

BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea
22-23 giugno 2013

ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA
STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

Radioattività nei campioni di roccia della parte inferiore della Grotta di Bossea

M. BARSANTI (*), I. DELBONO (*), A. SCHIRONE (*), R. DELFANTI (*), G. PEANO (**), A.A.CIGNA (***),
B. VIGNA (****)

RIASSUNTO

In questo lavoro, si presentano i risultati delle analisi condotte tramite spettrometria Gamma su campioni di roccia prelevati da geologi del Politecnico di Torino nel dicembre 2008 nella parte inferiore della Grotta di Bossea.

^{238}U , ^{232}Th ed il ^{40}K hanno concentrazioni minime nei campioni prelevati presso il Lago di Ernestina e Sala Garelli (Bossea 7 e 9), imputabili alla litologia dei campioni, calcari e quarziti rispettivamente. In termini radiometrici è possibile discriminare gli alti valori dei campioni prelevati nella zona della Grotta topograficamente più bassa, da Bossea 1 a 6, costituiti essenzialmente da meta vulcaniti (porfiroidi), da quelli della zona più elevata, da Bossea 7 a 9, che sono rispettivamente calcari e quarziti. Il campione Bossea 8, che è uno scisto porfirico, presenta valori intermedi a questi due gruppi.

Pur essendo entrambi elementi litofili a largo raggio ionico, ^{238}U e ^{232}Th non mostrano un rapporto costante nei campioni esaminati. In ambiente carsico con un'importante presenza di acqua, come nella Grotta in esame, ci può essere un differente comportamento dei due radionuclidi derivanti da processi geochimici.

In alcuni campioni di roccia, si riscontra un lieve disequilibrio tra ^{238}U e ^{210}Pb : laddove tale disequilibrio è caratterizzato da un impoverimento del ^{210}Pb (Bossea 4), si individua una fonte di ^{222}Rn , unico discendente allo stato gassoso di ^{238}U . Al contrario si osserva un arricchimento di ^{210}Pb sul campione Bossea 7, dove il ^{222}Rn proviene probabilmente dai porfiroidi di contatto al calcare e dalle acque saturate di ^{222}Rn che alimentano il Lago di Ernestina.

KEY WORDS: *Grotta di Bossea, radioisotopi, ^{222}Rn .*

INTRODUZIONE

La Grotta di Bossea costituisce il settore terminale di un complesso sistema carsico che si estende sulla sinistra idrografica del torrente Corsaglia, dall'abitato di Bossea fin oltre lo spartiacque con la valle Maudagna, raggiungendo la Conca di Prato Nevoso. Si tratta di un vasto acquifero carsico drenante un bacino imbrifero esterno di almeno 6 km² di area. La cavità è percorsa da un torrente di rilevante portata costituente il collettore principale del sistema, che ha ormai ricevuto, in questa zona, tutti i principali apporti idrici provenienti da punti diversi del massiccio (Agnesod et al., 2003).

Tale sistema carsico si sviluppa entro i litotipi appartenenti alla serie del Brianzonese-Ligure; questa formazione geologica è costituita da una roccia metamorfica basale a grana fine (o con grossi fenocristalli di k-feldspato) meta-vulcaniti, quarziti, conglomerati, e carbonati (Peano et al., 2011).

L'isotopo 222 del gas Radon (^{222}Rn), a causa del suo elevato peso specifico, tende ad accumularsi in luoghi chiusi e poco areati, come in sotterranei o grotte; tuttavia, a causa della sua vita media relativamente breve (3.8 giorni) per dare luogo a concentrazioni significative è necessario un continuo ingresso di nuovo gas nel sistema 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 (Moretti et al., 2003).

Nella Grotta di Bossea, la prima campagna di misura di concentrazioni di Radon in atmosfera e nelle acque fu compiuta nel 1994-1995, tramite una collaborazione fra la Stazione Scientifica del CAI di Cuneo e la Sezione Radiazioni dell'ARPA Valle D'Aosta. La ricerca riguardò le importanti variazioni della concentrazione del Radon nell'atmosfera della cavità, nelle acque del collettore e nelle discontinuità del basamento metamorfico, ed i fenomeni fisici che le determinano, correlati con la situazione geologica, idrogeologica e meteorologica del sistema carsico. In sintesi, si osservò che le concentrazioni di ^{222}Rn in atmosfera erano relativamente omogenee, con valori più elevati nella parte centrale della Grotta. Una seconda campagna di misura di ^{222}Rn atmosferico fu svolta, in continuo dall'agosto 1996 al maggio 1997, evidenziando che l'andamento del ^{222}Rn in aria è segnato da aumenti di grande entità, e relativamente rapidi, in correlazione con gli eventi di piena idrografica. La stretta correlazione fra gli eventi di piena del torrente e gli alti incrementi della concentrazione atmosferica del radon nella cavità è prevalentemente legata alla mobilizzazione del gas, presente in più elevata concentrazione negli anfratti più profondi della Grotta e soprattutto nelle fratture dei porfiroidi, ad opera delle acque sotterranee invadenti o delle correnti d'aria prodotte in tali occasioni dal forte aumento della portata, con una sua diffusione relativamente omogenea in tutta la

(*) ENEA, Centro Ricerche Ambiente Marino, La Spezia.

(**) Laboratorio Carsologico Sotterraneo di Bossea.

(***) SSI - UIS - ISCA.

(****) DIATI Politecnico di Torino.

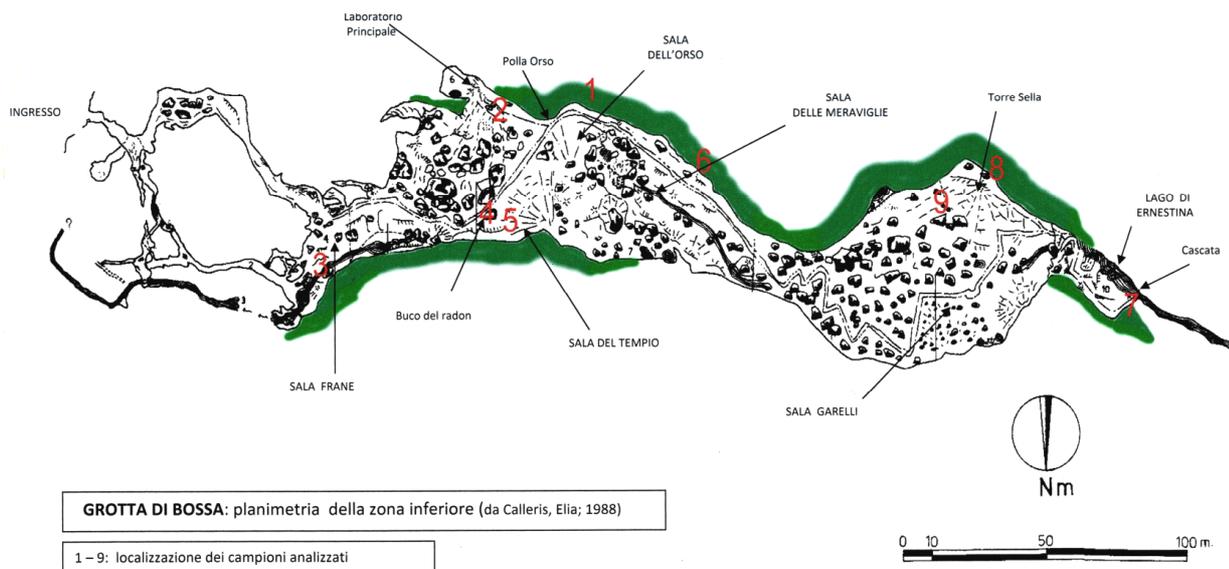


Fig. 1 – Localizzazione all'interno della Grotta di Bossea dei campioni analizzati.

Sigla campione	Litologia	Localizzazione
Bossea 1	Porfiroidi molto laminati	Immediatamente sovrastante la Polla dell'Orso
Bossea 2	Porfiroidi cataclastici	Sottostante il laboratorio principale
Bossea 3	Porfiroidi fratturati	Parete Nord della Sala Frane
Bossea 4	Porfiroidi cataclastici	Sala del Tempio
Bossea 5	Livello di Quarzo nei porfiroidi	Sala del Tempio
Bossea 6	Porfiroidi alterati	Sala delle Meraviglie
Bossea 7	Calcarei presso il contatto con porfiroidi	Sovrastante il Lago di Ernestina
Bossea 8	Scisti porfirici	Lago di Ernestina
Bossea 9	Quarziti sottostanti i porfiroidi	Sala Garelli

Grotta (Agnesod et al., 2003). Negli anni seguenti è stata condotta una nuova campagna di misura (2004-2006), al fine di approfondire ulteriormente la conoscenza dei processi dinamici che regolano la concentrazione del radon nella cavità (Peano et al., 2005).

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di caratterizzare i tenori di radioattività ambientale di alcuni campioni di roccia prelevati nella parte inferiore della Grotta di Bossea, per caratterizzare le fonti di radon.

Le analisi radiometriche con spettrometria Gamma si sono svolte presso i laboratori del Centro ENEA CRAM S.Teresa (La Spezia). Le attività dei radionuclidi sono state misurate in campioni di roccia, preventivamente macinati, con una geometria standard di 20g. I campioni sono stati quindi sigillati e lasciati chiusi per almeno 22 giorni, al fine di garantire il raggiungimento dell'equilibrio secolare tra il ^{222}Rn e ^{226}Ra .

Per le analisi radiometriche sono stati utilizzati tre rivelatori di spettrometria Gamma di Germanio iperpuro con finestra di fibra di carbonio e con un'efficienza relativa del 30-60% e una risoluzione nominale che varia da 1.9 a 2.5 keV a 1.33 MeV per il picco del ^{60}Co . Per i radionuclidi ^{210}Pb , ^{234}Th , ^{214}Pb e ^{214}Bi ciascun rivelatore viene periodicamente calibrato con lo standard di riferimento DL1a (CANMET; CANada Centre for Mineral and Energy Technology); i radionuclidi ^{212}Pb , ^{208}Tl ,

^{228}Ac sono stati calibrati con lo standard di riferimento IAEA-RGTh-1 (IAEA; Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica); infine per il ^{40}K la calibrazione è stata effettuata utilizzando lo standard IAEA-385. L'accuratezza delle misure viene verificata tramite periodici controlli di qualità utilizzando standard di riferimento quali IAEA-CU-2006-03, IAEA-300 e IAEA-315. Il segnale di background viene controllato mensilmente.

Ogni campione è stato contato mediamente per $2-3 \times 10^5$ s. Lo spettro Gamma ottenuto è stato analizzato per i radionuclidi della serie del ^{238}U : ^{210}Pb (47 keV), ^{234}Th (63 keV), ^{214}Pb (352 keV), ^{214}Bi (609 keV); e della serie del ^{232}Th : ^{208}Tl (583 keV), ^{212}Pb (239 keV), ^{228}Ac (911 keV). E' stata inoltre misurata l'attività il ^{40}K (1461 keV).

Per il ^{210}Pb che emette radiazioni gamma a bassa energia (47 keV), la misura finale viene corretta per l'autoassorbimento del campione stesso secondo il metodo di Cutshall et al. (1983).

Il ^{226}Ra , che si ritiene all'equilibrio con ^{222}Rn , viene stimato dalla media delle attività di ^{214}Pb e di ^{214}Bi .

RISULTATI E DISCUSSIONE

i risultati ottenuti (Tab. 1) indicano che, in prima approssimazione, i radionuclidi di ciascuna serie sono in

Tabella 1 – Risultati in Bq kg⁻¹ delle attività dei radionuclidi analizzati.

Campione	²³⁸ U				²³² Th			⁴⁰ K
	²¹⁰ Pb	²³⁴ Th	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²¹² Pb	²⁰⁸ Tl	²²⁸ Ac	
BOSSEA 1	38 ± 5	42 ± 5	47 ± 1	46 ± 2	76 ± 1	27 ± 1	78 ± 4	2130 ± 122
BOSSEA 2	34 ± 4	44 ± 3	41 ± 1	39 ± 1	78 ± 1	27 ± 1	80 ± 2	1976 ± 42
BOSSEA 3	58 ± 7	54 ± 7	55 ± 1	54 ± 2	75 ± 1	25 ± 1	73 ± 4	1873 ± 30
BOSSEA 4	35 ± 5	46 ± 6	47 ± 2	46 ± 2	100 ± 1	35 ± 1	101 ± 4	1803 ± 104
BOSSEA 5	59 ± 4	64 ± 6	64 ± 2	62 ± 2	64 ± 1	24 ± 1	61 ± 2	1061 ± 25
BOSSEA 6	43 ± 4	44 ± 5	43 ± 1	41 ± 1	98 ± 1	33 ± 1	103 ± 2	2060 ± 32
BOSSEA 7	34 ± 3	28 ± 3	27 ± 1	27 ± 1	21 ± 0	8 ± 1	25 ± 3	622 ± 37
BOSSEA 8	34 ± 3	47 ± 3	39 ± 1	39 ± 1	55 ± 1	19 ± 1	53 ± 2	1624 ± 35
BOSSEA 9	21 ± 4	19 ± 3	16 ± 1	17 ± 1	21 ± 1	7 ± 0	22 ± 1	583 ± 12

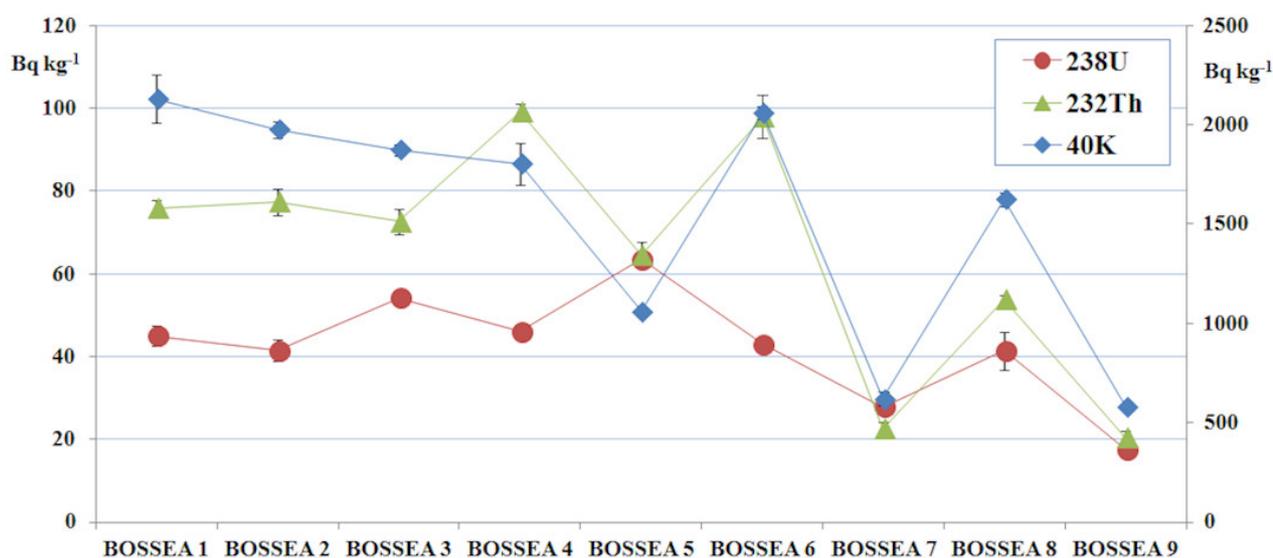


Fig. 2 – Andamento della serie di ²³⁸U, ²³²Th e ⁴⁰K per i campioni analizzati. I valori delle attività di ²³⁸U sono ottenuti dal valore medio di ²³⁴Th, ²¹⁴Pb e ²¹⁴Bi mentre per il ²³²Th le attività sono state ottenute dal valore medio di ²¹²Pb, ²⁰⁸Tl e ²²⁸Ac. L'asse verticale a destra indica l'attività del ⁴⁰K.

equilibrio secolare e le loro attività sono uguali, nel range dell'errore di misura. un'analisi statistica dei dati però individua in alcuni campioni un leggero disequilibrio del ²¹⁰Pb per la serie di ²³⁸U; tale aspetto sarà esaminato nella discussione. per questo motivo, i valori delle attività di ²³⁸U (fig. 2) sono calcolati con la media di ²³⁴Th, ²¹⁴Pb e ²¹⁴Bi escludendo il ²¹⁰Pb.

L'andamento di ²³⁸U si presenta pressoché costante per i campioni Bossea 1, 2, 4, 6 e 8 (42 ± 2 Bq kg⁻¹), mentre si osserva un massimo per il campione Bossea 5 (62 ± 2 Bq kg⁻¹) e due minimi relativi per i campioni Bossea 7 e 9, rispettivamente 30 ± 4 e 18 ± 2 Bq kg⁻¹.

La serie del ²³²Th presenta valori mediamente più alti di ²³⁸U ed un andamento sensibilmente più irregolare. I valori minimi di ²³²Th coincidono con quelli di ²³⁸U, Bossea 7 e 9 con valori rispettivamente pari a 22 ± 2 e 20 ± 2 Bq kg⁻¹, mentre si

osservano due valori massimi, in discordanza con l'andamento del ²³⁸U, per i campioni Bossea 4 e 6 (99 ± 2 e 98 ± 5 Bq kg⁻¹ rispettivamente).

La concentrazione di ⁴⁰K è relativamente costante per i campioni da Bossea 1 a 4 (1945 ± 142 Bq kg⁻¹); per i restanti campioni presenta un andamento che segue molto bene quello del ²³²Th.

Gli aspetti comuni di queste tre distribuzioni sono i minimi per i campioni Bossea 7 e 9 situati presso il Lago di Ernestina e Sala Garelli, imputabili alla litologia, calcari e quarziti, rispettivamente, la cui composizione mineralogica è notoriamente priva di elementi igromagnetofili quali U e Th. In termini ancora più generali è possibile discriminare gli alti valori della zona della Grotta topograficamente più bassa, da Bossea 1 a 6, costituiti essenzialmente da meta vulcaniti (porfiroidi), dai campioni della zona più elevata, da Bossea 7 a

9, che sono rispettivamente calcari e quarziti. Il campione Bossea 8, che è uno scisto porfirico, presenta valori intermedi a questi due gruppi.

Analizzando la relazione tra ^{238}U e ^{232}Th nei campioni, non si osserva una buona proporzionalità tra questi due isotopi. U e Th hanno un comportamento geochimico simile durante la cristallizzazione magmatica, essendo elementi litofili a largo raggio ionico (LILE), per cui dovrebbe esserci tra loro una buona co-varianza. La figura 3 mostra l'andamento di ^{238}U e ^{232}Th nei campioni mettendo in evidenza la bassa correlazione tra questi due radionuclidi.

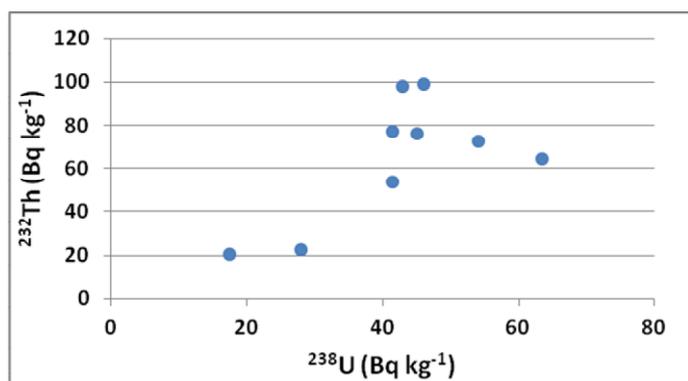


Fig. 3 – Relazione tra ^{238}U e ^{232}Th nei campioni che mostra la bassa correlazione tra questi due radionuclidi.

Le cause di questo diverso comportamento di U e Th non sono facilmente individuabili. Questo aspetto mette in evidenza però che questi porfiroidi hanno subito processi fisici, quali eventi metamorfici, che non hanno chiuso il “sistema roccia”, creando un diverso comportamento tra questi due elementi. Ma in ambiente carsico con un'importante presenza di acqua, come nella Grotta in esame, possono essere determinanti i processi geochimici. Infatti, al contrario del torio, che è praticamente insolubile in condizioni naturali, la solubilità dell'uranio è condizionata dal potenziale redox delle acque ipogee. Qualora infatti esso non sia fissato in forma stabile assieme al torio e ad altre terre rare (REE) a formare fasi minerali pesanti, può facilmente passare in soluzione acquosa come ione uranile (UO_2^{2+}) e quindi essere preso in carico dalle acque (Moretti et al., 2003).

Tabella 2 – Significatività della differenza in percentuale tra ^{238}U e ^{210}Pb .

	$^{238}\text{U} - ^{210}\text{Pb}$ (Bq kg^{-1})	Err +/-	Significatività della differenza (%)
BOSSEA 1	7	5.4	84
BOSSEA 2	7	4.4	89
BOSSEA 3	-4	6.6	41
BOSSEA 4	11	7.0	89
BOSSEA 5	4	4.4	65
BOSSEA 6	0	4.3	4
BOSSEA 7	-7	3.1	96
BOSSEA 8	7	5.5	83
BOSSEA 9	-4	3.7	66

Come accennato nei risultati, alcuni campioni di roccia presentano un lieve disequilibrio tra il capostipite della serie ^{238}U e un suo discendente, il ^{210}Pb . La Tabella 2 riporta la differenza di attività tra ^{238}U e ^{210}Pb ed il suo errore assoluto: assumendo ^{238}U costante, un valore positivo indica un impoverimento di ^{210}Pb mentre un valore negativo è indice di un arricchimento di ^{210}Pb . Infine, ancora in Tabella 2, si riporta in termini statistici il livello di Significatività della differenza espresso in percentuale.

Come precedentemente accennato, cinque campioni presentano un disequilibrio tra ^{238}U e ^{210}Pb al limite della significatività (> 80%) osservabile in Tab. 2. In particolare, quattro di questi campioni (Bossea 1, 2, 4 e 8) indicano un deficit del ^{210}Pb rispetto a ^{238}U segnalato da un delta ($^{238}\text{U} - ^{210}\text{Pb}$) positivo. Per queste rocce, tutte di litologia porfiroide, tale disequilibrio può essere imputabile alla parziale perdita di ^{222}Rn dalla roccia affiorante. Un disequilibrio più significativo (96%) si osserva invece per il campione Bossea 7, che è un calcare presso il contatto con i porfiroidi, che evidenzia però un arricchimento del ^{210}Pb con un delta ($^{238}\text{U} - ^{210}\text{Pb}$) negativo. Il calcare è notoriamente povero di ^{238}U e le cause di questo disequilibrio sono difficilmente spiegabili. Una possibile fonte di ^{210}Pb può essere data proprio dai porfiroidi a contatto con le rocce calcaree che riescono ad adsorbire una frazione del Radon rilasciato dalle metavulcaniti.

CONCLUSIONI

La grotta di Bossea, grazie al Laboratorio carsologico sotterraneo in essa operante, dispone di una serie temporale molto lunga di valori della concentrazione del Radon in aria ed in acqua per diversi punti di prelievo. In particolare esse sono riassunte nella Tabella 3 e 4.

Tabella 3 – Valori medi della concentrazione del Radon in aria (Bq/m^3)

Stazione di misura		Sala del Tempio	Laboratorio superiore	Frattura porfiroidi
Periodo		1999-2012	2004-2012	2011-2012
Concentrazioni medie nel periodo Bq/m^3	Minimo	516	496	6815
	Medio	752	768	7631
	Massimo	1726	1943	8446

Tabella 4 – Valori medi della concentrazione del Radon in acqua (Bq/L^3)
(*) Rilevamento continuo (**) Rilevamento puntuale

Stazione di misura		Torrente (*)	Polla delle Anatre (**)	Polla dell'Orso (**)	Polletta (**)
Periodo		2010-2012	2010-2012	2010-2012	2010-2012
Concentrazioni medie nel periodo Bq/m^3	Minimo	0,514	1,164	1,375	0,497
	Medio	0,971	1,804	2,341	1,154
	Massimo	2,882	2,99	4,165	2,901

Col presente lavoro si dispone ora delle concentrazioni dei predecessori del Radon in diverse punti di campionamento, estendendo così le conoscenze su questi elementi. Tutti questi dati costituiscono una base ottimale per un ulteriore incremento dello studio del comportamento del Radon in ambiente ipogeo già in atto da più anni.

OPERE CITATE

- AGNESOD, G. & PEANO G., 1996 - *Misure di concentrazione del radon 222 nell'atmosfera e nelle acque della Grotta di Bossea: prime acquisizioni*. Atti del Simposio internazionale "Grotte turistiche e monitoraggio ambientale", Frabosa Soprana, editi a cura della Stazione Scientifica di Bossea: 183-192.
- AGNESOD, G., PEANO, G., VILLAVECCHIA, V., 2003 - *Concentrazione atmosferica di radon 222 nella Grotta di Bossea e relazioni con il regime dei flussi idrici interni*. In: Proceedings of Symposium "Karst environment and man". Scientific Station of Bossea: 39-52.
- CUTSHALL N.H., LARSEN I.L., OLSEN C.R., 1983 - *Direct analysis of Pb-210 in sediment samples—self absorption corrections*. Nucl. Instrum. Methods Phys Res., 206: 309–12.
- MORETTI A., DELLA VENTURA G, DI SABATINO D. & FERRINI G., 2003 - *La radioattività ambientale nelle aree carsiche*. In: Proceedings of Symposium "Karst environment and man". Scientific Station of Bossea: 53-57.
- PEANO, R. G., PEANO, G., VIGNA, B., VILLAVECCHIA, E., 2005 - *Le dinamiche di diffusione del radon nella Grotta di Bossea*. In: Proceedings of Symposium "Karst environment: research in Italy at the beginning of the 21st century". Scientific Station of Bossea: 101-124.
- PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E., AGNESOD G., 2011 - *Radon exchange dynamics in a karst system investigated by radon continuous measurements in water: first results*. Radiation Protection Dosimetry, 145: 173–177.

