ATTIVITÀ SPERIMENTALE NELL'AMBITO DELLA DIDATTICA DI ANTENNE PRESSO L'UNIVERSITÀ DELL'AQUILA

Emidio Di Giampaolo e Piero Tognolatti
DIEL, Univesità de L'Aquila
Monteluco di Roio, 67040, L'Aquila, (Italy),
tel. (+39) 0862 4344312, fax (+39) 0862 434414
emidio@ing.univaq.it tognolatti@ing.univaq.it

Abstract

In this paper some experimental activities performed during the Antennas class at University of l'Aquila are reported. In particular a radio link via moon bouncing and a monopole-antenna impedance measurement are described in details. The moon bouncing experiment needed to design and realize a broadside array of Yagi-Uda besides the link planning. The impedance measurement was based on the Time Domain Reflectometry.

INTRODUZIONE

In questa comunicazione s'intende descrivere l'attività didattica sperimentale che si è recentemente svolta nell'ambito del corso di Antenne, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università dell'Aquila. Verranno esaminate in particolare due esperienze. La prima riguarda la progettazione, l'installazione e l'utilizzo di un sistema per la ricezione di segnali radio riflessi dalla Luna. La seconda la misura dell'impedenza d'ingresso di un'antenna a monopolo mediante riflettometria nel dominio del tempo (TDR).

Fig. 1 Array broadside 2x2 di antenne Yagi-Uda da 35 elementi, utilizzato per la ricezione di segnali radio riflessi dalla luna. F=1.296 GHz, G=26 dBi. Pol. H. Nell'inserto i dettagli degli elementi radianti. Si osserva anche il LNA collocato in prossimità delle antenne.

RICEZIONE SEGNALI LUNARI

L'idea di svolgere questa esercitazione è nata leggendo sulla stampa che il Consiglio Nazionale delle Ricerche e la Fondazione Guglielmo Marconi avrebbero celebrato il primo centenario del radiocollegamento transatlantico di Guglielmo Marconi anche trasmettendo segnali radio verso la Luna, in modo tale da renderli ricevibili su ampia parte della Terra. Il CNR avrebbe utilizzato una delle antenne a riflettore da 32 m del proprio radiosservatorio astronomico di Medicina (BO). La frequenza prescelta era di 1.2961 GHz (in una banda assegnata al servizio di radioamatore e vicina alle frequenze usate dal radiosservatorio) e la polarizzazione circolare. Il primo passo compiuto nell'esercitazione è stato quello di analizzare il *link-budget* del collegamento per stabilire di quale tipo di antenna ci saremmo dovuti approvvigionare. Il comportamento della Luna è stato descritto dall'equazione del radar monostatico, dove la sezione di backscattering è ottenuta con l'approssimazione della GO. Entrambe le antenne avrebbero intercettato la Luna all'interno del proprio lobo principale. Dall'esame del link-budget si evidenziava che la ricezione di segnali audio (larghezza di banda 2.4 kHz) avrebbe ri-

chiesto un'antenna a riflettore con diametro di circa 3m; tale antenna non era reperibile ed installabile nei pochi giorni a disposizione. Si decise quindi di configurare la stazione per la ricezione di segnali a banda più stretta (telegrafia Morse, cioè modulazione PAM a *bitrate* molto basso); in questo caso sarebbe stata sufficiente un'antenna con minor guadagno. Dopo aver analizzato numericamente un array 2x2 di eliche si decise comunque di optare per delle Yagi-Uda da 35 elementi (lunghe 13 λ) in polarizzazione lineare che, sebbene presentano una perdita per disadattamento di polarizzazione, erano facilmente reperibili sul mercato. Con tali Yagi-Uda la configurazione di array broadside 2x2 con spaziatura 3.55 λ (*) produce una direttività di circa 26 dBi. Una stima semplificata della temperatura d'antenna, orientata secondo un'elevazione di 25°, ha fornito *Ta*=20 K; per la temperatura di sistema è stato calcolato *Tsys*=100 K. La Tab. 1 riporta il corrispondente link-budget. A nostra disposizione avevamo già un ricetrasmettitore YAESU-FT847 da impiegare come parte IF del sistema ricevente; un LNA (NF = 0.5 dB) e un down-converter (1.296 GHz → 144 MHz) di ottima qualità furono facilmente ottenuti in prestito. Si decise anche di utilizzare un sistema di processamento digitale del segnale audio in uscita al ricevitore, al fine di effettuare l'analisi spettrale e l'eventuale rimozione del rumore al di fuori della banda del segnale. L'antenna era asservita da un posizionatore in azimut ed elevazione comandato manualmente dall'operatore sulla base dei dati di puntamento previsti. Per l'occasione decidemmo di allestire anche un canale bidirezionale di comunicazione in HF che ci avrebbe consentito di comunicare con Villa Griffone a Pontecchio Marconi, dove si sarebbe tenuta la "regia" dell'esperimento. L'antenna utilizzata e' stata un dipolo multibanda orizzontale. Una previsione delle caratteristiche di propagazione ionosferica per le giornate di dicembre 2001 è stata effettuata mediante il software ICEPAC del NTIA/ITS statunitense. La Fig. 2 riporta l'andamento giornaliero di S/N per le frequenze da noi utilizzabili. Una volta allestito il sistema ricevente a 1.2961 GHz, una prima verifica del funzionamento è stata eseguita puntando l'antenna verso il Sole ed osservando un incremento di circa 8 dB nella temperatura di sistema (**). Alla data prefissata del 12 dicembre 2001 (Luna al sesto giorno dopo il perigeo, visibile dalle 03.45 alle 14.00 UT, ad una distanza di circa 377000 km da L'Aquila e con un semidiametro di 15.83') la sta-

$P_{tdB} = 21.8\ dBW$	$P_t = 150\ W$	*potenza trasmessa*
$G_t = 50\,dB$		*guadagno antenna TX*
$PL = -259\,dB$		*attenuazione RADAR*
$ML = -12\,dB$		*riflettività luna (tipica)*
$G_r = 26\,dB$		*guadagno antenna RX*
$MP = -3\,dB$		*mismatch polarizzazione*
$P_n = -181.6\,dBW$		*potenza rumore* $(B = 500\,Hz)$
$S/N = P_{tdB} + G_t + PL + ML + G_r + MP - P_n = +5.4\ dB$		

Tab. 1 Link-budget del collegamento Terra-Luna-Terra, per il ricevitore configurato per segnali a banda stretta. Il termine PL è calcolato per la distanza lunare prevista per la mattinata del 12 dicembre 2001.

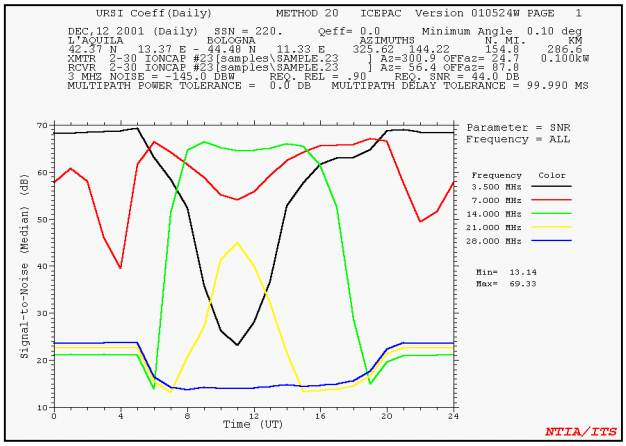


Fig. 2. Previsione delle caratteristiche del collegamento ionosferico tra L'Aquila e Bologna.

(*) Valori così grandi di spaziatura sono necessari per evitare che un eccessivo accoppiamento tra le antenne produca una riduzione del guadagno. Questo specifico valore di spaziatura produce un fattore d'array che cancella un lobo secondario dell'antenna particolarmente fastidioso per il contenimento della temperatura d'antenna.

(**) In seguito, grazie ai dati sul flusso solare misurati nello stesso giorno dell'esperimento alle frequenze di 1.415 e 2.695 GHz dall' osservatorio di San Vito, si è potuto valutare il G/T del sistema ricevente, che è risultato inferiore di circa 2 dB rispetto al valore stimato nel link-budget.

zione di Medicina ha iniziato a trasmettere, alternando trasmissioni audio a trasmissioni telegrafiche. Le trasmissioni sono state ripetute anche il giorno successivo.

La ricezione dei segnali telegrafici è avvenuta con pieno successo e ha presentato un rapporto S/N vicino a quello stimato. La Fig. 3 mostra l'analisi spettrale del segnale audio presente all'uscita del ricevitore durante un intervallo temporale di circa 25 secondi, mentre veniva trasmesso un segnale telegrafico. Tale segnale appare nello spettrogramma (diagramma tempo-frequenza) come una riga bianca segmentata. Un'analisi più dettagliata nell'intervallo 17.2 – 19.2 *s* è riportata in Fig. 4, dove la densità spettrale di potenza alla frequenza della riga bianca è mostrata al variare del tempo. In essa, si può riconoscere facilmente il segnale Morse corrispondente alla stringa CQ (stringa convenzionale di chiamata). E' ben visibile, nei periodi in cui la portante è presente, una variazione veloce e con profondità dell'ordine di 6 dB della densità spettrale. Essa non è dovuta al rumore additivo ma è attribuibile ad un fenomeno noto col nome di *libration fading*, causato dall'azione combinata della rugosità della superficie lunare e del moto di librazione lunare [1]. Sono stati anche effettuati tentativi di ricezione dei segnali a banda più larga (2.4 kHz) ma, come previsto, il segnale audio era quasi completamente non intelligibile. Le comunicazioni audio in banda HF si sono svolte con buona qualità, consentendo di comunicare con Villa Griffone e col Ministero delle Comunicazioni, dove si stava svolgendo un'altra cerimonia. Il caso ha voluto che la parte sperimentale di questa attività si sia svolta proprio in occasione dell'ultima lezione del corso di Antenne. Tutti gli studenti hanno manifestato notevole interesse e partecipazione.

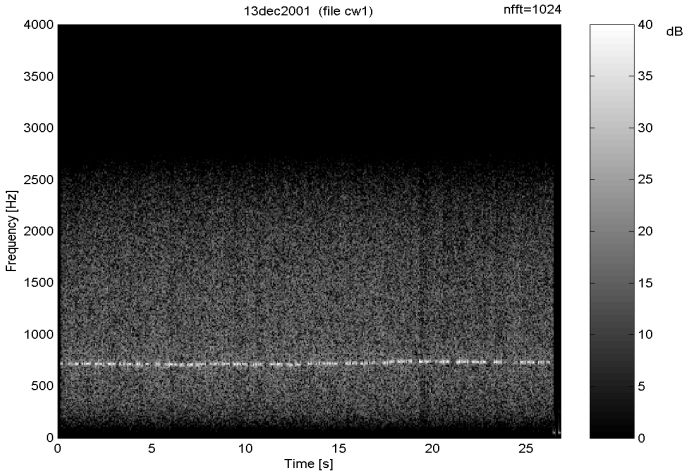
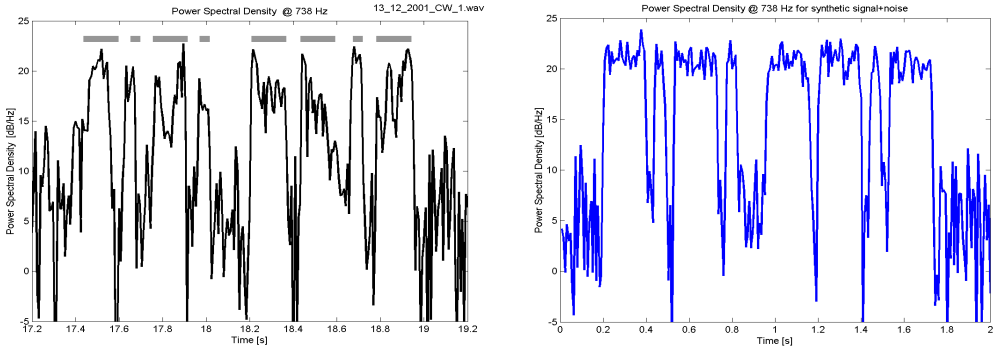


Fig. 3 Spettrogramma di un frammento temporale del segnale ricevuto il 13 dicembre 2001. Segnale campionato a 8 kHz, 16 bit; FFT su 1024 campioni, finestra di Hanning.

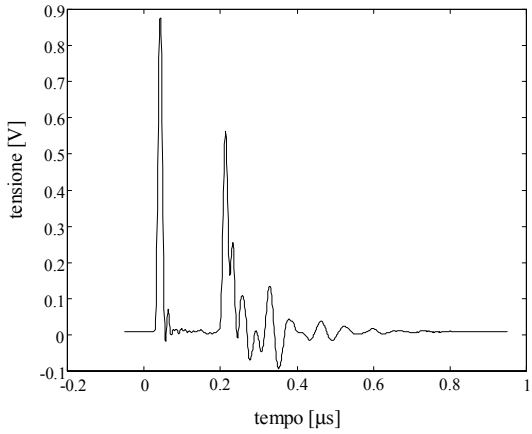


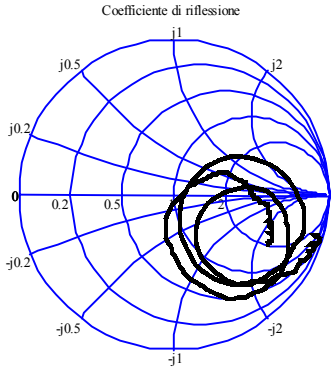
a) b)

Fig. 4 a) Densità spettrale a 738 Hz del segnale ricevuto in un particolare intervallo temporale, nel quale è stata trasmessa la stringa CQ in codice Morse. FFT su 128 campioni con finestra di Hanning. Negli intervalli in cui è presente la portante si osserva un significativo fading veloce. b) Per confronto, analisi spettrale di un segnale telegrafico simulato, affetto solo da rumore additivo con caratteristiche spettrali simili a quelle osservate sperimentalmente; è evidente come in questo caso non si osservi l'effetto del fading attribuibile al moto di librazione. Una selezione dei segnali acquisiti è disponibile presso http://www.diel.univaq.it/events/moon/

MISURA *TDR* DELL'IMPEDENZA D'INGRESSO DI UN'ANTENNA

Un'altra esperienza di laboratorio è stata svolta in precedenza e ha riguardato la misura dell'impedenza d'ingresso di un monopolo disposto ortogonalmente al terreno. Un modo originale per eseguire la misura a larga banda dell'impedenza di ingresso di antenne a filo nella banda HF (3-30 MHz) e' basato su misure riflettometriche nel dominio del tempo. La semplicità della misura e l'ampia disponibilità degli strumenti necessari per eseguirla costituiscono una valida motivazione didattica. Un oscilloscopio digitale, un generatore di impulsi ed un personal computer sono infatti gli strumenti richiesti. A partire dalla acquisizione digitale della risposta all'impulso inviato ai morsetti di ingresso del sistema costituito dall'antenna e dalla linea di trasmissione ad essa connessa, Fig. 5, si determina l'impedenza di ingresso al variare della frequenza mediante l'elaborazione con la DFT dei dati associati all'impulso incidente e a quello riflesso. L'esperimento e' diviso in due parti. La prima parte prevede la calibrazione del banco di misura determinando i parametri caratteristici (tempo di ritardo e attenuazione) della linea di trasmissione con la scelta della durata dell'impulso e della lunghezza della linea affinché l'impulso incidente e quello riflesso siano temporalmente distinti, quindi l'acquisizione del segnale in forma numerica. La seconda parte e' rivolta all'elaborazione dei segnali acquisiti in modo da separare i dati associati all'impulso incidente e a quello riflesso e alla successiva trasformazione in frequenza mediante la DFT.





b)

Fig. 5 a) Andamento temporale degli impulsi incidente e riflesso, per un'antenna a monopolo multibanda, caricato con un doppio circuito LC. b) Coefficiente di riflessione alla porta d'ingresso dell'antenna, ottenuto mediante DFT.

CONCLUSIONI

E' opinione degli autori che le attività didattiche sperimentali descritte in questa comunicazione abbiano costituito un momento importante nell'insegnamento ingegneristico delle Antenne. Si auspica che iniziative di questo tipo vengano utilizzate come spunto per creare una maggiore interdisciplinarietà tra i corsi dell'Ingegneria dell'Informazione.

RINGRAZIAMENTI E BIBLIOGRAFIA

L'esercitazione sulla ricezione dei segnali lunari è stata resa possibile grazie alla preziosa collaborazione di molte persone. Tra esse i tecnici dei Laboratori del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e i loro colleghi di altri Dipartimenti. Un ringraziamento speciale va allo studente Rino Odoardi e al sig. Amato Patregnani per averci messo a disposizione tutta la loro esperienza ed il loro entusiasmo e per averci prestato parte delle apparecchiature utilizzate. Grazie anche al Dr. Goliardo Tomassetti, collaboratore del radiosservatorio IRA-CNR di Medicina, per i preziosi suggerimenti e per la bravura con cui ha condotto l'esperimento.

[1] J.V. Evans, "Radio communication via the Moon", 100 Years of radio, 5-7 September 1995, Conference Publication 411, IEE, 1995.