

Atti del 2° Seminario Internazionale di Studi su Il Carsismo negli Iblei e nell' Area sud Mediterranea Castello di Donnafugata, Ragusa 28-30 maggio 2004	Speleologia Iblea	Vol. 12	pp. 185 - 192	Ragusa 2007
--	----------------------	---------	---------------	----------------

## **MONITORAGGIO DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON IN TERRENI CALCAREI**

G. Alessandro<sup>1</sup>, S. Buonmestieri<sup>1</sup>, S. La Delfa<sup>2</sup>, R. Mineo<sup>3</sup>, E.P. Quaranta<sup>4</sup>,  
S. Lo Nigro<sup>5</sup> & G. Patanè<sup>2</sup>

*1 - Settore Geologia e Geognostica della Provincia Regionale di Ragusa*

*2 - Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università di Catania*

*3 - Collaboratore Fisico*

*4 - Collaboratore Geofisico Libero Professionista*

*5 - Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Catania*

### **Riassunto**

L'Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile della Provincia Regionale di Ragusa, tramite il 13° Settore Geologia e Geognostica, ha avviato un programma di studio sulla caratterizzazione geofisica e fisica dell'area iblea, con la realizzazione di una rete di rilevamento sismometrico e di una rete di rilevamento della concentrazione di radon nel suolo.

La Rete Rilevamento Radon, installata a partire dal luglio 2003, la cui direzione scientifica è stata affidata con apposita convenzione al C.U.T.G.A.N.A. (Centro Universitario per la Tutela e la Gestione degli Ambienti Naturali e degli Agro-ecosistemi) dell'Università di Catania, è composta attualmente da tre stazioni fisse di rilevamento di radon nel suolo, ubicate a Ragusa, Modica e Scicli.

Questo Assessorato si propone quindi l'attuazione di una serie d'obiettivi legati ai temi del radon, che possono avere un'immediata e pratica applicazione nell'attività di difesa del territorio e di quantificazione del rischio, e sono:

- l'analisi del potenziale d'esalazione di radon dal suolo (PERS) attraverso lo studio dei dati sulla concentrazione del radon nel suolo e la comparazione con le caratteristiche geologiche delle aree in esame e verifica dell'applicabilità del modello PERS al territorio ibleo;

- la correlazione tra fenomeni geodinamici (terremoti registrati dalla rete di rilevamento sismometrico) e variazioni della concentrazione di radon nel suolo;

- la definizione di linee guida per la misura di concentrazione di radon nel suolo.

Nel presente lavoro sono presentati i dati preliminari relativi ai primi mesi d'operatività.

### **Summary**

A research on geophysical and physical characterization of Hyblean area was performed by *Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile of Provincia Regionale di Ragusa*, through *13° Settore Geologia e Geognostica*, with following realization of a seismic network and soil radon monitoring network.

The *Radon Monitoring Network*, installed during July 2003, is under scientific management of *C.U.T.G.A.N.A. (Centro Universitario per la Tutela e la Gestione degli Ambienti Naturali e degli Agro-ecosistemi*, university centre for natural and environmental protection) of Catania University, and is at present set up with three soil radon recording station, located in Ragusa, Modica and Scicli towns.

The *Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile of Provincia Regionale di Ragusa* is targeting the reaching of issues immediately and practically applicable into territory protection activities and risk quantification; targets are:

- the Soil Radon Exhalation Potential (PERS) analysis, through the study of the soil radon concentration data and the comparison with the geological characteristic of areas in examination; then, the check of the application of PERS model to the Hyblean territory;
- the correlation between geodynamic events (earthquakes recorded by seismic network) and soil radon concentration fluctuations;
- the settlement of the guidelines for soil radon concentration measurements.

Soil radon concentration data during first period of network activity are presented.

## Introduzione

L'Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile della Provincia Regionale di Ragusa, tramite il 13° Settore Geologia e Geognostica, ha avviato da alcuni anni un programma di studio sulla sismicità dell'area iblea, finalizzato alla caratterizzazione sismogenetica degli Iblei e, soprattutto, all'individuazione di strutture sismogenetiche e allo studio delle modalità di risposta del territorio ad un eventuale sisma. Com'è noto, la Sicilia orientale è stata classificata come area ad elevato rischio sismico, colpita nei secoli da diversi eventi sismici, anche di notevole intensità (nel 1169, 1693 e 1990).

Tale programma di studio ha portato alla creazione della Rete Sismometrica Provinciale costituita da cinque stazioni fisse, posizionate a Ragusa, Giarratana, Santa Croce Camerina, Ispica ed Acate e da tre stazioni mobili, attualmente installate a Vittoria, Scicli e Bronte (CT). Tutte le stazioni fisse sono collegate al Centro acquisizione ed elaborazione dati di Ragusa, tramite linee telefoniche; le tre stazioni mobili, invece, oltre ad un sistema di buffering continuo dei dati, sono connesse tramite modem GSM.

L'intensa collaborazione con il C.U.T.G.A.N.A. (Centro Universitario per la Tutela e la Gestione degli Ambienti Naturali e degli Agro-ecosistemi), già sviluppata nell'ambito della gestione scientifica della Rete Sismometrica Provinciale, e la disponibilità dell'Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile della Provincia Regionale di Ragusa ad investire ulteriori fondi nell'ambito dello studio del territorio hanno portato alla progettazione, acquisizione e messa in esercizio, dal luglio 2003, di una rete di rilevamento della concentrazione di radon nel suolo (Rete Rilevamento Radon), da affiancare alla già esistente struttura di rilevamento

sismometrica. La Figura 1 mostra la distribuzione delle stazioni della Rete Rilevamento Radon (in rosso) e della Rete Sismometrica Provinciale (in verde).

L'interesse di affiancare la rete radon alla preesistente rete sismometrica scaturisce dal fatto che da parecchi anni il mondo scientifico ha avviato studi per la ricerca di correlazioni tra i movimenti di faglie sismogenetiche e l'immissione in atmosfera di radon proveniente dal sottosuolo [1,2]. Sebbene varie ricerche abbiano dimostrato un certo rapporto tra l'aumento della concentrazione di radon nel suolo ed il manifestarsi di un evento sismico prossimo all'area dell'anomalia [3,4,5], queste correlazioni non sono state ancora verificate su un'area di intensa attività sismica quale quella iblea.

È stata pertanto attivata una collaborazione scientifica con il C.U.T.G.A.N.A. per il coordinamento e la consulenza su una serie di obiettivi legati a tematiche sismologiche e di emissione del radon, che possano avere una immediata e pratica applicazione nell'attività di difesa del territorio e di quantificazione del rischio. Tali obiettivi, di competenza dell'attività tecnico-amministrativa dell'Ente Provincia, sono:

- l'analisi del Potenziale di Esalazione di Radon dal Suolo (PERS) attraverso l'analisi dei dati sulla concentrazione del radon nel suolo e la comparazione con le caratteristiche geologiche delle aree in esame e verifica dell'applicabilità di tale modello al territorio ibleo;
- l'individuazione di un'eventuale correlazione tra fenomeni geodinamici (terremoti registrati dalla rete di rilevamento sismometrico) e variazioni della concentrazione nel suolo del radon;
- la definizione di linee guida per la misura di concentrazione di radon nel suolo.

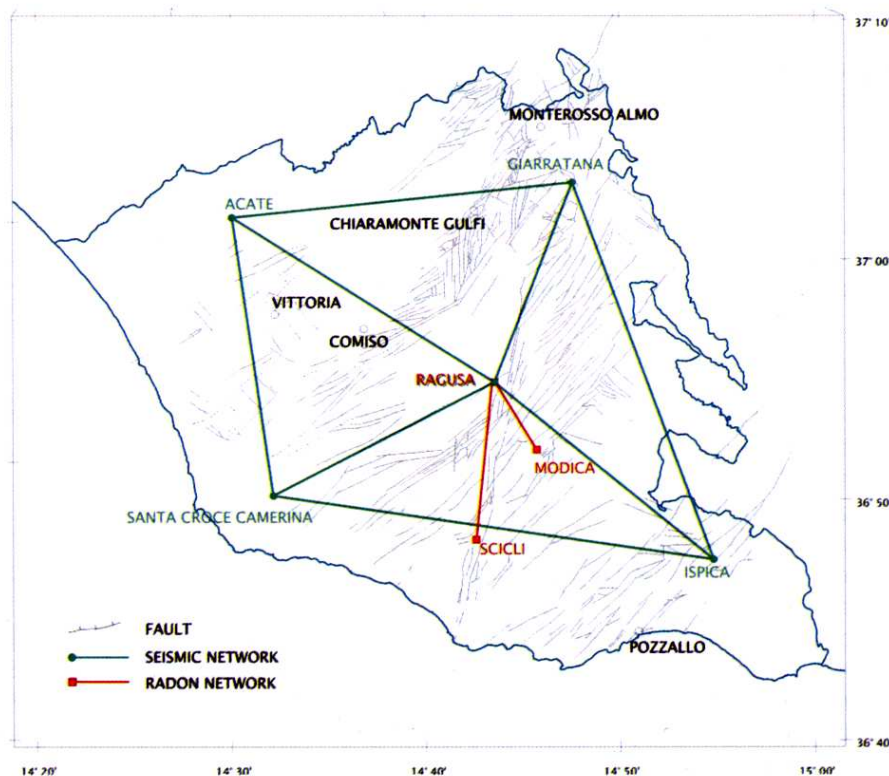


Figura 1 – La Rete Sismometrica Provinciale (in verde) e la Rete Rilevamento Radon (in rosso); è tracciato il reticolo delle principali faglie che interessano l'area provinciale.

<i>Elemento capostipite</i>	<i>Elemento gassoso</i>	<i>Elemento stabile</i>
$^{238}\text{U}$ , $T_{1/2} = 4.468 \cdot 10^9$ y	$^{222}\text{Rn}$ (radon), $T_{1/2} = 3.8$ d	$^{206}\text{Pb}$
$^{232}\text{Th}$ , $T_{1/2} = 14.010 \cdot 10^9$ y	$^{220}\text{Rn}$ (thoron), $T_{1/2} = 55$ s	$^{208}\text{Pb}$
$^{235}\text{U}$ , $T_{1/2} = 0.7038 \cdot 10^9$ y	$^{219}\text{Rn}$ (actinon), $T_{1/2} = 3.9$ s	$^{207}\text{Pb}$

Tabella 1 – Caratteristiche generali delle serie radioattive.

## Geologia e radon

Il radon è un gas nobile, chimicamente inerte, radioattivo, presente in natura con tre isotopi, il  $^{222}\text{Rn}$ , il  $^{220}\text{Rn}$  e il  $^{219}\text{Rn}$ . Essi appartengono rispettivamente alle serie radioattive che hanno per capostipiti  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{235}\text{U}$ , le cui caratteristiche generali sono illustrate nella Tabella 1. Il radon è l'unico elemento gassoso delle serie radioattive, ma solamente l'isotopo  $^{222}\text{Rn}$  può allontanarsi dal materiale nel quale è stato generato e percorrere distanze anche notevoli, a causa del suo tempo di vita media relativamente alto [6,7].

L'abbondanza del radon nelle rocce, nei minerali, nel suolo e nelle acque è legata quindi alla concentrazione di uranio (con i due suoi più importanti isotopi  $^{238}\text{U}$  e  $^{235}\text{U}$ , con abbondanza in natura pari a 99.2745% e 0.7200% rispettivamente) e di torio ( $^{232}\text{Th}$ , unico isotopo); essi sono i capostipiti di tutto il radon presente in natura e sono diffusi nella crosta terrestre in concentrazioni molto variabili, in base alla genesi e morfologia delle rocce che li contengono.

L'uranio è presente nelle rocce e nei minerali come ione con carica tetravalente ( $\text{U}^{4+}$ ); quest'ultimo, in ambiente ossidante (come acqua contenente ossigeno sciolto) assume carica esavalente ( $\text{U}^{6+}$ ). La differenza tra i due ioni determina la diversa distribuzione dell'uranio nelle rocce. Infatti,  $\text{U}^{4+}$  è fortemente insolubile e può combinarsi con l'acqua come  $\text{U}(\text{OH})_4$ , che si fissa immediatamente nei minerali; pertanto, anche la fonte di radon si ferma nello stesso punto. Invece,  $\text{U}^{6+}$  è molto solubile e forma molti ioni complessi con l'ossigeno  $\text{O}^{2-}$  e il carbonato  $\text{CaCO}_3\text{CO}^{2+}$ . In questo caso il carbonato presente nelle acque superficiali trasporta l'uranio e lo fissa nell'acqua e nel suolo, lontano dal luogo nel quale esso si è formato [8].

Il torio, essendo presente solamente come ione tetravalente  $\text{Th}^{4+}$ , si fissa là dove si forma.

Un altro fattore che influenza la presenza di radon in un'area è dato dalla tipologia e dalla genesi del substrato roccioso in esame. Nelle rocce vulcaniche ed in quelle metamorfiche, per esempio, la concentrazione di  $^{238}\text{U}$  è mediamente maggiore che nelle rocce sedimentarie. Inoltre, tra le rocce vulcaniche, quelle acide presentano maggiori quantità di torio e di uranio rispetto alle rocce basiche, a causa della tendenza di questi elementi a concentrarsi, durante la fase di cristallizzazione, nei magmi ricchi di silice (Tabella 2) [9].

La concentrazione di uranio e torio nelle rocce sedimentarie (Tabella 3) è invece legata alla mobilità di questi ultimi in acqua; in particolare si è visto come l'uranio sia solubile in ambiente ossidante e molto insolubile in ambiente riducente. Le rocce sedimentarie carbonatiche, come i calcari, presentano una "inversione" rispetto alle rocce ignee, cioè il contenuto di uranio supera quello di torio.

Nelle rocce metamorfiche la distribuzione di elementi radioattivi riflette quella delle rocce originarie, per cui è mag-

giore in quelle di origine vulcanica piuttosto che sedimentaria. Determinante è anche la modalità di migrazione nel sottosuolo, che può avvenire per diffusione, per convezione (con distanze coperte dell'ordine dei centimetri o dei metri) [3,4], o per trasporto da parte di un fluido (con spostamenti maggiori) [10,11,12,13]. La mobilità dei fluidi nel sottosuolo, e quindi la capacità di migrazione del radon, è influenzata dalla permeabilità del suolo, dalla quantità di acqua presente e da alcuni parametri geologici. Ad esempio, la concentrazione del radon nel suolo può aumentare quando gli strati superficiali del terreno sono saturi d'acqua, come in seguito alle precipitazioni atmosferiche. Essi formano una barriera tra suolo ed atmosfera, che si oppone agli effetti termoconvettivi, eolici e barometrici, che favoriscono l'esa-lazione del radon (effetto capping) [8]. Inoltre, il carsismo e la fratturazione delle rocce rendono gli ammassi rocciosi permeabili ai fluidi, favorendo l'esa-lazione di radon, mentre la presenza di strati argillosi ne impediscono il passaggio. Nel caso dell'argilla ad elevata umidità la permeabilità dei gas del suolo viene notevolmente ridotta e questa può rappresentare una barriera naturale alla fuoriuscita del radon [14]. Di norma fenomeni di carsismo si sviluppano su rocce calcaree povere di uranio; il processo di dissoluzione chimica può però favorire l'accumulo di residui insolubili e ricchi di ossidi ad elevata concentrazione di uranio.

<i>Rocce vulcaniche</i>	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)
Acide (granito)	59	81
Intermedie (diorite)	23	32
Mafiche (basalto)	11	11
Ultrabasiche (durite)	0.4	24
Ultramafiche	0.2	0.2
Gabbri	10	15
Andesiti	29	32
Sieniti - nefeline	100	69
Condriti	0.1	0.2
Acondriti	0.9	1.5
Crosta superiore	34	45
Suolo	25	25

Tabella 2 – Contenuto di uranio e di torio nelle rocce vulcaniche.

<i>Rocce sedimentarie</i>	$^{238}\text{U}$ (Bq/kg)	$^{232}\text{Th}$ (Bq/kg)
Calcari	27	7
Rocce carbonatiche	26	8
Arenarie	18	11
Scisti	44	44
Crosta superiore	34	45
Suolo	25	25

Tabella 3 – Contenuto di uranio e di torio nelle rocce sedimentarie.

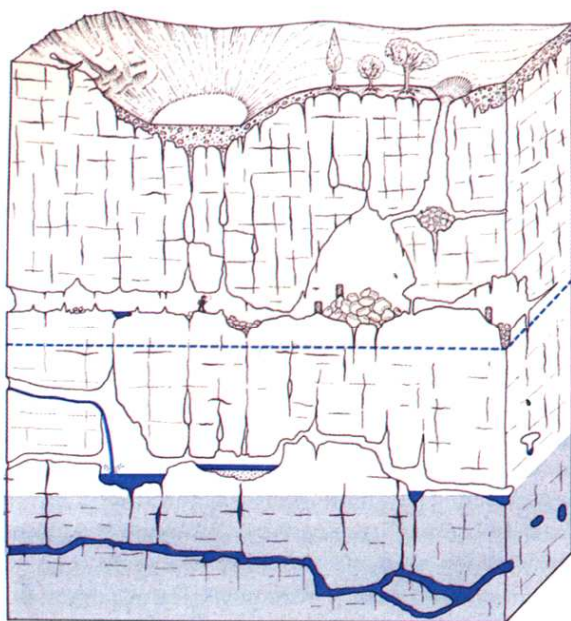


Figura 2 – Il fenomeno carsico può favorire l'esalazione di radon, grazie alla presenza di grotte, fratture, cavità, cunicoli [13].

### La rete rilevamento radon

La Rete Rilevamento Radon della Provincia Regionale di Ragusa è composta attualmente da tre stazioni di misura in postazioni fisse, ubicate a Ragusa, Modica e Scicli. La scelta delle località di installazione è stata determinata dai seguenti fattori:

- conoscenza delle caratteristiche geologiche e geostutturali del territorio ibleo;
- risultanze dei dati forniti dalle rilevazioni della Rete Sismometrica Provinciale;
- evidenze riscontrate sulla presenza di concentrazioni di uranio nei terreni.

Ogni stazione di rilevamento radon è allocata in un adeguato armadietto di protezione fissato al terreno con delle staffe immerse in una base di cemento con foro di perforazione (Figura 3). Tale installazione permette di avere una stazione di rilevamento fissa, stabile nel tempo e versatile, in quanto può in ogni caso essere spostata in un altro sito.



Figura 3 – Le stazioni di rilevamento radon di Ragusa, Modica e Scicli.

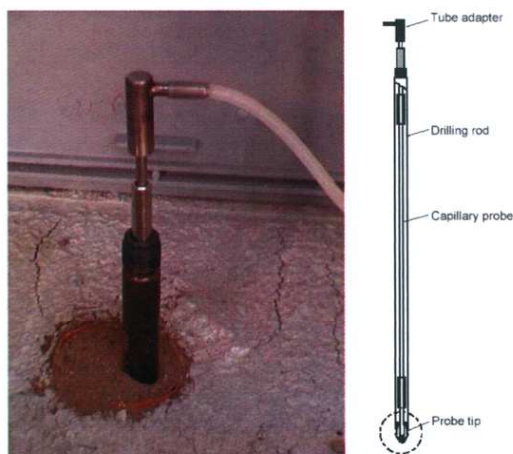


Figura 4 - Sonda con asta di perforazione infissa nel terreno; schema dell'asta di perforazione; vaso di raccolta dell'acqua.

Le stazioni sono costituite dalle seguenti attrezzature: una sonda capillare con asta di perforazione lunga 1 metro; quando l'asta viene infissa nel terreno, la punta rilascia un tappo, in modo da creare, davanti all'ingresso del capillare, una camera per l'aspirazione del gas (Figura 4). Un air-lock impedisce l'aspirazione di aria esterna e garantisce la tenuta dell'intero sistema. Un primo vaso di raccolta blocca l'eventuale presenza d'acqua aspirata dal suolo;

- un filtro acquastop per l'umidità ed un filtro per bloccare i prodotti di decadimento del radon (progenie);
- una pompa d'aspirazione del gas, con flussi variabili da 0.03 a 1.0 l/min; un secondo vaso di raccolta dell'acqua è stato inserito oltre la pompa, ed immediatamente prima l'ingresso al rivelatore;

un rivelatore a camera di ionizzazione *AlphaGUARD PQ 2000PRO* - GENITRON GmbH (Figura 5).

- un web server ed un modem GSM per la connessione e la trasmissione dati;
- sensori per la rilevazione di parametri ambientali (temperatura, pressione atmosferica, umidità relativa), incorporati nel rivelatore *AlphaGUARD*. Inoltre, tutte le stazioni sono dotate di una sonda anemometrica per la misura della velocità del vento.

### Dati preliminari

In Figura 6 sono mostrati gli andamenti della concentrazione di radon, della pressione atmosferica, dell'umidità re-



Figura 5 – Rivelatore AlphaGUARD PQ 2000PRO.

lativa e della temperatura, relativamente al periodo luglio 2003 – marzo 2005, per tutte le stazioni.

La stazione di Ragusa presenta un andamento della concentrazione di radon poco variabile, con massimi fino a 30 kBq/m<sup>3</sup>. La stazione di Modica mostra invece una notevole variabilità della concentrazione di radon, con massimi che raggiungono circa 75 kBq/m<sup>3</sup>. La stazione di Scicli presenta un andamento pressoché costante sul valore di 25 kBq/m<sup>3</sup>.

Il periodo di misura, che copre circa 20 mesi, permette di evidenziare, relativamente alla stazione di Ragusa, un debole aumento della concentrazione media di radon nei mesi invernali; questo fenomeno si presenta in maniera inversa e marcata a Modica, dove i valori più alti sono raggiunti nei mesi estivi, mentre il trend praticamente costante a Scicli esclude una variazione stagionale.

L'effetto stagionale presente a Ragusa può essere spiegato dalla maggiore presenza di suolo libero nell'area attorno alla stazione di rilevamento, che favorisce la saturazione d'acqua degli strati più superficiali del terreno durante le precipitazioni atmosferiche, con la conseguente formazione dell'effetto capping. Di contro, la stazione di Modica è installata su una vasta copertura pavimentata che, oltre a rendere impermeabile gli strati superficiali di terreno, amplifica i fenomeni termoconvettivi di rilascio del radon nell'atmosfera.

Un maggiore dettaglio dei valori rilevati a Ragusa nella prima settimana di monitoraggio (10.07.2003 – 17.07.2003), riportato in Figura 7, mostra che le concentrazioni di radon risentono molto debolmente delle variazioni dei parametri meteorologici.

A Modica invece le concentrazioni di radon sono correlate positivamente con la temperatura e negativamente con l'umidità relativa (Figura 8). Questa dipendenza produce un andamento dei valori di radon legato all'escursione termica giorno-notte, con un massimo nelle prime ore del pomeriggio e livelli di concentrazione significativamente più bassi nelle ore notturne, specie nelle giornate caratterizzate da escursioni termiche anche di 25 °C.

I dati rilevati dalla stazione di

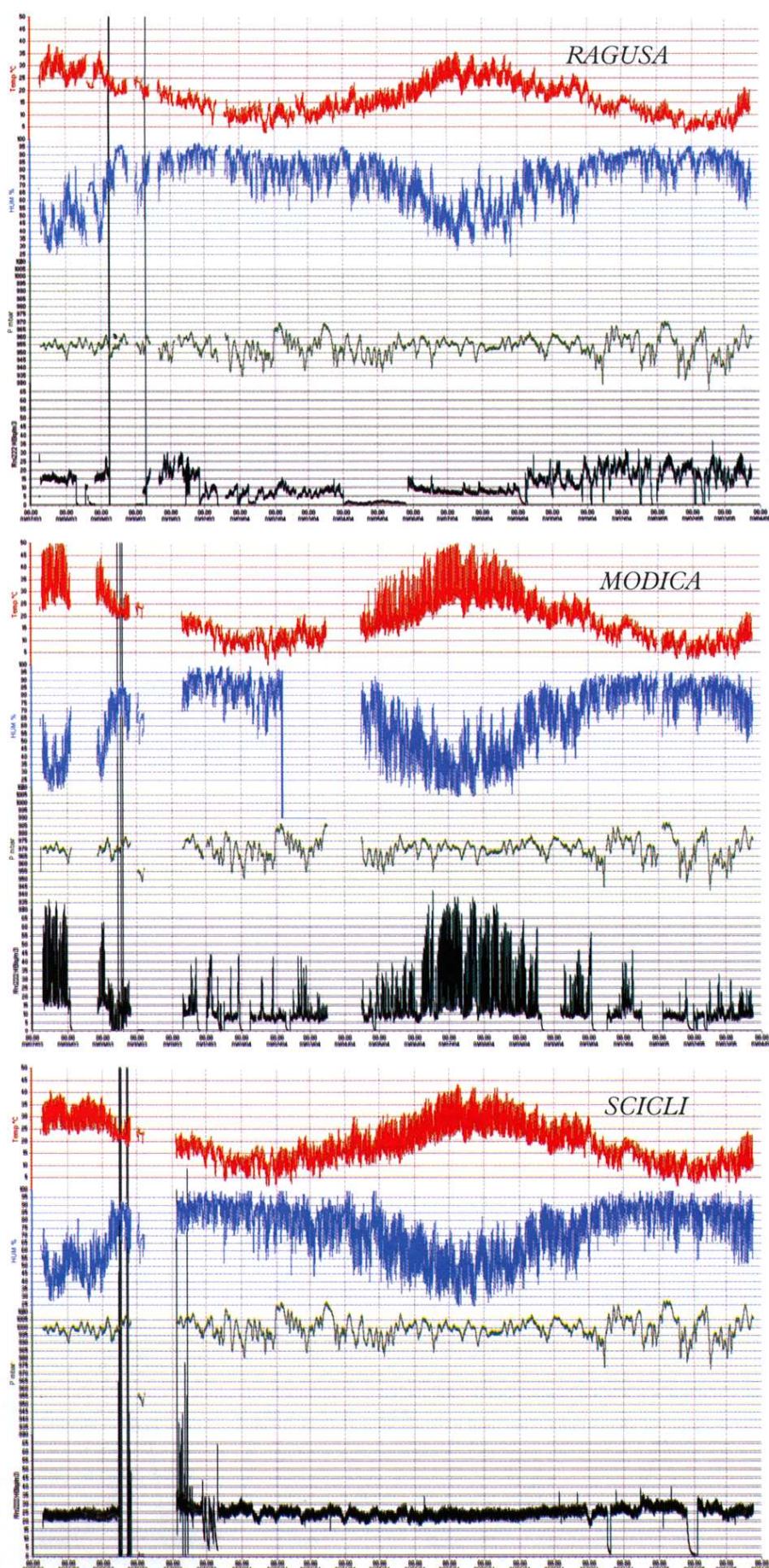


Figura 6 – Valori di temperatura, umidità relativa, pressione atmosferica e concentrazione di radon per la stazioni di Ragusa, Modica, Scicli.

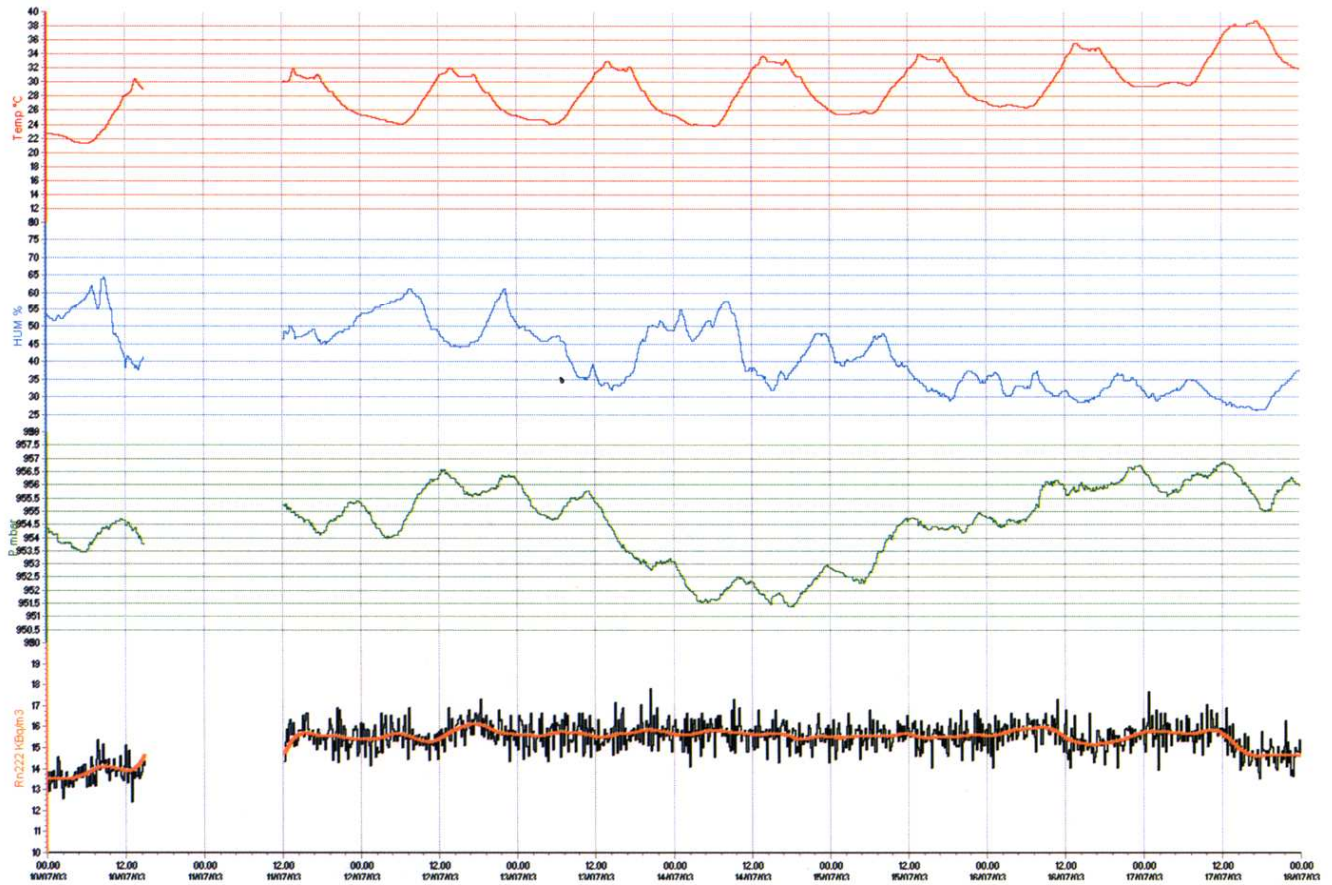


Figura 7 – Dettaglio delle misure relative alla prima settimana di monitoraggio – stazione di Ragusa.

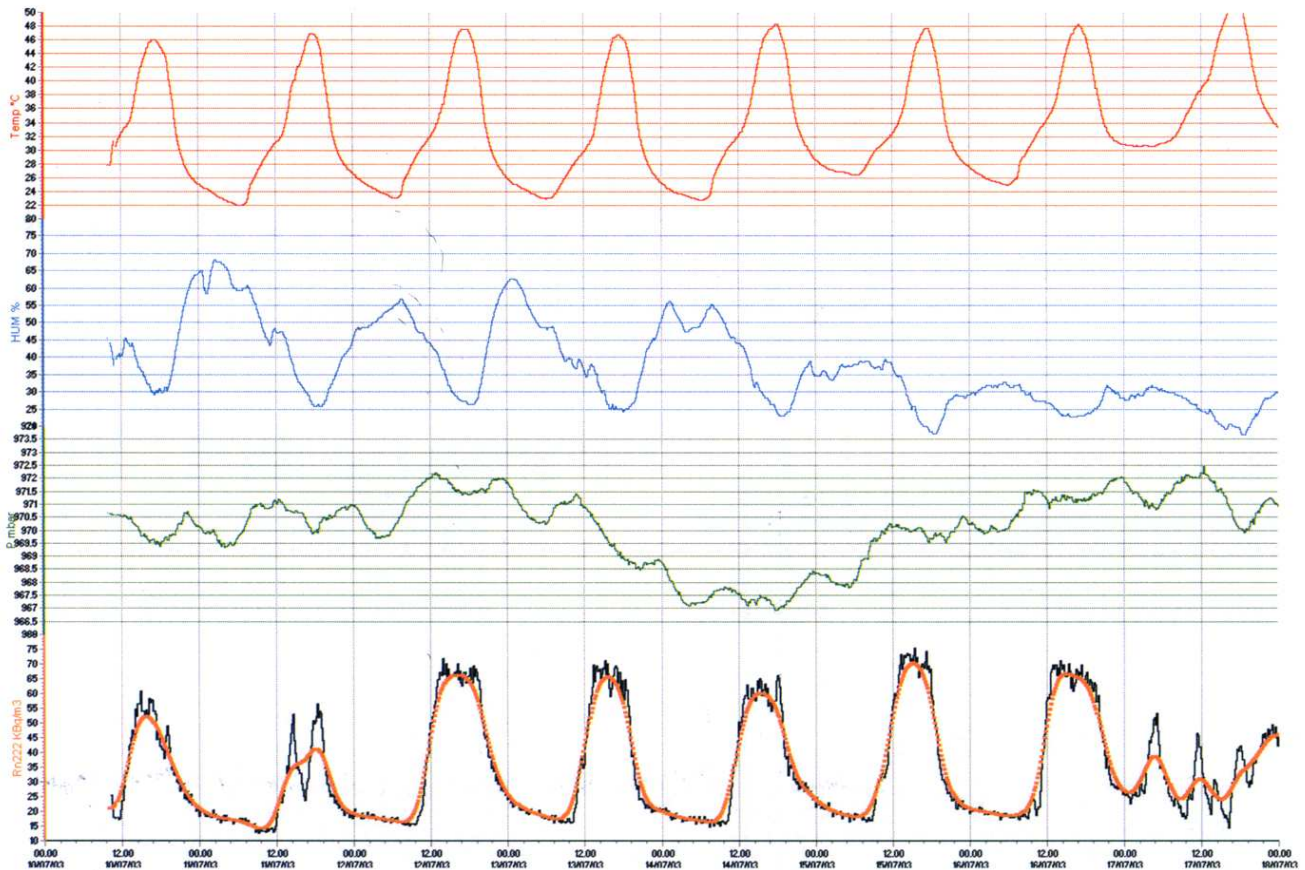


Figura 8 – Dettaglio delle misure relative alla prima settimana di monitoraggio – stazione di Modica.

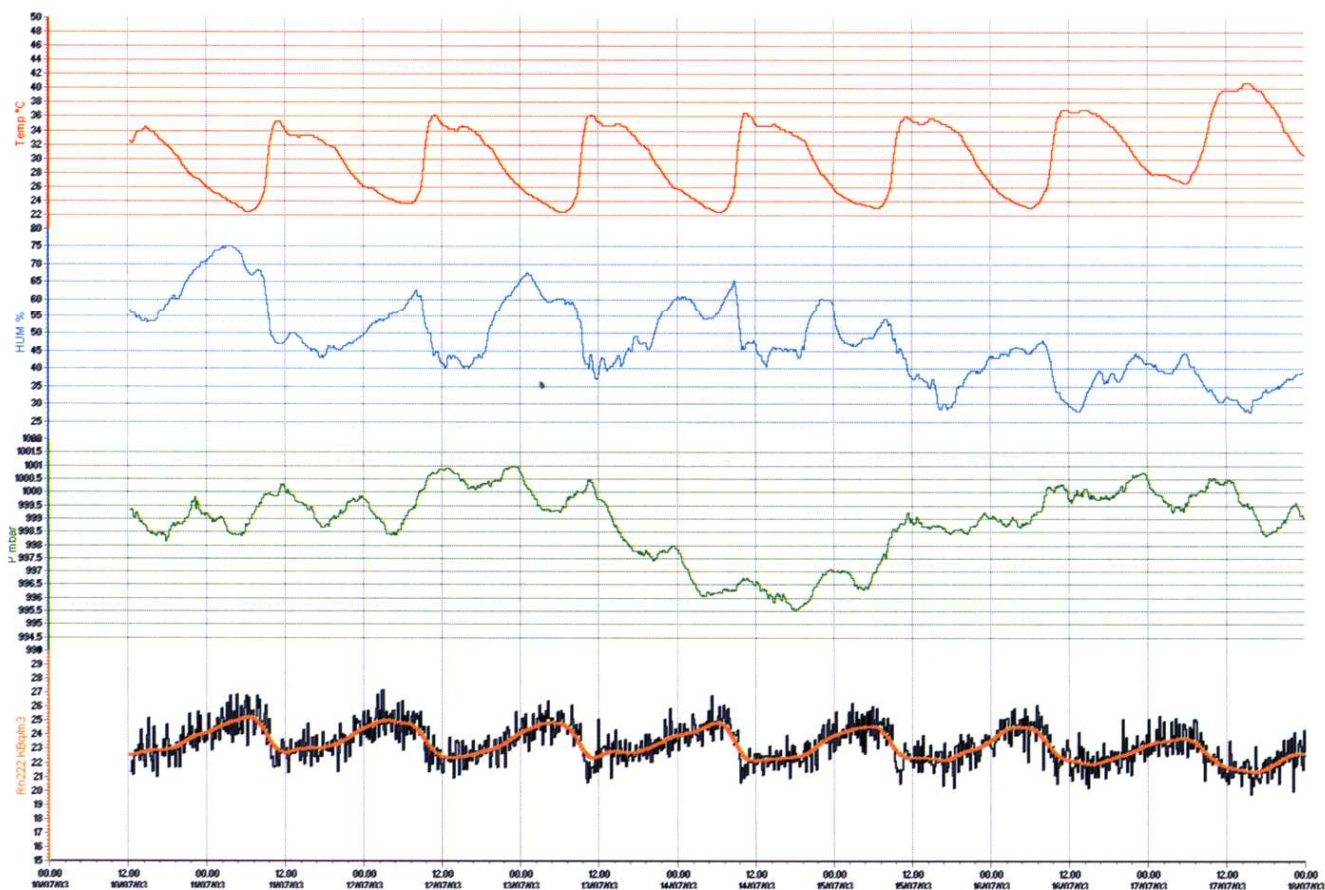


Figura 9 – Dettaglio delle misure relative alla prima settimana di monitoraggio – stazione di Scicli.

Scicli (Figura 9) sono caratterizzati da un andamento intermedio rispetto a quanto misurato dalle altre due stazioni, con un valore medio di concentrazione di radon di circa 25 kBq/m<sup>3</sup>, ed una situazione inversa rispetto a Modica: correlazione negativa con la temperatura e positiva con l'umidità relativa.

Inoltre, va osservato che nella postazione di Scicli i livelli di radon variano poco tra giorno e notte, anche in presenza di un'escursione termica di circa 15°C.

In tutte le stazioni le variazioni della pressione atmosferica sembrano influenzare poco significativamente i valori di concentrazione di radon.

## Conclusioni

L'analisi dei dati preliminari rilevati dalla Rete Rilevamento Radon (concentrazione radon, umidità relativa, pressione atmosferica e temperatura) permette di fare le seguenti deduzioni in merito al potenziale d'esalazione del radon nei tre siti.

I valori delle concentrazioni di radon finora rilevati dipendono, in modo rilevante, dal sito in cui sono misurati oltre che dalle condizioni del microclima locale rilevato (umidità, temperatura, pressione).

Le variazioni di concentrazione osservate tra i vari siti sono indice di un differente processo d'esalazione dal suolo, legato alle diverse caratteristiche del terreno attraverso cui il radon diffonde.

All'interno dello stesso sito, l'andamento nel tempo dei dati della concentrazione di radon non presenta un comportamento univocamente correlabile all'andamento dei parametri climatici (soprattutto temperatura e umidità).

In particolare, la postazione fissa di Modica, installata nel cortile di un istituto scolastico, ha raccolto dati che mostrano come il livello di radon nelle ore notturne sia significativamente più basso rispetto a quello rilevato nelle ore diurne con la presenza di frequenti brusche variazioni. Queste possono essere correlate alla particolare situazione geologica del sito in cui è installata la stazione; l'area è infatti caratterizzata da una struttura tettonica a graben ed i terreni si presentano particolarmente fratturati e porosi.

Ulteriori approfondimenti tecnico-scientifici saranno oggetto di studi mirati già in itinere ed i cui risultati saranno successivamente divulgati.

## Bibliografia

- 1] Djeflal S., Allab M., Cherouati D.E., Challal M.T. and Morsli K., 1994, *Further investigations on radon emanation along seismic faults in northern Algeria*, Nuclear Geophysics, 8 (6), 583–591.
- 2] Kharatiana K., Travia Y., Igoumnovc V., 2002, *Activité du gaz radon dans l'air du sol et sismicité locale: exemple du bassin de l'Arax (Arménie)*, C. R. Geoscience, 334, 179–185.
- 3] Planinic J., Radolic V., Lazanin \_\_, 2001, *Temporal vari-*

- ation of radon in soil related to earthquakes*, Appl. Rad. and Isotopes, 55, 267–272.
- 4] Planinic J., Radolic V., Vukovic B., 2004, **Radon as an earthquake precursor**, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 530, 568–574.
- 5] Immè G., La Delfa S., Lo Nigro S., Morelli D., Patanè G., 2005, **Gas radon emission related to geodynamic activity of Mt. Etna**, Annals of Geophysics, 48 (1).
- 6] Connor C., Hill B., LaFemina P., Navarro M., Conway M., 1996, **Soil  $^{222}\text{Rn}$  pulse during the initial phase of the June-August 1995 eruption of Cerro Negro, Nicaragua**, J. Volcanol. Geotherm. Res., 73, 119–127.
- 7] Dubois C., Alvarez Calleja A., Bassot S., Chambaudet A., 1995, **Modelling the 3-dimensional microfissure network in quartz in a thin section of granite**, Gas Geochemistry, edited by C. Dubois, pp. 357–368, Sci. Rev., Northwood, U.K.
- 8] Moroni M., 2002, **Il radon**, Il Sole 24 ORE, Milano.
- 9] Mineo R., 2001, **Indagine sperimentale sulla presenza di radionuclidi in campioni di rocce**, Tesi sperimentale di Laurea, Università degli Studi, Catania.
- 10] Gasparini P., Mantovani M.S.V., 1978, **Radon anomalies and volcanic eruptions**, J. Volcanol. Geotherm. Res., 3, 325–341.
- 11] Allard P., Carbonnelle J., Dajlevic D., Le Bronec J., Morel P., Robe M.C., Maurenas J.M., Faivre-Pierret R., Martin D., Sabroux J.C., Zettwoog P., 1991, **Eruptive and diffuse emissions of  $\text{CO}_2$  from Mount Etna**, Nature, 351, 387–391.
- 12] Monnin M.M., Seidel J., 1991, **Radon and volcanic surveillance in radon measurements by etched track detectors**, Application in Radiation Protection, Earth Science and the Environment, 274–285.
- 13] Heinicke J., Martinelli G., and Koch U., 1992, **Investigation of the connection between seismicity and  $\text{CO}_2$ - $^{222}\text{Rn}$  content in spring water at the Vogtland area (Germany): first results**, Paper presented at XXIII General Assembly of the European Seismological Commission, Prague.
- 14] Brogna A., 2004, **Emissioni di radon in territori interessati da fenomeni vulcanici e sismogenetici: effetti sulla salute**, Tesi sperimentale di Laurea, Università degli Studi, Catania.
- 15] Castiglioni G.B., 1979, **Geomorfologia**, UTET, Torino.