

SDT – Segnali dalla Terra – Progetto per la realizzazione di una rete nazionale di monitoraggio dei possibili precursori sismici gestito dalla Associazione Radioamatori Italiani

Riccardo Rossi – IV3NQS – ARI – Associazione Radioamatori Italiani – Coordinatore FESN – Friuli Experimental Seismic Network (www.fesn.org) gruppo affiliato alla squadra di Protezione Civile del Comune di Pozzuolo del Friuli (Udine)

Introduzione

La previsione degli eventi sismici è uno degli argomenti più scottanti della storia attuale della geofisica. Gli studi sono molti, ma la difficoltà nel trovare meccanismi e soluzioni applicative valide e ripetitive hanno provocato molti entusiasmi e contemporaneamente molta confusione, fino al punto da ingenerare contrasti tra gli stessi studiosi e a considerare fantascienza le possibili previsioni basate sugli studi dei precursori.

In realtà durante gli anni '60 e '70, in molte nazioni particolarmente sismiche come il Giappone, l'Unione Sovietica, la Grecia, in Cina, ma anche in USA, si sono svolti esperimenti e ricerche in tal senso. Alcuni risultati concreti hanno lasciato sperare che sia possibile generare un algoritmo di calcolo per la prevedibilità, ma le successive indagini hanno cozzato con le notevoli complessità delle varie strutture geofisiche che variano da zona a zona, con meccanismi sismo genetici spesso notevolmente diversi dovuti soprattutto alle diverse caratteristiche delle rocce coinvolte nel fenomeno.

Il presente progetto intende contribuire agli studi che tutt'ora proseguono sull'argomento proponendo una rete di monitoraggio di precursori sismici elettromagnetici a livello nazionale mediante hardware e software dal costo limitato, in modo tale da rendere gli studi facilmente ampliabili a molte altre zone sismiche.

Il presente articolo, quindi, tratta la teoria e le scelte hardware e software individuate per la realizzazione di una rete di monitoraggio dei precursori sismici elettromagnetici da installare e gestire a cura delle Sezioni ARI italiane. La rete, i cui nodi sono previsti ad una distanza media l'uno dall'altro di circa 100 km, sarà dotata di un'antenna magnetica aperiodica a loop, un ricevitore a banda larga e una scheda di conversione analogico digitale. I segnali rilevati saranno trattati con due diversi programmi: il primo (Spectrum Lab) analizzerà il segnale captato in tempo reale mediante l'utilizzo della scheda audio del PC con una dinamica a 16 bit nelle frequenze fino a 24 kHz. Il secondo, accoppiato alla scheda A/D, eseguirà un campionamento medio del rumore di fondo ogni 7 secondi e inseguirà, mediante una soglia dinamica, il livello variabile del segnale di fondo allo scopo di evidenziare eventuali innalzamenti anomali del rumore che potrebbero derivare dal fenomeno della dilatazione in prossimità temporale a un evento sismico rilevante. Le presenti note analizzano il progetto originale e descrivono le modifiche e le integrazioni allo stesso derivate dall'interazione con altri radioamatori impegnati in analoghe ricerche, a seguito del Meeting: Precursori Sismici – Segnali dalla Terra, tenutosi il 13 dicembre 2009 presso l'Istituto Superiore di Stato Leardi di Casale Monferrato (AL) organizzato dal Comitato Regionale ARI del Piemonte e della Valle d'Aosta e dalla Sezione ARI di Casale Monferrato.

Cenni di letteratura scientifica relativa alla possibile correlazione tra segnali elettrici ed eventi sismici

Sono ormai numerosissimi gli articoli riportati in letteratura che riguardano studi e ricerche riguardo alle emissioni radioelettriche o altri tipi di segnali elettrici ricevuti in corrispondenza di eventi sismici rilevanti. I primi articoli in proposito risalgono probabilmente al 1970.

Fedotov et al. 1970 - infatti, riportano la ricezione di variazioni di segnali ionosferici dell'ordine di 50 mV/km, della durata da qualche minuto a qualche decina di minuti prima dell'evento di magnitudo 7,9 Richter avvenuto in Giappone nel 1968.

Thanassoulas C. 1982 - riporta l'osservazione di un periodo oscillante di 24 ore con incremento esponenziale dell'ampiezza del campo elettrico del terreno che ha preceduto di pochi giorni l'evento di magnitudo pari a 6,9 Richter avvenuto in Grecia il 10/01/1982.

Molchanov O. A., Hayakawa M. 1995 - riportano le rilevazioni di emissioni nel range di frequenza compreso tra 0,01 e 10 Hz, correlabili a eventi sismici in Armenia e in California.

Hayakawa M., Kawate R., Molchanov O. A., Yumoto K. – 1996, riportano dati sulle anomalie riscontrate nei segnali elettromagnetici in banda ULF in corrispondenza dell'evento sismico avvenuto in Guam l'8 agosto 1993.

Enomoto et al. 1997- hanno registrato degli impulsi geoelettrici correlabili ad attività sismica. Hattori et al. 2004, riportano anomalie geomagnetiche in banda ULF associate allo sciame sismico delle Jzu Islands – Giappone dell'anno 2000.

Balassanian et el. 1997 - citano effetti magnetici non lineari in corrispondenza di zone sottoposte a stress pre sismico riscontrati nella repubblica Armenia nel 1992.

Vadim V., Surkov and Viatcheslav A., Pilipenko 1997 - trattano sulle anomalie del campo geomagnetico indotte da esplosioni sotterranee e da eventi sismici.

Yu-Lin Zhao, Bi-Ru Zhao and Fu-Ye Qian, 1997 - parlano di anomalie di campo elettrico in sette stazioni all'interno di un'area distante fino a 160 km dall'epicentro avvenute durante e prima l'evento di magnitudo pari a 7,8 Richter del Tangshan nel 1976.

Nomikos K., et al. 1997 - descrivono alcune osservazioni di variazioni di campo elettromagnetico nelle frequenze di 3 kHz, 10 kHz, 41 MHz, e 53 MHz, utilizzando delle antenne accordate a mezz'onda.

Patella D., Tramacere A., Di Maio R. 1997 - propongono un modello riferito alla dilatanza per spiegare le anomalie del potenziale elettrico osservato sulla superficie terrestre in prossimità di eventi sismici.

Sergey Prosvirnin 1998 - analizza e ricerca i migliori metodi di indagine per i segnali nelle frequenze ULF e ELF

O.A. Molchanov, M. Hayakawa, T. Oudoh, E. Kawai 1998 - riportano anomalie della riflessione degli strati ionosferici nelle frequenze VLF in prossimità dell'evento di Kobe del 1994.

Biagi P.F., Piccolo R., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Kayakawa M., Kingley S.P. 2001 - relazionano di anomalie di radio segnali di emittenti broadcasting in banda LF comprese tra 30 e 300 kHz prima di eventi sismici.

N.N. Novikova, L.A. Pakhomov, L.A. Doda, I.A. Gorchach, T.G. Kurevlyeva (2004?) - indicano in un loro articolo, la possibilità di effettuare previsioni di eventi sismici con tecniche di osservazione dallo spazio mediante l'uso di satelliti artificiali.

Minoru Tsutsui 2005 - propone una metodologia per l'identificazione della direzione d'arrivo degli impulsi elettromagnetici associati a eventi sismici.

Enescu D. 2006 - analizza le anomalie di resistività del suolo prima di eventi sismici in Vrancea – Romania.

Colangelo G., Heinicke J., Lapenna V., Martinelli G., Mucciarelli M., Telesca L. 2007 – analizzano alcuni risultati preliminari relativi ad alcune registrazioni contemporanee di segnali anomali di tipo geoelettrico, idrogeologico e geochimico, correlabili con la sequenza sismica accaduta durante i giorni 3 e 4 settembre 2004.

Thanassoulas Constantine pubblica nel 2007 il ponderoso volume Short Term Earthquake prediction con il quale espone i risultati di una decina d'anni di studi relativi alle correnti elettriche sotterranee rilevate mediante tre stazioni dotate di dipoli realizzati con sensori non polarizzati, evidenziando la tecnica di rilevazione utilizzata, i segnali stessi e le tecniche utilizzate per ridurre il rumore di fondo e quelle per rilevare la direzione di provenienza dei segnali stessi, correlando i segnali ricevuti con diversi eventi sismici rilevanti avvenuti sul territorio della Grecia. Il volume è realizzato con cura ed è ricco di esempi e dettagli tecnici.

A. K. Sharma, A. V. Patil, R. N. Haridas and R. V. Bhonsle 2008 – Trattano, in un loro articolo, le emissioni in banda ULF associate ad attività sismica registrate con l'ausilio di magnetometri a induzione nella zona di Kolhapur (India) evidenziando la frequenza con la massima intensità di segnale, la quale è si è rivelata essere intorno a 0,1 Hz.

Meccanismo generatore del fenomeno

Nella prima fase gli sforzi dovuti al movimento delle zolle si accumulano lungo le zone critiche (faglie) causando la compressione delle rocce interessate. Questa fase dura generalmente diversi anni ed è comunque attualmente monitorata dagli enti ufficiali. Nelle zone maggiormente a rischio, tali deformazioni sono monitorate anche mediante il posizionamento di sensori basati sulla tecnologia GPS in grado di misurare i minimi spostamenti del terreno (vedi rete GPS dell'OGS).

Quando la compressione supera la capacità elastica della roccia, si possono formare delle microfrazture che causano una deformazione tipica che provoca l'aumento del volume della roccia stessa (dilatanza). Questa deformazione è stata individuata mediante lo studio della modifica di velocità delle onde sismiche: il rapporto v_p/v_s tra la velocità di propagazione delle onde longitudinali e quella delle onde trasversali diminuisce sino a valori anomalmente bassi e torna normale proprio poco prima del rilascio dell'energia accumulata generando il sisma. La diminuzione di v_p/v_s è dovuta alla dilatanza delle rocce che divengono sottosature d'acqua riducendo fortemente v_p mentre ha poco effetto su v_s .

Lo studio è stato effettuato nel 1969 da due ricercatori russi: I. L. Nersesov e A. N. Semonova.

Le microfrazture si dispongono in genere parallelamente all'asse di massima compressione.

La dilatanza avviene in media, con uno sforzo che corrisponde a circa la metà di quello necessario a generare la frattura conseguente all'evento sismico.

L'acqua presente nella vicina falda proprio a causa della dilatanza, tende a penetrare all'interno della roccia fratturata tendendo a saturare la roccia, tuttavia il tempo necessario all'acqua per saturare la roccia è piuttosto lungo e il processo che genera nuove microfrazture è più veloce di quello che ne permette la saturazione. L'interazione continua tra i due processi rende le rocce sottosature.

L'acqua riesce infine a saturare la roccia e a questo punto gli sforzi di compressione sono tali che la roccia microfrazturata satura, non è più in grado di sostenerli in quanto l'acqua presente all'interno degli interstizi, essendo quasi incompressibile, riduce la capacità elastica della roccia.

E' a questo punto che inizia e si propaga la frattura che genera l'evento sismico.

La dilatanza quindi tende a ritardare il manifestarsi del terremoto aumentando l'elasticità della roccia, mentre l'acqua nel momento in cui riesce a saturare le rocce, ripristina la trasmissione integrale della compressione, riducendo il tempo necessario al raggiungimento della forza di rottura e quindi dell'evento sismico.

Durante il fenomeno della dilatanza, che può durare da alcune ore a diversi giorni, si possono modificare alcuni parametri fisici misurabili, come la resistività elettrica, l'altezza della falda, l'emissione di gas radon, CO₂ o di gas idrogeno, possono verificarsi anche sciami microsismici.

Studi nel campo delle bande ULF (tra 0.1 e 10 Hz), ELF e VLF (tra 10 Hz e 30 kHz) sono attualmente in corso negli USA, e nel campo delle ULF si sono riscontrate delle anomalie che potrebbero essere considerate precursori.

La rilevazione di modifiche dell'ampiezza del rumore di fondo rilevabile mediante semplici apparati radio ha stimolato studi specifici in questo campo.

Alcune evidenze, segnalate anche da radioamatori durante i giorni antecedenti le forti scosse dell'Umbria, hanno spinto il prof. Ezio Roberto Mognaschi dell'Università di Pavia, Dipartimento di Fisica "A. Volta", radioamatore con nominativo IW2GOO, a effettuare studi specifici e a ipotizzare un meccanismo fisico per la produzione di onde elettromagnetiche da parte delle rocce cristalline, nonché a verificare in laboratorio la veridicità dell'ipotesi avanzata.

Affinché si possa verificare l'emissione elettromagnetica, delle rocce è indispensabile che queste siano di tipo cristallino.

A tal proposito va ricordato che in Friuli, pur mancando, o essendo presenti in misura molto limitata, graniti o rocce di origine vulcanica, oltre al basamento posto in profondità, sono presenti diverse rocce a carattere cristallino (marmi) derivanti dalla parziale fusione del calcare.

L'ipotesi del prof. Mognaschi comprende il seguente meccanismo:

Qualche tempo (da alcune ore a qualche giorno) prima del sisma distruttivo, il fenomeno della dilatazione aumenta in modo esponenziale, causando microfrotture che si propagano in modo ramificato all'interno del materiale cristallino.

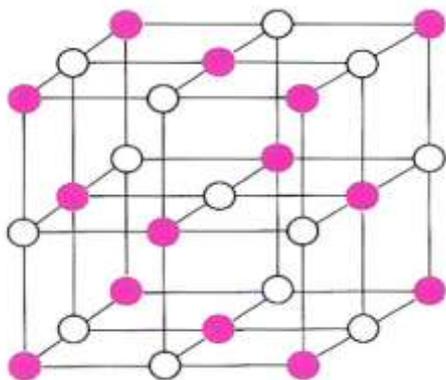


Fig. 1 – Schema di un reticolo cristallino

Fonte immagine: Nerio Neri – I4NE – Radiotecnica per radioamatori – C&C – edizioni radioelettriche

La rottura dei legami cristallini, se il materiale non è un buon conduttore (come la roccia appunto), produce intensi campi elettrici. Questi infatti vengono generati dal disequilibrio provocato dalla rottura delle strutture molecolari cristalline con conseguente formazione di ioni di segno opposto che vengono a trovarsi l'uno di fronte all'altro a piccola distanza. Questa condizione, genera dei piccoli dipoli elettrici che rimangono in vita durante il periodo di rilassamento della roccia a seguito della frattura. Il tempo di vita dei dipoli elettrici è molto limitato, dell'ordine di 10^{-4} secondi e dipende dalla resistività della roccia e dalla sua costante dielettrica, tuttavia, pur essendo un tempo brevissimo, è sufficiente a far generare dai dipoli un campo elettromagnetico.

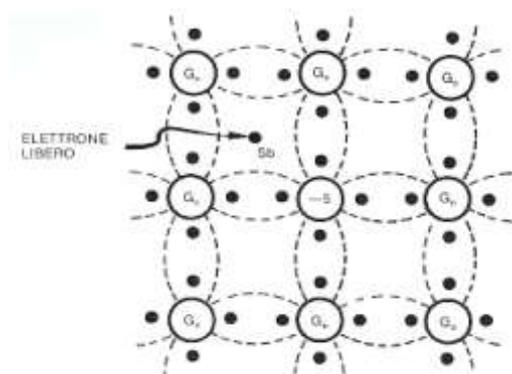


Fig. 2 – Rottura molecolare e rilascio di elettrone libero

Fonte immagine: Nerio Neri – I4NE – Radiotecnica per radioamatori – C&C – edizioni radioelettriche

Gli atomi posizionati su un lato della roccia microfratturata, essendo sottoposti alle forze elettromagnetiche di richiamo di quelli posti sulla faccia opposta, causano un'oscillazione dei dipoli elettrici che a loro volta generano onde elettromagnetiche. Tuttavia i dipoli sono troppo piccoli rispetto alla lunghezza d'onda emessa per poter essere efficienti, inoltre gli strati di roccia tra l'ipocentro e la superficie schermo parzialmente i segnali, quindi il rumore irradiato si limita ad essere rilevabile solo nelle zone circostanti l'epicentro.

Per una roccia con resistività dell'ordine di 10^6 Ohm per metro e costante dielettrica relativa $E_r \sim 10$ risulta $T = P E_r E_0 \sim 10^{-4}$ s, un intervallo di tempo breve, ma sufficiente per permettere la generazione di onde elettromagnetiche.

Le verifiche effettuate dal prof. Mognaschi partono da alcune informazioni ottenute da un altro radioamatore: Marco Eleuteri di Todi (PG) il quale ha osservato variazioni insolite del QRM (rumore elettromagnetico di fondo) osservato prima del sisma del 12 maggio 1997.

Analizzando le frequenze del rumore di fondo registrato prima del sisma si è verificato che queste risultano allineate su di una retta di equazione

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

ove

t_0 rappresenta il tempo (misurato in ore) al quale viene osservato il sisma,

f_0 la frequenza limite del QRM al momento del sisma

k una costante che, per i dati in esame, vale $5.5 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$

Passando dai logaritmi decimali a quelli naturali e, da questi, ai numeri si ottiene:

$$f = f_0 \exp - \beta (t - t_0)$$

ove

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

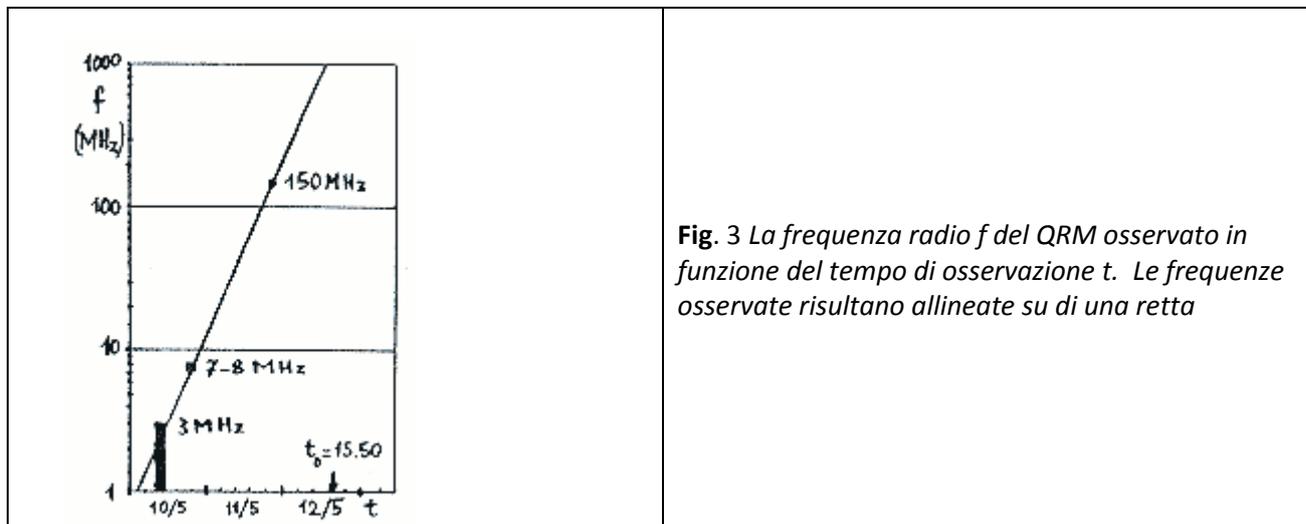


Fig. 3 La frequenza radio f del QRM osservato in funzione del tempo di osservazione t . Le frequenze osservate risultano allineate su di una retta

La frequenza massima del rumore di fondo prima del sisma a cui è giunto il prof. Mognaschi seguendo le sue intuizioni e i suoi calcoli, raggiunge il limite dei 1700 MHz

A questa frequenza l'effetto condensatore delle rocce costituite da materiale dielettrico filtra la maggior parte della potenza irradiata limitando moltissimo la possibilità di registrare tali segnali in lontananza rispetto al punto epicentrale e questo è la probabile spiegazione del fatto che tale rumore di fondo (QRM)

non sia stato segnalato da altri radioamatori posti a distanza di alcune decine di chilometri dalla zona del sisma.

L'attenuazione dell'intensità del campo elettrico, associato all'onda, nel sottosuolo (idealizzato come un mezzo omogeneo, con una resistività ρ , occupante un semispazio con coordinata z indicante la profondità), è descritta dalla legge:

$$E/E_0 = \exp[-2 \cdot 10^{-3} z f / \rho]$$

dove z è lo spessore dello strato di sottosuolo in esame; f la frequenza dell'onda incidente; E_0 l'intensità del campo elettrico alla superficie (TELFORD et al., 1976).

La frequenza degli eventi di microfrattura in funzione dello sforzo è risultata crescente con legge esponenziale, proprio come per la frequenza del QRM elettromagnetico.

Indicando con N il numero di eventi di microfrattura rilevati in corrispondenza di uno sforzo x che rappresenta il valore percentuale rispetto allo sforzo alla rottura, si ha:

$$N = N_0 \exp h(x \ 100)$$

ove

$$N_0 = 500 \text{ ed } h = 0.08.$$

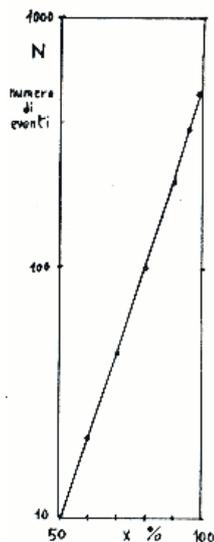


Fig. 4 Grafico relativo all'equazione soprariportata

Le verifiche effettuate in laboratorio dal prof. Mognaschi, non hanno fatto altro che confermare il fenomeno. Un campione di roccia sottoposto a notevole pressione con l'utilizzo di una pressa fino a causarne delle microfature molto simili a quelle che si producono in natura, ha effettivamente emesso energia elettromagnetica sotto forma di onde radio che è stato possibile rilevare con l'ausilio di un'antenna in ferrite e un ricevitore posizionato in ascolto sulla banda dei 500 kHz.

Ulteriori approfondimenti circa la ricerca del prof. Mognaschi, sono reperibili sul seguente sito:

<http://www.anisn.it/geologia2000/index.html>

dal quale sono state estrapolate le informazioni utili e le immagini necessarie alla compilazione di quanto sopra.

Tutto ciò conferma la possibilità di poter utilizzare una rete di ricevitori quale dispositivo più opportuno per il monitoraggio dei precursori elettromagnetici.

Considerazioni sul meccanismo elettromagnetico del fenomeno

I precursori sismici elettromagnetici sono dei fenomeni che si esplicano all'interno dello spettro radio, il quale è una gamma molto estesa di frequenze elettromagnetiche all'interno della quale si pongono la maggior parte dei sistemi di comunicazione utilizzati dall'uomo.

Le interferenze ricevute proprio nell'ambito delle comunicazioni terrestri hanno spinto i ricercatori a effettuare studi sul campo e grazie a questi studi è stato possibile appurare che esistono alcune finestre di frequenza ben definite che il pianeta utilizza per lanciare dei segnali che ancora non sono del tutto compresi. La gamma di frequenze radio in cui si trovano anche i fenomeni caratterizzati dai precursori sismici è quella denominata ELF-VLF (extremely low frequency – very low frequency). Si tratta, in dettaglio della gamma di radiofrequenze che parte da 0,1 Hz e raggiunge i 100 kHz.

All'interno di questa banda di frequenze vi sono dei sistemi di comunicazione utilizzati dalle organizzazioni militari per trasmettere informazioni ai sottomarini in immersione, nell'ambito di missioni polari o da altri utilizzatori particolari che collocandosi al di sotto del mare o addirittura all'interno di grotte o gallerie, sfruttano la particolarità di queste frequenze di essere in grado di attraversare strati anche notevoli di roccia o d'acqua senza perdere in modo significativo la qualità del segnale e quindi la capacità di informazione contenuta.

Nell'immagine che segue sono rappresentati dei segnali (le linee più chiare verticali) che sono crepitii e altri segnali di origine naturale nonché due stazioni Alpha (le linee tratteggiate orizzontali).

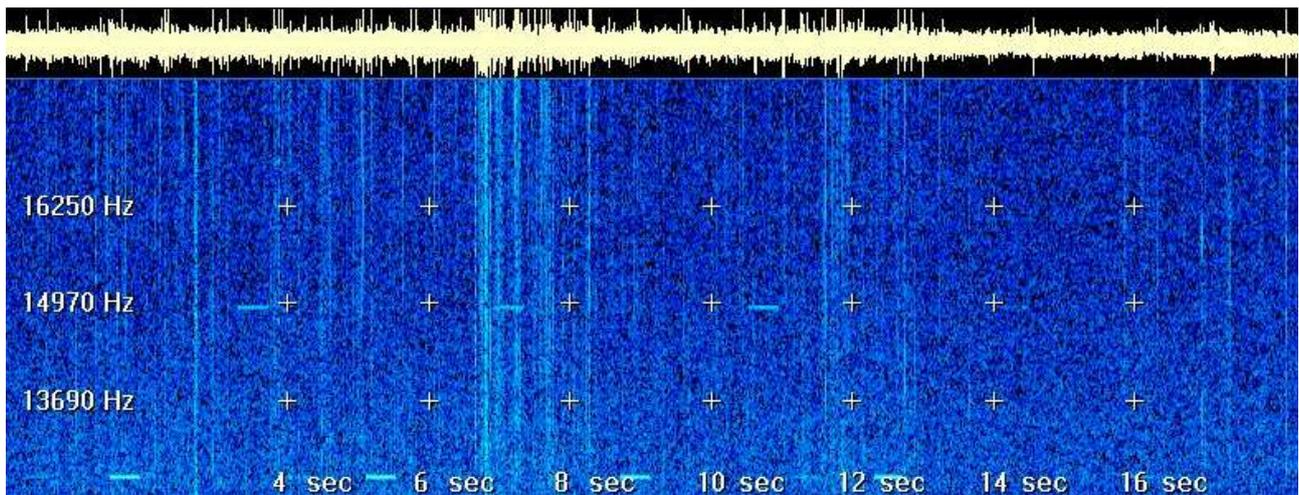


Fig. 5 Esempio di ricezione di segnali con software dedicato

Tuttavia la dispersione di questo genere di emissioni è molto elevata, inoltre la necessità di realizzare antenne di dimensioni estremamente grandi rende queste tecniche di trasmissione particolarmente costose e quindi utilizzabili solo da pochi.

Cenni di propagazione delle onde elettromagnetiche

Le onde elettromagnetiche sono in grado di viaggiare nello spazio in condizione di assoluta mancanza di materia. Sono altresì in grado di viaggiare all'interno di alcuni materiali o sostanze come l'aria. Attraversando sostanze diverse però, cambiano alcuni parametri del loro viaggio e avvengono alcuni fenomeni di rilievo. Ad esempio la velocità di propagazione cambia in funzione del mezzo che attraversano e quando il mezzo cambia, e le onde sono costrette a passare per esempio da un'aria relativamente secca ad una nuvola, quindi con una concentrazione di vapore d'acqua molto maggiore, cambiano la direzione di propagazione (effetto di rifrazione) in modo molto simile alla luce (composta anch'essa da onde elettromagnetiche di frequenza molto elevata).

La capacità di rallentamento, connesso quindi alla capacità di deviazione elettromagnetica delle diverse sostanze viene definita matematicamente come indice di rifrazione.

In dettaglio il vuoto ha indice di rifrazione pari a 1, l'aria ha indice pari a circa 1,0003.

Inoltre la diversa temperatura o la diversa concentrazione di sostanze può variare l'indice di rifrazione. Indicando con n l'indice di rifrazione lo stesso è espresso dalla seguente espressione:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}; \quad \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad ; \quad \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \cdot \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}$$

dove:

v = velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche;

ϵ = costante dielettrica;

μ = permeabilità magnetica nel mezzo;

v_0 = velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto;

ϵ_0 = costante dielettrica nel vuoto;

μ_0 = permeabilità magnetica nel vuoto;

L'espressione sopra indicata mostra che l'indice di rifrazione n è proporzionale alla radice quadrata dei valori di permeabilità magnetica e costante dielettrica.

I valori dell'angolo di incidenza di un'onda elettromagnetica che raggiunge una piano di discontinuità tra due materiali diversi (es. aria acqua) e quello di rifrazione è espresso da una legge detta **Legge di Snell**

$$\frac{\sin(\vartheta_i)}{\sin(\vartheta_r)} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

dove:

ϑ_i = angolo di incidenza;

ϑ_r = angolo di rifrazione;

Quanto sopra espresso matematicamente si può visualizzare così come segue:

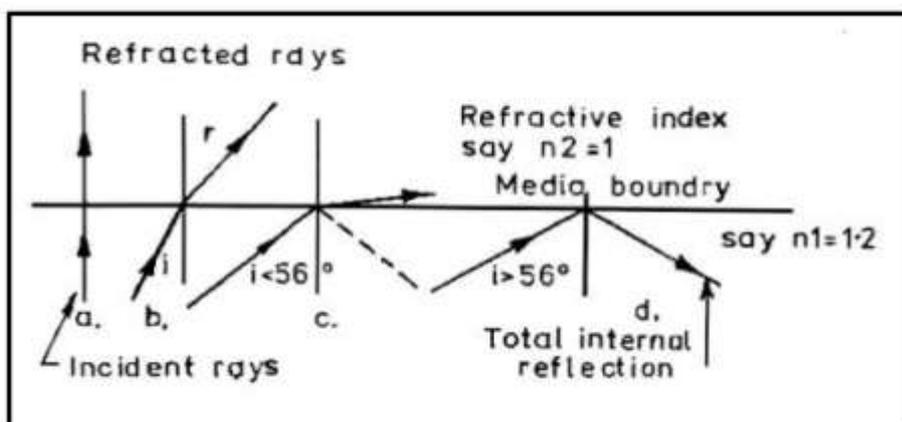


Fig. 6 Schema esempi di riflessione e rifrazione delle onde elettromagnetiche

Dall'immagine si può vedere che esiste un angolo particolare in cui l'onda rifratta prosegue parallelamente alla superficie del piano di discontinuità dei materiali.

Questo avviene quando:

$$\sin(\theta_c) = 1, \text{ cioè } \theta_c = \pi/2$$

perciò quando

$$\sin(\theta_c) = n_{21}$$

In tutti gli altri casi, ovvero quando il fronte d'onda ha un angolo di rifrazione più basso rispetto al piano di discontinuità, allora il segnale sarà riflesso, invece quando viene superato l'angolo critico il segnale sarà rifratto.

Il particolare angolo in cui si verifica la condizione di rifrazione parallela al piano di discontinuità è detta angolo limite e il simbolo è il seguente:

$$\theta_c$$

Questa condizione di prosecuzione del segnale parallela al piano di discontinuità viene detta **riflessione totale**

La riflessione avviene, similmente ad uno specchio, quando un raggio di luce ovvero un'onda elettromagnetica, raggiunge la superficie riflettente con un determinato angolo e viene riflessa con lo stesso angolo di incidenza rispetto alla perpendicolare al piano.

Questo avviene solo in condizioni teoriche in quanto qualsiasi tipo di piano ottenibile possiede delle irregolarità che comportano delle diffusioni del segnale che prendono il nome di **diffrazione** la diffrazione, comunque, avviene in modo minore o maggiore in funzione della dimensione delle irregolarità e della lunghezza d'onda. In pratica minore è la lunghezza d'onda del segnale, maggiore è la diffrazione, ovvero più la lunghezza d'onda si avvicina alla dimensione delle irregolarità, maggiore è il fenomeno della diffrazione.

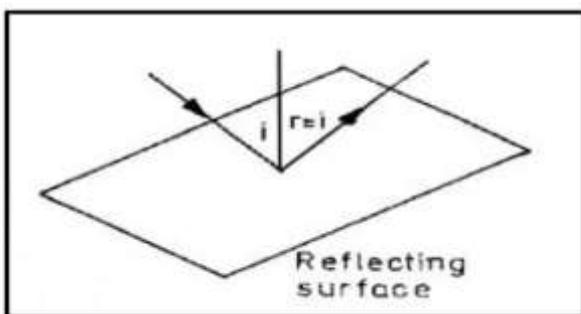


Fig. 7 Esempio di riflessione su strato metallico

Dal punto di vista elettromagnetico esistono due tipi principali di riflessione: quello che avviene in corrispondenza di una superficie metallica (riflessione totale) e quello che avviene in corrispondenza di una superficie dielettrica. Le superfici metalliche riflettenti, opportunamente piane, sono usate nelle antenne paraboliche o in particolari tipi di ripetitori di segnale detti passivi, in grado di riflettere la quasi totalità del segnale che li raggiunge (una parte minima del segnale viene comunque dissipata sotto forma di calore) come indicato in figura.

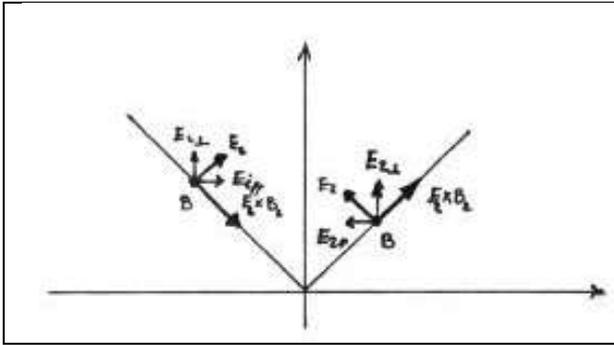


Fig. 8 Esempio di riflessione su materiale metallico con dispersione di calore

Le superfici riflettenti dielettriche, cioè formate da materiale non conduttore, possono anch'esse riflettere il segnale radio, ma sono molto più soggette a dispersione a causa della superficie, che in natura, non risulta quasi mai sufficientemente piana. L'acqua del mare, le nubi, la terra stessa, sono materiali dielettrici riflettenti, la capacità di riflessione dei segnali è però inficiata dalle loro increspature tipiche. In determinate condizioni è perfino possibile che la riflessione avvenga internamente e in quantità totale.

Esiste un'ulteriore caratteristica delle onde elettromagnetiche, indicata con il nome di **diffrazione** che consiste nella proprietà delle onde di irradiarsi in tutte le direzioni una volta che il fascio incontra un ostacolo molto piccolo, ovvero di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda.

Un caso tipico è quello del fascio di onde costretto ad attraversare un foro molto piccolo. Anche se il fascio è costituito da onde a percorsi paralleli, una volta attraversato il foro, il fascio perde le sue caratteristiche di omogeneità di direzione e si diffonde in tutte le direzioni perdendo perciò coerenza.

Questo fenomeno è sfruttato dai trasmettitori perché permette di fare in modo che il fascio di onde elettromagnetiche sia in grado di superare determinati tipi di ostacoli come una collina o la curvatura della terra.

Un ultimo fenomeno rilevante nella propagazione delle onde è quello dello **scattering**, sfruttato anche dai radioamatori per determinati collegamenti altrimenti impossibili, è conseguenza di caratteristiche del terreno, molecole, polveri meteoritiche, che interagiscono con l'onda elettromagnetica muovendosi con essa e generando a loro volta un campo elettromagnetico.

La propagazione delle onde radio avviene con tutti i modelli sopra descritti e viene suddiviso in diversi tipi di onda:

onda diretta: avviene quando trasmettente e ricevente sono in portata ottica e pertanto il segnale parte dal trasmettitore e raggiunge il ricevitore seguendo una linea retta e attraversando un solo strato di materiale dielettrico. In realtà il segnale ha una tendenza naturale a incurvarsi seguendo la curvatura terrestre in quanto l'indice di rifrazione cambia in funzione dell'altezza, modificandosi i valori di umidità, pressione e temperatura. La tendenza del segnale a curvarsi seguendo la superficie terrestre ha portato a sfruttare questa caratteristica nell'ambito delle trasmissioni al di sopra dei 30 MHz.

onda riflessa: avviene quando la superficie del suolo o di altre superfici verticali o sub-verticali riescono a riflettere la maggior parte del segnale permettendo al fascio di onde di effettuare dei lunghi tragitti rimbalzando sugli ostacoli naturali e permettendo di raggiungere il ricevitore anche quando lo stesso non è visibile;

onda superficiale: è l'onda che si propaga seguendo la superficie del suolo. La capacità di raggiungere il ricevitore da parte di questo tipo di onde è limitata dalla limitata conducibilità del suolo, dall'altezza delle antenne, dalla permittività ϵ del terreno, dalla morfologia del territorio attraversato dal fascio d'onde e dalla rifrazione della parte bassa dell'atmosfera.

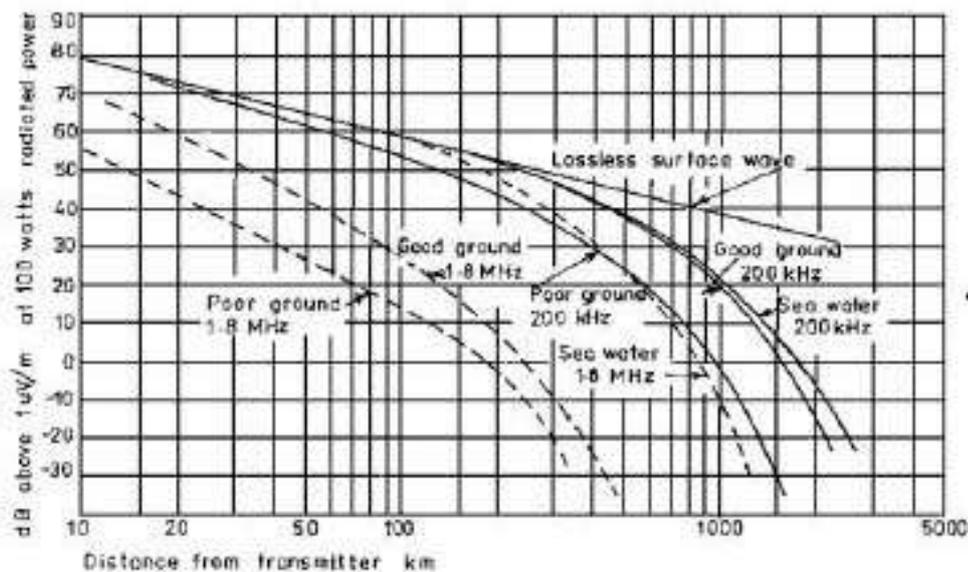


Fig. 9 Ricevibilità del segnale in funzione della frequenza e della distanza del trasmettitore

Questo tipo di propagazione avviene preferenzialmente nell'ambito della gamma VLF (da 3 a 30 kHz). Per frequenze via via superiori, l'attenuazione aumenta rendendo non proponibile questo sistema per le radiocomunicazioni.

onda ionosferica: si tratta della capacità dell'atmosfera di produrre degli strati di particelle ionizzate, grazie all'attività solare, che comportano la formazione di strati di discontinuità che riescono a riflettere il segnale radio che si propaga lungo un determinato angolo (minore è l'angolo incidente, maggiore è la riflessione). Questo fenomeno, dipendente in larga parte dal ciclo undecennale di attività solare e valutato in funzione del numero di macchie solari rilevate, consente collegamenti su lunghezze molto elevate, in condizioni particolari anche fino agli antipodi, nella gamma delle onde corte (da 3 a 30 MHz).

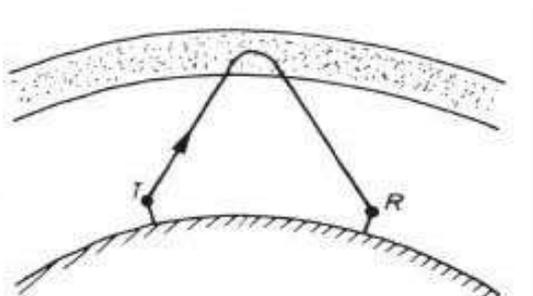


Fig. 10 Ricevibilità del segnale con riflessione ionosferica

onda diffratta: come spiegato più sopra, questo tipo di propagazione sfrutta la capacità delle onde propagantesi in linea retta, di essere diffratte dalla linea dell'orizzonte e di raggiungere il ricevitore posizionato oltre le condizioni di visibilità dovuta alla curvatura terrestre.

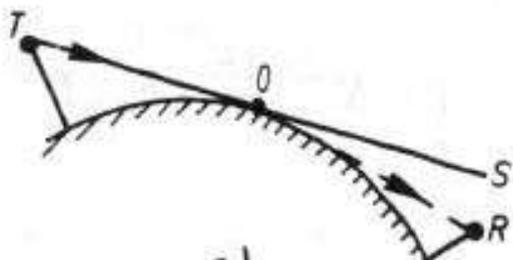


Fig. 11 Ricevibilità del segnale mediante rifrazione atmosferica

scattering: lo scattering, come sopra descritto, sfrutta zone riflettenti o diffrangenti dell'atmosfera dovute a strati di polveri o molecole ionizzate. Questa particolare condizione è sfruttata per l'effettuazione di collegamenti su frequenze più elevate delle onde corte > 30 MHz. Una delle peculiarità di questo tipo di collegamenti è comunque quella della sua variabilità temporale. Gli strati ionizzati necessari spesso sono

molto instabili dipendendo, per esempio, dal passaggio di sciami meteoritici che durano anche solo pochi secondi.

strato troposferico: la troposfera, strato dell'atmosfera nel quale avvengono tutti i fenomeni meteorologici, può formare, in condizioni di stabilità meteo, quindi con alta pressione, degli strati di aria umida all'interno dei quali l'indice di rifrazione varia permettendo al segnale elettromagnetico di viaggiare all'interno degli strati quasi come fossero delle guide d'onda. Il fenomeno è particolarmente rilevante per l'effettuazione di collegamenti in banda VHF (da 30 a 300 MHz), tuttavia le variabili che concorrono alla formazione e al mantenimento del fenomeno sono molteplici: temperatura, umidità, pressione, frequenza utilizzata, posizione del ricevitore).

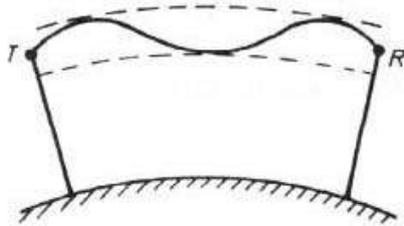


Fig. 12 Ricevibilità del segnale via strato troposferico

La propagazione delle onde radio nel campo delle VLF (da 3 a 30 kHz), avviene grazie a tutti i tipi di onde descritte nei paragrafi precedenti, tuttavia alcune di queste non concorrono alla ricezione di questi segnali: le onde riflesse e quelle dirette si annullano per la maggior parte in quanto la differenza di lunghezza dei loro cammini comporta uno sfasamento dell'onda di 180° pertanto la sovrapposizione dei segnali porta a zero la risultante.

L'onda di superficie, invece è in grado di percorrere un numero elevato di chilometri (fino a 1000), praticamente senza perdere energia.

Distanze maggiori possono essere raggiunte grazie alle onde diffratte e alle riflessioni ionosferiche.

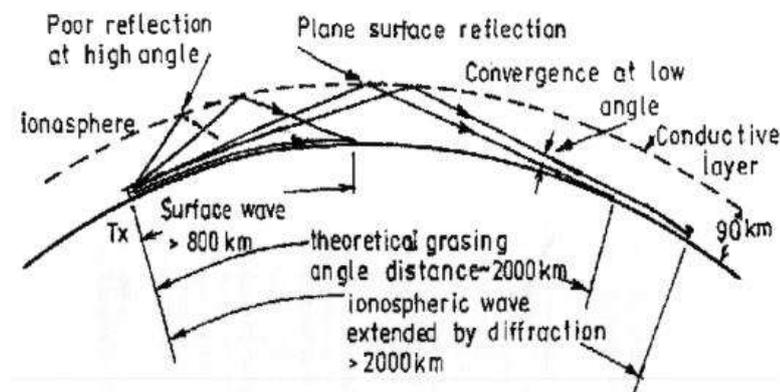


Fig. 13 Ricevibilità del segnale mediante riflessioni e rifrazioni ionosferiche

La ionosfera è quella parte dell'atmosfera terrestre che grazie alla limitata concentrazione di gas interagisce facilmente con i raggi cosmici, quelli ultravioletti e altri tipi di radiazione prodotte dal sole.

La ionosfera si compone a sua volta di diversi strati caratterizzati dalle loro diverse caratteristiche di ionizzazione ed è in grado di comportarsi diversamente con le varie frequenze elettromagnetiche che la raggiungono producendo effetti sia positivi che negativi nell'ambito delle radiocomunicazioni terrestri. L'interazione della ionosfera con l'attività solare, può a sua volta produrre segnali radio di difficile interpretazione e spesso con origini non del tutto comprese su diverse gamme di frequenza comprese quelle in banda VLF.

Le cariche libere che compongono la ionosfera modificano la sua costante dielettrica ϵ seguendo l'espressione sotto indicata.

$$\epsilon_e = \epsilon_0 \cdot \left(1 - \frac{81 \cdot N}{f^2}\right)$$

Dove:

ϵ_e = costante dielettrica apparente dello strato ionizzato;

ϵ_0 = costante dielettrica tipica dell'aria;

N = numero di elettroni liberi per m^3 ;

f = frequenza in Hz;

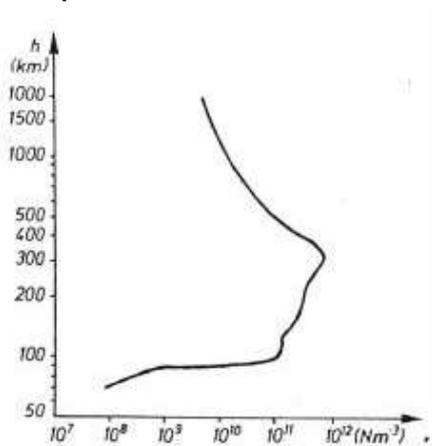


Fig. 14 Concentrazione delle cariche libere nella ionosfera in funzione dell'altezza

Il fenomeno quindi è inversamente proporzionale alla frequenza in quanto la velocità quadratica media dell'elettrone cresce al diminuire della frequenza.

Da ciò si desume che gli strati ionosferici debbono essere considerati come dielettrici (non conduttori).

Un'onda che raggiunge uno strato ionosferico proveniente da terra subisce una curvatura, a seconda della frequenza e della concentrazione di elettroni presenti all'interno dello strato ionizzato. La curvatura indotta può costringere l'onda a incurvarsi verso terra oppure a oltrepassare lo strato e disperdersi nello spazio.

La *frequenza critica* è quella al di sotto della quale le radioonde rifratte vengono respinte verso il suolo ed è fornita dalla seguente formula:

$$f_c = 9 \cdot \sqrt{N}$$

dove:

f_c = frequenza critica massima per ottenere la rifrazione verso il basso;

N = numero di elettroni libero per m^3 ;

Nella ionosfera le radioonde perdono un po' di energia dovuta alle collisioni degli elettroni con le molecole. La perdita è in funzione della frequenza di collisione ed è minore negli strati alti della ionosfera in quanto la pressione atmosferica è minore, mentre aumenta negli strati bassi a causa della più elevata concentrazione di materia.

Nell'interfaccia tra la ionosfera e la troposfera, si può formare uno strato sottile in cui le collisioni sono massime generando perdite di energia delle onde radio molto elevate. Questo strato, che diversamente dalla ionosfera che presenta caratteristiche di materiale dielettrico (non conduttore) viene chiamato *strato di conduzione*, è presente a diverse altezze ed è frutto dell'attività solare. Di giorno ha maggiore spessore e si colloca in media a circa 70 km di quota, di notte, quando l'effetto di ionizzazione solare è minore, lo strato si assottiglia e si porta ad una quota superiore: circa a 90 km. Si può paragonare lo strato di conduzione ad un film con caratteristiche di resistività posizionato nel punto più basso della ionosfera.

Come già intuibile dalla formula di cui sopra, le perdite aumentano con il diminuire della frequenza delle onde radio. Infatti, mano a mano che la frequenza aumenta, le vibrazioni degli elettroni sono più contenute e pertanto è più difficile che incontrino nel loro oscillare altre particelle con cui collidere.

Lo strato di conduzione è particolarmente dissipativo per le onde VLF, mentre per le onde di più bassa frequenza, la perdita di energia è minore in quanto la curvatura cui sono sottoposte non permette loro di raggiungere gli strati elevati della ionosfera.

La possibilità che le onde LF (low frequency) siano riflesse verso il suolo dipende pertanto dallo stato degli strati della ionosfera, e quindi varia in funzione dell'ora del giorno e della notte, ma anche del periodo dell'anno.

Il coefficiente di riflessione per le onde LF è dato dalla seguente formula:

$$20 \cdot \text{Log}_{10} |R| = 0.57 \cdot f \cdot l_1 \cdot \text{Cos}(i)$$

dove:

20 Log₁₀ |R| è il coefficiente di riflessione espresso in dB;

f è la frequenza espressa in Hz;

i è l'angolo di incidenza con la ionosfera ed è espresso in gradi (°);

l₁ è la quota ed è espressa in km;

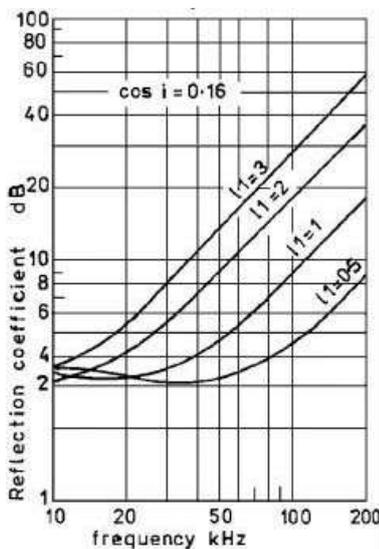


Fig. 15 Tabella del comportamento delle onde radio in funzione della frequenza e in termini di riflettanza

Per concludere si può affermare che la riflessione migliore avviene per la gamma di frequenze tra i 10 e i 30 kHz. Inoltre la riflessione diminuisce all'aumentare dell'angolo di incidenza con lo strato ionosferico e di notte la riflessione è maggiore in quanto lo strato di conduzione (dissipativo) si forma a quote più elevate.

Principi teorici dell'antenna magnetica a loop

(informazioni liberamente tratte e tradotte dal sito <http://sidstation.lionelloudet.homedns.org/antenna-theory-en.xhtml>)

Un'antenna a loop è tipicamente una serie di spire di filo conduttore isolato posta attorno ad una forma specifica che può essere quadrata, rotonda o di altra forma, oppure avvolta attorno ad un nucleo di materiale ferromagnetico teso ad aumentare il numero di linee di campo magnetico che attraversano il loop.

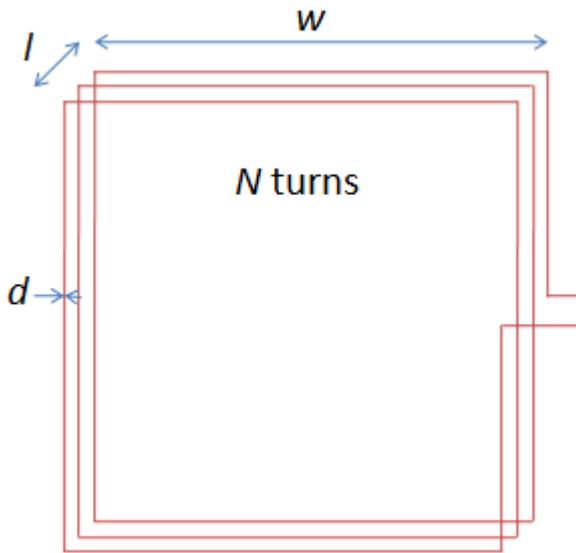


Fig. 16 Schema di un'antenna a loop su telaio di forma quadrata dove:
 W è la larghezza del lato del telaio,
 l è la lunghezza dell'avvolgimento
 d è il diametro del filo conduttore
 N turns è il numero delle spire.

Lo scopo di un'antenna a loop, chiamata anche magnetica in quanto sensibile al campo magnetico e non a quello elettrico, è quello di convertire un'onda elettromagnetica in una tensione elettrica disponibile ai capi dell'avvolgimento. La legge dell'induzione elettromagnetica di Faraday indica che la forza di induzione elettromagnetica $e(t)$ in un avvolgimento è proporzionale al tempo in cui la variazione del flusso magnetico $\Phi(t)$ attraversa il loop in accordo con la relazione:

$$e(t) = - \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (1)$$

Dove:

- e è la forza di induzione elettromagnetica espresso in V
- Φ è il flusso magnetico che attraversa il circuito in weber ($\text{Wb} \equiv \text{V}\cdot\text{s}$)

Questa equazione è valida solo per antenne elettricamente corte rispetto alla lunghezza d'onda, quindi è particolarmente utile per le frequenze in campo VLF-ULF.

Il flusso magnetico è quindi la misura della quantità di magnetismo che attraversa l'antenna sottoposta a una determinata induzione magnetica.

$$\phi(t) = \vec{B}(t) \cdot \vec{S} = \|\vec{B}(t)\| \cdot \|\vec{S}\| \cdot \cos \theta \quad (2)$$

dove:

- Φ è il flusso magnetico che attraversa il circuito in Wb
- B è il vettore di induzione magnetica
- S è il vettore perpendicolare alla superficie del piano dell'antenna
- θ è l'angolo tra le linee di campo magnetico e la perpendicolare al piano dell'antenna

Per un campo magnetico sinusoidale, la regola che descrive il vettore B è

$$\|\vec{B}(t)\| = B_0 \cos(\omega t) \quad (3)$$

dove:

- B_0 è l'intensità dell'induzione magnetica in tesla ($\text{T} \equiv \text{Wb}/\text{m}^2 \equiv \text{V}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

- ω è la frequenza angolare del campo magnetico induttivo in $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Per un'antenna a loop con N spire, ognuna di area A la regola del vettore \mathbf{S} è la seguente

$$\|\vec{S}\| = NA \quad (4)$$

Le equazioni (2) e (1) si possono così trasformare:

$$\phi(t) = NA B_0 \cos(\omega t) \cos \theta \quad (5)$$

$$e(t) = NA B_0 \omega \sin(\omega t) \cos \theta \quad (6)$$

Posto che $\omega = 2\pi f$, sia il valore effettivo (RMS) della forza elettromotrice rilevabile ai capi dell'antenna è quindi:

$$V_{\text{rms}} = 2\pi N A f B_{\text{rms}} \cos \theta \quad (7)$$

L'efficienza di un'antenna a loop è definita dal parametro della *lunghezza effettiva* h_e , in accordo con la seguente relazione:

$$V_{\text{rms}} = h_e \cdot E_{\text{rms}} \quad (8)$$

dove:

- V_{rms} è il valore effettivo (RMS) dell'induzione espresso in V ai capi dell'antenna
- h_e è la lunghezza effettiva espresso in m
- E_{rms} è il valore effettivo (RMS) del campo magnetico espresso in V/m

Data la relazione $f = \frac{c}{\lambda}$ e sapendo che il campo elettrico è correlato all'induzione magnetica dalla seguente relazione $E = cB$, la lunghezza effettiva dell'antenna a loop è data da:

$$h_e = \frac{2\pi N A \cos \theta}{\lambda} \quad (9)$$

dove:

- h_e è la lunghezza effettiva espressa in m
- N è il numero delle spire
- A è l'area di ogni singola spira espressa in m^2
- λ è la lunghezza dell'onda elettromagnetica in m
- ϑ è l'angolo tra le linee di campo magnetico e la perpendicolare al piano dell'antenna

Con un'antenna con nucleo in ferrite, l'induzione magnetica che attraversa l'antenna è incrementata da un fattore detto permeabilità relativa del mezzo.

La relativa equazione (9) diviene perciò:

$$h_e = \frac{2\pi N A \mu_r \cos \theta}{\lambda} \quad (9 \text{ bis})$$

dove:

- μ_e è la permeabilità effettiva mentre μ_r è quella specifica del mezzo.

Un'antenna, per poter avere un guadagno appropriato, dovrebbe essere realizzata con un cavo della lunghezza pari a mezza lunghezza d'onda. Eseguendo le operazioni matematiche sopra descritte appare chiaro che la lunghezza effettiva di un'antenna a loop è solitamente estremamente piccola rispetto alla lunghezza d'onda che si desidera ricevere. Per esempio, a 20 kHz la lunghezza d'onda è pari a 15 km, quindi è praticamente impossibile realizzare un'antenna a loop con lunghezza del cavo pari a 7,5 km. Questo implica che le antenne a loop non siano adatte a ricevere frequenze dell'ordine di pochi Hz. Per questo motivo, il secondo livello del progetto propone l'installazione di antenne dotate di nucleo ferromagnetico e avvolgimenti realizzati con accorgimenti particolari che tendano a diminuire l'effetto condensatore che si produce tra le spire dell'avvolgimento e che tende a ridurre notevolmente il rendimento dell'antenna.

Il campo magnetico induttivo attraverso il loop dipende dalla componente magnetica dell'onda elettromagnetica (chiamata H o densità del campo magnetico) e dalla permeabilità magnetica del nucleo del loop.

Il campo magnetico induttivo B è correlato alla densità del campo magnetico H dalla seguente equazione:

$$B = \mu_0 \mu_r H \quad (10)$$

dove:

- B è il valore effettivo (RMS) dell'induzione magnetica espresso in tesla ($T \equiv V \cdot s/m^2$)
- μ_0 è la costante di permeabilità del vuoto pari a $4\pi 10^{-7}$ H/m
- μ_e è la permeabilità relative e μ_r è quella specifica del mezzo
- H è il valore effettivo (RMS) dell'intensità del campo magnetico, espresso in A/m

Per un avvolgimento in aria, $\mu_r = 1$.

Per un avvolgimento su ferrite le linee di campo sono catturate dalle proprietà ferromagnetiche del nucleo e il valore di μ_r può variare tra alcune centinaia fino ad alcune migliaia

L'antenna con nucleo ferromagnetico può quindi emettere un segnale in tensione effettiva (RMS) espresso in V_{rms} derivato da una data densità effettiva di campo magnetico H_{rms} di valore calcolato dalla seguente espressione:

$$V_{rms} = 2 \pi \mu_0 \mu_r N A f H_{rms} \cos \theta \quad (11)$$

Un circuito elettrico equivalente che esprima le caratteristiche di un'antenna a loop è mostrato nella figura che segue e contiene:

- Un generatore di tensione ideale V così come definite dall'equazione (11)
- La resistenza di radiazione R_{rad}
- L'induttanza dell'antenna a loop L_{loop}
- L'induttanza del filo conduttore L_{wire}
- La resistenza elettrica del filo conduttore R_{dc}
- La resistenza elettrica derivata dall'effetto pelle e di prossimità R_{ac}

- La capacità distribuita C_{loop}

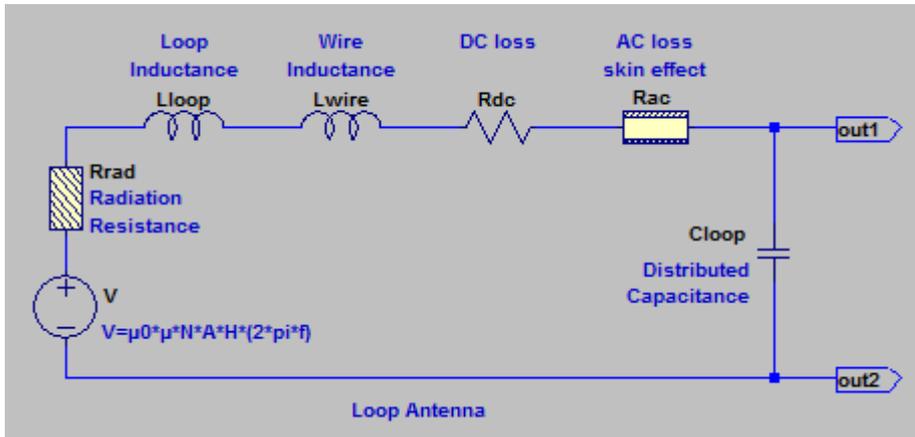


Fig. 17 Circuito elettrico equivalente di un'antenna a loop dove:

V è il generatore ideale di tensione

L_{loop} è l'induttanza dell'avvolgimento

L_{wire} è l'induttanza del cavo conduttore

R_{dc} è la resistenza del conduttore

R_{ac} è la resistenza dovuta all'effetto pelle e di prossimità

R_{rad} è la resistenza di radiazione

C_{loop} è la capacità distribuita

La resistenza, l'induttanza e la capacità distribuita influenzano il rendimento dell'antenna secondo le modalità che di seguito si descrivono.

La resistenza di radiazione corrisponde alle perdite dell'antenna durante la conversione dell'energia elettromagnetica in energia elettrica. Diversamente dalla resistenza ohmica che converte l'energia elettrica in calore, questa resistenza è virtuale e conseguentemente non genera rumore dovuto all'agitazione termica così come indicato dalla formula Johnson-Nyquist.

Il suo valore è dato dalla seguente:

$$R_{rad} = Z_0 \frac{2}{3} \pi \cdot \left(\frac{h_s}{\lambda}\right)^2 = Z_0 \frac{8}{3} \pi^3 \left(\frac{N \mu_r A}{\lambda^2}\right)^2 \quad (12)$$

dove:

- R_{rad} è la resistenza di radiazione espressa, in Ω
- Z_0 è l'impedenza dello spazio libero (about 377Ω)
- μ_r è la permeabilità relative del nucleo
- N è il numero delle spire
- A è l'area di ogni singola spira in m^2
- λ è la lunghezza dell'avvolgimento in m

Perciò dato che $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \mu_0 c = 4 \pi 10^{-7} \cdot c$, l'equazione (12) diventa:

$$R_{rad} = \frac{32 \pi^4 10^{-7}}{3 c^3} (N \mu_r A)^2 f^4 = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{3 c^3} (N \mu_r A)^2 \omega^4 \quad (13)$$

L'avvolgimento del filo conduttore di una determinata forma ha un'induttanza L_{loop} che è definita dalla seguente formula per una forma quadrata:

$$L_{\text{loop}} \approx 8 \cdot 10^{-7} N^2 w \left(\ln \left(\frac{1.4142 w N}{(N+1)l} \right) + 0.37942 + \frac{0.3333 (N+1)l}{w N} \right) \quad (14)$$

dove:

- L_{loop} è l'induttanza dell'avvolgimento espresso in H
- N è il numero delle spire
- w è la lunghezza del lato dell'avvolgimento in m
- l è la lunghezza dell'avvolgimento in m

L'avvolgimento su nucleo di ferrite avrà un'induttanza L_{loop} che è definita dalla seguente formula:

$$L_{\text{loop}} \approx \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l} \quad (14 \text{ bis})$$

dove:

- L_{loop} è l'induttanza dell'avvolgimento espresso in H
- μ_0 è la costante di permeabilità del vuoto: $4\pi 10^{-7}$ H/m
- μ_r è la permeabilità relativa del mezzo.
- N è il numero delle spire
- A è l'area di ogni singola spira in m²
- l è la lunghezza dell'avvolgimento in m

Il cavo conduttore dell'avvolgimento dell'antenna possiede un'induttanza propria. Un conduttore di lunghezza pari a $4Nw$ possiede un'induttanza L_{wire} pari a:

$$L_{\text{wire}} \approx \frac{\mu_0 \cdot (4Nw)}{2\pi} \cdot \left(2.303 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot (4Nw)}{d} \right) - 1 + \frac{\mu_r}{4} + \left(\frac{d}{2 \cdot (4Nw)} \right) \right)$$

$$\approx 2 \cdot 10^{-7} \cdot (4Nw) \cdot \left(2.303 \cdot \log \left(\frac{16Nw}{d} \right) - 0.75 + \left(\frac{d}{8Nw} \right) \right) \quad (15)$$

dove:

- L_{wire} è l'induttanza del conduttore in H.
- N è il numero delle spire
- w è la lunghezza del lato dell'avvolgimento in m.
quindi la lunghezza totale del conduttore è pari $4Nw$.
- d è il diametro del conduttore espresso in m.

Il cavo conduttore ha una resistenza che è funzione della lunghezza e del diametro. La resistenza del conduttore di lunghezza pari a $4Nw$ e di diametro d è determinata da:

$$R_{\text{dc}} = \frac{(4Nw) \cdot \rho}{\pi d^2 / 4} \quad (16)$$

dove:

- R_{dc} è la resistenza del conduttore in Ω
- N è il numero delle spire
- w è la lunghezza del lato dell'avvolgimento in m
quindi la lunghezza totale del conduttore è pari a $4Nw$.
- d è il diametro del conduttore in m. e la sezione del cavo è pari a $\pi d^2 / 4$.

- ρ è la resistenza tipica del rame in $\Omega \cdot m$. $\rho = 16.78 n\Omega \cdot m$.

Questa resistenza è una sorgente di rumore bianco così come indicato dalla formula di Johnson-Nyquist che esprime la densità della tensione spettrale del rumore bianco così come segue:

$$\overline{V}_{noise} = \sqrt{4kTR}, \text{ in } V/Hz^{1/2}.$$

k è la costante di Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T è la temperatura assoluta espresso in gradi kelvin, e R è la resistenza in ohm.

Oltre alla resistenza ohmica descritta più sopra esiste una resistenza addizionale proporzionale alle frequenze derivante dal fatto che la distribuzione della corrente alle alte frequenze non è omogenea.

La densità di corrente in prossimità della superficie del conduttore è maggiore che al centro dello stesso producendo il cosiddetto effetto pelle.

L'effetto di prossimità deriva invece dall'influenza della distribuzione di corrente di spire vicine.

L'effetto di prossimità può diventare molto più importante dell'effetto pelle ma è di difficile modellazione in quanto differenti forme geometriche delle spire influenzano grandemente il suo contributo, pertanto non verrà qui preso in considerazione dal punto di vista matematico.

La resistenza causata dall'effetto pelle deriva da:

$$R_{ac} = \frac{4Nw}{\pi d} \sqrt{\pi \mu_0 f \rho} \quad (17)$$

dove:

- R_{ac} è la resistenza dovuta all'effetto pelle in Ω
- N è il numero delle spire
- w è la lunghezza del lato dell'avvolgimento in m. quindi la lunghezza totale del conduttore è $4Nw$.
- d è il diametro del conduttore in m. Il perimetro del cavo è πd .
- μ_0 è la permeabilità dello spazio libero ($4\pi 10^{-7}$ H/m)
- f è la frequenza in Hz
- ρ è la resistenza tipica del rame in $\Omega \cdot m$. $\rho = 16.78 n\Omega \cdot m$.

La capacità distribuita equivale approssimativamente a:

$$C_{loop} \approx 3.9685 \cdot 10^{-13} \cdot \sqrt[3]{\frac{(400w)^4}{100l}} \quad (18)$$

dove:

- C_{loop} è la capacità distribuita di un'antenna a telaio di forma quadrata in F
- w è la lunghezza del lato del telaio quadrato in m
- l è la lunghezza dell'avvolgimento in m

Questa formula è altresì valida per antenne con nucleo in ferrite sostituendo w con il diametro dell'avvolgimento.

Analisi del Sistema Prediktor

Prima di analizzare il sistema di ricezione denominato Prediktor, soffermiamoci un attimo a fare alcune considerazioni sul tipo di segnale che gli apparati tesi alla ricerca di segnali di origine naturale dovrebbero trattare e decodificare. Se la tesi della dilatanza più sopra descritta è corretta, è probabile che il tipo di segnale che la roccia in fase di microfratturazione sia in grado di generare, sia del tipo impulsivo, ovvero un tipo di segnale molto simile a quello di una scintilla. La caratteristica del segnale di una scintilla è molto simile a quello di un fulmine, caratterizzato da un rimbalzo degli elettroni che tendono a percorrere più volte lo spazio esistente da un elettrodo all'altro incendiando l'aria e generando un segnale più simile ad un'onda quadra che a un'onda sinusoidale. La caratteristica tipica di tutti i segnali ad onda quadra è quella di generare un numero elevatissimo di armoniche la cui interazione alla fine genera rumore esteso su una gamma di frequenze molto estesa sullo spettro elettromagnetico. A titolo di esempio, tutti i radioamatori ma anche chi ascolta le radio in AM (modulazione di ampiezza) ben conosce l'effetto di un motorino che passa nelle vicinanze, la cui candela di accensione produce un rumore caratteristico e fastidioso che si sovrappone alla stazione sintonizzata ed è ricevibile su tutta la gamma di frequenze della radio stessa. Se questa ultima ipotesi è corretta, il segnale da rivelare è completamente diverso da quello di una tipica stazione trasmittente pubblica (broadcasting). Infatti sia le stazioni commerciali sia quelle di radiocomunicazione per scopi privati o per pubblici servizi, sfruttano una gamma di frequenza tipicamente limitata al minimo possibile per fare in modo che su una larghezza di banda assegnata al servizio vi possano coesistere un numero sufficientemente elevato di trasmissioni che l'utente finale, grazie alle caratteristiche tipiche di una radio, può selezionare e quindi ascoltare chiaramente. Le caratteristiche tipiche di una radio e che quindi forniscono informazioni sulla sua qualità quindi sono quelle relative alla selettività, (che permette di ascoltare chiaramente una emittente senza che il suo segnale sia disturbato da emittenti vicine in frequenza), la sensibilità (che permette di ricevere anche segnali di bassissima intensità), nonché altre caratteristiche che descrivono l'efficienza della circuiteria interna e che tendono ad evitare ulteriori tipologie di disturbo che possono essere create dalla circuiteria stessa. La maggior parte dei dispositivi elettronici che compongono una radio di buona qualità quindi sono quelli necessari in prima istanza ad amplificare i deboli segnali ricevuti dall'antenna, poi quelli tesi a filtrare il segnale limitando il passaggio solo delle frequenze a cavallo dell'emittente e quindi quelli tesi a rivelare e amplificare il segnale utile che originariamente è stato miscelato con la frequenza cosiddetta portante, al fine di rendere il messaggio chiaramente ascoltabile mediante un altoparlante.

Un buon ricevitore per segnali di origine naturale non ha bisogno di circuiterie particolari di filtraggio tese a selezionare il segnale utile inoltre non è neppure necessario procedere a complicate procedure per la rivelazione del segnale utile in quanto non vi è nessuna modulazione del segnale originale, anzi è solo quest'ultimo quello da rivelare o da ricercare. Un ricevitore di segnali naturali deve, in ultima analisi cercare di analizzare la presenza o meno di segnali anomali e possibilmente essere in grado di analizzare la frequenza di questi e la sua estensione nello spettro di frequenze considerato. Il metodo di ricerca che il presente progetto ha deciso di utilizzare è quindi quello costituito da un'antenna a larga banda a loop (costituita da un avvolgimento di filo di rame), un ricevitore relativamente di semplice costruzione, e da due programmi per PC che siano in grado di rivelare la presenza e l'ampiezza del segnale naturale uno e le frequenze in gioco su tutto lo spettro assegnato il secondo.

Il sistema Prediktor è un progetto di monitoraggio dei precursori sismici elettromagnetici realizzato e messo a punto da alcuni radioamatori che hanno basato le loro realizzazioni a seguito di quanto rilevato da IKOVSV Marco Eleuteri di Todi, il quale, nel 1997, ha notato un aumento anomalo del rumore di fondo sulle proprie apparecchiature riceventi in onde corte. Tale rumore di fondo, nel corso della giornata, si è esteso anche a bande di frequenza superiore coprendo, nelle ore più critiche, gli altri segnali presenti rendendoli

incomprensibili. Lo strano fenomeno è accaduto prima di un evento sismico di magnitudo pari al 6° grado della scala Richter con epicentro proprio nei pressi di Todi.

L'antenna, del sistema Prediktor, formata da un loop di un numero di spire relativamente basso (circa 60), è stato successivamente modificato e standardizzato mediante la realizzazione proposta da IV3ALA Nico Michellini e IV3NQS Riccardo Rossi, portando le dimensioni del loop a circa 75 cm di lato e il numero delle spire a 100. Tale configurazione, che risulta piuttosto limitata nella sensibilità nella gamma di frequenze tra 300 Hz e 10 kHz circa, larghezza di banda controllata dal sistema, è voluta nella considerazione che il sistema deve prevalentemente essere eccitato dai segnali di origine sismica che si presumono piuttosto forti e ad ampio spettro nella zona epicentrale così come indicato dalle rilevazioni del radioamatore di Todi, mentre le altre fonti di segnale derivanti da altri tipi di emissione prevalentemente di origine antropica, rimarrebbero più deboli in ampiezza con il risultato di limitare il più possibile la generazione di allarmi non voluti. L'antenna a loop prevede un'armatura in alluminio collegata a terra, tesa a eliminare la componente elettrica del segnale, in modo da evitare l'eccitazione dell'antenna da parte di scariche e da altri componenti elettrici impulsivi. L'antenna dovrà essere posta il più lontano possibile da ogni fonte di rumore elettrico e preferibilmente sull'esterno dell'edificio in polarizzazione verticale e orientamento nord-sud.



Fig. 18 *Prototipo di antenna per il sistema Prediktor realizzata da IV3ALA e IV3NQS*

Il ricevitore, progettato da Giuliano Sandal (I1SAF), Bruno Grassi (IK1WVG) e Adamo Mancini (IK2SBB) è costituito da una serie di amplificatori operazionali connessi al loop mediante un primo stadio connesso ai due poli del loop in configurazione bilanciata per eliminare le componenti elettriche impulsive e limitare i disturbi captabili dal cavo di connessione. Gli altri stadi del ricevitore sono degli amplificatori operazionali filtrati per permettere la ricezione della banda di segnali comprese tra 300 Hz e 10 kHz. L'ultimo stadio è preceduto da due diodi rettificatori con l'intenzione di trasformare il segnale variabile in tensione alternata ricevuto in un valore di tensione continua proporzionale all'ampiezza del segnale ricevuto. Esiste anche una seconda uscita del ricevitore con la possibilità di applicare un milliamperometro per verificare l'ampiezza istantanea del segnale in ingresso.

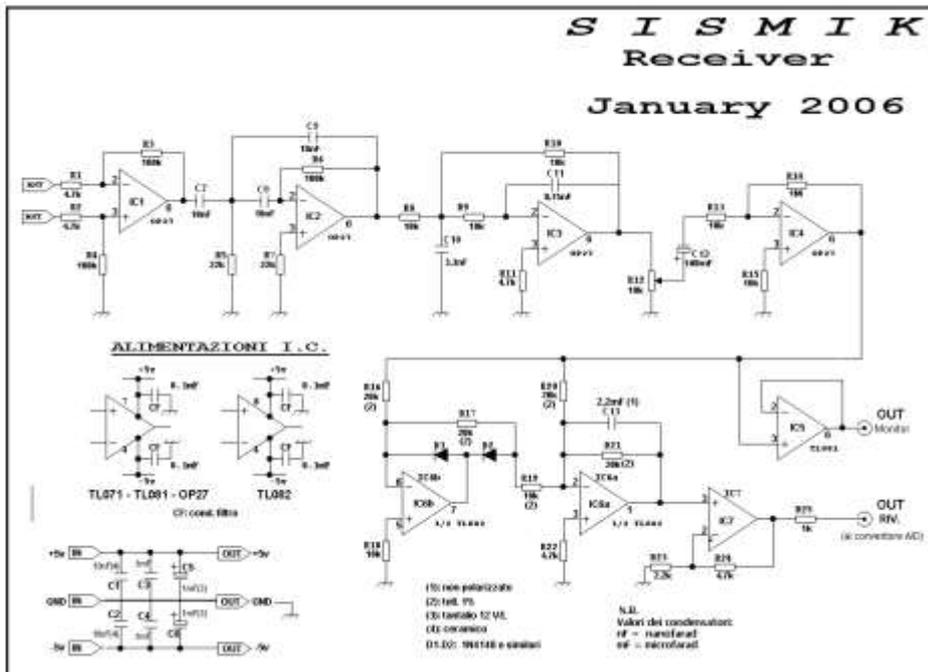


Fig. 19 Schema elettrico ricevitore del sistema Prediktor

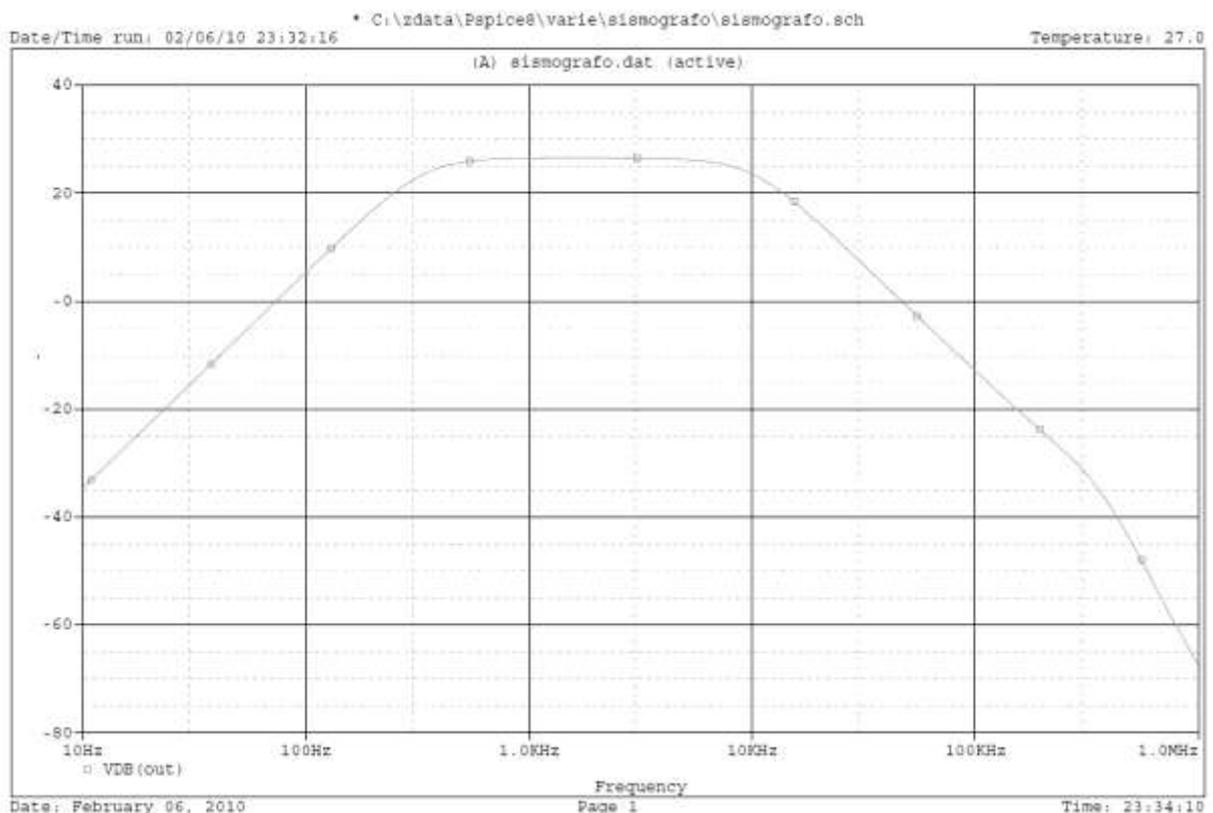


Fig. 20 Banda di frequenze passante nel ricevitore del sistema Prediktor: da 300 Hz a 10 kHz

La scheda analogico – digitale esegue la funzione di convertire il segnale in continua derivante dall'uscita del ricevitore in un codice numerico gestibile dal personal computer mediante il software Prediktor, con una dinamica a 8 bit. Al fine della riduzione del rumore derivante dalla connessione delle masse del ricevitore con quelle del PC, sono stati inseriti dei foto accoppiatori tra l'uscita della scheda A/D e l'ingresso della porta seriale del computer. Sempre allo scopo di limitare l'aumento di rumore, il foto accoppiatore

predisposto al segnale in uscita è alimentato con una tensione indipendente, infine lo stadio alimentazione deve essere posizionato in una scatola metallica connessa a terra, posizionata a distanza sia dell'antenna sia del ricevitore, quest'ultimo sarà essere posto in un apposito vano adiacente il loop dell'antenna.

Tale configurazione ha mostrato però la tendenza dei foto accoppiatori ad essere danneggiati da scariche elettriche durante i temporali, derivanti probabilmente dal PC.

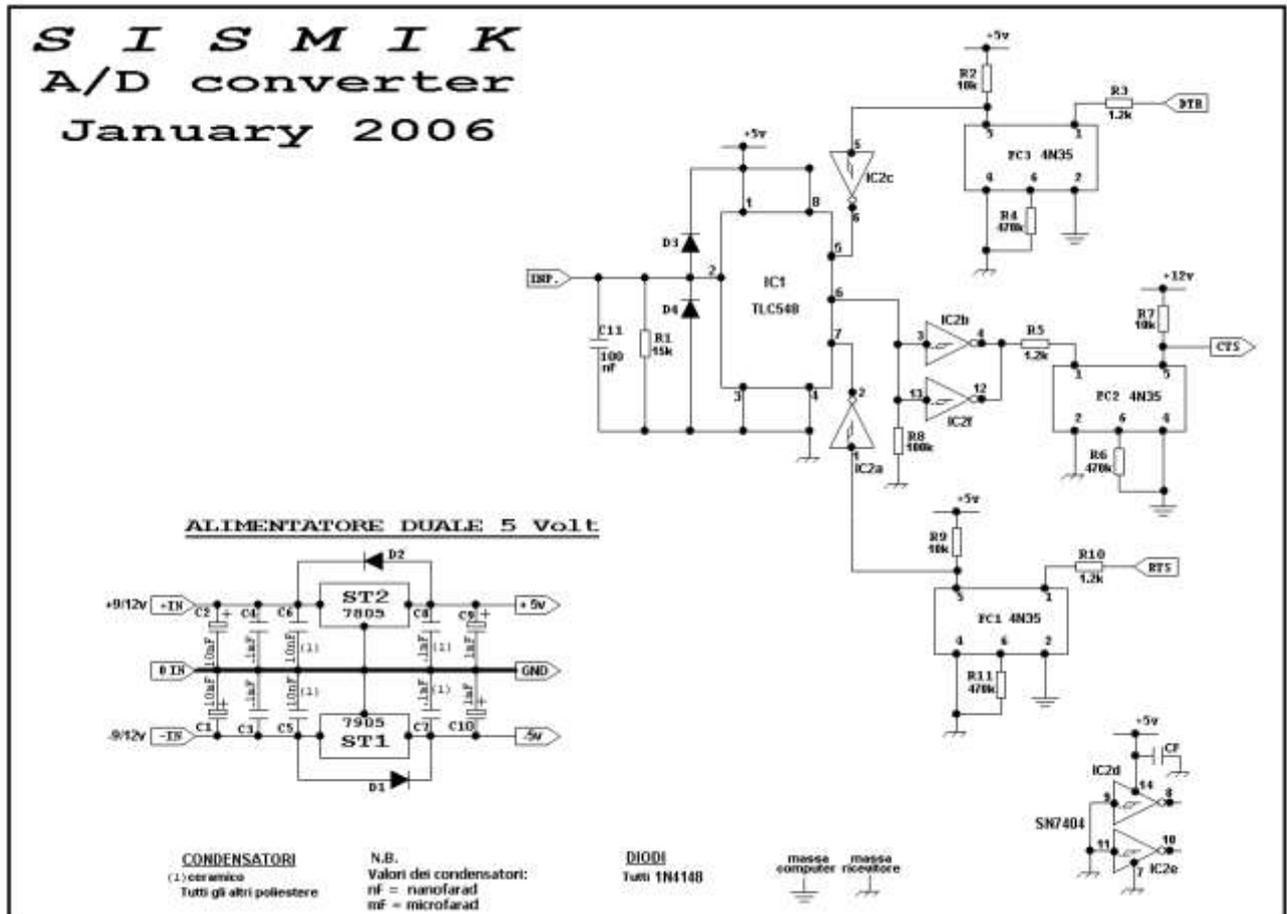


Fig. 21 Schema elettrico del convertitore A/D del sistema Prediktor

Il software Prediktor, progettato da Roberto Violi (IK1XHH), preleva tipicamente il livello di segnale ricevuto ogni 7 secondi e produce una traccia visibile in una finestra di monitor. Caratteristica principale del software è la soglia dinamica che prevede l'inseguimento lento dell'ampiezza del rumore di fondo ricevuto nella considerazione che questo si modifica in funzione delle variazioni delle condizioni ionosferiche e atmosferiche connesse alla propagazione dei segnali elettromagnetici. L'effetto della soglia variabile quindi prevede la non suscettibilità del software riguardo alle variazioni lente dell'ampiezza del segnale di fondo, mentre lo stesso dispositivo prevede la misurazione dei segnali ad ampio spettro con variazione rapida in ampiezza che dovrebbero essere tipici delle emissioni di segnale dovuti ai fenomeni di dilatanza delle rocce cristalline (Mognaschi).

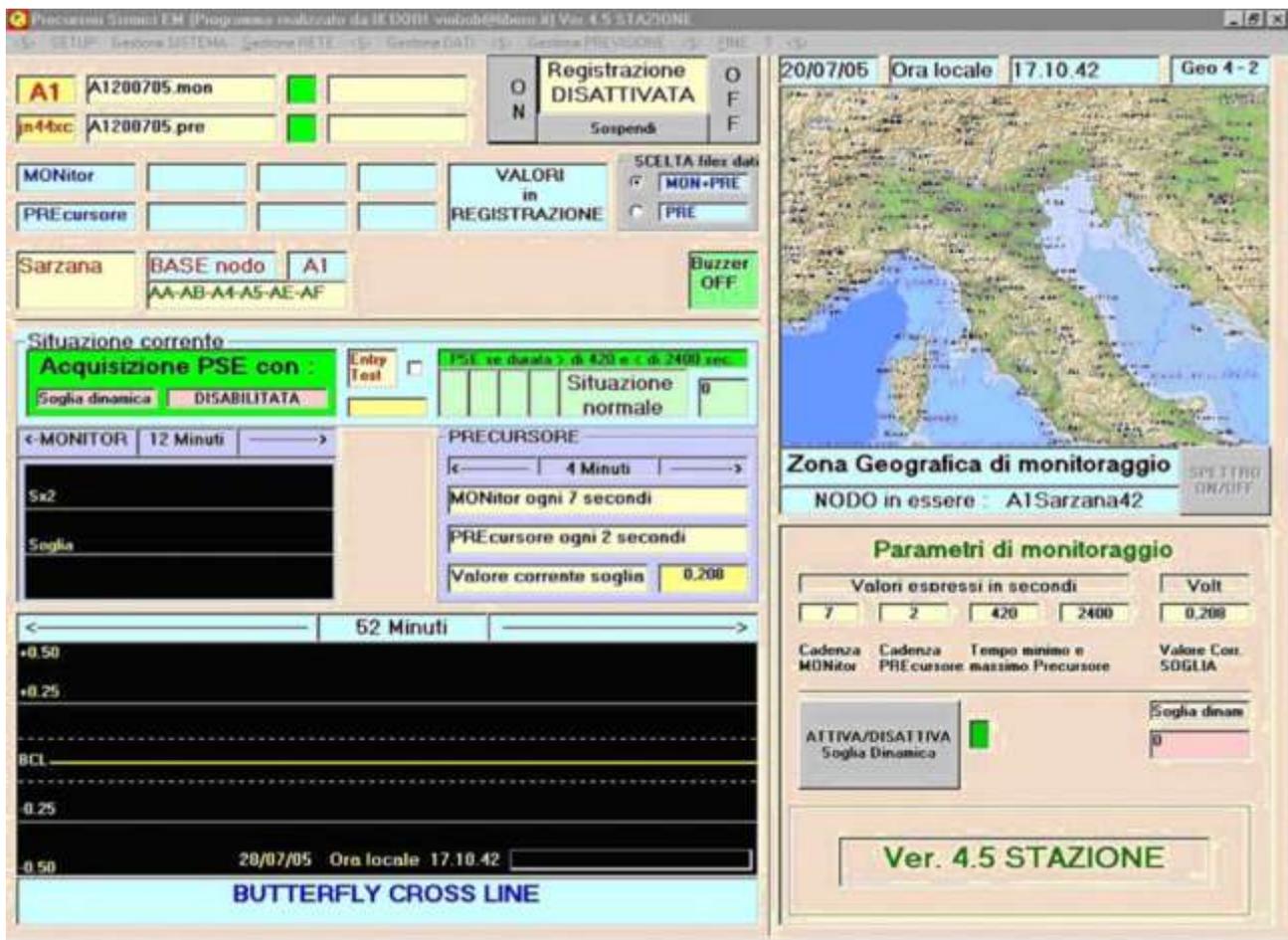


Fig. 22 Schermata iniziale del software Prediktor

La necessità di identificare con alta probabilità i segnali di possibile origine sismica da quelli di altra natura, ha portato il progettista del software e il gruppo di lavoro che ha prodotto il sistema Prediktor, a considerare come potrebbero essere visualizzati dal software, i segnali utili. Questi quindi dovrebbero avere una durata minima e una massima in considerazione che un fenomeno di dilatanza in atto si produce a seguito di fatturazione di una zona sismicamente attiva e in prossimità di un evento significativo (si presuppone che segnali utili e identificabili antecedenti un evento sismico possano essere quelli che precedano un sisma di magnitudo almeno intorno a quarto grado della scala Richter – si suppone che eventi più modesti non necessariamente debbano essere preceduti da fenomeni di dilatanza). Durante alcune sessioni di prova del sistema, durate alcuni mesi, posizionando lo stesso in una zona sismicamente attiva e relativamente lontana da possibili segnali interferenti (Pian del Consiglio) nonché all'interno del piano interrato di un fabbricato costruito in pietra, ha prodotto pochissimi segnali di allarme e soprattutto facilmente eliminabili a seguito di esame specifico a causa della durata estremamente ridotta. Si precisa che in tale zona durante tutto il periodo di prova non si sono rilevati eventi significativi.

Un'ulteriore possibilità di verifica del segnale rilevato è quello del confronto con altre stazioni analoghe. Si può ragionevolmente presumere infatti che un segnale interferente locale non possa colpire con analogo risultato due o più stazioni (con la sola eccezione di segnali di origine ionosferica). Inoltre il segnale sismico eventualmente ricevuto dovrà avere forma simile ma non identica su più stazioni e ricevuto allo stesso orario. Queste necessarie caratteristiche rendono statisticamente molto difficile che un segnale ricevuto da più stazioni distanti tra loro possa essere una semplice interferenza, inoltre qualora venga attivata la procedura di localizzazione, sempre statisticamente parlando, è alquanto improbabile che questa procedura dia dei risultati positivi partendo da segnali casuali o da interferenze.

Segnali già rilevati con il sistema Prediktor

L'installazione di alcune stazioni di prova del sistema Prediktor, hanno generato pochi ma interessanti segnali che potrebbero essere correlati a eventi sismici. In particolare prima dell'evento avvenuto in data 23.11.2004 nella zona di Brescia di magnitudo 5 R da una stazione posta a Sarzana (SP), che di seguito si riporta.

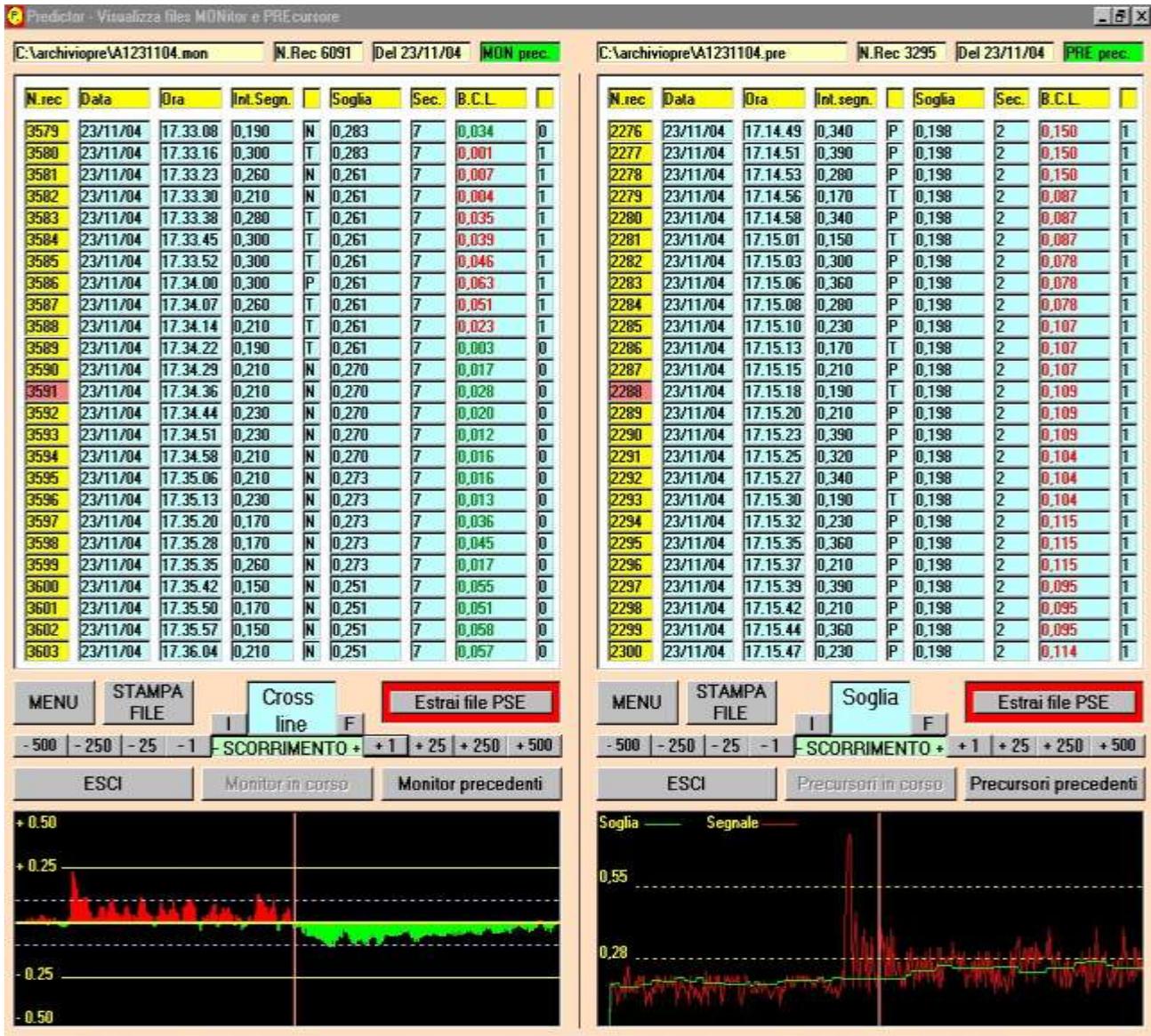


Fig. 23 Un possibile precursore rilevato in data 23/11/04 alle ore 17 circa (alle ore 23.59 dello stesso giorno si ebbe un evento sismico nella zona di Brescia con intensità di oltre il 5 grado della scala Richter)

Inoltre la sezione ARI di Fidenza (PR) durante circa un anno e mezzo di attività è stata in grado di ricevere segnali, che si riportano, forse correlabili ai relativi eventi.



Fig. 24 Presunto precursore sismico del terremoto registrato nel Nord Italia – Appennino Tosco Emiliano, il giorno 23 Dicembre 2008, alle ore 15:25 UTC e profondità pari a 28 km.

Il sistema ha registrato il probabile precursore con inizio alle ore 7:30 circa (quindi con un anticipo di circa 9 ore sull'evento sismico).

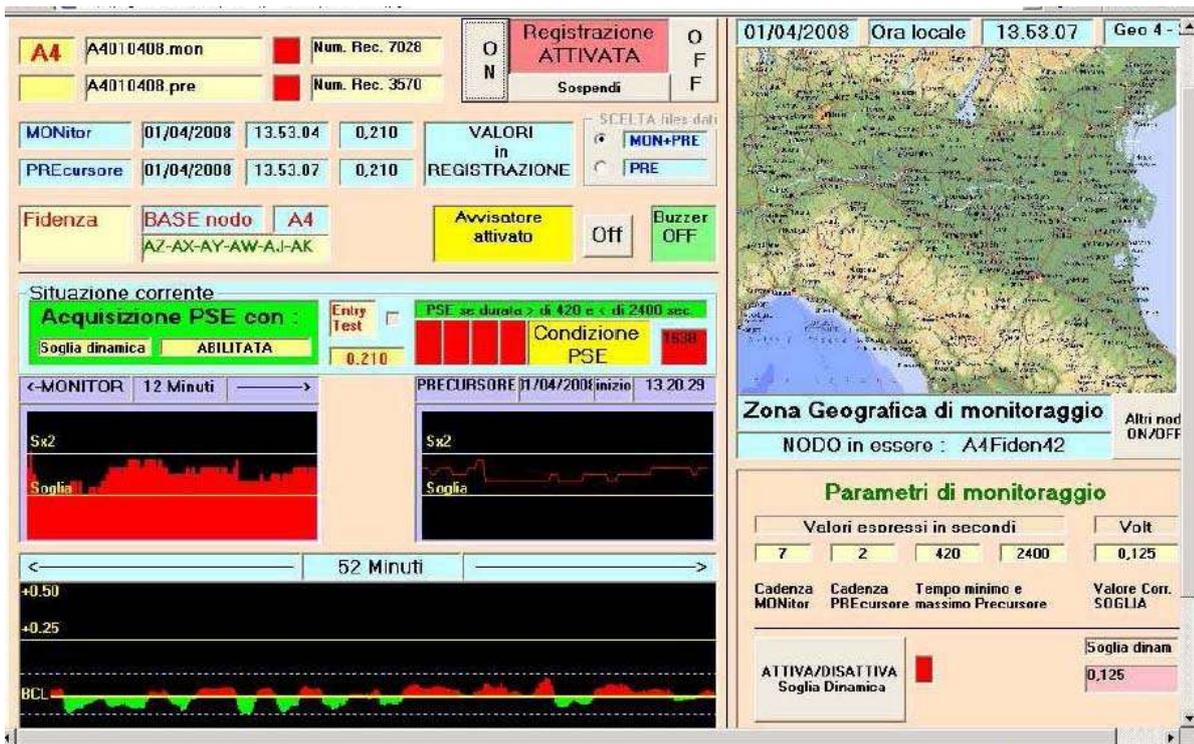


Fig. 25 Presunto precursore sismico della scossa verificatasi il 1 Aprile 2008 ore 19:43 UTC con epicentro nelle alpi Marittime: di magnitudo ML 2.3 e profondità 10 km

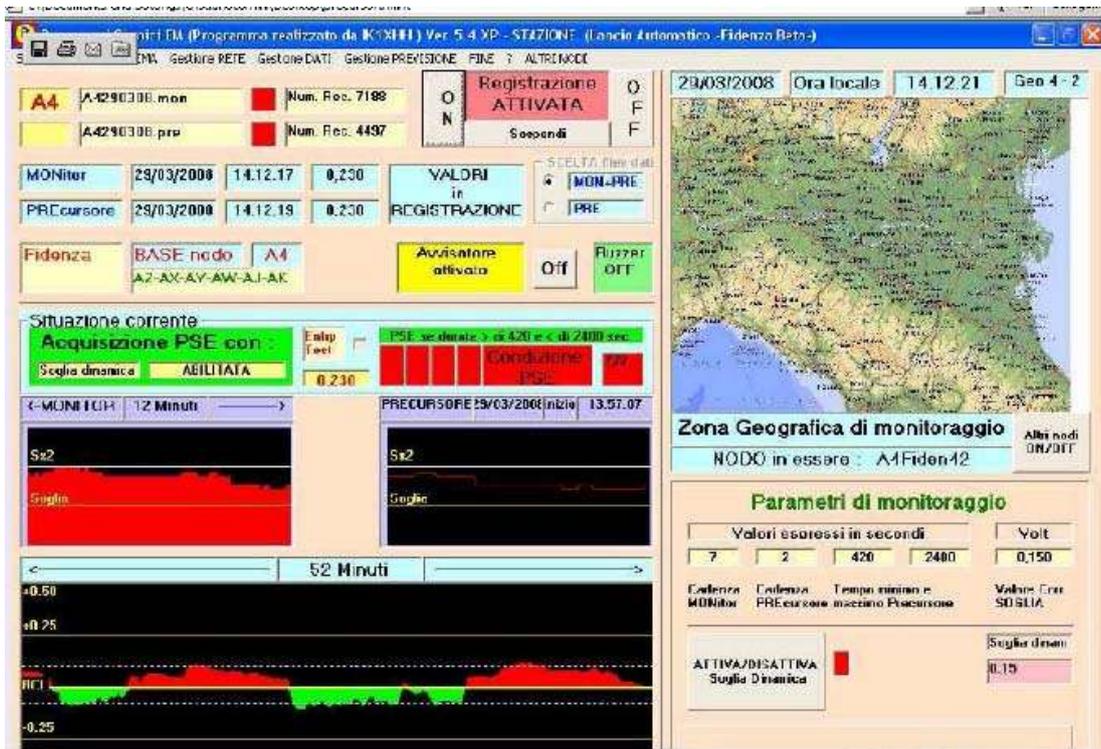


Fig. 26 Presunto precursore sismico della scossa verificatasi il 29 Marzo 2008 con epicentro nell'Appennino tosco-emiliano alle 18:19 UTC, con magnitudo 2,5 e profondità pari a 18 Km.

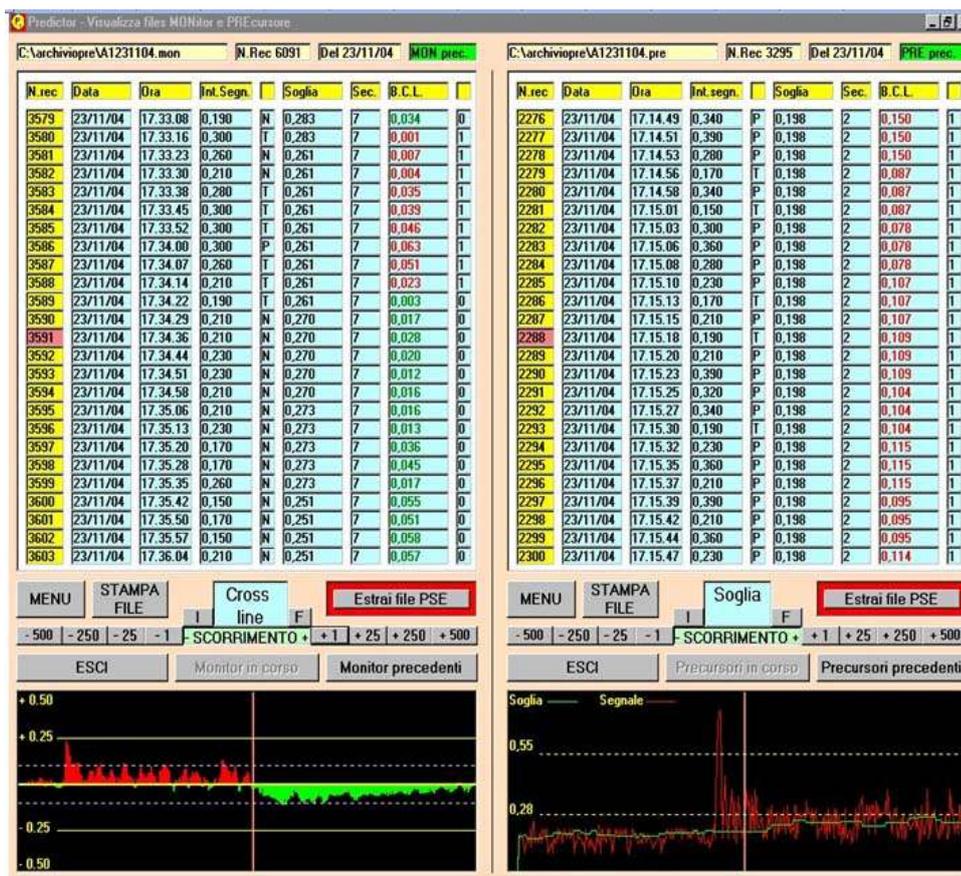


Fig. 27 Un probabile precursore rilevato in data 23/11/04 alle ore 17 circa dalla stazione di Sarzana (SP) (alle ore 23.59 dello stesso giorno si ebbe l'evento sismico della zona di Brescia con intensità di oltre il 5 grado della scala Richter).

Purtroppo la mancanza di altre stazioni limitrofe in grado di confermare o smentire i dati raccolti rende tali dati solo una semplice curiosità, inoltre il segnale rilevato in corrispondenza oraria dell'evento sismico può significare unicamente che il sistema è sufficientemente sensibile, tuttavia è molto probabile che il segnale generato sia dovuto alla microfonicità dell'antenna immersa in un campo magnetico. Infatti qualora il campo magnetico sia rimasto fisso durante l'evento, le vibrazioni dell'antenna generate da quelle del suolo giustificerebbero il segnale ricevuto, diversamente, qualora il campo magnetico terrestre sia stato perturbato dall'evento sismico, l'antenna avrebbe ricevuto quest'ultima perturbazione del campo, ma senza fornire tuttavia ulteriori informazioni utili.

Peculiarità del sistema Prediktor

Le caratteristiche positive del sistema sono la semplicità di costruzione e messa in funzione, la reperibilità dei componenti, e la possibilità di utilizzare un PC di recupero a causa della bassa richiesta di risorse del sistema. Il software inoltre prevede la interessante possibilità di analizzare i segnali derivanti da più stazioni effettuando una triangolazione che identifica la probabile zona di emissione. La possibilità di gestione di ogni stazione della rete inserendo di parametri di correzione direttamente dal gestore, e la visualizzazione in cartine geografiche completa il software.

Limiti del sistema Prediktor

I limiti del sistema Prediktor sono quelli tipici di una realizzazione amatoriale cioè: la dinamica a 8 bit e quindi la visualizzazione del segnale limitata, la mancanza della visualizzazione dello spettro del segnale ricevuto, la mancanza di un manuale completo e la relativa difficoltà di gestione del programma stesso che richiede un corso appropriato anche se breve, per raggiungere le competenze necessarie a gestire una rete. Inoltre la necessità di utilizzare le porte seriali RS232 e la mancanza della possibilità di utilizzo delle porte USB negano la possibilità di utilizzare PC portatili.

Sviluppi del sistema di monitoraggio

La necessità di aumentare la flessibilità della rete e la possibilità di fornire dati più completi e scientificamente gestibili ad un più alto livello, ha portato a considerare attentamente le critiche al progetto che sono state avanzate e alcune proposte, che suggeriscono tra l'altro, di utilizzare il programma Spectrum Lab, software in grado di analizzare in tempo reale e a 16 bit, una gamma di frequenze compresa tra il limite minimo della scheda audio utilizzata (circa 10 Hz) e 24 kHz, frequenza limite derivata dal campionamento a 48 kSPS tipica di una scheda audio. Ulteriori suggerimenti comprendono la modifica della risposta del ricevitore, rendendo lo stesso più adatto al suo accoppiamento con il nuovo software. Le modifiche proposte comprendono la variazione dei filtri di frequenza configurando gli stessi quali passa basso e portando il limite superiore a 24 kHz.

Tali modifiche metterebbero in grado il ricevitore di restituire un segnale analizzabile in continuo su uno spettro ben più ampio mettendolo in grado di ricevere anche i segnali derivanti dai flare solari posizionati in una gamma di frequenze vicine alla soglia superiore del sistema. Inoltre eventuali segnali di origine sismica sarebbero analizzati in modo scientificamente più completo, potendo verificare non solo l'ampiezza, ma anche le frequenze interessate dal fenomeno con una visualizzazione in 3 dimensioni (frequenza su tutta la gamma passante, ampiezza dei singoli segnali nel tempo).

Anche per la parte antenna sono state suggerite delle caratteristiche diverse. Al fine di aumentare la sensibilità della stessa e renderla più adatta all'analisi delle frequenze più basse, la stessa dovrebbe avere una induttanza maggiore e quindi avere maggiori dimensioni ovvero un considerevole numero di spire (fino a 800 nel caso che le dimensioni fossero quelle dell'antenna iniziale del sistema Prediktor).

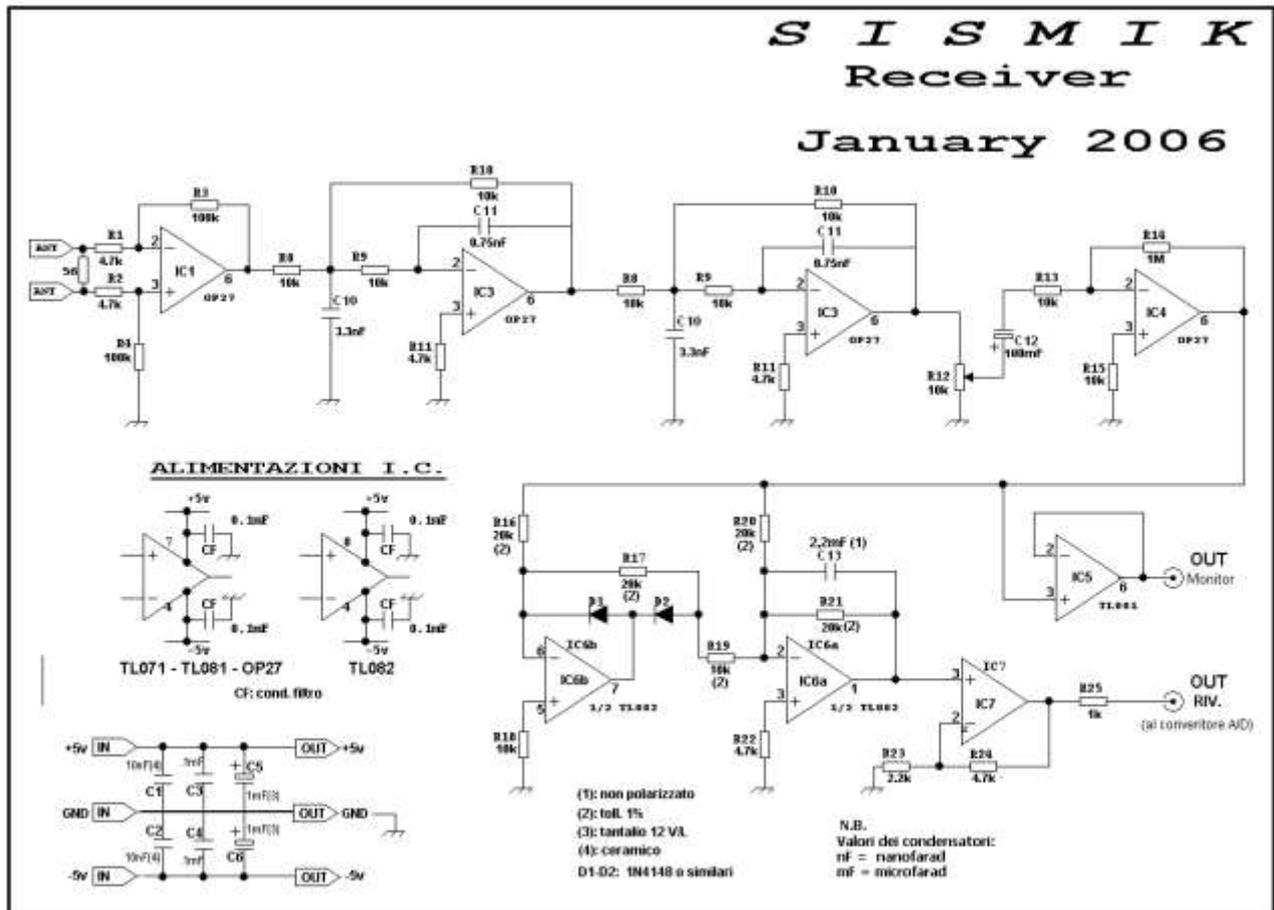


Fig. 28 Schema modificato del ricevitore Prediktör con banda passante da 0 a 24 kHz

Considerazioni in merito alle modifiche

Le modifiche al progetto proposte sono state dettate da considerazioni provenienti da punti di vista molto diversi circa le modalità più appropriate per l'acquisizione del segnale, tuttavia, posto che ogni critica va valutata attentamente e senza pregiudizi sotto il profilo tecnico scientifico, si è ritenuto di apportare al progetto solo alcune delle modifiche suggerite.

In particolare si ritiene importante ampliare il progetto con l'utilizzo di un programma in grado di registrare l'intero spettro di segnale disponibile entro la gamma compresa da 0 a 24 kHz. Tale registrazione infatti permetterebbe di valutare in maniera opportuna qualsiasi variazione di segnale, e soprattutto la sua evoluzione, su tutte le frequenze prese in esame, prima di un evento sismico rilevante che si presenti. Invece, un aumento notevole delle spire del loop dell'antenna ricevente si ritiene che potrebbe essere controproducente, infatti l'effetto capacitivo e di prossimità tra le spire potrebbe indurre una diminuzione dell'efficienza rispetto a quella attesa. Inoltre con la configurazione attuale, si intende privilegiare i segnali locali, che si ritengono di ampiezza sufficiente ad eccitare l'antenna, la quale, a causa proprio della sua limitata sensibilità, dovrebbe essere meno influenzata da segnali lontani più deboli.

E' da considerarsi a questo proposito che gli studi attuali, ma anche i dati indicati dagli stessi radioamatori che hanno rilevato interferenze radio prima del sisma di Perugia del 1997, hanno indicato che tali interferenze erano ben rilevabili in prossimità della zona epicentrale ma che in zone non molto distanti (Roma) tali interferenze non si sono affatto percepite.

Di tali interferenze, ovvero di segnali analoghi, non si è avuta notizia prima dell'evento de L'Aquila del 06 aprile 2009. Un possibile motivo di tale mancanza potrebbe essere costituito dal fatto che i segnali

elettromagnetici riferibili, potrebbero verificarsi con tempistiche limitate e quindi non suscettibili di adeguata attenzione da parte degli operatori radio, tuttavia la lunga sequenza sismica con la presenza di eventi anche di una certa energia (oltre 4° Richter) avrebbe dovuto produrre segnali comunque rilevabili. Inoltre, pur avendo notizia di alcune stazioni dotate di magnetometri posizionate proprio nei pressi de L'Aquila dall'INGV, non si è trovata notizia di eventuali anomalie registrate dagli stessi.

Variante n. 1 al progetto ARI - SDT – Segnali dalla terra – Livello 1

Le critiche e i suggerimenti avanzati hanno necessitato una valutazione attenta delle modifiche possibili al progetto considerato che l'innalzamento del livello tecnologico non sempre diventa possibile senza un aumento considerevole delle risorse necessarie alla realizzazione dello stesso.

Si è quindi ritenuto opportuno innanzi tutto rivedere il progetto del ricevitore adottando alcune delle modifiche proposte e modificando i limiti dei filtri operazionali posizionando la frequenza limite superiore a 24 khz.

L'uscita monitor del ricevitore viene quindi predisposta per questa nuova funzione, riprogettando il circuito in modo tale che da questa uscita sia disponibile un segnale in alternata da inviare alla scheda audio del PC e quindi adatto per essere analizzato con il software Spectrum Lab. La quantità di registrazione che si ritiene utile al fine di un'analisi del segnale da effettuarsi a posteriori in caso di evento ammonta a circa 30 – 45 giorni prima dell'evento. Tale periodo temporale si rivela utile per verificare il comportamento della stazione prima di un evento e ricercare eventuali segnali precursori. Tempistiche più lunghe non si ritengono opportune se non in fase di avviamento della stazione al fine di verificare il comportamento tipico. Si dovrà quindi reperire un software in grado di eliminare automaticamente i files più vecchi di 45 giorni.

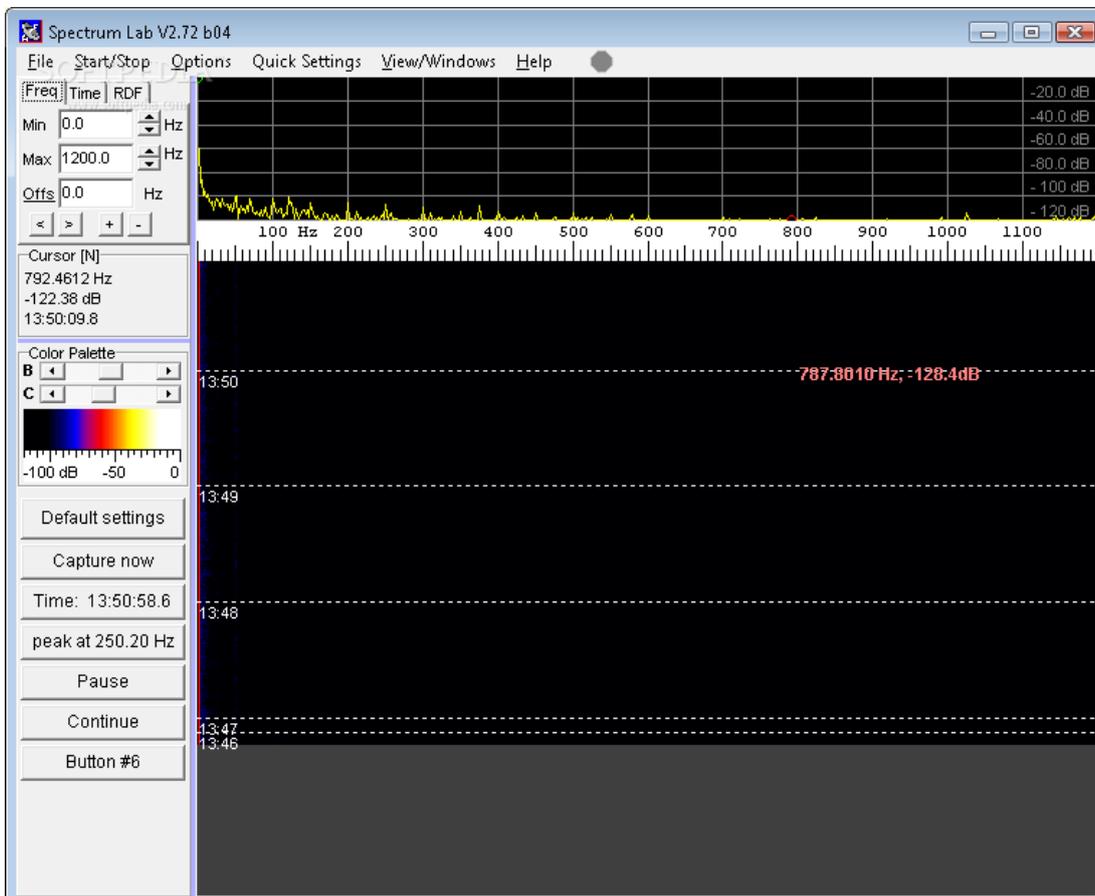


Fig. 29 Schermata iniziale del programma Spectrum Lab

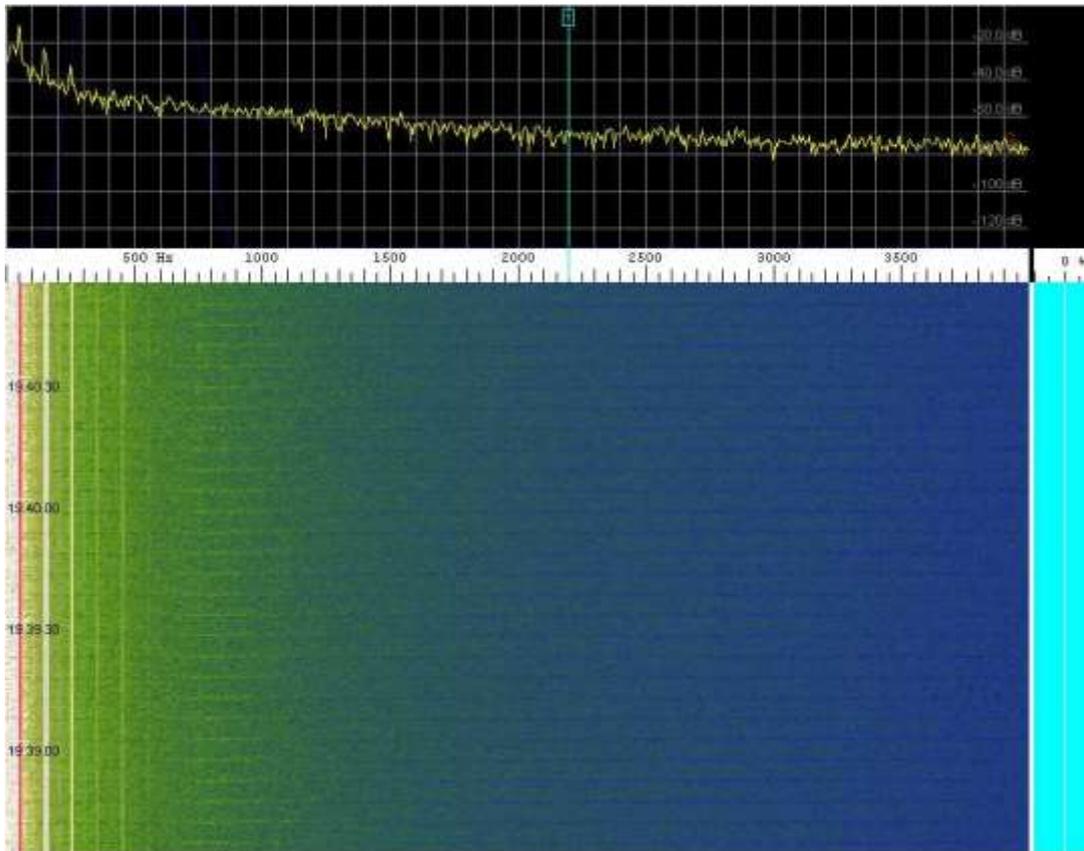


Fig. 30 Il programma Spectrum Lab in azione con le modifiche al ricevitore proposte

L'antenna è stata rivisitata a cura di Marco Toni IZ4MZJ, al fine di progettare un sensore adeguato per una sensibilità maggiore rispetto a quella prevista dal sistema Prediktor. Il risultato finale delle considerazioni è costituito da un sensore magnetico a loop della dimensione di 1,20 m e con 80 spire di filo di rame con caratteristiche tali da evitare l'effetto condensatore tra le spire che ridurrebbe di fatto la sensibilità dell'antenna. L'ampiezza del loop e il numero delle spire non eccessive, sono state scelte in considerazione della necessità dell'antenna di rilevare prioritariamente i segnali locali di origine naturale ed essere meno sensibile a segnali lontani di origine antropica.

Sarà oggetto di studio anche la possibilità di realizzare un software di interfaccia tra Spetrum Lab e Prediktor al fine di sfruttare la possibilità di quest'ultimo di effettuare la localizzazione del punto di emissione dei segnali eventualmente ricevuti mediante triangolazione.

Il software Prediktor verrà comunque utilizzato, in considerazione anche del fatto che le risorse di sistema necessarie sono esigue e quindi non comporterebbero malfunzionamenti di Spetrum Lab, inoltre, data la caratteristica tipica del sistema di valutare il segnale nel suo insieme e di fornire limitati segnali d'allarme nel tempo, ciò potrebbe costituire un'ulteriore fattore di valutazione (anche se di informazione limitata così come visto più sopra) in caso di rilevazioni. Infine potrebbe costituire un sistema simile a quello utilizzato in sismologia ove si affianca sensori ad alta sensibilità con altri a sensibilità più bassa (strong motion) per valutare segnali che in caso di evento possono saturare il sistema principale. Infine, l'utilizzo del sistema Prediktor in parallelo a quello dello Spetrum Lab si rende necessario al fine di verificare la sua potenzialità di calcolare la zona di emissione dei segnali.



Fig.31 Possibile candidato di evento precursore sismico registrato a Atene da Dionysios Dimakos (SV1ZJ) - Evento del 29.4.2003, Magnitudo 5 Richter a circa 230 km SW di distanza.

Fonte: www.vlf.it

La diffusione delle stazioni con la configurazione così come sopra proposto è la stessa prevista per il progetto originale. E' prevista infatti l'installazione di una trentina di stazioni poste in prossimità delle zone sismiche della penisola, fatta salva la disponibilità delle sezioni ARI posizionate in prossimità delle stesse, di collaborare attivamente al progetto. Tuttavia è anche prevista la possibilità di realizzare una rete più capillare in determinate aree, avvalendosi dell'eventuale collaborazione di altri singoli radioamatori i quali però dovranno realizzare antenne e apparecchiature simili a quelle richieste dal progetto.

Progetto ARI - SDT – Segnali dalla terra – Livello 2

Il secondo livello del progetto prevede di individuare, in tutta Italia, tre o quattro località il più possibile lontane da disturbi antropici, poste in corrispondenza di zone sismo genetiche attive, in cui posizionare dei magnetometri per analizzare le frequenze tra 0,01 a 25 hz. Attualmente il gruppo di coordinamento sta analizzando la possibilità di realizzare tali strumenti limitando il costo al minimo indispensabile pur mantenendo caratteristiche adeguate al tipo di ricerca che ci si propone e sta verificando la possibilità di realizzare un'interfaccia che consenta di collegare il sensore ad uno dei canali di una stazione sismica della rete FESN-IESN. Tali stazioni attualmente sono in grado di analizzare segnali con una dinamica da 18 a 24 bit, registrando il segnale integralmente e mantenendo lo stesso disponibile per una durata media di 30 giorni (comunque settabile a piacere). I segnali utili possono quindi essere estrapolati fino a trenta giorni prima di un evento e sono analizzabili integralmente con lo stesso software che analizza gli eventi sismici, con la possibilità di verificare spettro, frequenze, utilizzando filtri digitali e integrazioni di Fourier. Le stazioni ARI-FESN sono diffuse in numerose zone sismo genetiche in tutta Italia. La prima stazione di prova potrà essere quella del Monte del Giogo in provincia di Parma, che sarà munita anche di un sismografo per confrontare direttamente i dati ottenuti.

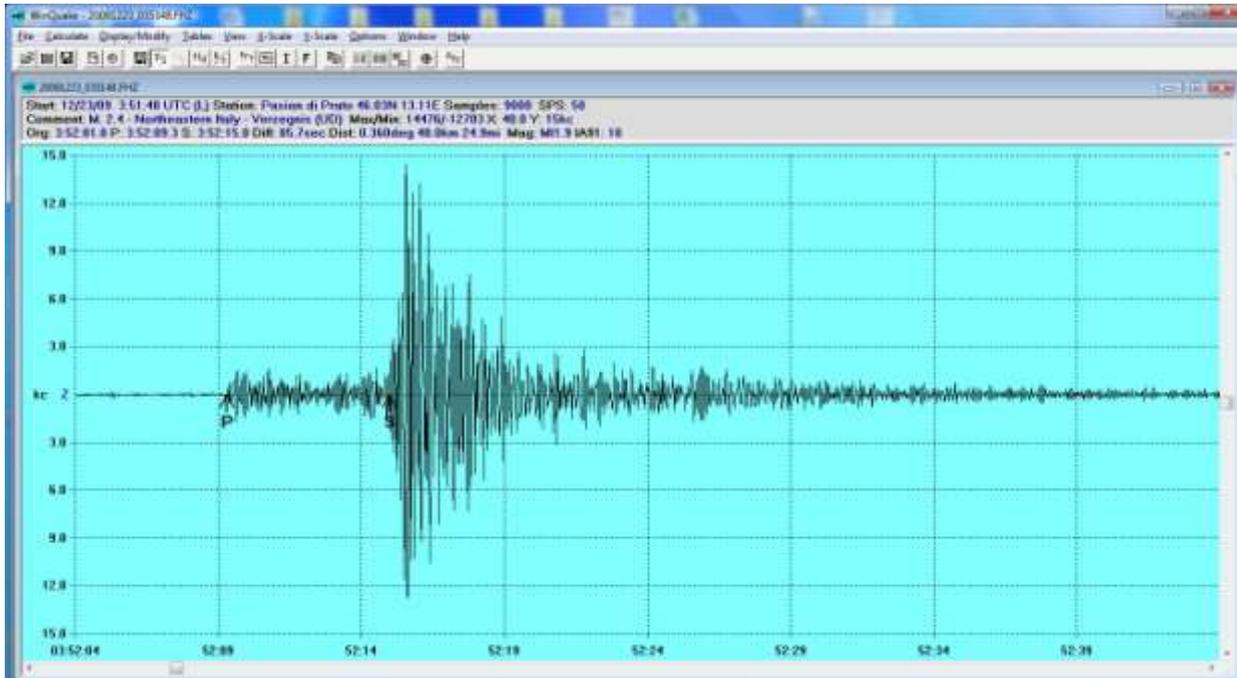


Fig. 32 Esempio di analisi di un tracciato sismico con il programma Winquake (Shareware)

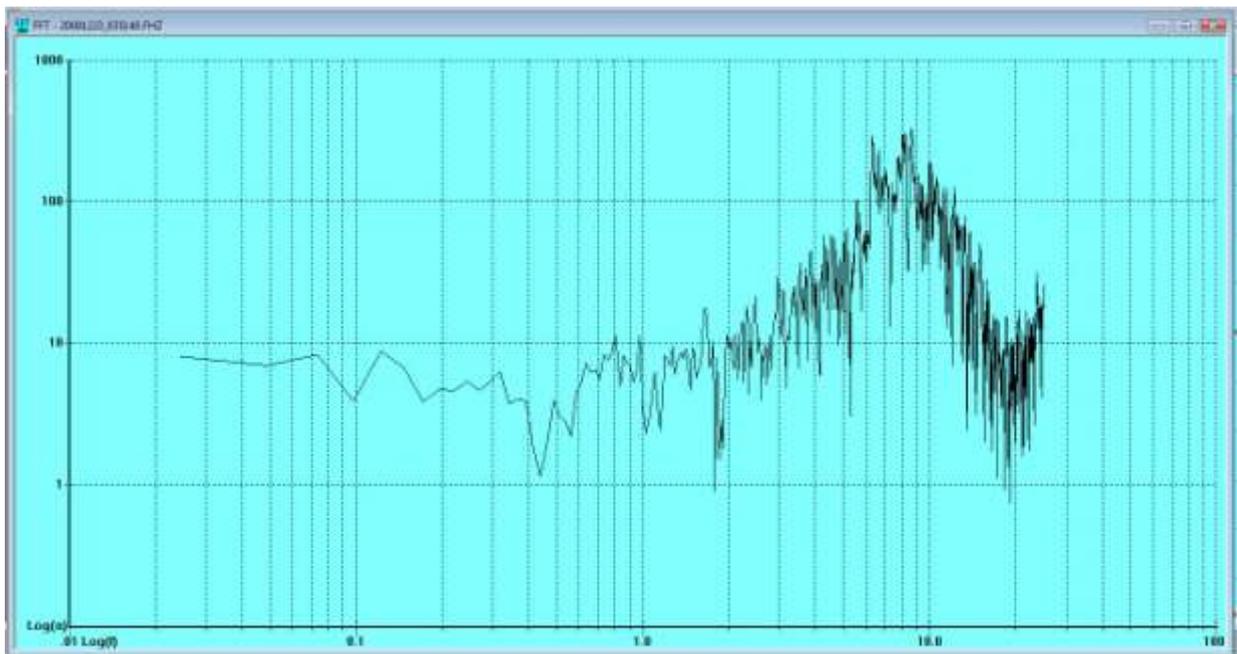


Fig. 33 Esempio di analisi dello spettro di un tracciato sismico con il programma Winquake (Shareware)

Progetto ARI - SDT – Segnali dalla terra – Livello 3

Si è pensato anche di realizzare un terzo livello di studio che, integrando il progetto così come proposto e descritto nei punti precedenti, potrebbe fornire dati altrettanto interessanti. Il 3° livello prevede l'installazione di tre o quattro stazioni di monitoraggio delle correnti elettriche superficiali del terreno, che potrebbero contenere dati utili. I riferimenti in letteratura per tale progetto, sono quelli del prof. Constantine Thanassoulas, ricercatore che ha un'esperienza di circa 10 anni in questo settore e che descrive dettagliatamente sistema e risultati ottenuti nel suo libro: Short Term Earthquake Prediction.

L'installazione di stazioni di questo tipo potrebbe essere realizzata con la sua collaborazione e supervisione e i dati ottenuti potrebbero essere valutati dallo stesso ricercatore. L'installazione prevede il

posizionamento di sensori interrati posti in configurazione a "L" i cui lati dovrebbero essere lunghi non meno di cento metri ed essere connessi ad un circuito elettronico di amplificazione e di conversione digitale con dinamica ad almeno 12 bit per essere registrati e analizzati con un PC. Tale livello, qualora si rendesse possibile rilevare le aree adatte e le collaborazioni necessarie, sarà preso in considerazione non prima di aver realizzato le prime due fasi del progetto stesso.

Progetto ARI - SDT – Ulteriori sviluppi

Il progetto SDT- Segnali dalla Terra, è stato pensato per costituire un'impianto permanente, gestito da radioamatori, e come tale è potenzialmente in grado di svilupparsi ed evolvere sia nella strumentazione adottata sia nelle tecniche software di acquisizione e analisi. L'implementazione di tecnologia potrà essere possibile in ogni momento salvo che tale implementazione si sia rivelata valida ed opportuna mediante prove sul campo e soprattutto dal costo sostenibile. Quello che si desidera verificare e dimostrare, infatti, è la possibilità di effettuare ricerca scientifica anche da parte di volontari appassionati che unitamente possano mettere a frutto le proprie esperienze e competenze in diversi campi, permettendo quindi l'evoluzione di progetti grazie alle proprie idee e sperimentazioni sul campo.

Ringraziamenti

Si ringraziano per aver collaborato con diverse modalità alla realizzazione di questo progetto, Elvira Simoncini IV3FSG, l'ARI nazionale e i comitati regionali ARI che hanno approvato l'idea, i collaboratori della FESN, l'Amministrazione comunale di Pozzuolo del Friuli, le sezioni ARI che hanno già aderito al progetto e tutti coloro che in qualche modo hanno contribuito al suo sviluppo, compresi coloro che ne hanno evidenziato i limiti con fare corretto e professionale.

Referenze bibliografiche

Balassanian S., Muoradian A., Sahakian A., Kalinin S., Babayan M., Pogossian A., 1997 – The investigation of electromagnetic precursors to earthquakes in Armenia. Annali di geofisica, Vol. XL, n. 2 March 1997 pp. 209-225.

Biagi P.F., Piccolo R., Ermini A., Martellucci S., Bellecci C., Kayakawa M., Kingley S.P. – 2001 – Disturbance in LF radio-signals as seismic precursors - Annali di geofisica, Vol. 44, n. 5/6 October/December 2001 pp. 1011-1019.

Colangelo G., Heinicke J., Lapenna V., Martinelli G., Mucciarelli M., Telesca L., - 2007 – Investigating correlations of local seismicity with anomalous geoelectrical, hydrogeological and geochemical signals jointly recorded in Basilicata Region (Southern Italy)- Annali di geofisica, Vol. 50, n. 4 August 2007 pp. 527-538.

Enescu D. - Geomagnetic anomalies – possible earthquake precursors – linked with 2004 significant seismic activity in Vrancea (Romania)

http://www.nipne.ro/rjp/2006_51_9-10/1011_1013.pdf

Fedotov S., Dobilkina N., Morozov V., Myachkin V., Preobrazensky V., Sobolev G., 1970. Investigation on earthquake prediction in Kamchatka. Tectonophysics, 9, pp. 249-258.

Hattori K., Serita A., Gotoh K., Yoshino C., Harada M., Isezaki N., Hayakawa M., 2004 – ULF geomagnetic anomaly associated with 2000 Izu Islands earthquake swarm, Japan. Physics and Chemistry of the Earth, 29, pp. 425-435.

Hayakawa M., Kawate R., Molchanov O. A., Yumoto K. – 1996 – Results of ultra-low-frequency magnetic field measurements during the Guam earthquake of 8 August 1993.

<http://www.agu.org/pubs/crossref/1996/95GL02863.shtml>

Molchanov O. A., Hayakawa M. – 1995 – Generations of ULF electromagnetic emissions by microfracturing – *Geophysical Research Letters*, Vol. n. 22, n. 22, pp. 3091-3094 – November 1995.

O.A. Molchanov, M. Hayakawa, T. Oudoh, E. Kawai – 1998 - Precursory effects in the subionospheric VLF signals for the Kobe earthquake - *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 105 _1998. 239–248

Nomikos K., Vallianatos F., Kaliakatsos I., Sideris E., Bakatsakis M., - 1997 – The latest aspects of telluric and electromagnetic variations associated with shallow and intermediate depth earthquakes in the South Aegean - *Annali di geofisica*, Vol. XL, n. 2 March 1997 pp. 361-374.

N.N. Novikova, L.A. Pakhomov, L.A. Doda, I.A. Gorlach, T.G. Kurevlyeva - *Earthquakes Precursors Monitoring Using of Space Based Methods of Observations of the Earth*

<http://www.isprs.org/publications/related/ISRSE/html/papers/965.pdf>

Patella D., Tramacere A., Di Maio R., - 1997 – Modelling earth current precursors in earthquake prediction - *Annali di geofisica*, Vol. XL, n. 2 March 1997 pp. 495-517.

Sergey Prosvirnin – 1998 - Magnetic field polarimetry of seismic sources - Kharkov, Ukraine, VIIIth International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory

A. K. Sharma, A. V. Patil, R. N. Haridas and R. V. Bhonsle - ULF emissions associated with seismic activity recorded at Kolhapur Station - *CURRENT SCIENCE*, VOL. 94, NO. 8, 25 APRIL 2008

<http://www.ias.ac.in/currsci/apr252008/1034.pdf>

Thanassoulas C., 1982, Self potential variations measurements at Skala Kallonis area, Greece for the period 29/1 – 10/03/1982. Open file report E3648, Inst. Geol. Min. Expl. (IGME) Athens Greece, pp. 1-16.

Minoru Tsutsui – 2005 - Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the Earth - *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 32, L20303, doi:10.1029/2005GL023691, 2005

Vadim V., Surkov and Viatcheslav A., Pilipenko – 1997 – Magnetic effects due to earthquakes and underground explosions: a review. *Annali di geofisica*, Vol. XL, n. 2 March 1997 pp. 227-239.

Yu-Lin Zhao, Bi-Ru Zhao and Fu-Ye Qian, - 1997 – Electrical streaming potential precursors to catastrophic earthquake in China - *Annali di geofisica*, Vol. XL, n. 2 March 1997 pp. 241-250.

Testi

Thanassoulas Constantine – 2007 – Short Term Earthquake Prediction -

H. Dounias & Co. – Greece.

The ARRL Antenna Book

The ARRL Handbook for Radio Communications

Nerio Neri – I4NE – Antenne – linee e propagazione – C&C – edizioni radioelettriche

Nerio Neri – I4NE – Radiotecnica per radioamatori – C&C – edizioni radioelettriche

Siti internet

http://www.itacomm.net/PH/27_Romero&Monari_it.pdf

<http://sidstation.lionelloudet.homedns.org/antenna-theory-en.xhtml>

<http://www.itacomm.net/PH/crem.pdf>