

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 28 è stato inviato a 17 lettori
Redazione: Ezio Mognaschi, v.le Gorizia, 63 - 27100 Pavia PV, tel. 0382 539522, posta elettronica: mognaschi@fisicavolta.unipv.it
=====

Hanno collaborato a questo numero: E. Mognaschi, R. Romero, A. Ghedi ed altri.

Sommario: Notizie, Caratteristiche delle emissioni radio p. 1 - 2; L'altra radio p. 2 - 4; L'antenna VLF di NAA p. 5, Onde laterali p. 6.

Notizie: * Il *Supplemento Ordinario* n. 146 del 20.07.02 della *Gazzetta Ufficiale* n. 169 ha pubblicato il D. M. 08.07.02, denominato **Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze**, che riporta le attribuzioni delle bande ai diversi servizi e le separate o congiunte competenze dei Ministeri delle Comunicazioni e della Difesa sulle singole bande. Sostituisce il precedente Piano pubblicato solo due anni fa. La banda delle Onde Lunghe continua ad essere suddivisa in due sottobande; ma, mentre la parte da 148.5 a 255 kHz rimane per "radiodiffusione analogica sonora in AM", quella da 255 a 283.5 kHz diventa per "radiodiffusione sonora in onde decametriche" (sic!). Per la seconda sottobanda è sparito l'aggettivo "analogica" e la specificazione "AM" (vuol dire che vi verranno allocati servizi digitali?), mentre è comparso l'inappropriato aggettivo "decametriche" che nulla ha a che fare con le onde lunghe che sono "chilometriche". La banda da 0 a 9 kHz continua a non essere attribuita, ma compare, tra le possibili utilizzazioni, quella per *Short Range Devices* (SRD) di tipo induttivo.

* Dal 1° agosto 2002 è attivo un nuovo TX da 1.2 MW, ma che opera a 600 kW, su 171 kHz con antenna omnidirezionale a Bol'shakov, nell'enclave russa di Kaliningrad, sul Mar Baltico. Trasmette i programmi di Radio Rossii per l'enclave, per le navi del Mar Baltico e del Mare del Nord e per tutta la regione Baltica.

* Renato Romero segnala il sito http://www.iptvreports.mcomail.com/stoa_cover.htm ove è contenuto un interessantissimo rapporto del *Scientific and Technological Options Assessment programme office* al Direttore Generale per la Ricerca del Parlamento Europeo sui sistemi di spionaggio di un gruppo di paesi anglofoni (USA, UK, Canada, Australia, Nuova Zelanda) sulle comunicazioni mondiali. Si tratta di una trentina di pagine in inglese ove viene descritta l'organizzazione, i metodi ed i modi di intercettazione delle comunicazioni mondiali.

* Grazie all'iniziativa ed al notevole impegno di Renato Romero il sito <http://www.vlf.it> ospita la versione elettronica, scaricabile in .pdf, dell'articolo "On the possible origin, propagation and detectability of electromagnetic precursors of earthquakes" già segnalato in *Radioonde* N. 28.

* La *Gazzetta Ufficiale* pubblicherà a breve il Decreto del Ministero delle Comunicazioni firmato l'11.02.03, denominato **Regolamento Radioamatori** che contiene diverse ed importanti novità. Il documento, di 34 pagine, è scaricabile dal sito del Ministero delle Comunicazioni <http://www.comunicazioni.it>

* Il sito <http://www-pw.physics.uiowa.edu/space-audio/index.html>, curato dal prof. Donald A. Gurnett, permette di ascoltare campioni di suoni VLF dallo spazio, raccolti in circa 30 anni. Vi si trovano interessanti suoni di radio natura, grafici e spiegazioni sulla loro origine. Alcuni suoni sono stati registrati per mezzo di satelliti e non sono ottenibili direttamente sulla Terra.

* Il sito <http://www.andreaghedi.it/hobbi/universita.htm>, curato da Andrea Ghedi, IW2LLA, laureato in ingegneria delle telecomunicazioni, riporta il progetto di un ricevitore a lock-in denominato ULFO (*Ultra Low Frequency Observer*) che verrà sperimentato per le osservazioni di segnali radio naturali probabilmente associati ai fenomeni luminosi di Hesselalen.

Caratteristiche delle emissioni radio

(dal D. M. n. 146 del 20.07.02)

Classe di emissione - Insieme delle caratteristiche di una emissione, quali il tipo di modulazione della portante principale, la natura del segnale modulante, il genere di informazione da trasmettere ed eventualmente altre caratteristiche. Ogni classe di emissione è designata da un insieme di simboli normalizzati.

Designazione della classe di emissione - La classe di emissione è designata da tre simboli fondamentali:

- il primo simbolo indica il tipo di modulazione della portante principale;
- il secondo simbolo indica la natura del segnale (o dei segnali) modulante la portante principale;
- il terzo simbolo indica il tipo d'informazione da trasmettere.

a) **Primo simbolo** (tipo di modulazione della portante principale)

- emissione di un'onda non modulata N
- emissione, la cui portante principale è modulata in

ampiezza (ivi compresi i casi in cui vi sono sottoportanti con modulazione angolare):

- doppia banda laterale A
- banda laterale unica con portante completa H

14.03.03
Potrebbe non bisognerebbe l'OK dell'editore. Bisogna avere pazienza
Saluti. Ezio

- banda laterale unica con portante ridotta o di livello variabile R
- banda laterale unica con portante soppressa J
- bande laterali indipendenti B
- banda laterale residua C
- emissione la cui portante principale è modulata con modulazione angolare:
 - modulazione di frequenza F
 - modulazione di fase G
- emissione la cui portante principale è modulata in ampiezza e in modulazione angolare, sia simultaneamente, sia con una sequenza prestabilita D
- emissione ad impulsi:
 - treno d'impulsi non modulato P
 - treno d'impulsi:
 - modulato in ampiezza K
 - modulato in larghezza/durata L
 - modulato in posizione/fase M
- nei quali l'onda portante è modulata in modulazione angolare durante il periodo dell'impulso Q
- combinazione di casi precedenti o prodotto con altri mezzi V
- casi non previsti in precedenza, nei quali l'emissione si compone della portante principale modulata, sia simultaneamente, sia con una sequenza prestabilita, da una combinazione di modi seguenti: in ampiezza, in modulazione angolare o ad impulsi W
- altri casi X

- b) Secondo simbolo (natura del segnale (o dei segnali) modulante la portante principale**
 - assenza di segnale modulante 0
 - un solo canale contenente l'informazione quantificata o numerica, senza l'impiego di una sotto portante modulante 1
 - un solo canale contenente l'informazione quantificata o numerica, con l'impiego di una sotto portante modulante 2
 - un solo canale contenente l'informazione analogica 3
 - due o più canali contenenti l'informazione quantificata o numerica 7
 - due o più canali contenenti l'informazione analogica 8
 - sistema composito con uno o più canali contenenti l'informazione quantificata o numerica e uno o più canali contenenti l'informazione analogica 9
 - altri casi X
- c) Terzo simbolo (tipo d'informazione da trasmettere)**
 - nessuna informazione N
 - telegrafia per ricezione auditiva A
 - telegrafia per ricezione automatica B
 - fac-simile C
 - trasmissione dati, telemisura, telecomando D
 - telefonia (ivi compresa la radiodiffusione sonora) E
 - televisione (video) F
 - combinazione di casi precedenti W
 - altri casi X

L'altra radio

di Ezio Mognaschi

Prosegue in questo numero di *Radioonde* la descrizione di radiorecettori poco usuali, cioè sia basati su circuiti raramente usati, sia realizzati con materiali e tecniche non convenzionali, desuete e non più adottate.

4) Radio Caterina

Si tratta dell'apparecchio radio costruito, nell'inverno del 1943, utilizzando una valvola e materiali di fortuna, da ufficiali italiani fatti prigionieri dopo l'8 settembre di quell'anno e rinchiusi nel campo di Sandbostel, nei pressi di Amburgo. Erano il tenente Oliviero, prima della guerra laureando in ingegneria, Poli, studente di medicina, Martagnano e Pucci. Lessi la prima descrizione di questa incredibile avventura, negli anni '50, sul settimanale *Oggi*; negli anni '60 la ritrovai in *Selezione dal Reader's Digest* e nel 1999 *La Repubblica* ha ripresentato l'episodio dando grande risalto agli aspetti romanzeschi e folcloristici, ma con scarsi dettagli tecnici, presenti, invece, nel resoconto di *Oggi*. Cerchiamo qui di ricostruire idealmente quel radiorecettore partendo proprio dalla valvola usata, il tetrodo a fascio 1Q5 GT. Si tratta di una valvola classificata come "amplificatrice di potenza a bassa frequenza", quindi poco adatta all'uso in radiofrequenza. Tuttavia, quando non si dispone di altro, si può costringere anche una valvola per bassa frequenza a funzionare come oscillatrice a radiofrequenza, se la frequenza non è troppo alta. Questa valvola presenta il grande vantaggio di richiedere solo 1.4 V e 100 mA per l'accensione del filamento ed una relativamente bassa tensione anodica. Per esperienza personale so che un tetrodo può funzionare anche con solo 4.5 V di tensione anodica, anche se, ovviamente, con tensioni di qualche decina di volt funziona meglio, ma questo è solo per dire che non occorre un'alta tensione anodica ed il problema di alimentare la valvola 1Q5 si riduce a realizzare una batteria di un solo elemento per l'accensione ed una batteria anodica di una decina di elementi, in grado di fornire qualche mA. La valvola ha un diametro di 30 mm ed un'altezza di 92 mm e sembra che i nostri l'avessero ricevuta nascosta in un pane proveniente da casa. La occultarono nel collo di una borraccia fissandola con mollica di pane, in modo che sporgessero solo i 5 piedini dello zoccolo. Il circuito adottato fu, per forza di cose, il più semplice possibile: un circuito a reazione elettromagnetica. In questo circuito, oltre alla valvola ed alla relativa alimentazione, è presente un circuito accordato composto da condensatore variabile ed induttanza, un'induttanza per la reazione, accoppiata a quella di accordo, una resistenza di alto valore (circa 1M Ω) ed un piccolo condensatore (circa 200 pF) nel circuito di griglia per la rivelazione per falla di griglia ed, infine, una cuffia. Naturalmente, lo schema può venire complicato o migliorato con l'aggiunta di altri elementi circuitali, ma qui vogliamo restare all'essenziale. In figura è mostrato il possibile schema usato dai nostri che, ripeto, è il più semplice che si possa immaginare.

Vediamo ora come vennero realizzati e collegati i componenti:

a) l'antenna era formata da un pezzo di filo stretto tra i denti dell'operatore che stava in piedi;
 b) la terra era realizzata appoggiando sul pavimento umido della baracca l'armatura inferiore del "variabile" di sintonia;
 c) la bobina di sintonia venne avvolta su di un portasapone di celluloido ed il filo necessario fu sottratto alla dinamo della bicicletta di un soldato tedesco che portava la posta nel campo; quella di reazione, avvolta su un cilindro di cartone, venne alloggiata all'interno del portasapone e, ruotandola, si poteva variare l'accoppiamento con la bobina di sintonia, quindi variare il grado di reazione e quindi l'amplificazione;
 d) la resistenza del circuito di griglia venne ottenuta (come aveva fatto il marconista Biagi della spedizione polare Nobile nel 1928 per riparare il radiorecettore) strofinando la grafite di una matita su di un tubetto di carta. Qui venne usata la carta incerata che avvolgeva le razioni di margarina;
 e) i condensatori vennero realizzati con fogli di stagnola incollati su cartoncino, quello variabile era posato a terra e la variazione di capacità, per ottenere la sintonia, era ottenuta premendo con un piede, in modo da avvicinare più o meno le armature;

f) la cuffia venne costruita utilizzando parti del motore di un rasoio elettrico;

g) la batteria di accensione venne realizzata in un vasetto di ceramica per estratto di carne, con pezzi di zinco strappati ai lavatoi e pezzi di carbone prelevati nelle cucine;

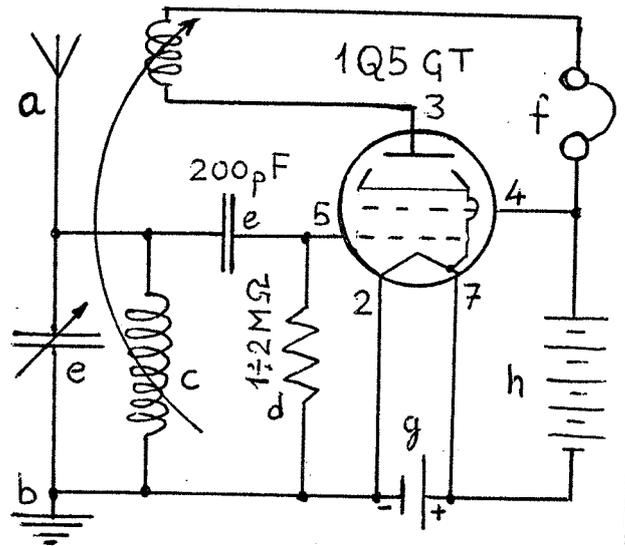
h) la batteria anodica venne realizzata sul modello della pila di Volta, con monete italiane di rame da 10 centesimi alternate a dischi di stoffa inumidita con soluzione elettrolitica e pezzi di lamierino di zinco, alloggiati in un astuccio portatile. Per entrambe le batterie la soluzione elettrolitica era costituita da urina!

Il radiorecettore, battezzato Caterina, fu pronto tra marzo ed aprile del 1944. Esso veniva montato la sera e smontato al termine degli ascolti, occultandone le parti che venivano custodite separatamente da diversi prigionieri, in modo da nascondere quanto era stato realizzato anche in caso di perquisizione. Si può quindi immaginare che i collegamenti venissero effettuati ogni volta, semplicemente attorcigliando i fili elettrici. Durante l'assemblaggio del ricevitore e durante l'ascolto alcuni prigionieri facevano la guardia alle finestre della baracca per evitare sorprese. L'auricolare era tenuto all'orecchio di Oliviero da una fasciatura in modo da poter simulare, all'occorrenza, un mal di denti ed avere le mani libere. Con questo radiorecettore venne ricevuta segretamente e sistematicamente Radio Londra ed i prigionieri italiani poterono così essere al corrente degli sviluppi della guerra meglio degli stessi carcerieri tedeschi. Tra l'altro, furono in grado di comunicare ai compagni di prigionia francesi l'avvenuto sbarco in Normandia del 6 giugno 1944. All'arrivo dei militari alleati Radio Caterina venne collegata agli altoparlanti del campo per annunciare la fine della guerra.

Il ricevitore sopra descritto costituisce un bell'esempio di inventiva, di iniziativa e di capacità di autocostruzione in condizioni di estrema difficoltà; il suo uso è un esempio di radioascolto sorretto soprattutto dal desiderio della libertà, e finalizzato alla conoscenza di notizie per sentire anche, o meglio, soprattutto, "l'altra campana".

5) Radio-rana ovvero il primo radiorecettore ed una sua applicazione pratica

Era il 1756 quando Leopoldo Marcantonio Caldani (1725-1813), professore di medicina a Bologna e sostenitore della teoria del fisiologo svizzero Albrecht von Haller (1708-1777) sulla sensibilità ed irritabilità dei tessuti animali, constatò, per primo, l'effetto a distanza della scarica di una macchina elettrica su una zampa di rana: ad ogni scarica corrispondeva la contrazione della zampa. Caldani pubblicò queste osservazioni nel 1757, ma non ne afferrò l'importanza. Le ben più note esperienze di Luigi Galvani (1737-1798) si possono ricollegare a quelle di Caldani e ne costituiscono lo sviluppo, avvenuto nell'ambito delle ricerche promosse dall'Istituto delle Scienze di Bologna. Le prime osservazioni di Galvani sulle contrazioni muscolari delle rane, in coincidenza con scariche elettriche naturali od artificiali, sono descritte nel suo diario alla data del 6 novembre 1780, ma furono pubblicate da lui solo 11 anni dopo, nel 1791, nel famoso libro *De viribus electricitatis artificialis in motu musculari commentarius*. Si può ritenere che Galvani si fosse occupato di queste ricerche sin dall'estate del 1780; a queste seguirono, dall'aprile all'agosto 1786, quelle sull'influenza dell'elettricità atmosferica, mentre, nel settembre dello stesso anno compì le osservazioni dell'effetto di un arco bimetallico. Tutti sanno poi come, dalla ripetizione di queste ultime esperienze e da una diversa interpretazione delle stesse, Volta (1745-1827) giunse all'invenzione dell'"organo elettrico artificiale" detto poi pila. Ma qui vogliamo interessarci della rivelazione di onde elettromagnetiche ed abbandoniamo l'importantissima questione dei contatti bimetallici. Tra le disposizioni sperimentali adottate da Galvani ricordiamo qui quella in cui un filo metallico era teso attraverso la stanza e sostenuto da fili isolanti di seta. All'estremità del filo vi era un gancio metallico in contatto con i nervi crurali di una rana, recentemente



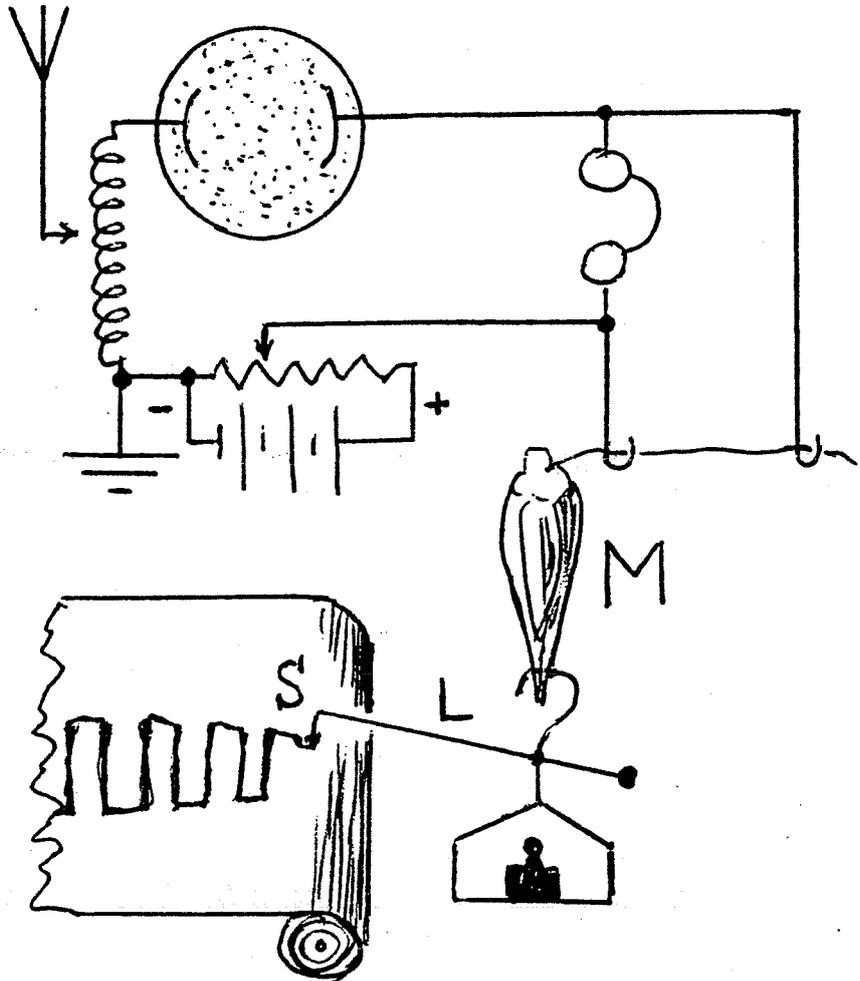
“preparata”* allo scopo, mentre l'estremità delle zampe erano in contatto con un buon conduttore dell'elettricità che fungeva da contrappeso. Allo scoccare di scintille da una vicina macchina elettrostatica si verificavano vive contrazioni delle zampe. Nella seconda parte del *De viribus electricitatis artificialis in motu musculari commentarius* Galvani descrive l'effetto delle scariche temporalesche. I nervi crurali sono collegati ad una vera e propria antenna isolata, mentre le zampe sono collegate ad un filo di ferro che pesca nel pozzo di casa. Questa disposizione sperimentale, dal punto di vista radioelettrico, è del tutto simile a quella di un radiorecettore.

Una curiosa applicazione di un sistema ricevente basato sulle contrazioni muscolari di una zampa di rana si trova descritta nella rivista di divulgazione scientifica *La scienza per tutti*, n. 117, del 15 dicembre 1913 che, a sua volta, riprendeva l'argomento da una rivista tecnico-scientifica francese e poi nel n. 33, del 15 maggio 1936, della rivista *Sapere*. La zampa di una rana “preparata” viene collegata meccanicamente ad un sistema che scrive su una striscia di carta scorrevole, mentre il nervo sciatico fa parte del circuito elettrico del ricevitore; come mostrato in figura. Il “registratore di onde hertziane per mezzo di una zampa di rana” venne realizzato da M. L.

Lefeuve, professore di psicologia alla Facoltà Medica di Rennes. L'antenna ricevente è collegata, tramite un cursore, ad una bobina

che fa parte di un semplice sistema sintonizzabile a cui segue un curioso rivelatore di tipo elettrolitico. Ricordiamo che erano gli anni in cui si stava cercando qualcosa di meglio del coherer, mentre la valvola termoionica era ancora ai primi passi. Questo rivelatore è collegato a due cuffie telefoniche in serie, ciascuna di 4000 Ω . A loro volta le cuffie sono collegate alla presa mobile di un potenziometro ai capi del quale è connessa una batteria di 3 elementi con il polo negativo a terra. Il potenziometro serve per ottenere il potenziale che fa funzionare correttamente il rivelatore elettrolitico. Una zampa di rana è montata in modo che il muscolo M sia tenuto teso da un piccolo peso e comandi la leva L la cui estremità S sfrega leggermente su un foglio di carta, affumicata con nero fumo, che scorre per mezzo di un movimento ad orologeria. In parallelo alle cuffie sono derivati i collegamenti al nervo sciatico. Quest'apparecchio venne installato a Rennes, a 350 km da Parigi, e permise al prof. Lefeuve di registrare i segnali di tempo inviati dalla torre Eiffel il cui TX a scintille irradiava 15 kW a 113 kHz. Nell'articolo citato sono presentati i tracciati del punto orario trasmesso ogni minuto e dei segnali di attenzione (lunghe linee o linee e punti) che lo precedevano. Alla fine dell'articolo citato si legge: “Ci è parso assai interessante di segnalare questi apparati sia per la loro ingegnosit , sia perch  essi permettono, per la prima volta, di conservare una traccia scritta dei radiotelegrammi. Ma certo non si pu  pensare, nella pratica corrente della telegrafia senza fili, di servirsi per la registrazione di una zampa di rana, che non conserverebbe a lungo la sua sensibilit  e che bisognerebbe troppo spesso rinnovare”.

* “preparata” = decapitata, scuoiata e tagliata all'altezza dell'addome in modo da lasciare attaccato alla zampa il nervo sciatico che comanda la zampa stessa.



Il radiorecettore di Lefeuve, anno 1913.

L'antenna VLF di NAA di Ezio Mognaschi

La stazione radio navale NAA è situata a Cutler (44° 39' N, 67° 17' W), nel Maine, lo stato più occidentale degli Stati Uniti, all'estremità di una piccola penisola della frastagliatissima costa nordamericana, bagnata dall'Oceano Atlantico. L'area occupata dall'impianto è di oltre 12 milioni di metri quadrati, contiene oltre 19 km di strade e, per la costruzione furono usati 69000 metri cubi di calcestruzzo e 15000 tonnellate d'acciaio. La stazione viene operata dalla Marina degli Stati Uniti per tenere i collegamenti tra gli alti comandi militari americani a terra e navi, aerei e sottomarini dislocati nell'emisfero Nord. Diversamente da quanto avviene per molti TX, questa stazione, grazie a giganteschi sistemi di accordo, può operare con una potenza di 2 MW su oltre un'intera ottava, tra 14 e 28.5 kHz anche se opera prevalentemente a 24.0 kHz. L'energia elettrica è fornita da diversi generatori, tra cui quattro Cooper-Bessemer, per una potenza complessiva di 15 MW. Le riserve di carburante ammontano a 20000 barili (circa 2400 m³). Utilizza una doppia antenna costituita da due piloni verticali alimentati alla base e da una ragnatela di conduttori che formano un carico capacitivo. Ciascuna ragnatela è sostenuta da 12 piloni, oltre quello centrale che è alto 298 m. Questo è circondato da due serie concentriche di sei piloni, alti 243 m ciascuno. Tra questi piloni è teso un sistema di cavi di bronzo fosforoso della lunghezza complessiva di 120 km, mentre 3960 km di conduttori di rame, del diametro di 2.5 cm, costituiscono il sistema radiale di terra che si spinge sino alle acque dell'oceano che circondano da tre lati la stazione. Ciascuna delle due antenne può essere utilizzata da sola, mentre l'altra è eventualmente sottoposta a manutenzione. Per dare un'idea delle dimensioni dell'impianto basti pensare che, all'occorrenza, per riscaldare i conduttori delle antenne e sciogliere il ghiaccio che si forma su di essi, viene impiegata una potenza elettrica, a 60 Hz, di 9 MW. I segnali di potenza a radiofrequenza per alimentare le due antenne, vengono trasportati entro due tunnel, ciascuno lungo quasi un chilometro, agli edifici che contengono le induttanze di accordo poste alle basi dei piloni principali.

La distanza tra i due piloni principali, circa 2 km, è solo 0.089 della maggiore lunghezza d'onda utilizzabile ($\lambda_1 = 21.5$ km) e 0.192 della minore ($\lambda_2 = 10.5$ km); cioè la distanza tra i piloni è piccola rispetto alla lunghezza d'onda cosicché il diagramma di radiazione non differisce sensibilmente da un circonferenza quando le due antenne sono alimentate in fase. L'antenna è stata progettata in modo da eccitare onde elettromagnetiche laterali (o superficiali) lungo la superficie del mare. Un cenno alle onde laterali è contenuto nella scheda a pag. 6.

Le altezze effettive dell'antenna, quando opera con due piloni, sono $h_{e1} = 147$ m a 14 kHz e $h_{e2} = 151$ m a 28.5 kHz. Queste altezze corrispondono, rispettivamente, a lunghezze elettriche dell'antenna $2\pi h_{e1}/\lambda_1 = 0.043$ e $2\pi h_{e2}/\lambda_2 = 0.090$ che sono molto piccole. Le corrispondenti resistenze di radiazione sono $R_{r2} = 40 (2\pi/\lambda_2)^2 h_{e2}^2 \approx 0.074 \Omega$ e $R_{r1} = 40 (2\pi/\lambda_1)^2 h_{e1}^2 \approx 0.32 \Omega$. Quando la corrente totale di alimentazione a radiofrequenza è $I = 2000$ A, il momento elettrico effettivo di dipolo Ih_e è di circa 3.0×10^5 Am. La potenza irradiata è $P = I^2 R_r = 0.30$ MW a 14 kHz e 1.28 MW a 28.5 kHz, quindi il rendimento dell'antenna è tra il 15 % a 14 kHz ed il 64 % a 28.5 kHz. Poiché il livello di campo irradiato da un dipolo unitario, cioè per $Ih_e = 1$ Am, è di -325 dB, il livello per $Ih_e = 3.0 \times 10^5$ Am viene aumentato di un fattore pari a $20 \log_{10}(3.0 \times 10^5) \text{ dB} \approx 110 \text{ dB}$, cioè l'antenna di Cutler porta il campo a -215 dB. La corrispondente intensità del campo elettrico è pari a $1.75 \times 10^{-5} \mu\text{Vm}$. Se un sottomarino deve ricevere i segnali di NAA con un'antenna filare orizzontale, trascinata a poppa, della lunghezza di 600 m, la sensibilità del ricevitore deve essere di dell'ordine di 0.01 μV .

In conclusione, per comunicare con i sottomarini a distanze sino a 5000 km e profondità tra 10 e 20 m, le antenne verticali del tipo di quella di NAA, corte e caricate elettricamente, devono operare con correnti sino a 2000 A, nell'intervallo di frequenza tra 15 e 30 kHz. Se i segnali dovessero essere ricevuti a profondità maggiori, per esempio sino a 40-50 m, sarebbero richieste correnti molto maggiori, antenne molto più alte e, magari, direttive. In considerazione del fatto che l'antenna di Cutler è già molto grande, non sembra praticabile costruirne di più grandi. A causa dell'effetto corona non è neppure pensabile di aumentare la corrente d'antenna aumentando la tensione di alimentazione. Una riduzione della frequenza dai 15-30 kHz di NAA a circa 1 kHz, allo scopo di raggiungere profondità sino a 50 m, richiederebbe un aumento almeno di un fattore 10 nelle dimensioni dell'antenna caricata, per mantenere una lunghezza elettrica effettiva ed una resistenza di radiazione comparabili a quelle di NAA. Tutto ciò non è realistico. Se si vuole realizzare questo obiettivo occorre quindi cambiare la tecnologia da utilizzare. Il problema è stato superato dagli statunitensi con i TX a 76 Hz di Clam Lake, Wisconsin e dai russi con il TX della penisola di Kola a 82 Hz che usano, come antenne, linee elettriche di decine di chilometri, alimentate al centro e messe a terra in profondissimi pozzi alle due estremità, in modo da produrre grandi correnti lungo grandi estensioni di territorio*.

Bibliografia e note

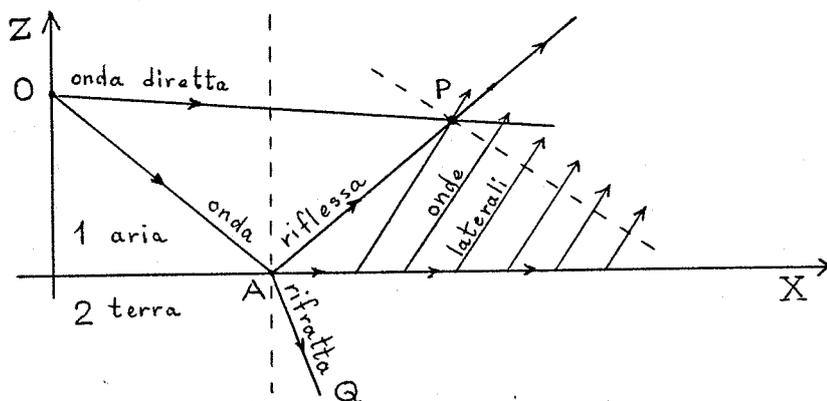
- L. Peter Carron, jr., "The World Below 500 Kilohertz", Universal Radio Research, Reynoldsburgh, 1990, pp. 29-31
 R. W. P. King, M. Owens, T. T. Wu, "Lateral Electromagnetic Waves", Springer-Verlag, New York, 1992, pp. 127-128
 * Per "vedere" questi segnali, che si possono ricevere in tutto il mondo, si può visitare il sito di Renato Romero
<http://www.vlf.it>

Onde laterali

Il particolare tipo di onda elettromagnetica di superficie, generata da un dipolo orizzontale (o verticale) posto sopra o vicino (cioè anche sotto) alla superficie di separazione tra atmosfera e terra (suolo, acqua dolce, acqua marina) o vicino alla superficie di separazione tra fondo del mare ed acqua marina, è nota, generalmente, come onda laterale. Questo tipo di onda è stato studiato estesamente in relazione al fenomeno della riflessione totale non solo in elettromagnetismo ed ottica, ma anche in relazione ai fenomeni acustici e di propagazione delle onde sismiche meccaniche. Questi studi sono stati pubblicati da scienziati russi negli anni '60 e ripresi in pubblicazioni statunitensi negli anni '90. L'interesse per questo argomento è non solo applicativo, ma anche militare in quanto permette di spiegare la propagazione di onde lunghe e lunghissime usate da sempre per comunicazioni a grande distanza, ma senza aver bene compresi, sino a tempi recenti, tutti gli aspetti della loro propagazione. A parte il presente cenno, sull'argomento non esistono pubblicazioni in italiano.

Nel passaggio da un mezzo ad alto indice di rifrazione ad uno a più basso indice, un'onda laterale viene generata da un fascio di raggi di dimensione limitata che incide sulla superficie di separazione tra due mezzi secondo un angolo θ vicino all'angolo θ_c che è l'angolo critico per la riflessione totale. L'onda laterale è invece assente se l'onda incidente è onda piana infinitamente estesa, di modo che è determinante la dimensione finita del fascio incidente per produrre un'onda laterale. L'onda laterale si manifesta con le seguenti caratteristiche: a) produce uno spostamento laterale del campo riflesso e b) eccita un debole campo che accompagna il campo riflesso. Nessuno di questi fenomeni può essere spiegato dall'ottica geometrica, cioè in termini di fisica classica.

Se consideriamo un'antenna trasmittente nel mezzo 1 ed una ricevente, sempre nel mezzo 1, ma entrambe prossime al mezzo 2, le onde che possono essere ricevute sono a) l'onda diretta, b) l'onda riflessa alla superficie di separazione dei due mezzi, c) l'onda di superficie. Nel caso di antenne nell'atmosfera le prime due formano l'onda spaziale. Siccome alla riflessione sulla superficie terrestre avviene sempre un cambiamento di fase di 180° , le onde a) e b), che hanno con buona approssimazione la stessa intensità, si cancellano e la ricezione è affidata alla sola onda comunemente detta superficiale, ma oggi chiamata laterale c) la cui generazione deriva dal meccanismo che vedremo. Per capire l'origine fisica dell'onda laterale consideriamo, nella figura, la propagazione di onde elettromagnetiche generate da O. Le onde dirette a) e riflesse b), seppure presenti e generate con dispendio di energia, non interessano la ricezione in P



perché si annullano a vicenda, come detto sopra. Tuttavia, alla superficie di separazione aria/terra, avviene il normale processo di rifrazione, senza riflessione totale perché l'indice di rifrazione del terreno è sempre maggiore di quello dell'aria. Il raggio rifratto AQ si avvicina alla normale e viene assorbito per attenuazione nel terreno ed, a prima vista, sembrerebbe che non esista un'onda nel mezzo inferiore. Ma, data la prossimità al terreno, la sorgente O genera un fascio di **onde piane non omogenee**, cioè per le quali la direzione di propagazione (parallela al terreno) non è perpendicolare ai fronti d'onda (come avviene invece per le normali di piane), cioè i fronti d'onda sono inclinati in avanti. Per rifrazione nel mezzo inferiore queste onde generano ordinarie onde piane nel mezzo inferiore che si propagano parallelamente alla superficie di separazione. Queste onde piane nel terreno irradiano **onde "laterali"** nel mezzo superiore con ampiezza che si attenua esponenzialmente con la distanza dalla superficie, cioè con l'altezza. Da questo fatto deriva l'importanza di collocare, per il caso considerato, l'antenna ricevente in prossimità del terreno (o nel terreno) e non, come si dice generalmente, "più in alto possibile". Va da sé che la propagazione per onde laterali segue la curvatura terrestre e permette anche la ricezione a grandi distanze, senza l'intervento della ionosfera. Per fare un paragone botanico possiamo paragonare l'antenna trasmittente ad un albero che sviluppa radici nel terreno parallelamente alla superficie e, naturalmente, sotto di essa. Da queste radici nascono dei germogli che spuntano al di sopra della superficie e che permettono all'albero di... propagarsi "lateralmente"; da qui il nome dato a queste onde.