

Caratterizzazione del circuito delle acque sotterranee degli acquiferi carsici tramite lo studio del contenuto in Radon delle sorgenti del Gran Sasso (Italia centrale)

Vanessa Di Sabatino¹, Mauro Manetta¹, Donato Sciannamblo², Michele Spizzico²,
Marco Tallini¹

¹Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno, Università dell'Aquila, Monteluco di Roio, 67040 L'Aquila; tel: 0862-434553; fax: 0862-434548;

e-mail: vanessa.ds@softkey.it - tallini@ing.univaq.it.

²Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Bari, Via Orabona, 4, 70125 Bari;

e-mail: m.spizzico@poliba.it - d.sciannamblo@poliba.it.

Radon distribution in the Gran Sasso spring water (central Italy) for the study of groundwater flowpaths of karst aquifer

ABSTRACT: The preliminary results of four data acquisition surveys (April 2002, January 2003, July and October 2004) of radon, main elements concentrations with T, el. Cond. and pH of 20 springs of Gran Sasso groundwater is shown. The improvement of the calibration of radon tracer technique for characterizing groundwater flowpaths and processes of water-rock interaction of particularly complex karst aquifer was the aim of this study. It is known that concentration in groundwater of ²²²Rn, noble, inert and radioactive gas with half-life time equal to 3.82 days, is by now applied to understand the mechanisms of influencing karst groundwater flowpaths. So this technique is a powerful tool to evaluate the vulnerability to pollution levels of karst aquifer in which groundwater circuit can develop along karst conduits responsible of pollution migration coming from local infiltration points on the surface. The Gran Sasso hydrogeological system was selected as a case-study area on which the radon tracer technique was applied because of i) the aquifer is particularly complex from the tectonic and litostratigraphic point of view; ii) the hydrogeological framework is well defined and, finally, iii) vulnerability to pollution impact is quite important for the interaction of highway tunnels with regional groundwater which is taken for drinkable purposes. The preliminary results of spatial and temporal analysis of ²²²Rn concentration in the Gran Sasso correlated with other acquired chemical and physico-chemical parameters were encouraging: in spite of their periodic variability, ²²²Rn concentration was demonstrated to be a good indicator of Gran Sasso hydrogeological system furnishing also information about the karst development level.

Key terms: Radon, Environmental tracers, Carbonatic aquifer vulnerability, Gran Sasso.

Termini chiave: Radon, Traccianti ambientali, Vulnerabilità degli acquiferi carbonatici, Gran Sasso.

Riassunto

Vengono presentati i risultati di quattro campagne di misura della concentrazione del radon e del chimismo di circa 20 sorgenti alimentate dalla falda regionale del sistema idrogeologico del Gran Sasso.

Lo scopo è di affinare l'uso del radon come tracciante nella caratterizzazione dei percorsi e l'interazione acqua-roccia delle acque sotterranee negli acquiferi carsici.

L'analisi del contenuto di ²²²Rn nelle acque di falda viene utilizzata per far luce sui meccanismi che influenzano la circolazione sotterranea e stimare il grado di vulnerabilità negli acquiferi in cui il drenaggio può avvenire lungo condotti carsici: dreni preferenziali per la veicolazione di inquinanti provenienti da punti di infiltrazione localizzati in superficie.

L'area campione esaminata è rappresentativa della

complessità dell'acquifero del Gran Sasso, costituito da una serie di serbatoi intercomunicanti confinati lateralmente da sedimenti a scarsa permeabilità. In questo contesto, le problematiche della vulnerabilità all'inquinamento sono realmente sentite per la concomitante presenza del traforo autostradale che interagisce con la falda regionale captata per fini idropotabili.

I risultati preliminari dell'analisi spazio-temporale del contenuto in ²²²Rn correlato alle altre grandezze chimiche e fisiche sembrano incoraggianti: nonostante la loro ciclica variabilità, le concentrazioni di ²²²Rn si dimostrano buoni indicatori del sistema idrogeologico, fornendo informazioni sul grado di carsificazione dell'acquifero.

Introduzione

Le risorse idriche rinnovabili presentano un equilibrio

dinamico che varia nel corso dell'anno in funzione degli apporti piovosi. A questa variabilità si aggiunge l'utilizzo da parte dell'uomo, che induce squilibri sul sistema idrico andando ad intaccare le riserve permanenti per soddisfare il proprio fabbisogno sempre più incisivo.

Alla luce di questa realtà è importante valutare con attenzione le risorse idriche sotterranee attualmente disponibili, aggiornando i dati con nuove indagini volte alla definizione a scala di dettaglio dell'idrodinamica sotterranea dei grandi massicci carbonatici quale quello del Gran Sasso, uno dei più importanti acquiferi dell'Italia Centrale.

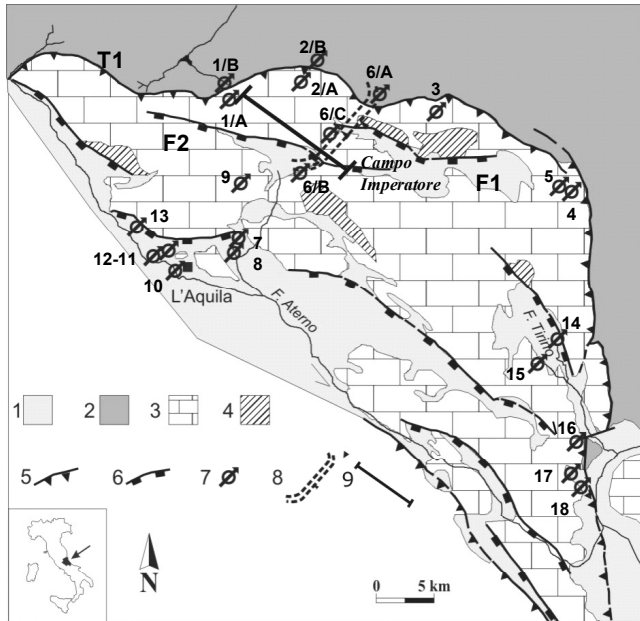


Fig. 1- Sistema idrogeologico del Gran Sasso. 1) *acquitardo* (depositi clastici continentali); 2) *acquicludo* (depositi terrigeni); 3) *acquifero* (successioni carbonatiche); 4) substrato a bassa permeabilità (dolomie); 5) sovrascorrimento (T1: "sovr. frontale del Gran Sasso"); 6) faglia distensiva (F1: faglia Fontari-Tre Selle; F2: faglia di Valle Fredda); 7) sorgente principale; 8) tunnel autostradale; 9) sez. Fig.3.

Gran Sasso hydrogeological system. 1) aquitard (continental clastic units); 2) aquiclude (terrigenous turbidites); 3) aquifer (carbonatic units); 4) low permeability substratum (dolomite); 5) overthrust (T1: Gran Sasso thrust front); 6) normal fault (F1: Fontari-Tre Selle fault; F2- Valle Fredda fault); 7) main spring; 8) highway tunnels; 9) sez. fig.3.

L'evoluzione del sistema orogenetico catena-avanfossa-avampaese è responsabile dell'assetto tettonico del Gran Sasso (Calandri *et alii*, 1996), costituito da un edificio embricato caratterizzato da pieghe e sovrascorrimenti di età Pliocene inferiore-Messiniano, successivamente ritagliato da faglie distensive appenniniche enucleatesi a partire dal Pliocene superiore in relazione alla migrazione del "fronte estensionale tirrenico". Gli elementi strutturali di prim'ordine che influenzano l'idrogeologia sono il sovrascorrimento regionale del versante nord che causa la sovrapposizione delle unità carbonatiche meso-cenozoiche

(tetto della faglia – acquifero regionale) con, al di sotto, le unità terrigene torbiditiche alto-mioceniche (letto della faglia – acquicludo regionale) e le faglie distensive a direzione prevalente NW-SE che ribassano verso SW l'acquifero e che in alcuni casi lo compartimentano a causa delle fasce cataclastiche ad esse associate.

Inquadramento idrogeologico dell'acquifero

L'acquifero del Gran Sasso si caratterizza per la notevole estensione (circa 700 km²) della falda regionale captata a fini idropotabili, e per la struttura particolarmente complessa, fortemente condizionata dalla tettonica che determina la compartimentazione idrologica in settori semi-indipendenti, alimentati prevalentemente per travaso laterale (Boni *et alii*, 1986; Celico, 1983) (Fig. 1).

Tab. 1 - Elenco delle sorgenti campionate e relative quote, medie di portata, temperatura e conducibilità elettrica (n.d.: non determinato).

List of sampled springs with their altitude and mean values of discharge, temperature and electrical conductivity (n.d.: not determined).

| N°. | Sorgente | Quota (m slm) | Temp. (°C) | Cond. el. (µS/cm) | Portata (L/s) |
|------------------|---------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|
| S _{1/A} | Chiarino I | 1500 | 5.2 | 315 | n.d. |
| S _{1/B} | Chiarino II | 1307 | 5.7 | 306 | 801 |
| S _{2/A} | Rio Arno (sorgenti) | 1524 | 3.9 | 310 | 100 |
| S _{2/B} | Rio Arno (vascone) | 1370 | 4.1 | 310 | - |
| S ₃ | Ruzzo | ~1000 | 5.5 | 298 | 300 |
| S ₄ | Vitello d'oro | 650 | 7.5 | 216 | 380 |
| S ₅ | Mortaio d'Angri | 690 | 7.4 | 263 | 280 |
| S _{6/A} | Acqued. Ruzzo | 960 | 5.0 | 233 | 900 |
| S _{6/B} | Acqued. GSA | 967 | 5.0 | 223 | 400 |
| S _{6/C} | Camera Drenaggi | 964 | 5.0 | 227 | - |
| S ₇ | Tempera | 650 | 7.8 | 237 | 800 |
| S ₈ | Vera | 650 | 7.9 | 238 | 190 |
| S ₉ | Assergi S. Pietro | 1150 | 9.5 | 295 | 0.1 |
| S ₁₀ | 99 Cannelle | 635 | 11.6 | 580 | 50 |
| S ₁₁ | Vetoio | 640 | 10.7 | 459 | 430 |
| S ₁₂ | Boschetto | 625 | 14.1 | 412 | 220 |
| S ₁₃ | Acqua Oria | 675 | 13.3 | 512 | 0.1 |
| S ₁₄ | Capo D'acqua | 340 | 10.6 | 499 | 2800 |
| S ₁₅ | Pesciano | 336 | 11.1 | 570 | 1900 |
| S ₁₆ | Basso Tirino | 300 | 12.0 | 544 | 5500 |
| S ₁₇ | S. Callisto | 300 | 11.6 | 560 | 2000 |
| S ₁₈ | Capo Pescara | 270 | 12.0 | 513 | 7000 |

Il sistema idrogeologico del Gran Sasso è caratterizzato da sorgenti di trabocco presenti nel settore nord-orientale, che si rinvencono lungo il margine del sovrascorrimento regionale (T1 in Fig.1), e sorgenti per sfioro della superficie piezometrica nel settore meridionale (piana dell'Aquila e del F. Tirino) (Fig.1 e Tab.1). Schematicamente, la circolazione idrica sotterranea si esplica con un meccanismo "a cascata", tipico dei massicci carbonatici carsificati, prevalentemente su tre livelli.

1. il più alto di questi è rappresentato dalle sorgenti di

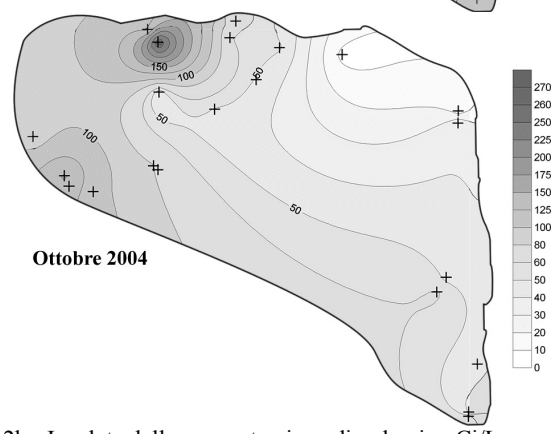
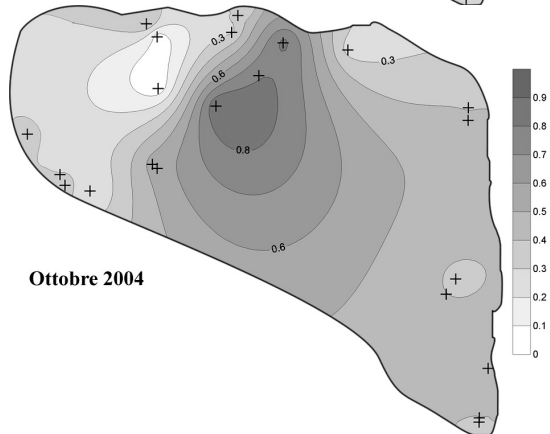
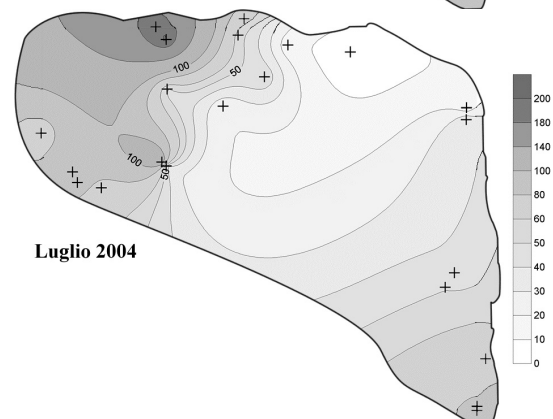
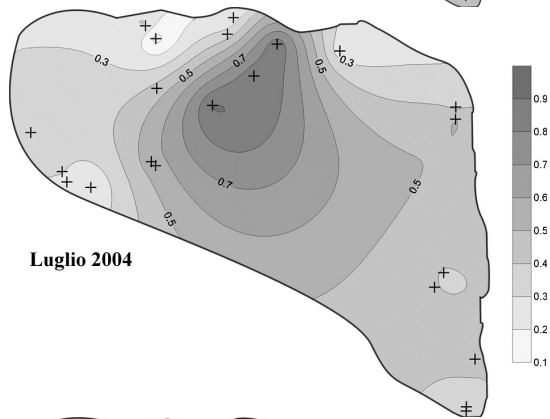
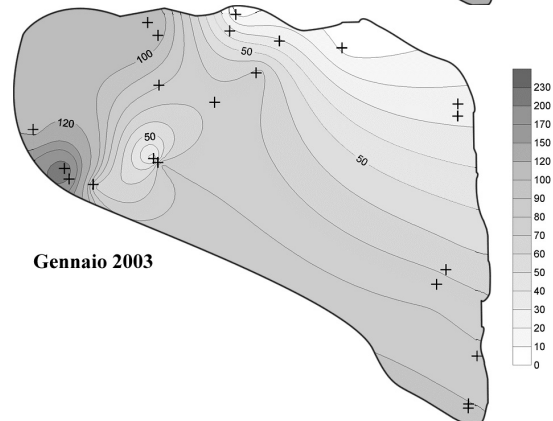
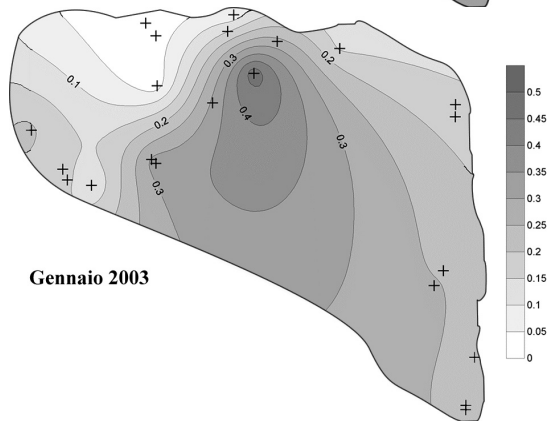
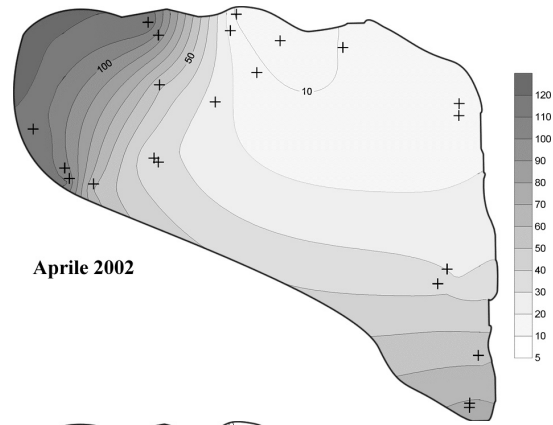
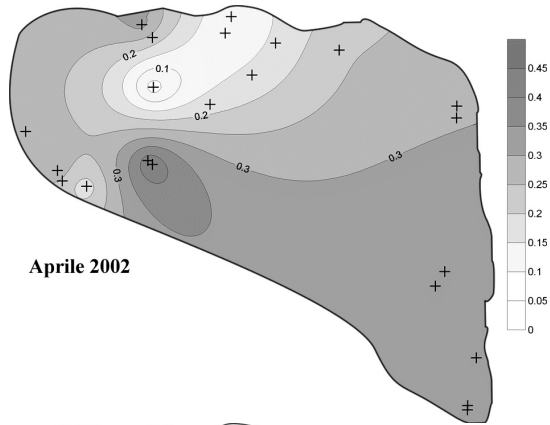


Fig. 2a - Isoplete del rapporto Mg/Ca.
Isopleths of Mg/Ca ratio.

Fig. 2b - Isoplete della concentrazione di radon in pCi/L.
Isopleths of radon concentration in pCi/L.

- trabocco che si sviluppano a quote superiori ai 1000 m (sorgenti del versante nord);
- il mediano è presente tra le quote 600-700 m (piandell'Aquila);
 - il più basso tra le quote 250-350 m, caratterizzato dalle grandi sorgenti della Valle del F. Tirino e del Pescara.

Analisi della distribuzione di Radon e Mg/Ca

Sono stati eseguiti quattro campionamenti sulle sorgenti più rappresentative del Gran Sasso (aprile 2002, gennaio 2003, luglio 2004, ottobre 2004). I campionamenti sono esemplificativi, in base al quadro idrogeologico di riferimento (Petitta & Tallini, 2002), di situazioni idrodinamiche differenti: in aprile e in ottobre si determinano rispettivamente la fase di piena (massimo livello della falda) e di magra (minimo livello della falda).

In gennaio e luglio si verificano situazioni transitorie rispetto alle prime due. La rappresentazione in isoplete del contenuto di radon (Fig. 2.b) nelle sorgenti campionate permette di visualizzare sinteticamente la sua distribuzione spaziale. Fanno eccezione la sorgente Basso Tirino, polla probabilmente alimentata sia dalla falda regionale che da un circuito superficiale e la sorgente S. Pietro, un'emergenza legata ad un circuito locale.

In generale le isoplete dei quattro periodi, in particolare quello di aprile 2002, evidenziano un andamento simile alle isopieze della falda regionale (Petitta & Tallini, 2002) che presenta un *pattern* centrifugo: livello più alto della falda al nucleo dell'acquifero e via via decrescente verso la sua periferia e con direzione di deflusso principale verso la Valle del Tirino. I valori in radon mostrano lo stesso

andamento: sono minimi al nucleo, sottostante l'area di ricarica preferenziale di Campo Imperatore (circa 10 pCi/L), e aumentano verso la periferia dell'acquifero (in ottobre 2004 il massimo assoluto è pari a 180 pCi/L per la sorgente Chiarino). Questa distribuzione della concentrazione di radon si accorda con il modello di drenaggio centrifugo ed evidenzia il fenomeno delle basse concentrazioni, per effetto della diluizione operata dai nuovi apporti idrici, nei mesi primaverili e di alte concentrazioni (maggiori tempi di residenza) nei mesi autunnali di esaurimento (Barbieri et alii, 2005). Le isoplete del radon di tutti i periodi analizzati evidenziano una diversa distribuzione del settore ovest rispetto a quello est. Ad ovest di Campo Imperatore i valori in radon sono mediamente più elevati (dai 50 ai circa 200 pCi/L) e le isoplete hanno un gradiente maggiore rispetto al settore ad est dove i valori variano da 30 a 80 pCi/L. Nei modelli di arricchimento in radon delle acque sotterranee, valori più elevati implicano una maggiore interazione delle acque con la roccia; inoltre, quando queste entrano in contatto con terreni argillosi, notoriamente più ricchi di uranio e radio, si arricchiscono ulteriormente (Spizzico, 2005). Questo modello di arricchimento si riscontra anche nel massiccio del Gran Sasso che è caratterizzato da rocce carbonatiche intensamente fratturate, rocce carsificate nelle cui fratture sono presenti "terre rosse" (Piana Aquilana) e da litologie marnose-argillose (Val Chiarino). Il settore occidentale (Fig. 3) è infatti costituito da formazioni di scarpata silico-calcareo-marnose, a conducibilità idraulica mediamente più bassa rispetto a quella del settore orientale che è costituito da rocce calcaree più o meno carsificate.

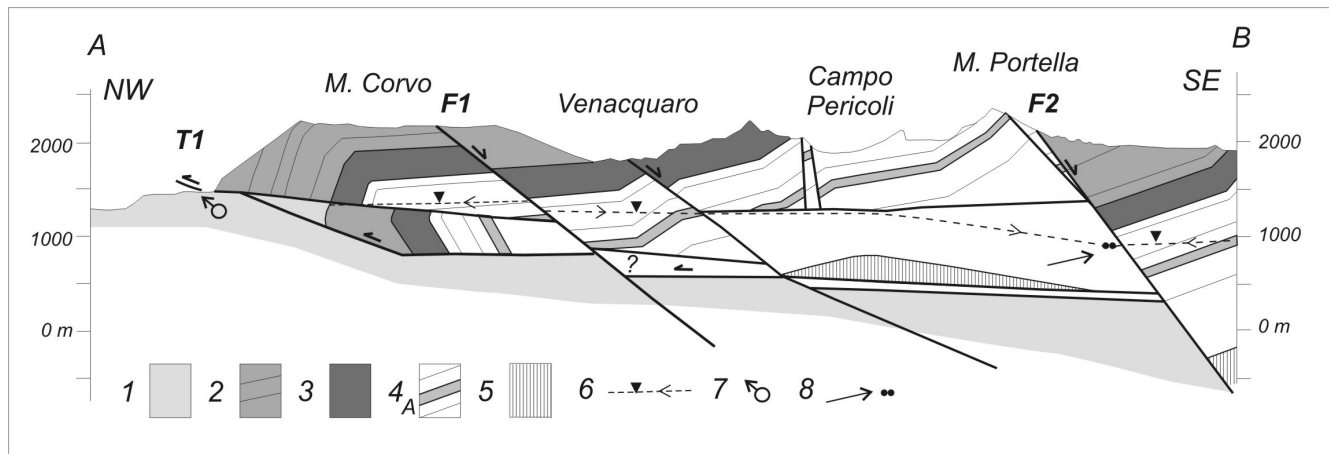


Fig. 3 – Profilo idrogeologico del settore ovest del Gran Sasso. 1- Formazione della Laga (acquicludo); 2- calcareniti e marne del Miocene (acquitardi e acquiferi); 3- scaglia rossa di transizione (acquitardo); 4- formazioni mesozoiche carbonatiche di scarpata e di piattaforma (acquifero) A: verde ammonitico (acquicludo locale); 5- dolomie del Triassico superiore (acquicludo); 6- superficie piezometrica; 7- sorgente del Chiarino (proiettata) 8- gallerie autostradali; F1- faglia Fontari-Tre Selle; F2- faglia di Valle Fredda.

Hydrogeological section of Gran Sasso western part. 1- Laga Formation (regional aquicludo); 2- marl and calcarenite of Miocene (aquitard and aquifer); 3- scaglia rossa Fm. (mud-supported and detrital limestone and marly limestone) (aquifer); 4- Mesozoic carbonatic formations of slope to basin and platform facies (aquifer); A: verde ammonitico Fm. (local aquicludo); 5- Upper Triassic dolomites (regional aquicludo); 6- water table; 7- projected location of Chiarino spring; 8- highway tunnels; F1- Fontari-Tre Selle fault; F2- Valle Fredda fault.

La presenza di una maggiore componente argillosa nel settore ovest rispetto a quello est ha l'effetto di far aumentare il contenuto in radon delle acque anche a causa di una conducibilità idraulica minore che comporta tempi di residenza maggiori e quindi un'interazione acqua/roccia più spinta.

Le acque che alimentano la sorgente Chiarino II, secondo questa interpretazione, si arricchiscono in radon soprattutto nel percorso finale attraverso le litologie silico-calcareo-marnose.

Passando da aprile 2002 (fase di ricarica) a ottobre 2004 (fase di magra) nel settore ovest le isoplete si chiudono in aree circoscritte (aree del Chiarino e della piana dell'Aquila). Questo comportamento si deve per lo più all'abbassamento della falda durante la fase di magra, per cui si creano compartimentazioni idrauliche dovute ad alti strutturali dolomitici e faglie dirette che, per la bassa conducibilità idraulica (Monjoie, 1975), si comportano da limiti di permeabilità: in questa situazione gli apporti idrici possono pervenire da altri compartimenti a diverse caratteristiche idrologiche.

Questa osservazione dimostrerebbe come il movimento stagionale delle acque è prevalentemente a componente orizzontale e avviene in prossimità della superficie piezometrica non interessando direttamente le parti più profonde della falda.

La sorgente Vitello d'Oro presenta in tutti i periodi valori in radon molto bassi legati alle condizioni idrostrutturali di emergenza in quanto si tratta di una sorgente per trabocco del culmine della falda regionale che avviene almeno per il tratto terminale lungo condotti carsici.

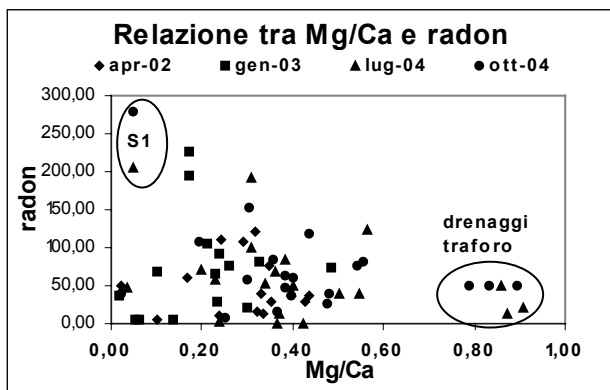


Fig. 4- Relazione tra il rapporto Mg/Ca e la concentrazione di radon (pCi/L) delle sorgenti.

Mg/Ca ratio vs. radon concentration (pCi/L) of springs

La distribuzione del rapporto Mg/Ca (Fig. 2.a) è un'ulteriore verifica della dinamica del sistema e conferma le ipotesi estrapolate dall'analisi del contenuto di radon. Inoltre, analizzando la relazione tra il rapporto Mg/Ca ed il contenuto di radon, si evince dalla Fig. 4 una tendenziale proporzionalità tra i due parametri; fa eccezione la sorgente Chiarino I che, affiorando in litologie marnoso-argillose, si discosta dalle altre sia per l'elevato contenuto di radon, sia

per la ridottissima componente magnesiacca rispetto a quella calcica. Questo fa supporre, con buona probabilità, che si tratta di un'emergenza legata ad una falda locale sostenuta da un substrato argilloso all'interno delle formazioni calcareo-marnose, al cui contatto l'acqua si arricchisce rapidamente in radon emesso dalle particelle di Ra^{++} contenute nelle argille (Moore, 1996; Tadolini & Spizzico, 1998). Peraltro, la componente magnesiacca è nettamente superiore nei drenaggi del traforo (S_{6A}, S_{6B}, S_{6C} in Fig. 4), fatto imputabile al contatto diretto di queste acque con il substrato basale costituito dalle dolomie, nel nucleo dell'acquifero.

Analisi del chimismo e contenuto di Radon

Dallo studio integrato del contenuto in radon e del chimismo delle sorgenti è stato possibile caratterizzare ulteriormente le varie sorgenti, confermando la suddivisione già proposta in studi precedenti (Petitta & Tallini, 2002). I campionamenti sono stati effettuati nei mesi di febbraio, maggio, luglio, ottobre di anni diversi, ma si può ritenere che i dati possono comunque definire il regime idrochimico e idrologico stagionale delle acque sorgive.

Settore meridionale – Valle del Tirino: il deflusso idrico in direzione appenninica è il più cospicuo ed avviene prevalentemente nella valle del F. Tirino che, come basso morfologico, drena per sfioro la falda regionale.

L'analisi delle concentrazioni minime e massime dei costituenti maggiori delle acque delle sorgenti Capo d'Acqua e Pesciano (S_{14} e S_{15}) evidenzia come queste abbiano le stesse caratteristiche chimiche (Fig. 5); tuttavia le acque della sorgente Pesciano sono più magnesiacche (per una maggiore interazione con rocce dolomitiche) ed hanno un contenuto in solfati leggermente maggiore (per interazione con formazioni evaporitiche).

Le acque della sorgente S. Callisto (S_{17}) hanno caratteristiche chimiche differenti dalle precedenti ed è più simile alle acque della sorgente Capo Pescara (S_{18}) in quanto risultano leggermente più ricche di magnesio, di sodio-potassio e di solfati rispetto a quelle di Capo d'Acqua e Pesciano. L'analisi della massima e della minima conducibilità elettrica ($\mu S/cm$ a $20^\circ C$) delle acque, evidenzia come le concentrazioni saline sono minime alla fine del periodo di alimentazione (mesi di gennaio-febbraio) mentre ritornano massime in fase di magra (inizio nel mese di luglio).

Per quanto attiene le concentrazioni di radon (per questo settore) si può evidenziare che queste variano nei valori assoluti tra le diverse sorgenti e variano inversamente all'entità della conducibilità elettrica delle acque.

Questo sta ad evidenziare che, in certi periodi dell'anno, le acque emergenti ricevono il contributo di acque a conducibilità elettrica relativamente bassa ma con tenori in radon piuttosto elevati.

Si ha conferma dei meccanismi propri degli acquiferi carbonatici in cui gli apporti idrici sono il risultato della

miscelazione di acque provenienti da diversi livelli dell'acquifero regionale che ne condizionano le caratteristiche chimico-fisiche, idrauliche ed isotopiche.

L'analisi dei dati idrochimici e isotopici mostra infine delle differenziazioni non riscontrabili analizzando unicamente il regime ideologico che accomuna le sorgenti di questo settore.

Settore teramano: presenta numerose sorgenti di trabocco, tutte caratterizzate da portate molto contenute (in totale circa 1 m³/s) e comunque con regime discontinuo perché legate all'oscillazione del livello di falda. La conducibilità elettrica risulta piuttosto bassa ed è rimasta tale nei diversi campionamenti (Di Sabatino *et alii*, in stampa).

Tuttavia, differenziazioni di un certo peso si sono comunque registrate per la sorgente Chiarino che, come si può notare dal diagramma di Schoeller (Fig. 5), mostra scarti anche notevoli nelle concentrazioni dei costituenti chimici maggiori ad evidenziare una maggiore interazione acqua-roccia. Analoghe considerazioni si possono trarre anche sui contenuti in radon: le acque della maggior parte delle sorgenti campionate hanno concentrazioni molto modeste, spesso al limite della rilevabilità e questo è sintomatico di una circolazione quasi superficiale e comunque tipica di un'interazione acqua-roccia limitata.

Fanno eccezione, ancora, le acque della sorgente Chiarino che presentano concentrazioni in radon fra le più elevate riscontrate nel Gran Sasso; questa evenienza, se teniamo conto della quota di emergenza e dei brevi tempi di interazione acqua-roccia, si deve attribuire alla circostanza che le acque abbiano interagito con ambienti ricchi di terre rosse inglobate nel complesso calcareo-marnoso da cui emergono le sorgenti del Chiarino che probabilmente drenano livelli locali di falde sospese (Fig. 3). Per tutte le sorgenti del settore, indipendentemente dal campionamento, si verifica una correlazione diretta fra la conducibilità elettrica e la concentrazione in radon; occorre infatti sottolineare che in questo settore concorrono alle concentrazioni di radon il grado di carsificazione degli ambienti, il tempo di interazione acqua-roccia e l'assenza di miscelamento di acque provenienti da livelli dell'acquifero diversi.

Il settore aquilano, per tipologie di sorgenti, può essere diviso in due sottosectori.

Settore aquilano I: in esso afferiscono le sorgenti S. Pietro (S₉), Tempera (S₇) e Vera (S₈) (Fig. 1). Tali sorgenti insistono a quote diverse: la S₉ è la sorgente più alta in quota, caratterizzata da una portata molto modesta e da contenuti di radon costanti e piuttosto bassi che evidenziano uno scarso bacino contributivo ed i brevi tempi di interazione roccia-acqua.

Le tre sorgenti considerate hanno tuttavia caratteristiche chimiche tra loro simili; fa eccezione per i bassi contenuti di magnesio la sorgente S₉ che è anche caratterizzata da una conducibilità elettrica sempre maggiore rispetto alle altre due. Per quanto attiene le sorgenti S₇ e S₈ occorre aggiungere che, per quanto siano ubicate alla stessa quota ed a breve distanza tra loro, hanno portate differenti (QS₇>>QS₈), ma lo stesso regime di alimentazione (portate massime durante i mesi invernali, minime durante l'estate); inoltre, analizzando la conduttività elettriche e le concentrazioni di radon, le acque provengono da ambienti carbonatici caratterizzati da un diverso grado di

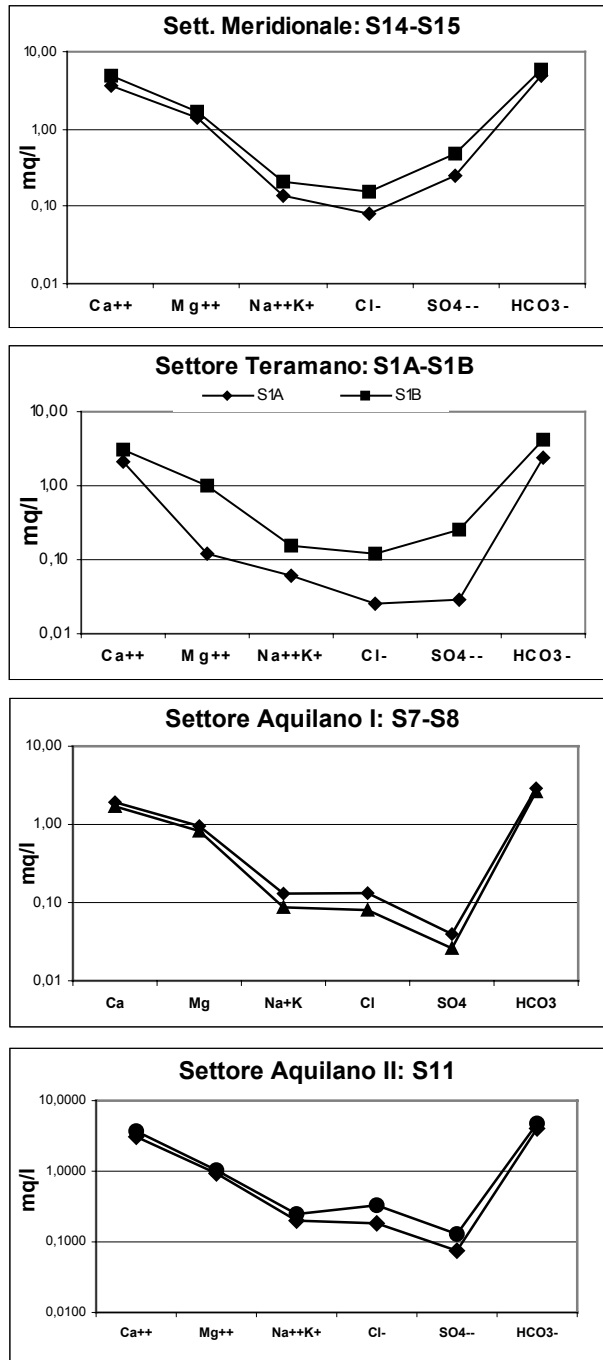


Fig. 5 - Diagrammi di Shoeller delle sorgenti principali con min e max assoluti dei costituenti maggiori.

Fig. 5 - Schoeller diagram of the main representative springs.

fratturazione. Le due sorgenti, infatti, hanno sempre evidenziato una identica conduttività elettrica, ma anche una diversa radioattività; ciò evidenzia la provenienza dei contributi idrici da zone a diverso grado di carsificazione. Peraltro mentre per le acque della sorgente S₈ il contenuto radioattivo si accentua nel periodo di ricarica e diminuisce nel periodo estivo, per quelle della sorgente S₇ si ha l'esatto contrario.

La diversità di comportamento della concentrazione radioattiva in fase di alimentazione della falda si spiega con la presenza di condotti carsici, al di sopra del livello di falda, che restano asciutti durante il periodo di magra e vengono riattivati nel periodo di piena. Le prime acque di alimentazione lisciviano i prodotti residuali dell'alterazione carbonatica depositati nelle fessure, ad elevato contenuto di Ra⁺⁺, arricchendosi di radon (Fig. 6).

Settore aquilano II. Fanno parte di questo settore le sorgenti S₁₀, S₁₁, S₁₂, S₁₃ (Fig. 1) che presentano acque dai caratteri idrochimici sempre più rispondenti alla facies bicarbonato-calcica. Si ritiene che, per quanto ubicate nella piana aquilana, le sorgenti traggano la loro alimentazione dal sistema idrogeologico del Gran Sasso e, in parte, dal limitrofo ambiente sotterraneo del M. Pettino.

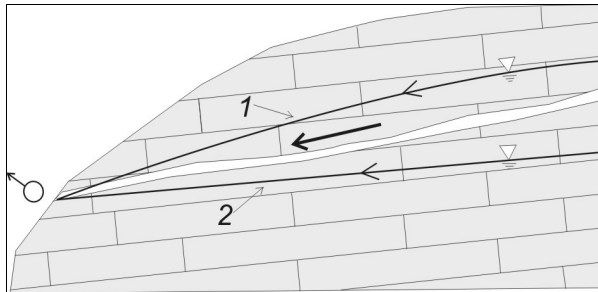


Fig. 6 - Schema ipotetico della circolazione della sorgente Vera. 1- fase di piena in tarda primavera, (la circolazione avviene anche attraverso condotti carsici); 2- fase di magra in autunno.

Hydrostructural setting of Vera spring. 1- higher water table in late spring (groundwater flows also through karst conduits); 2- lower water table in autumn.

Una scarsa variabilità chimica, su base stagionale, si può osservare nei contenuti dei costituenti maggiori delle stesse acque di una sorgente (fig. 5). In questo settore i contenuti di radon sono fra i più alti registrati per l'acquifero del Gran Sasso; sono da attribuirsi alla provenienza di acque circolanti in settori caratterizzati dalle unità calcareo-marnose del substrato e dei sedimenti quaternari di riempimento della piana con acque provenienti da settori

più carsificati. Per altro le concentrazioni di radon nelle acque della sorgente Vetoio sono le più elevate in assoluto e durante il mese di febbraio si registrava la presenza di una concentrazione residua di ²²⁶Ra di 1,08 pCi/L, proveniente dai depositi argilloso-sabbiosi di facies lacustre-fluviale (Fig. 7).

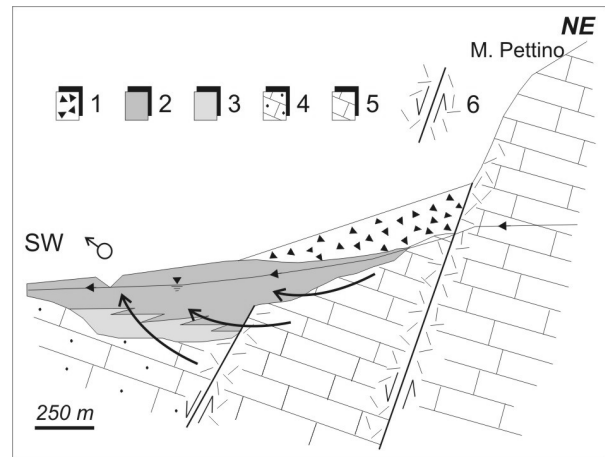


Fig. 7 - Sezione idrogeologica dell'area della sorgente Vetoio. 1) depositi di versante con lenti di argille (acquitardo); 2) conglomerato e breccia calcarei (acquifero); 3) argilla e sabbia (acquitardo); 4) unità carbonatiche e marnose (acquitardo); 5) unità carbonatiche prevalenti (acquifero regionale); 6) faglia normale con cataclasi.

Hydrogeological section of Vetoio spring area. 1) scree deposit with clay horizons (aquitard); 2) calcareous conglomerate and breccia (aquifer); 3- clay and sand (aquitard); 4) carbonate and marly unit (aquitard); 5) mainly carbonate unit (regional aquifer); 6) normal fault with cataclasis.

Conclusioni

Da questo studio è stato possibile differenziare le acque con circolazione profonda da quelle con circolazione superficiale, e raggruppare le sorgenti del Gran Sasso in base alle caratteristiche chimico-fisiche ed isotopiche, fornendo utili indicazioni sulle modalità di ricarica dell'acquifero, sui tempi di interazione acqua-roccia e sulla circolazione sotterranea delle acque in ambienti carsici. Riteniamo che questo approccio sia utile al fine della conoscenza degli acquiferi complessi e quindi come supporto scientifico per la corretta gestione della risorsa idrica.

Bibliografia

Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M., Tallini, M., 2005. -Stable isotopes (²H, ¹⁸O and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy).-Applied Geochemistry, 20(11), 2063-2081.

Boni, C., Bono, P., Capelli, G., 1986. Schema idrogeologico dell'Italia Centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012.

Calandri, M., Cecamore, P., Stigliano, G.P., Trucco R., 1996. - Realizzazione di un sistema di monitoraggio idrologico del massiccio del

Gran Sasso -Progetto idrologia- (studi preliminari) - Consorzio di Ricerca del Gran Sasso.

Celico, P., 1983. Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale:

Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno. Quad. Cassa Mezzog., 4/2, 1-225.

Di Sabatino, V., Manetta, M., Sciannamblo, D., Spizzico, M., Tallini, M., in stampa. Il Radon come tracciante delle acque sorgive finalizzato alla vulnerabilità degli acquiferi carbonatici complessi: l'esempio del gruppo sorgivo del Rio Arno (Gran Sasso, Italia centrale). - Congresso AIGA, Bari 2006.

Monjoie, A., 1975. Prévision et contrôle des caractéristiques Hydrogéologiques dans les

tunnels du Gran Sasso (Apennin- Italie). – Coll. Pubbl. Fac. Scienze Appl. Univ., Liegi.

Moore, W.S., 1996. Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments. – *Nature*, 380, 612-614.

Petitta, M., Tallini, M., 2002. Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001). *Boll. Soc. Geol. It.*, 121(3), 343-363.

Spizzico, M., 2005. Radium and radon content in

the carbonate-rock aquifer of the southern Italian region of Apulia. *Hydrogeology Journal*, 13, 493-505.

Tadolini, T., Spizzico, M., 1998. Relation between «terra rossa» from the Apulia aquifer of Italy and the radon content of groundwater: experimental results and their applicability to radon occurrence in the aquifer. *Hydrogeology Journal*, 6, 450-454.