

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 12 è stato inviato a 32 lettori

Redazione: Ezio Mognaschi, v.le Gorizia, 63 - 27100 Pavia PV, tel. 0382 539522, posta elettronica mognaschi@pavia.infn.it

Hanno collaborato a questo numero: E. Mognaschi, R. Romero.

Sommario: Notizie; Avviso, p. 1; L'antenna nel pozzo, p. 1 - 6.

Notizie: * Anche la Russia ha autorizzato la banda LF radioamatoriale con 100 W.

* La Lituania ha autorizzato, dal giugno 98, la banda LF con una potenza di 10 W, non si sa se ERP o in antenna.

* Le poste olandesi hanno autorizzato la banda LF in Olanda con una limitazione di 400 W nella potenza d'uscita del TX.

* Il 5 agosto è stato effettuato il primo collegamento tra G3LDO e HB9ASB. La potenza del TX di quest'ultimo era di 300 W, mentre la potenza ERP era di 250 mW, antenna ad elica, alta 18 m.

* Al sito <http://www.anarc.org/lwca/> la pagina del *Long Wave Club of America* con notizie ed informazioni sempre aggiornate sulla radio sotto i 500 kHz. Da questo sito R. Romero ha tratto, per i lettori di *Radioonde*, le seguenti notizie:

* Anche i radioamatori sloveni, a partire dal 13 giugno 98, dispongono della banda dei 136 kHz. La stazione club S53DTB, operata da S51XK, ha effettuato il primo QSO in Slovenia con S55WT su 136 kHz alle 00.00 del 13.06.98.

* L'ultima versione di *Horne's Spectrogram*, versione 4.2, è disponibile al sito: www.monumental.com/rshorne/gram.html

* Il 28 maggio 98 la trasmissione in CW di SAQ è stata ricevuta, dalle 09.25 UTC, a Colonia con un buon segnale (RST 579) da Reinhard Klrein-Arendt, ricevitore Lowe HF-225 ed antenna attiva L-400B. Nel Massachusetts Brant Rock ha pure ricevuto SAQ con un'antenna loop di 10' con amplificatore Burhans e ricevitore IC706 con filtro attivo.

* La Germania non ha rinnovato la licenza di trasmissione con nominativo speciale a DAOLF per la banda dei 136 kHz. Si ricorda che DAOLF è stata una delle prime stazioni autorizzate all'uso delle LF in Europa, quando ancora in Italia non se ne parlava. L'operazione è stata motivata con una nuova ripartizione dei prefissi che dovrebbe assegnare il nominativo DA5, seguito dal suffisso F, per le stazioni operanti su frequenze non ancora allocate. Quindi, per ora, la Germania è in QRT sui 136 kHz.

* Paese che va paese che viene: l'Olanda è prossima al rilascio dell'autorizzazione all'uso delle LF: 135.7 - 137.8 kHz la banda, 400 W allo stadio finale il limite di potenza dei trasmettitori utilizzabili.

* Il 24.10.98 sarà il Radio St. Helena Day. La stazione trasmetterà in SSB su 11092.5 kHz dalle 1900 alle 2300 UTC. Radio St. Helena, The Castle, Jamestown, St. Helena, Oceano Sud Atlantico; <http://www.sthelenase.com/>, fax +290 4542.

Avviso

Con il 1998 l'Università di Pavia ha deciso di dare esecuzione ad una disposizione sinora praticamente disattesa, anche se vigente da tempo. Si tratta della richiesta di copertura assicurativa non solo per studenti e personale, ma anche per i frequentatori occasionali delle strutture universitarie. Al di là del linguaggio burocratico ciò significa in pratica, d'ora in poi, l'impossibilità di riunioni del Gruppo Radio Pavese presso strutture dell'Università di Pavia, nonché di attività di radioascolto presso il Centro Estivo di Brallo di Pregola.

L'antenna nel pozzo

di Ezio Mognaschi

1. Introduzione

Si sente spesso affermare che l'antenna radioricevente deve essere collocata il più in alto possibile rispetto al terreno e lontana il più possibile da altri conduttori. Queste affermazioni, la cui correttezza chiunque può verificare nelle normali condizioni, sono tuttavia da considerare piuttosto istruzioni *ad usum Delphini*, invece che regole indiscutibili. Infatti, come vedremo tra breve, si possono prendere in considerazione notevoli varianti rispetto alla configurazione comunemente suggerita, in particolare si può disporre l'antenna ricevente nientemeno che sotto terra, e trarre, in determinate condizioni, considerevoli vantaggi.

L'idea di sperimentare un'antenna sotterranea mi venne in mente per due motivi. Il primo è stata la conoscenza del fatto che, durante il secondo conflitto mondiale, gli alleati usarono comunicare con antenne riceventi e trasmettenti sotterranee con le quali riuscirono, addirittura, a far passare sotto i piedi del nemico le comunicazioni, senza che questi se ne avvedesse, come sarebbe, invece, potuto capitare con comunicazioni radio di tipo convenzionale. Il secondo motivo è stato la fortuita disponibilità di una perforazione, eseguita nel terreno allo scopo di realizzare un pozzo ed abbandonata perché, in quella perforazione, non venne trovata acqua in quantità sufficiente per una eventuale utilizzazione.

Anche i radioamatori, sia statunitensi, sia italiani, hanno sperimentato, nelle loro bande, la ricetrasmittenti con antenne sotterranee, come è descritto, ad esempio, nell'*ARRL Antenna Compendium*, vol. I del 1985, che tratta antenne risonanti a dipolo orizzontale. Non mi risulta, invece, la sperimentazione di antenne risonanti sotterranee nelle bande di

radiodiffusione, probabilmente per questioni legate all'ingombro delle antenne stesse. Inoltre, nella letteratura di pubblica consultazione, non si trovano descrizioni relative al funzionamento delle antenne sotterranee anche se si sa che queste vengono impiegate sia per usi militari, sia quando, per motivi estetici, o per legge, o per altri motivi, non sia possibile usare un'antenna aerea. Si usano inoltre antenne sotterranee nelle comunicazioni cosiddette protette, come negli aeroporti ed in quelle segrete. Anche le antenne riceventi dei sottomarini, che funzionano in immersione, appartengono alla stessa categoria.

Non si confonda, comunque, la ricetrasmisione attraverso la terra con quelle ricetrasmissioni a breve distanza (sino a qualche chilometro) eseguite iniettando, con elettrodi, segnali a frequenza audio nel terreno. In quest'ultimo caso l'accoppiamento tra trasmettitore e ricevitore è esclusivamente per induzione, il che spiega la modesta portata, e non è per irraggiamento e captazione di un segnale elettromagnetico.

Qui considereremo, invece, la ricezione di onde elettromagnetiche in OL, OM, ed OC per mezzo di un'antenna verticale corta, cioè non risonante, la quale, invece di essere posta, come al solito, sopra la superficie terrestre, per esempio su di un tetto, è stata posta sotto terra. Allo scopo di studiare la risposta di una tale antenna è stata costruita anche una seconda antenna verticale, del tutto identica a quella sotterranea per quanto riguarda i parametri fisici quali la lunghezza e la sezione del filo ed in ogni particolare costruttivo, posta questa al di sopra della superficie terrestre. Le intensità dei segnali ricevuti dalle due antenne sono state misurate, in modo praticamente simultaneo, utilizzando un microvoltmetro selettivo. Questo microvoltmetro era sintonizzato, di volta in volta, sulle diverse stazioni che era possibile ricevere con entrambe le antenne.

I risultati ottenuti sono stati del tutto inattesi ed, in particolare, nelle condizioni operative adottate, hanno mostrato come l'antenna sotterranea presenti notevoli vantaggi, nella banda delle OM, rispetto ad un'antenna identica, posta in aria, per quanto riguarda l'intensità del segnale ricevuto. La sperimentazione è stata, per ora, limitata ad una sola antenna sotterranea posta in un unico tipo di terreno. È possibile che, al mutare delle caratteristiche elettriche del terreno rispetto alle condizioni incontrate in questa sperimentazione, mutino anche i risultati che si possono ottenere.

Il funzionamento di un'antenna sotterranea è, infatti, strettamente legato alle caratteristiche elettriche (conducibilità e costante dielettrica) del suolo nel quale è immersa e la spiegazione delle sue proprietà fa parte dell'affascinante problema della propagazione delle onde elettromagnetiche nei mezzi parzialmente conduttori, quali il terreno l'acqua del mare.

2. Il dispositivo sperimentale

2.a Le antenne

Sia l'antenna sotterranea (antenna S), sia quella aerea (antenna A), erano realizzate (v. Fig. 1) in modo identico: ciascuna con un pezzo di filo di rame, di sezione 1 mm^2 , della lunghezza di 4 m, ricoperto in plastica e disposto verticalmente. All'estremità inferiore dell'antenna S si trovava un isolatore in porcellana e, appesa a quest'ultimo, una massa metallica che, con il suo peso, teneva teso il filo come un filo a piombo. Analogamente, all'estremo superiore dell'antenna A si trovava un identico isolatore sospeso, con un gancio metallico, al ramo di un albero. Le due antenne erano inoltre disposte nello stesso posto, allineate, approssimativamente, sulla stessa linea verticale. L'antenna A, sospesa al ramo di un albero, aveva la sua estremità inferiore a 1.35 m dal suolo; l'antenna S era, invece, infilata in un foro praticato nel terreno e profondo 6 m, in modo che la massa metallica posta all'estremità inferiore non poggiasse sul fondo del pozzo, per poter tenere teso verticalmente il filo d'antenna. Inoltre, l'estremità superiore dell'antenna S si trovava, nel pozzo, ad 1.35 m sotto la superficie del terreno. L'estremità superiore dell'antenna S era collegata, per mezzo di un morsetto, al conduttore centrale di un tratto di cavo coassiale, lungo 19.27 m, del tipo a basse perdite RG62 A/U con dielettrico aria e polietilene, avente un'impedenza di $93 \pm 5 \Omega$ ed una capacità di soli 43 pF per metro, per un totale di 830 pF. Un collegamento identico è stato realizzato anche per l'antenna A, naturalmente con il conduttore centrale del cavo collegato all'estremità inferiore di quest'antenna.

I due cavi, disposti sul terreno, portavano i segnali dell'antenna S e dell'antenna A ad un commutatore d'antenna

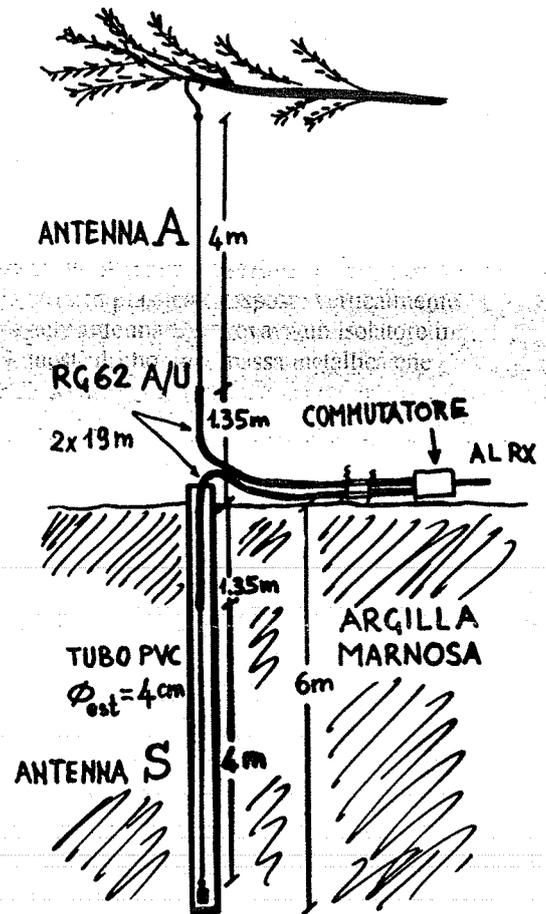


Fig. 1 - Disposizione dell'antenna sotterranea S e dell'antenna di riferimento A; si noti che il disegno non è in scala.

schermato che serviva ad inviare al sistema di misura il segnale di A oppure quello di S, ruotando un comando manuale. È da notare che, per costruzione, il commutatore, mentre inviava al sistema di misura il segnale di A, metteva a massa il segnale di S e viceversa. Le calze dei due cavi coassiali erano collegate tra di loro attraverso il corpo del commutatore e questo era connesso allo *chassis* del sistema di misura, a sua volta collegato alla terra dell'impianto elettrico domestico. Dal commutatore il segnale selezionato veniva inviato, con uno spezzone di cavo coassiale della lunghezza di circa 1.5 m, al sistema di misura. Le estremità dei due cavi coassiali, in prossimità del collegamento alle antenne, erano sigillate con mastice al silicone, allo scopo di non permettere l'entrata di acqua o di vapor d'acqua nei cavi coassiali.

Il foro nel terreno, cioè il pozzo utilizzato per calare sotto terra l'antenna S era stato trivellato diversi anni prima con una trivella a rotopercolazione, del diametro di 14 cm, sino ad una profondità di 6 m, ove era stata incontrata roccia calcarea. Non avendo trovato acqua in quantità utile, ma solo fanghiglia oltre i 4 m di profondità, il foro era stato abbandonato e coperto con una lastra di pietra. Quando decisi di utilizzare questo pozzo per collocarvi un'antenna mi posi, innanzi tutto, il problema di isolare il conduttore dell'antenna dal terreno che è, comunque, un conduttore, o meglio un semiconduttore, e di poter agevolmente ispezionare o cambiare antenna. Per raggiungere questi obiettivi infilai nel foro un tubo in PVC arancione, del tipo utilizzato per scarichi domestici. Il tubo, che riuscii ad infilare nel terreno per 6 m, ha un diametro esterno di 4 cm ed interno di 3.5 cm ed è costituito da due barre, da 3 m ciascuna, unite tra loro con collante al silicone nel giunto maschio-femmina ed è chiuso all'estremità inferiore con un tappo di PVC, anch'esso incollato. Tre viti autofilettanti, disposte in senso radiale, assicurano meccanicamente sia il tappo di PVC all'estremità inferiore del tubo, sia il giunto maschio-femmina, a metà del pozzo.

Il terreno nel quale è stato realizzato il pozzo è costituito da argilla marnosa molto umida, mista a sassi calcarei di dimensioni varie e forma uno strato sedimentario di circa 6 m di spessore che ricopre la roccia calcarea. Il pozzo è situato a 950 m s.l.m., nella località Brallo di Pregola, in provincia di Pavia, in un piccolo pianoro, sul versante sud del contrafforte che, dal monte Penice, scende al passo del Brallo.

2b. Il sistema di misura

Per misurare l'intensità dei segnali ricevuti dalle due antenne, e selezionati per mezzo del commutatore, è stato utilizzato un microvoltmetro selettivo Sierra mod. 128A il quale può arrivare ad una sensibilità di 30 μV a fondo scala e che, pertanto, consente agevolmente di misurare differenze dell'ordine di $\pm 1 \mu\text{V}$. È stata quasi sempre usata la scala di maggior sensibilità che corrisponde a -90 dBm e, solo per alcune stazioni molto forti, sono state usate altre scale. Ad esempio, la scala di -40 dBm è stata usata solo per la stazione di Milano 1, la stazione locale più forte.

Per tutte le misure è stato usato l'ingresso *bridge* del microvoltmetro. Questo ingresso presenta un'alta impedenza, di tipo capacitivo. L'impedenza, infatti, passa da 18.7 k Ω \angle -89.7° a 100 kHz a 1.88 k Ω \angle -89.7° ad 1 MHz ed è quella di un condensatore, in parallelo, di circa 80 pF. La scelta di questo ingresso consentiva di avere la maggiore lettura sullo strumento di misura, ma non permetteva la misura assoluta in μV del segnale in quanto la scala in microvolt del Sierra 128A è tarata solo per l'impedenza di ingresso di 600 Ω e non per tutte le altre. Per questo motivo le intensità dei segnali sono state lette in dBm ed, in particolare, è stata annotata la differenza, in dBm, tra il segnale dell'antenna S e quello dell'antenna A, presa come riferimento.

È stata utilizzata la larghezza di banda di 2.5 kHz del Sierra 128A in quanto sono stati misurati segnali di stazioni di radiodiffusione. Con questa larghezza di banda l'audio, ricevuto in cuffia, non era certo eccellente; tuttavia era di qualità sufficiente per poter identificare la stazione ricevuta.

La frequenza delle stazioni ricevute è stata misurata con l'ausilio di un altro radiorecettore, un Sony ICF-2010 con propria antenna in ferrite, che fornisce una precisione di ± 0.1 kHz. La precisione della scala analogica del Sierra 128A non permetteva, infatti, di superare la precisione di ± 10 kHz, insufficiente per la presente ricerca.

2c. La procedura di misura

Le misure dell'intensità del segnale fornito dalle antenne S ed A sono state eseguite, generalmente, nelle ore serali, dalle 21 alle 24 ore italiane, nella seconda metà del mese di agosto del 1998, nel seguente modo. Veniva dapprima sintonizzata una stazione con il Sierra 128A ed ascoltata in cuffia. La stessa stazione veniva poi sintonizzata con il Sony ICF-2010 ed ascoltata in altoparlante con l'altro orecchio, libero dalla cuffia. Fa uno strano effetto ascoltare, separatamente, con le due orecchie, gli stessi suoni provenienti da due diversi ricevitori: sembra che il suono venga da dentro la testa! Questo strano effetto permette di essere sicuri che la stessa stazione viene ricevuta simultaneamente e, quindi, permette una lettura precisa della frequenza. Poiché sono state ricevute, prevalentemente, stazioni di radiodiffusione, un ulteriore controllo sulla precisione della frequenza veniva svolto verificando che la frequenza in kHz, letta sul Sony, fosse multipla di 9 kHz. Questo si può fare agevolmente sommando le cifre che compongono il numero che esprime i kHz. La somma delle cifre deve dare 9 oppure 18. Esempio: Radio Montecarlo, 216 kHz, somma 9; Milano 2, 846 kHz, somma 18.

Una volta sintonizzata una stazione che non mostrasse, nel momento della misura, eccessive evanescenze, cioè che avesse un segnale abbastanza stabile e di intensità misurabile, veniva ripetutamente azionato il commutatore in modo da misurare, nelle stesse condizioni e, per quanto possibile, in modo simultaneo, sia il segnale dell'antenna S, sia quello dell'antenna di riferimento A. A questo punto veniva presa nota della differenza Δ , in dBm, tra le due letture. Venivano scartate quelle stazioni per le quali il battimento tra onda di superficie ed onda ionosferica dava luogo a rapide variazioni

dB e dBm, cosa sono?

Il guadagno (o l'attenuazione) di potenza di un circuito attivo (o passivo) viene espresso in dB con la definizione

$$\text{Guadagno (in dB)} = 10 \log [P_2/P_1] \quad (1)$$

ove P_2 è la potenza di uscita e P_1 quella di entrata, espresse nella stessa unità di misura. Se $P_2 > P_1$ il guadagno è positivo; se $P_2 < P_1$ il guadagno è negativo (attenuazione); se $P_2 = P_1$ il guadagno è di 0 dB.

A questo punto potremmo desiderare di passare dai rapporti di potenza a quelli di tensione (o di corrente). Per fare questo si ricorre alla definizione di potenza $P = V I$ ed alla legge di Ohm $V = I R$. Con le ultime relazioni ora scritte abbiamo fatto, implicitamente, riferimento ad impedenze puramente resistive. Ma c'è una questione sottile da tener presente e riguarda il caso di impedenze, sempre resistive, ma diverse tra ingresso ed uscita del circuito considerato. Se l'impedenza di ingresso è R_1 e quella di uscita è R_2 avremo: $P_2 = V_2 I_2 = I_2^2 R_2 = V_2^2/R_2$ ed introducendo queste espressioni nella (1) sarà

$$\text{Guadagno (in dB)} = 10 \log [(V_2^2/R_2)/(V_1^2/R_1)] = 20 \log [(V_2 R_1)/(V_1 R_2)]. \quad (2)$$

Comunemente viene considerato il caso $R_2 = R_1$ e la (2) si semplifica così:

$$\text{Guadagno (in dB)} = 20 \log [V_2/V_1]. \quad (2a)$$

Ma, attenzione, è solo un caso particolare.

Viene spesso assunto in radiotecnica, come livello di riferimento di potenza, quello di 1 mW. Si può allora esprimere il livello (logaritmico) di potenza con l'unità dBm ove, per convenzione, "m" significa "riferito ad 1 mW". Quindi per una potenza P qualsiasi

$$\text{Livello (logaritmico) di potenza (in dBm)} = 10 \log [P(\text{in W})/10^{-3} \text{ W}]. \quad (3)$$

Quindi $P = 1 \text{ mW}$ corrisponde a 0 dBm, $P = 1 \text{ W}$ corrisponde a $10 \log [1 \text{ W}/10^{-3} \text{ W}] = 30 \text{ dBm}$, eccetera.

Se riscriviamo la (3) con la potenza espressa in termini di differenza di potenziale V ai capi di una resistenza R , cioè $P = V^2/R$, abbiamo:

$$\text{Livello (logaritmico) di potenza (in dBm)} = 10 \log [V^2/(10^3 R)]. \quad (3)$$

La (3), risolta rispetto a V , fornisce:

$$V = \{ [10^{(\text{dBm}/10)}] R/10^3 \}^{1/2} \quad (4)$$

Esempio: per Milano 1 (900 kHz), per l'antenna S, si è trovato, mediamente, dBm = -45; poiché a questa frequenza l'impedenza del microvoltmetro è circa $R = 1880 \Omega$, risulta $V = 7.7 \text{ mV}$; mentre per Allouis (163 kHz) si è trovato dBm = -87, l'impedenza è circa $R = 18.8 \text{ k}\Omega$, e quindi, $V = 10 \mu\text{V}$.

Spesso, oltre ad assumere la potenza di riferimento di 1 mW, si intende, o si sottintende, che questa potenza è sviluppata su di una resistenza $R = 600 \Omega$, ecco perché le scale tarate di molti strumenti di misura sono riferite a 600Ω .

di intensità, conseguenti alle fluttuazioni delle condizioni ionosferiche nel tempo di commutazione tra le due antenne.

Sono state esplorate sia le OL, sia le OM, sia le OC. Tuttavia, considerata la complessità dei risultati ottenuti ed il fatto che sopra i 3 MHz l'antenna S ha fornito quasi sempre (ma non sempre) segnali di intensità inferiore a quelli dell'antenna A, lo studio sistematico delle intensità dei segnali è stato limitato alle OL ed alle OM.

Nei casi considerati la lunghezza d'onda delle onde ricevute era sempre molto maggiore della lunghezza delle antenne, cioè l'antenna sotterranea considerata, nonché quella aerea di riferimento, si possono considerare "corte" rispetto alla lunghezza d'onda e ci si trovava lontani da condizioni di risonanza dell'antenna.

3. I risultati

In Fig. 2 sono riportati i risultati ottenuti con le modalità descritte nel paragrafo 2, relativamente a stazioni di radiodiffusione nelle bande delle OL e delle OM.

In generale, la differenza Δ tra i segnali di S e di A presenta, *grosso modo*, un andamento ad M, cioè mostra due picchi, nettamente marcati, rispettivamente intorno a 900 kHz ed a 1250 kHz ed un minimo attorno a 1100 kHz. Inoltre, dopo il picco a 1300 kHz, la differenza tra i segnali decresce rapidamente sino a stabilizzarsi intorno a +5 dBm sopra 1400 kHz; mentre, al di sotto di 800 kHz, l'andamento è crescente in modo lineare e si passa da differenze negative di circa -10 dBm a differenze positive di +10 dBm.

La linea tratteggiata in Fig. 2 serve, esclusivamente, a guidare l'occhio tra i punti sperimentali.

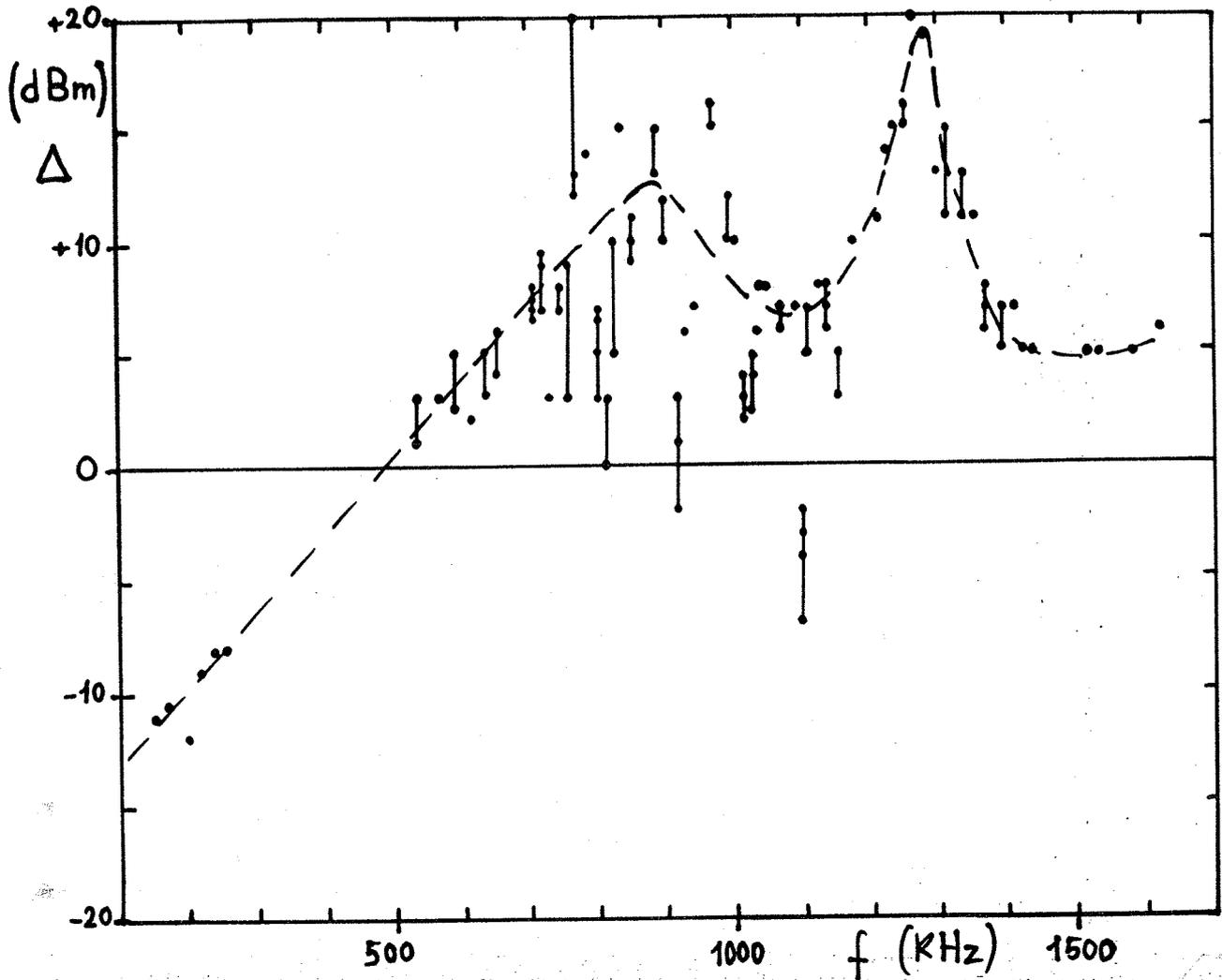


Fig. 2 - Confronto tra le intensità di segnale fornite dall'antenna S e dall'antenna A. In ordinate è riportata la differenza in dBm tra le letture relative alle due antenne, rilevate con un microvoltmetro selettivo, in ascisse la frequenza.

Prima di passare ad un tentativo di interpretazione del comportamento dell'antenna sotterranea considerata, mi si consenta di mettere in evidenza come, su quasi tutta la banda delle OM, questa presenti un guadagno spesso molto marcato rispetto ad un'antenna aerea delle stesse dimensioni. In particolare, sono stati misurati guadagni sino a + 20 dBm per alcune frequenze; guadagni che corrispondono, in termini di intensità di segnale, ad un fattore 10.

4. Discussione e proposta di interpretazione

Ci si può, innanzitutto, chiedere sino a che profondità penetrino le onde radio nel terreno. La teoria della propagazione nei mezzi conduttori prevede che la penetrazione avvenga con attenuazione, di modo che l'intensità dell'onda decresca esponenzialmente con la profondità. La profondità alla quale l'intensità delle onde di frequenza f è attenuata del 63% è il cosiddetto "spessore della pelle" del conduttore considerato ed è data da

$$\delta = [1/(\pi f \mu \sigma)]^{1/2} \quad (5)$$

ove $\mu \cong \mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$ è la permeabilità magnetica del terreno e σ la sua conducibilità elettrica. Se teniamo presente che σ può variare da 10^{-1} a 10^{-3} Sm^{-1} a seconda del tipo di terreno, abbiamo che la profondità di pelle può variare da 5 m a 1.3 m per frequenze da 100 kHz a 1600 kHz per terreni umidi; mentre, per terreni asciutti, nello stesso intervallo di frequenze, la pelle varia da 50 m a 12 m. Alle profondità del pozzo utilizzato per la sperimentazione giunge, quindi, una buona percentuale dell'intensità dell'onda presente nell'aria. Si noti che la teoria prevede una maggiore penetrazione alle frequenze più basse in quanto δ è inversamente proporzionale alla radice quadrata della frequenza. L'effetto pelle non è

dunque in grado, da solo, di spiegare l'andamento dell'intensità del segnale mostrato in Fig. 2, anzi, farebbe prevedere una ricezione tanto migliore quanto più bassa è la frequenza.

Il trasferimento di energia elettromagnetica da un'onda radio (che si propaga nell'aria e, quindi, in un mezzo con impedenza $Z_0 \cong 377 \Omega$) al ricevitore comporta diversi passaggi. Nel caso di antenne elettriche, il campo elettrico provoca, sul conduttore che costituisce l'antenna, una distribuzione di corrente e di potenziale, variabile nel tempo alla frequenza della portante; il segnale elettrico, prelevato in un punto opportuno dell'antenna, viene trasferito, con un altro conduttore, generalmente schermato (cavo coassiale) all'ingresso del ricevitore il quale presenta una impedenza Z_r .

Spesso si legge che l'impedenza del ricevitore deve essere uguale a quella del cavo e questa a quella dell'antenna. Questo luogo comune è nato dal trasferimento acritico di alcune nozioni dalla pratica radioamatoriale della trasmissione a quella del radioascolto. In trasmissione, per ovvii motivi, si cerca di raggiungere il miglior trasferimento di potenza dal TX all'antenna e ciò si ottiene nel modo suddetto. Nel migliore dei casi, però, è al massimo il 50% della potenza che viene trasferita all'antenna e non tutta la potenza, come affermano alcuni ottimisti inguaribili. Siccome l'impedenza delle antenne trasmettenti è stata standardizzata, per motivi di praticità, a 50Ω , ne consegue che questa impedenza sia stata generalmente adottata sia per le uscite dei TX, sia per gli ingressi dei RX radioamatoriali in quanto questi ultimi usano, in ricezione, ancora per motivi pratici, la stessa antenna e la stessa linea usata per la trasmissione.

Un'impedenza relativamente bassa presenta, inoltre, i seguenti vantaggi: basse tensioni in trasmissione, con conseguente riduzione dei problemi e dei costi degli isolamenti, e basso rumore in ricezione. I moderni ricevitori a stato solido sono abbastanza rumorosi per conto proprio che, se si riesce a ridurre, abbassando l'impedenza di ingresso, la tensione di rumore in ingresso, è tanto di guadagnato.

Nella radioricezione il problema è diverso: non si tratta, necessariamente, di trasferire la massima potenza dall'antenna al RX, bensì il massimo segnale e, quindi, è addirittura indesiderabile l'eguaglianza delle impedenze. È facile dimostrare che l'eguaglianza delle impedenze fa sì che, al massimo metà della potenza venga trasferita e quindi si abbia al ricevitore la metà del segnale presente in antenna; mentre se il carico (ricevitore) presenta un'impedenza molto maggiore di quella del generatore (antenna) quasi tutta la tensione viene trasferita; in questo caso cioè il RX non "carica" eccessivamente l'antenna.

È per questo motivo che, ad esempio, gli oscilloscopi hanno una impedenza di ingresso di almeno $1 M\Omega$ ed i voltmetri elettronici un'impedenza maggiore di $10 M\Omega$. Come abbiamo visto, anche il voltmetro selettivo utilizzato ha un'impedenza di ingresso relativamente alta e, sicuramente, molto maggiore di quella delle antenne utilizzate.

È impossibile dire quale sia l'impedenza dell'antenna sotterranea senza una conoscenza delle proprietà elettriche del terreno nel quale è immersa; tuttavia esistono calcoli teorici e misure sperimentali, pubblicati in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* nel 1963, i quali mostrano che un filo, sepolto sotto terra ed isolato dal terreno, presenta proprio un andamento ad M dell'impedenza in funzione della frequenza, con due massimi dell'ordine di qualche centinaio di ohm a frequenze che dipendono dalla geometria dell'antenna. Inoltre, in una tesi discussa nel 1951 ed oramai introvabile, è stato dimostrato che, alle basse frequenze, l'impedenza di un'antenna sepolta è proporzionale alla frequenza. Queste due distinte caratteristiche dell'impedenza di un'antenna sepolta le ritroviamo anche nell'andamento dell'intensità del segnale, mostrato in Fig. 2.

La conclusione che si può trarre, almeno provvisoriamente ed in attesa di ulteriori sperimentazioni, è che il trasferimento dell'energia delle onde radio dallo spazio aereo all'antenna sepolta risenta favorevolmente dell'adattamento di impedenza il quale viene realizzato dalla combinazione delle proprietà elettriche del terreno con la geometria dell'antenna stessa e sia massimo intorno a quelle frequenze per le quali sono stati osservati i segnali più intensi; l'uso di un ricevitore con relativamente alta impedenza d'ingresso ha permesso, infine, una misura abbastanza precisa delle intensità dei segnali presenti in antenna. In considerazione dell'osservazione che, se si usava un'impedenza di ingresso di 600Ω o di 135Ω , il segnale risultava molto attenuato, è prevedibile che per sperimentare con ricevitori commerciali con impedenza d'ingresso di 50Ω convenga inserire un circuito, ad esempio un "inseguitore catodico", che presenti alta impedenza verso l'antenna sotterranea e bassa verso il ricevitore.

Un'ulteriore osservazione consiste nel fatto che, per le stazioni per le quali si osservava una fluttuazione della intensità del segnale, questa fluttuazione era più accentuata per l'antenna S che per l'antenna A. Questo fatto non solo indica che sia l'onda di terra, sia quella ionosferica sono ricevute da S, ma anche che una delle due, probabilmente quella ionosferica, è più intensa per l'antenna S.

Non appena possibile la sperimentazione riprenderà per meglio caratterizzare la risposta dell'antenna sotterranea e per estendere lo studio al suo comportamento in onde corte.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il dott. Fulvio Cocci, IK2CJD, il quale mi ha fornito prezioso materiale bibliografico; il Prof. Roberto Canobbio che ha partecipato alla sperimentazione e David Bocca Corsico Piccolino che ha gentilmente messo a disposizione il cavo coassiale a basse perdite utilizzato per le misure.