

Consegna dell'autore

ARRIGO CIGNA

SPE 240

CIRCOLO SPELEOLOGICO
ROMANO
BIBLIOTECA

LA RADIO-SPELEOLOGIA

Estratto da „ATTI DEL VI CONGRESSO
NAZIONALE DI SPELEOLOGIA“

TRIESTE 1954

LA RADIO - SPELEOLOGIA

Introduzione

Il problema di comunicare via radio attraverso spessori di roccia con l'interno di cavità, naturali, o artificiali, risale ormai ad alcune decine di anni.

Le risposte finora date sono state quanto mai varie e contraddittorie tra loro: non è quindi facile fare ora il punto e cercare di definire la questione. Ponendo tuttavia alcuni limiti al problema stesso, ragionando cioè in termini meno generali, è possibile trovare una soluzione almeno qualitativa.

E' conveniente, anzitutto, esaminare i risultati conseguiti da alcuni sperimentatori e trarre le opportune deduzioni per quanto riguarda l'impiego delle radio per scopi speleologici.

In alcuni casi infatti, si è potuto trasmettere con successo attraverso considerevoli spessori di roccia (1, 2, 4, 7, 8, 9, 13, 15) e talvolta addirittura con una ben piccola potenza: 3 watt su 1602 KHz (13). In altri casi invece non si è conseguito alcun risultato pratico (6, 10, 12).

Esperienze e ricerche

Dal punto di vista teorico, l'attenuazione delle radio onde nel suolo è stata studiata, tra gli altri, da A. S. Eve (3) che ha dato la seguente formula per il fattore di attenuazione:

$$\exp \left[- \frac{2 \pi \gamma d}{c} \left\{ \frac{\mu}{2} \left(\frac{\epsilon^2}{4} + \frac{4 \delta^2}{\gamma^2} \right)^{1/2} - \frac{\epsilon}{2} \right\}^{1/2} \right]$$

dove:

- γ = Frequenza in Hz
- d = Profondità in cm
- c = Velocità delle luce
- μ = Permeabilità magnetica del terreno
- ϵ = Cost. dielett. del terreno
- δ = Conduttività del terreno (unità e. s.)

Applicando questa formula ai risultati conseguiti da Silverman e Sheffet (6) è stato notato, da parte di questi ultimi, come, assumendo per la conduttività del terreno un valore più elevato (circa il doppio) di quello misurato sperimentalmente, si aveva un buon accordo tra la curva teorica e quella sperimentale, altrimenti l'attenuazione prevista risultava maggiore di quella misurata, e le due curve differivano semplicemente per una costante additiva.

Però nella galleria ove operavano questi ultimi due ricercatori vi era una linea a corrente alternata e una tubazione metallica: si potrebbe quindi pensare ad un falso aumento della conduttività a causa di questi elementi

perturbatori. E' anche possibile tuttavia che la conduttività misurata sperimentalmente si riferisce solo a una certa parte del suolo, mentre in media questa fosse appunto più elevata.

Altre ricerche condotte da Wm. C. Pritchett (12) hanno mostrato una attenuazione che, sebbene minore di quella teorica, è sempre troppo forte per consentire una utilizzazione pratica.

Esperimenti (9) eseguiti operando sulla stessa frequenza (intorno ai 1600 KHz) utilizzando però antenne a grande estensione (due «collinear» di circa 40 m l'una) portavano invece a risultati veramente soddisfacenti la cui importanza viene accresciuta se si tiene conto della ben piccola potenza adoperata, come si è già detto all'inizio.

Si può quindi dedurre da tali risultati quale ruolo abbia il fattore antenna nelle comunicazioni radio in grotta. Ciò è del resto confermato da recenti esperienze delle quali dà notizia J. O. Myers in «British Caving» (15).

A causa di questo fenomeno, tuttavia, viene reso più difficile l'im-

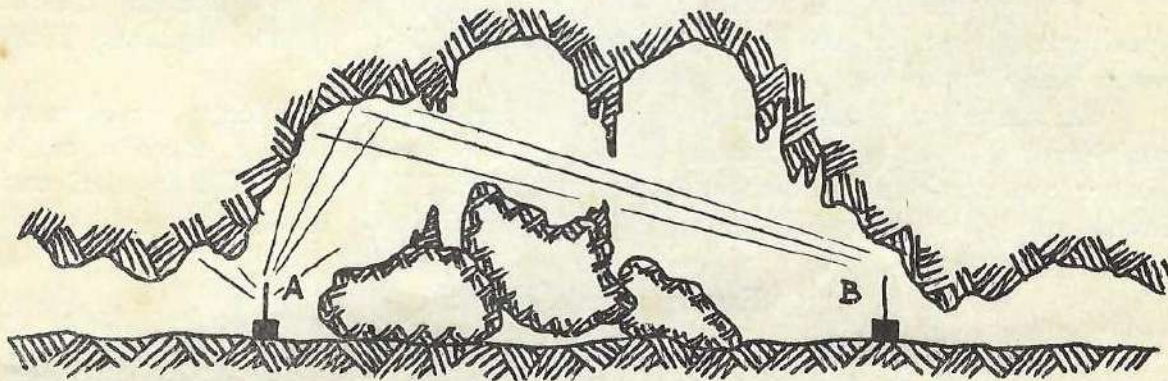


Fig. 1 — Su frequenze molto elevate, nonostante la non visibilità ottica è possibile il collegamento tra le stazioni A e B grazie alla riflessione, del campo emesso, sul soffitto.

piego di apparati portatili quando si voglia ottenere un raggio d'azione piuttosto esteso, a causa dell'ingombro assunto dall'antenna stessa.

Infatti mentre per diminuire tale ingombro sarebbero da preferirsi frequenze piuttosto elevate, considerazioni sul fattore di assorbimento (3) consigliano l'uso di onde piuttosto lunghe e pongono praticamente un limite inferiore alle lunghezze d'onde impiegabili.

Un altro fattore legato alla forma e posizione delle antenne è la polarizzazione, per cui, variando il piano di questa e mantenendo costanti tutte le altre condizioni si hanno variazioni della intensità in ricezione (11). Questo è dovuto alla particolare conformazione del campo elettromagnetico in grotta, dove, a causa delle molteplici riflessioni sulle pareti si hanno rafforzamenti e indebolimenti locali per l'interferenza tra l'onda diretta e quella riflessa (14).

Variando allora il piano di polarizzazione alcuni angoli di riflessione si approssimano al pseudo angolo di Brewster con la conseguente quasi totale estinzione del raggio riflesso: in tal modo quindi si spostano i punti di interferenza.

Un semplice calcolo verifica che per frequenze intorno ai 30 MHz e

oltre, le ordinarie dimensioni delle grotte danno angoli di riflessione che possono facilmente essere dell'ordine del pseudo angolo di Brewster.

Per cavità con dimensioni di qualche lunghezza d'onda si verifica una intensa canalizzazione delle onde emesse, mentre quando le dimensioni si approssimano alla mezza lunghezza d'onda l'attenuazione aumenta rapidamente portando alla completa estinzione del segnale (11 e 14).

E' stato inoltre notato un particolare effetto dovuto all'impiego di circuiti superrigenerativi (14 e 16). Quando infatti una stazione col primo stadio in superreazione si trovi in un cunicolo e sia in ricezione, un forte rumore di fondo si sovrappone al segnale in arrivo fino a renderlo inintelligibile in certi casi.

Ciò è dovuto al campo secondario emesso dal circuito superrigenerativo che viene ricevuto sfasato dopo la riflessione delle vicine pareti, pro-

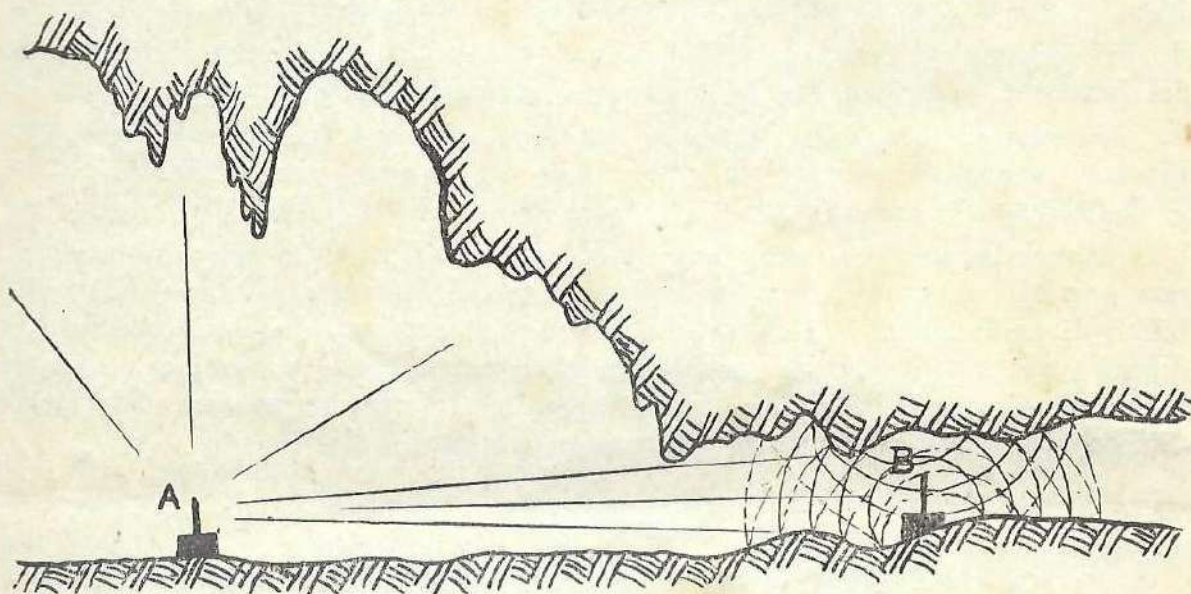


Fig. 2 — L'impiego di un circuito super rigenerativo da parte della stazione B ostacola la ricezione della stazione A a causa del campo secondario emesso, che eleva il livello del rumore di fondo.

vocando quindi dei battimenti sia con l'oscillatore locale che col segnale in arrivo.

L'aggiunta di uno stadio in AF tra l'antenna ed il circuito superrigenerativo impedisce a quest'ultimo di emettere, con le relative conseguenze ed eliminando pertanto l'inconveniente.

Onde dirette e onde canalizzate

Considerando i fenomeni fin qua descritti si nota facilmente l'importanza della scelta opportuna della frequenza a seconda dei risultati che si desiderano ottenere.

Premesso che per ottenere collegamenti a vasto raggio è necessaria la installazione di una antenna piuttosto estesa, dell'ordine di almeno una lunghezza d'onda, è conveniente distinguere in due categorie i collegamenti radio in grotta.

E precisamente una prima categoria in cui, per le caratteristiche geometriche della cavità, il collegamento tra due o più stazioni avvenga per mezzo di onde che invadono lo spazio libero delle gallerie, e una seconda categoria in cui il collegamento possa avvenire soltanto con onde dirette attraversanti spessori di roccia.

Nel primo caso allora (vaste gallerie con andamento pressochè rettilineo, ecc.) si dovranno preferire frequenze abbastanza elevate, superiori ai 30 MHz, per le quali le condizioni ambientali delle grotte più si avvicinano al modello di una guida d'onda.

Un ulteriore aumento del rendimento potrà essere conseguito mediante l'impiego di antenne ad alto guadagno e sfruttando opportunamente i rafforzamenti locali del campo (14) ai quali si è già accennato.

Quando invece il collegamento con onde canalizzate sia reso impossibile dalla forma e dalle dimensioni della grotta, nel secondo caso cioè, si dovrà ripiegare su frequenze più basse. Ciò è conseguenza della diminuzione del fattore di assorbimento del terreno al diminuire della frequenza (3 e 15).

Numerose esperienze del resto, attestano la possibilità di stabilire collegamenti attraverso spessori di roccia fino ad almeno mezzo Km (1, 2, 4, 7, 8, 9, 13, 15) operando su frequenze da 700 a 1600 KHz.

Naturalmente in quest'ultimo caso non sarà possibile adoperare apparati portatili a causa del notevole ingombro dell'antenna. Tuttavia la possibilità di comunicare, ad esempio, tra la sala terminale di una profonda e difficile grotta e l'esterno, senza dover disporre linee telefoniche, sempre ingombranti per le manovre, lungo tutte le gallerie, giustifica l'impiego di apparati radio anche se più complessi e costosi.

Conclusione

Non si potrà certo ritenere esaurito il problema della radio-speleologia in generale; tuttavia, inquadrandolo nei limiti sopra accennati, considerando cioè i singoli casi particolari di impiego di apparecchiature radio in grotta, è quasi sempre possibile trovare una soluzione soddisfacente che consente un regolare impiego di tali apparecchiature nel corso di spedizioni.

L'abilità del radio-speleologo farà un'opportuna scelta delle caratteristiche di un apparecchio, secondo le regole su esposte, per ottenere la migliore prestazione in un determinato collegamento.

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare da queste righe gli altri operatori del Gruppo Grotte Milano, L. Ligasacchi e G. Orlandi, per l'ottima collaborazione nel corso delle esperienze in Sardegna ed in Puglia, il prof. F. Anelli, grazie al quale si sono potute organizzare le ricerche nelle Grotte di Castellana, e l'ing. O. Vecchia per le preziose informazioni bibliografiche.

Milano, agosto 1954.

ARRIGO CIGNA

BIBLIOGRAFIA

- 1 — EVE A. S., KEYS D. A. — *Radio and Electromagnetic Waves at Mammoth Caves, Kentucky*. — Canada Dept. of Mines geol. Surv. Mem. 165, 1928/29.
- 2 — EVE A. S., KEYS D. A., LEE — *The Penetration of Rock by Electromagnetic Waves and Audio Frequencies*. — Proc. I.R.E., vol. 17, N. 11, 1929.
- 3 — EVE A. S. — *Technical Publication N. 3/6, Class L, Geophysical Prospecting, N. 19* — A.I.M.E., New York, Febr. 1930.
- 4 — EVE A. S., KEYS D. A. — *Geophysical Investigations at the Mammoth Cave, Kentucky*. — Canada Dept. of Mines geol. Surv. Mem. 170, 1930.
- 5 — SACCO L. — *Ricerche sulle costanti elettriche del terreno per onde ultracorte* — «La Ricerca Scientifica», Anno XI, ott. 1940.
- 6 — SILVERMAN D. & SHEFFET D. — *Note on the transmission of radio waves through the earth*. — Geophysics, VII, N. 4, 1942.
- 7 — WADLEY T. L. — *Underground Communication by Radio in Gold Mines on the Witwatersrand*. — South African Council for Scient. and Industr. Research, Report T. R. L. 3, nov. 1946.
- 8 — FELEGY E. W. & COGGESHALL E. J. — *Applicability of Radio Emergency Mine Communication*. — U. S. Bureau of Mines Report. R. I. 4294, 1948.
- 9 — BARRET Wm. M. — *Exploring the Earth With Radio Waves*. — World Petroleum, Aprile 1949.
- 10 — HAYCOCK O. C., MADSEN E. C. & HURST S. R. — *Propagation of Electromagnetic Waves in the Earth*. — Geophysics, XIV, N. 2, Aprile 1949.
- 11 — *Sotto i 10 metri* — «Radio Rivista», vol. IV, N. 10-11, 1951.
- 12 — PRICHETT W. C. — *Attenuation of Radio Frequency Waves through the Earth*. — Geophysics, XVII, N. 2, Aprile 1952.
- 13 — BARRET Wm. M. — *Note on the Radio-transmission Demonstration at Grand Saline, Texas*. — Geophysics, XVII, N. 3, Luglio 1952.
- 14 — CIGNA A. — *Propagazione delle radio-onde nelle grotte* — «Radio Rivista», vol. VI, N. 4, Aprile 1953.
- 15 — MYERS J. O. — *Cave Physics* — British Caving, Cave Research Group, Londra 1953.
- 16 — FERRARI L. & DEMATTIA C. — *Relazione su esperimenti con radiotelefoni in cavità sotterranee*. — (inedito) Commiss. Grotte «E. Boegan», Trieste 1954.

APPENDICE

Esperienze con radiotelefoni del Gruppo Grotte Milano

Nel corso della campagna speleologica organizzata dal G.G.M. nel luglio 1952, nella zona del Capo Caccia (Alghero), furono compiuti alcuni esperimenti di impiego di due ricetrasmittitori Allocchio-Bacchini, tipo AP 8, modificati.

La frequenza di lavoro era di 38,5 MHz, con una potenza di qualche decina di mW.

La sala del lago La Marmora, nella grotta del Nettuno, presenta particolari caratteristiche fisiche a causa delle pareti imbibite di acqua salata ed aventi quindi una elevata conduttività dovuta alla soluzione fortemente dissociata (NaCl) che le impregna.

Si osservò pertanto il fenomeno, cui si è già accennato, dell'intensificazione o indebolimento locale del campo, provocati da interferenze tra onde dirette e onde riflesse e da azioni di foccheggiamento dei riflettori naturali costituiti dalle ondulazioni delle pareti.

Tuttavia, sempre a causa dell'elevato valore del coefficiente di riflessione relativo alle radio-onde sulle pareti, la comunicazione con una stazione situata in un cunicolo, riusciva molto disturbata dal campo secondario emesso dal circuito a superreazione.

I collegamenti coi radiotelefonici ebbero pertanto successo pratico solo nella vasta sala del lago La Marmora, dove permisero un comodo coordinamento dei movimenti per il trasporto dei materiali e per le operazioni di rilievo.

Nell'ottobre successivo, su invito del prof. Anelli, direttore delle Grotte di Castellana, una spedizione svolta in quelle grotte permise alcune interessanti ricerche sulla propagazione delle radio-onde in condizioni non più eccezionali come nel caso della Grotta del Nettuno, ma affini a quelle che si incontrano nella maggior parte delle grotte.

Si poterono così esaminare a fondo i vari fenomeni dai quali dipende la configurazione del campo elettromagnetico all'interno della grotta.

Da notare, tra questi, l'effetto di guida d'onda delle gallerie con dimensioni di qualche $\lambda/2$ e la brusca attenuazione attraverso cunicoli di dimensioni inferiori o uguali a $\lambda/2$.

D'altra parte, le condizioni di particolare secchezza di alcune zone della roccia calcarea di copertura della grotta e la conseguente alta resistività di tale roccia, permise collegamenti con l'esterno attraverso spessori, sia pure di poche decine di metri, di calcare, ma su frequenze elevate (38,5 MHz).

Milano, agosto 1954

ARRIGO CIGNA