POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Caratterizzazione di una stazione di misura in continuo della concentrazione di radon in acqua nella grotta di Bossea

Original
Caratterizzazione di una stazione di misura in continuo della concentrazione di radon in acqua nella grotta di Bossea / Agnesod, G., Peano, G., Vigna, B., Diani, P., Colombo, S., Fiorucci, A., Biamino, L., Faure Ragani, M., Magnoni, M., Chiaberto, E., Frasca, M.. - ELETTRONICO. - (2024), pp. 234-249. (VIII Convegno Nazionale Agenti Fisici Castello di Pavone Canavese (TO) 27 - 29 novembre 2024).

Availability:
This version is available at: 11583/3001326 since: 2025-06-27T09:21:01Z

Publisher:
Associazione Italiana di Radioprotezione

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

19 November 2026

VIII Convegno Nazionale Agenti Fisici
Pavone Canavese (TO), 27 - 29 novembre 2024

Caratterizzazione di una stazione di misura in continuo della concentrazione di radon in acqua nella grotta di Bossea

Agnesod Giovanni[1], Peano Guido[1], Vigna Bartolomeo[1,2], Diani Patrizia[1], Colombo Serena[1], Fiorucci Adriano[1,2], Biamino Luca[2], Faure Ragani Massimo[3], Magnoni Mauro[4], Enrico Chiaberto[4], Frasca Marco[4]

[1]*Laboratorio carsologico della grotta di Bossea, S.O. Bossea – Club Alpino Italiano*

[2]*Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture*

[3]*ARPA Valle d'Aosta, Sezione Agenti Fisici ed Energia, Loc. La Maladière 48 - Saint Christophe (AO)*

[4]*ARPA Piemonte, Dipartimento Rischi fisici e Tecnologici, via Jervis, 30 - 10015 Ivrea (TO)*

Corresponding author: giovanni.agnesod@gmail.com

INTRODUZIONE

Questo lavoro ha come obiettivo la caratterizzazione di un insieme di misuratori in continuo delle concentrazioni di radon in acqua installati all'interno della grotta di Bossea, al fine di avere misure affidabili da confrontare e correlare con quelle del radon in aria. Tali misure sono necessarie per poter studiare a fondo le dinamiche di scambio del radon tra rocce, acqua e atmosfera interna alla grotta, con particolare riferimento alle variazioni di portata nel sistema acquifero sotterraneo ed alle caratteristiche delle strutture geologiche attraversate. Saranno presentate le misure effettuate in-situ e anche quelle condotte nei laboratori radiometrici di ARPA Valle d'Aosta e ARPA Piemonte, partecipanti allo studio.

LA GROTTA

La Grotta di Bossea è situata nella Val Corsaglia nel territorio di Frabosa Soprana in provincia di Cuneo e si estende per circa 3 km di lunghezza totali in una successione di grandi ambienti ricchi di speleotemi e caratterizzata dalla presenza di un importante collettore carsico e numerosi apporti idrici secondari.

Questa grotta è stata scelta quale sede permanente di una serie di laboratori per la sua grande valenza naturalistico-scientifica che la rende assai idonea per la realizzazione di studi approfonditi in diversi ambiti di ricerca. Sotto la denominazione generale di "Laboratorio Carsologico Sotterraneo della Grotta di Bossea", articolato nel Laboratorio Carsologico Sotterraneo di Bossea del Club Alpino Italiano, creato nel 1969, e nel Laboratorio di Ricerche Idrogeologiche del DIATI, del Politecnico di Torino, istituiti con finalità di studio, tutela e valorizzazione dell'ambiente carsico, sono riunite le diverse attività di ricerca realizzate negli ambiti dell'idrogeologia carsica, meteorologia ipogea, radioattività naturale e biospeleologia (Balestra, Lana, Fiorucci et al., 2023).

ISBN 9788888648569

Figura 1 – Laboratorio Carsologico Sotterraneo della Grotta di Bossea



Dai primi anni ‘80 sono iniziati gli studi ed i monitoraggi, finanziati dal CAI centrale e dal Politecnico di Torino, in collaborazione con ARPA Piemonte e ARPA Valle d’Aosta. In particolare, questi due enti hanno approfondito le ricerche relative alle misure di radioattività ambientale, riguardanti il radon, sia in atmosfera che in acqua.

MORFOLOGIA DELLA GROTTA

La Grotta di Bossea costituisce la parte terminale di un sistema carsico molto esteso che veicola volumi idrici assai consistenti, lunga complessivamente quasi 3 km. È articolata in due differenti settori: un ramo principale, percorso dal torrente collettore del sistema carsico, esteso per circa 1500 metri, suddiviso in una zona inferiore costituita da una serie di giganteschi saloni posti in forte dislivello ascendente, e in una zona superiore, a sviluppo sub orizzontale, costituito essenzialmente da una lunga ed altissima forra (Canyon del torrente) e dal lago terminale (Lago Loser). Un esteso complesso di gallerie fossili, sovrasta il ramo attivo mentre all’estremità del lago terminale ha inizio la zona sommersa del sistema carsico, esplorata dagli speleo-sub in modesta parte (250 metri di sviluppo x 54 di profondità), ma estesa probabilmente per qualche chilometro.

GEOLOGIA, LITOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DEL SISTEMA CARSICO DI BOSSEA

Il sistema carsico che alimenta il collettore principale che scorre nella Grotta di Bossea (il Torrente Mora) ed i numerosi apporti secondari che confluiscono nel dreno principale (Polla delle Anatre, Polla dell’Orso, Polletta ecc.) è impostato nei litotipi appartenenti alla serie del Brianzonese Ligure (Vanossi, 1974). Tale successione è costituita da un basamento metamorfico con meta-vulcaniti a grana minuta o a grossi cristalli di kfeldspato, localmente molto laminati (Permiano medio-

ISBN 9788888648569

Carbonifero sup.), quarziti e meta conglomerati dello Scitico – Permiano sup. e da una copertura carbonatica.

Nella successione carbonatica si riconoscono alla base delle dolomie, marmi dolomitici e marmi del Trias medio (Antonellini et al., 2019), seguiti poi da calcari marmorei a grana grossolana, localmente micacei del Giurassico e da calcari arenacei molto scistosi del Cretaceo. I rapporti tra il basamento e la copertura carbonatica sono molto complessi: nella prima parte della grotta di Bossea si riconosce un importante superficie di scollamento con le meta-vulcaniti altamente fratturate che vengono direttamente a contatto con i marmi dolomitici triassici (Antonellini et al., 2019).

Nell'intera area di alimentazione del sistema di Bossea la successione carbonatica si trova, invece, a contatto con le rocce del basamento attraverso una serie di importanti faglie sub-verticali con direzione prevalente WNW-ESE che danno origine ad una serie di scaglie e zone altamente deformate. La struttura carbonatica principale è quindi costituita da una fascia con una larghezza media compresa tra 500 e 1000 m, confinata dalle meta-vulcaniti e dalle quarziti. Tale assetto strutturale condiziona pesantemente la circolazione idrica superficiale e sotterranea. Il reticolo idrografico dell'area è caratterizzato dalla presenza di una serie di piccoli corsi d'acqua che scorrono in valloni profondamente incassati con direzione prevalente verso NE. Le acque ruscellano sulle rocce a bassa permeabilità del basamento metamorfico e quando incontrano l'ammasso carbonatico vengono assorbite da una serie di inghiottitoi posti in prossimità dei principali contatti tettonici, dai quali le acque raggiungono il collettore di Bossea in tempi piuttosto rapidi compresi tra 24 e 120 ore. Nell'ambito dell'acquifero ipogeo la velocità del flusso idrico, calcolata attraverso numerosi test con traccianti artificiali, è compresa tra i 150 e i 1500 m/giorno per le circolazioni idriche impostate nei dreni principali, mentre nel reticolo delle fratture che caratterizzano gran parte dell'ammasso roccioso le velocità di flusso sono molto più ridotte, inferiori anche a 5 m/giorno. La portata del collettore, nell'ambito della grotta, può variare nel corso dell'anno da 50 a 1200 l/sec (Vigna, 2020), fatta eccezione per qualche raro evento alluvionale in cui possono essere raggiunti 1900 l/sec (ottobre 2016). La temperatura delle acque del torrente può variare, nel corso dell'anno fra 7,2 e 7,9°C (stazione idrometrica dello Stramazzo). La temperatura dell'acqua degli apporti secondari è compresa fra 8,5 e 10°C (Vigna et al., 2017).

Un'aliquota della circolazione idrica sotterranea interessa anche l'ammasso metamorfico ed in particolar modo le fasce cataclastiche impostate in corrispondenza dei contatti tettonici o delle superfici di scollamento tra le meta-vulcaniti e le rocce carbonatiche. Tali modalità di circolazione idrica sono anche ben visibili nella Grotta di Bossea: in corrispondenza del contatto basamento-copertura carbonatica sono presenti numerosi circuiti idrici, con portate in genere molto ridotte, che vanno ad alimentare i diversi apporti secondari (Polla delle Anatre, Polletta, Polla Orso, ecc.) che confluiscono poi nel collettore principale.

CORRELAZIONI DELLE CONCENTRAZIONI AEREE E IDRICHE DEL RADON CON I PARAMETRI IDROGEOLOGICI DEI FLUSSI IDRICI

Gli studi fino ad ora effettuati nel sistema carsico di Bossea, a partire dalle campagne di misura nelle acque iniziate negli anni 1999-2000 e proseguite fino ad oggi con progressivi miglioramenti nelle conoscenze acquisite (Peano, Villavecchia, Vigna, Arman et al., 2018) portano a ritenere che la concentrazione atmosferica del gas è ascrivibile a due fenomeni, concomitanti: il trasferimento diretto roccia-atmosfera, come si verifica per emissione dalle metavulcaniti cataclastiche che delimitano praticamente fino al soffitto calcareo tutta la parte inferiore della grotta, e il trasporto ed il trasferimento all'aria da parte delle acque del torrente collettore e degli apporti secondari, che si arricchiscono di radon durante il prolungato contatto con le metavulcaniti in zone di deflusso situate a monte della grotta, con concentrazioni dipendenti dall'emissività di

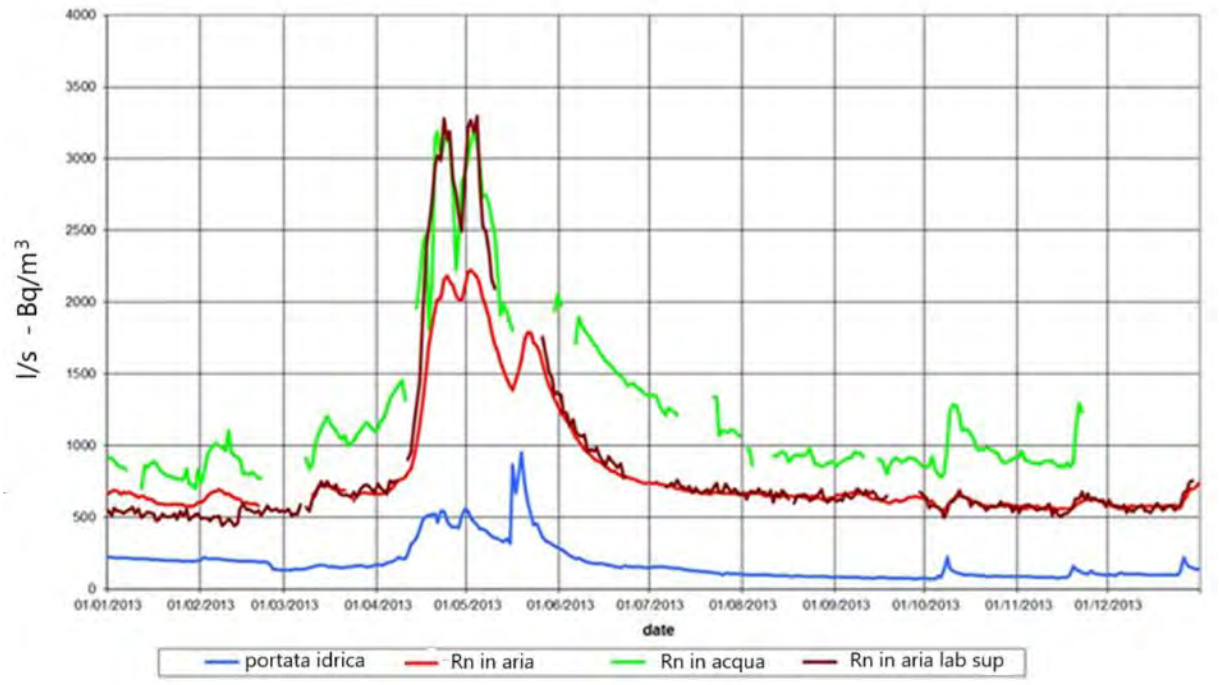
ISBN 9788888648569

radon nella roccia attraversata, dalla durata del contatto roccia-acqua, e dalla temperatura dell'acqua, con solubilità inversamente proporzionale a quest'ultima.

Il trasferimento all'aria all'uscita del torrente collettore dalla zona sommersa è collegato ai mutamenti di alcuni parametri fisici delle acque, quali l'aumento della temperatura e la riduzione della pressione che, a titolo d'esempio, scende dalle quasi 6 atm. del punto più basso del sifone raggiunto dagli speleosub al normale valore della pressione atmosferica nella superficie di contatto acqua-aria.

Si è verificato inoltre che il contenuto in radon delle acque cresce in modo significativo durante gli episodi di piena, quando le acque invadono distretti del sistema carsico altrimenti asciutti, sciogliendo ed asportando il radon accumulatosi nelle fratture e negli interstizi. Quanto più esteso e prolungato è il contatto roccia-acqua e, soprattutto nella fase di disgelo primaverile, più fredda la temperatura dell'acqua, tanto maggiore è la concentrazione del radon nelle acque del torrente e dei flussi minori, e quindi, per successivo trasferimento, nell'atmosfera della grotta. Secondo le misurazioni effettuate nel periodo 2000 – 2018 le concentrazioni atmosferiche del radon sono variate fra circa 500 Bq/m^3 e quasi 4000 Bq/m^3, e le concentrazioni nelle acque del torrente da 0,5 Bq/l fino ad oltre 8 Bq/l.

Figura 2 – Diagrammi comparati tra portata torrente e concentrazioni aerea ed idrica del radon nella Gotta di Bossea, anno 2013.



Tracciato blu: portata torrente (l/s); tracciato verde: concentrazione idrica nel torrente (Bq/m^3); tracciato rosso: concentrazione aerea del radon nella zona inferiore della grotta (Sala del Tempio) (Bq/m^3); tracciato marrone: concentrazione aerea del radon nella zona superiore (lab. avanzato nella parte superiore della grotta) (Bq/m^3).

La conoscenza di queste dinamiche del radon, ormai accertate per il sistema carsico di Bossea, fornisce conoscenze di validità generale per tutti i sistemi sotterranei di tipologia similare, sotto i profili morfologico, geologico ed idrodinamico, ovvero per una grande quantità di cavità sotterranee.

ISBN 9788888648569

Il Laboratorio Carsologico Sotterraneo di Bossea vanta a questo riguardo un titolo di merito, avendo sperimentato per primo sul campo, in Italia, nell'anno 2010, e con successo, un nuovo sistema di misurazione in continuo del radon presente in soluzione nelle acque del sistema idrico, con l'impiego e la sperimentazione di apparecchi di nuova concezione capaci di realizzare il trasferimento in continuo del radon dall'acqua all'aria. Questi nuovi sistemi di misura permettono lo sviluppo e l'approfondimento nel laboratorio di Bossea delle ricerche sulla presenza del radon nelle acque e sulle dinamiche di scambio con i contesti circostanti, con risultati presentati e apprezzati in varie sedi congressuali e oggetto di pubblicazioni su atti e riviste specializzate (Peano, Vigna et al. 2011, Peano, Villavecchia, Vigna, Arman et al., 2018).

MISURE DI RADON IN ACQUA IN CONTINUO E ISTANTANEE

La misura di concentrazione del radon in acqua avviene attraverso la valutazione della concentrazione del radon nell'aria in equilibrio con la concentrazione in acqua, fenomeno spontaneo e naturale che può essere velocizzato ed efficientato con l'utilizzo di uno scambiatore. Si tratta quindi di una misura indiretta.

La misura può riferirsi ad un campione specifico di acqua, rappresentativo dell'acqua che scorre nel preciso momento in cui il campione viene prelevato, che chiameremo "misura istantanea", oppure può essere effettuata in continuo su un campione di acqua fluente dalla sorgente, ottenendo così l'andamento nel tempo della concentrazione di radon disciolto nell'acqua, con acquisizione del dato tipicamente su base oraria.

Per convertire la concentrazione all'equilibrio di radon rilevata nell'aria (C_a) nella corrispondente concentrazione di radon nell'acqua (C_w), è necessario conoscere il coefficiente di ripartizione acqua/aria del radon ($K_{w/a} = C_w / C_a$). Questo coefficiente dipende dalla temperatura all'interfaccia acqua/aria (T) e dalla salinità dell'acqua. La dipendenza dalla temperatura del coefficiente di partizione in acqua pura può essere descritta dall'equazione di Weigel (Weigel, 1978).

$$K_{w/a} = 0{,}105 + 0{,}405 \cdot e^{-0{,}0502 \cdot T}$$

Questa equazione mostra che, ad esempio, a una temperatura di 20 °C, il coefficiente è circa 0,25 e quindi la concentrazione di radon nell'aria è quattro volte maggiore rispetto a quella nell'acqua. K è un coefficiente adimensionale in quanto è il rapporto tra la concentrazione in acqua al metro cubo e la concentrazione in aria espressa nella stessa unità. Per consuetudine la concentrazione di radon in acqua è espressa in questo studio in Bq/l.

In figura 3a e 3b sono rappresentati gli schemi di funzionamento rispettivamente del sistema di misura istantaneo, e dei sistemi di misura in continuo.

ISBN 9788888648569

Figura 3a - schema funzionamento sistema di misura istantaneo del radon in acqua

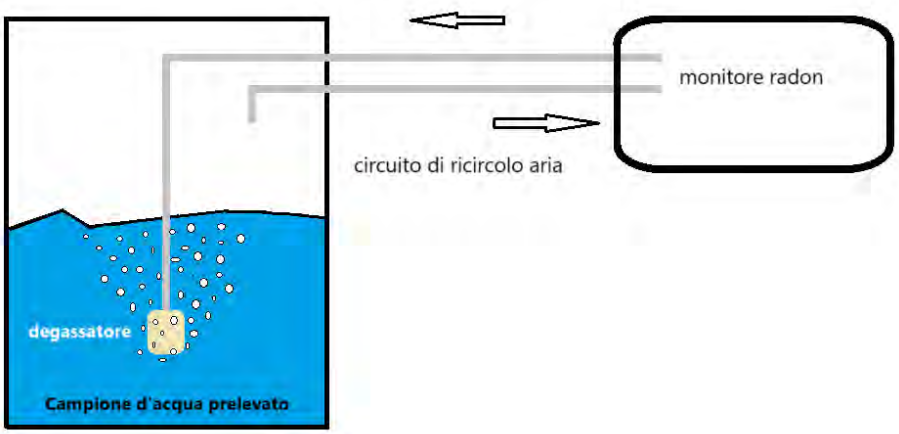
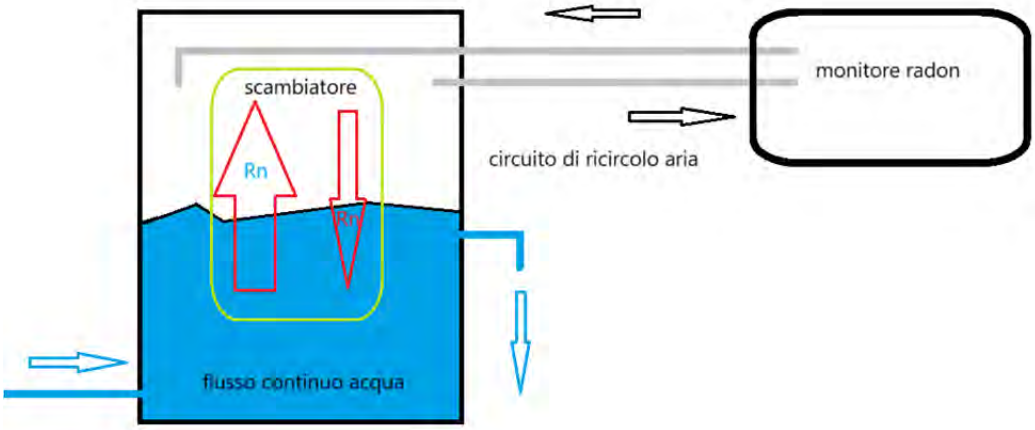


Figura 3b - schema funzionamento sistemi di misura in continuo del radon in acqua



Come si vede, sia il sistema istantaneo che quelli per la misura in continuo del radon in acqua utilizzati comprendono un degassatore o scambiatore per facilitare il trasferimento in aria di parte del radon disciolto in acqua per il raggiungimento dell'equilibrio, ed un monitore che permette di misurare la concentrazione trasferita in aria. L'acqua è a contatto con il sistema di trasferimento, mentre l'aria circola in un circuito chiuso collegato al rivelatore del radon in aria. Fisicamente si stabilisce quindi un equilibrio tra il radon nell'acqua e il radon nell'aria in volumi definiti. Nel campionamento istantaneo non vi è flusso di acqua, che è contenuta in una semplice bottiglia sigillata rispetto all'aria esterna (kit Radon Mapper o Alphaguard), e quindi si ha una situazione di equilibrio statico tra radon in aria e radon in acqua. Nel sistema in continuo l'acqua è continuamente ricambiata ed è assimilabile ad una sorgente infinita, ciò in grado di mantenere il radon invariato indipendentemente dal radon ceduto all'aria, mentre l'equilibrio che si instaura è di tipo dinamico: in questo modo è possibile monitorare in tempo reale i cambiamenti della concentrazione del radon in acqua misurando la variazione di concentrazione di radon in aria.

Per eseguire correttamente la conversione, è necessario che sia quindi raggiunto l'equilibrio tra C_w e C_a. Nelle misure in continuo, due aspetti vanno per questo considerati, in quanto in grado di influire fortemente sul risultato delle misure. In primo luogo, dopo un cambiamento improvviso di C_w, ci vuole del tempo prima che l'equilibrio si ristabilisca. La velocità di risposta del sistema di rilevamento è perciò un parametro chiave. A causa di questo ritardo, le fluttuazioni rapide di C_w potrebbero non riflettersi completamente nelle misurazioni di C_a, il che può limitare l'applicazione

ISBN 9788888648569

di alcuni dispositivi di misura in situazioni dove tali variazioni improvvise possono verificarsi. Il ritardo di risposta del sistema di rilevamento continuo del radon nell'acqua è influenzato sia dalla velocità con cui si stabilisce l'equilibrio nell'unità di scambio che dalla velocità di risposta del monitore in continuo. Per valutare questo parametro, in questo articolo, si considera come tempo complessivo di risposta del sistema il tempo necessario affinché il monitore raggiunga il 95% del valore di stato stazionario dopo l'avvio del flusso d'acqua attraverso lo scambiatore, intendendo con stato stazionario la media sperimentale massima di concentrazione di radon nell'aria raggiunta in risposta al passaggio di un flusso d'acqua con una certa concentrazione di attività costante.

Il secondo aspetto da considerare nelle misure in continuo è l'efficacia dello scambiatore nel permettere il raggiungimento del valore vero di equilibrio della concentrazione di radon tra aria e acqua. Tale problema non si pone nella misura istantanea, dato che l'equilibrio tra radon in acqua e aria si crea in una situazione in cui l'intero sistema è a completa tenuta ed essendo in questo caso in contatto diretto il campione di acqua e l'aria in circolo con il monitore mediante degassatore con pietra porosa.

Nel laboratorio di Bossea si hanno a disposizione, in particolare, i seguenti strumenti di misura del radon in continuo: l'Acquaplex – Radon Mapper® della mi.am (Figura 4) e il REM2 - Alphaguard® della Bertin (Figura 5).

Figura 4 - Sistema Acquaplex (mi.am) – con degassatore passivo (a sinistra) e attivo (destra)

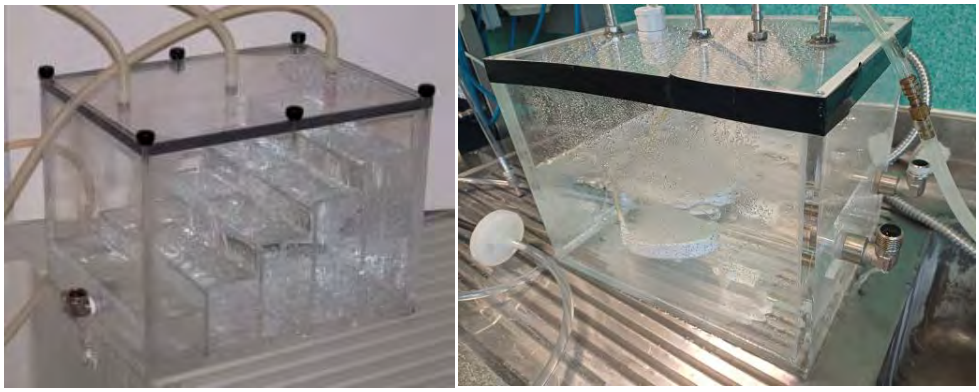


Figura 5 - Sistema REM2 - Alphaguard (Bertin)



ISBN 9788888648569

Il passaggio del radon da acqua ad aria verso l'equilibrio avviene nei sistemi utilizzati o tramite il "degassamento" nel sistema Acquaplex, o tramite uno scambiatore a membrana (ACCUREL® PP) nel sistema REM2, che permette la diffusione del radon ma non dell'acqua al suo interno.

Il sistema di degassamento Acquaplex può funzionare sia in modalità passiva (sistema a caduta dell'acqua a cascatelle) che in modalità attiva, come mostra la figura 4. Nel secondo caso è necessaria una seconda pompa (4 l/m) per attivare il degassamento attraverso una pietra porosa a forma di disco di diametro 15 cm. Nel presente studio il degassatore attivo è stato testato in laboratorio.

Ai fini del presente lavoro sperimentale è stato inoltre ideato e costruito un terzo sistema utilizzando il kit mi.am del radon mapper per la misura del radon in acqua in modalità istantanea modificandone la bottiglia di contenimento dell'acqua per permettere il passaggio di un flusso di acqua in continuo. L'azione degassante è svolta da una pietra porosa ma è sufficiente la pompa del circuito stesso di misura del radon in aria (figura 6, sistema DArpa).



Figura 6 - Sistema DArpa

In questo studio si è quindi proceduto col valutare la risposta sperimentale, sia quantitativa che temporale, dei vari sistemi in esame, impiegando flussi di acqua provenienti dall'acquedotto di Aosta e di Ivrea (TO) per bassi valori di attività radon e da una sorgente più attiva situata a Quittengo in Valle Cervo (BI), oltreché presenti a Bossea.

Le misure istantanee, che per il nostro studio assumono il valore di riferimento, sono state condotte secondo la UNI EN ISO 13164-3. I metodi utilizzati nei Laboratori ARPA sono controllati periodicamente mediante partecipazione ad interconfronti e la strumentazione è sottoposta periodicamente a taratura presso un centro LAT al fine della corretta valutazione della concentrazione di attività di radon in aria.

ISBN 9788888648569

RISULTATI

Le misure condotte hanno interessato diversi punti di prelievo di cui uno conoscitivo direttamente nella grotta di Bossea chiamato “polla delle anatre” per valutare l’ordine di grandezza delle concentrazioni di attività in gioco. Le misure successive svolte sia in campo che nei laboratori delle ARPA VdA e ARPA IVREA sono state sono state eseguite misurando il radon su tempi della durata di alcuni giorni e quando possibile facendo partire le misure del monitore nel momento in cui si apriva il flusso d’acqua nello scambiatore. In questo modo si sono valutati i tempi di risposta considerando la seguente equazione che esprime l’andamento della concentrazione di radon in aria nel tempo associata ad una concentrazione costante di radon in acqua.

$$C_a(t) = K_{w/a}^{-1} \cdot C_w(t) = K_{w/a}^{-1} * C_w^{eq} \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot t})$$

La concentrazione di radon in aria si intende dovuta al solo gas estratto dall’acqua, al netto di quello presente nel sistema all’inizio della misura. Calcolando il parametro α tramite un fit dei dati si può calcolare il tempo di risposta data dalla seguente relazione:

$$0.95 \cdot C_w^{eq} = C_w^{eq} \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot t_{eq}}) \qquad t_{eq} = -\frac{1}{\alpha} \cdot ln\,(0{,}05)$$

Nei successivi sottoparagrafi sono riportati i risultati ottenuti durante le prove sperimentali.
Per motivi tecnico – logistici non in tutti i siti è stato possibile testare tutti i sistemi a disposizione.

BOSSEA – PUNTO DI CAPTAZIONE “POLLA DELLE ANATRE”

Il punto di prelievo è situato nella zona superiore della grotta di Bossea e l’acqua sorgiva dalla “Polla delle anatre”, confluente nel collettore principale, è captata e condotta nel laboratorio sotterraneo, luogo idoneo ad ospitare la strumentazione di misura.

Le misure effettuate riportate in tabella 1 sono state quindi un primo test in particolare del degassatore DArpa. La strumentazione già presente in grotta è stata dopo queste misure prelevata per poter effettuare prove successive nei laboratori ARPA con misure istantanee su campioni d’acqua prelevati in grotta.

Tabella 1

	Rn in acqua (Bq/l)	Incertezza (Bq/l)	Tempo di risposta (ore)
Degassatore DArpa + Radon Mapper	7,3	1,1	3,3
Misura istantanea ARPA - 1	7,4	0,9	M.cont/M.ist =1,000
Misura istantanea ARPA - 2	7,2	1,1	

ISBN 9788888648569

ACQUA DI AOSTA – MISURE IN LABORATORIO ARPA VdA

L'acqua erogata nella città di Aosta mostra di norma concentrazioni inferiori al Bq/l ed offre perciò la possibilità di verificare la strumentazione con acqua a bassissimo contenuto di radon.
In questo caso si è testato il sistema REM2 ottenendo i dati in tabella 2.

Tabella 2

	Rn in acqua (Bq/l)	Incertezza (Bq/l)	Tempo di risposta (ore)
ScambiatoreREM2+ Alphaguard	0,44	0,07	5,3
Misura istantanea	0,42	0,5	M.cont/M.ist =1,048

ACQUA DI IVREA – PROVA 1 - MISURE IN LABORATORIO ARPA PIEMONTE

In questa prova si è valutata la concentrazione del radon nell'acqua di Ivrea usando lo scambiatore REM2. Come monitore della concentrazione di radon nell'aria di ricircolo si è utilizzato un monitore Alphaguard.

Tabella 3

	Rn in acqua (Bq/l)	Incertezza (Bq/l)	Tempo di risposta (ore)
Scambiatore REM2 + Alphaguard	6,5	0,5	8,4
Misura istantanea	6,7	0,5	M.cont/M.ist =0,970

ACQUA DI IVREA - PROVA 2 - MISURE IN LABORATORIO ARPA PIEMONTE

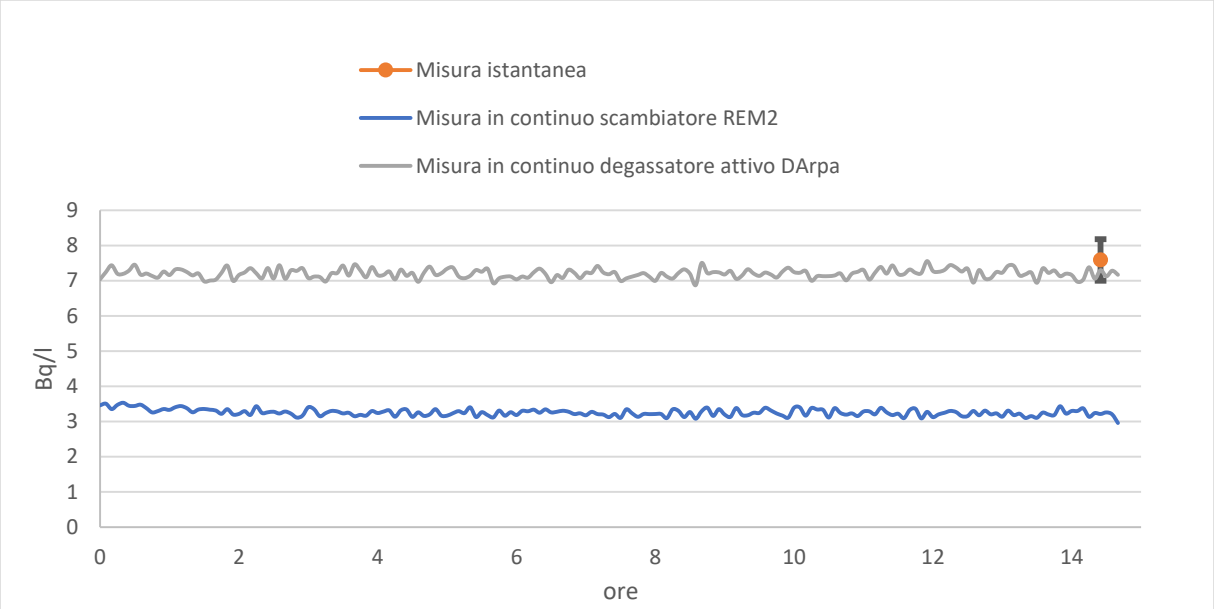
In questa prova si è valutata la concentrazione del radon nell'acqua di Ivrea ponendo parallelamente in misura gli scambiatori REM2 e DArpa. Come monitori della concentrazione di radon nell'aria di ricircolo sono stati utilizzati in entrambi i casi dei radon mapper con celle a scintillazione.
Si sottolinea il calo di efficienza con uso scambiatore REM2, riscontrato anche in tutte le prove successive, e probabilmente collegato ad una variazione delle caratteristiche della membrana dello scambiatore.

Tabella 4

	Rn in acqua (Bq/l)	Incertezza (Bq/l)	
Scambiatore REM2 + Radon Mapper	3,26	0,20	M.cont/M.ist =0,430
Degassatore DArpa + Radon Mapper	7,20	0,43	M.cont/M.ist =0,949
Misura istantanea	7,59	0,59	

ISBN 9788888648569

Figura 7 - Confronto ad Ivrea con misure in parallelo tra i due sistemi di scambio del radon dall'acqua all'aria



FONTE QUITTENGO – PROVE IN PARALLELO

Questa prova sperimentale si è svolta in campo precisamente nella località Quittengo in provincia di Biella, dove una storica sorgente presenta concentrazioni di radon che si aggirano intorno al migliaio di Bq/l (Figura 8).

Figura 8 – Sorgente storica di Quittengo (BI)



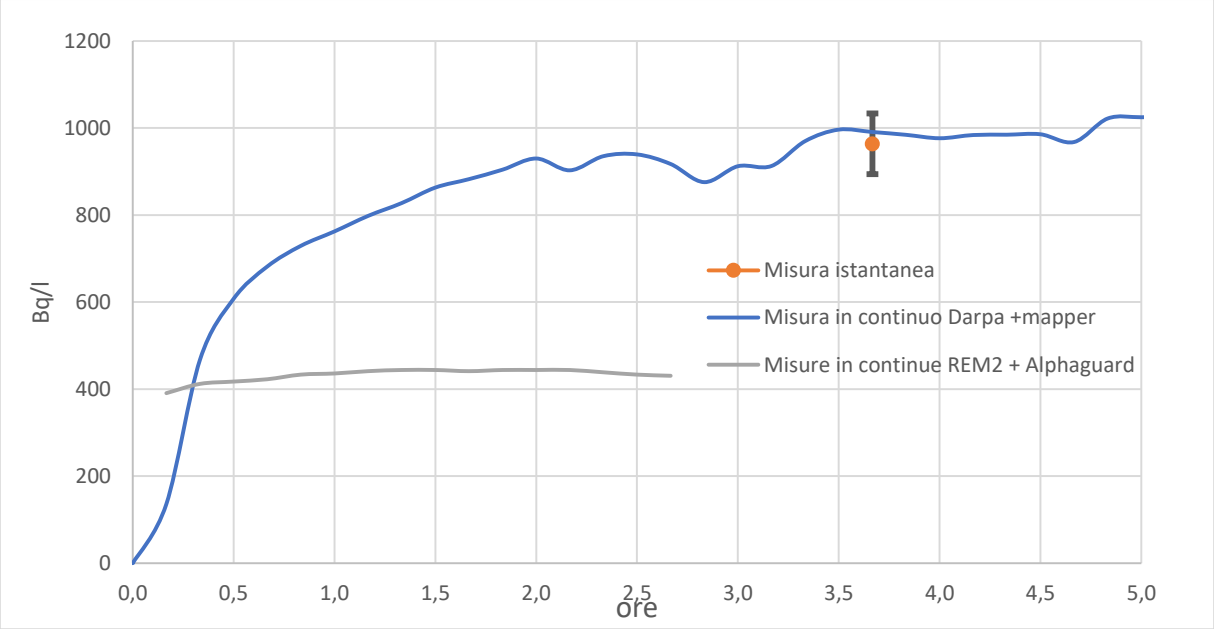
ISBN 9788888648569

Tabella 5

Sistema di misura	Rn in acqua (Bq/l)	Incertezza Rn in acqua (Bq/l)	Tempo di risposta (ore)
Scambiatore REM2 + Alphaguard	454	35	nd
Degassatore DArpa + Radon Mapper	1007	81	3,33
Misura istantanea IN REM2	1021	74	Sistema REM2 M.cont/M.ist =0,470
Misura istantanea OUT REM2	916	70	
Misura istantanea IN DARPA	928	72	Sistema DArpa M.cont/M.ist=1,043
Misura istantanea OUT DARPA	988	65	
Media misure istantanee	965	70	

Sono riportate in tabella anche le 4 misure istantanee effettuate sull'acqua in ingresso e in uscita dei 2 sistemi scambiatori e degassatori REM2 e DArpa durante il loro funzionamento per le misure in continuo, per assicurarsi che la sorgente campionata con un determinato flusso (0,3 - 0,4 l/m) sia considerabile come sorgente infinita, cioè in grado di possedere sempre lo stesso quantitativo di radon indipendentemente dal radon ceduto all'aria. I valori ottenuti sono compresi entro le incertezze di misura.

Figura 9 – Confronto a Quittengo tra i diversi sistemi di misura mediante misure in parallelo



ISBN 9788888648569

Figura 10 – Strumentazione in misura a Quittengo



ACQUA DI IVREA – PROVA 3 - MISURE IN LABORATORIO ARPA PIEMONTE

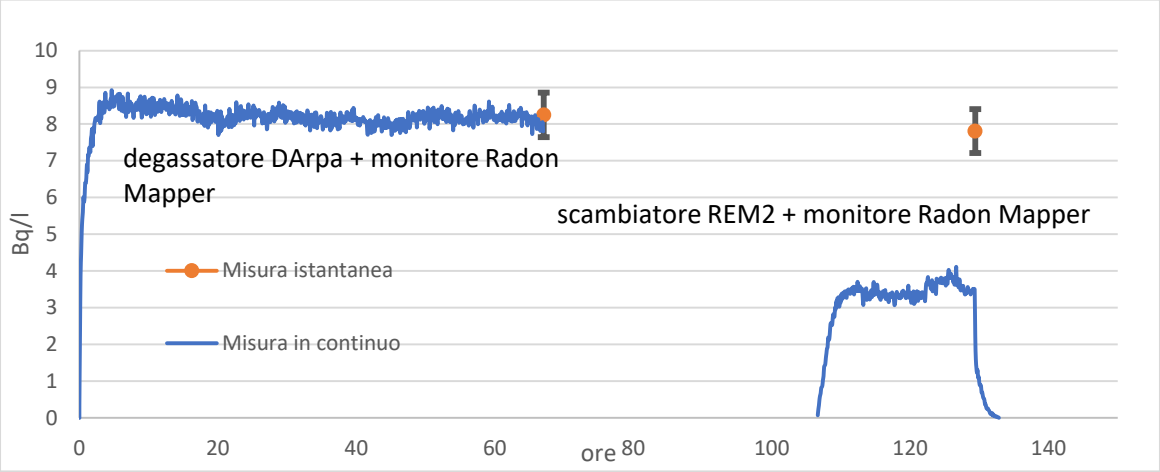
In questa prova si sono confrontati due diversi degassatori con utilizzo di un medesimo strumento di misura, Radon Mapper.

Tabella 6

	Rn in acqua (Bq/l)	**Incertezza Rn in acqua (Bq/l)**	**Tempo di risposta (ore)**
Degassatore DArpa + Radon Mapper	8,22	0,66	2,08
Misura istantanea al termine della misura in continuo	8,25	0,61	M.cont/M.ist =0,996
Scambiatore REM2 + Radon Mapper	3,48	0,28	3,42
Misura istantanea al termine della misura in continuo	7,81	0,60	M.cont/M.ist =0,446

ISBN 9788888648569

Figura 11 – Confronto ad Ivrea tra sistemi di misura con diversi scambiatori, e misure istantanee



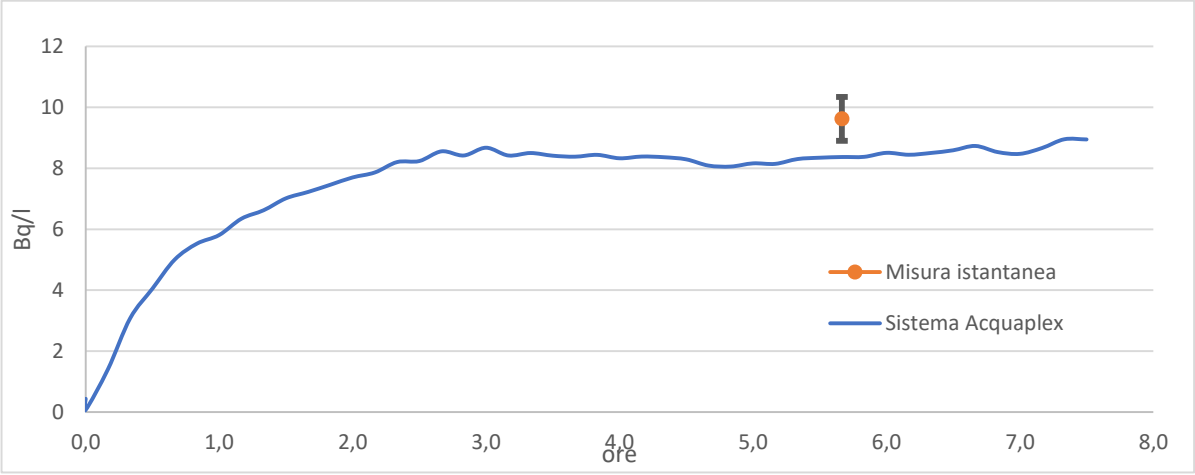
ACQUA DI IVREA – PROVA 4 - MISURE IN LABORATORIO ARPA PIEMONTE

In questa prova si è confrontato (Tabella 7) il sistema Acquaplex, versione con degassatore attivo, con la misura istantanea.

Tabella 7

	Rn in acqua (Bq/l)	**Incertezza Rn in acqua (Bq/l)**	**Tempo di risposta (ore)**
Degassatore Aquaplex + Radon Mapper	8,22	0,66	2,33
Misura istantanea	9,62	0,72	M.cont/M.ist =0,854

Figura 12 – Confronto tra sistemi di misura istantaneo e Acquaplex (mi.am)



ISBN 9788888648569

ANALISI DEI DATI E CONCLUSIONI

I sistemi di misura sperimentati misurano correttamente la concentrazione di radon presente nell'acqua in continuo, ma per ogni sistema si è dimostrato necessario verificare sia l'efficienza del sistema nello scambio del radon tra acqua e aria e anche il tempo di risposta.

Dalle misure effettuate appare che il sistema REM2 nel tempo ha diminuito la sua efficienza mentre il suo tempo di risposta è risultato piuttosto variabile da prova a prova e mediamente pari a 5,7 ore. L'efficienza dopo diversi mesi di utilizzo si è attestata partendo da 1 intorno ad un valore attuale di 0,47. Il sistema di degassamento denominato DArpa mostra invece un'efficienza di degassamento sempre prossima ad 1 ed un tempo di risposta confrontabile con quello della formazione dei prodotti di decadimento del radon nella cella a scintillazione, ma comunque anch'esso soggetto a variabilità. Anche il stema Acquaplex necessita dell'aggiunta nel calcolo delle misure di concentrazione di un coefficiente di calibrazione in efficienza.

Il presente studio mette perciò in evidenza, come principale criticità, la necessità di tenere sempre sotto controllo i sistemi di campionamento: cali di efficienza dovuti a molteplici fattori (umidità e perdite nel circuito di ricircolo dell'aria) possono, infatti, influire notevolmente sul risultato della misura, e quindi sulle analisi di correlazione con le concentrazioni di radon in aria per lo studio delle dinamiche di scambio in ambiente, come nel caso della grotta di Bossea.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento a tutti gli operatori del Club Alpino Italiano e del Politecnico di Torino impegnati per il coordinamento scientifico, il finanziamento per l'acquisto della strumentazione impiegata e lo svolgimento pratico delle attività, attraverso la gestione e l'operatività della Commissione Scientifica Bossea e della Struttura Operativa Bossea.

Un grande protagonista dello studio del radon nella Grotta di Bossea, e per diversi anni una delle colonne portanti del laboratorio, è stato Ezechiele Villavecchia che ha operato con grande capacità ed efficienza nelle realizzazioni tecniche in laboratorio e nella elaborazione ed interpretazione dei dati acquisiti, contribuendo in misura essenziale alle ricerche in atto. A lui, mancato troppo presto, un forte grazie ed un vivo ricordo.

BIBLIOGRAFIA

Antonellini et al., 2019, "Structural control on karst water circulation and speleogenesis in a litholigical contact zone: The Bossea cave system (Western Alps, Italy)", Geomorphology 345

Balestra, Lana, Fiorucci et al., 2023, "The underground Karst Laboratories of Bossea Cave: more than 50 years of collaborations and research", Atti Congres Speleo Rabat 2023

Peano, Vigna et al., 2011, "Radon exchange dynamics in a karst system investigated by radon continuous measurements in water: first results", Radiation Protection Dosimetry (April 2011), Vol. 145, No. 2-3, pp.173-177, Oxford University Press

Peano, Villavecchia, Vigna, Arman et al., 2018, "Radon researches in the Bossea cave (Frabosa Soprana – CN, Italy", Proceedings of the 3rd International Symposium of Speleology - Varenna (Como, Italy) April 29th – 30th, 2017, Memorie dell' Istituto Italiano di Speleologia, Vol. XXXIII. II 2018, pp. 173-186

ISBN 9788888648569

Vanossi, 1974, “Ipotesi sull'evoluzione ercinica delle Alpi liguri tra Savona e l'Ellero”, Memorie Società Geologica Italiana, 13, pp. 39-48

Vigna et al., 2017 “Vadose zone hydrogeologyin the Bossea cave system (southern Piedmont, northern Italy)”, Proceedings of the 17th International Congress of Speleology, pp. 222-225

Vigna et al., 2020, “Assetto geologico ed idrogeologico del Sistema carsico di Bossea (SW Piemonte, Italy)” Atti del Convegno nazionale “L’uomo domanda, la grotta risponde”, Struttura Operativa di Bossea del Club Alpino Italiano, pp. 283-299

Weigel, 1978, “Radon”, Chemical Zeitung, v.102(9), pp.278 – 299, retrieved from INIS repository RN:10454521

ISBN 9788888648569