

SEGNALI ELETTROMAGNETICI IN BANDA ELF CORRELATI ALLA SEQUENZA SISMICA DI VERZEGNIS DEL GIUGNO - LUGLIO 2019 CON MAGNITUDO MASSIMA PARI A 3,9 RICHTER

Riccardo Rossi

Friuli Experimental Seismic Network – Pozzuolo del Friuli – Udine (Italy) (www.fesn.org)

Associazione Radioamatori Italiani (www.ari.it)

INTRODUZIONE

Sono numerose le testimonianze di segnali elettromagnetici precursori di eventi sismici rilevati con le modalità più diverse, a partire dai segnali radio ricevuti da radioamatori per arrivare al monitoraggio di particolari frequenze dello spettro elettromagnetico non solo da parte di enti istituzionali ma anche di amatori.

Questo articolo riguarda segnali elettromagnetici anomali rilevati in banda ELF da una stazione di monitoraggio dedicata, posizionata a Trasaghis in provincia di Udine, correlabili a una serie di eventi sismici di limitata entità (max 3.9 Richter) verificatisi nella zona di Tolmezzo – Verzegnis – Venzone in provincia di Udine tra il 16 giugno e il 07 luglio 2019.

La stazione ha rilevato i primi segnali anomali diciotto giorni e poi ancora tre giorni prima dell'evento principale. I segnali sono quindi proseguiti anche oltre, indicando probabilmente il perdurare dello stato di tensione, così come evidenziato dagli eventi sismici successivi.

I segnali rilevati si collocano nella porzione di banda compresa tra 1 e 10 Hz, sono diffusi sulla banda indicata e sono stati rilevati mediante un'antenna ad altissima induttanza e una stazione sismica standard. Rilevante è la similitudine con altri segnali rilevati dalla stazione gemella di Pasion di Prato (UD) in occasione degli eventi del 2016-2017 dell'Italia centrale.

Si suggerisce quindi l'opportunità di utilizzare una stazione mobile al fine di rilevare lo stato di stress sismico in una zona già colpita da evento sismico importante per scopi di prevenzione e protezione civile.

TERMINI DI RICERCA

Precursori sismici, elettromagnetismo, ionosfera.

PREMESSE

Lo studio dei fenomeni precursori di eventi sismici ha radici storiche e nonostante la difficoltà di ottenere risultati sufficientemente precisi in grado di predire zona, intensità e tempistiche di attivazione di eventi rilevanti, gli studi proseguono con risultati incoraggianti che forse, in futuro, potranno fornire delle risposte utilizzabili per scopi di prevenzione e di protezione civile.

Segnali elettromagnetici registrati in corrispondenza, in anticipo e successivamente a scosse telluriche di magnitudo rilevante, sono stati oggetto di rilevazione anche da parte di radioamatori. Un fenomeno, in particolare, è stato oggetto di studio da parte del prof. Enzo Mognaschi dell'Università di Parma, il quale ha analizzato il fenomeno partendo dalle informazioni ottenute dal radioamatore sig. Marco Eleuteri di Todi (PG) che ha osservato variazioni insolite del rumore elettromagnetico di fondo osservato prima del sisma del 12 maggio 1997 di Magnitudo pari a 4,7 Richter, con epicentro a Massa Martana (PG), a cui ha fatto seguito un più devastante 6.0 con epicentro ad Annifo (PG) il 26 settembre dello stesso anno.

Negli anni '90 dello scorso secolo, gli studi per rilevare segnali precursori sono stati numerosi in quanto, in tale periodo, gli scienziati si erano convinti di prevenire grandi terremoti attraverso lo studio di tali segnali.

Nonostante i numerosi tentativi, tuttavia, si è evidenziato che non tutti gli eventi sismici si accompagnano a segnali premonitori o che questi, comunque, non sono sempre rilevabili, poiché dipendono da diverse condizioni fisiche che possono cambiare da sito a sito. Questo ha messo in discussione la possibilità di utilizzare questi fenomeni in modo sistematico per la previsione di terremoti.

In questi ultimi anni, tuttavia, alcuni ricercatori hanno ripreso a studiare il fenomeno con nuove tecniche, nella speranza di riuscire a trovare ulteriori dati che possano rivelarsi utili alla previsione di eventi sismici importanti.

I segnali precursori, in genere, sono indotti dal fenomeno della dilatanza che, di norma, precede un evento sismico. I segnali premonitori sono diversi e vengono elencati da Cicerone et al. (2009). Alcuni di tali fenomeni sono stati studiati con maggiore frequenza, come ad esempio le variazioni di concentrazione del gas argon ma soprattutto del gas radon (Biagi et al. 2004) (Riggio e Santulin 2015). Recenti studi hanno analizzato anche la possibilità che tempeste magnetiche di origine solare possano essere in grado di produrre un innesco sismico su aree già sottoposte a stress (Casey and Choi 2017).

La capacità delle rocce di emettere energia sotto forma di onde elettromagnetiche è stata verificata in

laboratorio da diversi ricercatori (Frid et al. 2000) (Nardi 2009). Ne sono state analizzate anche le proprietà elettriche, trovando che queste variano in funzione della temperatura, della tensione elettrica, della frequenza e delle proprietà chimiche (Engler 2011) (Olhoeft 1981).

La possibilità di sfruttare segnali elettromagnetici allo scopo di prevedere eventi sismici è stata oggetto di studio da parte di molti altri ricercatori attraverso strumentazioni a terra (Minadakis et al. 2011) (Lacidogna et al. 2011) (Manno 2003) (Mavrodiev and Thanassoulas 2001). In particolare Gershenzon e Bambakidis (2001) hanno proposto un modello di caratterizzazione dei segnali sismo elettromagnetici.

Sono stati oggetto di studio anche i campi elettrici nel suolo (Thanassoulas 2007) al fine di predire la formazione di eventi sismici rilevanti. Thanassoulas et al. (2008) hanno mostrato che tali segnali possono verificarsi anche in corrispondenza dell'aumento di stress litosferico dovuto alle maree lunari.

E' stato anche verificato che particelle cariche, diramatesi da zone interne della litosfera, possono raggiungere la superficie e innalzarsi fino alla ionosfera (Aleksandrin et al. 2003).

Molti ricercatori hanno studiato la correlazione tra segnali elettromagnetici e eventi sismici rilevanti (Parrot 1990) (Fidani 2012) (Cataldi et al. 2017) (Molchanov et al. 2003) (Ida et al. 2008) (Eftaxias et. Al 2000). Petraki et al. (2015) giungono ad elencare una lunga serie di eventi sismici prima dei quali sono stati registrati segnali elettromagnetici correlabili a tali eventi.

Anche il percorso delle onde elettromagnetiche all'interno della litosfera è stato oggetto di studio (Petraki et al. 2015). Non si esclude inoltre che all'interno della litosfera possano crearsi delle guide d'onda così come indicato da Sujay Pal (2015). Barr et al. (2000) hanno quindi analizzato la propagazione delle onde VLF e ELF.

Alcuni ricercatori hanno verificato la possibilità di trovare la direzione di provenienza di segnali elettromagnetici al fine di individuare l'epicentro di un sisma rilevante anche con stazioni situate in zone disturbate da rumore di fondo (Tutsui 2005) (Straser et al. 2018) (Ohta et al. 2011). Winda Astuti (2013-2014), utilizzando il metodo messo a punto da Thanassoulas, tratta sulla possibilità di derivare la posizione dell'epicentro mediante l'analisi di segnali elettrici del suolo captati mediante dipoli di terra.

Altri ricercatori, invece, hanno studiato segnali anomali ricevuti da satelliti in orbita registrati prima del verificarsi di eventi sismici rilevanti (Zhang et al. 2012). E' stato possibile verificare che i satelliti possono cogliere modificazioni dello stato della ionosfera in corrispondenza di aree sottoposte a stress sismico (Parrot 1990) (Henderson et al. 1993) (Kelley 2017) (Bhattacharya and Gwal 2007) (He and Heki 2018) (Pulinets 2004). Recentemente Heki et al. (2017) hanno analizzato modificazioni dello stato della ionosfera rilevate da satelliti GPS, riuscendo a correlare tali anomalie a specifiche aree sottoposte a stress sismico in cui, successivamente sono accaduti forti terremoti.

Sempre mediante rilevazioni satellitari sono state scoperte variazioni del flusso protonico in corrispondenza di eventi sismici (Cataldi et al. 2017).

Lo studio dei precursori sismici elettromagnetici con metodologie amatoriali, in Italia è attivo da diversi anni ad opera di alcuni ricercatori, con metodologie diverse derivate dalle proprie esperienze. Tra gli altri: Renato Romero (www.vlf.it) Adriano Nardi (INGV), Cristiano Fidani (CIEN) (Fidani 2017), Violi Roberto (Rete Giano <https://retegiano.jimdo.com>) e il sottoscritto (FESN www.fesn.org – ARI www.ari.it).

SEQUENZA SISMICA

La sequenza sismica oggetto del presente lavoro è quella verificatasi nella zona compresa tra i Comuni di Tolmezzo, Verzegnis, Venzona, Resiutta e Osoppo in provincia di Udine con eventi che si sono verificati in un arco temporale tra il 16 giugno e il 07 luglio 2019. La massima magnitudo raggiunta è stata pari a 3,9 Richter.

Si precisa che gli eventi più rilevanti sono accaduti in Comune di Verzegnis.

In totale, il Centro Sismologico di Udine ([www.http://rts.crs.inogs.it](http://rts.crs.inogs.it)) ha rilevato 51 eventi di magnitudo compresa tra 0,1 e 3,9 Richter in un raggio di circa 20 chilometri dalla stazione di Trasaghis. I più rilevanti distavano circa 14 chilometri.

La sequenza sismica sembra indicare uno stato di stress diffuso nelle faglie della zona considerata, probabilmente conseguenza della prima scossa sismica avvenuta in Comune di Verzegnis in data 14.06.2019, alle ore 13,57 UTC, M. 3,9 Richter.

Sequenza sismica compresa tra il 14 giugno e il 16 luglio 2019 nella zona di Verzegnis - Tolmezzo - Venzone

Fonte: OGS - Centro ismologico Udinese - [www.http://rts.crs.inogs.it](http://rts.crs.inogs.it)

N.	Event id	Date	Lat	Lon	Mag	Location
1	122871	14/06/2019 10:55	46,3575	13,0253	0.6	2 km SO di Cavazzo Carnico (Udine)
2	122875	14/06/2019 13:57	46,3910	12,9860	3.9	1 km NO di Verzegnis (Udine)
3	122883	14/06/2019 14:01	46,3928	12,9865	1.1	1 km NO di Verzegnis (Udine)
4	122884	14/06/2019 14:06	46,3910	12,9955	1.5	0 km NE di Verzegnis (Udine)
5	122886	14/06/2019 14:08	46,3880	13,0083	0.3	1 km E di Verzegnis (Udine)
6	123173	14/06/2019 14:16	46,3955	12,9920	0.3	1 km N di Verzegnis (Udine)
7	123175	14/06/2019 14:26	46,3970	12,9803	0.4	1 km NO di Verzegnis (Udine)
8	122888	14/06/2019 14:33	46,3945	12,9927	0.5	1 km N di Verzegnis (Udine)
9	122889	14/06/2019 15:40	46,3923	12,9970	0.4	1 km NE di Verzegnis (Udine)
10	122890	14/06/2019 16:13	46,3932	12,9917	2.0	1 km N di Verzegnis (Udine)
11	122895	14/06/2019 19:09	46,3937	12,9973	1.0	1 km NE di Verzegnis (Udine)
12	122898	14/06/2019 19:14	46,3932	12,9900	0.8	1 km NNO di Verzegnis (Udine)
13	123177	14/06/2019 19:32	46,3152	13,2602	0.5	6 km N di Lusevera (Udine)
14	122906	14/06/2019 22:07	46,3942	13,0003	1.7	1 km NE di Verzegnis (Udine)
15	123179	15/06/2019 01:48	46,3420	13,1302	0.4	1 km NO di Venzone (Udine)
16	123180	15/06/2019 02:10	46,3357	13,1215	0.3	1 km O di Venzone (Udine)
17	122914	15/06/2019 03:15	46,3883	13,0028	0.5	1 km E di Verzegnis (Udine)
18	122915	15/06/2019 03:44	46,3442	13,1320	0.5	1 km NNO di Venzone (Udine)
19	122916	15/06/2019 03:58	46,4545	12,9360	0.1	3 km N di Lauco (Udine)
20	122917	15/06/2019 04:12	46,4013	12,9923	3.4	1 km N di Verzegnis (Udine)
21	123181	15/06/2019 05:06	46,3480	13,1443	0.4	2 km NNE di Venzone (Udine)
22	123183	15/06/2019 07:18	46,3733	13,0242	0.4	1 km ONO di Cavazzo Carnico (Udine)
23	123184	15/06/2019 07:35	46,3888	12,9882	0.3	0 km ONO di Verzegnis (Udine)
24	123185	15/06/2019 07:43	46,3803	12,9918	0.1	1 km S di Verzegnis (Udine)
25	123186	15/06/2019 07:50	46,3892	12,9902	0.1	0 km NO di Verzegnis (Udine)
26	123187	15/06/2019 07:54	46,3467	13,1317	0.3	2 km NNO di Venzone (Udine)
27	122927	15/06/2019 14:08	46,3903	13,0015	1.7	1 km ENE di Verzegnis (Udine)
28	122939	15/06/2019 19:14	46,3395	13,1270	0.5	1 km NO di Venzone (Udine)
29	123188	15/06/2019 19:31	46,3420	13,1372	0.1	1 km N di Venzone (Udine)
30	122945	15/06/2019 20:33	46,3960	13,0062	1.3	1 km OSO di Tolmezzo (Udine)
31	122950	15/06/2019 20:41	46,3918	12,9977	0.3	1 km NE di Verzegnis (Udine)
32	122955	15/06/2019 21:52	46,3890	12,9833	0.2	1 km O di Verzegnis (Udine)
33	122968	16/06/2019 00:02	46,3370	13,1225	1.2	1 km ONO di Venzone (Udine)
34	122972	16/06/2019 03:58	46,3890	12,9880	0.7	0 km ONO di Verzegnis (Udine)
35	123202	16/06/2019 04:15	46,3360	13,1297	0.3	1 km ONO di Venzone (Udine)
36	122979	16/06/2019 13:40	46,3930	12,9897	3.0	1 km NNO di Verzegnis (Udine)
37	123233	16/06/2019 20:38	46,3630	13,1547	0.3	3 km NNE di Venzone (Udine)
38	122997	16/06/2019 21:39	46,3395	13,1260	0.7	1 km ONO di Venzone (Udine)
39	123234	16/06/2019 21:46	46,3480	13,1323	0.4	2 km NNO di Venzone (Udine)
40	122999	16/06/2019 22:54	46,3375	13,1273	0.5	1 km ONO di Venzone (Udine)
41	123125	22/06/2019 18:03	46,3335	13,2152	1.3	6 km E di Venzone (Udine)
42	123168	25/06/2019 01:49	46,3900	12,9913	0.3	0 km N di Verzegnis (Udine)
43	123252	26/06/2019 00:46	46,3422	13,1598	0.1	2 km ENE di Venzone (Udine)
44	123196	26/06/2019 04:18	46,4312	13,1642	0.4	4 km NO di Moggio Udinese (Udine)
45	123292	29/06/2019 00:16	46,3927	12,9982	0.3	1 km NE di Verzegnis (Udine)
46	123337	29/06/2019 14:30	46,3885	12,9988	0.3	1 km E di Verzegnis (Udine)
47	123473	05/07/2019 17:56	46,2382	13,1065	0.5	3 km SE di Osoppo (Udine)
48	123506	07/07/2019 12:06	46,3897	12,9777	0.7	1 km O di Verzegnis (Udine)
49	123510	07/07/2019 21:09	46,3988	12,9963	3.0	1 km NNE di Verzegnis (Udine)
50	123569	10/07/2019 03:19	46,3938	13,0207	0.4	0 km SSE di Tolmezzo (Udine)
51	123693	16/07/2019 02:05	46,3475	13,2322	1.0	5 km S di Resiutta (Udine)

Fig. 1 – Elenco degli eventi sismici rilevati dal Centro Sismologico di Udine (INGV) tra il 14.06.2019 e il 16.07.2019 nella zona compresa tra Tolmezzo, Venzone, Verzegnis e immediate vicinanze. In verde e giallo sono evidenziati gli eventi più rilevanti.

EVENTO PRINCIPALE

L'evento principale è avvenuto in data 14.06.2019, alle ore 13.57 UTC. La magnitudo momento calcolata dal Centro Ricerche Sismologiche di Udine, facente capo all'Istituto Nazionale di Fisica e Vulcanologia, è stata pari a 3.9 Mw.

La scossa principale è stata preceduta da un piccolo evento pari a 0.6 Richter avvenuto a pochi chilometri di distanza nella zona di Cavazzo Carnico.

Successivamente alla scossa di 3.9 Mw e fino al 16.07.2019, si sono susseguite altre 49 scosse di magnitudo compresa tra 0.1 e 3.4 Mw.

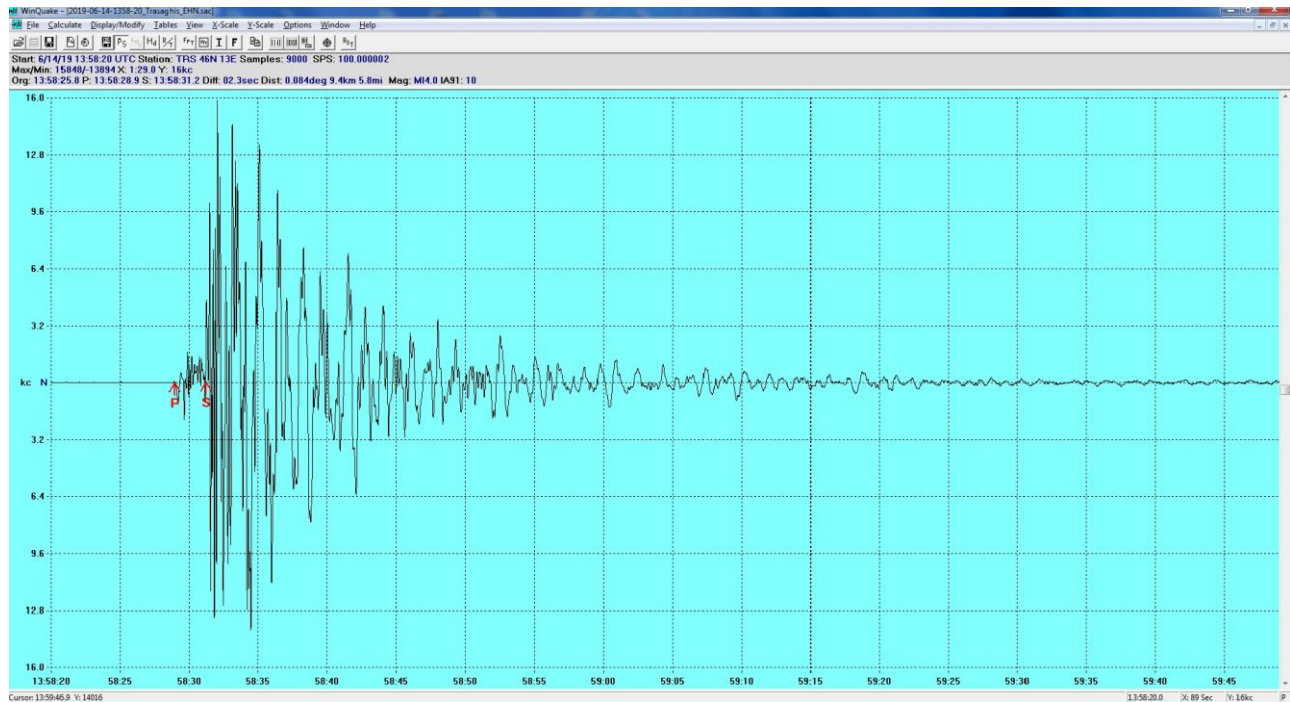


Fig. 2 – Sismogramma dell'evento principale con magnitudo pari a 3.9 Mw, accaduto nel Comune di Verzegnis (UD) in data 14.06.2019, alle ore 13.57 UTC. Il sismogramma è stato prodotto dalla stazione amatoriale di Trasaghis mediante un sensore FMES (Fluid Mass Electrolytic Sensor) autocostruito dall'autore.



Fig. 3 – Mappa della zona considerata con evidenziati gli epicentri degli eventi sismici rilevati. In verde gli eventi principali



Fig. 4 – Mappa delle faglie capaci nella zona considerata (linee rosse) Fonte: ISPRA - ITHACA - Catalogo faglie capaci in Italia

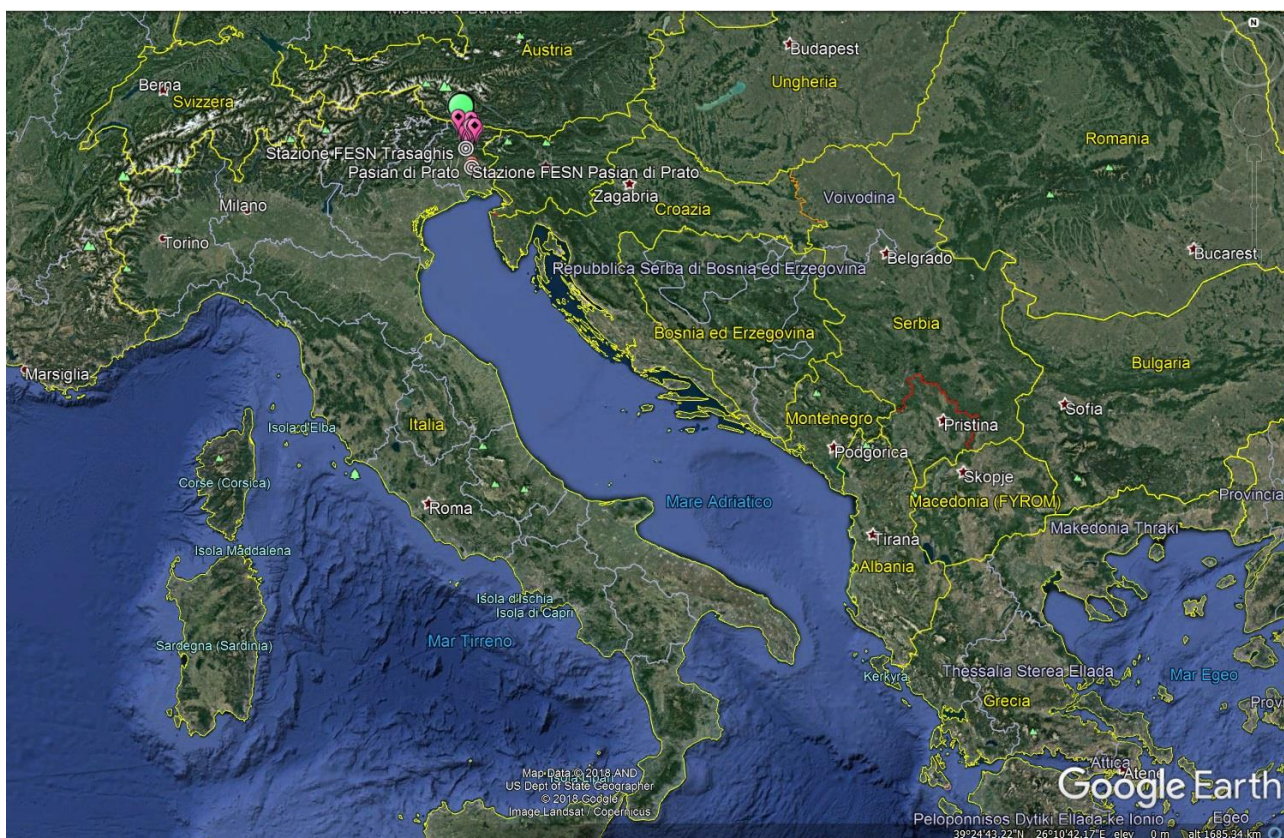


Fig. 5 – Localizzazione delle stazioni FESN di Pasian di Prato e Trasaghis

CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE DI MONITORAGGIO

La costruzione della stazione di monitoraggio è frutto della condivisione di esperienze e competenze tra diversi ricercatori.

Il primo componente della stazione è l'antenna ad altissima induttanza. Tale dispositivo è costituito da circa 100.000 spire di filo di rame isolato da 0,20 mm di diametro, avvolto su bobine di circa 17.000 spire ciascuna, formate da un rocchetto di vetroresina da 50 mm di diametro.



Fig. 1 – Realizzazione dell'antenna ad altissima induttanza.

Si notino le 6 bobine da 17.000 spire di filo di rame isolato e il nucleo sporgente formato da barre di ferro dolce.

Tali bobine sono inserite in un tubo di plexiglass a sua volta riempito da barrette di ferro dolce.

Le bobine sono infine avvolte da una spira di foglio di alluminio con funzione di schermo per i campi elettrici parassiti.

Un tubo in materiale PEAD (polietilene ad alta densità) protegge l'intera costruzione.

L'antenna è posizionata in modo verticale.

Il circuito di amplificazione e filtro utilizzato è adatto alla connessione di sensori sismici (p. es. geofoni) ed è stato progettato da Mauro Mariotti, titolare della ditta SARA di Perugia, fornitrice di attrezzature per prospezioni sismiche.

Il dispositivo utilizzato è stato autocostruito, sulla base dei progetti originali, dall'autore del presente articolo.

Il segnale ricevuto dall'antenna, amplificato e filtrato, viene inviato ad una scheda di conversione analogico digitale a 18 bit di risoluzione, la cui progettazione è sempre della ditta Sara di Perugia e cui costruzione è avvenuta anch'essa in autonomia.

I dati in uscita dalla scheda A/D vengono elaborati dal software per S.O. Windows denominato Seismowin, prodotto e messo a disposizione gratuitamente dalla ditta SARA (<http://www.sara.pg.it>).

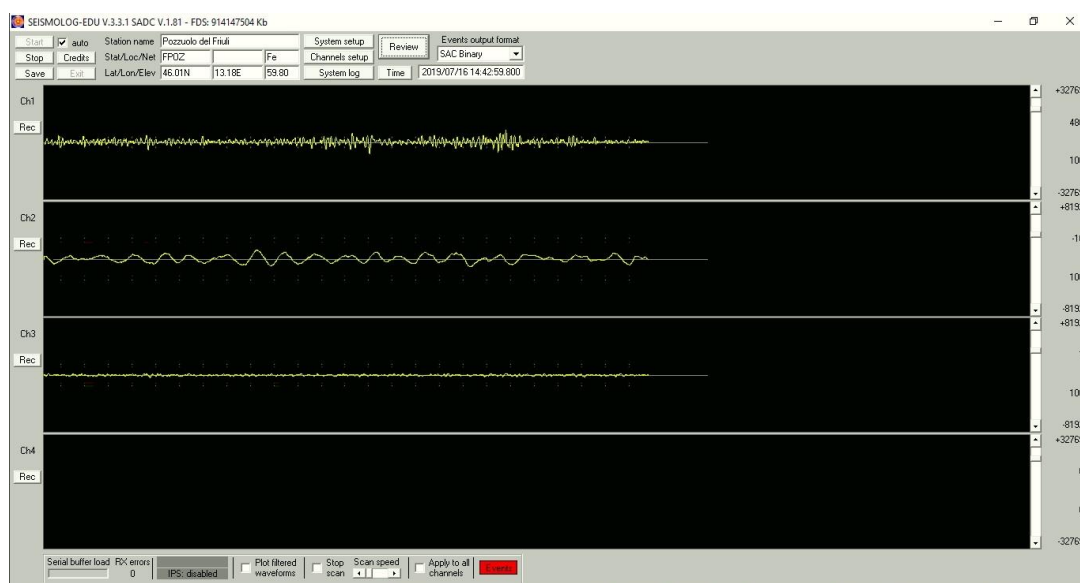


Fig. 2 – Schermata del software Seimolog-Edu (elemento di Seismowin) utilizzato, unitamente ad un acquisitore, per la registrazione di eventi sismici mediante un personal computer con sistema operativo Windows. Si notino i tre tracciati in tempo reale dei sensori collegati. In caso di funzionamento con l'antenna di cui sopra, uno dei canali è riservato a quest'ultima.

Il software Seismowin, processa il segnale producendo, oltre alla ricostruzione a video del segnale in tempo reale, anche la schermata “DRUM”, ovvero la registrazione giornaliera nel dominio del tempo e il “DRUM FFT”, spettrogramma giornaliero ottenuto mediante trasformata di Fourier. Al fine di permettere ad altri ricercatori di duplicare l’esperienza qui riportata si precisa che la strumentazione sopra descritta, a parte l’antenna, è sostituibile con una stazione di monitoraggio sismico standard, preferibilmente a 24 bit, purché compatibile con il software Seismowin.

CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO

La stazione ha monitorato e salvato le schermate giornaliere del segnale elettromagnetico rilevato dall'antenna, compreso tra 0 e 25 Hz, per tutto il periodo considerato.

Durante tale periodo si è riscontrato che la stazione rileva un rumore di fondo relativamente basso, data la posizione in una zona pedemontana sufficientemente distante da sorgenti di rumore antropico rilevante quali elettrodotti o altre fonti di disturbo. In ogni caso la frequenza di rete a 50 Hz è sufficientemente al di sopra della banda considerata, in modo tale da non generare segnali interferenti.

Nella schermata tipo, registrata con differenze relativamente minime rispetto a quella presentata qui sotto, si può notare le caratteristiche del rumore di fondo, indicato nell'immagine dal colore verde, coprente la maggior parte della schermata in cui in ascissa sono indicate le ore di riferimento, a partire dalle ore 0,00 fino alle 24,00 e in ordinata sono indicate le frequenze monitorate, che partono da 0 fino a raggiungere i 25 Hz. La frequenza di campionamento è pari a 100 Hz.

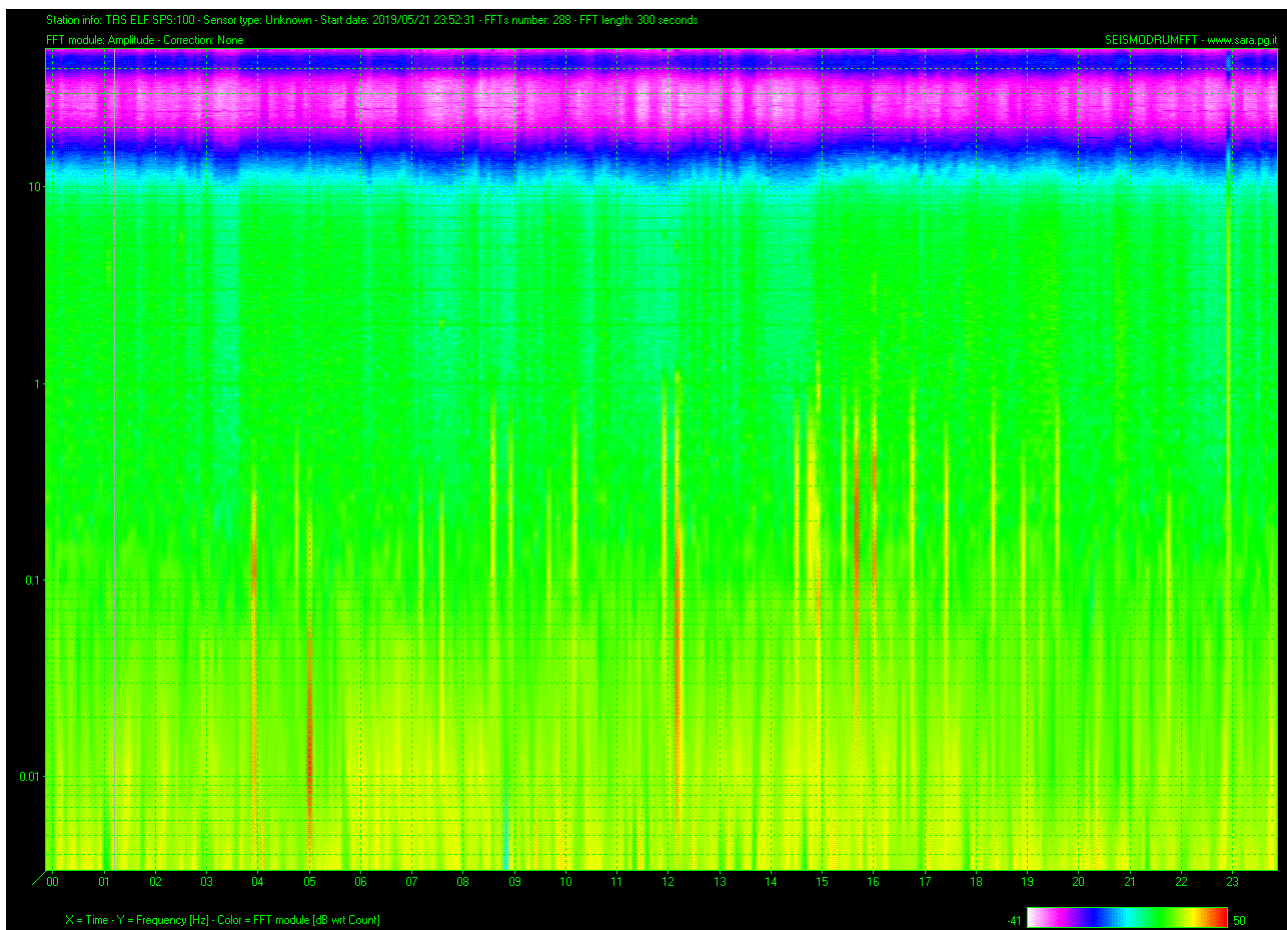


Fig. 3 – Spettrogramma relativo ad una giornata di registrazione dell’attività elettromagnetica. In ascisse il tempo espresso in ore, in ordinata la frequenza di riferimento (0-25 Hz). In basso a destra i riferimenti del colore compreso nell’intervallo tra -41 e +50 dB/count. Si notino le barre in colore giallo e rosso relative a disturbi di origine antropica e naturale (motori, fulmini e altro) e la parte compresa tra circa 1 e 10 Hz priva di interferenze.

Il numero di barre verticali che compongono la schermata è pari a 288, elaborate sulla base della porzione di segnale rilevato comprendente 300 secondi.

Le barre verticali di colore rosso, giallo e arancio, sono i segnali interferenti di origine antropica o naturale (motori, elettrodomestici, fulmini ecc.).

Si può notare che nella banda compresa tra circa 0,5 Hz e circa 10 Hz, il segnale rilevato è abbastanza omogeneo e scevro da interferenze ed è quindi possibile rilevare proprio in questa banda eventuali anomalie. Il monitoraggio effettuato è stato caratterizzato da anomalie pressoché nulle fin dal primo avvio, generando

schermate del tutto paragonabili a quelle rilevate dalla stazione gemella situata a Pasian di Prato (UD) la quale è posta ad una distanza di circa 27 km, in linea d'aria, rispetto alla stazione di Trasaghis.

SEGNALI ANOMALI

I primi segnali anomali sono stati registrati dalla stazione di Trasaghis a partire dal 26 maggio 2019, consistenti in un aumento del rumore di fondo durato per tutta la giornata.

Il 29 maggio, poco dopo le 07,00 UTC, è stato registrato un altro segnale anomalo costituito da un segnale focalizzato ad una frequenza di poco superiore all'1 Hz, che si è prolungato fino alle ore 17,00 circa del 01 giugno.

L'aumento del rumore di fondo si è verificato anche nei giorni 02, 12, 13, 14, 15 e 16 e 17 giugno, il 15 giugno con particolare intensità.

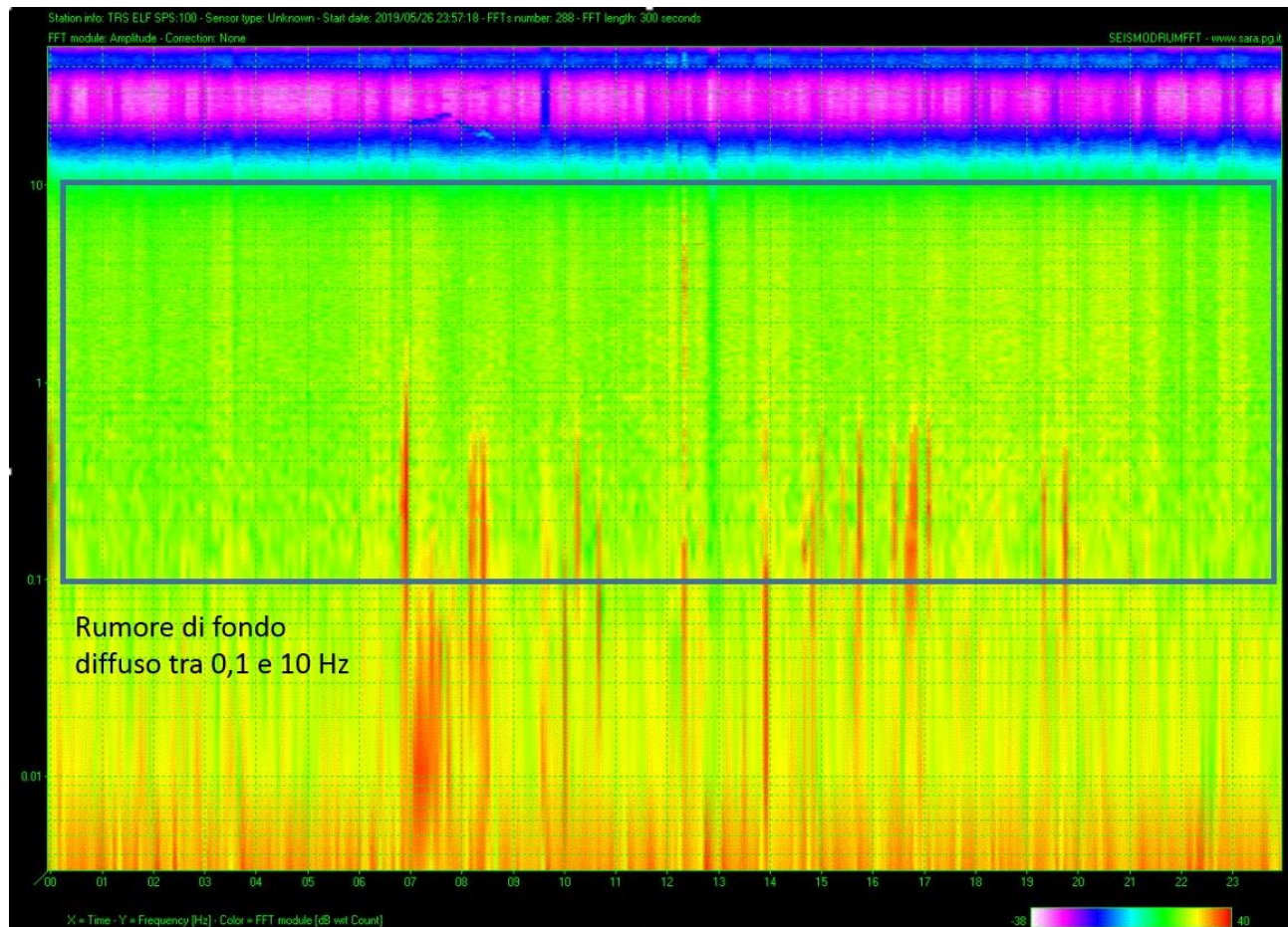


Fig. 5 – Spettrogramma del 26.05.2019. Si noti l'incremento del rumore di fondo in colore giallo sullo sfondo verde compreso all'interno del rettangolo nella banda di segnale compreso tra 0.1 e 10 Hz.

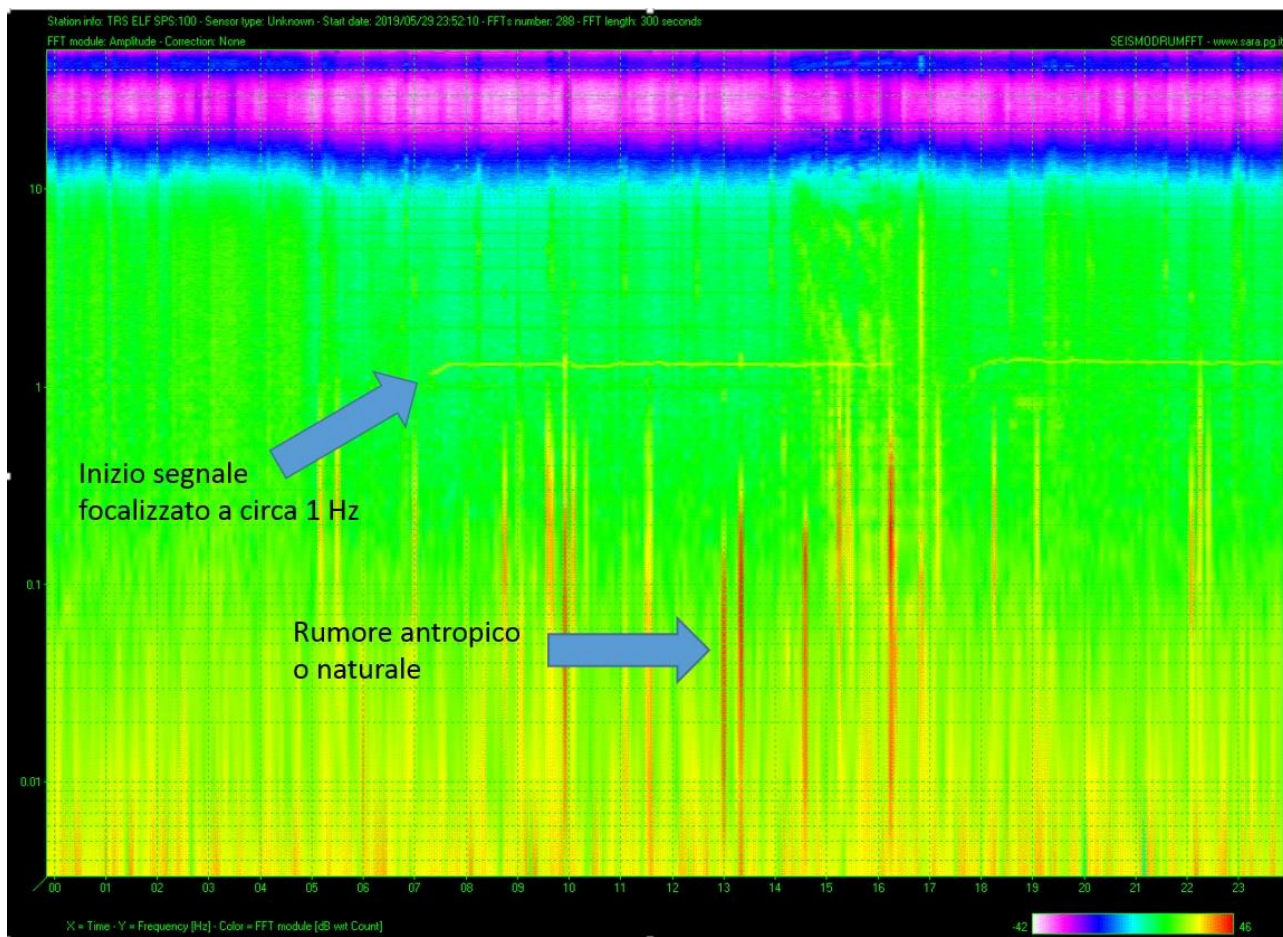


Fig. 6 – Spettrogramma del 29.05.2019. Si noti l’inizio del segnale focalizzato a circa 1 Hz e il rumore di origine antropica o naturale nella banda compresa tra 0 e 1 Hz circa.

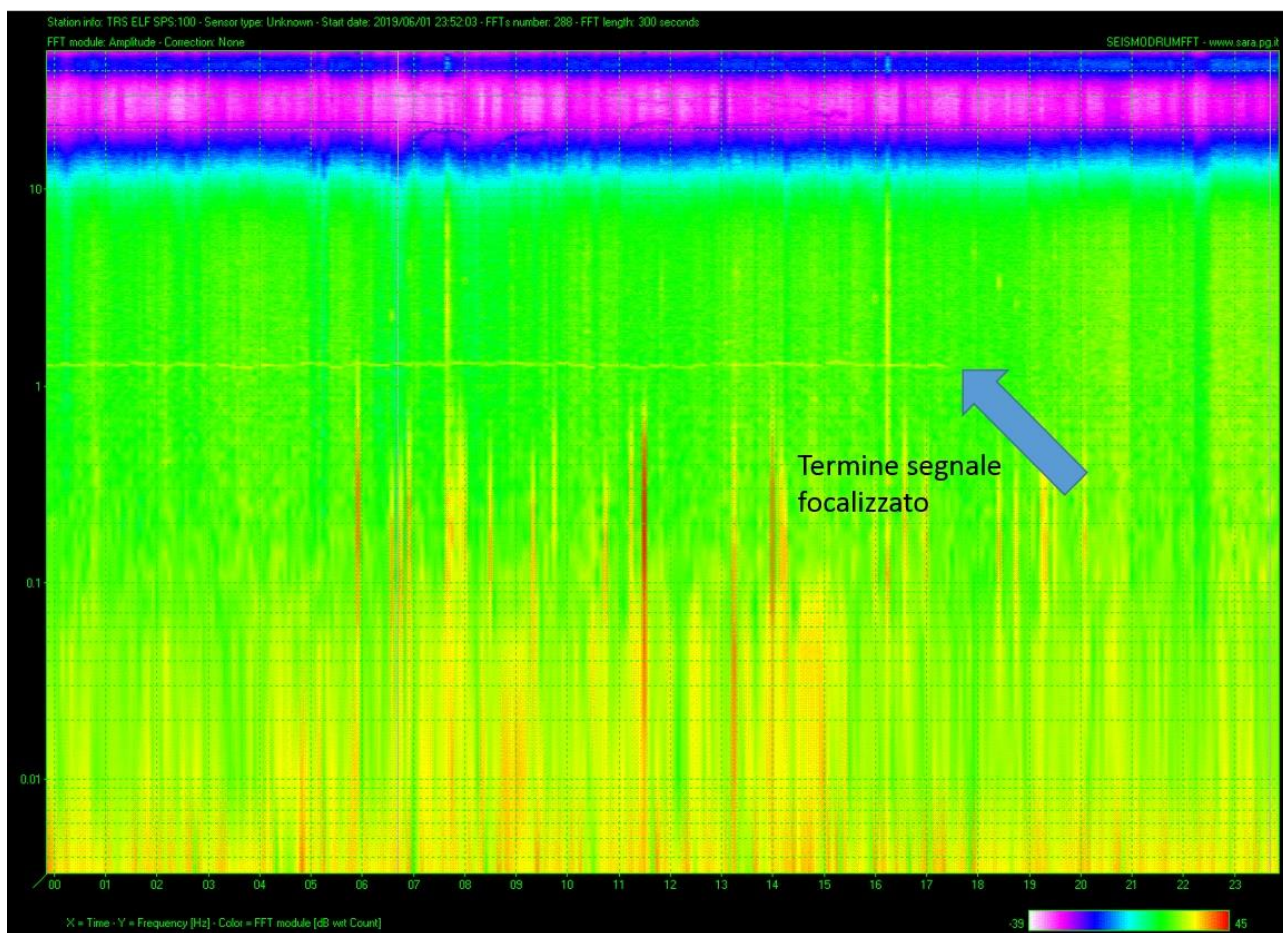


Fig. 7 – Spettrogramma del 01.06.2019. Si noti il termine del segnale focalizzato a circa 1 Hz dopo 58 ore circa.

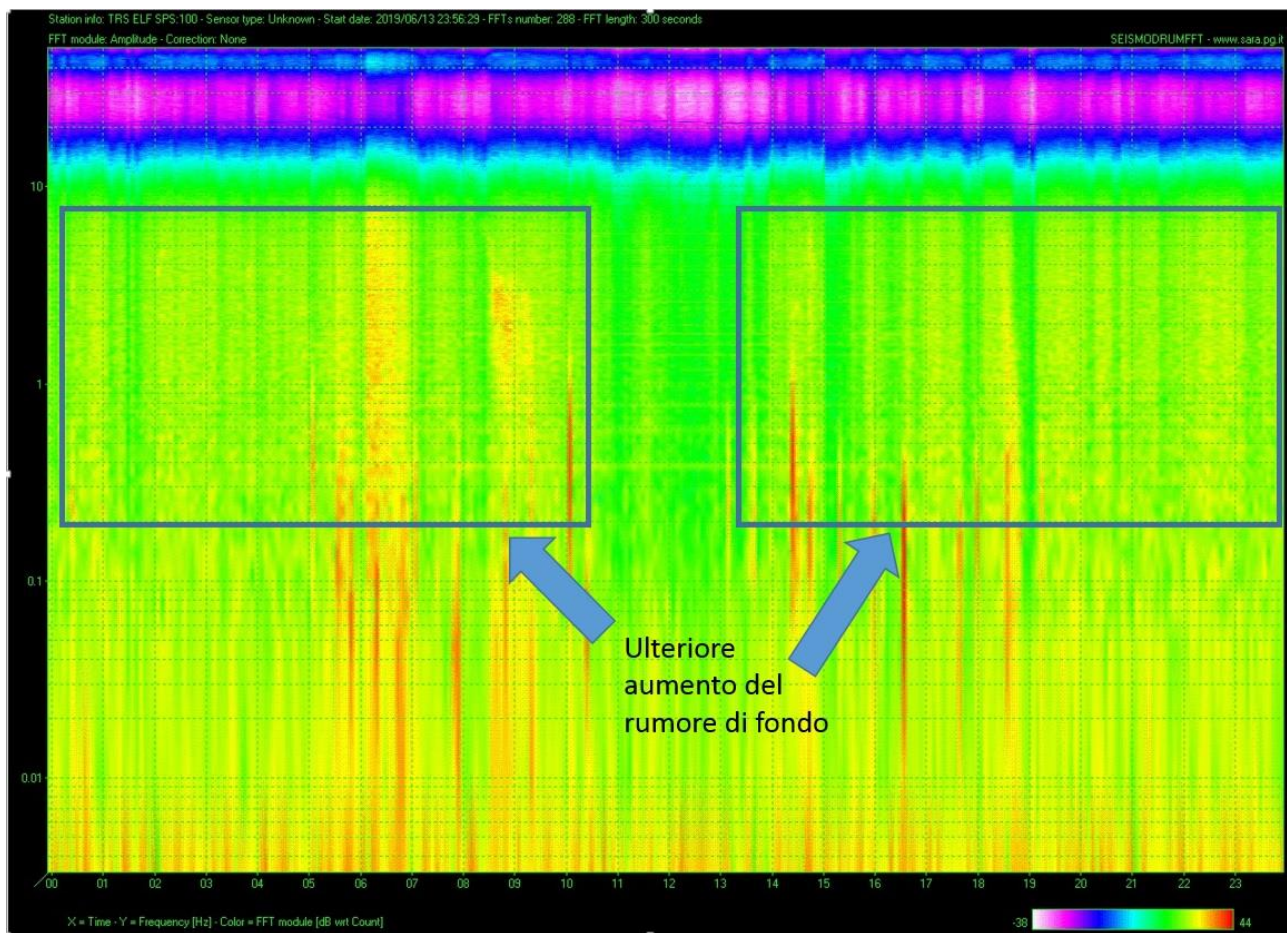


Fig. 8 – Spettrogramma del 13.06.2019. Si noti l'aumento del rumore di fondo.

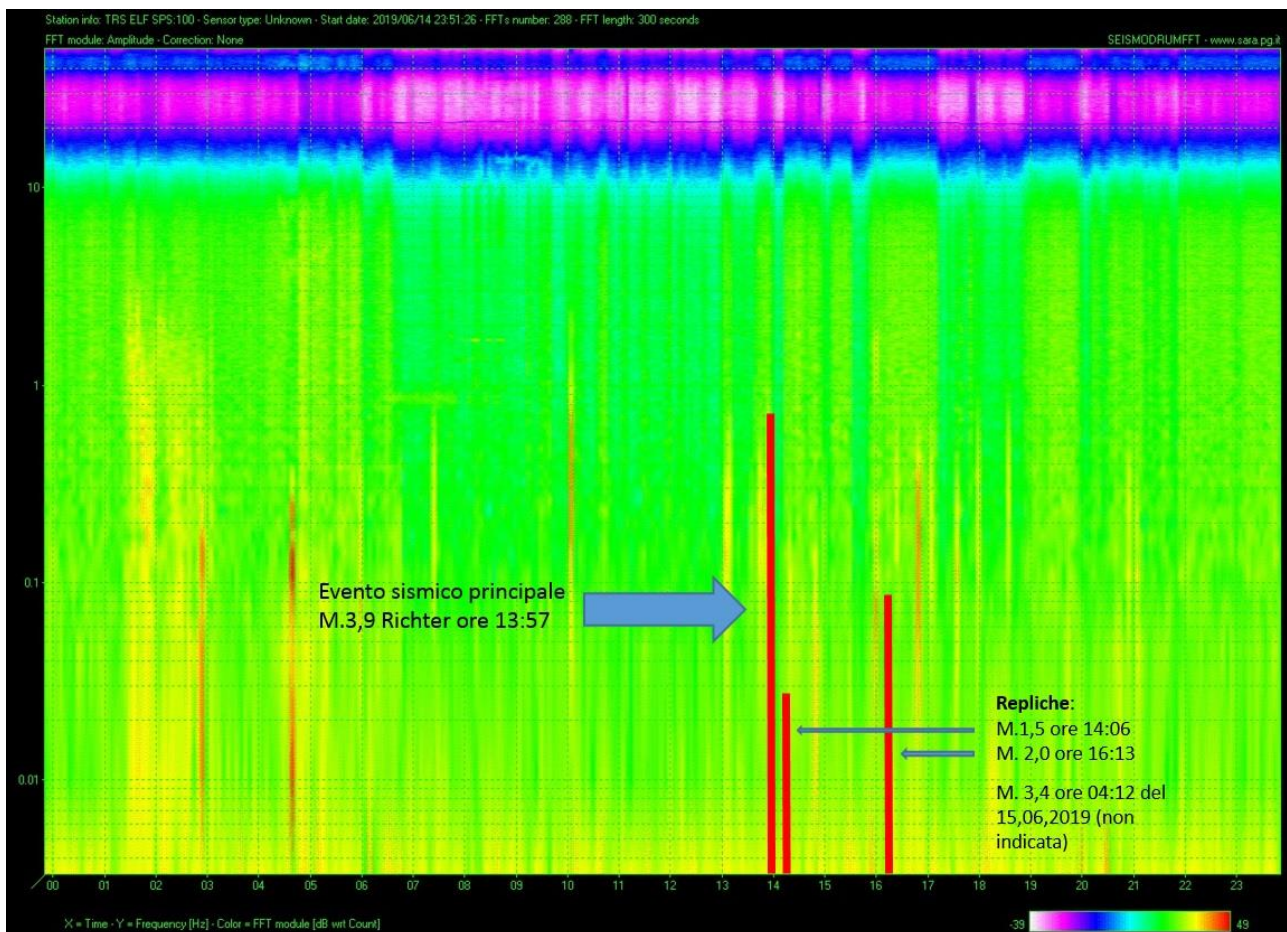


Fig. 8 – Spettrogramma del 14.06.2019 con evidenziati gli eventi più rilevanti.

Da segnalare il fatto che segnali analoghi comprendenti sia l'aumento del rumore diffuso, sia il segnale focalizzato intorno a 1 Hz sono stati registrati nella stazione gemella di Pasian di Prato in concomitanza degli eventi sismici dell'Italia centrale del 2016 e 2017. Tale rilevazione è stata oggetto di un precedente articolo (27).

CONCLUSIONI

L'effettiva capacità delle rocce soggette a stress sismico di emettere segnali mediante effetto piezomagnetico nella banda considerata dal presente articolo è già stata analizzata da altri ricercatori. Si può pertanto ragionevolmente pensare di correlare i segnali anomali ricevuti con lo stato di stress delle faglie esistenti nei dintorni della stazione di Trasaghis, le quali sono state attivate probabilmente a causa delle sollecitazioni indotte dal primo evento importante di Verzegnis.

E' importante rilevare che i primi segnali elettromagnetici anomali sono stati rilevati ben 18 giorni prima dell'evento principale e che questi segnali sono proseguiti ben oltre tale evento, evidenziando probabilmente lo stato di stress delle faglie coinvolte nella zona.

Si può pertanto pensare, a seguito di questa esperienza, di sperimentare l'utilizzo di una stazione sismica mobile standard, equipaggiata con un'antenna analoga a quella presente nella stazione di riferimento, per monitorare lo stato di stress delle faglie attivate da eventi di elevata magnitudo, posizionando la stazione in prossimità dell'epicentro al fine di cercare di valutare il potenziale pericolo di ulteriori repliche a scopo di studio, prevenzione e protezione civile. Tuttavia va anche considerato che le risposte dei vari siti possono essere molto diverse e quindi gli eventuali dati rilevati in tali condizioni dovranno essere valutati con la massima attenzione e prudenza.

L'assenza di segnali analoghi, durante il periodo considerato, nella stazione di Pasian di Prato, probabilmente è dovuta alla maggiore distanza rispetto alla zona sorgente (circa 45 km) e alla limitata energia elettromagnetica ipocentrale liberata.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i sigg. Gabriele e Daniele Cataldi (LTPA Observer Project), Renato Romero (VLF.it) e soprattutto il sig. Marco Toni (IK4MKG), per i consigli sulla realizzazione dell'antenna. Il sig. Biondi Roberto (IV3BUT) per la gentile collaborazione, la sig.ra Marzia Vuerich per l'ospitalità della stazione di Trasaghis e l'Associazione Radioamatori Italiani per il sostegno a questa ricerca.

BIBLIOGRAFIA

1. **G. R. Olhoeft** - Department of Physics, University of Toronto, Toronto, Ontario - *Electrical Properties of Rocks*;
2. **Michel Parrot** - Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement, 450 71 Orleans Cedex 02, France - *Electromagnetic Disturbances Associated With Earthquakes: An Analysis of Ground-Based and Satellite Data* - Journal of Scientific Exploration. Vol. 4, No. 2, pp. 203-211, 1990;
3. **Kostas Eftaxias, John Kopanas, Nikos Bogris, Panayiotis Kaporis, George Antonopoulos, and Panayiotis Varotsos** - Solid Earth Physics Institute, University of Athens - *Detection of electromagnetic earthquake precursory signals in Greece* - Communicated by Seiya UYEDA, M.J.A., April 12, 2000)
4. **T. R. Henderson, V. S. Sonwalkar, R. A. Helliwell, U. S. Inan, and A. C. Fraser-Smith** - *A Search for ELF/VLF Emissions Induced by Earthquakes as Observed in the Ionosphere by the DE 2 Satellite* - JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 98, NO. A6, PAGES 9503-9514, JUNE 1, 1993
5. **Thanassoulas, P.C.**, B.Sc in Physics, M.Sc – Ph.D in Applied Geophysics Retired from the Institute for Geology and Mineral Exploration (IGME) Geophysical Department, Athens, Greece - *Pre-Seismic Electrical Signals (SES) generation and their relation to the lithospheric tidal oscillations K2, S2, M1 (T = 12hours / 14 days)*;
6. **G. Minadakis** - Department of Electronic and Computer Engineering, Brunel University Uxbridge, Middlesex, UB8 3PH, U.K. - **S. M. Potirakis** - Department of Electronics, Technological Educational Institute of Piraeus, 250 - **Thivon & P. Ralli**, GR-12244, Aigaleo - Athens, Greece , **C. Nomicos** - Department of Electronics, Technological Educational Institute of Athens, **Ag. Spyridonos, Egaleo**, GR 12210, Athens, Greece , **K. Eftaxias** - Department of Physics, Section of Solid State Physics, University of Athens, Panepistimiopolis, GR 15784, **Zografos**, Athens, Greece - *Linking electromagnetic precursors with earthquake dynamics: an approach based on nonextensive fragment and self-affine asperity models* - arXiv:1111.4829v2 [physics.geo-ph] 23 Nov 2011
7. **Michael C. Kelley - Wesley E. Swartz** - School of Electrical and Computer Engineering, Cornell University, Ithaca, New York, USA, **Kosuke Heki** - Department of Natural History Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - *Apparent ionospheric total electron content variations prior to major earthquakes due to electric fields created by tectonic stresses* - Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122(6): 6689-6695

8. **S. Yu. Aleksandrin - A. M. Galper - L. A. Grishantzeva - S. V. Koldashov - L. V. Maslennikov - A.M. Murashov - S. A. Voronov** - Space Physics Institute, Moscow State Engineering Physics Institute, Kashirskoe shosse 31, 115409 Moscow, Russia - **P. Picozza** - Dept. of Physics, Univ. of Rome "Tor Vergata" and INFN Sez. Rome2, via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Rome, Italy - **V. Sgrigna** - Dept. of Physics, Univ. of Rome "Roma Tre", via della Vasca Navale, 84, I-00146 Rome, Italy - *High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors* - <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00317001>
9. **R. Barr** - National Institute of Water and Atmospheric Research, **Greta Point**, Wellington, New Zealand; **Llanwyn Jones** - Physics Department, King's College, Strand, London, WC2R 2LS, UK, **C.J. Rodger** - Physics Department, University of Otago, P.O. Box 56, Dunedin, New Zealand - *ELF and VLF radio waves* - Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 62 (2000) 1689-1718
10. **A. Riggio and M. Santulin** - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste, Italy - *Earthquake forecasting: a review of radon as seismic precursor* - Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata Vol. 56, n. 2, pp. 95-114; June 2015
11. **G. Lacidogna, A. Carpinteri, A. Manuello**, - Department of Structural Engineering & Geotechnics. Politecnico di Torino. Corso Duca degli Abruzzi 24 - IOI 29 Torino Italy - **G. Durin, A. Schiavi, G. Niccolini** and **A. Agosto** - National Research Institute of Metrology - INRiM. Strada delle Cacce 91 Torino, Italy - *Acoustic and Electromagnetic Emissions as Precursor Phenomena in Failure Processes* – strain - An International journal for Experimental Mechanics.
12. **Petraki E - Stonham J** - Brunel University, Department of Engineering and Design, Kingston Lane, Uxbridge, Middlesex UB8 3PH, London, UK - **Nikolopoulos D - Yannakopoulos P** - TEI of Piraeus, Department of Electronic Computer Systems Engineering, Petrou Ralli and Thivon 250, GR-12244 Aigaleo, Athens, Greece - **Nomicos C** - TEI of Athens, Department of Electronic Engineering, Agiou Spyridonos, GR-12243, Aigaleo, Athens, Greece – **Cantzos D** - TEI of Piraeus, Department of Automation Engineering, Petrou Ralli and Thivon 250, GR-12244 Aigaleo, Greece - and **Kottou S** - University of Athens, Medical School, Department of Medical Physics, Mikras Asias 75, GR-11527 Goudi, Athens, Greece - *Electromagnetic Pre-earthquake Precursors: Mechanisms, Data and Models-A Review* - Earth Science & Climatic Change - <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7617.1000250>
13. **Shourabh Bhattacharya** and **A.K.Gwal** - Space Science Laboratory, Department of Physics, Barkatullah University, Bhopal-462 026, India - OBSERVATIONS MADE BY DEMETER MICRO-SATELLITE FOR ULTRA LOW FREQUENCY AND EXTREMELY LOW FREQUENCY EMISSIONS DURING INDONESIAN EARTHQUAKE
14. **Cristiano Fidani** - Osservatorio Sismico "Andrea Bina", Perugia, Italy - **Daniele Marcelli** - 2 Central Italy Electromagnetic Network, Fermo, Italy - *Ten Years of the Central Italy Electromagnetic Network (CIEN) Continuous Monitoring* - Open Journal of Earthquake Research, 2017, 6, 73-88
<http://www.scirp.org/journal/ojer>
15. **Thomas W. Engler**, Ph.D., P.E. - *Electrical Properties of Rocks* - Lecture notes for PET 370
16. **Vladimir Frid - Dov Bahat** - The Deichmann Rock Mechanics Laboratory of the Negev - Department of Geological and Environmental Sciences - **Julia Goldbaum - Avinoam Rabinovitch** - The Deichmann Rock Mechanics Laboratory of the Negev - Physics Department, Ben-Gurion University of the Negev, Be'er Sheva, Israel - *Experimental and theoretical investigations of electromagnetic radiation induced by rock fracture* - Isr. J. Earth Sci.; 49: 9–19
17. **Cristiano Fidani** - Physics Department, Perugia University, Via A. Pascoli, Perugia 06123, Italy - *The Central Italy Electromagnetic Network and the 2009 L'Aquila Earthquake: Observed Electric Activity* - Geosciences 2012, 1, 3-25; doi:10.3390/geosciences1010003
18. **Liming He** - Department of Geodesy and Geomatics, School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, China - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - **Kosuke Heki** - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - *Ionospheric anomalies immediately before M w 7.0-8.0 earthquakes* - JGR Space Phys. 2017
19. **Liming He** - Department of Geodesy and Geomatics, School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, China - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - **Kosuke Heki** - Department of Earth and Planetary Sciences, Hokkaido University, Sapporo, Japan - *Three-Dimensional Tomography of Ionospheric Anomalies Immediately Before the 2015 Illapel Earthquake, Central Chile* - JGR Space Phys. 2018
20. **Minoru Tsutsui** - Department of Information and Communication Sciences, Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan - *Identification of earthquake epicenter from measurements of electromagnetic pulses in the Earth* - GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 32, L20303, doi:10.1029/2005GL023691, 2005
21. **Winda Astuti, Rini Akmelawati, Wahju Sediono**, and **M. J. E. Salami** - *Hybrid Technique Using Singular Value*

22. **W. Astuti, W. Sediono, R. Akmeliawati, A. M. Aibinu, and M. J. E. Salami** - Intelligent Mechatronics System Research Units (IMSRU), Department of Mechatronics Engineering - International Islamic University Malaysia, Gombak, Selangor Darul Ehsan, Malaysia - *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1679–1686, 2013 - www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1679/2013/
23. **Sergey Pulinets** – Space Research Institute – *Ionospheric Precursors of Earthquakes Recent Advances in Theory and Practical Applications* - TAO, Vol. 15, No. 3, 413-435 September 2004
24. **Rodolfo Manno** - Italian Committee for Project Hessdalen - *Onde radio nella Banda LF e precursori sismici*
25. **N. Gershenzon and G. Bambakidis** - Department of Physics Wright State University, Dayton, Ohio U.S.A. - *Modeling of seismo-electromagnetic phenomena* - RUSSIAN JOURNAL OF EARTH SCIENCES, VOL. 3, NO. 4, PAGES 247–275, OCTOBER 2001
26. **A. Nardi** - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy - **M. Caputo** - Department of Physics, University of Rome “La Sapienza”, Rome, Italy - Department of Geology and Geophysics, Texas A&M University, College Station, Texas, USA - *Monitoring the mechanical stress of rocks through the electromagnetic emission produced by fracturing* - International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 46 (2009) 940–945
27. **Gabriele Cataldi, Daniele Cataldi** - Radio Emissions Project, Rome (I). **Riccardo Rossi** - Friuli Experimental Seismic Network (FESN), Udine (I) and **Valentino Straser** - Department of Science and Environment UPKL Brussels (B) - *SELF-ELF Electromagnetic signals correlated to M5+ Italian Earthquakes occurred on August 24, 2016 and January 18, 2017* - NCGT JOURNAL Volume 5, Number 1, March 2017 pp. 134-143
28. **John L. Casey and Dong R. Choi** - International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC) - *A relationship between solar activity, energy transmigration, and New Zealand earthquakes* - New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 5, No. 2, June 2017 – pp. 255-260
29. **Valentino Straser** - Department of Science and Environment UPKL Brussels (B) - **Daniele Cataldi, and Gabriele Cataldi** - Radio Emissions Project, Rome (I) - *Radio Direction Finding System; a new perspective for global crust diagnosis* - New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 6, no. 2, June 2018 – pp. 202-210 - www.ncgtjournal.com
30. **O. Molchanov, A. Schekotov, E. Fedorov, G. Belyaev, E. Gordeev** - *Preseismic ULF electromagnetic effect from observation at Kamchatka* - HAL Id: hal-00299021 - <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00299021>
31. **Y. Ida - M. Hayakawa** - Department of Electronic Engineering and Research Station on Seismo Electromagnetics, The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585, Japan - **D. Yang - Q. Li** - Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China - **H. Sun** - Kashi Observatory, Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang 844000, China - *Detection of ULF electromagnetic emissions as a precursor to an earthquake in China with an improved polarization analysis* - *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 775–777, 2008 - www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/775/2008/
32. **X. Zhang, X. Shen, Michel Parrot, Z. Zeren, X. Ouyang, et al.** - *Phenomena of electrostatic perturbations before strong earthquakes (2005–2010) observed on DEMETER* - Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union, 2012, 12, pp.75-83. <10.5194/nhess-12-75-2012>. <insu-01179988>
33. **J.M. Birkett** – Technique for building and calibrating VLF/LF loop receive loop antennas – Technical report 1742 – April 1997
34. **Ohta, K., J. Izutsu, A. Schekotov, and M. Hayakawa** (2013), The ULF/ELF electromagnetic radiation before the 11 March 2011 Japanese earthquake, *Radio Sci.*, 48, 589–596, doi:10.1002/rds.20064.
35. **Daniele Cataldi, and Gabriele Cataldi** - Radio Emissions Project, Rome (I) **Valentino Straser** – independent resercher - *SELF-VLF Electromagnetic Signals and Solar Wind Proton Density Variations that Preceded the M6.2 Central Italy Earthquake on August 24, 2016* - International Journal of Modern Research in Electrical and Electronic Engineering - Vol. 1, No. 1, 1-15, 2017 <http://www.asianonlinejournals.com/index.php/IJMREER>
36. **P. F. Biagi, R. Piccolo, A. Minafra, T. Maggipinto, L. Castellana** – Department of Physics-INFN, University of Bari, Via Amendola 173, 70126 Bari, Italy - **O. Molchanov** - United Institute of the Earth's Physics, Russian Academy of Science, Bolshaya Gruzinskaya 10, 123995 Moscow, Russia - **A. Ermini** - Department of Physics and Energy Science and Technology, University of Rome Tor Vergata, Via di Tor Vergata, 00133 Rome, Italy - **V. Capozzi, G. Perna** - Department of Biomedical Sciences-INFN, University of Foggia, Via L. Pinto, 71100 Foggia, Italy - **Y. M. Khatkevic and E. I. Gordeev** - Experimental and Methodical Seismological Department, Geophysical Service, Russian Academy of Science, Pijp Av. 9, 683006 Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia - *Retrospective analysis for detecting seismic precursors in groundwater argon content* - Natural Hazards and Earth System Sciences (2004) 4: 9–15 SRef-ID: 1684-9981/nhess/2004-4-9

37. **Robert D. Cicerone** - Department of Earth Sciences, Bridgewater State College, Bridgewater, MA 02325, USA - **John E. Ebel** - Weston Observatory, Department of Geology and Geophysics, Boston College, 381 Concord Road, Weston, MA 02493-1340, USA - **James Britton** - Weston Observatory, Department of Geology and Geophysics, Boston College, 381 Concord Road, Weston, MA 02493-1340, USA - Weston Geophysical Corporation, 181 Bedford Street, Suite 1, Lexington, MA 02420, USA - *A systematic compilation of earthquake precursors* - Tectonophysics 476 (2009) 371–396
38. **S.Cht.Mavrodiev, C. Thanassoulas** - Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy - Bulgarian Academy of Sciences - Possible correlation between electromagnetic earth fields and future earthquakes - Seminar Proceedings - 23-27 July, 2001 Sofia.
39. **Sujay Pal** - Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics (Theoretical) of the University of Calcutta - *Numerical Modelling of VLF Radio Wave Propagation through Earth-Ionosphere Waveguide and its application to Sudden Ionospheric Disturbances.*
40. **Thanassoulas Constantine**: “Short Term Earthquake prediction” - 2007