

# ESPERIMENTI RADIOASTRONOMICI: Monitoraggio in VLF

**Flavio Falcinelli**

(articolo pubblicato sui numeri 150 e 151 di ELETTRONICA FLASH – Maggio/Giugno 1996)

*In questa serie di articoli, dopo una premessa generale sull'attività radioastronomica dilettantistica, saranno presentati i primi risultati di un lungo ed accurato programma di ricerca ideato e sviluppato da un gruppo di dilettanti radioastronomi: la registrazione e lo studio delle variazioni della radiazione elettromagnetica naturale in gamma ELF-VLF causate da fenomeni correlati con eventi astronomici. Interessano per lo più gli effetti ionizzanti causati dal bombardamento meteoritico, quelli indotti dalle aurore boreali, dalle macchie solari e dal vento solare. Dati interessanti sono scaturiti anche in seguito al verificarsi di fenomeni meteorologici ed eventi legati all'attività sismica della crosta terrestre. Visti i notevoli risvolti teorici e tecnici del progetto nonché l'interesse mostrato da numerosi appassionati per le radioemissioni prodotte dai fenomeni naturali, si è ritenuto opportuno divulgare questo appassionante lavoro ai lettori di Elettronica Flash.*

## ASPETTI GENERALI SULLA RADIOASTRONOMIA AMATORIALE

Con queste note si desidera esporre un progetto di ricerca (ed i primi risultati conseguiti) recentemente avviato da un gruppo di dilettanti radioastronomi. Il lavoro é finalizzato allo studio delle fluttuazioni della radiazione elettromagnetica naturale in corrispondenza del limite inferiore dello spettro radio (ELF-VLF). Gli scopi ed i risvolti di una simile attività sono molteplici, coinvolgendo varie discipline: analisi e studio di eventi astronomici che interessano l'atmosfera terrestre, fisica dell'alta atmosfera (ionosfera), meteorologia, geologia ed altri dei quali si parlerà in seguito. Questo progetto, validamente supportato dall'Associazione Astronomica Umbra, assai ampio come obbiettivi, condurrà alla realizzazione del primo osservatorio radioastronomico progettato e gestito da dilettanti e funzionante in base a prefissati criteri di programmazione, inseribili in un contesto di seria collaborazione con i centri di ricerca ufficiali ed orientato ad un'intensa attività di divulgazione. Per caratterizzare e precisare ulteriormente la collocazione di una simile attività é necessario chiarirne gli scopi, gli obiettivi effettivamente raggiungibili ed i limiti, fissati in gran parte da problemi economici, cercando di fornire una risposta ai possibili interrogativi e dubbi. Si confida pure nella segreta speranza che queste esperienze possano interessare altri appassionati, contribuendo all'avvicinamento ed alla conoscenza fra altri dilettanti e favorendo quello scambio di idee e quell'arricchimento culturale che rappresenta il nutrimento ideale per qualsiasi disciplina scientifica.

La radioastronomia, scienza relativamente giovane (K. Jansky, 1931-32), studia i corpi celesti rivelando ed analizzando la radiazione elettromagnetica da questi emessa nell'intervallo spettrale delle radioonde. Un radiotelescopio, strumento di misura per i segnali provenienti dallo spazio cosmico, per nulla differisce nella sua struttura essenziale da un impianto radioricevente convenzionale: comprende un'antenna, o un sistema di antenne, apparati

riceventi e di registrazione dei dati. L'analisi dei segnali ricevuti consiste, in generale, nel determinare l'intensità delle radiazioni cosmiche captate dalle diverse regioni dello spazio e per differenti lunghezze d'onda (caratteristiche spettrali della radiazione), oltre al loro grado di polarizzazione. La condivisione dello spettro con i normali servizi di comunicazione e la grande suscettibilità degli apparati (a causa della loro sensibilità) alle interferenze elettromagnetiche di ogni tipo, comporta necessariamente uno studio accurato sulla scelta della località di installazione di un impianto di osservazione radioastronomica: il bassissimo livello dei segnali ricevuti impone, per i radiotelescopi, luoghi di posizionamento non "inquinati" elettromagneticamente, lontani dai centri urbani ed industriali fonti inesauribili di disturbi, dalle vie di comunicazione, dalle linee di distribuzione dell'energia elettrica, evitando con molta cura possibili interferenze con i servizi di radiocomunicazione terrestri (radiodiffusione commerciale, ponti radio, etc.).

Mi consentano i lettori una precisazione apparentemente banale: la radioastronomia non si occupa di scandagliare lo spazio cosmico alla ricerca di segnali extraterrestri "intelligenti" provenienti da ipotetiche civiltà evolute o da U.F.O.. Pur essendo questo un affascinante settore di speculazione e di studio, caratterizzato da risvolti culturali e sociali inimmaginabili, scientificamente affrontato e sviluppato anche con gli strumenti propri della radioastronomia (progetti O.Z.M.A. e S.E.T.I.), non é argomento della nostra discussione. I segnali rivelati da un radiotelescopio sono di natura aleatoria ed incoerente come qualsiasi emissione proveniente dalla materia eccitata da fenomeni naturali: eccetto le righe spettrali di emissione a ben precise frequenze (idrogeno neutro interstellare, deuterio, numerose molecole organiche), la radiazione diffusa é a spettro largo, perfettamente equivalente al rumore termico di fondo presente negli apparati elettronici. Qualsiasi utente di apparecchi radio può facilmente sperimentare questo fenomeno quando ascolta il fruscio di sottofondo in una zona della banda libera da stazioni trasmettenti.

Ad ogni oggetto cosmico in grado di emettere radioonde é assegnato il termine generico di "radiansorgente". Le caratteristiche fisiche dell'oggetto emittente ed i meccanismi di radiazione possono essere molto diversi, tutti riconducibili a due tipologie fondamentali: radiazione termica e non termica. Il meccanismo di radiazione termica é una diretta conseguenza del fatto che l'oggetto possiede una temperatura superiore allo zero assoluto: in teoria, in base alla legge di Planck, tutti i corpi irradiano per effetto termico più o meno efficientemente, tenendo conto della temperatura e della capacità di assorbimento del corpo stesso. La radiazione visibile del Sole e quella radio del Sole quieto e della corona sono esempi di emissione termica. Altre sorgenti di radiazione termica nello spettro radio sono alcuni pianeti e la Luna (per effetto del riscaldamento solare), il gas interstellare nelle vicinanze delle stelle calde. I meccanismi di emissione che sfuggono alle regole della radiazione termica vengono classificati di tipo non termico. Esempi sono la radiazione del Sole perturbato (quando sono visibili centri di attività e molte macchie sulla superficie), sorgenti come le radio galassie, il gas interstellare lontano dalle stelle calde: in tutti questi casi si riscontrano radioemissioni aventi un'energia tale che corrisponderebbero alla radiazione di un corpo con temperatura enormemente diversa da quella reale dell'oggetto emittente.

L'aspetto fondamentale che caratterizza gli strumenti radioastronomici rispetto ai convenzionali apparecchi per radiocomunicazioni é quello relativo alla differente tipologia del "segnale utile": nei sistemi di comunicazione l'informazione che interessa trasmettere (di tipo analogico o digitale) é sempre trasportata da una o più oscillazioni portanti caratterizzate da frequenza ed occupazione spettrale ben definite. La natura e le caratteristiche spettrali dei segnali indesiderati quali il rumore di fondo e i disturbi vari sono assai differenti da quelle del segnale utile, quindi sottoponibili a filtraggio con tecniche più o meno sofisticate. E' sempre possibile, spesso al prezzo di costi e complicazioni circuitali notevoli, ottimizzare la funzione di trasferimento di un sistema di comunicazione in modo da rendere massimo il rapporto segnale/disturbo anche rispetto alle interferenze causate dallo stesso segnale utile, come gli effetti delle non linearità dovute a saturazione (intermodulazione, etc.). D'altra parte, un ricevitore radioastronomico riceve al suo ingresso segnali di livello molto minore del livello di rumore proprio del sistema (eccetto nel caso di antenne molto grandi puntate su radiansorgenti particolarmente potenti); inoltre, il "segnale utile" da rivelare ed il rumore di fondo del ricevitore hanno quasi sempre la stessa natura e composizione spettrale, risultando quindi indistinguibili.

Nel corso degli anni e con il progredire della tecnologia elettronica sono stati sviluppati e messi a punto diversi sistemi assai ingegnosi e sofisticati per garantire una stabile e precisa misura dei debolissimi segnali cosmici, anche quando il loro livello risulta di molto inferiore al rumore di fondo del sistema.

Il carattere di originalità ed un fascino intrinseco giustificano l'interesse mostrato da molti radioamatori ed appassionati di astronomia verso questo tipo di attività. Essa non può né desidera porsi in posizione competitiva rispetto alla ricerca radioastronomica di punta: credo che la radioastronomia amatoriale possa collocarsi rispetto a quella ufficiale così come il serio lavoro di ricerca degli astronomi ottici dilettanti (studio e scoperta degli asteroidi, stelle variabili, etc.) si pone rispetto all'astronomia ottica ufficiale. D'altra parte, è ben noto come alcuni radioamatori abbiano fornito un contributo notevole allo studio e alla caratterizzazione di fenomeni propagativi ed in generale allo sviluppo delle radiocomunicazioni. In radioastronomia il lavoro è assai impegnativo, dato che non sono disponibili in commercio strumenti adatti. Occorre costruire e sperimentare tutto in proprio, dalle antenne, ai sistemi di puntamento, ai ricevitori, al sistema di registrazione ed elaborazione dei dati, al software di gestione, creando un vero e proprio laboratorio polifunzionale. Questa mentalità è senz'altro vicina a quella di un radioamatore nel senso più ampio e profondo del termine. Tutto ciò presuppone la necessaria collaborazione ed un intenso affiatamento tra un gruppo di persone preparate e motivate che, oltre ad acquisire i fondamenti teorici di base, esercitino la loro esperienza nella realizzazione delle apparecchiature e nell'interpretazione dei dati. La complessità ed i costi di una simile organizzazione sono direttamente proporzionali ai risultati che si desiderano raggiungere e dipendono sensibilmente dall'abilità personale e dalla capacità di reperire risorse. E' comunque possibile affrontare la questione con gradualità, costruendo le realizzazioni più ambiziose ed impegnative sui "mattoni" dell'esperienza acquisita con i lavori precedenti che, generalmente e soprattutto all'inizio, producono un certo numero di insuccessi, moltissimi dubbi e qualche timido ed entusiasmante successo. Negli articoli che seguono si cercherà di dimostrare, in tutta modestia e con proposte sicuramente perfezionabili, come sia possibile intraprendere interessanti lavori di ricerca dilettantistici a costi tutto sommato assai contenuti. Utilizzando i moderni dispositivi elettronici reperibili ormai a prezzi convenienti grazie allo sviluppo nei settori consumer dei calcolatori elettronici, della TV da satellite, delle tecniche di videoripresa e videoregistrazione, dei dispositivi antifurto, è senz'altro possibile realizzare un efficiente radiotelescopio amatoriale con un costo che cresce rapidamente all'aumentare delle richieste in sensibilità e in risoluzione. Quest'ultimo problema è direttamente legato al sistema di antenna utilizzato ed alla frequenza di osservazione scelta: è proprio in questa sezione dell'impianto che sono concentrati i maggiori costi realizzativi ed un notevole impegno tecnico, compresa la disponibilità di spazi aperti in luoghi non inquinati elettromagneticamente e sicuri per le apparecchiature.

## **MONITORAGGIO IN ELF-VLF. INTRODUZIONE**

La possibilità di effettuare radioascolto esplorando diverse bande di frequenza rappresenta una delle attività più interessanti per i radioamatori. Oltre alla ricezione "classica" di segnali modulati esiste la possibilità di effettuare interessanti lavori di ricerca nella parte bassa dello spettro radio utilizzando mezzi relativamente modesti ed economici, con largo spazio per la fantasia e l'autocostruzione. Nella letteratura elettronica hobbistica sono recentemente apparsi articoli che trattano l'argomento "radionatura", stimolati da alcuni progetti di collaborazione tra centri di ricerca ufficiali (come, ad esempio, la NASA) ed i radiodilettanti di tutto il mondo (vedi progetto INSPIRE [9]). In questa sede vogliamo descrivere un lavoro mirato allo studio specifico di particolari eventi naturali che comprende la descrizione dell'intero sistema in tutte le sue componenti. Alla fine sarà riportata una sintesi dei primi risultati ottenuti (primo ciclo di osservazioni) con brevi commenti sulle possibili estensioni del sistema e sugli sviluppi futuri del progetto (secondo ciclo di osservazioni).

L'interesse per un monitoraggio continuo sulle bassissime frequenze radio è giustificato dall'intensa attività elettromagnetica ELF-VLF prodotta da fenomeni naturali, atmosferici e non, correlati più o meno direttamente con eventi astronomici. Fervono numerosi ed importanti studi

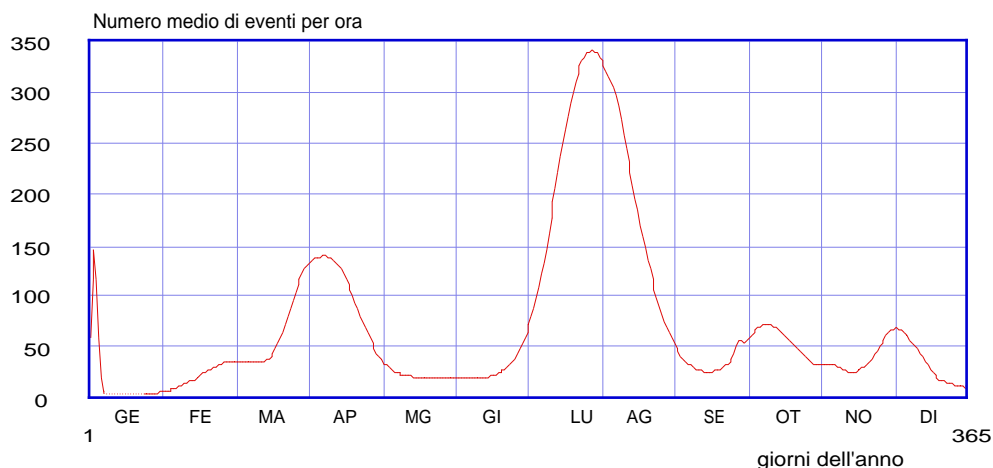
sulla natura e sui meccanismi che danno luogo a questo tipo di radioemissioni: tali segnali sembrano legati ad eventi di ionizzazione più o meno casuali della parte più esterna dell'atmosfera terrestre. E' facile verificare come l'innescarsi di un fenomeno di ionizzazione possa produrre radiazione elettromagnetica di una certa importanza: è sufficiente avvicinare un apparecchio radio ad un tubo fluorescente ed ascoltare dall'altoparlante il forte crepitio con aumento del rumore di fondo. Lo spazio compreso tra la superficie terrestre e la ionosfera si comporta come una guida d'onda per questi segnali che, a causa dello strato riflettente ionizzato rimangono confinati all'interno dell'atmosfera. Per un analogo effetto che si verifica sotto la crosta terrestre, a profondità comprese tra circa 2 e 15 chilometri, i segnali ELF-VLF possono propagarsi facilmente anche attraverso il terreno e sott'acqua. Sono note ai radioamatori le emissioni in gamma VLF della rete americana Omega (10.30÷13.60 kHz) utilizzata per il sistema di localizzazione dei sommergibili in navigazione. Numerosi segnali di origine naturale sono ricevibili in questa banda. I più comuni sono le scariche elettriche che si originano dai temporali: queste, se registrate con un sistema audio, danno luogo a tutta una serie di suoni (codificati in un caratteristico vocabolario di "radionatura" [9]) di breve durata a frequenza variabile. L'evento impulsivo della scarica elettrica origina un sibilo con frequenza decrescente a causa del fenomeno di diffrazione ionosferica che si presenta con caratteristiche dispersive. Spesso rumori assai intensi sono dovuti a scariche atmosferiche avvenute in luoghi molto distanti (anche agli antipodi, nel punto geomagnetico coniugato sulla stessa linea di forza del campo magnetico terrestre) rispetto all'osservatore. Le ore migliori per la registrazione sono quelle notturne mentre la loro ricorrenza sembra essere proporzionale anche al numero di macchie solari presenti al momento dell'osservazione.

Il motivo principale che ha condotto alla costruzione e all'attivazione delle stazioni riceventi descritte in seguito è la necessità di studiare sia a breve che a lungo termine i fenomeni meteorici attraverso la ricezione della radiazione elettromagnetica incoerente causata dall'impatto dei bolidi con l'atmosfera terrestre. Come è noto, in alcuni periodi dell'anno (con un massimo nei mesi estivi) l'orbita terrestre incrocia quella dei vari sciami meteorici i quali, entrando nell'atmosfera, producono intense tracce ionizzate sorgenti di radiazione elettromagnetica alle frequenze più basse dello spettro. Monitorando giornalmente una banda di frequenze adatta si tenterà di evidenziare una correlazione (su una scala di tempo sufficientemente lunga) tra il numero medio degli impatti per ora dovuto ai bolidi meteorici e l'aumento del valore medio del rumore di fondo in gamma ELF-VLF. La verifica avverrà confrontando la curva illustrata nella fig. 1 con il grafico annuale delle medie giornaliere relativo all'intensità del segnale registrato. La figura riporta il numero medio degli eventi meteorici (per ora) nei vari mesi dell'anno come risultato da osservazioni visuali ripetute in diversi anni e mediate da differenti fonti ([3], [4], [5]): si verifica un massimo nei mesi estivi, corrispondente alla ricorrenza dei più importanti sciami meteorici. Questo grafico, opportunamente elaborato partendo da dati in forma tabellare, può essere considerato come andamento di riferimento per l'attività meteorica annuale con il quale sono stati confrontati i risultati delle nostre osservazioni.

I fenomeni meteorici non sono gli unici che possono generare segnali ELF-VLF. Quando il tempo è brutto, poco prima del sorgere del sole, si possono ascoltare gruppi casuali di suoni "cinguettanti" a frequenza crescente (nella banda 1÷4 kHz). Tale fenomeno, causato dalle aurore boreali, è particolarmente intenso nelle zone costiere e in alta montagna. Altri segnali non meno interessanti sono prodotti da fenomeni geologici legati all'attività della crosta terrestre: quando la stratificazione della crosta subisce oscillazioni o movimenti di assestamento causando attività sismiche e vulcaniche si generano per effetto piezoelettrico notevoli differenze di potenziale impulsive a carattere aleatorio causando emissioni elettromagnetiche a queste frequenze. Quando verranno presentati i risultati del primo ciclo di osservazioni si potrà constatare come alcuni dei fenomeni precedentemente descritti abbiano avuto buona conferma sperimentale. Risulta chiaro come per ottenere risultati scientificamente interessanti e significativi occorrono lunghi periodi di paziente osservazione fatti con apparecchiature appositamente costruite ed ottimizzate per la misura di uno specifico fenomeno.

## **DESCRIZIONE GENERALE DELLE STAZIONI RICEVENTI**

Il 2 Gennaio 1995 é stato installato ed attivato, in una localit  dell'entroterra marchigiano (nei pressi di Senigallia - AN), un sistema radiometrico di monitoraggio permanente con registrazione automatica dei dati su carta operante nella gamma delle bassissime frequenze dello spettro radio (ELF-VLF). Dopo alcuni giorni di calibrazione e messa a punto del sistema sono iniziate regolarmente le registrazioni raccogliendo quotidianamente dati dalle ore 01.00 alle ore 04.00 GMT. Un successivo impianto con caratteristiche simili   stato installato presso Todi agli inizi dell'estate. Questo primo ciclo di registrazioni   durato fino al 13 Ottobre, con una sospensione necessaria per effettuare un primo bilancio tecnico ed alcune modifiche alle attrezzature.



**Fig. 1:** Andamento medio annuale del numero di eventi meteorici per ora.

Numerosi esperimenti di ricezione ELF-VLF effettuati in passato in occasione di fenomeni astronomici di rilievo (sciame meteorici come le Perseidi ed altri), al di l  dei risultati raggiunti, hanno consentito di accumulare una significativa esperienza sull'evento, sulle tecniche di ricezione, sulle problematiche relative alle antenne, alla sensibilit  del sistema verso i disturbi artificiali e naturali, alla registrazione e all'interpretazione dei dati ricevuti. In quelle occasioni   stato possibile sperimentare diversi tipi di ricevitori e sistemi di acquisizione dati: registratori audio su supporto magnetico (nastri e cassette) con successiva analisi del segnale utilizzando programmi commerciali per PC, registratori su carta, acquisizione diretta tramite calcolatore elettronico utilizzando apposite interfacce di conversione analogica-digitale e sviluppo del relativo software. Ogni sistema presenta i suoi vantaggi e svantaggi, risultando pi  o meno adatto rispetto ad altri in particolari circostanze. Successivamente si   ravvisata la necessit  di attivare una stazione fissa di monitoraggio giornaliero in grado di raccogliere e registrare automaticamente dati per la durata di un intero anno solare, in prefissate ore del giorno, che consentisse di tracciare un quadro abbastanza ampio degli eventi in studio, mediando gli errori ed attenuando le difficolt  di interpretazione. Il progetto completo, ampliabile all'aumentare della disponibilit  economica e dell'esperienza tecnico-osservativa, prevede una rete di ricevitori per l'osservazione simultanea in gamma ELF-VLF di uno stesso fenomeno in diversit  di spazio e di frequenza. In questo modo sar  possibile registrare contemporaneamente dati provenienti da postazioni distanti sintonizzate su frequenze leggermente diverse: lo studio successivo comporter  la verifica di eventuali correlazioni e/o simultaneit  di fenomeni naturali escludendo i disturbi artificiali a carattere locale.

Nella fig. 2   riportato lo schema a blocchi dello strumento, comprendente un'antenna filare di lunghezza pari a 30 metri sistemata orizzontalmente in direzione EST-OVEST ad un'altezza pari a circa 2.5 metri dal suolo e collegata ad un ricevitore bicanale a correlazione (con i due canali d'ingresso a e b accoppiati in parallelo [1], [2]). Questo, inizialmente operante nella banda di frequenze da 2.5 a 20 kHz,   del tipo ad amplificazione diretta con due canali identici a basso rumore e guadagno regolabile che alimentano un moltiplicatore analogico a larga

banda seguito da un amplificatore-integratore per calcolare la media. Il segnale rivelato all'uscita, proporzionale alla potenza delle componenti correlate del segnale in antenna, pilota uno strumento indicatore ad indice ed il registratore grafico a carta. A scopo di verifica e controllo é pure disponibile un'uscita audio (non rivelata) per il pilotaggio del registratore magnetico a nastro.

Dopo un mese di prove si é deciso di restringere sensibilmente la banda passante del sistema portandola nell'intervallo 1.5÷7.5 kHz con lo scopo di eliminare le principali fonti di disturbo come le stazioni Omega ed il ronzio di rete. Questo sembra il miglior compromesso tra una banda sufficientemente ampia per l'osservazione dei fenomeni naturali ed una corretta allocazione nello spettro ELF-VLF per tagliare le principali sorgenti interferenti di natura artificiale. L'intero sistema é alimentato dalla rete a 220 V tramite un temporizzatore programmabile impostato per attivare il carico ogni giorno dalle ore 01.00 alle ore 04.00 GMT. La scelta dell'orario di lavoro é nata dalla necessit  di contenere i consumi della carta evitando possibili intasamenti del registratore e sovraccollamento di dati con conseguenti difficolt  interpretative. Si é considerata inoltre la maggior incidenza di alcuni fenomeni (come, ad esempio, gli impatti meteorici) durante le ore notturne ed il minor inquinamento elettromagnetico dovuto ai disturbi artificiali. Il sistema descritto é stato progettato e costruito dall'autore eccetto il registratore audio a nastro (  un ottimo modello portatile semiprofessionale) ed il timer (questo   un normale temporizzatore giornaliero disponibile commercialmente a basso costo). Successivamente saranno presentati lo schema elettrico ed i dettagli costruttivi del ricevitore, mentre in un prossimo articolo si descriver  il registratore grafico a carta.

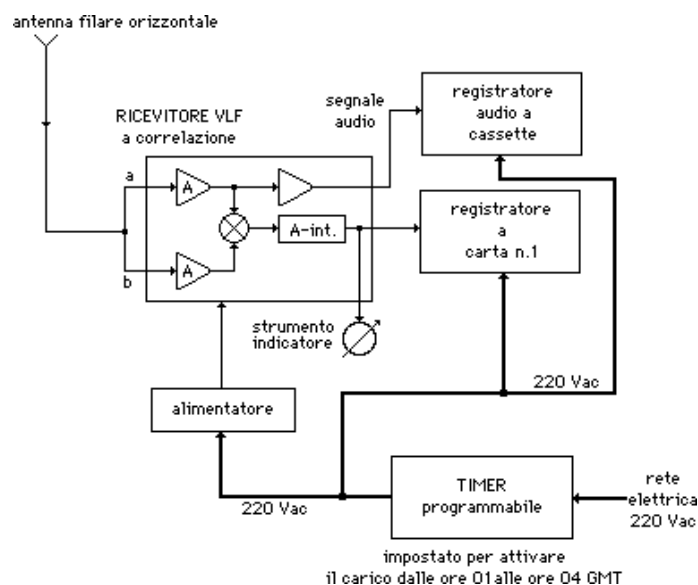
La configurazione assolutamente non convenzionale adottata per il ricevitore, in particolare dello stadio rivelatore, merita qualche chiarimento: si tratta di un sistema a correlazione basato su un moltiplicatore analogico che esegue il prodotto dei segnali aleatori amplificati separatamente dai due canali [1]. Un amplificatore-integratore (con costante di tempo regolabile) calcola il valore medio del segnale all'uscita del moltiplicatore che sar  diverso da zero solo se i segnali nei due canali sono correlati, cio  provenienti dalla stessa sorgente perfettamente in fase. Il segnale rivelato   allora una misura della potenza associata alla radiazione incidente, mentre si annullano, in media, sia il rumore di fondo dell'apparato (essendo il rumore prodotto dai due canali completamente incorrelato), sia gli effetti dannosi delle instabilit  di guadagno dei due canali, con massima esaltazione in sensibilit  e riproducibilit  nella misura dello strumento. In realt    possibile apprezzare completamente queste caratteristiche quando sono utilizzate per ogni ingresso antenne distinte, costruite e posizionate in modo da facilitare l'osservazione del fenomeno in studio e minimizzare il contributo dei rumori e disturbi esterni. In questo senso   allo studio il progetto di un sistema d'antenna composito in grado di sfruttare al meglio le propriet  del ricevitore a correlazione (verr  utilizzato nel secondo ciclo di osservazioni). D'altra parte, per impieghi particolari e sviluppi futuri,   sempre possibile applicare in uno dei canali un convertitore di frequenza: lavorando contemporaneamente in due bande diverse, si ottiene all'uscita del ricevitore un segnale diverso da zero solo se il fenomeno osservato emette radioonde contemporaneamente nelle due finestre spettrali (ricezione a correlazione in diversit  di frequenza).

Una giustificazione matematica semplificata dei concetti appena espressi   la seguente. I segnali che interessano il nostro sistema sono tutti processi aleatori (rumori), dato che la radiazione elettromagnetica naturale captata dall'antenna induce un segnale casuale incoerente completamente indipendente (incorrelato) dal rumore di fondo prodotto dal ricevitore. Agli ingressi del dispositivo moltiplicatore (con guadagno  $\beta$ ) si ritrovano, opportunamente amplificati (si suppone guadagno identico nei due canali), il segnale utile  $s_i$  sommato al contributo di rumore ( $n_1$  o  $n_2$ ) prodotto all'interno di ciascun canale, come mostrato dallo schema di fig. 3. L'uscita del moltiplicatore   inviata ad un integratore (per semplicit  con guadagno unitario) caratterizzato da una costante di tempo  $\tau_0$  (  essenzialmente un filtro passabasso con frequenza di taglio  $f=1/2\tau_0$ ) che calcola il valore medio del segnale applicato all'ingresso. In queste condizioni il sistema fornisce un segnale rivelato  $s_r$  esprimibile come:

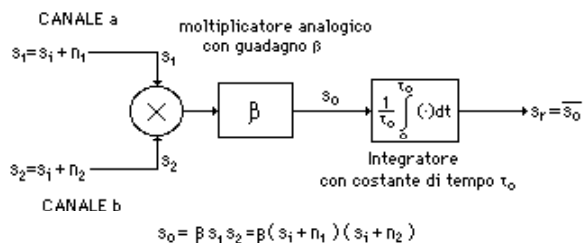
$$s_r = \overline{s_o} = \overline{\beta(s_1 + n_1)(s_1 + n_2)} = \overline{\beta(s_1^2 + n_1 s_1 + n_2 s_1 + n_1 n_2)}$$

$$s_r = \beta \overline{s_1^2} = \beta \cdot P_i$$

dove la sopralineatura indica l'operazione di media eseguita dall'integratore, mentre  $P_i$  è la potenza associata al segnale utile.



**Fig. 2:** Schema a blocchi della stazione ricevente ELF-VLF.



**Fig. 3:** Principio di funzionamento del rivelatore coerente (a correlazione).

Dalla precedente espressione si vede come un rivelatore coerente possa teoricamente fornire un segnale di uscita "pulito" dal rumore di fondo dello strumento, dato che i prodotti indesiderati forniscono un contributo medio nullo essendo i fattori quantità aleatorie incorrelate. Nel primo ciclo di osservazioni questa proprietà non è stata completamente sfruttata dato che gli ingressi a e b del ricevitore sono stati semplicemente accoppiati in parallelo: in questo caso il rumore di fondo dei due canali amplificatori non risulta più incorrelato e fornisce un contributo diverso da zero al segnale rivelato. Come avverrà nel secondo ciclo di osservazioni, per risolvere questo problema occorre alimentare gli ingressi del ricevitore con due antenne distinte appositamente disegnate per ottimizzare la ricezione dei fenomeni in studio. I concetti appena esposti saranno ripresi ed approfonditi quando si commenterà la realizzazione del ricevitore.

Il registratore audio a nastro si è rivelato un accessorio assolutamente indispensabile: oltre ad evidenziare aspetti peculiari dei segnali ricevuti ha consentito il controllo periodico di questi a monte del rivelatore evidenziando l'eventuale presenza di disturbi come il ronzio di rete e le sue armoniche, oltre alla presenza di segnali modulati interferenti. Senza tale accessorio sarebbe

stato difficile identificare nelle emissioni delle stazioni Omega la traccia di un caratteristico segnale sulla carta. Il registratore grafico a carta é stato progettato e costruito per l'occasione, utilizzando una stampante ad 80 colonne di recupero per computer con la testina rovinata. Rifacendo ad hoc l'elettronica di controllo per i motori stepper (trascinamento della carta e della penna) si é ottenuto un sistema di registrazione molto valido, affidabile e robusto, senza problematiche di manutenzione (utilizza una normale ed economica penna a sfera Bic), con la possibilità di regolare la velocità di scorrimento della carta, l'amplificazione del segnale ed il posizionamento dello zero sulla traccia. Questo dispositivo, adatto per la rappresentazione grafica di fenomeni non troppo veloci e per un funzionamento automatico, é stato ottimizzato per uso radioastronomico: regolando la velocità di scorrimento della carta ad un valore coerente con la costante di tempo adottata nel ricevitore (1 secondo) è stato agevole trovare il miglior compromesso tra una corretta rappresentazione dei fenomeni osservati ed un accettabile consumo della carta (si sono utilizzati i normali fogli a moduli continui 80 colonne per stampanti). Nella nostra applicazione la velocità di scorrimento é stata impostata a 0.53 cm/min.

Il sistema installato nella stazione di Todi presenta una struttura analoga, con un ricevitore monocanale ad amplificazione diretta identico ad un singolo canale del ricevitore a correlazione e banda passante leggermente diversa ( $2\div 8$  kHz). In questo caso il rivelatore é di tipo convenzionale a diodo e la costante di tempo del sistema é fissa, pari a circa 1 millisecondo, adatta all'osservazione di fenomeni veloci. All'uscita di questo, oltre al solito registratore audio a nastro, é stato collegato un registratore grafico commerciale generosamente avuto in prestito.

## **RICEVITORE ELF-VLF A CORRELAZIONE**

Si descriveranno brevemente la struttura ed i particolari costruttivi del ricevitore a correlazione progettato per la stazione di base. Lo schema elettrico generale, compreso l'alimentatore, é riportato in fig. 4, mentre nella fig. 5 si vede lo schema di un singolo canale amplificatore A. Le uscite dei canali 1 e 2 (perfettamente identici) convergono agli ingressi  $V_x$  e  $V_y$  del moltiplicatore analogico a 4 quadranti HA2556 della Harris (IC1) che provvede a calcolare il loro prodotto (con segno) secondo la funzione di trasferimento  $(V_x V_y)/5$ . Questo dispositivo a larga banda, le cui caratteristiche essenziali sono riportate nella tabella seguente, implementa il correlatore insieme al buffer (IC2-A) e all'amplificatore-integratore realizzato con le due sezioni del doppio operativo LM358. Come si vede dalla tabella delle caratteristiche il moltiplicatore HA2556 presenta una larghezza di banda largamente esuberante rispetto alle specifiche esigenze del nostro ricevitore, a tutto vantaggio della precisione nella risposta. Si può dimostrare [1] come la banda passante minima necessaria al moltiplicatore per elaborare correttamente segnali aleatori caratterizzati da un'occupazione spettrale  $[1.5\div 7.5]$  kHz, si estenda dalla continua fino ad una frequenza pari almeno al doppio della frequenza massima del segnale. Nel nostro caso si avrebbe B:  $[0\div 15]$  kHz. Volendo adoperare altri dispositivi (ad esempio AD 633 JN - [1 MHz] Analog Devices, MPY600AP - [75 MHz] Burr-Brown) occorre considerare i requisiti di larghezza di banda e la possibilità di moltiplicazione a quattro quadranti, essendo il segnale applicato all'ingresso a valore medio nullo con escursioni sia positive che negative.

E' possibile regolare la costante di tempo dell'integratore (IC2-B) a passi discreti fissando il valore della frequenza di taglio del filtro passa-basso che esegue la media all'uscita del moltiplicatore in base alle caratteristiche di variabilità del fenomeno. Nel nostro caso abbiamo selezionato, tramite un commutatore, 3 valori discreti pari a circa 15 millisecondi, 75 millisecondi e 150 millisecondi. E' naturalmente possibile modificare questi parametri semplicemente cambiando i valori delle capacità di retroazione C7, C8 e C9. Impostando il valore più elevato, insieme alla successiva integrazione introdotta dal registratore grafico, si é ottenuta una costante di tempo risultante del sistema pari a circa 1 secondo, adatta a rappresentare il valore medio della radiazione di fondo sull'intervallo di osservazione scelto. Iniettando una tensione continua di riferimento regolabile con il potenziometro multigiri P1 sul pin 5 dell'op-amp integratore é possibile introdurre un offset sul segnale di uscita in modo da spostare comodamente lo zero di riferimento della scala. L'uscita dell'integratore pilota uno strumento analogico indicatore (MA) utile per un rapido controllo della potenza di segnale ed il

registratore grafico a carta. Nel nostro prototipo si è utilizzato il milliamperometro di un vecchio tester fuori uso che dispone di un'ampia scala di immediata lettura e si è ottimizzata la sensibilità tramite il trimmer multigiri (P3) da 100 k $\Omega$  posto in serie. In questo modo è possibile utilizzare qualsiasi strumento che presenti una sensibilità compresa nell'intervallo da 200  $\mu$ A fino a 1 mA circa. Per adattare correttamente l'uscita del ricevitore alla sensibilità del registratore grafico (o di qualsiasi altro sistema di acquisizione dati) è stata prevista una regolazione di livello tramite il potenziometro P4. Per i connettori di antenna e del segnale di uscita si sono utilizzati BNC da pannello, mentre per il monitoraggio audio si è utilizzato un jack miniatura. Fondamentale per il corretto funzionamento dell'apparato è l'utilizzo di un robusto contenitore metallico schermato nel quale racchiudere tutti i circuiti escluso l'alimentatore. Nel nostro prototipo abbiamo inoltre separato i due canali di amplificazione utilizzando schermi in lamierino di ottone opportunamente sistemati sul circuito stampato e collegati ripetutamente a massa. Per il collegamento a terra del sistema, indispensabile per una corretta ricezione, è stato previsto un morsetto che collega la massa del circuito e la carcassa della scatola schermante ad una rete metallica di superficie pari ad 1 m<sup>2</sup> interrata a circa 1 m di profondità. La conducibilità del suolo in quel punto è stata migliorata "annaffiando" abbondantemente con acqua salata.

#### CARATTERISTICHE ESSENZIALI DEL MOLTIPLICATORE ANALOGICO A 4 QUADRANTI HA2556

|   |          |
|---|----------|
| Moltiplicatore con uscita in tensione           |          |
| Velocità di variazione della tensione d'uscita: | 350 V/ms |
| Errore di moltiplicazione:                      | 1.5 %    |
| Corrente di polarizzazione d'ingresso:          | 5 mA     |
| Banda passante:                                 | 30 MHz   |
| Variazione di guadagno fino a 10 MHz:           | 0.1 dB   |

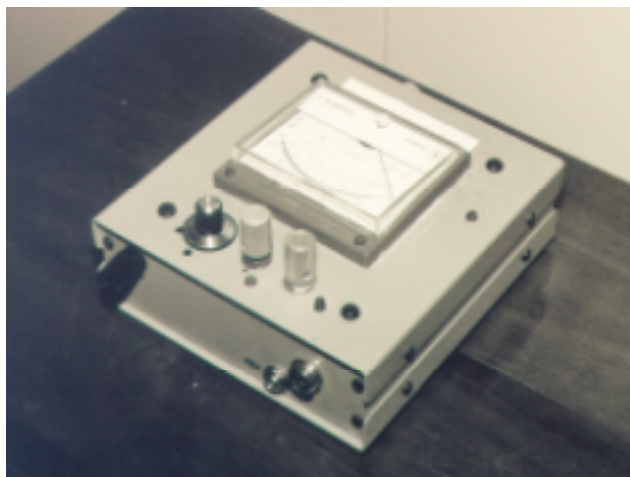
Il circuito dell'alimentatore duale è convenzionale: sono previsti due regolatori integrati collegati in cascata per ogni ramo (è preferibile montarli su un piccolo dissipatore, per un funzionamento continuo) con lo scopo di migliorare la stabilità ed il filtraggio delle tensioni generate. La tensione di riferimento per la calibrazione dell'offset del segnale di uscita è ottenuta con un circuito integrato 78L05. Si noti l'inserimento di un filtro antidisturbo EMI verso rete, utile per contenere i disturbi vaganti sulla linea elettrica che possono indurre tensioni impulsive interferenti con il ricevitore. Il circuito dell'alimentatore è stato assemblato in un contenitore schermato separato dal ricevitore collegato ad esso tramite un cavetto tripolare attorcigliato e connettori tipo microfónico CB a 3 poli.

Nello schema di fig. 5 è riportato un singolo canale amplificatore: in questo stadio sono definiti il fattore di amplificazione complessivo e la larghezza di banda del sistema. Il segnale non rivelato utilizzato per il monitoraggio audio (amplificatore BF con cuffia, oppure registratore a nastro) viene prelevato per semplicità direttamente all'uscita del canale 1 tramite il condensatore C1. Per utilizzare correttamente questa uscita, evitando di sovraccaricare IC4-C con conseguente sbilanciamento tra i canali e distorsione del segnale rivelato, è indispensabile collegarvi un dispositivo con ingresso ad alta impedenza. Per evitare limitazioni e scongiurare qualsiasi problema si consiglia di interporre uno stadio buffer con op-amp collegato ad inseguitore a guadagno unitario.

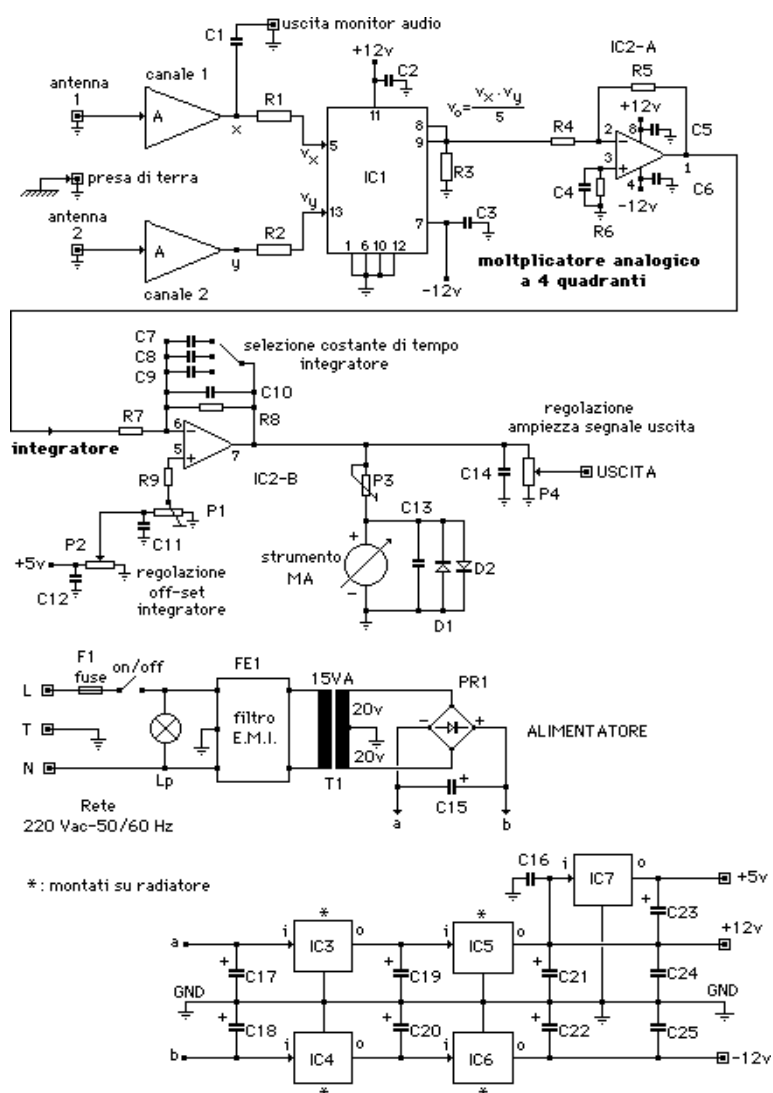
I due canali sono identici, con ingresso per antenna ad alta impedenza e guadagno regolabile da 32 a 80 volte per mezzo di P5 (corredato con manopola graduata e scala relativa tarata da 0 a 10). In realtà con il trimmer P6 è possibile impostare un intervallo molto ampio di guadagno, da un minimo di 31.6 volte fino ad un massimo di 180 volte (30÷45 dB). Questi valori si adattano molto bene al tipo di antenna utilizzato e alla larghezza di banda scelta per l'osservazione dei fenomeni naturali. Particolare attenzione è stata posta nella definizione della banda passante del sistema (per scongiurare interferenze esterne e minimizzare la ricezione del ronzio di rete da parte dell'antenna) utilizzando filtri attivi passa-alto e passa-basso realizzati con

amplificatori operazionali convenzionali per uso audio a basso rumore del tipo TL071 (IC3) e TL074 (IC4). I componenti indicati nello schema come C30, C31 e C38, C39 sono in realtà la combinazione parallelo di capacità rispettivamente con valori pari a  $10\text{ nF}+6.8\text{ nF}$  e  $10\text{ nF}+4.7\text{ nF}$ . E' possibile migliorare ulteriormente le prestazioni del ricevitore utilizzando op-amp a bassissimo rumore di tensione in ingresso (assai più costosi). I terminali di ingresso del ricevitore prevedono protezioni contro le cariche elettrostatiche che possono localizzarsi sull'antenna (soprattutto se filare) e danneggiare il circuito d'ingresso del primo amplificatore operazionale. La protezione consiste in una coppia-clamper di diodi 1N4148 collegati in opposizione di polarità tra l'antenna e la terra, con in parallelo una resistenza da  $10\text{ k}\Omega$ . In fig. 6 é riportata la risposta in frequenza dell'apparecchio: i valori nelle ordinate mostrati nel grafico sono letture rilevate direttamente sulla scala dello strumento indicatore MA, ottenute iniettando nel ricevitore (guadagno regolato al minimo) il segnale di un oscillatore sinusoidale a frequenza variabile adeguatamente attenuato. Nonostante la relativa complessità dell'insieme si é preferito cablare il circuito su una scheda in vetronite preforata formato Eurocard ( $100\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ ), prestando particolare attenzione ad eseguire un montaggio a regola d'arte per quanto riguarda la disposizione il più possibile simmetrica dei due canali ed effettuando i collegamenti più corti e diretti possibili tra i componenti, eliminando qualsiasi problema di accoppiamenti indesiderati tra i due rami sicuramente forieri di interferenze e di instabilità. Visto l'impiego dello strumento e le prestazioni che da questo ci si aspetta, si consiglia di studiare a lungo il layout del circuito, i cablaggi esterni e la disposizione delle parti e dei comandi sul contenitore, utilizzando componentistica della migliore qualità. A tale proposito si sono utilizzati ovunque resistori a strato metallico all'1% di tolleranza, trimmer multigiri di precisione, condensatori ceramici NP0 ed in poliestere multistrato, condensatori polarizzati al tantalio ove possibile. Il potenziometro doppio P5 per la regolazione del guadagno deve essere di ottima qualità, montato il più possibile vicino alle sezioni IC3-A dei rispettivi canali: si consiglia di fissarlo direttamente al circuito stampato. E' possibile (e consigliabile) migliorare ulteriormente le prestazioni in rumore dello stadio d'ingresso eliminando il doppio potenziometro P5 ed inserendo al suo posto un doppio deviatore a levetta che effettua la selezione tra due valori possibili di guadagno. Questo é fissato dalla scelta di opportuni valori resistivi. In questo modo si eliminano le instabilità ed il rumore tipico generato dai contatti di un potenziometro a carbone inserito in una sezione delicata del percorso di segnale del front-end.

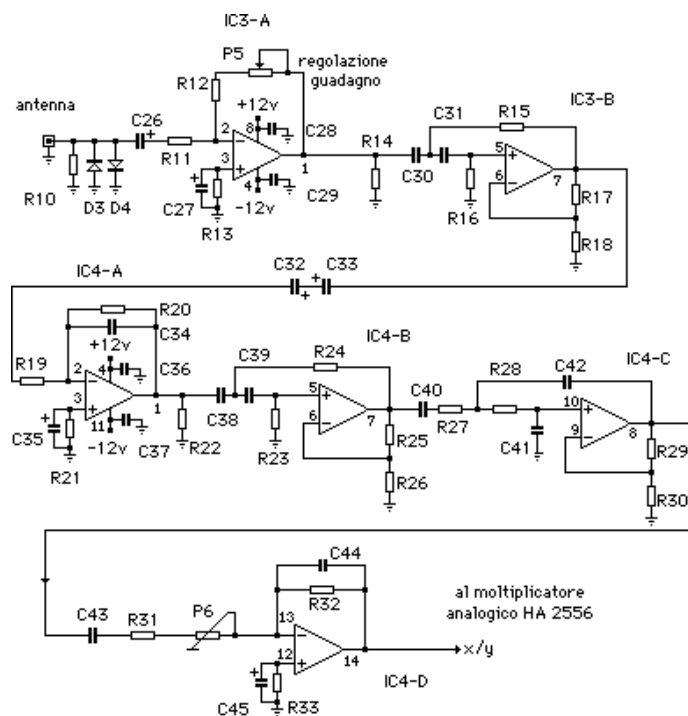
La messa a punto del ricevitore é semplice: una volta verificata la presenza delle corrette tensioni di alimentazione si utilizza un oscillatore sinusoidale audio adeguatamente attenuato per applicare un segnale di prova all'ingresso-antenna di ogni canale. Il tono di prova dovrebbe essere regolato per la frequenza di centro banda ( $4.5\text{ kHz}$ ) ad un livello pari a circa  $1\text{ mV}$  picco-picco. Regolando il potenziometro P5 per il minimo guadagno, si inietta il segnale sull'ingresso di ciascun canale seguendone progressivamente il percorso con l'oscilloscopio all'uscita di ogni op-amp e verificando la corretta amplificazione senza distorsioni. La regolazione del trimmer P6 deve essere fatta in modo da garantire una sufficiente sensibilità in base al tipo di antenne utilizzate e in modo da avere un guadagno identico nei due canali. Utilizzando antenne loop o in ferrite occorrerà sicuramente aumentare l'amplificazione rispetto ad antenne filari, anche se queste ultime sono più sensibili ai disturbi. Controllato il funzionamento dei singoli canali si può verificare quello del correlatore: collegando in parallelo gli ingressi dei canali ed applicando ad essi il tono di prova, si dovrebbe ritrovare sui pins 8 e 9 del moltiplicatore HA2556 un segnale sinusoidale di frequenza doppia rispetto a quella applicata all'ingresso, con una componente continua di livello imposto dalla funzione di trasferimento. Quando il segnale applicato é un rumore, sul pin 1 di IC2-A (amplificatore invertente a guadagno unitario) si ritrova una componente continua proporzionale al prodotto delle ampiezze correlate dei segnali presenti sui pin 5 e 13 del moltiplicatore. Cortocircuitando uno degli ingressi del ricevitore, il segnale risultante deve annullarsi. L'amplificatore-integratore IC2-B fornisce il valore medio del segnale, tanto più livellato quanto più elevata é la costante di tempo selezionata: é possibile regolare lo zero tramite il potenziometro P2, mentre il trimmer P1 deve essere calibrato fino ad ottenere una tensione massima di riferimento comoda per la regolazione dell'offset.



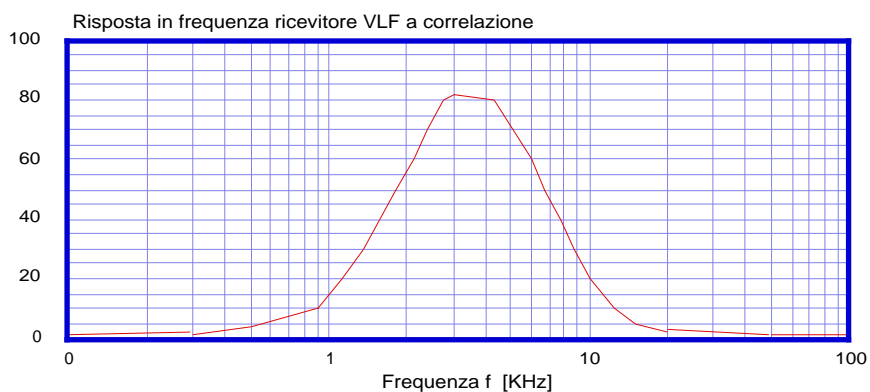
Prototipo del ricevitore ELF-VLF a correlazione descritto nel testo. Si notano lo strumento indicatore della potenza associata al segnale d'uscita e le manopole per le regolazioni descritte nell'articolo.



**Fig. 4:** Schema elettrico generale del ricevitore ELF-VLF a correlazione.



**Fig. 5:** Schema elettrico del singolo canale amplificatore A.



**Fig. 6:** Risposta in frequenza del ricevitore VLF a correlazione.

**ELENCO COMPONENTI di fig. 4**

|                    |       |            |
|--------------------|-------|------------|
| R1 = 470 $\Omega$  | 1/4 W | 1%         |
| R2 = 470 $\Omega$  | 1/4 W | 1%         |
| R3 = 1 k $\Omega$  | 1/4 W | 1%         |
| R4 = 10 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| R5 = 10 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| R6 = 10 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| R7 = 10 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| R8 = 47 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| R9 = 10 k $\Omega$ | 1/4 W | 1%         |
| C1 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V  | poliestere |
| C2 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V  | poliestere |
| C3 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V  | poliestere |

|                    |      |                         |
|--------------------|------|-------------------------|
| C4 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V | poliestere              |
| C5 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V | poliestere              |
| C6 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V | poliestere              |
| C7 = 0.1 $\mu$ F   | 63 V | poliestere              |
| C8 = 0.47 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C9 = 1 $\mu$ F     | 63 V | poliestere              |
| C10 = 10 nF        | 63 V | poliestere              |
| C11 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C12 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C13 = 10 nF        | 63 V | poliestere              |
| C14 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C15 = 2200 $\mu$ F | 63 V | elettrolitico verticale |
| C16 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C17 = 1000 $\mu$ F | 35 V | elettrolitico verticale |
| C18 = 1000 $\mu$ F | 35 V | elettrolitico verticale |
| C19 = 100 $\mu$ F  | 35 V | elettrolitico verticale |
| C20 = 100 $\mu$ F  | 35 V | elettrolitico verticale |
| C21 = 100 $\mu$ F  | 35 V | elettrolitico verticale |
| C22 = 100 $\mu$ F  | 35 V | elettrolitico verticale |
| C23 = 10 $\mu$ F   | 25 V | elettrolitico verticale |
| C24 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |
| C25 = 0.1 $\mu$ F  | 63 V | poliestere              |

IC1 = HA 2556

IC2 = LM 358

IC3 = 7815

IC4 = 7915

IC5 = 7812

IC6 = 7912

IC7 = 78L05

D1 = 1N4148

D2 = 1N4148

PR1 = ponte raddrizzatore 1.5 A - 200 V

P1 = trimmer multigiri 20 k $\Omega$

P2 = potenziometro lineare multigiri 10 k $\Omega$

P3 = trimmer multigiri 100 k $\Omega$

P4 = potenziometro lineare 10 k $\Omega$

MA = milliamperometro ad indice 200  $\mu$ A  $\div$  1 mA

F1 = fusibile 100 mA - 250 V, 5 x 20 mm

Lp = lampada spia al neon 220 V

FE1 = filtro antidisturbo di rete 1 A

T1 = trasformatore di rete 220 V - 20 + 20 V, 15 VA

#### ELENCO COMPONENTI di fig. 5

|                      |       |    |
|----------------------|-------|----|
| R10 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R11 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R12 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R13 = 100 k $\Omega$ | 1/4 W | 1% |
| R14 = 6.8 k $\Omega$ | 1/4 W | 1% |
| R15 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R16 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R17 = 27 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R18 = 47 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |
| R19 = 10 k $\Omega$  | 1/4 W | 1% |

|  |       |            |                              |
|--|-------|------------|------------------------------|
| R20 = 250 k $\Omega$                             | 1/4 W | 1%         |                              |
| R21 = 250 k $\Omega$                             | 1/4 W | 1%         |                              |
| R22 = 6.8 k $\Omega$                             | 1/4 W | 1%         |                              |
| R23 = 10 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R24 = 10 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R25 = 27 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R26 = 47 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R27 = 10 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R28 = 10 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R29 = 27 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R30 = 47 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R31 = 10 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
| R32 = 1 M $\Omega$                               | 1/4 W | 1%         |                              |
| R33 = 22 k $\Omega$                              | 1/4 W | 1%         |                              |
|  |       |            |                              |
| C26 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
| C27 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
| C28 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C29 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C30 = 16.8 nF                                    | 63 V  | poliestere | (vedi testo: 10 nF + 6.8 nF) |
| C31 = 16.8 nF                                    | 63 V  | poliestere | (vedi testo: 10 nF + 6.8 nF) |
| C32 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
| C33 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
| C34 = 100 pF                                     | 50 V  | ceramico   |                              |
| C35 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
| C36 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C37 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C38 = 14.7 nF                                    | 63 V  | poliestere | (vedi testo: 10 nF + 4.7 nF) |
| C39 = 14.7 nF                                    | 63 V  | poliestere | (vedi testo: 10 nF + 4.7 nF) |
| C40 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C41 = 2.2 nF                                     | 63 V  | poliestere |                              |
| C42 = 2.2 nF                                     | 63 V  | poliestere |                              |
| C43 = 0.1 $\mu$ F                                | 63 V  | poliestere |                              |
| C44 = 10 pF                                      | 50 V  | ceramico   |                              |
| C45 = 10 $\mu$ F                                 | 25 V  | tantalio   |                              |
|  |       |            |                              |
| IC3 = TL072                                      |       |            |                              |
| IC4 = TL074                                      |       |            |                              |
| D3 = 1N4148                                      |       |            |                              |
| D4 = 1N4148                                      |       |            |                              |
| P5 = potenziometro lineare doppio 470 k $\Omega$ |       |            |                              |
| P6 = trimmer multigiri 500 k $\Omega$            |       |            |                              |

## RISULTATI DEL PRIMO CICLO DI OSSERVAZIONI E SVILUPPI FUTURI

Come si é detto all'inizio, il programma di registrazione dei dati su carta (dalle ore 01.00 GMT fino alle ore 04.00 GMT) si é sviluppato automaticamente nella stazione principale, gestito dall'operatore (con orari piú elastici) nella stazione secondaria. I dati raccolti dall'impianto secondario sono serviti oltre che per ampliare, con osservazioni autonome, le prestazioni della stazione principale anche come conferma sull'andamento medio della radiazione di fondo, soprattutto durante il verificarsi di eventi particolari (sciame meteorici, eventi sismici, etc.).

La necessità di effettuare alcune verifiche tecniche ed ampliamenti delle apparecchiature, alla luce dell'esperienza acquisita e dei numerosi dati raccolti (che richiedono un'attenta e paziente valutazione), ha condotto alla temporanea sospensione delle osservazioni e alla conclusione della prima fase di monitoraggio. L'aggiornamento riguarda diversi aspetti e muove dalle seguenti considerazioni:

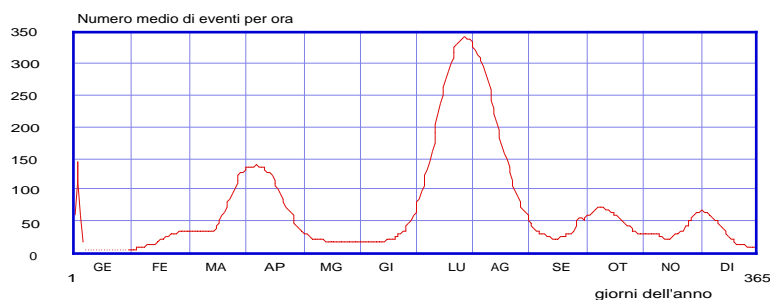
- I ricevitori delle stazioni hanno dimostrato la loro efficienza sia in termini di sensibilità, stabilità e riproducibilità, sia per quanto riguarda la scelta della banda passante adottata [1.5-7.5 kHz]. Si sono rivelati corretti il progetto e la scelta dei parametri fondamentali degli impianti riceventi. Occorrerà, eventualmente, estenderne le prestazioni.
- Particolare attenzione va posta all'eliminazione dei disturbi di rete provenienti dall'alimentazione elettrica. Anche se gli apparati presentano ottime caratteristiche filtranti, in alcune occasioni si sono avuti dubbi sull'interpretazione di dati a causa del rumore di rete (e delle sue armoniche): occorre rendere l'alimentazione il più possibile equivalente a quella delle batterie, migliorandone la caratteristica di rumore intrinseca. Si è constatato come il rumore industriale sia captato quasi esclusivamente dall'antenna, non dai circuiti dell'apparato: questo fatto impone la progettazione e la sperimentazione di sistemi di antenna selettivi rispetto questo tipo di interferenza.
- Vincente si è dimostrata la scelta di adottare stazioni funzionanti in località sufficientemente distanti (ricezione in diversità di spazio): un ricevitore completamente automatico gestito da un preciso programma di attivazione e predisposto alla registrazione del valore medio giornaliero della radiazione ELF-VLF (fenomeni "macroscopici"), l'altro con orari di osservazione più elastici adatto al monitoraggio di fenomeni "microscopici" rapidamente variabili.
- Dispositivi accessori come i registratori grafici a carta, registratori magnetici (audio) su nastro, pur risultando preziosi ed affidabili, non sono particolarmente indicati per registrazioni lunghe e ripetitive come quelle effettuate dalla stazione principale. In quest'ultimo caso si accumula una notevole quantità di carta che necessita comunque di essere rivista ed elaborata più volte di seguito nel processo di riduzione dei dati, con grande fatica dell'operatore e conseguente aumento della possibilità di errore. Questi fatti orientano verso un'acquisizione ed una registrazione automatica tramite computer, dopo aver ottimizzato i formati dei files di dati compatibilmente con la variabilità intrinseca del fenomeno sotto osservazione, il numero di informazioni necessarie e la conseguente occupazione di memoria. Il registratore grafico a carta resta, comunque, un insostituibile strumento di controllo parallelo, da attivarsi quando si verificano fenomeni particolarmente interessanti. Può essere vantaggiosamente utilizzato nella stazione secondaria.
- Importantissimo è risultato il monitoraggio audio, se pur saltuario e per brevi periodi: con un amplificatore dotato di cuffie ed un registratore di qualità è possibile controllare l'intera banda ed acquisire informazioni indispensabili sull'evoluzione di certi fenomeni naturali. Esso è inoltre uno strumento prezioso per individuare disturbi, interferenze artificiali, ronzio di rete, etc.
- Esiste la necessità di ottimizzare le prestazioni del ricevitore a correlazione della stazione base sfruttando al meglio le sue caratteristiche peculiari. Occorre progettare un sistema di antenne composito (con due canali indipendenti) specificamente disegnato per esaltare l'osservazione dei fenomeni in studio (sciame meteorici), minimizzando le cause di interferenza naturali e artificiali. Diverse sono le configurazioni prese in esame: ciascuna ottimizza un parametro rispetto ad un altro, richiedendo un periodo di sperimentazione prima di partire con il secondo ciclo di osservazioni.
- Necessità di adottare opportune procedure di calibrazione per i ricevitori: si potranno avere in uscita valori della radiazione incidente espressi in unità di misura coerenti. Qualsiasi

strumento di misura deve essere in grado di riferire i dati acquisiti ad una precisa scala di valori (con unità di misura in grandezze fisiche opportune), allo scopo di analizzare ed effettuare comparazioni fisicamente corrette dei risultati ottenuti.

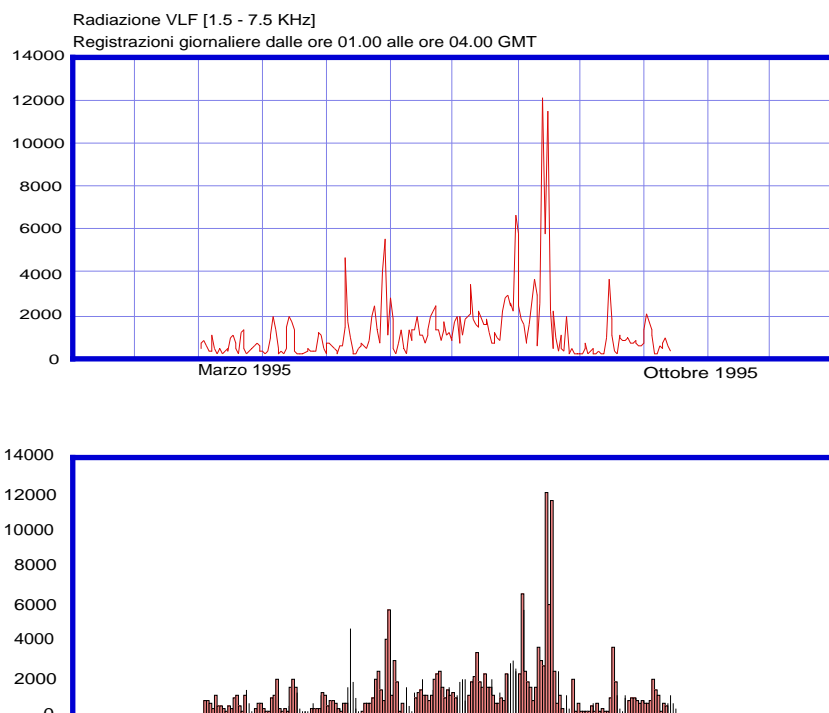
La maggior parte di queste revisioni é in avanzata fase di completamento: se non si presenteranno ostacoli tecnici é prevista l'attivazione del secondo ciclo di osservazioni per l'inizio del prossimo anno. Vogliamo ora illustrare alcuni dei risultati ottenuti con le prime osservazioni, ricordando che la quantità di dati acquisiti é risultata davvero enorme e solo alcuni aspetti dei fenomeni osservati sono stati esaminati. A mano a mano che si procederà nello studio dei campioni e nel confronto fra le registrazioni delle due stazioni, si formalizzeranno i risultati esponendoli eventualmente su un prossimo articolo.

Nelle figure seguenti sono posti a confronto i grafici relativi al numero medio previsto degli impatti/ora dovuto ai bolidi meteorici (fig. 1) e l'andamento del valore medio del rumore di fondo in gamma ELF-VLF (fig. 7), così come desunto dalla media delle registrazioni effettuate dalla nostra stazione base e confermate dal ricevitore secondario nel corso dell'anno. Ricordiamo che il grafico di fig.7 può essere considerato come andamento di riferimento per l'attività meteorica annuale con il quale confrontare i risultati delle nostre osservazioni. Esaminando le curve risulta evidente la correlazione fra i due fenomeni, andamento sottolineato nel grafico di fig. 9 che riporta le informazioni registrate dopo un'ulteriore integrazione di n. 20 campioni giornalieri. Si noti come la radiazione di fondo risulti notevolmente intensa nei mesi estivi, in particolare durante l'intersezione dell'orbita terrestre con i maggiori sciami meteorici (Perseidi). In effetti, esaminando in dettaglio i particolari delle registrazioni giornaliere della stazione base e di quella secondaria, si riscontra un forte aumento di attività proprio in coincidenza con i giorni e le ore previste per i massimi degli sciami. Questi risultati sembrano confermare l'effetto di ionizzazione sull'alta atmosfera (alterazioni ionosferiche) causato dall'impatto dei bolidi meteorici, effetto che genera intensi segnali radio in gamma ELF-VLF. A causa della scelta operata sulla costante di tempo dello strumento (pari a circa 1 secondo) viene registrato l'effetto medio di numerosissimi impatti che si verificano contemporaneamente, misurando la radiazione prodotta dalla conseguente ionizzazione. Ciò conduce ad osservare i massimi previsti per gli sciami (ad esempio per le Perseidi: max. ore 14.55 GMT del 12-08-1995, max. ore 19.55 GMT del 12-08-1995, max. ore 05.55 GMT del 13-08-1995) con un certo ritardo rispetto agli orari forniti dagli almanacchi astronomici.

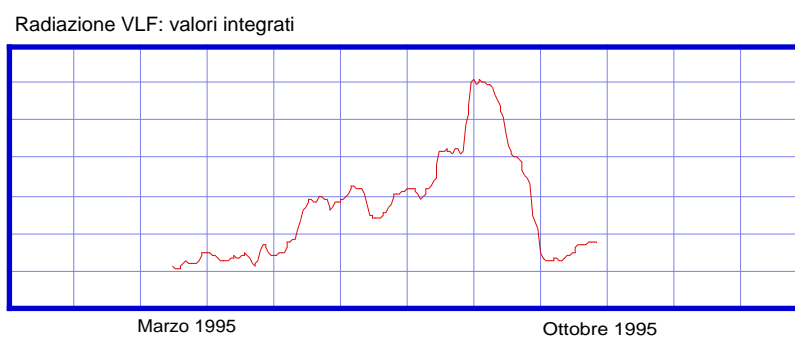
I risultati di queste osservazioni, pur incompleti, se da un lato ci convincono sulla correttezza della strada impostata, dall'altro stimolano a completare rapidamente le procedure tecniche di messa a punto delle apparecchiature per iniziare tempestivamente il secondo ciclo di osservazioni. La stazione base funzionerà continuamente 24 ore su 24, salvo alcune brevissime interruzioni mensili necessarie per raccogliere i dati immagazzinati nel disco fisso di un computer. La gestione, il controllo e la registrazione dei dati sarà infatti affidata ad un PC che acquisirà automaticamente le informazioni provenienti dal ricevitore tramite una scheda elettronica di conversione analogico/digitale via interfaccia seriale standard RS-232C, mediante un adatto programma (il software e l'hardware sono stati realizzati ad hoc e saranno pubblicati successivamente).



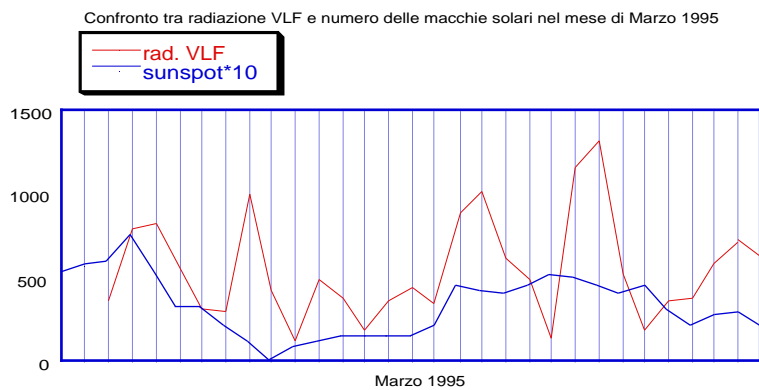
**Fig. 7:** Andamento medio annuale del numero di eventi meteorici per ora.



**Fig. 8:** Andamento medio giornaliero della radiazione ELF-VLF in banda [1.5 - 7.5 KHz].

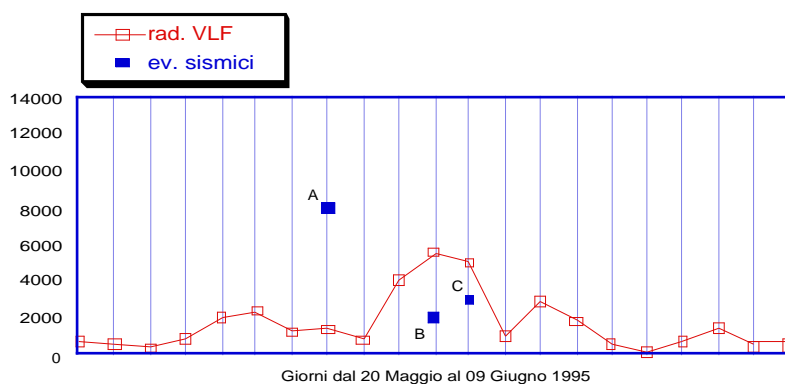


**Fig. 9:** Radiazione ELF-VLF ottenuta dopo una media su 20 giorni di osservazione.



**Fig. 10:** Relazione fra il numero di macchie solari e radiazione di fondo nel mese di Marzo.

In fig. 10 é riportato un grafico (relativo al mese di Marzo 1995) dove é confrontata la radiazione ELF-VLF con il numero delle macchie solari [5].



**Fig. 11:** Radiazione ELF-VLF ed eventi sismici (mesi Maggio e Giugno).

Altro aspetto affascinante, che da solo meriterebbe ulteriore approfondimento (con l'attivazione di un programma di monitoraggio autonomo) é la relazione osservata tra fenomeni geologici (terremoti) e radiazione ELF-VLF. L'attività della crosta terrestre, al verificarsi di un evento sismico, genera per effetto piezoelettrico intense differenze di potenziale a carattere impulsivo che producono emissioni elettromagnetiche significative. Questi fenomeni sono stati confermati e studiati da diversi ricercatori controllando le emissioni naturali e tenendo sotto osservazione (con adatti ricevitori) le fluttuazioni di intensità del segnale emesso da stazioni commerciali di radiodiffusione (LF) in concomitanza con terremoti avvenuti lungo la linea immaginaria che collega trasmettitore e ricevitore. Questo lavoro, ideato da alcuni ricercatori della Terza Università di Roma, ha condotto all'installazione, in prossimità del Gran Sasso, di due impianti riceventi che tengono sotto controllo fin dal 1992 il segnale ad onde lunghe (216 kHz) emesso da Radio Montecarlo. L'obiettivo é quello di utilizzare i dati per inquadrare una teoria sui cosiddetti precursori sismici che conduca all'elaborazione di algoritmi di previsione a breve termine, oltre a quello ovvio di acquisire maggiori e nuove informazioni sulla fisica della crosta terrestre. In occasione di due eventi sismici avvenuti in Umbria, il segnale é praticamente scomparso dai ricevitori con alcuni giorni di anticipo rispetto al verificarsi dei terremoti.

La nostra stazione base sembra aver registrato un significativo aumento della radiazione di fondo (con un certo ritardo rispetto agli orari ufficiali degli osservatori geofisici) immediatamente dopo il verificarsi di scosse sismiche di un certo rilievo, avvenute in Italia e all'estero. Nella fig. 11 si può vedere un esempio di tale osservazione nel periodo di tempo che va dal 20 Maggio al 09 Giugno. I quadratini neri rappresentano scosse telluriche avvenute rispettivamente i giorni 27, 30 e 31 Maggio (nel grafico sono riportati valori relativi proporzionali all'intensità del fenomeno, opportunamente riadattati nella scala per poterli confrontare con i valori di intensità radio): mentre il primo (A), molto forte (7.5 gradi Mercalli) aveva come epicentro l'Asia orientale, i successivi (B e C) hanno interessato le zone dell'Italia centrale (rispettivamente 2 e 3 gradi Mercalli) e sembra abbiano influenzato la radioemissione di fondo nella banda osservativa. Sarebbe stato interessante continuare le ricerche anche in questa direzione, pur con le innumerevoli difficoltà dovute alla garanzia di un costante reperimento dei dati provenienti dai vari osservatori geofisici.

Nel presentare queste conclusioni si sono volutamente ridotti al minimo i commenti, essendo praticamente agli inizi di una lunga elaborazione. Se si assume un atteggiamento molto prudente nell'interpretazione dei primi risultati si evita di trarre conclusioni frettolose, spesso errate, che condurrebbero fuori strada nell'interpretazione dei fenomeni in studio. Molto e paziente lavoro deve essere ancora svolto per confrontare i tracciati delle due stazioni e per una continua revisione dei grafici. L'esperienza suggerisce un'attenta programmazione di lunghi

periodi osservativi, accumulando contemporaneamente ai dati sull'intensità della radiazione di fondo ELF-VLF, anche informazioni meteorologiche, geologiche, astronomiche (evoluzione del numero di macchie solari, comportamento della ionosfera e della magnetosfera terrestre, eventi particolari che possono verificarsi durante il periodo osservativo). Questo modo di procedere si è rivelato corretto dato che il valore dell'intensità di campo misurata dagli apparati in questa banda di frequenze dipende da molteplici cause agenti contemporaneamente, naturali ed artificiali, delle quali l'attività meteorica è solo uno degli aspetti. Risulta molto facile captare i disturbi causati da fenomeni meteorologici come le scariche elettriche temporalesche che hanno luogo in zone anche molto distanti dal punto di osservazione, soffocando completamente il contributo di segnale che interessa monitorare, così come gli svariati disturbi causati dall'attività dell'uomo. All'aumentare dell'esperienza osservativa si è radicata nel sottoscritto la convinzione che per ottenere risultati significativi in questo interessantissimo settore della scienza, nel quale dilettanti motivati e ben preparati possono fornire un sostanziale contributo alla ricerca ufficiale, sia indispensabile programmare un preciso e lungo periodo di monitoraggio ottimizzando le apparecchiature in base alla tipologia del fenomeno da osservare sulla base dell'esperienza acquisita dalle precedenti osservazioni. Solo in questo modo sarà possibile ottenere dati attendibili che escludono, senza ragionevole ombra di dubbio, possibili interferenze di fenomeni estranei a quello che si sta studiando.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI:

- [1] Falcinelli F. - TECNICHE DI RICEZIONE RADIOASTRONOMICA - vol. in corso di pubblicazione.
- [2] Falcinelli F. - MONITORAGGIO PERMANENTE DELLE VLF - Pegaso, ed. Associazione Astronomica Umbra, n. 28, 1995.
- [3] Herrmann J. - ATLANTE DI ASTRONOMIA - ed. Mondadori (Milano).
- [4] Martinucci M. - ELEMENTI DI RADIOPROPAGAZIONE IONOSFERICA - ed. C & C. (Faenza).
- [5] "THE METEOR YEAR" - articolo su "Sky & Telescope", Giugno 1995, a cura di M. Barlow Pepin.
- [6] "SOLAR ACTIVITY UPDATE" - rubrica su "Sky & Telescope", Giugno 1995.
- [7] Cutolo M. - ON A NEW GENERAL THEORY OF EARTHQUAKES - Il Nuovo Cimento, Vol. 11 C, n. 2, 1988.
- [8] Verniani F. - IL FENOMENO METEORITICO: ASPETTI TEORICI ED APPLICAZIONI - Radio Rivista, n. 9, settembre 1972.
- [9] "THE INSPIRE JOURNAL": a beginner's guide to natural VLF radio phenomena. How to hear and record them - di Mideke M.