

RADIOONDE

Aperiodico di scienza e tecnica della radio - N. 37, agosto 2005

Fotocopiato in proprio, distribuito gratuitamente, è gradita la collaborazione dei lettori - Il N. 36 è stato inviato a 20 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 ed altri.

Sommario: Notizie, Nuove applicazioni dei campi elettromagnetici in medicina, p. 1; Il solstizio d'estate in ULF, p. 4; L'analisi dei segnali (I Parte), p. 5.

Notizie: * Una delle stazioni che operano in automatico in banda ELF ed ULF per il monitoraggio dei precursori elettromagnetici dei sismi segnala che, dall'inizio di aprile, i TX russi su 82 Hz non sono più attivi. È stata notata invece attività sporadica con segnali in onda continua modulati secondo rampe di frequenza da 85 a 170 Hz. In luglio, dopo diverse settimane di silenzio, sono riprese le trasmissioni russe su 82 Hz; il segnale ha però intensità più bassa rispetto alle condizioni precedenti.

* Le trasmissioni in CW della storica stazione SAQ, effettuate il 2 e 3 luglio su 17.2 kHz, sono state ricevute da 85 stazioni in Europa e 5 in America del Nord, una delle quali in California. Tre stazioni italiane hanno segnalato la ricezione. La ricezione è avvenuta anche a Pavia, disturbata da statiche.

* È stata avviata una collaborazione scientifica e didattica tra il Dipartimento di Fisica "A. Volta" di Pavia e l'Istituto di Istruzione Superiore "P. Rossi" di Massa per lo scambio di dati sui precursori elettromagnetici dei sismi. Presso le due istituzioni sono attualmente operanti stazioni riceventi a frequenze molto basse nell'ambito di un programma coordinato di ricezione per identificare i possibili precursori elettromagnetici dei sismi.

Nuove applicazioni dei campi elettromagnetici in medicina

di E. Mognaschi

Sono ben note alcune applicazioni mediche tradizionali dei campi elettromagnetici quali la marconiterapia e la radarterapia usate, sostanzialmente, per riscaldare alcuni tessuti o alcuni distretti del corpo umano a scopo terapeutico: con l'aumento di temperatura si facilita, ad esempio, lo scioglimento degli acidi urici cristallizzati per eliminarli più velocemente, mentre, provocando una ipertermia locale si può esaltare l'effetto di determinati farmaci antitumorali. Inoltre, un'altra applicazione tradizionale, ma non ancora ben compresa, è quella dei campi magnetici a bassa frequenza usati per accelerare la guarigione di fratture ossee.

Qui vorrei, invece, descrivere alcune altre recentissime applicazioni di campi elettromagnetici in diversi settori della medicina.

1) Un motore nella gamba

Nel caso di tumori ossei che richiedono l'asportazione di una parte, più o meno considerevole, di tessuto osseo, la parte mancante viene sostituita con una protesi metallica o ceramica. Nei pazienti anziani la protesi è definitiva e si attende solo che il paziente defunga per altra causa per decretare il successo dell'intervento. Nei pazienti che non hanno ancora completato la crescita, la protesi deve essere sostituita tre o quattro volte l'anno per magari 5 anni per non creare deformazioni agli arti o il distacco della protesi. L'idea rivoluzionaria dei medici del *Royal National Orthopaedic Hospital* di Stanmore è stata di creare una protesi allungabile. Questo avviene sistemando il rotore di un piccolo motore ad induzione magnetica all'interno della protesi in modo da poterla allungare mettendo in rotazione una vite senza fine. Il rotore gira a 3000 giri al minuto ed, attraverso un sistema di ingranaggi riduttori, è in grado di allungare la protesi di 4 mm in 16 minuti, senza interventi cruenti. Gli statori sono stati forniti dalla *ABB Motor Services*, EMR Silverthorn di Wembley. Come si fa a far girare il motore? Semplicemente con uno statore a forma di ciambella nel quale viene infilato l'arto da trattare. Lo statore, alimentato con corrente trifase ed inizialmente raffreddato ad olio, è stato progettato da ricercatori dell'*University College London* e fornito gratuitamente dalla ABB. Attualmente viene usato un motore a due poli, in connessione a stella, con uno statore di 552 spire di filo del diametro di 1.06 mm. Il primo paziente venne trattato nel 2002 e, sinora, sono stati trattati 5 pazienti in tutto.

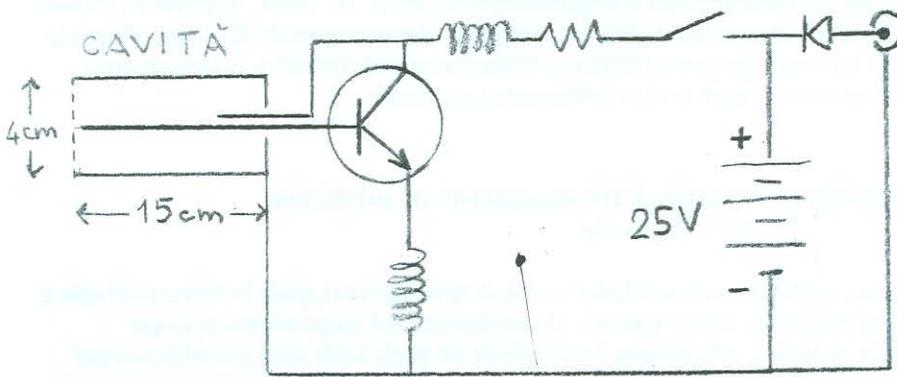
2) Diagnosi dall'esterno con sensori all'interno del corpo

Esistono da tempo protesi acustiche impiantate all'interno dell'orecchio che ricevono segnali elettromagnetici per induzione da apparati esterni, ma nuovi tipi di sensori, posti all'interno dell'organismo contribuiranno in generale a migliorare terapia e diagnosi. Per esempio un pace-maker impiantato potrebbe trasmettere regolarmente dati sulle proprie prestazioni e sulle condizioni del paziente. Un elemento chiave sarà il collegamento a radiofrequenza tra un'antenna all'interno dell'organismo ed un ricevitore all'esterno. È un problema difficile da risolvere, che coinvolge la biocompatibilità dei materiali ed il fatto che il corpo umano rappresenta un ambiente ostile per i sistemi di

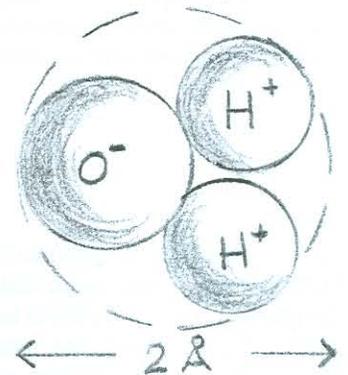
comunicazione. Negli Stati Uniti la *Federal Communication Commission* ha destinato la banda 402-405 MHz alle comunicazioni a larga banda ed a corto raggio (sino a 2 m) con le protesi impiantate, per una potenza effettivamente irradiata di $25 \mu\text{W}$.

3) Il Trimprobe

È forse l'applicazione più interessante ed importante. Si tratta di un dispositivo a stato solido operante nelle bande di frequenza da 430 a 480 MHz, da 830 a 960 MHz, da 1290 a 1440 MHz, e da 1720 a 1920 MHz. Come si può notare si tratta di bande armoniche; la generazione di onde elettromagnetiche in queste bande è effettuata dall'eccitazione di una cavità risonante cilindrica lunga 15 cm e del diametro di 4 cm circa, contenente, lungo l'asse, un conduttore filiforme, direttamente connesso alla base di un transistor di potenza ed isolato all'altra estremità. Il campo elettromagnetico presente nella cavità esce dall'estremità di essa e, probabilmente, anche da una fessura longitudinale della cavità stessa. Il circuito è costituito da un oscillatore nel quale la reazione tra uscita ed entrata è affidata all'accoppiamento capacitivo realizzato con un condensatore posto tra collettore e base; un'armatura del condensatore è costituita da un certo numero di spire di filo isolato avvolte sul conduttore centrale della cavità risonante. L'oscillatore è "sporco", cioè produce un'onda non sinusoidale, ma ricca delle prime armoniche. Il circuito, comprende pochi altri elementi, è alimentato da una batteria ricaricabile da 25 V ed il tutto è contenuto in un cilindro di plastica della lunghezza di 40 cm e del diametro di 5 cm.



Schema elettrico del Trimprobe.



La molecola d'acqua.

L'uso di questo strumento di diagnosi medica è come quello di un *metal detector*: viene passato sulla superficie del corpo mentre un analizzatore di spettro, operante sino almeno a 1500 MHz e posto alla distanza di un paio di metri, mostra lo spettro elettromagnetico delle onde emesse dalla sonda. Più precisamente, se la sonda è lontana dal paziente, l'analizzatore mostra l'intensità di campo alla frequenza fondamentale ed alle prime due armoniche così come sono prodotte dall'oscillatore. Allorché il Trimprobe viene avvicinato al corpo umano lo spettro cambia in intensità in quanto una o due o tutt'e tre le bande vengono più o meno assorbite dai tessuti biologici. Si tratta quindi di una spettroscopia basata essenzialmente su tre frequenze (anziché su di uno spettro continuo di frequenze come sarebbe auspicabile) e le tre frequenze vengono ottenute proprio dall'oscillatore "sporco". L'inventore dello strumento è il fisico Clarbruno Vedrucci dell'Università di Bologna. Su Internet si trovano moltissimi siti che parlano del Trimprobe (*Tissue Resonance InterferoMeter Probe*), incluso il sito di Galileo Avionica (Finmeccanica) che produce e commercializza lo strumento, dopo un decennio di esitazione. Attualmente il Trimprobe è in fase di sperimentazione presso alcuni ospedali.

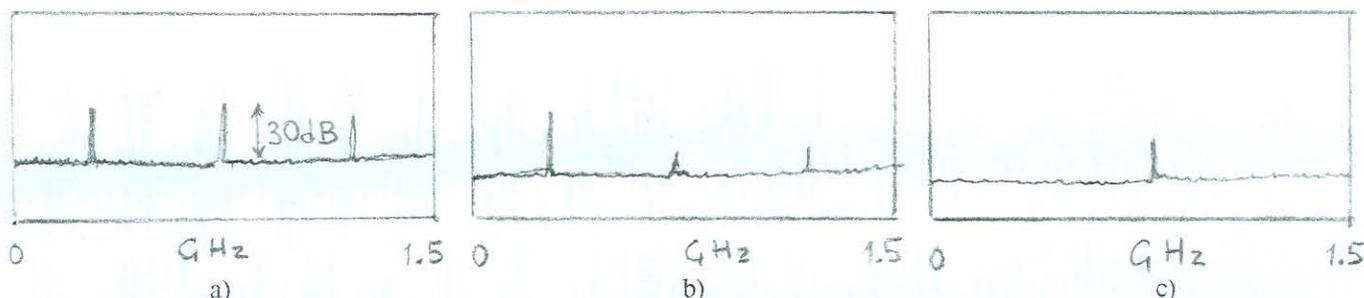
In nessun sito è però spiegato il principio fisico di funzionamento anzi, la maggior parte delle spiegazioni sono fantasiose ed il nome stesso dello strumento è sbagliato in quanto, come vedremo, non si tratta di "risonanze", bensì di assorbimento di radiofrequenza associato al rilassamento dielettrico dipolare dei dipoli di acqua biologica contenuta nei tessuti. Per cercare di capire come funziona il Trimprobe bisogna, innanzitutto, tenere presente che i tessuti biologici umani contengono un'altissima percentuale di acqua, dal 60% al 70% e che l'acqua mostra un assorbimento dielettrico in una vastissima estensione di frequenze, dunque non un assorbimento risonante. Inoltre, nei tessuti biologici non si tratta di acqua libera, bensì di molecole d'acqua variamente legate alle proteine e ad altre molecole presenti nei tessuti. La situazione di legame più o meno stretta tra acqua e costituenti (normali o patologici) dei tessuti potrebbe spiegare l'assorbimento più marcato in diverse regioni dello spettro elettromagnetico. Nella scheda che segue vengono elencati alcuni dei più significativi stati dell'acqua.

L'acqua è una molecola molto particolare: è molto piccola (può essere contenuta in una sfera di raggio $a = 2 \text{ \AA}$) e possiede un elevato momento di dipolo elettrico $p = 1.87 \text{ debye} = 6.17 \times 10^{-30} \text{ Cm}$.

Scheda relativa alle diverse, possibili forme dell'acqua e delle sue associazioni

Acqua pura	<ul style="list-style-type: none"> • vapore • liquida • sovraraffreddata • poliacqua • solida 	<p>Nell'atmosfera come vapore condensato, in goccioline (nebbia). Acqua piovana, acqua di sorgente, $0^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$. Acqua liquida a $T < 0^{\circ}\text{C}$, stato instabile. Stato liquido ipotizzato, ma non confermato, trenta anni fa. Ghiaccio, neve, $T < 0^{\circ}\text{C}$, conduzione elettrica protonica.</p>
Acqua nei solidi	<ul style="list-style-type: none"> • di costituzione • di cristallizzazione • zeolitica • di adsorbimento • di interposizione 	<p>Es.: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{COOH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. In questi due ultimi composti è disposta in strati e dà luogo a conducibilità elettrica protonica. Assorbita da composti perfettamente cristallizzati. Monomolecolare o "legata" o "irrotazionale" o "localizzata". Multimolecolare o "mobile". Può formare strati superficiali con dipoli perpendicolari alla superficie del solido, costituendo uno strato ferroelettrico.</p>
Acqua nei tessuti	<ul style="list-style-type: none"> • acqua biologica 	<p>Diversamente legata alle proteine cellulari a seconda del tipo di proteina e dello stato sano o patologico. In risonanza magnetica nucleare è possibile distinguere i diversi tessuti ed il loro stato dal diverso tempo di rilassamento dei protoni dell'acqua.</p>

Il tempo di rilassamento τ misura il tempo richiesto per ridurre di un fattore $1/e$ (circa $1/3$) la polarizzazione elettrica di un insieme di dipoli sottoposti ad un campo elettrico. L'espressione per il tempo di rilassamento è $\tau = 4\pi a^3 \eta / kT$ ove a è il raggio della sfera che contiene il dipolo, η è la viscosità del mezzo in cui si trova il dipolo, k la costante di Boltzmann e T la temperatura assoluta. Per l'acqua pura a temperatura ambiente il tempo di rilassamento risulta $\tau \approx 2.5 \times 10^{-11}$ s; la frequenza di massimo assorbimento da parte dei dipoli di acqua è $f = 1/\tau \approx 4.4 \times 10^{10}$ Hz, corrispondente ad una lunghezza d'onda di circa 1 cm. L'assorbimento dipolare non avviene ad una determinata frequenza, ma occupa un intervallo di circa due decenni intorno alla frequenza calcolata. Se non si tratta di acqua pura, bensì legata ad altre molecole, la viscosità η è generalmente maggiore e quindi il massimo di assorbimento si sposta a frequenze più basse. Per tornare al Trimprobe si può osservare che il massimo di assorbimento sarà determinato dalla "viscosità" che caratterizza le molecole d'acqua dei tessuti e dunque dal loro legame con altre molecole. La sperimentazione clinica cerca di stabilire una correlazione tra le intensità dei picchi dello spettro del Trimprobe e le possibili patologie dei tessuti. Evidentemente il Trimprobe è particolarmente adatto per lo studio di organi superficiali come ad es. la prostata e la pelle. Qui sotto sono riportati tre spettri tipici: a) prostata normale, b) ipertrofia prostatica benigna, c) carcinoma prostatico.



I vantaggi del Trimprobe sono il basso costo ed il fatto che l'esame è non invasivo. Negli ambienti medici esiste tuttavia un atteggiamento prudente, se non scettico, a proposito delle potenzialità del Trimprobe, mentre la stampa internazionale ha dato grande rilievo a questa realizzazione italiana.

Il solstizio d'estate in ULF

di E. Mognaschi

Già da qualche anno, precisamente da quando è in corso il monitoraggio sistematico in banda ULF per lo studio dei precursori elettromagnetici dei sismi, mi sono accorto che, nei giorni che precedono e seguono il solstizio d'estate, il rumore elettromagnetico di fondo aumentava sistematicamente poco prima del tramonto, mentre nulla di particolarmente rilevante si poteva osservare all'alba o in altre ore del giorno. Quest'anno ho deciso di seguire attentamente il fenomeno e di raccogliere i dati sull'intensità del rumore elettromagnetico nella parte di banda ULF studiata: da 0.01 Hz a 5 Hz.

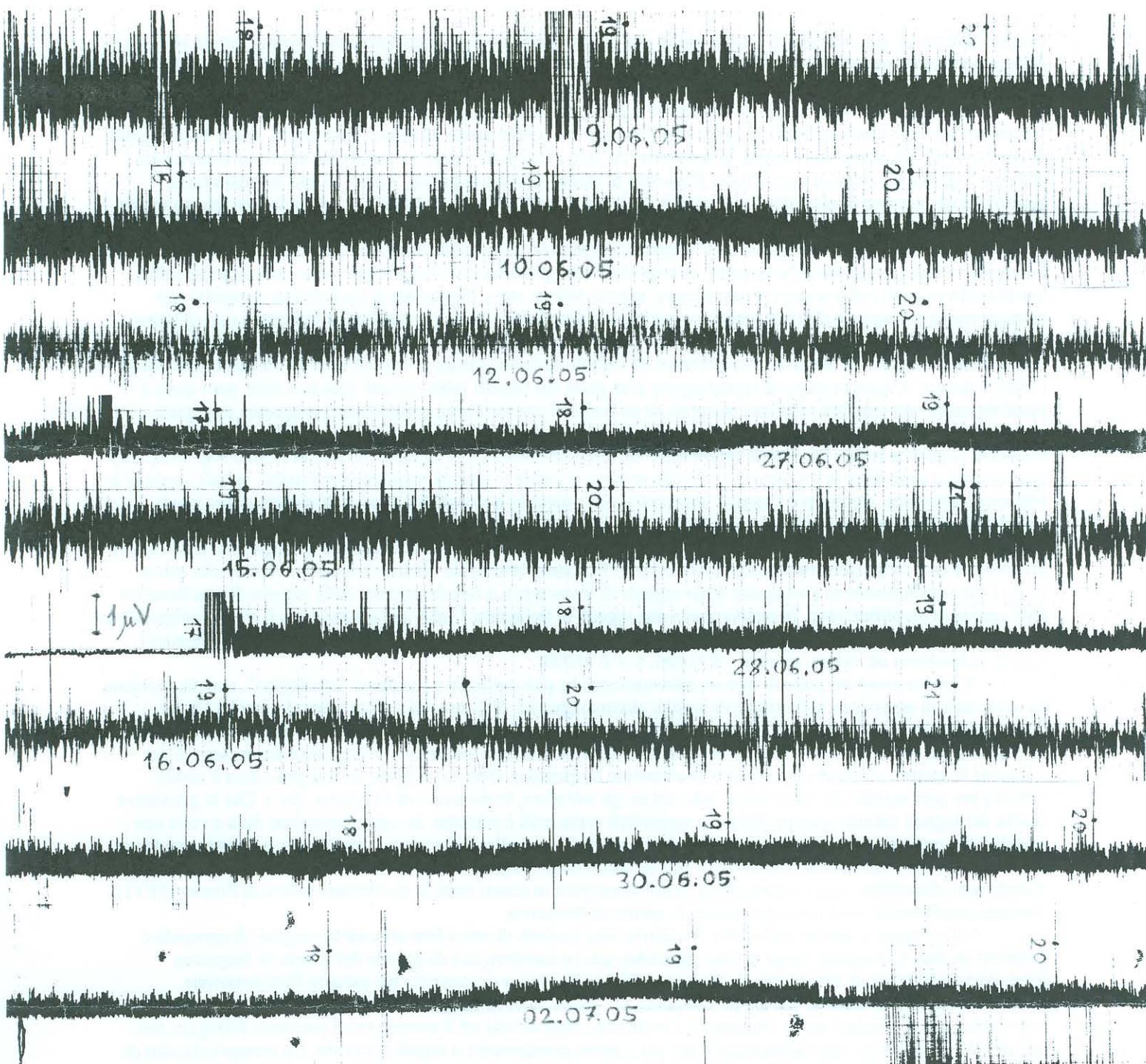
Come i lettori sanno, la stazione di Pavia registra in continuazione, salvo guasti tecnici, il livello di rumore nella predetta porzione di spettro elettromagnetico. Il guadagno del sistema di filtro-amplificazione-rivelazione-registrazione è tale che, disconnessa l'antenna, il livello del rumore proprio del sistema produce una traccia su carta di circa 2 mm di spessore – quasi una linea retta, come si può vedere nella prima parte della traccia relativa al 28.06.05, mentre, connessa l'antenna, che è un filo verticale lungo 2.60 m, il segnale lascia una traccia con ampiezza da un centimetro a parecchi centimetri a seconda dell'intensità del rumore elettromagnetico. La sensibilità è stata misurata con un attenuatore di precisione ed una generatore di bassa frequenza connesso in ingresso, al posto dell'antenna e risulta di circa $1\mu\text{V}/\text{cm}$. Quest'anno, il 20 giugno, proprio nell'imminenza del solstizio, un grave guasto al motore che pilota l'equipaggio che trascina il pennino scrivente, mi ha costretto ad interrompere le registrazioni e smontare il motore per ripararlo. Un cuscinetto a sfere era grippato ed il motore non girava più. Un energico lavaggio di due ore in bagno di kerosene, con l'assistenza degli ultrasuoni, la successiva asciugatura in forno a 50°C e un nuovo ingrassaggio, hanno permesso di recuperare completamente la funzionalità del motore e riprendere le registrazioni il 21 giugno, giorno del solstizio. Anche alcune valvole termoioniche del registratore sono state sostituite e la sensibilità è aumentata; per tornare alla sensibilità standard ho fatto uso del potenziometro attenuatore posto all'ingresso del registratore. Dopo la riparazione è cambiata anche la costante di tempo meccanica del motore in quanto, venendo a mancare lo smorzamento supplementare del cuscinetto che si stava grippando, l'equipaggio scrivente è divenuto più pronto nella risposta ai segnali di ingresso. Per questo, nelle registrazioni che mostrerò si nota una differenza nell'aspetto dei segnali tra la situazione antecedente e quella seguente la riparazione.

Veniamo alle registrazioni. Per apprezzare meglio la variazione del segnale si consiglia di osservare il foglio con sguardo radente, nel senso delle tracce: sarà così più evidente la piccola variazione del livello del segnale tra le 18 e le 20. Gli orari sono espressi in ora estiva. Le tracce presentate vanno dal 2.06.05 al 2.07.05: in quella del 28.06.05 non è apprezzabile l'aumento del livello del rumore, per questo ho affermato all'inizio che il fenomeno si osserva "quasi" tutti i giorni prima e dopo il solstizio. Non ho una spiegazione del fenomeno, né ho trovato mai descritta questa variazione di livello del rumore. L'unica ipotesi che mi sento di avanzare è la seguente: i giorni prossimi al solstizio sono quelli in cui la durata del giorno è massima. Qui a Pavia, circa a metà strada tra l'Equatore ed il Polo Nord, la durata del giorno al solstizio d'estate è di circa 15 ore e mezza ed il Sole tramonta poco prima delle 21. A parità di attività solare, la ionizzazione della ionosfera dipende dalla durata dell'illuminazione solare. L'osservato aumento del "rumore di fondo" potrebbe corrispondere ad un aumento della riflettività della ionosfera alle bassissime frequenze in modo che segnali dovuti al fondo naturale e prodotti anche molto lontano, normalmente non ricevuti, diventano ricevibili.

Dunque, il solstizio d'estate è un giorno speciale non solo per quanto riguarda il fenomeno astronomico della massima declinazione del Sole, ma anche per quanto concerne le proprietà della capricciosa ionosfera alle bassissime frequenze. Come i druidi osservarono il moto del Sole per mezzo degli antichissimi monumenti megalitici, i moderni osservatori di segnali radio naturali possono studiare l'influenza del Sole sulla ionosfera in base al livello del rumore radio naturale!



Andamento temporale del rumore elettromagnetico nella banda da 0.01 Hz a 5 Hz nei giorni 2 e 6 giugno 2005. Si può notare un largo massimo attorno alle 19 ora estiva italiana.



Andamento temporale del rumore elettromagnetico nella banda da 0.01 Hz a 5 Hz nel periodo dal 9 giugno al 2 luglio 2005. Lo spettro relativo al 28 giugno mostra, nella prima parte, il rumore dell'apparecchiatura **in assenza di antenna**, nella parte successiva il rumore radio con l'**antenna connessa**. Si noti inoltre l'assenza del largo massimo presente, invece, negli altri spettri.

L'analisi dei segnali (I Parte - Considerazioni generali) di E. Mognaschi

I nostri sensi sono in grado di percepire direttamente due tipi di segnali in due distinte e molto strette bande di frequenza:

- a) i segnali acustici nella banda audio (da 16 Hz a 20 kHz),
- b) i segnali elettromagnetici nella banda del visibile (da 4×10^{14} Hz a poco meno di 8×10^{14} Hz).

I primi coprono un gran numero di ottave, pur in una banda strettissima e questo permette di apprezzare le armonie delle composizioni musicali e di identificare il timbro dei vari strumenti musicali; invece nella banda del visibile non è coperta nemmeno un'ottava, cioè non riusciamo a vedere nemmeno la prima armonica del rosso!

Alcuni animali sono in grado di emettere e percepire suoni in un più esteso intervallo: elefanti e cetacei emettono e percepiscono infrasuoni, mentre altri emettono e/o percepiscono ultrasuoni (pipistrelli, cani). Per i segnali di tipo b) si può ricordare, ad esempio, la sensibilità all'infrarosso delle vipere, la sensibilità al vicino ultravioletto delle api e quella ai campi elettrici a bassa frequenza di alcuni animali acquatici. Anche se una manipolazione genetica ci permettesse di acquisire la sensibilità di alcuni animali, il guadagno nell'estensione in frequenza sarebbe ben poca cosa.

Per gli esseri umani i segnali elettromagnetici al di fuori della banda del visibile devono essere convertiti o in immagini visibili (fotografie all'infrarosso, radiografie, immagini televisive, ecc.) oppure in suoni compresi nella banda audio (segnali radio relativi a voce e suoni, segnali Morse, ecc.). Il processo di conversione comporta una manipolazione del segnale elettromagnetico e comprende due distinti stadi: conversione di frequenza e rivelazione. Solo per i segnali elettromagnetici a frequenze comprese nella banda audio (ELF e VLF) non è necessaria la conversione di frequenza, ma solo la conversione da segnali elettromagnetici in segnali acustici ed è possibile quindi l'ascolto diretto. A questa categoria appartengono gran parte dei segnali radio naturali (ma non tutti) per i quali è possibile realizzare semplici ricevitori costituiti da un'antenna che trasforma segnali elettromagnetici in segnali elettrici, da un amplificatore audio e da un altoparlante che trasforma i segnali elettrici in segnali sonori. Si può estendere di poco la banda dei segnali direttamente udibili con l'artificio di registrare o memorizzare i segnali ad una data velocità e riascoltare le registrazioni facendo scorrere il nastro a velocità maggiore per rendere udibili i segnali a frequenza subsonica, mentre per i segnali ultrasonici, non esistendo la possibilità pratica di registrazione, non è possibile fare l'inverso, cioè riascoltare a velocità minore i nastri. Tuttavia esiste un altro trucco, che vedremo, per analizzare anche questi segnali. Per tutti gli altri segnali, per i quali occorre la conversione di frequenza, nascono dei problemi proprio nella conversione con la creazione di frequenze immagine. Inoltre, è sempre possibile che abbia luogo l'intermodulazione se l'ampiezza di un segnale di frequenza f_0 è tale da arrivare nella regione di non linearità della catena di amplificazione. In questo caso a due segnali di frequenza f_0 ed f_1 in ingresso (con $f_0 > f_1$) corrispondono in uscita almeno sei segnali alle frequenze f_1 , $2f_1$, $f_0 - f_1$, f_0 , $f_0 + f_1$ e $2f_0$. Opportuni filtri permettono di eliminare i segnali indesiderati ed isolare, ad es. $f_0 - f_1$ (LSB), $f_0 + f_1$ (USB).

A questo punto mi sento di fare un'affermazione che può sembrare di carattere "ideologico", ma che proviene da molti anni di esperienza nello studio di segnali elettromagnetici. Nel caso dei segnali naturali, poiché Madre Natura opera con grandezze fisiche reali e nel dominio del tempo, è preferibile registrare ed analizzare i segnali in questo dominio e nella banda di frequenze opportuna ed eventualmente analizzare in frequenza alcuni segnali per studiarne lo spettro, piuttosto che eseguire direttamente lo spettro in frequenza. Quest'ultima procedura è invece indicata per quei segnali che sono di tipo noto (ed es. gli *whistlers*, le risonanze di Shumann, ecc.). Che le grandezze fisiche dei segnali naturali (campi elettrici e magnetici) siano reali è evidente, la rappresentazione fatta a volte con grandezze complesse è solo una comodità matematica; alla fine, quello che conta è la parte reale di queste grandezze. Che la natura operi nel dominio del tempo e non in quello della frequenza mi sembra altrettanto ovvio. Solamente da quando sono disponibili veloci calcolatori in grado di eseguire in tempo reale la trasformata veloce di Fourier (FFT) è divenuto possibile calcolare immediatamente lo spettro in frequenza.

Nel campo dei segnali artificiali a frequenza fissa (segnali di rete e loro armoniche, segnali di comando e controllo in onde convogliate lungo le linee elettriche, ecc.) o caratterizzati da piccole deviazioni di frequenza (comunicazioni dirette ai sottomarini in MSK) l'analisi in frequenza è essenziale per estrarre l'informazione.

Lo studio nel dominio del tempo comporta, per prima cosa, la definizione della banda di frequenze che interessano, poi la conversione di frequenza e l'eventuale rettificazione ed il successivo ed eventuale filtraggio con circuiti RC. Tutte queste operazioni modificano più o meno grandemente il segnale ricevuto. Un esempio classico di registrazione nel dominio del tempo è quello dei sismografi meccanici. Questi strumenti sono costruiti in modo da essere sensibili a movimenti del terreno in un determinato intervallo di frequenze (generalmente da qualche centesimo di Hz a qualche centinaio di Hz), contengono un amplificatore (leve) con fattore di amplificazione da qualche centinaio ad alcune migliaia, ma non eseguono né conversione di frequenza, né rettificazione e filtraggio. Cioè il segnale registrato è una riproduzione più o meno fedele del movimento del terreno.

I segnali di tipo ad onda continua (ad es. quelli di un generatore di segnale) o quelli ripetibili a comando (ad es. le vibrazioni di una struttura percossa da un martello) possono essere utilmente analizzati direttamente nel dominio della frequenza proprio perché si sa quando iniziano o si conosce addirittura la loro frequenza e fase (fase di riferimento). Il caso della rivelazione a sensibilità di fase (*lock-in*) sfrutta proprio la conoscenza della frequenza e della fase del segnale da cercare per estrarlo addirittura dal rumore. Invece, per i segnali impulsivi con istante di inizio incognito la situazione è molto più complessa. La procedura dovrebbe essere quella di registrare il più fedelmente possibile il segnale e poi esaminarlo. È questo il caso della quasi totalità dei segnali radio naturali. Il processo comprende: 1) la trasformazione del segnale elettromagnetico in segnale elettrico con un'antenna; 2) l'amplificazione del segnale nella banda opportuna (qui interviene il filtraggio di banda); 3) la eventuale rettificazione del segnale ed il successivo filtraggio con un filtro RC; 4) la registrazione; 5) l'eventuale analisi in frequenza. (segue)