

RADIOONDE

Bollettino aperiodico del Gruppo Radio Pavese - N. 8, ottobre 97

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 7 è stato inviato a 40 lettori

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

=====

Hanno collaborato a questo numero: D. Concatti, M. Eleuteri, M. Ibridi, E. Mognaschi, R. Romero, F. Traverso.

Sommario: Notizie, Segnali radio che precedono eventi sismici p. 1; Commento p. 2-4; Suggestimenti p. 4; Nuove stazioni in OL, Meeting del Gruppo Radio Pavese, Radiosegnali naturali in banda VLF (parte III) p. 4.

Notizie:* Dal 01.04.97 gli OM finlandesi possono utilizzare anche la seguente banda in OL: 135.7 - 137.8 kHz con potenza di uscita di 100 W. Recentemente anche gli OM tedeschi sono stati autorizzati a trasmettere sulla stessa banda con 100 W e nominativo specifico; anche la Svizzera è prossima a rilasciare l'autorizzazione, mentre gli OM britannici, che già trasmettono su 73 kHz, passeranno presto anch'essi su 136 kHz.

* La potenza della stazione campione di tempo e di frequenza WWVB di Boulder, che trasmette su 60 kHz, verrà aumentata da 13 kW a circa 38 kW con l'aggiunta di un TX Continental FRT-72 degli anni '60, appartenuto alla Marina Statunitense. Il TX ha una massa di 8050 kg. Verrà anche riutilizzata l'antenna usata a suo tempo dalla stazione WWVL, che trasmetteva su 20 kHz e che è rimasta inattiva per molti anni dopo lo smantellamento del TX. Le prime prove ad alta potenza verranno effettuate nel dicembre '97.

(Segue a p. 4)

Segnali radio che precedono eventi sismici

Marco Eleuteri di Todi (PG) ha inviato in Redazione una lettera che contiene importanti osservazioni sui segnali radio ricevuti prima di eventi sismici. Ecco il testo della lettera, seguito da un commento redazionale.

Sono Marco Eleuteri, IK0VSV, di Todi (PG). Da tempo ricevo Radioonde, ma finora non ho mai scritto a proposito dei miei studi sulle VLF. Dal momento che da circa 3 mesi ho potuto verificare quanto inseguo da tempo, invio questo mio modesto lavoro, sperando di essere contattato da altri per procedere negli studi. Brevemente: dal 1990 ho avuto modo di ascoltare del QRM, un forte fruscio, che copriva perfino le *broadcastings* più potenti tipo R. Mosca o la BBC, simile ad una portante modulata da forte alternata, un po' di tempo prima, circa 1/2 ora, di un sisma. Altre volte ho avuto le stesse esperienze ma mai vivendone le conseguenze di persona e per lungo tempo. Il giorno 12.05.97 alle ore 15.50 la nostra zona, Massa Martana, vicino Todi, ha subito un sisma del 7° grado, durato 12 secondi, che ha semi distrutto il paese con notevoli danni, solo materiali per fortuna, alle case. La mia ha avuto danni al tetto ed ai tramezzi, ma nulla di più; per tre mesi abbiamo vissuto nel camper e, al momento (02.08.97), sono due settimane che siamo rientrati a casa, ma le scosse continuano in media 3 o 4 al giorno.

Non sono qui a raccontarti la mia storia personale, il fatto è questo: il giorno 10.05.97 ho iniziato a sentire "quel fruscio" nel range 50 kHz ÷ 3 MHz, con intensità attorno a 70 ÷ 80 µV, ma non un rumore stabile in frequenza, piuttosto in salita. La sera aveva raggiunto i 7 - 8 MHz. Dato che anche la mia XYL mi aiuta nelle ricerche e nei monitoraggi, sapendo del "rischio" abbiamo deciso di trasferire i generi di urgenza nel *motorhome*, con la stazione HF e VLF. L'indomani il QRM era salito, alle 21.00 circa, fino a 150 MHz con almeno 400 µV di intensità. Ci siamo guardati ed abbiamo deciso di avvisare qualcuno (Carabinieri e VVFF) ma abbiamo solo ricevuto vaghe risposte tipo: "Sì, grazie, ma come si fa ad essere sicuri? E come possiamo avvisare tutti?"

Forse siamo passati per matti quando abbiamo chiesto ad un OM di Terni se sentiva il QRM nella sua zona (15 km da noi) dato che ci ha trattato un po' come tali, evitando polemiche.

L'indomani, alle 15.50, la scossa; per fortuna nessuno era a casa. Successivamente altre scosse SEMPRE anticipate dal fruscio scoppiettante. Anche il Centro Sismico "A. Bina" di Perugia è stato interessato e, per fortuna, ci ha dato ascolto pregandoci di registrare ogni evento, pur piccolo, rilevabile nella nostra area.

Il sisma, anomalo per le sue caratteristiche, spesso si fa precedere da boati sotterranei, ma se non c'è una scossa, non c'è neppure il QRM di cui allo studio (prima e durante i boati niente QRM).

Nella mia poca esperienza e ignoranza in materia credo trattasi dell'effetto piezoelettrico delle rocce in movimento o in frattura. Per avere un'idea del rumore possiamo accartocciare un foglio di cellophane o avvicinare al RX un accendigas piezo.

Chiedo a chiunque avesse avuto esperienze simili di contattarmi, mentre ringrazio per avermi letto con pazienza. Buon lavoro

Marco Eleuteri via Paolo Rolli, 18 06059 TODI PG

Commento di Ezio Mognaschi

Nel maggio 1989, a proposito dei segnali radio che precedono i terremoti, scrissi quanto segue nell'inserto speciale "L'ascolto sotto i 500 kHz" apparso su Radiorama:

Monitoraggio dell'attività tellurica e previsione dei terremoti

Un discorso particolare, e da prendersi con la dovuta prudenza, è quello relativo ai segnali elettromagnetici che si osserverebbero alcune ore prima dello scatenarsi di grandi terremoti. Le frequenze alle quali sarebbero stati osservati questi segnali sono molte: da 10 a 1500 Hz; a 81 kHz; a 7, 9, 14 MHz ed anche in banda VHF. Cito questi dati per dovere di informazione, ma la spiegazione del perché proprio queste frequenze e non altre non è nota e si può supporre che risieda nella sporadicità delle osservazioni che sono spesso state eseguite casualmente durante ricezioni effettuate per altri motivi.

In un lavoro pubblicato nel 1982 sul *Journal of Geophysical Research* tre scienziati americani di Boulder, sulla base dell'analisi delle strane emissioni radio captate simultaneamente a 18 MHz da quattro radiotelescopi il 16 maggio 1960, formularono l'ipotesi che queste emissioni siano da porre in relazione con il grande sisma del Cile verificatosi il 22 maggio successivo. I radiotelescopi erano quelli di Lake Angelus (Michigan), Boulder (Colorado), Sacramento Peak (New Mexico) e Makapuu Point (Hawaii) e stavano registrando il rumore radio a 18 MHz con una larghezza di banda di 100 kHz ed un sistema di controllo elettronico per eliminare i segnali radio impulsivi dovuti alle radiocomunicazioni.

Bisogna aggiungere che alcuni geofisici (in Grecia Varotsos, Alexopoulos e Nomicos dell'Università di Atene) hanno formulato una teoria, e dicono di averla verificata sperimentalmente, secondo la quale le rocce, in stato di compressione anomala in prossimità delle faglie e prima del cedimento che dà luogo ai terremoti, emettono segnali elettromagnetici. Secondo questa teoria, pubblicata nel 1984 sulla rivista *Tectonophysics*, ogni terremoto di una certa rilevanza è preceduto da segnali elettrosismici. Questi segnali permetterebbero di predire con precisione magnitudo ed epicentro dell'imminente sisma. Nel 1986 il noto geofisico francese Haroun Tazieff ha ottenuto che il governo francese stanziasse quattro milioni di franchi per installare una rete di rilevazione di potenziali elettrici nel sud della Francia. La rivelazione di questi segnali viene effettuata con elettrodi infissi nel terreno a distanza, tra loro, di qualche centinaia di metri. I segnali elettrici così captati vengono amplificati con amplificatori audio a banda regolabile e l'intensità dei segnali viene registrata in modo continuo ad esempio con registratori a carta. Secondo alcune stime solamente sismi di magnitudo uguale o superiore a 5 darebbero origine a segnali elettromagnetici rivelabili.

Un'altra interpretazione di questi fenomeni premonitori dei terremoti è quella secondo la quale, in prossimità delle faglie, il campo magnetico terrestre verrebbe improvvisamente alterato nella sua intensità e/o direzione prima dello scatenarsi di un terremoto. L'anomalia del campo magnetico terrestre si ripercuoterebbe sulla ionosfera dando luogo alle SID (Sudden Ionospheric Disturbances) che alterano la densità di ionizzazione nella ionosfera e che, a loro volta, danno origine a disturbi nella propagazione delle radioonde.

Dal 1975, in Cina, sono in atto esperimenti sulle correnti di terra tra due elettrodi (uno di carbone ed uno di piombo) sotterrati a profondità da uno a due metri, ad una distanza di 20 m tra loro, semplicemente collegati ad un microamperometro che misura la cosiddetta "corrente di terra" che circola tra i due elettrodi. Come riferì nel 1983 la rivista statunitense *Monitoring Times*, l'analisi delle variazioni di tali correnti sembra promettente in vista della predizione di terremoti imminenti.

Come si può vedere l'osservazione di attività elettromagnetica prima di alcuni eventi sismici, ritenuta connessa con questi ultimi, è nota da tempo anche se controversa, ma le osservazioni sono sempre state sinora frammentarie e discontinue ed ottenute prevalentemente a livello amatoriale. La grande novità delle osservazioni di Marco Eleuteri consiste nell'aver osservato sistematicamente i precursori elettromagnetici di un sisma avendo avuto modo, purtroppo o per fortuna (dipende dai punti di vista) di riconoscere il tipo di segnale che, nella sua zona, viene generato prima di un evento sismico.

Ma non è tutto: ho pensato di sfruttare i dati quantitativi sufficientemente precisi e dettagliati forniti da Marco riportando in un grafico semilogaritmico, mostrato nella pagina successiva, la frequenza radio f del QRM osservato in funzione del tempo di osservazione t ed indicando le incertezze temporali e gli intervalli di frequenza con un appropriato rettangolo. La sorpresa è stata che, ove per la prima osservazione si tenga conto della frequenza più alta ricevuta, le frequenze osservate risultano allineate su di una retta della quale è possibile ricavare l'equazione. L'equazione della retta è:

$$\log f = \log f_0 - k (t - t_0)$$

ove t_0 rappresenta il tempo (misurato in ore) al quale viene osservato il sisma, f_0 la frequenza limite del QRM al momento del sisma e k una costante che, per i dati in esame, vale $5.5 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$. Passando dai logaritmi decimali a quelli naturali e, da questi, ai numeri si ottiene:

$$f = f_0 e^{-\alpha (t - t_0)}$$

ove $\alpha = k/0.4343 = 0.13 \text{ h}^{-1}$.

La variazione di frequenza in funzione del tempo potrebbe anche non essere sempre rappresentata da questa dipendenza, ma potrebbe essere più complicata e sarebbe naturalmente interessante disporre di un maggior numero di dati per ciascun sisma in modo da poter verificare l'attendibilità della relazione proposta. Se, per il momento, si accetta per buona, per il sisma in questione, l'osservata dipendenza di f da t e la si estrapola sino all'ora di inizio del sisma ($t = t_0$), che è nota con precisione, è possibile anche calcolare quale sarebbe, approssimativamente, la frequenza limite f_0 raggiunta dai precursori elettromagnetici subito prima del sisma stesso. Nel caso considerato questa frequenza è di circa 1700 MHz. Dato che l'andamento della frequenza in funzione del tempo risulta crescente e con andamento noto, l'osservazione dei precursori elettromagnetici di un sisma potrebbe portare a capacità di previsione estremamente utili.

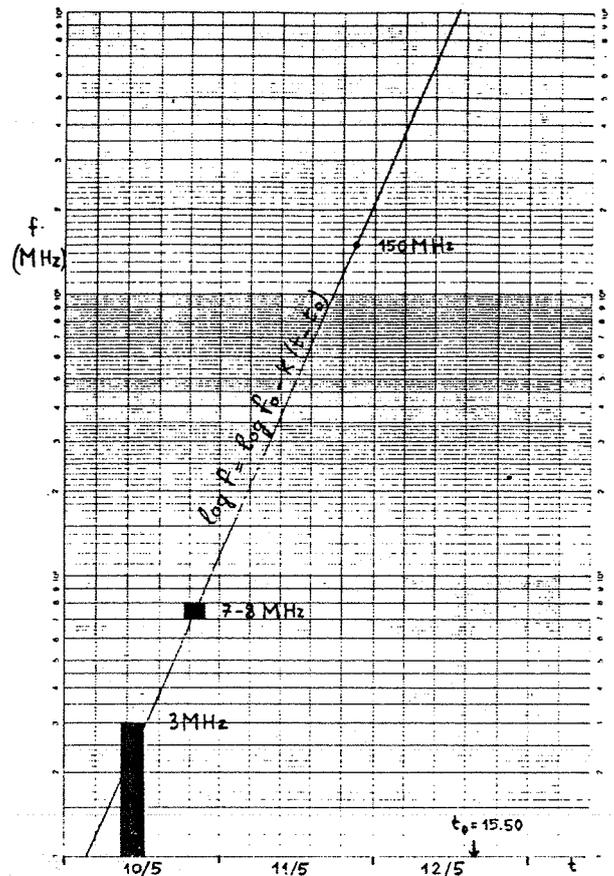
A questo punto bisogna anche trovare una spiegazione fisica per l'origine dei precursori elettromagnetici; l'ipotesi di un'origine piezoelettrica non può reggere in generale in quanto non tutte le rocce sono piezoelettriche ed in particolare quelle calcaree di nostri Appennini non lo sono affatto. Tuttavia si sa che, prima di un sisma, le rocce sono sottoposte a sforzi sia di compressione, sia di taglio, crescenti nel tempo. Si sa anche che, prima del manifestarsi di una frattura nei materiali, si ha la formazione di microfratture che si propagano in modo ramificato all'interno del materiale stesso. Una microfrattura comporta la rottura di diversi legami chimici e, se il materiale non è un ottimo conduttore, si creano intensi campi elettrici dovuti al fatto che, subito dopo la frattura, la distribuzione delle cariche elettriche (elettroni) non è quella di equilibrio ed alcune cariche rimangono "dalla parte sbagliata" della frattura. L'intenso campo elettrico così prodotto può provocare una microscarica elettrica che genera un segnale elettromagnetico. Chi vuole convincersi di questo fenomeno può provare a srotolare velocemente, nell'oscurità, del nastro isolante o del nastro *scotch* ed osserverà una scintilla bluastra in corrispondenza dei punti di distacco del nastro dal rotolo. Se poi l'esperimento viene ripetuto in prossimità dell'antenna di un sensibile radiorecettore e si ascolterà in cuffia, in modo da escludere la percezione del rumore direttamente prodotto dallo srotolamento, si potrà ricevere il "rumore" generato dai segnali elettromagnetici prodotti dalle scintille bluastre che, a loro volta, sono dovute al *breakdown* dielettrico dell'aria sottoposta a campi elettrici molto intensi.

Eventi analoghi possono verificarsi all'interno delle rocce che si fratturano, senza il manifestarsi di scariche visibili, ma con la produzione di segnali elettromagnetici.

È anche relativamente facile comprendere come un segnale elettromagnetico generato per frattura delle rocce possa essere ricevuto nella zona dell'epicentro (se l'ipocentro non è troppo profondo) e non a 15 km di distanza: infatti l'efficienza di radiazione delle piccole scariche entro la roccia è piuttosto bassa in quanto le dimensioni lineari della piccola corrente oscillante è molto inferiore alla lunghezza d'onda generata. Quest'ultima è variabile e, in base ai dati di cui si dispone, passa dai chilometri ai metri. Inoltre la profondità alla quale vengono generati i segnali fa sì che questi giungano in superficie attenuati.

Il modello presentato spiega anche l'intensità crescente del segnale in quanto, ad un aumento degli sforzi nelle rocce, non corrisponde solo un numero maggiore di fratture per unità di tempo, ma anche un'intensità crescente del segnale emesso in quanto dovrebbe crescere anche l'estensione di ogni singola frattura.

Naturalmente è possibile che per altre situazioni, cioè per altri tipi di rocce e per l'evoluzione di stati di sforzo che daranno origine a sismi di intensità molto diversa da quella considerata, il modello presentato non sia adeguato.



La conclusione che, per il momento, si può trarre è che sembra accertata la correlazione tra precursori elettromagnetici e verificarsi di un sisma e che esiste un andamento crescente, probabilmente esponenziale, della frequenza del segnale in funzione del tempo mentre l'intensità del segnale è anch'essa crescente.

È ovvio che, prima di pensare ad un'applicazione pratica e generalizzata di quanto sopra esposto, sia necessaria un'attenta e prolungata sperimentazione per verificare se le osservazioni sono ripetibili e se diverse situazioni locali (tipo di roccia e grado di compressione) forniscono diversi risultati quanto a tipo di segnale e dipendenza dal tempo della frequenza del segnale. Le zone ove è più facile una sperimentazione in questo campo sono purtroppo numerose in Italia: si va dalla zona di S. Remo, all'Umbria (come si è purtroppo visto anche recentemente), allo stretto di Messina.

In questo campo l'attività a livello radioamatoriale, purché svolta con serietà e con continuità, può essere molto più proficua di quella istituzionalizzata che soggiace a pesanti limiti burocratici ed amministrativi, per non parlare della ben nota diffidenza degli ambienti scientifici "ufficiali" verso attività non ancora etichettate con un nome preciso le quali, per il solo fatto di esistere e di essere interdisciplinari, vengono solitamente considerate come una potenziale minaccia da parte dei centri di potere costituiti.

Suggerimenti

Francesco Traverso di Cantalupo Ligure (AL) scrive:

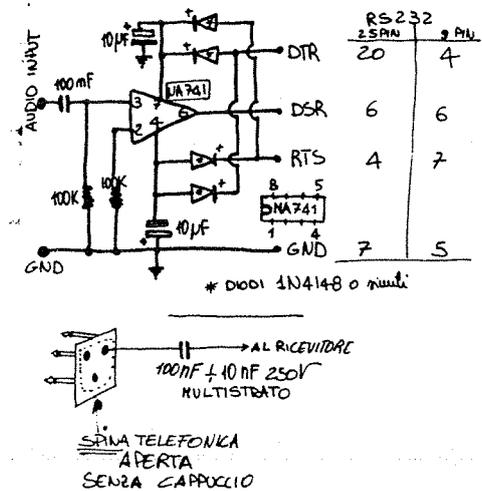
Sfogliando alcune riviste ho trovato qualche notizia interessante che può far comodo ai lettori e che ti comunico.

1 - Esiste un programma per PC reperibile su Internet dal nome FFTDSP, scritto dal radioamatore Mike Cook. AF9Y, che ha sito omonimo. Detto programma sfrutta qualsiasi scheda audio per analizzare e ripulire dal rumore segnali audio in ingresso.

2 - Ti invio uno schemino elementare (by Luca Barbi) per costruire un economico demodulatore per RTTY, CW, FEC, Packet ecc. che usa *software shareware* tipo Hamcomm, JVFAX, PKTMON ecc. facilmente reperibile.

3 - Ti invio schema di antenna telefonica per chi non ha di meglio con cui ascoltare.

Se qualche lettore possiede copia del programma FFTDSP è pregato di farla pervenire alla Redazione che provvederà a segnalare la disponibilità.



Marco Ibridi di Finale Emilia (MO) descrive un economico RX portatile per LF:

Chi ha montato il kit LX 1226 "Ricevitore per ultrasuoni" di Nuova Elettronica - riv. 181/1995 (attenti all'errata corregge sul N. 182 a pag. 110!), ha realizzato un ottimo RX per onde lunghe. È sufficiente collegare un corto spezzone di filo (max 50 cm e senza coassiale!) all'ingresso microfonico, al posto della capsula per ultrasuoni, e sarà possibile ricevere senza problemi anche DCF77. Con un banale attenuatore resistivo ed il sensore magnetico Flux Gate FGM-3 della SCL da me presentato su uno dei prossimi numeri di RadioKit, sarà possibile realizzare un semplice *metal detector* per materiali ferrosi.

Notizie: (Continua) * Dall'estate '97 sono attive due stazioni in CW su 445.5 e 447 kHz con segnali forti. Quest'ultima stazione, che trasmette avvisi ai naviganti, è stata provvisoriamente identificata da Diego Concatti come ICB da Genova. Può essere ricevuta quasi tutte le sere tra le 19 e le 23 UTC.

* Dalle 0300 del 26 ottobre 1997 cessa l'ora legale e si torna all'ora UTC + 1.

* Il 26.10.97 sarà il Radio St. Helena Day. La stazione trasmetterà in SSB su 11092.5 kHz dalle 1900 alle 2300 UTC. Radio St. Helena, Jamestown, St. Helena, Oceano Sud Atlantico: <http://www.sthelenase/>, fax +290 4542.

Nuove stazioni in OL

Marco Ibridi di Finale Emila (MO) scrive quanto segue:

In occasione degli Incontri del Gruppo Radio Pavese a Brallo di Pregola '97 avevo avuto modo di ascoltare una emissione CW a circa 447 kHz con il ricevitore Sony ICF 2010 di Ezio Mognaschi. Già nel precedente mese di luglio avevo ascoltato questa emissione in CW dalla Sardegna (a Nord) con un buon segnale. Dalla mia stazione fissa, tra le province di Modena e di Bologna, ho potuto decodificare il segnale (in verità più basso di quanto ascoltato a Brallo od in Sardegna) ricevuto con una *long-wire* ed un Kenwood TS-440s più PK-232. La stazione, che trasmette a circa 12 *wpm*, è stata identificata per AVURNAV probabile acronimo di "AVvisi URgenti ai NAViganti", con emissione sempre probabile da La Spezia.

Gruppo Radio Pavese - Meeting di Brallo di Pregola 9-17 agosto 1997

Anche quest'anno si è svolto il tradizionale incontro di ferragosto del Gruppo Radio Pavese con la presenza di Roberto Canobbio, Bernardino Carpenè, Diego Concatti, Marco Ibridi, Ezio Mognaschi, Paolo Morandotti. La novità di quest'anno è stata la presentazione dei magnetometri e dei ricevitori VLF costruiti da Marco Ibridi. Un resoconto al prossimo numero.

Radiosegnali naturali in banda VLF (Parte III)

di Ezio Mognaschi

2c. Risonanze di cavità

Lo spazio compreso tra la superficie terrestre e lo strato inferiore della ionosfera si comporta come una cavità sferica che presenta caratteristiche risonanze, dette di Shumann. Le frequenze tipiche per i primi 4 modi sono 7, 14, 20, 26, 32 Hz; ma sono state osservate armoniche sino alla undicesima (~ 70 Hz). Queste frequenze di risonanza variano con le condizioni della bassa ionosfera (strati D e C), e mostrano variazioni diurne, normalmente dell'ordine della frazione di hertz. Sensibili variazioni nella frequenza di risonanza vengono osservate durante forti perturbazioni ionosferiche e furono anche osservate in occasione di esplosioni nucleari ad alta quota.

Un modello semplificato che considera la propagazione di onde TM tra il suolo terrestre e la ionosfera, considerate come pareti perfettamente conduttrici, fornisce, per la frequenza f_n della risonanza n-esima, l'espressione

$$f_n = c/(2\pi R) \sqrt{n(n+1)}$$

ove R è il raggio terrestre ed $n = 1, 2, 3, \dots$. Questo semplice modello fornisce per f_n i seguenti valori espressi in Hz: 10.6, 18.4, 26.0, 35.5, 41.1 che sono un po' troppo alti, questi valori vanno ridotti del 20% per ottenere i valori osservati.

2d. ELF hiss, cori ed emissioni discrete

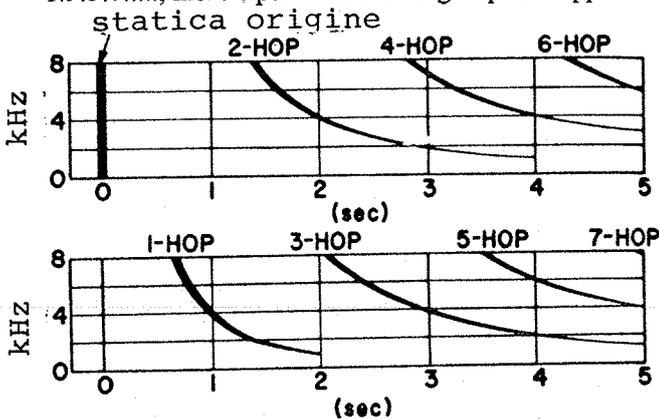
La più importante emissione per frequenza ed intensità in banda VLF-ELF si osserva nell'intervallo tra 300 Hz e 3000 Hz ed è stata chiamata "ELF hiss". È un rumore relativamente stabile e possiede molte delle caratteristiche del rumore di origine termica. Di solito lo spettro di potenza di questo rumore dipende dalla frequenza. La sua forma ed intensità può cambiare con il tempo in intervalli di tempo di alcuni secondi o più lunghi. Le osservazioni effettuate con satelliti indicano che questo segnale è presente in modo continuo ad altezze maggiori di 300 km nelle ore della tarda mattinata ed a latitudini tra 55° e 65°, ma si osservano anche dalle 6 alle 18 (tempo locale) ed a latitudini tra 50° e 70°. Sebbene questo segnale sia abbastanza stabile, nel senso che sono assenti rapide variazioni di intensità, esso è frequentemente accompagnato da un secondo segnale in banda ELF denominato "coro". Questo secondo segnale consiste in una lunga serie di pacchetti d'onde, ciascuno della durata di circa un secondo, caratterizzati dalla crescita della frequenza entro ciascun pacchetto. All'ascolto un coro assomiglia al cinguettare di un gruppo di uccelli. Il *dawn chorus*, o coro dell'alba, è una serie di molte emissioni discrete, spesso sovrappontesi, con separazione temporale inferiore ad un secondo, ma non si ascolta necessariamente solo all'alba. Esiste inoltre una dipendenza dalla latitudine della frequenza con cui si manifestano i cori.

Le emissioni discrete sono costituite da rumori ben definiti che possono avere un suono di durata che va da pochi decimi di secondo sino ad alcuni secondi o più. Si osserva anche spesso una ben definita e ripetuta relazione tra frequenza e tempo; queste emissioni vengono anche chiamate eventi discreti.

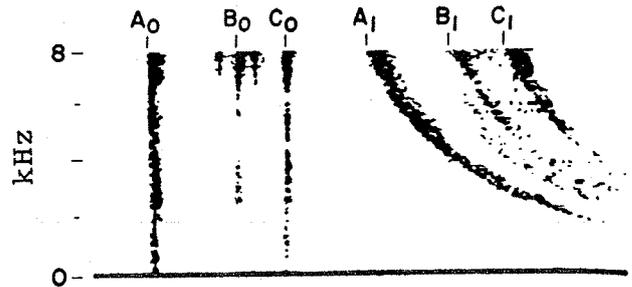
2c. Whistlers

Gli *whistlers* sono emissioni elettromagnetiche ad audiofrequenza, che si sono propagate attraverso la ionosfera, lungo un cammino fortemente dispersivo, ed originate da scariche elettriche formatesi al di sotto della ionosfera. Il loro nome deriva dal suono, simile ad un sibilo, che si ascolta quando vengono convertite in segnali audio. Tipicamente sono costituiti da un segnale di frequenza decrescente da parecchi kHz a qualche centinaio di Hz, ma il limite superiore può anche essere 30 kHz o superiore e quello inferiore estendersi in banda ELF ed anche ULF (sotto 0.3 kHz). La durata di uno *whistler* è di circa un secondo, ma alcuni durano solo una frazione di secondo ed altri due o tre secondi. Si propagano attraverso un tipico meccanismo che si può approssimativamente definire come un modo guidato lungo le linee di forza del campo magnetico terrestre. Affinché tubi delimitati da linee di forza magnetica si comportino come condotti che consentono la propagazione di *whistlers* è necessario che nel condotto esista anche solo un modesto gradiente, in senso radiale, nella densità elettronica ionosferica. Questo gradiente trae origine dal movimento a spirale degli elettroni della ionosfera nel campo magnetico terrestre. In questo movimento essi si concentrano lungo le linee di forza del campo magnetico. La concentrazione di elettroni, crescente dalla periferia al centro del tubo, comporta un corrispondente aumento dell'indice di rifrazione all'interno del tubo che funziona quindi come una guida d'onda circolare. Si veda in proposito l'Appendice B che verrà pubblicata in un prossimo numero di Radioonde.

Gli *whistlers* multipli presentano due o più componenti strettamente correlate temporalmente. Esistono due tipi di *whistlers* multipli: quelli dovuti a cammini multipli, ove ciascuna componente è originata dalla stessa scarica, e quelli dovuti ad una molteplicità di sorgenti, ove ciascuna componente è originata invece da una diversa scarica. Uno *whistler* corto è quello che ha viaggiato solo una volta lungo un percorso dispersivo; spesso viene chiamato *one hop whistler*. Uno *whistler* lungo o *two hop whistler* ha viaggiato invece due volte lungo un cammino dispersivo, cioè avanti e indietro, lungo un condotto, tra i due emisferi. Uno *whistler* ibrido è la combinazione di uno *whistler* corto e di uno lungo, prodotti dalla stessa scarica. Una successione di *whistlers*, detta *echo train*, viene prodotta per attraversamenti successivi della perturbazione originale attraverso la ionosfera. Solitamente i ritardi temporali tra *whistlers* corti stanno nei rapporti 1:3:5:7:..., mentre per *whistlers* lunghi questi rapporti sono 2:4:6:8:...



Schema di una successione di *whistlers*.



Whistler multiplo A_1, B_1, C_1 dovuto alle statiche A_0, B_0, C_0 .

Si può dimostrare che la velocità di gruppo con cui si propaga l'energia delle onde elettromagnetiche a bassa frequenza ha un massimo per una determinata frequenza, legata al valore del campo magnetico terrestre, e diminuisce per frequenze sia inferiori, sia superiori ad essa. Quindi in un grafico frequenza-tempo, cioè in un sonogramma, la traccia del segnale di uno *whistler* che ha percorso una lunga distanza mostra, come prima frequenza, quella corrispondente alla massima velocità di propagazione e, successivamente, con graduale ritardo, quelle superiori e quelle inferiori. Uno *whistler* che mostri queste caratteristiche si chiama *whistler* a forma di naso o *nose whistler* e la prima frequenza che arriva è detta frequenza del naso. Uno *whistler* a forma di naso presenta simultaneamente frequenze crescenti e frequenze decrescenti e solo un'analisi spettroscopica può evidenziare questa caratteristica. Le caratteristiche di dispersione del ramo a frequenze discendenti è simile a quella degli *whistlers* che non presentano il naso.

2f. Altre emissioni

Oltre agli *whistlers* esistono altri tipi di emissioni in banda VLF. Alcune sono state osservate in stretta relazione con gli *whistlers*, il che suggerisce che siano determinate da questi ultimi. Le emissioni VLF possono durare per alcuni minuti o anche per ore, oppure possono essere brevi ed isolate. Trasformate in segnali sonori possono presentarsi come fischi o come suoni musicali. Vengono più frequentemente osservate a medie ed alte latitudini e sono simili, come frequenza e forma in aree magneticamente coniugate negli emisferi nord e sud. Come origine di queste emissioni VLF sono stati proposti meccanismi quali la radiazione di ciclotrone e la radiazione di Cerenkov. (continua)