

MONITORAGGIO DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON IN ALCUNE SORGENTI SITE IN CALABRIA SETTENTRIONALE.

Adalisa TALLARICO (*)

(*)Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, ponte P. Bucci, 30-C,87036, Rende (CS), Italy Tel 0984496055
Fax 0984494401 E-mail tallarico@fis.unical.it

Riassunto.

Gli intervalli di tempo in cui le variazioni di concentrazione di gas radon disciolto nelle acque sorgive sono più frequenti e di maggiore entità rispetto alla concentrazione media, possono essere correlati all'attività sismica. Il monitoraggio della concentrazione di gas radon in alcune sorgenti site in prossimità di importanti faglie attive di interesse regionale assume, dunque, una importanza notevole nelle zone sismiche. Prima di effettuare un monitoraggio temporale è comunque necessario conoscere la distribuzione spaziale delle emissioni di gas radon, sia nei gas del suolo sia nelle sorgenti, per individuare i punti più critici da monitorare, per verificare l'entità dell'anomalia stessa e la sua connessione con le strutture tettoniche presenti (dunque verificare se l'anomalia è dovuta ad una risalita di gas da notevole profondità oppure è un fenomeno superficiale legato alle litologie presenti). Nel presente lavoro di ricerca sono state inizialmente effettuate una serie di misure di concentrazione di radon nelle acque sorgive della valle del Crati al fine di studiare l'andamento spaziale della variazione di concentrazione in tale area. Successivamente sono state scelte tre sorgenti da monitorare nel tempo per confrontare eventuali variazioni di concentrazione con l'attività sismica. Le misure di concentrazione di Radon disciolto in acque sorgive sono state eseguite utilizzando la tecnica degli scintillatori, in particolare delle celle di Lucas. Il set-up sperimentale è stato fornito dalla Pylon. Per velocizzare il processo di campionamento il prelievo d'acqua viene effettuato presso la sorgente direttamente in contenitori a tenuta. Il campione viene poi conservato nel contenitore fino al momento dell'operazione di degassaggio, che può avvenire comodamente in un secondo momento in laboratorio. Dall'analisi della distribuzione spaziale (effettuata in ambiente GIS) della concentrazione di radon nelle acque sorgive di una serie di sorgenti site in Calabria settentrionale, sono emersi alcuni siti di interesse per un successivo monitoraggio della variazione di concentrazione nel tempo. In questo lavoro di ricerca sono stati monitorati tre siti, e sono state riscontrate correlazioni con alcuni eventi sismici che si sono verificati durante il periodo di monitoraggio. Per il futuro ci si auspica di riuscire a monitorare un numero maggiore di sorgenti poste in prossimità di differenti faglie attive.

Abstract.

There is a clear correlation between changes in the concentration of dissolved radon gas in water samples and seismic activity. The frequency of retrospective reports of geochemical anomalies associated with subsequent seismic events suggests that geophysical phenomena associated with the earthquake preparation process can produce precursory changes in the compositions of groundwaters and ground gases. So that, monitoring radon concentration in some springs, which are collocated near regional active faults, is very important in seismic areas. Geochemical monitoring programs can provide information that may be valuable in forecasting the probability of an earthquake; however, because of the complexity of the earthquake preparation process, the absolute prediction of seismic events using geochemical methods alone, does not presently appear to be feasible. It is necessary to know spatial distribution of radon concentration in soil gases and in

springs before monitoring radon concentration in some springs. In fact we have to choose the best monitoring sites. These anomalies are usually recorded not in every well or spring but only in a relative few that are suitably situated along certain fault zones, especially in places where the faults bend, terminate, or intersect another fault. In this study, measurements of radon concentration were done in some springs of the Crati Valley to infer spatial distribution of radon concentrations using GIS. Than three springs have been monitored. Measurements have been carried out by scintillators technique, in particular Lucas's cells. The experimental set-up has been supplied by Pylon. In order to speed up sample collection, the collected samples are preserved until their detection in the laboratory using screw stopped Pet containers. In this study three sites have been monitored and some relationships have been found between radon concentrations values and earthquakes. In the future, it is important to monitor a lot of sensitive sites to infer important relationship between radon anomalies and seismic activity.

1. Introduzione.

La migrazione di gas endogeni è un processo che si verifica in modo ubiquitario nella crosta terrestre, ma non in modo uniforme, sia nello spazio che nel tempo. Tale processo si presenta in modo disomogeneo a causa della distribuzione e delle condizioni di stress delle numerose fratture crostali. I luoghi in cui il rilascio di gas è più concentrato sono le dorsali oceaniche, gli apparati vulcanici, le faglie attive, i punti di emergenza di sorgenti calde e le regioni epicentrali dei grandi terremoti; tale fenomeno, comunque, diminuisce in maniera considerevole nelle regioni più stabili della superficie terrestre. Gli intervalli di tempo in cui tali emissioni sono più frequenti corrispondono ai periodi di attività vulcanica, di attività tettonica e di forte attività sismica; per questo motivo le discontinuità tettoniche, i grandi canali di migrazione utilizzati dai gas endogeni per raggiungere la superficie terrestre, costituiscono una “finestra” utile all’osservazione ed alla comprensione dei processi chimico-fisici che avvengono all’interno del nostro pianeta (Ramola et al. 1990; Thomas 1988; King 1985; Wakita et al. 1985; Hauksson E. 1981). E’ stato ampiamente dimostrato come l’esalazione dei gas dal suolo, e quindi la concentrazione degli stessi nei pori del suolo, sia controllata dalle variazioni di alcuni parametri meteorologici, primi fra tutti, la pressione atmosferica, la temperatura dell’aria e del suolo, l’umidità dell’aria e del suolo e la velocità del vento. L’effetto dei parametri meteorologici sulla dinamica dei gas del suolo non è affatto lineare (Hinkle, 1994). I vari parametri interagiscono fra loro dando luogo spesso a combinazioni di effetti, che possono essere importanti localmente ma che non possono essere considerati rappresentativi di un comportamento generale (Schery et al. 1989). Si è ritenuto, dunque, opportuno effettuare un monitoraggio delle variazioni di concentrazione di radon disciolto in acqua che presenta una variazione di concentrazione nel tempo meno influenzata dai parametri atmosferici e più strettamente correlabile all’attività sismica. Molti Autori hanno riscontrato una relazione fra il verificarsi di terremoti di magnitudo medio-alta e le variazioni di concentrazione di gas radon disciolto in acqua (Plastino et al., 2002; Zmazek et al., 2002; Castro-Morales., LaBrecque,1999; Singh et al.,1999; Virk,1995; Birchard, Libby,1980; Wakita et al.1980). Tuttavia, la scelta dei “siti sensibili”(posti, ad esempio, all’intersezione di due o più faglie, o alla terminazione di faglie di interesse regionale) è stata effettuata tenendo in considerazione la distribuzione spaziale delle concentrazioni di radon nei gas del suolo e nelle sorgenti presenti nell’area di indagine.

2. Inquadramento geologico-regionale dell’area di studio.

Il bacino del F. Crati è una depressione tettonica plio-olocenica strutturata, nella sua porzione meridionale, da faglie normali ad andamento N-S, e nel settore settentrionale, in corrispondenza della Piana di Sibari, da faglie ad andamento prevalentemente WNW-ESE ed in subordine NE-SW (Tortorici, 1981; Lanzafame & Tortorici, 1981; Turco et al., 1990; Knott & Turco, 1991). Le suddette faglie separano i depositi (conglomeratici-sabbiosi-argillosi) plio-quadernari di riempimento del bacino del F. Crati, ad ovest e ad est, rispettivamente, dalle rocce cristallino-

metamorfiche degli *horst* della Catena Costiera e dell'Altopiano Silano e, a nord, dalle rocce carbonatiche mesozoiche appartenenti all'Unità del Pollino (Amodio Morelli et al., 1976).

Il *graben* del F. Crati ricade nel contesto geologico regionale dell'Arco Calabro-Peloritano (Amodio-Morelli et al., 1976), ampia porzione di origine alpina dell'orogene appenninico-magrebide, dalla caratteristica forma ad arco, estruso al di sopra della crosta oceanica del Bacino Ionico durante le fasi finali dei processi collisionali tra Africa ed Europa (Ben Avraham et al., 1990). Strutturalmente l'Arco rappresenta un *thrust-system* prodotto dalla sovrapposizione, tra il Cretaceo superiore e il Paleogene, di una serie di unità cristallino-metamorfiche paleozoiche derivanti dalla deformazione di domini continentali ed oceanici. Successivamente alla sua strutturazione, l'Arco Calabro-Peloritano è stato interessato da un'intensa fase tettonica post-orogena estensionale, iniziata dal Pliocene Superiore e tuttora in atto. L'estensione ha prodotto un'ampia zona di *rift*, denominata da Monaco et al. (1996) "*rift-zone siculo-calabra*", strutturata da un sistema di faglie normali, tuttora attive, che si estende dalla costa orientale della Sicilia, attraverso lo Stretto di Messina, fino al settore nord-occidentale della Calabria. I segmenti di faglia di questa struttura bordano i principali bacini plio-pleistocenici della regione (Bacino del Crati, bacino del Mesima-Gioia Tauro, Stretto di Messina). Dei suddetti bacini, il *graben* del F. Crati rappresenta l'elemento neotettonico di maggiore importanza, oltre che per estensione, anche per il particolare significato geodinamico nel contesto geologico del Mediterraneo centrale. Esso infatti, essendo collocato nel settore di transizione tra l'Arco Calabro-Peloritano e l'Appennino meridionale, rappresenta uno dei settori-chiave per la comprensione dei rapporti tra i due domini di catena. Nel *graben* del Crati gli effetti della tettonica quaternaria risultano particolarmente evidenti: le faglie mostrano, infatti, scarpate ben sviluppate e con sensibile grado di "freschezza" morfologica. (presenza di faccette triangolari e gradini morfologici). L'attività di queste faglie avrebbe avuto inizio durante il Pliocene sup. (Tortorici, 1981) ed è perdurata fino all'Attuale. Da un punto di vista sismico, infatti, l'area di studio, così come tutto l'Appennino meridionale e la Sicilia orientale, rappresenta un settore particolarmente attivo (Guerra, 1986; Tortorici et al., 1995; Gasparini et al., 1982).

3. Scelta dei siti da monitorare.

Le sorgenti che sono state scelte come siti di interesse per un monitoraggio delle concentrazioni di radon, effettuato tramite un prelievo giornaliero ed una successiva lettura della concentrazione in laboratorio, presentano una serie di caratteristiche geochimiche e geologico-strutturali valutate in ambiente GIS. Infatti, per una corretta definizione delle anomalie di concentrazione, il valore medio misurato alla sorgente deve essere elevato, altrimenti le variazioni legate all'attività sismica non possono essere differenziate dalle oscillazioni di background. Si ritiene opportuno precisare che si definisce anomalo un valore pari a $x \pm 2\sigma$, dove x è il valore medio e σ la deviazione standard. Si devono, quindi, individuare i siti di maggiore emissione di gas radon, effettuando un campionamento dei gas del suolo e delle sorgenti presenti nell'area di indagine. Tali campionamenti consentono inoltre di verificare se i punti di intersezione dei lineamenti geologico strutturali o i punti di terminazione di fratture e faglie costituiscono siti di interesse, e quali scegliere fra gli eventuali possibili considerando l'entità e l'andamento spaziale delle anomalie. Durante il campionamento regionale (4 campioni km^{-2}), effettuato a Giugno 2004, sono stati prelevati 2448 campioni di gas del suolo in un'area di $612 km^2$. I campioni sono stati prelevati in modo da ricoprire uniformemente l'area di indagine, ma si sono comunque riscontrate restrizioni logistiche e topografiche. Si è riscontrato che le concentrazioni più elevate di gas radon nel suolo, in questo settore della valle del Crati, sono localizzate soprattutto in corrispondenza di fasce fratturate con direzione NW-SE, caratterizzate da un'elevata permeabilità secondaria e legate alla presenza di importanti elementi strutturali, alcuni dei quali non visibili in superficie. Il successivo campionamento delle sorgenti presenti nell'area di indagine ha evidenziato che l'andamento spaziale delle isoanomalie di concentrazione di radon nei suoli coincide con i trend di variazione della concentrazione di radon disciolto in acqua, tranne che per alcune sorgenti che si trovano in

contesti idrogeologici particolari e che non si è ritenuto opportuno scegliere per la procedura di monitoraggio.

4. Definizione del protocollo di misura.

Esistono diverse tecniche messe a punto per determinare la concentrazione di Radon in un campione di acqua. In questo lavoro le misure sono state eseguite utilizzando la tecnica degli scintillatori, in particolare delle celle di Lucas. Il set-up sperimentale è stato fornito dalla Pylon, e consta di un'unità degassante (Pylon model WG-1001-Vacuum water degassing system) che consente di raccogliere il gas contenuto nell'acqua all'interno delle celle di Lucas; una pompa rotativa da basso vuoto (5.0×10^{-2} Torr) distribuita dalla Varian; 6 celle di Lucas (mod. A300, tre delle quali aventi efficienza pari a 0.76, e le altre tre 0.73, 0.75, 0.78); un fotomoltiplicatore che consente di effettuare la misura dei decadimenti all'interno delle celle di Lucas e quindi di risalire attraverso l'elaborazione dei dati alla concentrazione di Radon contenuta nel campione; diversi contenitori di plastica (PET) con chiusura a vite (500 ml). Sono diversi gli autori che si sono serviti della stessa strumentazione con dei buoni risultati sperimentali (Papastefanou, 2002; LaBrecque et al., 2001; Amrani et al., 2000; Whitehead, Lyon, 1999; Freyer et al., 1997). Il protocollo fornito dalla ditta costruttrice non prevede il problema della conservazione e del trasporto del campione, in quanto il degassaggio avviene direttamente in situ e il gas contenuto nell'acqua rimane all'interno delle celle di Lucas, che sono a tenuta e quindi non consentono la fuoriuscita del gas. Le celle vengono trasportate in laboratorio e la misura viene effettuata. Tutto ciò però comporta un enorme dispendio di tempo poiché, secondo il protocollo originale, si possono effettuare in un giorno al massimo tanti prelievi quante sono le celle a disposizione. Per seguire questo protocollo bisogna pertanto preventivare diverse campagne di campionamento o possedere un numero elevato di celle. Inoltre i tempi di campionamento sono molto lunghi in quanto tra un degassaggio e l'altro bisogna effettuare la pulizia dell'unità degassante con una pompa a mano portatile. Considerate tutte queste premesse, per effettuare l'operazione di degassaggio per ciascuna cella occorrono almeno 15 minuti. Per velocizzare il processo di campionamento sono stati effettuati i prelievi d'acqua presso la sorgente direttamente in contenitori a tenuta. Il campione viene conservato nel contenitore fino al momento dell'operazione di degassaggio, che avviene in laboratorio. Per quanto riguarda la scelta del contenitore, essa è ricaduta su contenitori di plastica (PET) con chiusura a vite. Creando una differenza di pressione all'interno dell'unità degassante, si provoca un gorgoglio nel campione d'acqua che consente la fuoriuscita di gas dal campione liquido. Il flusso del gas viene incanalato attraverso un tubicino nella cella di Lucas. Prima di poter misurare il campione occorre attendere tre ore e mezza affinché il Radon raggiunga l'equilibrio secolare con i suoi discendenti α -emettitori, il Po-218 e il Po-214. Una volta pronto il campione può essere misurato. La lettura dei decadimenti che avvengono all'interno della cella di Lucas viene effettuata attraverso il contatore AB-5.

I dati che si ottengono dalla lettura dello strumento sono conteggi dei decadimenti che avvengono nell'intervallo di tempo prestabilito (10min). I dati grezzi, senza alcuna elaborazione, forniscono informazioni sulla concentrazione di Radon nel campione relativa al momento in cui viene effettuata la misura. Ma il nostro interesse verte sulla concentrazione di Radon al momento di prelievo del campione, che è antecedente alla misura. La procedura per risalire dai dati grezzi alla concentrazione originale al momento del prelievo del campione dalla sorgente, fa riferimento al fatto che il Radon è un elemento radioattivo con vita media pari a 3.285 giorni. Pertanto dall'istante di prelievo a quello di misura, il campione d'acqua subisce una diminuzione nella concentrazione di Radon. Se le perdite durante la preparazione del campione risultano trascurabili, la diminuzione di concentrazione di Radon è legata esclusivamente alla legge di decadimento radioattivo. La concentrazione è proporzionale al numero di conteggi ottenuti dai decadimenti che avvengono all'interno del volume della cella (Rudi,2003).

5. Risultati e conclusioni.

Le concentrazioni di gas radon delle sorgenti monitorate presentano anomalie che non possono essere spiegate con le caratteristiche geochimiche e le emissioni alfa delle litologie presenti nell'area. Le anomalie di concentrazione rispecchiano, invece, in modo piuttosto evidente, l'andamento dell'attività sismica. I picchi di concentrazione coincidono con i terremoti di magnitudo $M = 3.0$ o superiori che si sono verificati nell'area di indagine. Nella figura seguente (Fig. 1) viene riportato l'andamento delle anomalie nella sorgente sita presso Tarsia che mostra una chiara correlazione con l'attività sismica.

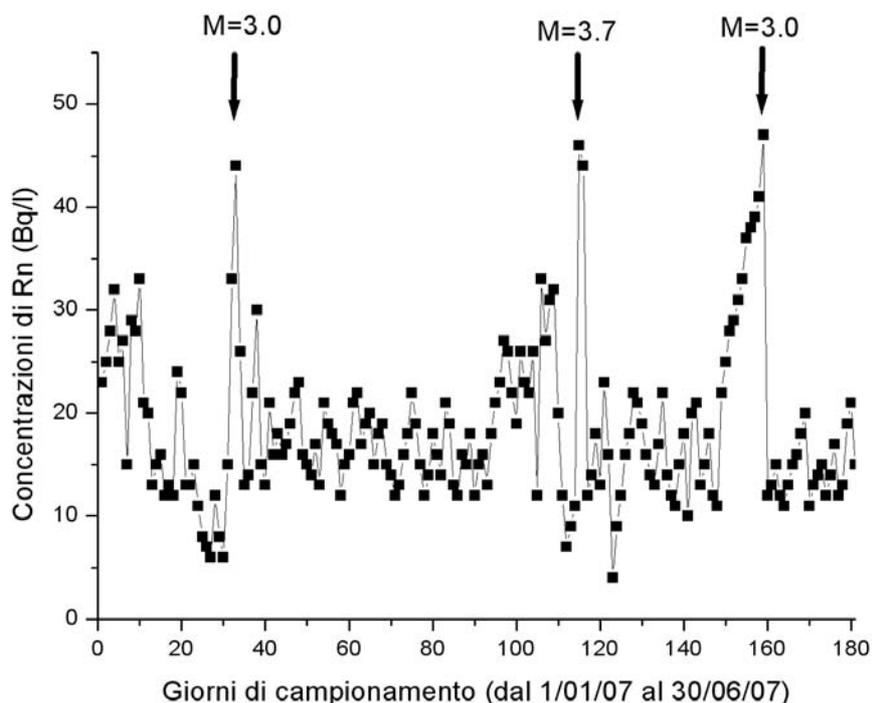


Figura 1. –Andamento della concentrazione di gas radon in una delle tre sorgenti monitorate sita presso Tarsia.

Bibliografia.

- Amodio-Morelli L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarretta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E. & Zupetta A. (1976), "L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide", *Mem. Soc. Geol. It.*, 17, 1-60.
- Amrani D., Cherouati D.E., Cherchali M.E.H.(2000), "Groundwater radon measurements in Algeria", *Journal of Environmental Radioactivity*, 51: 173-180.
- Ben Avraham Z., Boccaletti M., Cello G., Grasso M., Lentini F., Torrelli L., Tortorici L. (1990), "Principali domini strutturali originatisi dalla collisione neogenico-quadernaria nel Mediterraneo centrale", *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 453-462.
- Birchard G.F., Libby W.F. (1980) "Soil radon concentration changes preceding and following four magnitude 4.2-4.7 earthquakes on the San Jacinto Fault in Southewrn California", *Journal of Geophysical Research*, 85: 3100-3106.
- Castro-Morales D.A., LaBrecque J.J. (1999), "Determination of radon-222 in a natural thermal water spring shortly before and after the July 9, 1997 earthquake ($M_s=6.8$) in the State of Sucre, Venezuela", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 242: 115-118.
- Freyer K., Treutler H.C., Dehnert J., Nestler W. (1997), "Sampling and measurement of radon-222 in water", *Journal of Environmental Radioactivity*, 37: 327-337.

- Gasparini C., Iannacone G., Scandone P., Scarpa R. (1982), "Seismotectonics of the Calabrian Arc", *Tectonophysics*, 84, 267-286.
- Guerra I. (1986), "Osservazioni strumentali della sismicità della Calabria. Risultati preliminari", *Atti 5 Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida*, 525-536.
- Hauksson E. (1981), "Radon content of groundwater as an earthquake precursor: evaluation of worldwide data and physical basis", *Journal of Geophysical Research*, 86: 9397-9410.
- Hinkle, M.E: (1994), "Environmental conditions affecting concentrations of He, CO₂, O₂, and N₂ in soil gases", *Appl. Geochem* 9, 53-63.
- King C-Y, (1985), "Radon monitoring for earthquake prediction in China", *Earthquakes Prediction Research*, 3: 47-68.
- Knott S.D., Turco E. (1991), "Late Cenozoic Kinematics of the Calabrian Arc", *Tectonics*, S. 6 (10), 1164-1172.
- LaBrecque J.J., Cordoves P.R., Rosales P.A., Audemard F., Romero G. (2001), "Monitoring of radon anomalies in the Rio Casanay and thermal spring near the El Pilar fault shortly after the July 9, 1997 earthquake (Mw=6.9) in the state of Sucre (Venezuela)", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 250: 239-245.
- Lanzafame G. & Tortorici L. (1981), "La tettonica recente della Valle del Fiume Crati (Calabria)", *Geogr. Fis. Din. Quat.* 4, 11-21.
- Monaco C., Tortorici L., Nicolich R., Cernobori L., Costa M. (1996), "From collisional to rifted basin: an example from the southern Calabrian Arc (Italy)", *Tectonophysics* 266, 233-249.
- Papastefanou C. (2002), "An overview of instrumentation for measuring radon in soil gas and groundwaters", *Journal of Environmental Radioactivity*, 63: 271-283.
- Plastino W., Bella F., Catalano P.G., Di Giovanbattista R. (2002), "Radon groundwater anomalies related to the Umbria-Marche, September 26, 1997, earthquakes", *Geofisica Internacional*, 41: 369-375.
- Ramola R.C., Singh M., Sandhu A.S., Singh S., Virk H.S. (1990), "The use of radon as an earthquake precursor", *Geophysics*, 4: 275-287.
- Rudi S.A (2003), "Misure di Radon disciolto in acque sorgive", Tesi di laurea in Fisica. Università degli Studi della Calabria. Facoltà di Scienze MM.FF.NN.
- Schery S.D., Whittlestone S., Hart K.P., Hill S.E. (1989), "The flux of radon and thoron from Australian soils", *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 87, 2969-2976.
- Singh M., Kumar M., Jain R.K., Chathath R.P. (1999), "Radon in ground water related to seismic events", *Radiation Measurements*, 30: 465-469.
- Thomas D. (1988), "Geochemical precursors to seismic activity", *Pageoph*, 126: 241-266.
- Tortorici L. (1981), "Analisi delle deformazioni fragili dei sedimenti postorogeni della Calabria settentrionale", *Boll. Soc. Geol. It.* 100, 291-308.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O. (1995), "Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy)", *Tectonophysics* 243, 37-55.
- Turco E., Maresca R., Cappadona P. (1990), "La tettonica Plio- Pleistocenica del confine Calabro Lucano: modello cinematica", *Mem. Soc. Geol. It.* 45, 519-529.
- Virk H.S. (1995), "Radon monitoring and microseismicity in the Kangra and Chamba Valleys of Himachal Pradesh, India", *Nuclear Geophysics*, 9: 141-146.
- Wakita H., Nakamura Y., Notsu K., Noguchi M., Asada T. (1980), "Radon anomaly: a possible precursor of the 1978 Izu-Oshima-Kinkai earthquake", *Science*, 207, 882-883.
- Wakita H., Nakamura Y., Sano Y. (1985), "Groundwater radon variations reflecting changes in regional stress fields", *Earthquakes Prediction Research*, 3: 545-557.
- Whitehead N.E., Lyon G.L. (1999), "Application of a new method of searching for geochemical changes related to seismic activity", *Applied Radiation and Isotopes*, 51:461-474.
- Zmazek B., Italiano F., Zivcic M., Vaupotic J., Kobal I., Martinelli G. (2002), "Geochemical monitoring of thermal waters in Slovenia: relationships to seismic activity", *Applied Radiation and Isotopes*, 57: 919-930.