

Il contributo degli isotopi naturali ^{18}O e ^2H nello studio delle idrostrutture carbonatiche abruzzesi e delle acque mineralizzate nell'area abruzzese e molisana.

Giovanni Desiderio¹, Loredana Ferracuti¹, Sergio Rusi², Felice Tatangelo³

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "G. d'Annunzio", g.desiderio@unich.it, l.ferracuti@unich.it

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "G. d'Annunzio", tel. 08713556158, fax 08713556146 s.rusi@unich.it Via dei Vestini, 66013 Chieti scalo (autore corrispondente)

³Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "G. d'Annunzio", f.tatangelo@unich.it

The contribution of ^{18}O and ^2H natural isotopes to the analysis of Abruzzo and Molise carbonate hydrostructures and mineralized groundwaters (Central Italy)

ABSTRACT: The analysis of ^{18}O and ^2H natural isotopes represents a considerable contribution to the characterization of groundwater flows occurring inside Abruzzo and Molise carbonate hydrostructures, silicoclastic foredeep and alluvial deposits. The appennine carbonate hydrostructures have been investigated at local scale through both the definition of ^2H - ^{18}O correlation lines and ^{18}O -altitude relationships, related to spring waters from superficial circuits, and the estimation of isotopic mean recharge altitudes for basal springs. The results are adequate and reasonable for some hydrostructures (Morrone, Majella), less reliable in other cases (Gran Sasso). The mineralized waters ^2H - ^{18}O correlation line, characterized by a very good experimental data alignment, shows a lower slope respect to superficial circuits spring waters lines. The presence of a plausible positive trend confirms the origin of mineralized groundwaters from deep brines, more rich in ^{18}O respect to meteoric waters, located inside the marine deposits of the Abruzzo and Molise foredeep. This indication highlights the use of ^{18}O and ^2H natural isotopes in hydrogeology as a contribution, together with other hydrogeological and hydrochemical methods, to comprehension of the mineralized waters presence in alluvial aquifers.

Key terms: Isotopic hydrology, Carbonate hydrostructures, Mineralized water, Abruzzo

Termini chiave: Idrologia isotopica, Idrostrutture carbonatiche, Acque mineralizzate, Abruzzo

Riassunto

L'analisi degli isotopi naturali ^{18}O e ^2H offre un contributo rilevante per la definizione dei percorsi idrici sotterranei nelle idrostrutture carbonatiche dell'Appennino abruzzese e di quelli relativi alle acque mineralizzate emergenti nel dominio terrigeno e continentale del pedeappennino adriatico abruzzese-molisano. Per le aree carbonatiche appenniniche è stato tentato lo studio alla scala della singola idrostruttura attraverso la definizione della retta di correlazione ^2H - ^{18}O , di quella ^{18}O - quota, relativa alle acque sorgive provenienti da circuiti superficiali, e la stima della quota isotopica media di ricarica delle sorgenti basali. I risultati ottenuti appaiono adeguati e plausibili per alcune idrostrutture carbonatiche (Morrone, Majella) mentre lo sono meno per altre (Gran-Sasso). La retta di correlazione ^2H - ^{18}O - relativa alle acque mineralizzate evidenzia un ottimo allineamento dei dati sperimentali, mostrando al contempo una minore pendenza rispetto alle rette relative alle acque dei circuiti superficiali. La presenza di fenomeni di positivizzazione, del tutto plausibili, nelle acque mineralizzate conferma la loro provenienza da salamoie basali di origine marina, più ricche in ^{18}O rispetto alle acque meteoriche. Quest'ultima segnalazione evidenzia una delle

possibili applicazioni dello studio degli isotopi ^{18}O e ^2H in idrogeologia come contributo, unitamente ad altre metodologie idrogeologiche e idrochimiche, per la comprensione della presenza di acque a chimismo anomalo in acquiferi alluvionali.

Introduzione

L'analisi isotopica può essere considerata come un importante strumento di ausilio nella ricostruzione dei percorsi idrici sotterranei, purchè sia noto un modello idrogeologico e idrochimico di riferimento, basato su dati quantitativi e sull'assetto geologico-strutturale.

Le conoscenze attuali sull'assetto idrogeologico dei rilievi carbonatici e delle strutture sepolte dell'avanfossa abruzzese hanno raggiunto un buon grado di definizione degli aspetti quantitativi (Celico, 1978, 1983; Boni et al., 1986) e qualitativi (Desiderio & Rusi, 2004), seppure non in dettaglio, dell'influenza dell'assetto strutturale sulla circolazione delle acque sotterranee. Le informazioni a carattere isotopico sono limitate ad un inquadramento regionale dell'intera fascia periadriatica (Zuppi et al., 1974). Solo recentemente sono stati realizzati alcuni studi isotopici a sostegno di analisi condotte su singole strutture

idrogeologiche (Celico et al., 1984; Desiderio et al., 2002; Nanni & Rusi, 2003).

Questo lavoro puntualizza e integra, con ulteriori campagne di analisi, quanto evidenziato nel primo studio organico sugli isotopi dell'area abruzzese di Barbieri et al. (2002). In particolare per le aree carbonatiche appenniniche è stato tentato lo studio alla scala della singola idrostruttura attraverso la definizione della retta di correlazione $^{18}O - ^2H$, di quella $^{18}O - quota$ (relativa alle acque sorgive provenienti da circuiti superficiali) e la stima della quota isotopica media di ricarica delle sorgenti basali. Nel lavoro inoltre si rende conto, secondo quanto evidenziato da Desiderio & Rusi (2004), della presenza di fenomeni di positività isotopica nelle acque mineralizzate e di come tale fenomeno possa offrire contributi alla ricostruzione di circuiti profondi ed essere sfruttato nelle analisi di idrogeologia ambientale.

Inquadramento idrogeologico

I principali acquiferi abruzzesi e molisani (Celico, 1983; Boni et al., 1986) sono costituiti, nella zona appenninica, dagli imponenti massicci carbonatici e dai depositi fluvio-lacustri e detritici continentali delle conche intramontane. Nella zona pedeappenninica, collinare e costiera, sono costituiti dai depositi terrazzati continentali delle piane alluvionali e, subordinatamente, dai depositi terrazzati di origine marina (Fig.1). Tali acquiferi, principalmente alimentati da acque di origine meteorica, appartengono ad estesi domini idrogeologici e mostrano facies tipicamente bicarbonato-calciche. Si sovrappongono una modesta circolazione di acque mineralizzate di origine profonda, veicolate attraverso i principali lineamenti tettonici, in particolare antiappenninici, che interessano i depositi dell'avanfossa plio-pleistocenica e le successioni torbiditiche ed evaporitiche mioceniche. Le enormi risorse idriche sotterranee delle dorsali carbonatiche (Celico, 2001; Conese et al., 2001; Petitta & Tallini, 2002; Nanni & Rusi, 2003) vengono ampiamente utilizzate a scopi potabili, irrigui ed idroelettrici. Le emergenze principali sgorgano ai bordi delle idrostrutture carbonatiche, al contatto con formazioni meno permeabili costituenti aquiclude (depositi terrigeni miocenici e plio-pleistocenici) e aquitardi (depositi continentali plio-pleistocenici), mentre le emergenze minori sgorgano in corrispondenza di coltri detritiche e al contatto con limiti litologici e tettonici impermeabili.

Gli acquiferi alluvionali presentano una circolazione idrica fortemente influenzata dalla presenza di paleovalvei e dalla configurazione del substrato (De Riso et al., 1994; Desiderio et al., 2001; Desiderio & Rusi, 2003). Tali acquiferi, costituiti principalmente da depositi ghiaioso-sabbiosi, risultano freatici anche se localmente, in particolare nella zona costiera, diventano multistrato e semiconfinati. Gli interscambi con i sistemi idrici superficiali risultano di notevole importanza. Si rilevano limitati fenomeni di intrusione marina nelle zone costiere

(Desiderio & Rusi, 2003).

Le acque mineralizzate, relative ai circuiti idrici sotterranei profondi dell'avanfossa plio-pleistocenica e dei depositi alloctoni ed evaporitici miocenici, di facies idrochimiche cloruro-sodiche, cloruro-solfato-sodiche, bicarbonato-sodiche, solfato-sodiche e senza ioni dominanti, oltre ad alimentare sorgenti e vulcanelli di fango, talora si miscelano con le acque di subalveo.

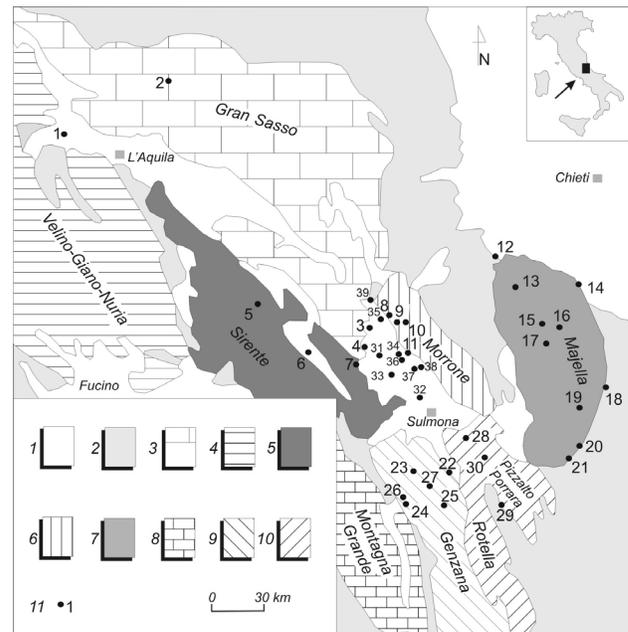


Figura 1 - Schema idrogeologico dell'Abruzzo (Barbieri et al., 2002, modificato). 1 - Depositi terrigeni quaternari (aquitardo); 2 - Depositi terrigeni terziari (aquicluda); 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 - Idrostrutture carbonatiche; 11 - Punti d'acqua campionati.

Hydrogeological scheme of the Abruzzo region (Barbieri et al., 2002, modified). 1 - Quaternary pelagic and continental deposits (aquitard); 2 - Tertiary terrigenous deposits (aquicluda); 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 - Carbonatic hydrostructures; 11 - Sampling points.

La veicolazione delle acque salate avviene con il probabile contributo della fase gassosa (Etiope et al., 2003) mentre gli ambienti di origine delle acque mineralizzate profonde risultano differenti. Esse derivano sia da salamoie marine fossili che dalla lisciviazione dei depositi evaporitici e/o bituminosi (Desiderio & Rusi 2004). Le emergenze si localizzano in corrispondenza dei principali lineamenti tettonici appenninici ed antiappenninici e dei fronti di sovrascorrimento affioranti e sepolti.

Analisi isotopiche delle acque delle idrostrutture carbonatiche

Sono state eseguite tre campagne di analisi (marzo, giugno e novembre dell'anno 2000) su 32 acque sorgive e su 7 acque di falda (Fig. 1). I punti d'acqua campionati appartengono alle idrostrutture del Gran Sasso e Sirente (Petitta & Tallini, 2002), Morrone (Conese et al., 2001), Majella (Nanni &

Rusi, 2003), Porrara-Pizzalto (Celico, 2001), Genzana (Boni et al., 1986), e alla conca intermonatana di Sulmona (Desiderio et al., 2002).

I dati relativi al ^{18}O e ^2H (Fig.2) sono stati ottenuti utilizzando la tecnica d'equilibratura con CO_2 per l'ossigeno e la riduzione ad alta temperatura per l'idrogeno. Le misure, tutte espresse in riferimento a VSMOW, presentano incertezze di 0,1‰ e di 1‰ rispettivamente per l'ossigeno ed il deuterio.

Correlazione $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ delle acque sorgive

Tutti i valori di $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ relativi alle campagne di misura effettuate sono stati correlati tra di loro (fig. 2). Le rette interpolate risultano avere le seguenti equazioni:

$$\delta^2\text{H} = 7,6 \delta^{18}\text{O} + 8,8 \text{ marzo } 2000;$$

$$\delta^2\text{H} = 7,7 \delta^{18}\text{O} + 9,4 \text{ giugno } 2000;$$

$$\delta^2\text{H} = 8,2 \delta^{18}\text{O} + 14,9 \text{ novembre } 2000.$$

I coefficienti angolari di tali rette sono pressoché coincidenti a quelle di altre rette meteoriche valide per l'Italia Centrale (Fig.2).

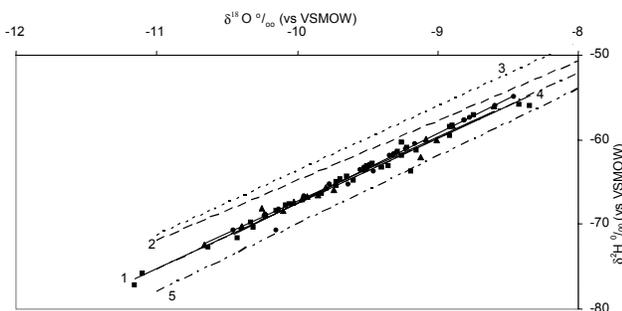


Figura 2 - Correlazione tra dati isotopici. 1 - Retta sperimentale; 2 - Retta meteorica valida per la penisola italiana (Longinelli & Selmo, 2003); 3 - Retta meteorica valida per il massiccio del Gran Sasso (Celico et al. 1984); 4 - Retta meteorica per l'Appennino abruzzese (Barbieri et al., 2002); 5 - Retta meteorica valida a scala mondiale (Craig, 1961).

vs ^{18}O isotopic data. 1 - Experimental water line; 2 - Italian meteoric water line (from Longinelli & Selmo, 2003); 3 - Gran Sasso hydrostructure springs water line (from (Celico et al. 1984); 4 - Central Appennine water line (Barbieri et al., 2002); 5 - Global meteoric water line (Craig, 1961).

L'ottimo allineamento dei dati sperimentali (coefficiente di correlazione compreso tra 0,98 e 0,99) e il parallelismo tra le rette sperimentali e quelle da bibliografia indicano che i fenomeni di evaporazione sulla catena appenninica abruzzese non condizionano le quantità di ^2H e ^{18}O che affluiscono sulla catena stessa e che non vi sono miscelamenti con acque connate o comunque molto vecchie connesse a regimi climatici diversi dall'attuale. Le rette sperimentali si ubicano in posizione intermedia rispetto a quelle bibliografiche. La non coincidenza tra le prime e le altre è probabilmente da addebitarsi alla diversa estensione delle relative aree ed ai differenti periodi di campionamento

La mancanza di dati sistematici relativi alle precipitazioni impedisce di correlare direttamente la concentrazione di ^{18}O con la quota. Questa difficoltà ha suggerito un tentativo di analisi che mettesse in relazione i tenori in $\delta^2\text{H}$ e in $\delta^{18}\text{O}$ con le quote di sorgenti alimentate da deflussi superficiali e veloci, nella ipotesi che il contenuto in ^2H e in ^{18}O delle suddette sorgenti sia significativo di quote di infiltrazione non molto diverse da quelle di emergenza (Barbieri et al., 2002). La retta di correlazione (Fig. 3) di equazione pari a $\delta^{18}\text{O} = -0,0013h \text{ (m s.l.m.)} - 8,4$ ($r^2 = 0,71$) (Barbieri et al., 2002) ottenuta prendendo in considerazione 20 sorgenti alimentate da circuiti superficiali e veloci è stata confrontata con le rette note da bibliografia. La non coincidenza delle rette è probabilmente da attribuire alle diverse condizioni meteorologiche e fisiografiche locali. La correlazione $\delta^{18}\text{O}$ -quota evidenzia un gradiente pari a 0,13 ‰/100 m. Esso è in accordo con la retta delle precipitazioni proposta da Longinelli & Selmo (2003), che evidenzia un gradiente per la penisola italiana variabile tra 0,1 e 0,2 ‰/100 m. Questi due elementi, uniti all'assenza di fenomeni di positivizzazione nella relazione $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ sono, seppure preliminari, indicativi della presenza di una stretta relazione nell'Appennino abruzzese tra quota di emergenza di circuiti superficiali e contenuto in ^{18}O .

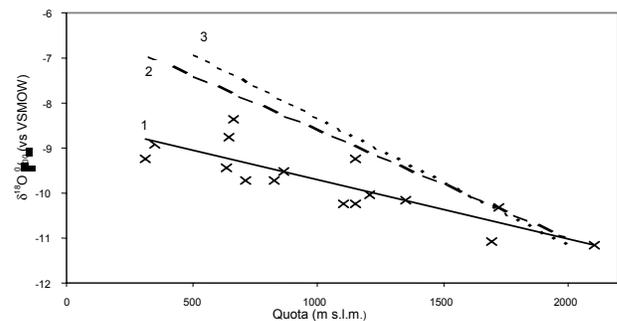


Figura 3. Correlazione $\delta^{18}\text{O}$ /Altitudine. 1 - Retta sperimentale; 2 - Retta valida per le sorgenti della dorsale Umbro-Marchigiana del versante Adriatico (Conversini & Tazioli, 1993); 3 - Retta valida per i bacini del versante adriatico (Zuppi et al., 1974).

$\delta^{18}\text{O}$ vs springs altitude (a.s.l.) 1 - Experimental water line; 2 - Umbria-Marche springs water line (Conversini & Tazioli, 1993); 3 - Adriatic side springs water line (Zuppi et al., 1974).

Per le idrostrutture del Morrone, Gran Sasso-Sirente e Majella sono state ottenute le equazioni delle rette di correlazione utilizzando le sorgenti alimentate da circuiti superficiali e veloci delle singole idrostrutture (figure 4, 5 e 6).

Per l'idrostruttura del Morrone (Fig. 4) sono state ottenute le seguenti equazioni:

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0021 h \text{ (m s.l.m.)} - 8,5 \text{ (} r^2 = 0,94 \text{) marzo } 2000;$$

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0012 h \text{ (m s.l.m.)} - 8,9 \text{ (} r^2 = 1 \text{) giugno } 2000;$$

$$\delta^{18}\text{O} = -0,0012 h \text{ (m s.l.m.)} - 9,1 \text{ (} r^2 = 0,99 \text{) novembre } 2000.$$

I dati hanno un elevato grado di allineamento e la retta mostra un gradiente medio pari a 0,15 ‰/100 m, in accordo con quello proposto da Longinelli & Selmo (2003) per l'area italiana. Si nota un notevole parallelismo tra le rette alle campagne di giugno e novembre 2000 (0,12 ‰/100 m) mentre nel periodo di marzo 2000 la retta di correlazione mostra un aumento del gradiente $\delta^{18}\text{O}$ -quota (0,21 ‰/100 m).

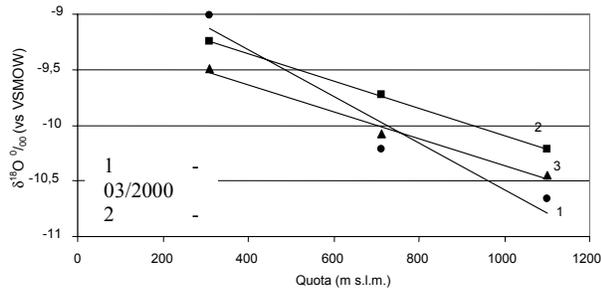


Figura 4 - Correlazione $\delta^{18}\text{O}$ /quota per la idrostruttura del relative Morrone.
 $\delta^{18}\text{O}$ vs springs altitude (a.s.l.) for Morrone hydrostructures.

E' interessante evidenziare come le sorgenti in quota risultano avere un contenuto in isotopi pesanti minore nei periodi di marzo e novembre 2000 rispetto a quelli di giugno dello stesso anno in accordo con un aumento del contenuto in isotopi pesanti durante la stagione estiva (Dansgaard, 1954; Epstein, 1956; Craig, 1961; Craig & Gordon, 1965). Le sorgenti di bassa quota (Fig. 4) hanno un contenuto isotopico influenzato dalla tipologia di circolazione (Conese et al., 2001), dalla differente provenienza delle perturbazioni, oltre che dal ridotto numero di analisi effettuato. Per l'idrostruttura del Gran Sasso-Sirente (Fig. 5) sono state ottenute le seguenti equazioni:

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0008 h_{(m.s.l.m.)} - 8.2 \quad (r^2 = 0,16) \text{ marzo 2000};$$

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0014 h_{(m.s.l.m.)} - 8.1 \quad (r^2 = 0,45) \text{ giugno 2000}.$$

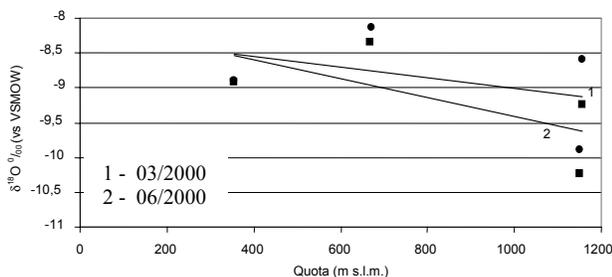


Figura 5 - Correlazione tra $\delta^{18}\text{O}$ /quota per la idrostruttura del Gran Sasso-Sirente.
 $\delta^{18}\text{O}$ vs springs altitude (a.s.l.) for Gran Sasso-Sirente hydrostructures.

I dati relativi al periodo di marzo 2000 non hanno un

buon grado di allineamento mentre risulta migliore quello relativo al mese di giugno dello stesso anno. Lo stesso coefficiente di correlazione evidenzia una elevata dispersione dei dati probabilmente a causa della notevole estensione dell'idrostruttura, della notevole variabilità dei parametri meteorologici e fisiografici e del ridotto numero dei punti di campionamento.

Le sorgenti in quota risultano avere un contenuto di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ minore nel periodo di giugno 2000 rispetto a quelli di marzo dello stesso anno.

Per l'idrostruttura della Majella (Fig. 6) è stata ottenuta la seguente equazione relativamente al periodo di giugno 2000:

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0016 h_{(m.s.l.m.)} - 7.9 \quad (r^2 = 0,90)$$

I dati mostrano un elevato grado di allineamento e la retta di correlazione presenta un gradiente $\delta^{18}\text{O}$ -quota pari a 0,16 ‰/100 m.

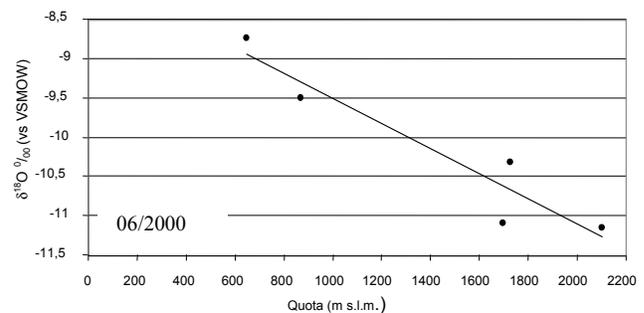


Figura 6 - Correlazione tra $\delta^{18}\text{O}$ /quota per la idrostruttura della Majella.
 $\delta^{18}\text{O}$ vs springs altitude (a.s.l.) for Majella hydrostructures.

Altitudine isotopica media di ricarica

Le informazioni sui circuiti di alimentazione delle sorgenti basali dell'Appennino abruzzese, sono state ottenute utilizzando la quota isotopica media di ricarica, ricavata inserendo i valori di $\delta^{18}\text{O}$ misurati sulle sorgenti basali nella retta sperimentale ottenuta a partire dalle sorgenti superficiali.

I risultati (Tab. 1) evidenziano quote isotopiche medie di ricarica plausibili rispetto alle condizioni morfologiche e idrogeologiche delle relative idrostrutture e sostanziale analogia tra le altitudini isotopiche di ricarica ricavate dalla retta valida per l'Appennino abruzzese e da quella valida per le singole idrostrutture. Le quote isotopiche medie di ricarica delle sorgenti basali ricavate dalla retta sperimentale dell'Appennino abruzzese mostrano valori tra 20 e 210 m inferiori rispetto alle quote ricavate dalla retta di correlazione delle singole idrostrutture. Solo le sorgenti Acque Vive (Majella) e Giardino (Morrone) hanno quote isotopiche rispettivamente coincidenti o superiori (280 metri). Questi risultati sono legati alla conformazione del territorio delle singole idrostrutture, alla loro esposizione alle precipitazioni meteoriche e alle caratteristiche

idrogeologiche degli acquiferi.

Le sorgenti alimentate dall'acquifero basale della Majella possono essere distinte in due gruppi in ragione della loro posizione geografica e dell'altitudine isotopica media di ricarica (Fig. 7). Infatti le sorgenti emergenti sul versante settentrionale sono caratterizzate da quote isotopiche medie di ricarica comprese tra 770 e 820 m s.l.m. mentre quelle ubicate sul versante orientale e meridionale dell'idrostruttura hanno quote isotopiche medie maggiori e comprese tra 1500 e 1700 m s.l.m. (Nanni & Rusi, 2003). Le quote isotopiche ottenute per le sorgenti del Gran Sasso-Sirente (Capo Pescara e Acqua Solfa) e Morrone (Giardino) appaiono in accordo con il quadro idrogeologico-strutturale locale e regionale (Conese et al., 2001; Petitta & Tallini, 2002).

Tabella 1 - Altitudine isotopica media di ricarica delle principali sorgenti delle falde regionali abruzzesi. Le quote isotopiche medie di ricarica A e B sono state ottenute rispettivamente dalla retta sperimentale realizzata a partire dalle sorgenti superficiali (fig. 3) e dalle rette sperimentali per le singole idrostrutture (figg. 4, 5 e 6). *Mean isotopic altitude of recharge of main springs of Abruzzo regional aquifers. The mean isotopic altitude of recharge A and B were computed by experimental line from superficial springs (fig. 3) and experimental line from carbonatic hydrostructures (figg. 4, 5 e 6).*

N°	Denominazione	Quota (m s.l.m.)	Quota isotopica media di ricarica (m s.l.m.)	
			A	B
3	Capo Pescara	270	950	1140
7	Acqua Solfa	280	900	1110
8	Giardino	248	1300	1020
12	Lavino	150	650	820
14	Foro	420	600	770
18	Verde	410	1550	1570
20	Acque Vive	458	1700	1700
21	S. Giustino	480	1450	1500

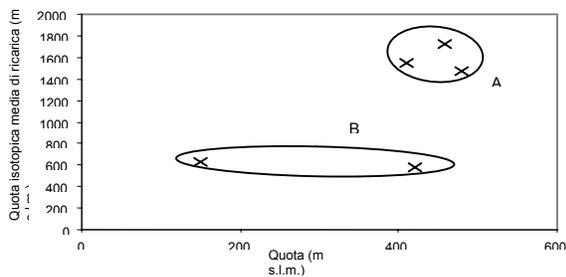


Figura 7 - Confronto fra la quota di emergenza delle principali sorgenti della Majella e la loro altitudine media di ricarica. A - Sorgenti del versante settentrionale; B - Sorgenti del versante meridionale.

Spring altitude (a.s.l.) vs media isotopic altitude of spring recharge from Majella hydrostructures. A - Northern side springs; B - Southern side springs.

Analisi isotopica delle acque mineralizzate

I risultati dell'indagine condotta nell'area pedappenninica abruzzese e molisana (Fig. 8) sulle acque di 3 vulcanelli di fango, 4 sorgenti e 16 pozzi (Fig. 9) evidenziano come il contenuto isotopico delle acque mineralizzate nell'area abruzzese e molisana sia generalmente maggiore di quello relativo alle acque emergenti dall'Appennino abruzzese. Tale differenza è attribuibile sia alle diverse quote di alimentazione delle sorgenti sia a mescolamenti tra circuiti superficiali e profondi.

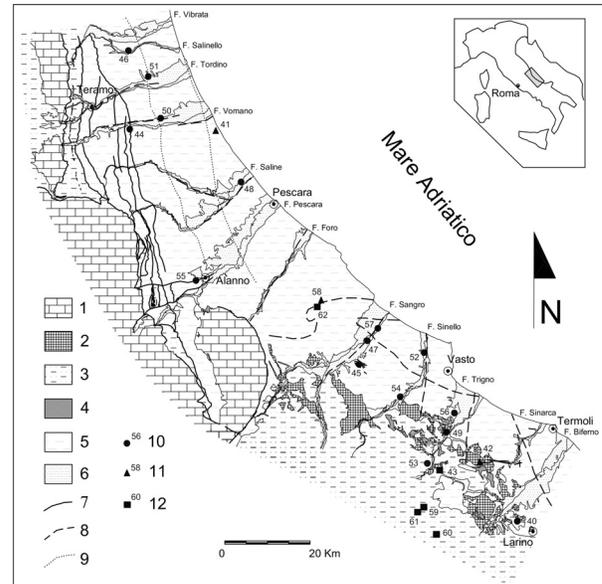


Figura 8 - Schema geolitologico dell'avanfossa abruzzese-molisana. 1 - Depositi carbonatici (Trias sup.-Miocene). 2 - Argille varicolori (Cretaceo sup.-Oligocene inf.). 3 - Depositi torbiditici miocenici (Formazione della Laga e Coltre molisana). 4 - Depositi evaporitici (Miocene sup.). 5 - Depositi pelitici di avanfossa (Plio-Pleistocene). 6 - Depositi alluvionali (Olocene). 7 - Faglie e sovrascorrimenti nei depositi meso-cenozoici e miocenici. 8 - Fronte esterno dell'alloctono sepolto nell'avanfossa. 9 - Allineamenti tettonici sepolti nel bacino abruzzese. Acque mineralizzate in: 10 - pozzi, 11 - vulcanelli di fango, 12 - sorgenti. *Geolithological scheme of the Abruzzo and Molise foredeep. 1 - Carbonatic sequence (Upper Triassic-Miocene). 2 - Varicolor clay (Upper Cretaceous-Oligocene). 3 - Miocenic turbiditic deposits (Laga formation and Molise nappes). 4 - Evaporitic deposits (Upper Miocene). 5 - Pelitic deposits of Abruzzo and Molise foredeep (Plio-Pleistocene). 6 - Alluvial deposits (Holocene). 7 - Faults and thrusts in the Meso-Cenozoic and Miocene deposits. 8 - Blind thrust of the alloctonous in the adriatic foredeep. 9 - Blind thrust in the Abruzzo basin. Mineralized waters in: 10 - well; 11 - mud volcanoes, 12 - springs.*

Tutti i valori di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ sono stati correlati tra di loro (fig. 9). La retta che meglio interpola tutti i dati ottenuti risulta avere una equazione pari a $\delta^2\text{H} = 6.7\delta^{18}\text{O} + 2.5$ (Desiderio & Rusi, 2004). La retta sperimentale, se pur con un'ottimo allineamento dei dati (coefficiente di correlazione pari a 0.9), ha minore pendenza rispetto alle altre rette e un

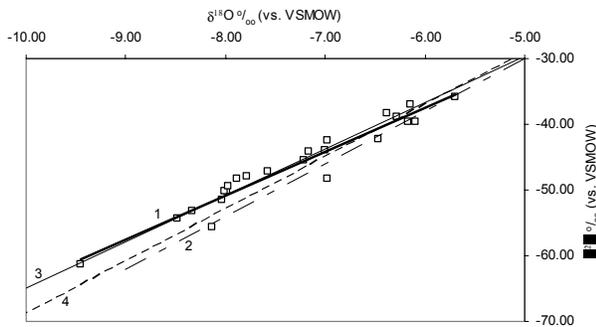


Figura 9 - Correlazione tra dati isotopici delle acque mineralizzate. 1 - Retta sperimentale per le acque mineralizzate (Desiderio & Rusi, 2004); 2 - Retta meteorica valida a scala mondiale (Craig, 1961); 3 - Retta meteorica valida per la penisola italiana (Longinelli & Selmo, 2003); 4 - Retta meteorica Appennino abruzzese ottenuta nell'ambito della presente ricerca.

2H vs ^{18}O isotopic data from mineralized waters. 1 - Experimental water line (Desiderio & Rusi, 2004); 2 - Global meteoric water line (Craig, 1961); 3 - Italian meteoric water line (Longinelli & Selmo, 2003); 4 - Central Appennine water line (from this research).

valore dell'intercetta, sull'asse 2H , prossimo allo zero. Ciò indica fenomeni di positivizzazione dell' ^{18}O nelle acque mineralizzate dell'area abruzzese e molisana a conferma

della loro provenienza da salamoie basali di origine marina più ricche di ^{18}O rispetto al vapore che da esse si formava.

Conclusioni

Le correlazioni δ^2H - $\delta^{18}O$ e $\delta^{18}O$ -quota alla scala della singola struttura carbonatica dell'Appennino abruzzese risultano in buon accordo con quelle a scala regionale. Ne deriva che alcune correlazioni locali sono applicabili anche limitando le analisi a singole strutture riducendo in tal modo il numero di analisi totali da eseguire. Per alcune idrostrutture le correlazioni sono meno evidenti e i dati maggiormente dispersi, probabilmente a causa della scarsità di punti di campionamento a disposizione, allo stato attuale della ricerca, e per la complessità morfologica ed idrogeologica delle idrostrutture stesse.

Le correlazioni δ^2H - $\delta^{18}O$ nelle acque mineralizzate a componente cloruro sodica mettono bene in evidenza la provenienza delle stesse da salamoie basali, anche se diluite da apporti superficiali. Per tale motivo la metodologia di studio presentata può contribuire alla distinzione tra provenienza naturale ed antropica delle acque nelle analisi a carattere ambientale, soprattutto nel caso delle aree alluvionali ad alto impatto antropico.

Bibliografia

- Barbieri M., Petitta M., D'Amelio L., Desiderio G., Rusi S., Marchetti A., Nanni T., Tallini M., 2002. Gli isotopi ambientali ($^{18}O/^{16}O$ e $^{87}Sr/^{86}Sr$) nelle acque sorgive dell'Appennino Abruzzese: considerazioni sui circuiti sotterranei negli acquiferi carbonatici. Atti I° Congresso Nazionale AIGA, Chieti, 19-20 Febbraio 2003, 69-81.
- Boni C., Bono P., Capelli G., 1986. Schema idrogeologico dell'Italia Centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012, Carte Idrogeologiche, Scala 1 : 500 000.
- Celico F., 2001. Interventi di captazione e di protezione di acquiferi carsici dell'Italia centro-meridionale: il bacino campione del Monte Porrara (Abruzzo). *Geologia Tecnica e Ambientale*, 1, 49-60.
- Celico P., 1978. Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale. Mem. e Note Ist. di Geol. Appl., 15, Napoli.
- 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.
- Celico P., Gonfiantini R., Koizumi M., Mangano F., 1984. Environmental isotope studies of limestone aquifers in central Italy. IAEA SM 270/84.
- Conese M., Nanni T., Peila C., Rusi S., Salvati R., 2001. Idrogeologia della Montagna del Morrone (Appennino Abruzzese): dati preliminari. *Mem. Soc. Geol. It.*, 56, 181-196.
- Conversini P., Tazioli G.S., 1993. Indagini idrogeologiche nella media e alta valle del fiume Menotre, Umbria orientale. *Atti Ticinensi di Scienze della Terra*, 36, 153-164.
- Craig H., 1961. Isotopic variation in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Craig H., Gordon L.I., 1965. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. *Proc. Symp. on Stable Isot. in Oceanogr. Studies and Paleotemp.*, C.N.R., Pisa.
- Dansgaard W., 1954. The oxygen-18 abundance in fresh water. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 6.
- De Riso R., Ducci D., Iovinelli R., Rotilio D., 1994. Aspetti idrogeologici ed idrogeochimici della piana alluvionale del Fiume Sangro (Abruzzo). *Geologica Romana*, 30, 635-644.
- Desiderio G., Nanni T., Rusi S., 2001. La pianura alluvionale del fiume Pescara (Abruzzo): idrogeologia e vulnerabilità dell'acquifero. *Mem. Soc. Geol. It.*, 56, 197-211.
- Desiderio G., Rusi S., Nanni T., 2002. Idrogeologia e qualità delle acque degli acquiferi della conca intramontana di Sulmona (Abruzzo). Atti I° Congresso Nazionale AIGA, Chieti, 19-20 Febbraio 2003, 315-342.
- Desiderio G., Rusi S., 2003. Il fenomeno dell'intrusione marina nei subalvei della costa abruzzese. *Quaderni di Geologia Applicata*, 10-1.
- Desiderio G., Rusi S., 2004. Idrogeologia e idrogeochimica delle acque mineralizzate dell'Avanfossa Abruzzese Molisana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 123 (3), 373-389.
- Epstein S., 1956. Variations of the $^{18}O/^{16}O$ ratios of fresh water and ice. *Nat. Acad. Sc. Nucl. Sc. Ser. Rep.*, 19.
- Etiopie G., Caracausi A., Favara R., Italiano F., Baciù C., 2003. Reply to comment by A. Kopf on "Methane emission from the mud volcanoes of Sicily (Italy), and notice on CH_4 flux data from European mud volcanoes. *Geophysical Research Letters*, Vol. 30 (2), 1094, 66-1/66-2.
- Longinelli A., Selmo E., 2003. Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. *Journal of Hydrogeology*, 270, 75-88.
- Nanni T., Rusi S., 2003. Idrogeologia del Massiccio carbonatico della montagna della Majella (Appennino centrale). *Boll. Soc. Geol. It.* 122 (2), 173-202.
- 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.
- Zuppi G.M., Fontes J.C., Leotolle R., 1974. Isotopes du milieu et circulations d'eaux sulfurees dans le Latium. *Proc. Symp. Isot. Techn. in Groundwater Hydrology*, I.A.E.A., Vienna.