

PRIMA ANALISI DEI DATI DI RADON INSERITI NELLA BANCA DATI DEL PROGETTO S3

A. Riggio¹, M. Santulin¹, A. Tamaro²

con il contributo di:

G. Barile³, G. Deantoni³, G. de Liso⁴, A. Fiaschi⁵, G. Immè⁶⁻⁷, R. Mineo⁸, D. Morelli⁶⁻⁷, N.M. Pagliuca⁹

¹ Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – OGS, Trieste

² Dottorato dell'Università di Udine presso l'OGS, Trieste

³ Osservatorio Geofisico di Novara, Torrion Quartara (NO)

⁴ Centro per lo studio dei Precursori Sismici, Torre Pellice (TO)

⁵ Prato Ricerche, Istituto Geofisico Toscano, Prato

⁶ Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli Studi di Catania

⁷ INFN, Sezione di Catania

⁸ 10° Settore Geologia e Geognostica, Provincia Regionale di Ragusa

⁹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV, Roma

Introduzione. Nell'ambito del progetto INGV-DPC S3, si è proceduto alla realizzazione di una banca dati contenente dati di radon acquisiti e forniti da istituzioni scientifiche o amatoriali, corredate, quando disponibili, da dati meteorologici registrati dallo stesso strumento del radon, o da stazioni meteo ubicate in prossimità del sito di rilevamento del radon. La banca contiene 3961 siti e più di un milione di records (Riggio *et al.*, 2013).

Le modalità di acquisizione applicate sono: in suolo, in acqua e in aria. Il tempo di campionamento è compreso tra i dieci minuti e le dodici ore, per le misure considerate in continuo, e tra i quindici giorni e un anno, per quelle campionate.

I punti fondamentali dell'analisi dei dati sono la definizione di "anomalia" e le sue caratteristiche (tempo precursore, ampiezza, durata), la stima dell'influenza dei parametri ambientali e come effettuare la selezione dei terremoti da considerare.

La letteratura esistente sul radon e sulla possibile connessione tra le sue variazioni e la deformazione crostale, è notevole, poiché il radon fu identificato come un possibile precursore già nel 1920 (Riggio *et al.*, 2013).

Purtroppo, dopo periodi di grande entusiasmo, in cui furono eseguite diverse misure in varie parti del mondo, seguirono periodi in cui tale tipo di studio fu messo da parte, interrompendo, così, delle serie temporali che sarebbero state di grande utilità.

Tutti i tipi di precursori sismici sono un'unica reazione al processo di preparazione del terremoto, sebbene le grandezze fisiche osservate siano diverse l'una dall'altra. Il processo di insorgenza e di preparazione di un terremoto influenza le caratteristiche dell'anomalia, come si può dedurre da uno studio sistematico sia di anomalie di medio-lungo tempo, con durata anche di anni, che di anomalie di breve durata osservate poco prima del verificarsi del terremoto (Zhang *et al.*, 1996).

Infatti, le caratteristiche dell'anomalia possono essere influenzate dal tipo di struttura tettonica della zona e dal conseguente tipo di meccanismo del potenziale terremoto (Italiano *et al.*, 2012).

L'estensione del campo di stress determina la distanza entro la quale possono essere rilevati fenomeni precursori.

Analisi dei dati. I dati forniti dalle varie Istituzioni sono stati omogeneizzati secondo la scheda metadati in precedenza definita. In Tab. 1 è riportato un esempio di dati di radon acquisiti in suolo dall'OGS e archiviati nella Banca Dati. Le informazioni riportate sono quelle di base, comuni a tutti i siti, ma in alcuni, sono disponibili molte altre informazioni relative alle caratteristiche fisico-chimiche delle acque (temperatura, conducibilità, pH, EH) e ai parametri meteorologici (temperatura dell'aria, pressione, umidità).

Una netta distinzione deve essere fatta tra i dati con campionamenti periodici e i dati campionati in modo tale da poter essere considerati "in continuo". A causa della mancanza sul mercato, fino a pochi anni fa, di strumentazione di facile utilizzo, per misure in acqua in continuo, le serie temporali più lunghe sono quelle acquisite in suolo. Una prima interpretazione

Tab. 1 - Esempio di dati archiviati secondo la scheda metadati.

| NAME | DATE | LAT. | LONG. | ALTI T. | RADON | M.UNI | E R | M. UNIT. | ACQUIS. M. | SITE TYPE | INSTRUM. |
|---------|------------------|-----------|-----------|---------|--------|-------------------|--------|-------------|---------------|--------------|---------------|
| Cazzaso | 2002/11/12/16/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 99,49 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/12/19/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 78,68 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/12/22/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 65,51 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/13/01/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 59,7 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/13/04/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 49,29 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/13/07/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 65,82 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/13/10/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 104,39 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |
| Cazzaso | 2002/11/13/13/37 | 46,430669 | 12,995248 | 675 | 108,07 | Bq/m ³ | | | Soil | Well | Prassi-Silena |

è stata fatta solamente sui dati di una singola serie acquisita in Friuli (Riggio *et al.*, 2013), ma sono almeno sei le Istituzioni che hanno fornito dati acquisiti in continuo per un periodo di tempo superiore o uguale all'anno, in uno o più siti, per un totale di quindici serie temporali.

Le serie prese in considerazione sono state acquisite tutte in suolo ma con strumenti e intervalli di campionamento differenti. I dati riportati in Tab.1 hanno un campionamento di tre ore poiché lo strumento utilizzato prevede un periodo di tre ore per ripulire la misura di radon dai prodotti del decadimento (figli del radon). Gli strumenti utilizzati per l'acquisizione sono diversi sia per casa costruttrice sia per tecnica di misura. Lo strumento indicato in Tab.1, il Prassi della Silena, utilizza la tecnica della cella a scintillazione, in modalità attiva, mentre gli altri siti che saranno presi in esame, sono equipaggiati, nel maggior numero dei casi, con l'AlphaGuard, strumento con tecnica di cella a ionizzazione che può essere utilizzato in modalità attiva e passiva, ma sono utilizzati anche un Radon-Meter detector della Geoex mod.1027, e un prototipo realizzato dalla ditta Elettrobyt e utilizzato dall'Osservatorio Geofisico di Novara. I periodi di acquisizione dei singoli siti sono riportati in Fig.1. Dal 2004 al 2014 è il periodo in cui più siti hanno acquisito simultaneamente. Si è iniziato, quindi, ad analizzare i dati registrati in questo periodo e in questi siti, anche se la diversa frequenza di campionamento potrebbe rendere difficile la correlazione dei segnali.

La prima analisi è stata fatta definendo "anomalia" i valori che superano il limite del +/- 2 sigma considerando tutti i terremoti selezionati secondo Hauksson e Goddard (1981), e nel caso di forti terremoti, anche qualcuno non incluso nella selezione.

Le anomalie relative alla serie di Cazzaso (Friuli) sono state già riportate in precedenti lavori (Riggio *et al.*, 2013). Oltre a singole anomalie potenzialmente relazionabili ad eventi di magnitudo poco superiore al 3,0, era stato riscontrato un progressivo aumento della concentrazione di radon dall'agosto 2006 all'aprile 2009, e analizzato con la sismicità complessiva espressa tramite il coefficiente b della legge frequenza-magnitudo (Gutenberg e Richter, 1944; Riggio e Sancin, 1986). Nel presente lavoro saranno analizzati anche i dati del sito dell'Osservatorio Geodinamico di Rocca di Papa dell'INGV che ha prodotto una serie temporale che va dal 2005 al 2009. Lo strumento utilizzato per l'acquisizione in suolo è un AlphaGuard e l'intervallo di campionamento è di un'ora. In Tab. 2 sono riportate le anomalie che si è cercato di evidenziare,

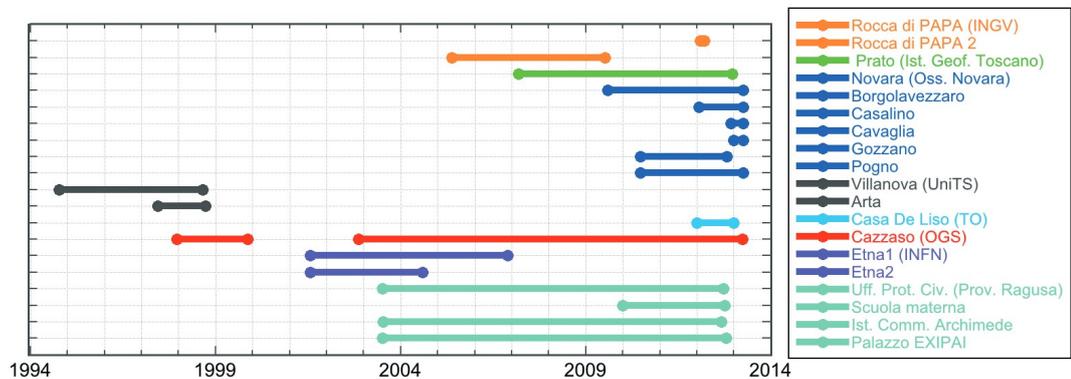


Fig. 1 – Grafico dei periodi di acquisizione dei siti di monitoraggio continuo di radon in suolo.

secondo i criteri menzionati prima, com'era stato fatto per i dati del sito friulano (Riggio *et al.*, 2013). Il valore medio ivi registrato nel 2005 è di 6,33 Bq/m³, mentre dal 2006 al 2009 raggiunge il valore di 12,36 Bq/m³, indicando un raddoppiamento della concentrazione di radon registrata, in corrispondenza del progressivo aumento osservato nel sito di Cazzaso (Friuli).

Fra le varie Istituzioni che acquisiscono da qualche anno dati di concentrazione di radon in suolo, in continuo, in ben sei siti differenti (Cavaglia, Casalino, Gozzano, Pogno, Novara e Borgolavezzaro), c'è l'Osservatorio Geofisico di Novara, che nato nel 1980, dopo il terremoto dell'Irpinia, grazie ad un gruppo di volontari della Protezione Civile, collabora con altre Istituzioni come l'ARPA di Novara e Ivrea e l'INGV. I siti di acquisizione sono in funzione dal settembre 2009 (a Novara), e successivamente negli altri cinque, sempre in provincia di Novara e in prossimità della Faglia della Cremosina. Lo strumento è un prototipo costruito presso l'Osservatorio, che acquisisce con frequenza oraria in counts/ora. I rilevatori sono posizionati a circa 1 metro sotto il livello del terreno. Una prima analisi sui segnali ivi registrati ha messo in evidenza la presenza di andamenti simili nei vari siti, in particolare, con anomalie comuni nei seguenti periodi: 23/10/2011-06/11/2011 e 04/09/2012 - 29/11/2012 (Novara e Pogno), 12/02/2012 -04/05/2012 e 06/10/2012 - 07/01/2013 (Casalino e Pogno), dal 28/02/2012 al 17/05/2012 e 03/06/2012-12/10/2012 (Gozzano). Sebbene le serie temporali non siano molto lunghe, l'insieme dei siti costituisce una piccola rete di rilevamento utile per la verifica delle variazioni, che include, nella maggior parte dei casi, anche i dati meteorologici. Sempre in Piemonte, è presente un'ulteriore sito di rilevamento con gestione amatoriale, dove è stato creato un piccolo osservatorio, in località Torre Pellice (TO), che acquisisce dati magnetici, di temperatura e di radon con campionamento ogni 12 ore. Lo strumento per il radon è un Detector 1027 della Geoex. La serie temporale, anche in questo caso, comprende il periodo 2012 -2013. Dal 5 maggio al 9 luglio 2012 e durante il mese di ottobre 2013, si sono riscontrate le due variazioni più evidenti della concentrazione di radon. Lo strumento è posizionato in uno scantinato a circa 30 cm di profondità dal piano del pavimento. Il segnale sembra non essere influenzato da fattori esterni e si cercherà di correlarli con gli altri dati disponibili.

Altro sito, con registrazione in continuo, non troppo lontano dalla zona scelta come prioritaria, è Prato, gestito da Prato Ricerche, Istituto Geofisico Toscano in collaborazione con la Sezione di Prato del CAI. Lo strumento, in funzione dal 2007, è un AlphaGuard posizionato all'interno della grotta di Forra Lucia. Il tempo di campionamento è orario. Anche per questi dati è stata fatta una prima analisi delle possibili anomalie presenti nella serie temporale, che sono state individuate.

Per tutti i siti dopo la prima analisi, per ogni anomalia riscontrata, sono stati determinati i parametri che caratterizzano un'"anomalia" e cioè: durata, ampiezza, tempo precursore. A titolo di esempio vengono riportate in Tab. 3 le caratteristiche delle anomalie rilevate nel sito

di Pugno (Novara). Per “durata” si intende il periodo compreso tra il momento in cui il segnale di radon supera il limite del 2sigma e il momento in cui ritorna sotto il limite del 2sigma, per “ampiezza” si intende il valore massimo raggiunto sopra il limite del 2sigma, la magnitudo si riferisce al primo terremoto, fra i selezionati, che si verifica dopo la fine dell’anomalia, per “tempo precursore”, il tempo intercorso tra il tempo di inizio dell’anomalia e il verificarsi di un terremoto. Naturalmente tutte queste analisi sono state fatte a posteriori e non sono quindi da considerarsi previsioni, ma un’interpretazione dell’andamento del radon nel tempo.

Tab. 2 - Anomalie rilevate nella serie temporale di Rocca di Papa.

| Periodo 2005_2009 con 2sigma =34,123 | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|-----------|------------------------|-------|-------|--------------|
| ANOMALIA | Inizio | Fine | Terremoto | Magnit. ⁽¹⁾ | LAT | LON | Localizzaz. |
| Anomalia lungo period. 1 | 23/01/06 | 24/01/06 | | | | | |
| Con vari picchi | 20/02/07 | 18/12/07 | | | | | |
| | 03/01/08 | 03/01/08 | | | | | |
| | 06/03/08 | 06/03/08 | 12/04/08 | 3,70 | 41,78 | 12,58 | Colli Albani |
| | 29/04/08 | 14/05/08 | 30/03/09 | 4,10 | 42,32 | 13,38 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 5,90 | 42,34 | 13,38 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,70 | 42,35 | 13,35 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,30 | 42,36 | 13,46 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,20 | 42,30 | 13,43 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,60 | 42,36 | 13,33 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,10 | 42,34 | 13,39 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 4,10 | 42,36 | 13,34 | L’Aquila |
| | | | 06/04/09 | 5,00 | 42,46 | 13,39 | L’Aquila |
| | | | 07/04/09 | 4,80 | 42,34 | 13,39 | L’Aquila |
| | | | 07/04/09 | 5,40 | 42,30 | 13,49 | L’Aquila |
| | | | 07/04/09 | 4,30 | 42,36 | 13,37 | L’Aquila |
| | | | 09/04/09 | 5,10 | 42,49 | 13,35 | L’Aquila |
| | | | 09/04/09 | 4,60 | 42,34 | 13,44 | L’Aquila |
| | | | 09/04/09 | 4,10 | 42,34 | 13,26 | L’Aquila |
| | | | 09/04/09 | 5,00 | 42,50 | 13,35 | L’Aquila |
| | | | 13/04/09 | 5,00 | 42,50 | 13,38 | L’Aquila |
| 2 | 22/04/09 | 08/05/09 | 23/04/09 | 4,20 | 42,23 | 13,49 | L’Aquila |
| | | | 22/06/09 | 4,60 | 42,45 | 13,35 | L’Aquila |
| | | | 12/07/09 | 4,20 | 42,33 | 13,38 | L’Aquila |
| | | | 06/08/09 | 4,20 | 41,65 | 13,67 | Cassino |
| Periodo 2006_2009 with 2sigma= 37,85 | | | | | | | |
| ANOMALIA come 05-09 | | | | | | | |
| Periodo 2005 con 2sigma = 17,44 | | | | | | | |
| ANOMALIA 1 | 25/01/05 | 25/01/05 | | | | | |
| | 05/02/05 | 06/02/05 | | | | | |
| | 01/03/05 | 01/03/05 | | | | | |
| | 25/03/05 | 27/03/05 | | | | | |
| | 10/04/05 | 11/04/05 | | | | | |
| | 08/05/05 | 11/05/05 | | | | | |
| 2 | 19/10/05 | 20/10/05 | 22/08/05 | 4,70 | 41,37 | 12,45 | CostaLaz. |

⁽¹⁾La magnitudo riportata è ML dal Bollettino Sismico Italiano (INGV, 2005-2009).

Sebbene la priorità dell'area sia stata data alla Pianura Padano-Veneta (Po Plain) e all'Appennino meridionale, successivamente saranno analizzati anche i dati radon acquisiti sull'Etna (INFN) e a Ragusa (Provincia di Ragusa) poiché sono le altre due serie temporali molto lunghe e contemporanee a quelle elencate precedentemente. L'analisi di queste serie dovrà tenere conto della caratteristica vulcanica della zona. I sensori dell'INFN sono due e sono ubicati sul versante NE e sul versante SO dell'Etna e sono costituiti da un AlphaGuard ciascuno con campionamento giornaliero dal 2001 al 2006. I valori registrati sul versante NE sono circa il doppio di quelli registrati sul versante SO.

La Provincia di Ragusa, oltre ad effettuare misure di radon indoor con periodicità variabile, dal 2003 al 2012, ha acquisito radon in suolo in tre siti differenti (Ragusa, Modica e Scicli, e dal 2010 a Monterosso Almo), sempre in provincia di Ragusa, utilizzando lo strumento AlphaGuard PQ2000 Pro in modalità attiva. Dal 2010 la stazione di Ragusa è stata equipaggiata con un rilevatore Miam Tesys MR1 Plus. L'intervallo di campionamento in tutti i siti è di 10 minuti.

Il radon è un gas, e come tale il suo comportamento è fortemente influenzato dalle variabili di stato: pressione, volume e temperatura. Le relazioni che legano tali grandezze fisiche sono le leggi dei gas, e quella che le mette tutte in relazione, è la legge dei gas perfetti:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

dove P è la pressione, V il volume, n il numero di moli, R la costante universale dei gas e T la temperatura. Quando le condizioni di pressione e temperatura si allontanano da quelle ambientali, il comportamento del gas può essere molto differente dalla relazione teorica.

Il dubbio che assale la maggior parte dei ricercatori che operano in questo campo e no, è se l'utilizzo del radon come precursore possa essere inficiato da variazioni del suo comportamento causate da variazioni di parametri meteorologici.

Per verificare se i dati delle serie temporali utilizzate fossero affette da fattori esterni, si è proceduto con la correlazione tra i dati di alcuni dei siti descritti prima, e la temperatura e pressione, misurate dallo strumento stesso o in stazioni meteo vicine. I coefficienti di correlazione non hanno mai superato lo 0,2, indicando una scarsissima influenza di parametri ambientali. Naturalmente ogni sito può avere un comportamento differente secondo la sua localizzazione più o meno esposta alle condizioni ambientali.

Poiché, in alcuni casi, nel segnale di radon sono più evidenti delle variazioni, di tipo stagionale, che potrebbero costituire un intralcio all'interpretazione, si è provato ad eliminare tale componente, facendo la media del segnale giorno per giorno, su un anno, per tutti gli anni. La crosscorrelazione tra la sequenza giornaliera calcolata e il segnale originario ha dato un coefficiente di correlazione maggiore di 0,8. In Fig. 2 è stato riportato, il valore di radon

Tab. 3 - Caratteristiche delle anomalie rilevate nella serie temporale di Pogno (Novara).

| DATA ANOMALIA | DURATA | AMPIEZZA | MAGNITUDO | T.PRECURSORE | DISTANZA(km) |
|-----------------------|----------------|----------|--|----------------|--------------|
| 26-06-2010/08-04-2011 | 9 Mesi + 12 gg | 254,42% | 5.1 ⁽¹⁾ + 4.9 ⁽¹⁾ + 4.4 ⁽¹⁾ | 1 Anno + 11 gg | 300 |
| 23-10-2011/28-10-2011 | 6 gg | 127,21% | 4.4 ⁽¹⁾ | 7 gg | 160 |
| 29-12-2011/26-01-2012 | 28 gg | 149,00% | 5.0 ⁽²⁾ + 5.2 ⁽²⁾ | 29 gg | 260 |
| 27-01-2012/15-05-2012 | 3 Mesi + 19 gg | 232,30% | 5.9 ⁽²⁾ + 5.8 ⁽²⁾ + 5.3 ⁽³⁾ + 5.2 ⁽¹⁾ + 5.1 ⁽¹⁾ | 3 Mesi + 23 gg | 260 |
| 29-07-2012/30-03-2013 | Non terminata | 188% | | | |

⁽¹⁾ Regional Seismic Network of North-western Italy (RSNI) – DISTAV - Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Sezione Geofisica, Università di Genova (DISTAV, 2011-2012). Le magnitudo riportate sono ML.

⁽²⁾ Bollettino della Rete Sismometrica del Friuli - Venezia Giulia – OGS, Trieste (OGS, 2012). Le magnitudo riportate sono MD.

⁽³⁾ ISIDe – INGV, Roma (ISIDe, 2012). La magnitudo riportata è Mw.

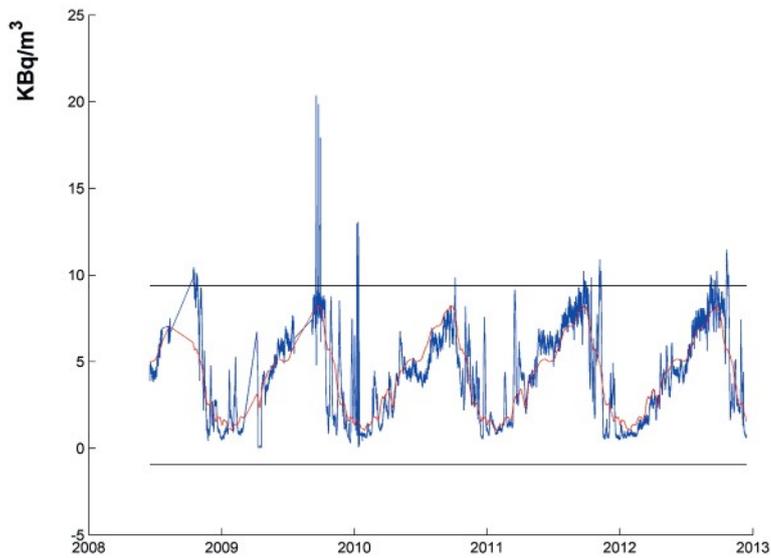


Fig. 2 – Radon in suolo registrato nel sito di Prato (linea blu), +/- 2sigma (linee nere) e l'andamento stagionale medio liscio (linea rossa).

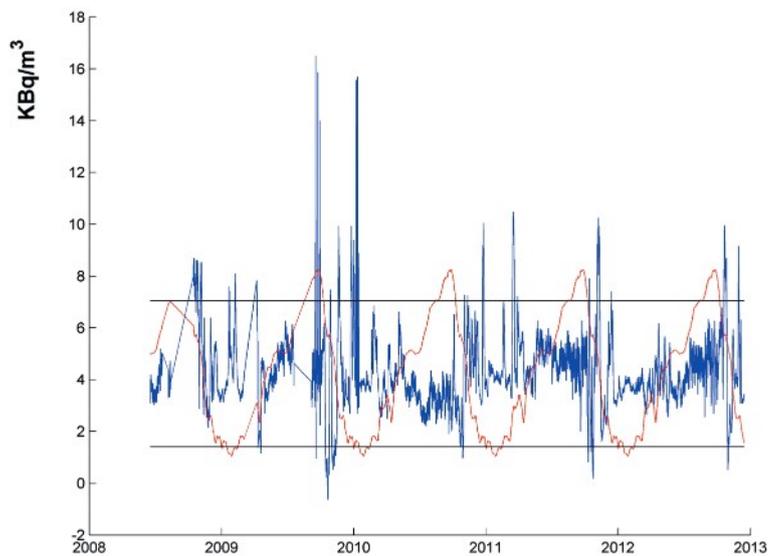


Fig. 3 – Radon in suolo registrato nel sito di Prato, corretto dalla variazione stagionale (linea blu), +/- 2sigma (linee nere) e l'andamento stagionale medio liscio (linea rossa).

originario, acquisito nel sito di Prato, e l'andamento stagionale medio del radon liscio. In questo caso era molto evidente una componente stagionale del segnale che doveva essere eliminata. In Fig. 3 è riportato lo stesso segnale di radon corretto e l'andamento stagionale medio, sempre per il sito di Prato. E' evidente che la correzione non elimina le potenziali "anomalie" ma le evidenzia maggiormente. Lo stesso sistema di pulizia del dato sarà applicato alle altre serie di dati.

Dopo la fase di ripulitura, si dovrà procedere con l'omogeneizzazione dei dati per poterli correlare fra loro e, successivamente, con altri fenomeni. A tal fine si proverà ad applicare le tecniche di PCA (Gualandi, 2014; Jolliffe, 2002) per analizzare la dinamica di un sistema fisico.

Conclusioni. La creazione di una banca dati contenente una buona parte dei dati di radon acquisiti sul territorio nazionale, ha dato la prima possibilità di analizzare contemporaneamente i segnali provenienti da siti differenti. Oltretutto, si spera, che potrà essere una banca aperta e che l'inserimento dei dati possa continuare non solo da parte delle Istituzioni che hanno aderito all'iniziativa, ma anche da parte di chi non ha partecipato finora, al fine di giungere realmente ad un prodotto sempre più completo ed efficiente.

La presenza di Anomalie riscontrate nello stesso periodo in siti differenti fa sperare che l'incremento del numero di siti, localizzati lungo tutto il territorio nazionale, possa dare un grande contributo. In ultimo, ma non ultimo, il confronto con gli altri osservabili, studiati nell'ambito del progetto S3 dalle altre U.R., dovrebbe portare all'identificazione dell'area coinvolta nel processo di deformazione.

I dati riportati qui sono solo una minima parte di quelli che sono stati e che saranno analizzati, ma in fase di riassunto non era possibile citarli tutti. Si è voluto dare una panoramica delle attività svolte all'interno del progetto S3 della convenzione INGV-DPC.

Ringraziamenti. La ricerca è stata eseguita nell'ambito delle attività del Progetto Sismologico S3 (2014 – 2015), finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile Italiana (DPC) e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Bibliografia

- DISTAV; 2011 – 2012: Bollettini sismici mensili della Rete Sismica della rete dell'Italia Nord Occidentale (RSNI).
- A. Gualandi; 2014: Analisi delle Componenti Principali: cenni teorici. Seminario all'interno del progetto S3, Bologna, 10/07/2014.
- Gutenberg B. and Richter C.F.; 1944: Frequency of earthquakes in California Bull. Seism. Soc. Am., **34**, 185-188.
- Hauksson E. and Goddard J.G.; 1981: Radon Earthquake Precursor studies Iceland. J.Geophys.Res. 86, 7037 – 7054
- INGV; 2005 -2009: Bollettino Sismico Italiano, INGV – Roma.
- ISIDe; 2012: Lista degli eventi sismici registrati dalla Rete sismica Nazionale.
- Italiano F., Liotta M., Martelli M., Martinelli G., Petrini R., Riggio A., Rizzo A.L., Slejko F.F., Stenni B; 2012: Geochemical features and effects of deep seated fluids during the May-June 2012 southern Po Valley seismic sequence. Annals of Geophysics, 55, 815-821
- I.T.Jolliffe; 2002: Principal Component Analysis, Second Edition – Springer, ISBN 0-387-95442-2.
- OGS; 2012: Bollettino della Rete Sismometrica del Friuli – Venezia Giulia. OGS, Trieste.
- Riggio A. and Sancin S.; 1986: Variazione nel tempo del parametro b quale precursore. In: Atti del 5° Convegno NGGTS, Esagrafica, Roma, pp. 407-419.
- A.Riggio, M.Santulin, A.Tamaro; 2013: Radon as seismic precursor in the framework of the S3 project . In: Atti del 32° Convegno NGGTS, Trieste, Vol.2, pp. 123 – 130.
- Zhang Guomin, LI Xuanhu, LI Li ;1996: Research on Earthquake Prediction in China Since the 1980s, in The Selected Papers of Earthquake Prediction in China. State Seismological Bureau. Seismological Press. Editor in Chief, GE Zhizhou, Beijing, pp. 9 – 18. ISBN 7-5028-1331-4/P.836 (1768).