

BOSSEA MMIII

CONVEGNO NAZIONALE

**L'AMBIENTE CARSICO  
E L'UOMO**

**MANIFESTAZIONE CELEBRATIVA UFFICIALE DEL CAI  
PER IL "2003: ANNO INTERNAZIONALE DELL'ACQUA DOLCE"**

**LABORATORIO DIDATTICO DEL COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI  
LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO  
GROTTE DI BOSSEA (FRABOSA SOPRANA- CN) 5-8 SETTEMBRE 2003**

**ATTI**

**STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA - CAI CUNEO  
PROVINCIA DI CUNEO**

# LA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE NELLE AREE CARSIICHE

Antonio Moretti<sup>1</sup>, Giancarlo Della Ventura<sup>2</sup>, Dora Di Sabatino<sup>1</sup> & Gianluca Ferrini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma 3

## RIASSUNTO

*Viene presentata in questo lavoro una panoramica sui principali processi chimico-fisici che possono portare all'accumulo di minerali thorio-uraniferi e/o gas radon nelle aree e nelle reti idriche carsiche. Di particolare interesse a questo proposito è stato lo studio della Grotta del Cervo presso Pietrasecca (Carsoli, Aq).*

## INTRODUZIONE

Le rocce carbonatiche e solfatiche sono notoriamente piuttosto povere in elementi radiogenici di origine naturale; come conseguenza di ciò in Italia centrale e meridionale, in aree caratterizzate da estesi affioramenti di rocce calcaree, possono essere misurati valori di esposizione radioattiva dal suolo mediamente piuttosto bassi (4-8  $\mu\text{Rn/h}$ , contro i 10-20 delle rocce ignee e metamorfiche ed i 30-60  $\mu\text{Rn/h}$  delle provincie magmatiche laziali e campane. Ciò nonostante in molte grotte, turistiche e non, sono stati riscontrate notevoli concentrazioni di gas radon, che come noto appartiene alla famiglia di decadimento radioattivo dell'isotopo  $^{338}\text{U}$ .

Stante il recente interesse venutosi a creare nella comunità sanitaria nazionale ed internazionale riguardo alla potenziale pericolosità del radon e delle radiazioni ionizzanti in generale, affrontato dallo Stato Italiano nel D.L. 241 del 26 maggio 2000, sono state avviate dagli scriventi una serie di indagini di tipo geologico-strutturale, volte a chiarire l'origine e le modalità di messa in posto del gas radon e degli elementi radiogenici associati.

## IL RADON NEGLI AMBIENTI NATURALI

L'isotopo 222 del gas radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), a causa del suo elevato peso specifico, tende ad accumularsi in luoghi chiusi e poco areati, in particolare sotterranei o seminterrati; tuttavia, a causa della sua vita media relativamente corta (3.8 giorni) per dare luogo a concentrazioni significative è necessario un continuo ingresso di nuovo gas nel sistema (dal suolo, dai materiali da costruzione ecc.) per garantirne l'equilibrio compensando la frazione decaduta. Nel caso particolare delle cavità naturali questo input può avvenire secondo diverse modalità, in particolare risalendo da strati più profondi sfruttando linee di frattura nella massa rocciosa, oppure per diffusione-emanazione dalle rocce incassanti.

Per quello che riguarda il primo caso, in molti complessi carsici, stante l'elevata permeabilità delle rocce carbonatiche, sono ben note risalite di gas radon da livelli anche molto profondi in corrispondenza di faglie attive: anzi, il monitoraggio del contenuto in radon (ed in altri gas associati) delle emanazioni fluide di origine profonda è considerato attualmente uno tra i più promettenti possibili precursori a breve-medio termine dei fenomeni sismici. Tuttavia la velocità di diffusione del radon in aria è troppo lenta per garantire un efficace trasferimento del gas, stante la sua breve vita; anche la sua elevata solubilità in acqua fa sì che esso sia fortemente limitato dalla falda satura.

In pratica, significativi e rapidi trasferimenti del  $^{222}\text{Rn}$  dal profondo possono avvenire solamente quale parte di un convoglio di bolle insieme a numerosi altri gas endogeni (*gas carrier*), quali  $\text{CO}_2$ , metano,  $\text{H}_2\text{S}$ , elio ecc., facilmente rilevabili in ambiente ipogeo sia geochimicamente che empiricamente; in aggiunta, la presenza di continue alimentazioni di tali gas è sempre segnalata in grotta dalla presenza di minerali indice e concrezioni tipiche diffuse od in corrispondenza delle bocche di alimentazione (vedi FORTI, 2000).

Al di là dei numerosi esempi di situazioni di questo tipo, peraltro quasi sempre localizzate in corrispondenza di falde termominerali, sono altrettanto numerose le cavità nelle quali non è possibile invocare questo meccanismo per spiegare le concentrazioni di radon misurate. È evidente che in questi casi l'origine del gas deve essere ricercata nelle rocce incassanti od in sedimenti contenuti in prossimità od all'interno delle grotte stesse.

### MOBILITÀ ED ACCUMULO DI THORIO ED URANIO

D'altro canto, se le rocce carbonatiche sono geneticamente povere in elementi radioattivi, come testimoniato dai bassi valori di radioattività misurati, deve essere intervenuto qualche fattore geologico o geochimico a determinare localmente concentrazioni ed accumuli secondari di tali elementi. Dall'abbondante letteratura riguardo alla geochimica ed alla prospezione mineraria dei minerali thorio-uraniferi, sappiamo che questi fattori sono riconducibili sia a processi fisici che a processi chimici. Un eccellente esempio di entrambi questi meccanismi viene offerto dal complesso carsico di Pietrasecca, presso Carsoli (Aq), illustrato in fig. 1.

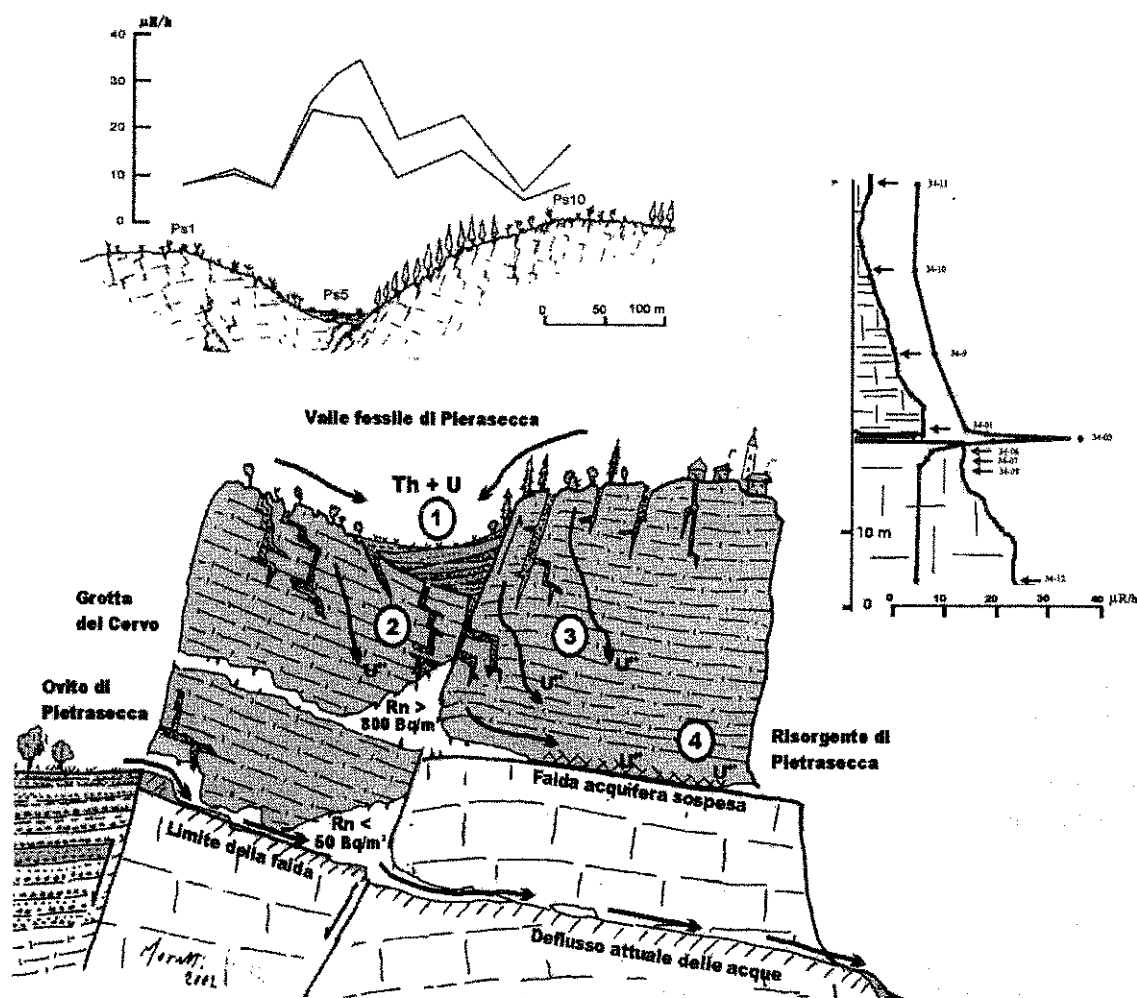


Fig. 1 - Schema radiometrico, idrogeologico e geochimico del complesso carsico di Pietrasecca

- 1) I minerali stabili e pesanti di Th ed U, provenienti dal dilavamento delle vulcanidi quaternarie, vengono trasportati dagli agenti fisici ed accumulati nelle depressioni carsiche insieme ai suoi residuali.
- 2) Parte dei prodotti vulcanici piroclastici vengono intrappolati e cementati in filoni sedimentari all'interno del reticolo carsico.
- 3) L'uranio viene parzialmente asportato dalle acque vadose ossidanti e trasportato verso il limite della falda come ione uranile ( $UO_2^{2+}$ ).
- 4) Lo ione staziona nella zona di saturazione della falda od in piccoli acquiferi sospesi e viene fissato per impregnazione o sostituzione in forma tetravalente  $U^{4+}$ ; le condizioni riducenti necessarie possono essere fornite dall'ossidazione dei solfuri o da fenomeni di fermentazione della materia organica.

I Processi fisici (dilavamento atmosferico, trasporto e risedimentazione) operano a carico delle numerose fasi minerali stabili e pesanti contenenti Th-U, quali monaziti e zirconi, quasi sempre rinvenibili in concentrazioni più o meno elevate nei suoli rossi residuali che occupano spesso il fondo di doline, *polije*, valli fossili ed altre piccole depressioni nelle aree carsiche (MORETTI et. Al., 2002). Gli stessi suoli residuali, qualora il livello freatico di base del sistema tenda ad abbassarsi, possono essere rimobilizzati e trasportati all'interno della rete carsica, dove possono risedimentare riempiendo piccoli filoni o cavità fossili. Anche in superficie sono spesso evidenti fenomeni di trasporto sedimentario e classazione gravitativa operati dagli agenti esogeni, responsabili della formazione di piccoli *placers*, localizzati in prossimità dei versanti od all'apice di piccole conoidi fossili (fig. 2).

In Abruzzo sono state localmente misurate tramite spettrometria y contenuti in Th-U paragonabili a quelli delle province magmatiche laziali (30 – 90 ppm) (fig. 3).

Per quanto l'estensione e la massa complessiva dei terreni residuali sia modesta rispetto a quella dei complessi carbonatici nel loro insieme, purtuttavia questi possono fornire un contributo significativo alla concentrazione di radon a causa della loro elevata permeabilità che consente, specie nella stagione asciutta, un efficace trasferimento del gas all'interno della rete carsica o, in casi particolari, all'interno delle fondamenta degli edifici.

Processi chimici. Al contrario del thorio, praticamente insolubile in condizioni naturali, la solubilità dell'uranio è condizionata dal potenziale redox delle acque di falda. Qualora infatti esso non sia fissato in forma stabile assieme al thorio e ad altre terre rare (REE) a formare fasi minerali pesanti, può facilmente passare in soluzione acquosa in fase esavalente sotto forma di ione uranile ( $UO_2^{2+}$ ) e quindi essere preso in carico dalle acque freatiche, ossidanti, all'interno della falda.

In condizioni riducenti, quali quelle che si instaurano quasi sempre nella falda satura per azione di fermentazione della materia organica o dell'ossidazione di solfuri vari presenti nella roccia, la sua solubilità cala bruscamente e l'uranio tende a fissarsi in forma esavalente, sia in forma di minerali propri (es. autunite ecc.) sia per sostituzione del calcio nei carbonati, con il quale presenta spiccata affinità di raggio ionico.

In determinate condizioni quindi la rete carsica tende a comportarsi come una trappola geochemica per gli atomi di uranio, fissandoli e concentrandoli in corrispondenza di barriere di ossido-riduzione in corrispondenza della falda satura o di eventuali falde sospese.

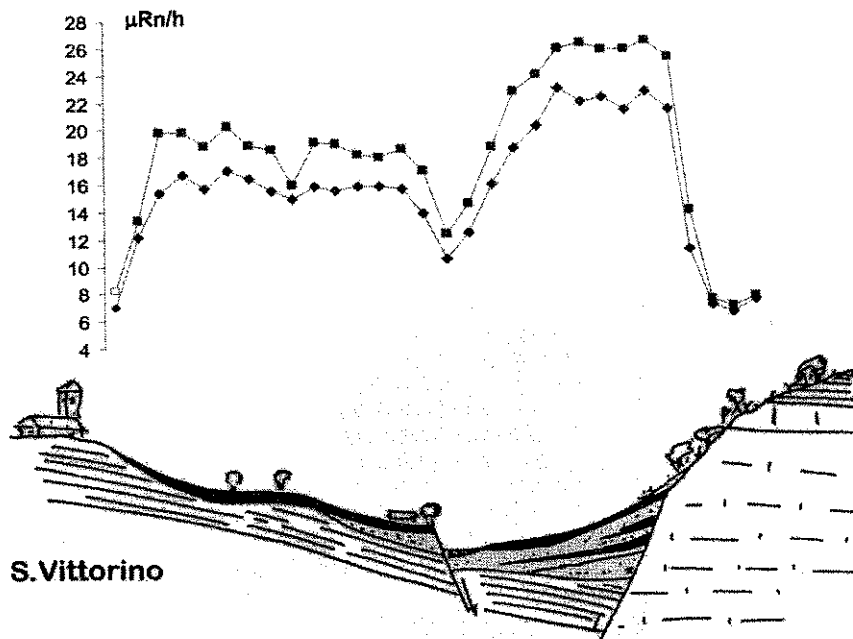


Fig. 2 - Dose di esposizione radioattiva al suolo e ad un metro dal suolo nella valle fossile di S. Vittorino, nei pressi dell'Aquila. I valori maggiori sono misurati in corrispondenza della base del versante, dove sono presenti piccoli accumuli di minerali pesanti (*placers*) dilavati dalle acque meteoriche.

## L'ORIGINE DEGLI ELEMENTI RADIOATTIVI

Quale che siano i processi che ne regolano l'accumulo, è comunque necessario avere una disponibilità di elementi e/o minerali radioattivi nel sistema carsico. Come già accennato, le rocce carbonatiche, prevalentemente di origine organogena, contengono scarsissimi elementi di elevato numero atomico quali U e Th, che difficilmente entrano nel ciclo biologico.

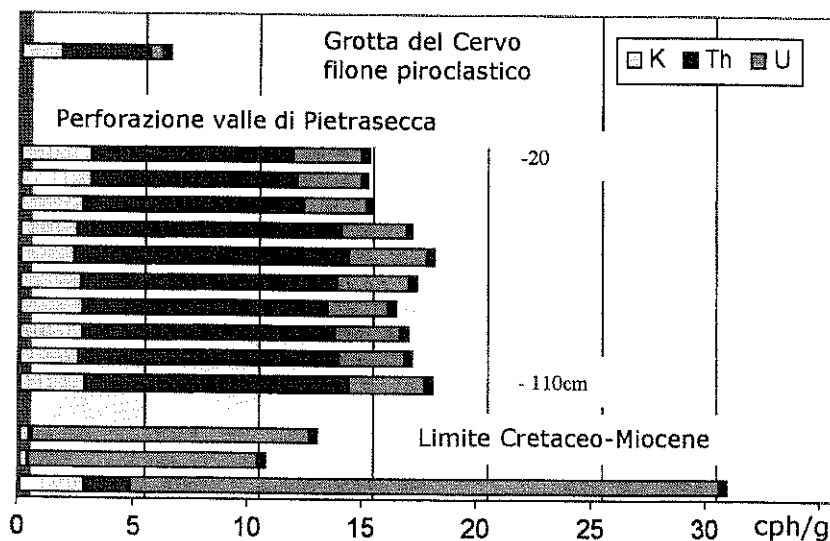
Per quello che riguarda l'Abruzzo, e più in generale i massicci carbonatici dell'area centro-appenninica, un'abbondante fonte di alimentazione è invece fornita dai frequenti eventi vulcanoclastici che, provenendo dalle province magmatiche laziali e campane, nel corso del Quaternario hanno a più riprese mantellato i versanti appenninici con estese coltri tuffitiche e cineritiche.

Analizzati in maggior dettaglio tuttavia i fattori ed i processi che intervengono sono piuttosto complessi. Più che alla deposizione diretta di tufiti nei depositi quaternari, di cui sono conosciuti bellissimi ma non frequenti esempi, assistiamo infatti nella maggior parte dei casi alla sedimentazione, all'interno delle depressioni strutturali, di spessi pacchi di materiale più o meno ricco di frammenti e minerali vulcanici, ma anche di materiale organico e residuale, abbondantemente rielaborato dagli agenti fisici di trasporto.

La messa in posto di questi depositi è verosimilmente stata favorita, quando non addirittura determinata, dall'impermeabilizzazione del substrato calcareo operata dalla deposizione delle coperture vulcanoclastiche, che hanno temporaneamente e localmente portato alla riattivazione del sistema idrico superficiale, al dilavamento dei versanti dalle coltri cineritiche incoerenti ed al loro conseguente trasporto verso le aree depresse sotto forma di colate di fango o *lahar*. In molti casi alla sommità degli strati ricchi in materiale vulcanoclastico sono osservabili livelli limoso-argillosi, ricchi in frustoli carboniosi e molluschi dulcicoli, che testimoniano l'instaurarsi di effimeri bacini lacustri a seguito del ridursi della capacità di assorbimento delle acque da parte delle rocce e del suolo.

Anche all'interno della stessa piattaforma carbonatica abruzzese sono stati rilevati livelli sedimentari che, se pur di modesto spessore (50-100 cm) possono essere notevolmente ricchi in minerali di U-Th (50-150 ppm). Questi livelli, se pur discontinui, sono localizzati in Appennino in corrispondenza di un ben preciso intervallo stratigrafico (formazione delle Calcareni a Briozoi e Litotamni) e marcano momenti di bassa deposizione od addirittura temporanea emersione della piattaforma miocenica (*hard-ground*). Anche in questo caso tuttavia gli strati thorio-uraniferi sono più o meno strettamente associati a momenti di marcata attività vulcanica calcoalcalina, connessa con la subduzione della piattaforma sotto la catena appenninica in formazione, e riproducono in definitiva, se pur a diversa scala spaziale e temporale, gli stessi fenomeni analizzati in precedenza.

Fig. 3 - Confronto tra i contenuti negli elementi radiogenici principali nelle vulcanidi, nei sedimenti residuali della valle di Pietrasecca e nei calcari campionati in prossimità del limite C-M. Si nota il relativo arricchimento in thorio nei depositi residuali, mentre l'uranio, trasportato chimicamente nella rete carsica, si concentra per sostituzione nei calcari.



## BIBLIOGRAFIA

- FORTI P. (2000) *I depositi chimici delle grotte*. Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Editore, Genova, 36 pp.
- MORETTI A., FERRINI G. & DI SABATINO D. (2002) *Controllo strutturale e geomorfologico sulla distribuzione della radioattività naturale nella valle di Arischia*. 21° convegno nazionale GNGTS, riassunti estesi, 312-314.
- MORETTI A., DELLA VENTURA G., SOLIGO M., FERRINI G. & DI SABATINO D. (2002) *Radioattività naturale nel complesso carsico di Pietrasecca (Abruzzo, Italy)*. Atti del convegno dell'Associazione Nazionale di Radioprotezione, Isola del Giglio 9-10 maggio 2002, 189-201.

