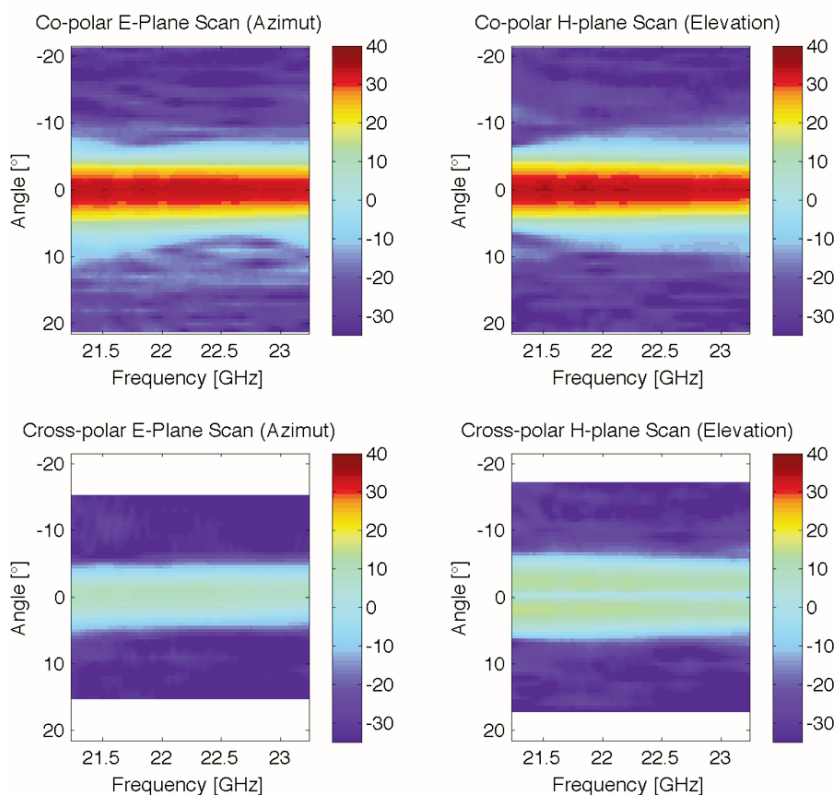


Figura 13:
Parabolic Antenna - Indoor Site
Reference Position - Antenna Gain [dBi]
Guadagno [dBi] dell'antenna completa in
posizione "riferimento" in funzione dell'an-
golo e della frequenza (fra 21.235 e 23.235
GHz) nelle quattro configurazioni combinate
di polarizzazione (co-polare e cross-polare)
e piano principale (E ed H).

zona di campo lontano alla frequenza d'interesse.

Lo schema di misura è stato il medesimo utilizzato per l'antenna completa nell'"indoor site".

Per confronto con l'antenna calibrata il guadagno è risultato di 34.4 dBi con una differenza inferiore a 1 dB rispetto ai precedenti risultati.

6. Conclusioni

Sono stati presentati i risultati di alcune serie di misurazioni effettuate su di un'antenna operante nella banda dei 22 GHz, destinata ad un radiometro in sviluppo presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma, costituita da un illuminatore a tromba conica ed un riflettore di tipo paraboloidale



offset.

Le misurazioni in ampiezza e fase hanno consentito di caratterizzare l'illuminatore sia in termini di diagramma di radiazione e guadagno, nell'angolo d'apertura d'interesse, sia in termini di verifica della sfericità della superficie equifase del fronte d'onda sostenuto alla distanza prevista per il riflettore.

Sull'antenna completa è stato rilevato il diagramma di radiazione nell'intorno del lobo principale con operazioni condotte in un ambiente interno, opportunamente attrezzato per misure di campo e.m. secondo la corrente normativa tecnica europea per dispositivi di piccola potenza a microonde, ad una distanza inferiore a quella prevista per la condizione di campo lontano.

Le stesse misurazioni sono state ripetute in ambiente esterno, a distanza tale da garantire la condizione di campo lontano, ed il confronto dei risultati ha permesso di confermare sostanzialmente i risultati entro la fascia di incertezza stimata della misura.

Quanto descritto rappresenta un esempio di come la collaborazione fra Enti diversi, ma animati dal comune desiderio di perseguire obiettivi istituzionali simili nel campo tecnico-scientifico, possa contribuire a superare eventuali ostacoli raggiungendo una giusta e proficua integrazione fra competenze, esperienze e dotazioni strumentali e strutturali.

Tutto ciò dimostra come queste risorse, anche se sorte e sviluppate per scopi specifici differenti, con venga siano mantenute e migliorate rappresentando un patrimonio prezioso da non disperdere.

Figura 14: Setup utilizzato per le misure con l'antenna completa (a destra) sulla terrazza dell'ISCOM. L'antenna calibrata (a sinistra) è stata utilizzata per la misura del guadagno con il metodo del confronto.

Misure Terrazza: Scansioni Co-polari Normalizzate

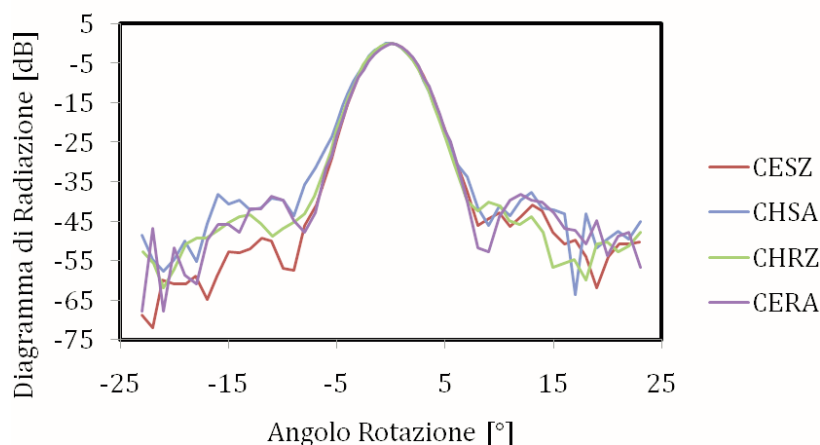


Figura 15: Diagramma di radiazione in campo lontano dell'antenna completa, rilevato in ambiente aperto, in polarizzazione relativa parallela (co-polare), alla frequenza di 22.235 GHz:

- CESZ: posizione "segnale", piano E
- CHSA: posizione "segnale", piano H
- CHRZ: posizione "riferimento", piano H
- CERA: posizione "riferimento", piano E

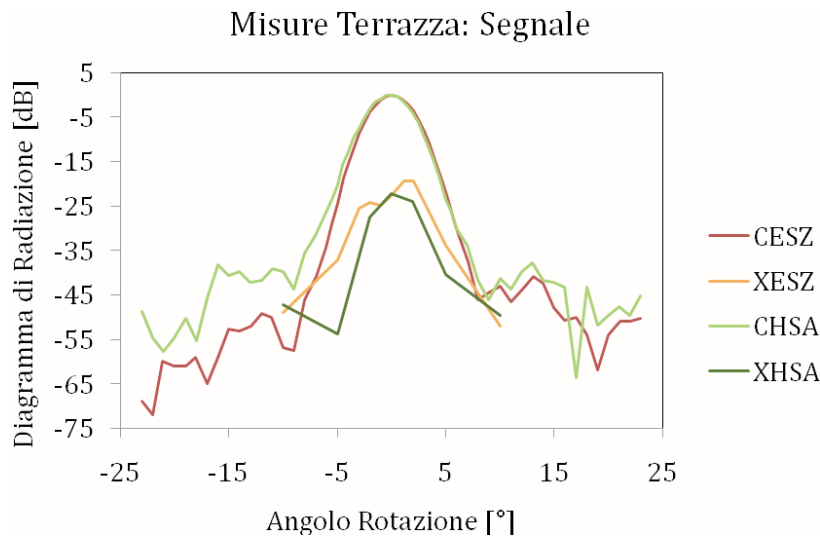


Figura 16: Come Fig. 15 con:
 - CESZ: co-polare, piano E
 - CHSA: co-polare, piano H
 - XESZ: cross-polare, piano E
 - XHSA: cross-polare, piano H

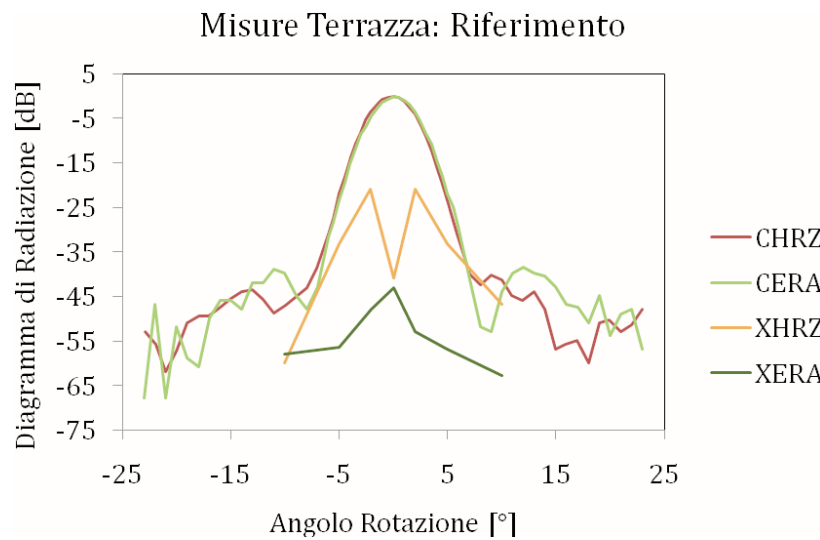


Figura 17: Come Fig. 15 con:
 - CERA: co-polare, piano E
 - CHRZ: co-polare, piano H
 - XERA: cross-polare, piano E
 - XHRZ: cross-polare, piano H

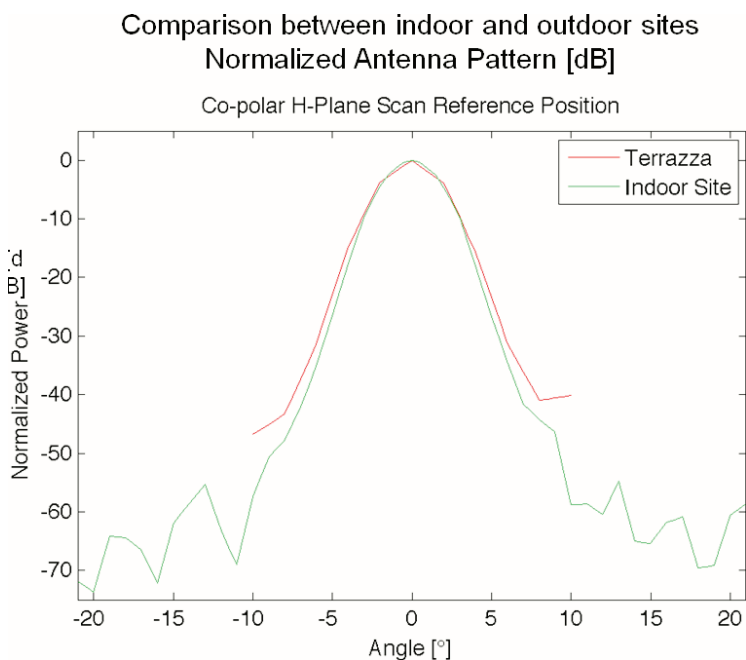


Figura 18: Confronto fra i diagrammi di radiazione in campo lontano dell'antenna completa rilevati in regime di campo lontano, nel piano H, nella posizione di osservazione "riferimento", alla frequenza di 22.235 GHz. In verde sito interno, in rosso sito aperto.

Comparison between indoor and outdoor sites Antenna Gain [dBi]

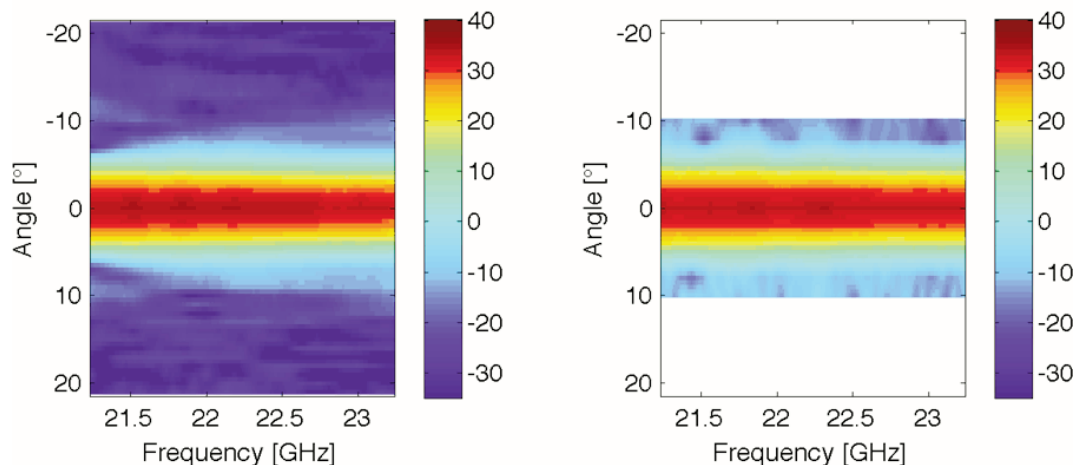


Figura 19: Comparison between indoor and outdoor sites Antenna Gain [dBi]
Confronto fra i risultati ottenuti nelle misure di guadagno sull'antenna completa in regime di campo lontano, nel piano H, nella posizione di osservazione "riferimento", nell'intervallo di frequenze fra 21.235 e 23.235 GHz nei due ambienti di misura: a sinistra il sito interno, a destra il sito aperto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C.A. Balanis, "Modern Antenna Handbook", John Wiley & Sons, Inc. 2008.
- [2] European Technical Standard Institute, EN 300 440; "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range".
- [3] J.S. Hollis, T.J. Lyon, L. Clayton, "Microwave antenna measurements", Scientific- Atlanta Inc. 1970;
- [4] J. Teniente, R. Gonzalo, C. del Rio, "Superb gaussian beam efficiency corrugated horn antennas," Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on , vol., no., pp.1-4, 12-16 April 2010.
- [5] T.S. Saad, "Microwave engineers' handbook", vol. 2°.
- [6] D. B. Hayman, K. W. Smart, and K. J. Greene, "Measurement of domestic pay TV satellite dishes," AMTA Symposium; Denver, Co.; Oct 2001.
- [7] TICRA company website: <http://www.ticra.com/products/software/grasp>