

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 13 è stato inviato a 35 lettori

Redazione: Ezio Mognaschi, v.le Gorizia, 63 - 27100 Pavia PV, tel. 0382539522, posta elettronica mognaschi@pavia.infn.it

Hanno collaborato a questo numero: P. Castagnone, J. M. Lauerman, E. Mognaschi.

Sommario: Notizie, Quesiti e novità su "L'antenna nel pozzo", Amplificare senza elementi attivi p. 1-2; Quando le comunicazioni via satellite si interrompono p. 3; La ricezione di frequenze molto basse, da 0 a 530 kHz (*I Parte*) p. 3 - 6.

Notizie: * Il sistema statunitense GWEN per radiocomunicazioni d'emergenza nella banda 160-190 kHz è stato chiuso nell'ottobre 98. Le stazioni verranno riutilizzate per il *Differential Global Positioning System* nella banda 285-315 kHz.

* P. Castagnone segnala il sito <http://space.tin.it/scienza/adnardi> dedicato ai segnali in banda ELF, ULF, VLF ed alle apparecchiature per riceverli.

* Il 13 e 14 febbraio si è svolta a Pavia, presso il Palazzo delle Esposizioni, la seconda edizione di *New Media*, Salone dell'Informatica e della Comunicazione. Rispetto all'edizione precedente qualche espositore in più tra cui l'AIR.

* *XVII AIR DX Meeting 1999* dal 23 al 25 aprile a Monterotondo RM con visita agli impianti RAI di Prato Smeraldo.

Dettagli sul programma al sito <http://www.arpnet.it/~air/welcome.htm>

Quesiti e novità su "L'antenna nel pozzo"

L'articolo "L'antenna nel pozzo", pubblicato nel n. 13 di *Radoonde*, ha suscitato un certo interesse tra i lettori. Innanzitutto la rivista *Radiorama*, tramite l'amico Piero Castagnone, ha chiesto di poterlo riprodurre. Accordata ben volentieri l'autorizzazione, l'articolo è apparso nel n. 1/99 di quella rivista, oltretutto con una veste grafica migliorata.

I lettori hanno posto alcuni quesiti. Il primo è stato: "Se, in luogo dell'antenna elettrica costituita da un pezzo di filo verticale, si fosse impiegata un'antenna magnetica con nucleo di ferrite, cosa si sarebbe osservato?" Premesso che la prova di un'antenna magnetica non è stata possibile in quanto il diametro del pozzo usato non consentiva l'introduzione di una barra di ferrite con asse orizzontale (questa è, infatti, la direzione del campo magnetico di un'onda radio) e che quindi non posso rispondere sulla base di un risultato sperimentale, si può osservare che il campo magnetico B di un'onda elettromagnetica è, in generale, proporzionale al campo elettrico E dell'onda stessa attraverso la relazione $B = E/v$ ove v è la velocità dell'onda nel mezzo. I risultati ottenuti con un'antenna magnetica dovrebbero essere simili a quelli ottenuti con un'antenna elettrica. Tuttavia con l'uso del condizionale esprimo una riserva dovuta al fatto che l'impedenza di un'antenna magnetica è, in generale, minore di quella di un'antenna elettrica e questo fatto può giocare un ruolo determinante nel trasferimento di energia dall'onda, che si propaga nel terreno, all'antenna stessa. Una risposta precisa potrebbe venire da un esperimento di confronto tra un'antenna magnetica sotterranea ed una identica nelle caratteristiche elettriche, magnetiche e geometriche (orientazione) posta sopra la superficie terrestre.

Un altro quesito è stato questo: "I risultati possono cambiare al variare del tipo di terreno?" Certamente sì poiché l'impedenza di un terreno è sostanzialmente legata alla costante dielettrica, a sua volta strettamente dipendente dal contenuto d'acqua, ed alla conducibilità elettrica che dipende dalla natura del terreno ed ancora dal contenuto d'acqua.

Vorrei infine riportare alcune ulteriori osservazioni compiute all'inizio del gennaio 99 in onde corte, con le stesse identiche antenne usate nell'agosto precedente (v. *Radioonde* n. 13). Le misure hanno mostrato una differenza di +5 dBm a vantaggio dell'antenna sotterranea per un segnale a 3955 kHz, di +12 dBm a 3965 kHz, di +5 dBm a 3975 kHz, di +10 dBm a 3980 kHz e a 4810 kHz, e di +3 dBm a 5040 kHz. A frequenze maggiori l'antenna sotterranea è generalmente svantaggiata rispetto a quella aerea: -5 dBm a 5995 kHz, 0 dBm a 7545 kHz, -8 dBm a 9385 kHz, -10 dBm a 9605 kHz.

Amplificare senza elementi attivi

di Ezio Mognaschi

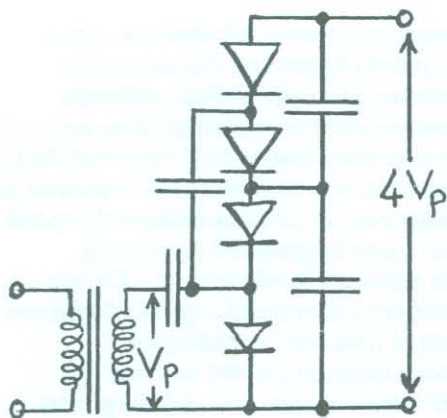
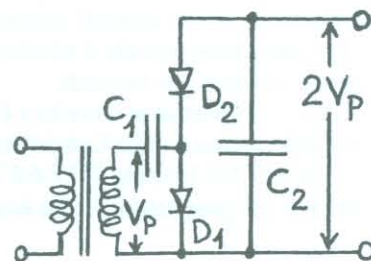
Tutti conoscono i circuiti amplificatori di tensione o di potenza realizzati con elementi circuitali attivi (triodi, pentodi, transistori, ecc.). Per l'amplificazione di potenza l'uso di elementi attivi, naturalmente, è l'unica possibilità. Forse pochi hanno soffermato l'attenzione sul fatto che è, invece, possibile amplificare in tensione anche con circuiti contenenti solamente elementi passivi (resistenze, capacità, induttanze e diodi). Passiamo in rassegna alcuni di questi circuiti, considerando le loro caratteristiche ed i vantaggi che possono offrire.

a) Un primo, ben noto esempio è fornito dal trasformatore statico, in grado di fornire in uscita una ddp V_2 , anche molte volte superiore a quella d'ingresso V_1 . L'amplificazione, per un trasformatore ideale, cioè senza perdite, è data da $V_2/V_1 = N_2/N_1$, ove N_1 ed N_2 sono, rispettivamente, il numero di spire del primario e del secondario. Se Z_1 è l'impedenza del generatore collegato al primario, l'impedenza vista in uscita sarà $Z_2 = Z_1(N_2/N_1)^2$, cioè maggiore di Z_1 se $N_2 > N_1$. L'amplificazione passiva è accompagnata da un aumento di impedenza. Normalmente la banda passante di un

trasformatore non è molto ampia e, per questo motivo, l'amplificazione che si può ottenere è limitata ad un ristretto intervallo di frequenze. Un trasformatore consente inoltre la separazione elettrica tra due circuiti e viene impiegato oggi come elemento di accoppiamento, a guadagno unitario, tra triodi negli amplificatori ad alta fedeltà al posto del meno affidabile accoppiamento capacitivo; negli anni '20 si usava lo stesso tipo di accoppiamento, ma con un trasformatore intervalvolare che presentava un guadagno di 2 o 3 volte per sopperire al basso guadagno dei vecchi triodi.

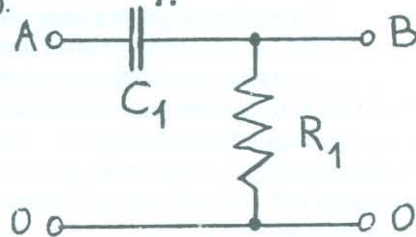
b) Un secondo esempio è fornito dal circuito risonante RLC parallelo che, eccitato alla frequenza di risonanza f , con una ddp V , presenta ai suoi capi una ddp QV ove $Q = 2\pi fL/R$ è il fattore di qualità. Specialmente alle radiofrequenze è possibile realizzare circuiti con Q molto elevato (qualche centinaio) e realizzare quindi notevoli amplificazioni di tensione. Tuttavia ciò è possibile solamente alla frequenza di risonanza, o molto vicino ad essa, e la banda passante $\Delta f = f/Q$ è tanto minore quanto maggiore è l'amplificazione Q . Questa amplificazione viene sfruttata, ad esempio, nelle antenne a telaio risonanti.

c) Nei circuiti raddrizzatori a ponte o ad onda intera è possibile raddoppiare la tensione con un'opportuna disposizione dei diodi e, nei raddrizzatori a semionda, si possono ottenere tensioni continue pari a 2, 3, 4, ..., n volte la ddp di picco del trasformatore. Il circuito raddrizzatore a semionda è molto semplice ed il suo esame permette di capire facilmente come si possa raddoppiare la tensione. Durante un semiperiodo il diodo D_1 carica il condensatore C_1 alla ddp di picco del trasformatore; durante il successivo semiperiodo viene caricato il condensatore C_2 , attraverso il diodo D_2 , al potenziale determinato dalla somma di quello ai capi di C_1 e del trasformatore, che sono in serie, e quindi a due volte la ddp di picco del trasformatore. Un circuito per quadruplicare la tensione è mostrato qui sotto.

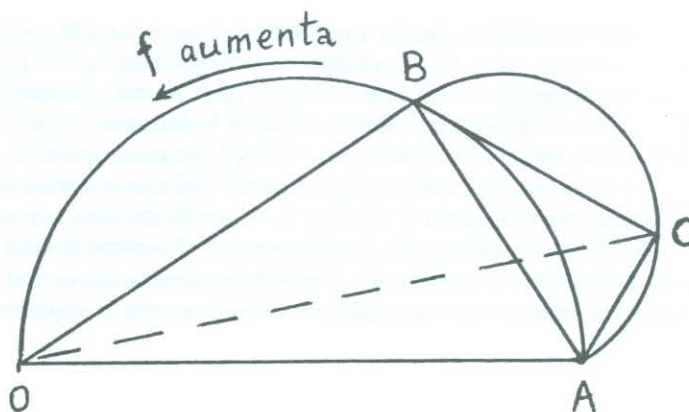
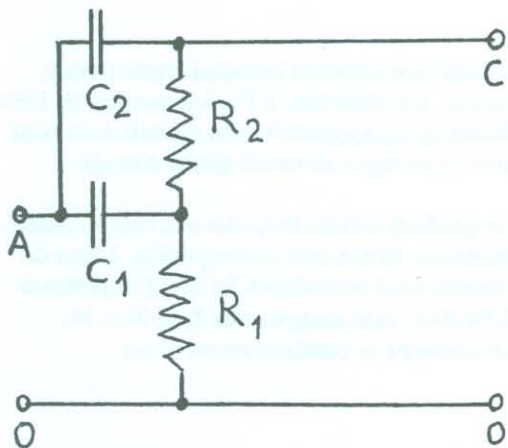


d) Consideriamo ora il seguente circuito passivo. Esso è un circuito passa alto e presenta una frequenza inferiore di taglio $f_1 = 1/(2\pi R_1 C_1)$. Per qualsiasi frequenza il segnale di uscita è rappresentato dal vettore OB. Il luogo dei punti B si trova, al variare della frequenza, su di una semicirconferenza con diametro OA (segnale di ingresso).

Il diagramma mostra intensità e fase ϕ di OB rispetto ad OA, mentre AB rappresenta il segnale ai capi del condensatore. Si vede facilmente che $\text{tg } \phi = AB/OB$. Naturalmente questo circuito non amplifica, ma lascia passare le frequenze superiori ad f_1 , con fase dipendente dalla frequenza. Ora, in parallelo a C_1 disponiamo un altro



circuito costituito da C_2 ed R_2 , e sia C l'uscita. Per quanto semplice, questo circuito è stato oggetto di brevetto negli Stati Uniti, nel 1951. Una costruzione geometrica simile a quella precedente mostra che il segnale di uscita OC può essere maggiore del segnale di entrata OA. C'è però una condizione da rispettare perché quest'analisi sia corretta ed è che il carico R_2 C_2 presenti un'impedenza molto maggiore di quella di C_1 e quindi, in definitiva, l'impedenza di uscita sarà maggiore di quella di entrata, proprio come nel caso dei trasformatori. L'amplificazione tipica che si può ottenere con una rete RC è dell'ordine di +1.25 dB, non è molto, ma a volte può bastare e soprattutto è gratis in termini di energia. In termini di rumore questo tipo di amplificazione introduce un aumento di rumore legato solo all'aumento di impedenza, senza introdurre il rumore tipico di un amplificatore attivo. Naturalmente esistono anche i circuiti duali dei due precedenti, con un'induttanza al posto della capacità, e anche su di essi si possono svolgere analoghe considerazioni.



Quando le comunicazioni via satellite si interrompono

Libero adattamento da un articolo di Bill Sepmeier, *Radio World*, vol. 22, n. 18, settembre 1998.

Due volte l'anno le stazioni di radiodiffusione che utilizzano satelliti per la ritrasmissione dei loro programmi subiscono, per circa una settimana, interruzioni giornaliere nelle comunicazioni a causa del Sole. Il verificarsi di questi eventi è esattamente prevedibile al secondo, tuttavia coglie di sorpresa molte stazioni i cui programmi scompaiono improvvisamente per alcuni minuti al giorno ed i tecnici non hanno ancora trovato il modo di ovviare all'inconveniente.

I satelliti ed i *transponders* utilizzati nelle radiodiffusioni sono geostazionari e localizzati a circa 35800 km sopra l'equatore in un'orbita circolare chiamata solitamente cintura di Clarke. Un satellite artificiale posto nella cintura di Clarke ha una velocità di rivoluzione attorno alla Terra esattamente pari a quella di rotazione della Terra, per questo esso mantiene una posizione "stazionaria" rispetto alla superficie terrestre. Questo fatto è estremamente utile per localizzare esattamente il satellite e non doverlo inseguire.

I problemi nascono dal fatto che il piano equatoriale della Terra non coincide con il piano dell'orbita terrestre attorno al Sole, ma è inclinato di circa 23°; questo fatto, come è noto, dà origine alle stagioni ed ha fortemente influito sullo sviluppo e la distribuzione della vita sulla Terra. I satelliti geostazionari devono muoversi nel piano equatoriale e su questo piano vengono collocati quando sono messi in orbita. Per 10 o 15 anni dopo la messa in orbita è possibile correggere la posizione di un satellite utilizzando le riserve di combustibile di bordo; esaurito il combustibile i satelliti sono ancora spesso funzionanti in ritrasmissione, ma tendono, a causa dell'attrazione gravitazionale del Sole, a disporsi sul piano dell'orbita terrestre e ad abbandonare l'orbita equatoriale. Questo fatto obbliga le stazioni a terra ad inseguire i satelliti che si sono allontanati dalla posizione geostazionaria. Il secondo problema è dovuto al fatto che ogni satellite geostazionario si trova, due volte l'anno, esattamente allineato con la Terra ed il Sole. Questo fatto avviene intorno agli equinozi di primavera e d'autunno. I moderni satelliti per comunicazione in banda C ($\lambda \sim 4$ cm) ritrasmettono a terra segnali amplificati con tubi ad onda progressiva che erogano potenze da 15 a 20 W, mentre i satelliti in banda Ku ($\lambda \sim 1.5$ cm) operano, tipicamente, con potenze da 15 W, nelle vecchie installazioni, con 60 W in quelle più recenti. Il nostro Sole, oltre ad inviarci luce e calore è una potente sorgente radio anche nella regione delle microonde e quando l'antenna ricevente, il satellite ed il Sole sono allineati entro $\pm 1^\circ$, fatto che si verifica due volte l'anno e ciascuna volta per un periodo di tempo di circa cinque minuti, il rumore radio del Sole supera il segnale del satellite e la comunicazione viene disturbata al punto di essere inintelligibile.

La ricezione di frequenze molto basse, da 0 a 530 kHz (I Parte)

di John M. Lauerman WB7TQT

Traduzione, effettuata da E. Mognaschi, di "Monitoring the really LOWDOWN, 0 to 530 kHz", articolo apparso in *The Lowdown* 11/98, mensile del *Long Wave Club of America*. Radioonde ringrazia l'autore, J. M. Lauerman, e l'editore, Bill Oliver, per la gentile concessione di tradurre e pubblicare l'articolo in Italia. Tra parentesi quadre sono riportate le note del traduttore.

Che cosa attrae un radioamatore verso le frequenze inferiori a quelle della radiodiffusione in modulazione d'ampiezza [in America sotto 530 kHz]? Dopotutto laggiù non si trova del rock'n roll...

Io credo che sia la naturale curiosità ed il desiderio di esplorare ciò che è ignoto. Perché questa curiosità dovrebbe fermarsi a 150 kHz, o a 100 kHz o anche a 10 kHz? Si può dimostrare matematicamente che l'intervallo di frequenze da 10 kHz a zero Hz è altrettanto ampio di quello tra 10 kHz ed infinito.

Ritenete che queste frequenze così basse non siano utili? Andate a dirlo all'*U. S. Navy* che ha cercato di sviluppare un sistema di comunicazione in banda ULF per raggiungere sottomarini in navigazione a profondità molto grandi, che non possono essere raggiunti con trasmettitori in VLF e neppure in ELF. Andate a dirlo alle persone dello *STARLAB* dell'Università di Stanford che regolarmente controllano l'intervallo di frequenze tra 0.01 Hz e 10 Hz, oppure ditelo alle persone che stanno a Gakona, Alaska e che stanno attualmente svolgendo il programma di ricerca *High Frequency Active Auroral Research Program* (HAARP) che, tra i suoi scopi, ha l'induzione nella ionosfera di segnali a frequenze in banda ELF per ricerche sulle comunicazioni e per studi scientifici. Oltre a tutte le ricerche scientifiche in corso a queste frequenze, c'è pure una quantità di fenomeni naturali molto interessanti che avvengono a frequenze così basse.

Nessuno fabbrica ricevitori per questo intervallo di frequenze? Costruiteveli da soli! Con gli odierni circuiti integrati non è per nulla difficile, ma bisogna ammetterlo c'è bisogno di un bel po' di filo per il sistema d'antenna.

Tempo fa, la *International Telecommunication Union* fu abbastanza sapiente da riconoscere che la parte inferiore dello spettro elettromagnetico potesse essere sfruttata e la incluse in quella che noi chiamiamo "banda radio". Lo schema dell'ITU per la divisione delle bande a frequenza più bassa è riportato nella pagina seguente.

Occorre notare che, nello schema ITU, le bande inferiori alla quarta (VLF) non hanno ancora un nome ufficiale. È comune vedere la banda 3 designata come "Voice Frequency band" (VF), mentre la banda 2 è chiamata "Extremely Low Frequency band" (ELF) e la banda 1, meno frequentemente, è chiamata "Ultra Low Frequency band" (ULF). Bisogna

anche notare che l'Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE), per qualche ragione, non accetta lo schema ITU detto 3×10^n e designa ULF tutto quanto da 0 a 3 Hz ed ELF tutto quanto da 3 a 3000 Hz.

Se si accetta la denominazione ITU per le bande sotto la VLF, si nota subito che esiste un intervallo scoperto da 0 a 3 Hz, è la banda che sta sotto quella denominata 1. In realtà, seguendo lo schema ITU, questa banda dovrebbe essere designata come banda da 0.3 a 3 Hz, ma credo abbia senso estendere questa banda da sopra 0 a 3 Hz. Mi sembra inoltre sensato chiamare la più bassa banda ITU col nome di "Banda 0", poiché zero è in realtà la prima cifra nel sistema

Numero della Banda ITU	Simbolo	Intervallo di di frequenza	Lunghezza d'onda
-	-	0.3 - 3 Hz	1000 - 100 Mm
1	(ULF)	3 - 30 Hz	100 - 10 Mm
2	(ELF)	30 - 300 Hz	10 - 1 Mm
3	(VF)	300 - 3000 Hz	1 - 0.1 Mm
4	VLF	3 - 30 Hz	100 - 10 km
5	LF	30 - 300 kHz	10 - 1 km
6	MF	300 - 3000 kHz	1 - 0.1 km

decimale. Come chiameremo noi questa banda che si trova sotto le *Ultra Low Frequencies*? Solo un aggettivo, già usato dai designatori delle bande ITU ad alta frequenza rimane ancora da utilizzare alle basse frequenze. Credo abbia senso designare questa banda più bassa come "*Super Low Frequency band*" (SLF) perché si tratta davvero di frequenze super basse! Le lunghezze d'onda nell'intervallo SLF sono letteralmente astronomiche; vanno da più di 62000 miglia (circa $2\frac{1}{2}$ volte il giro del mondo) a ben più di 100 milioni di miglia (più della distanza tra Terra e Sole!). Rispetto a queste, anche le VLF sembrano microonde!

Ma cosa si trova a così basse frequenze? Quali sono le condizioni delle bande alle lunghezze d'onda pari a milioni di metri (Mm) o miliardi di metri (Gm)? Come è fatta una radio alla frequenza di un hertz? Sono belle domande che spalancano, ad una mente aperta, la curiosità per il fondo dello spettro elettromagnetico.

Le condizioni per le bande inferiori

Una delle cose per me più interessanti dello spettro sotto la banda VLF è come queste frequenze interagiscano con il campo magnetico terrestre. A causa della presenza di questo campo, la propagazione dei segnali VLF ed ELF è favorita nel senso da ovest ad est. In tutte le altre direzioni c'è un'attenuazione più o meno forte. Alcuni segnali, come quelli degli *whistlers* VLF, possono, in realtà, propagarsi in condotti ionosferici, seguendo una particolare linea del campo geomagnetico migliaia di miglia lontano dalla Terra e ritornare al punto magneticamente coniugato nell'emisfero opposto subendo, lungo il cammino, un'amplificazione ed una dispersione in frequenza. Un'altra cosa interessante su queste frequenze così basse è come diminuisca velocemente l'attenuazione atmosferica al diminuire della frequenza. La Fig. 1

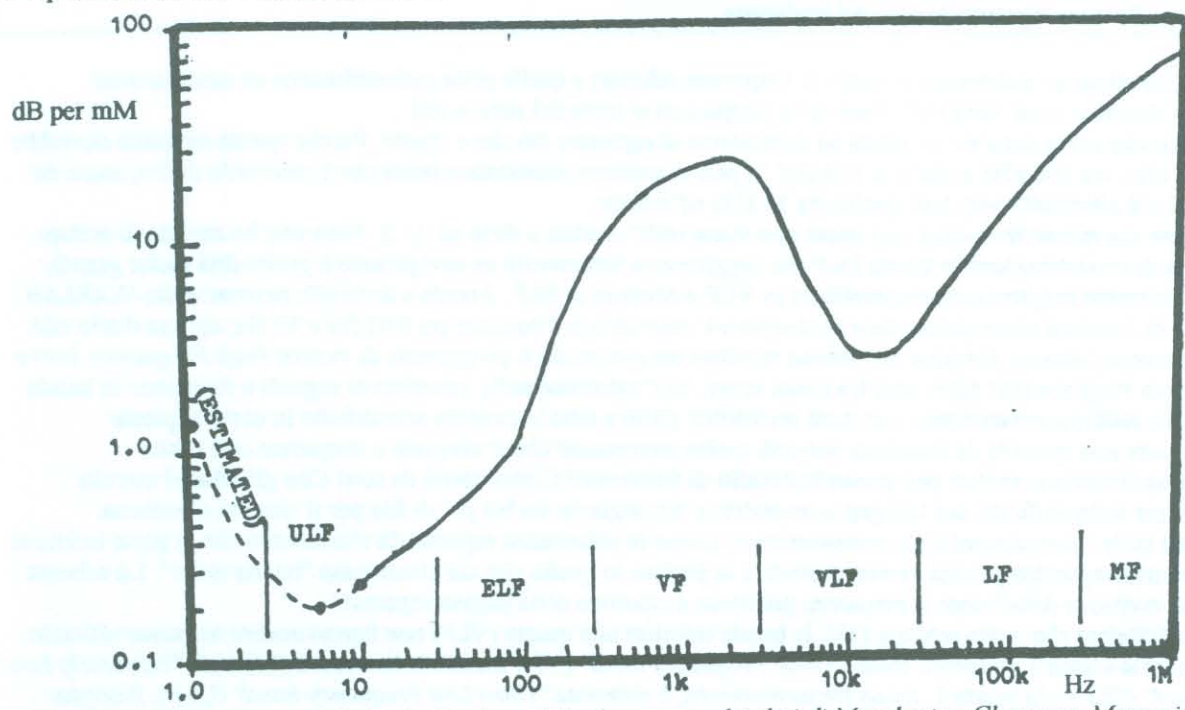


Fig. 1 - Attenuazione atmosferica in funzione della frequenza; dai dati di Manchester, Chapman, Marcario e della RCA.

mostra la curva fondamentale dell'attenuazione atmosferica sino a circa 1 Hz.

A 10 kHz l'attenuazione atmosferica è relativamente costante e piccola, ammonta a solo 2 o 3 dB per Mm. Alle VLF, lo spazio tra la Terra e la ionosfera comincia a comportarsi come una guida d'onda. C'è una banda con attenuazione maggiore tra 8 kHz e 300 Hz, ma sotto 300 Hz l'attenuazione del segnale in questa guida d'onda comincia a diminuire ed è stata trovata essere circa 0.3 dB per Mm alla frequenza di 10 Hz. I segnali in banda ELF ed ULF si propagano con attenuazione così piccola che si realizza quella che può essere chiamata "long-path interference", cioè, il segnale originale viaggia libero attorno alla Terra ed arriva fuori fase rispetto al segnale diretto al ricevitore. L'attenuazione del segnale continua a diminuire dalle VLF verso le ULF perché i limiti conduttori costituiti dalla Terra e dalla ionosfera diventano riflettori sempre più efficienti dell'energia del segnale al diminuire della frequenza.

L'intervallo della banda SLF tra 1 e 3 Hz costituisce un punto di transizione per la guida Terra-ionosfera. Qui la barriera ionosferica può essere, in alcune aree, molto riflettente ed in altre può trasmettere permettendo così ai segnali di passare attraverso o entrare nella guida d'onda. A frequenze di 0.1 Hz ed inferiori, la ionosfera diventa essenzialmente trasparente, permettendo a tutti i segnali provenienti dall'esterno della Terra di essere ricevuti alla sua superficie.

Fenomeni in banda ELF (30 - 300 Hz)

Qui, negli Stati Uniti, abbiamo solo quattro armoniche della frequenza di rete, oltre alla fondamentale a 60 Hz, che cadono nella banda ELF [in Europa 5 armoniche, più la fondamentale a 50 Hz], rispetto alle 150 armoniche nella banda VLF tra 500 Hz e 10 kHz. Nondimeno, queste armoniche di rete in banda ELF, che capitano a 120, 180, 240 e 300 Hz sono molto forti e molti ricevitori ELF necessitano di filtri *notch* almeno per la fondamentale e per la terza armonica (60 e 180 Hz). Un fenomeno interessante, associato con la rapida diminuzione dell'attenuazione, è il fatto che, se ci sintonizziamo a frequenze sempre più basse, di fatto, riceviamo segnali provenienti da sempre più lontano. Gli atmosferici, o le "sferiche", sono la sorgente dominante di segnali radio nella banda ELF e, al fondo di questa banda, questi segnali, che traggono origine dai fulmini che cadono in tutto il mondo, si fondono in un segnale di fondo quasi continuo.

L'ELF *hiss*, paragonabile al VLF *hiss*, ha origine nella plasmasfera e nella plasmappausa della magnetosfera terrestre ed ha un massimo d'ampiezza tra circa 200 e 300 Hz. Gli *whistlers* ELF sono inoltre simili agli *whistlers* VLF tranne che capitano nell'intervallo tra 20 e 200 Hz. Essi hanno la loro massima ampiezza tra 80 e 90 Hz ed hanno una durata tipica di circa un minuto. I segnali denominati "ruggiti di leone" si possono osservare nell'intervallo tra 50 e 200 Hz, ma hanno un massimo tra 90 e 160 Hz. Hanno una durata tra 1 e 10 secondi e sono associati con alcune tempeste magnetiche (*substorms*).

Fenomeni in banda ULF (3 - 30 Hz)

Proprio come i segnali radio al di sopra di circa 15 kHz sono ultrasonici e necessitano di un particolare trattamento o conversione per essere uditi dagli esseri umani, i segnali al di sotto di circa 20 Hz, che sono infrasonici, necessitano pure di un qualche trattamento per essere rivelati. La banda ULF inizia molto al di sotto della nostra frequenza di soglia acustica e si estende verso quelle che noi chiameremmo note musicali molto basse.

Il fenomeno principale in banda ULF è costituito dalle risonanze di Schumann a frequenze di 7.8, 13.8, 19.7, 25.7 e 31.7 Hz. Esistono altre frequenze di risonanza maggiori di 31.7 Hz, ma sono molto difficili da rivelare. Queste risonanze di Schumann esistono non tanto per l'attenuazione atmosferica molto bassa in questa banda, ma perché la dimensione fisica della circonferenza terrestre (circa 25000 miglia) [circa 40000 km] permette lo stabilirsi di onde stazionarie, e quindi di risonanze.

Poiché il principale fattore di eccitazione per queste risonanze sono i fulmini prodotti in tutto il mondo, l'osservazione di queste frequenze può fornire dati significativi sull'attività elettrica globale. È stato stimato che il fattore Q della prima risonanza di Schumann, 7.8 Hz, è circa 4, mentre le risonanze superiori hanno, progressivamente, fattori Q maggiori, ma incontrano maggiore attenuazione atmosferica. Un ottimo libro su quest'argomento è stato scritto da P. V. Bliok e si intitola "Schumann Resonances in the Earth-Ionosphere Cavity".

Fenomeni in banda SLF (>0 - 3 Hz)

C'è molto anche quaggiù! *Whistlers* SLF, cori SLF e molti altri tipi di segnali che si trovano in banda VLF, ma, ovviamente, a frequenze molto più basse. I segnali di origine naturale in banda SLF comprendono le cosiddette "Micropulsazioni Geomagnetiche". In realtà queste sono onde elettromagnetiche prodotte nello spazio e ricevute, alla superficie terrestre, come variazioni del campo geomagnetico di fondo.

La *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* ha suddiviso i fenomeni naturali che si osservano alle SLF in sei intervalli di frequenza Pc (*Pulsation Continuous type*). La classificazione è riportata nella pagina seguente. Ci sono tre altre classi di pulsazioni, le Pi (*Pulsation Irregular*), ma qui ci limitiamo solo alle forme risonanti di questi eventi. L'intervallo Pc1, da 0.2 a 5.0 Hz, per me è il più interessante ed in esso avvengono una grande varietà di fenomeni.

I segnali sono detti "idromagnetici" (HM) quando sono caratterizzati da una frequenza inferiore alla "ion gyrofrequency" ed "elettromagnetici" quando sono caratterizzati da una frequenza maggiore di questa. Al di fuori della Terra, nel plasma magnetosferico dove vengono generati i Pc1, la "ion gyrofrequency" è tra 0.4 e 0.5 Hz.

Un'amplificazione dell'onda (sino a circa 30 dB) ha luogo a circa metà di questa frequenza e quindi noi osserviamo Pc1

Classificazione delle pulsazioni magnetiche

Tipo	Frequenza	Periodo	Sottoclasse
Pc1	0.2 – 5.0 Hz	5.0 – 0.2 s	<i>whistler</i> HM (pulsazioni a perla), cori HM, emissioni periodiche HM, emissioni impulsive HM, IPDP (“gurglers”, “sweepers”), emissioni continue, emissioni HM irregolari
Pc2	100 – 200 mHz	5.0 – 10 s	pulsazioni irregolari aurorali
Pc3	22 – 100 mHz	10 – 45 s	} risonanze magnetosferiche
Pc4	6.7 – 22 mHz	45 – 150 s	
Pc5	1.7 – 6.7 mHz	150 – 600 s	
Pc6	< 1.7 mHz	600 s	<i>tail fluttering</i> , altre

con frequenze tra 0.2 e circa 3 Hz a seconda delle condizioni. La durata temporale di queste oscillazioni può essere da pochi minuti sino ad alcune ore. Le onde Pc1 si propagano nella magnetosfera non alla velocità della luce, ma a quella chiamata “velocità di Alfvén” (più di 100 volte inferiore) e questa velocità può variare sia con la densità di flusso del campo magnetico sia con la densità di plasma, che sono variabili. Questo fatto e la deformazione del plasma magnetosferico possono creare molte forme di onde Pc1 (come si può vedere dalla tabella) che sono identificabili solo con un certo tipo di analizzatori di spettro.

Se le oscillazioni Pc1, una volta generate, trovano un condotto nella ionosfera che assorbe il segnale, esso si propaga come un’onda elettromagnetica SLF nella guida d’onda Terra-ionosfera dove può essere rivelata, sulla superficie terrestre, a grandi distanze da ciascun punto coniugato nell’altro emisfero.

Ho osservato eventi di classe Pc1 qui a Kent, stato di Washington, sin dal 1990, ed ho trovato che essi sembrano capitare almeno tra 1 giorno e 9 giorni dopo un’attività di tempesta magnetica minore e sono, di solito, ricevuti durante condizioni di quiete magnetica, quando l’indice K di Boulder è tra 0 e 3. La finestra temporale per questi eventi si ha qui tra le 23 e le 8 PST [PST = UTC – 8] con una frequenza massima tra le 2 e le 6. La frequenza media è qui di circa 1.2 Hz con una durata media di circa mezz’ora.

Si è trovato che gli eventi di pulsazione magnetica di classe da Pc2 a Pc4 sono buoni indicatori dell’agitazione prodotta dal vento solare sulla nostra magnetosfera ed indicatori generali della velocità del vento solare, essendo il periodo inversamente proporzionale [alla velocità del vento solare].

Le oscillazioni nell’intervallo Pc5 risultano dall’interazione del vento solare con la magnetosfera terrestre ed è un indicatore della densità del plasma.

La classe di fenomeni Pc6 è caratterizzata da periodi delle onde di più di 10 minuti ed una causa identificata di questi eventi è la coda della magnetosfera, che si allunga per più di 250000 miglia, e che viene agitata dal vento solare.

Un buon testo di riferimento è “*Geomagnetic Micropulsations*” di J. A. Jacobs.

Non siete mai arrivati alla DC (zero Hz)?

Zero hertz

In realtà, è possibile ricevere la frequenza di zero Hz (DC). Un campo geoelettrico viene prodotto dai 44000 temporali attivi al giorno in tutto il mondo. Essi caricano la ionosfera positivamente a circa 300000 V rispetto alla Terra e ciò costringe gli ioni dell’aria a trasportare a Terra questa elettricità statica. Il gradiente di potenziale alla superficie terrestre ammonta a circa 120 V al metro e può essere misurato da un elettrometro con impedenza d’ingresso di $10^9 - 10^{12} \Omega$.

L’antenna di un tale sistema si chiama “collettore di ioni”, ma preferisco chiamarla “*air-electrode*”. Il suo scopo è di realizzare un contatto elettrico con l’aria ed è, in realtà, nient’altro che una superficie conduttrice orizzontale, molto ben isolata da terra, montata al di sopra di qualsiasi conduttore, in uno spazio libero e sgombro. Quanto più alto da terra è questo elettrodo, tanto maggiore sarà il potenziale misurato e tanto più bassa potrà essere la resistenza d’ingresso necessaria. Il cavo di discesa deve essere schermato.

Ho seguito il campo geoelettrico per alcuni anni ed ho trovato che, contrariamente a quanto dicono i testi, è possibile osservare, per mezzo di tecniche di media, la variazione caratteristica diurna, che segue strettamente l’attività delle risonanze di Shumann.

Si ritiene che una rete di stazioni di misura del potenziale geoelettrico potrebbe, attraverso il confronto dei loro dati, stabilire un “indice geoelettrico” simile all’indice geomagnetico e fornire nuovi dati sui processi geoelettrici che avvengono sulla Terra. A mia conoscenza ciò non è mai stato fatto, ma sarebbe un grande progetto di ricerca coordinato per chi è appassionato di queste cose.

Due buoni libri di consultazione su quest’argomento sono: “*Atmospheric Electricity*” di J. Alan Chalmers e “*The Earth Electrical Environment*” del *Geophysical Study Committee*.

(Continua)

La II Parte, contenente cenni a ricevitori ed antenne, verrà pubblicata nel prossimo numero di *Radioonde*.