

IDROLOGIA ISOTOPICA DELLA SICILIA LE SORGENTI DI CEFALÙ

FABIO BADALAMENTI, BENEDETTO COCO, GAETANO DONGARRÀ,
SERGIO HAUSER, FRANCESCO PARELLO

Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università, via Archirafi 36, 90123 Palermo

RIASSUNTO. — Tra il febbraio 1980 e l'aprile 1981 sono state campionate, con frequenza bimestrale, le acque di alcune sorgenti e pozzi dell'area di Cefalù (Palermo), localizzati lungo la costa, nell'immediato entroterra e più nell'interno ed in quota. Su tali campioni sono state effettuate misure del rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e, ove necessario, determinazioni del contenuto in Cl^- . Sulla base dei dati isotopici ottenuti è stato possibile distinguere gli acquiferi legati a circuiti di tipo regionale ed alimentati da aree di assorbimento localizzate sui rilievi dell'entroterra (Madonie orientali), dagli acquiferi legati a circuiti di tipo locale, alimentati dalle precipitazioni sulle zone collinari prospicienti la costa. In entrambi i casi l'andamento nel tempo dei valori di $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ indica che la circolazione deve avvenire principalmente per fratturazione e quindi con elevata velocità di trasporto e conseguente brevità dei tempi di residenza.

ABSTRACT. — Water samples from springs and wells, collected in the area of Cefalù (Palermo) between february 1980 and april 1981, were analyzed for their oxygen isotope ratios. On the basis of the results obtained it was possible to distinguish aquifers related to regional circuits, whose feeding areas are located in the high mountains of the Eastern Madonie, from aquifers related to local circuits, fed by rainfalls over the hilly areas near the coast. The $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ values show, in both cases, very small seasonal variations. This suggests that, very likely, water circulation takes place through fractures with a relatively high speed and low residence time.

Introduzione

L'area di Cefalù, cittadina posta in riva al mare, esattamente al centro del litorale tirrenico della Sicilia, è ben nota da tempo per la ricchezza di sorgenti d'acqua dolce localizzate, nella maggior parte dei casi, in prossimità della costa, ai margini del blocco calcareo della Rocca di Cefalù, a formare un ventaglio di sorgenti che coronano il promontorio costituito dalla Rocca medesima.

Nella zona è ben nota, inoltre, l'esistenza di vistose manifestazioni sottomarine d'acqua dolce sparse sulla piattaforma antistante il promontorio.

L'importanza di questo sistema idrologico è stata evidenziata nel corso degli ultimi anni anche dai problemi relativi all'assetto ed alla stabilità della Rocca di Cefalù.

Con la presente nota intendiamo portare un contributo alla conoscenza del sistema idrologico regionale, con particolare riferimento alla definizione del bacino (o dei bacini) di alimentazione di tale sistema, dei percorsi idrologici e, quindi, dei tempi medi di residenza dell'acqua nel circuito principale. A questo scopo sono stati scelti una decina di pozzi e sorgenti localizzati rispettivamente lungo la costa (numeri dall'1 al 6 ed il n. 9), nell'immediato entroterra (n. 7 ed 8) e più nell'interno ed in quota (n. 10 ed 11) (fig. 1). Tali punti di prelievo sono stati campionati con frequenza bimestrale dal febbraio 1980 all'aprile 1981 ed i campioni d'acqua, conservati in bottiglie di vetro a tappo ermetico, sono stati utilizzati per questa ricerca.

Tecniche di studio

Sui campioni raccolti è stata effettuata la determinazione della composizione isotopica dell'ossigeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) secondo la tecnica di misura descritta da EPSTEIN e MAYEDA (1953) che implica la equilibrizzazione isotopica dell'acqua campione con CO_2 a $25,2^\circ\text{C}$ ed il calcolo della composizione isotopica dell'acqua a partire dalla determinazione dei rapporti $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ nella CO_2 stessa.

Lo spettrometro di massa, utilizzato per queste misure, è un Varian Mat 250 e le

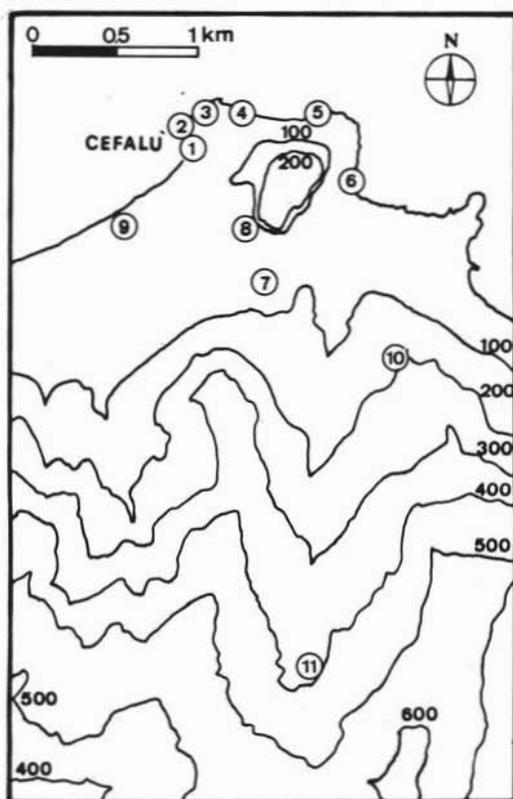


Fig. 1. — Locazione dei punti di prelievo.

misure vengono qui riportate in termini di unità δ per mille contro lo standard inter-

nazionale V-SMOW come definito da GONFIANTINI (1978).

Su alcuni campioni si è reso necessario effettuare la determinazione della concentrazione dello ione Cl^- , determinazione che è stata eseguita per titolazione con AgNO_3 in presenza di cromato di potassio come indicatore.

I risultati isotopici vengono riportati nella tabella 1 mentre le misure chimiche vengono riportate, nel corso della discussione, in tabella 2.

Risultati e discussione

Dai dati riportati in tab. 1 risulta evidente che le acque esaminate possono essere suddivise in due gruppi: un gruppo caratterizzato essenzialmente da valori di $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ intorno a $-8,5\%$ ed un secondo caratterizzato da valori di circa $-6,0\%$. Esiste tuttavia una certa variabilità da un pozzo all'altro, variabilità che, come precisato più avanti, è, almeno in qualche caso, chiaramente riferibile ad eventi specifici come, per esempio, mescolamenti con acqua marina o con acqua meteorica locale. Per evidenziare in maniera più diretta l'andamento nel tempo dei valori rilevati, i risultati di tab. 1 sono riportati graficamente in fig. 2. L'andamento delle spezzate relative ai punti di prelievo Fiume, via Bordonaro, Fontana, Presidiana, S. Barbara e S. Calogero è di

TABELLA 1

Dati isotopici relativi alle sorgenti e pozzi studiati

		1980						1981	
		Febbraio	Aprile	Giugno	Agosto	Ottobre	Dicembre	Febbraio	Aprile
1) FIUME	(sorg.)	-8.9	-8.6	-8.9	-8.4	-8.4	-8.7	-8.6	-8.8
2) MOLO	(sorg.)	-6.7	-7.8	-8.5	-7.7	-8.5	-8.3	-8.6	-8.7
3) VIA BORDONARO	(pozzo)	n.d.	-8.3	-8.7	-8.3	-8.6	-8.5	-8.5	-8.7
4) FONTANA	(sorg.)	-8.7	-8.2	-8.5	-8.4	-8.6	-8.6	-8.4	-8.6
5) S. ANTONIO	(sorg.)	-8.8	-6.9	-8.7	-8.2	-8.4	-8.5	-5.3	-8.9
6) PRESIDIANA	(sorg.)	-8.8	-8.7	-8.8	-8.4	-8.5	-8.8	-8.7	-8.8
7) S. BARBARA	(pozzo)	n.d.	-8.8	-8.8	-8.3	-8.7	-8.7	-8.4	-8.9
8) S. CALOGERO	(pozzo)	n.d.	-8.7	-8.6	-8.2	-8.7	-8.6	-8.6	-8.7
9) LUNGOMARE	(pozzo)	n.d.	-6.0	-6.7	-6.2	-6.5	-5.8	-5.6	-7.2
10) GIARDINELLO	(pozzo)	-6.2	-5.8	-5.6	-5.4	-5.4	-5.6	-5.9	-6.6
11) ALLEGRA CUORE	(pozzo)	-6.1	-6.3	-6.7	-6.4	-6.7	-6.8	-6.7	-6.8

TABELLA 2

Composizione isotopica calcolata ed osservata per alcuni campionamenti

Campioni	Cl (meq/l)	% _{H₂O} mare	$\delta^{18}\text{O}$ calc.	$\delta^{18}\text{O}$ oss.
Aprile 1980-Molo	45.0	8%	-7.7‰	-7.8‰
Agosto 1980-Molo	35.0	7%	-7.8‰	-7.7‰
Aprile 1980-S. Antonio	76.0	14%	-7.2‰	-6.9‰
Febr. 1981-S. Antonio	186.0	35%	-5.2‰	-5.3‰

per sè eloquente ed esplicativo. Si tratta di acque che mostrano un valore di $\delta^{18}\text{O}$ sostanzialmente costante nel tempo, piuttosto negativo e che, chiaramente, non risente minimamente delle normali variazioni isotopiche stagionali, siano esse legate a variazioni reali o a pure e semplici variazioni di carico con conseguente approfondimento o innalzamento del circuito principale. Un andamento un po' diverso (pur restando i valori medi dello stesso ordine di grandezza) presentano la sorgente Molo ed, in maniera clamorosa, la sorgente S. Antonio. In quest'ultimo caso si ha addirittura una inversione dell'andamento normale con marcata positizzazione nei mesi primaverili del 1980 ed invernali del 1981. Questi due punti di prelevamento sono vicinissimi al mare e l'ipotesi più immediata e probabile è quella di un mescolamento episodico dell'acqua dolce con acqua marina e conseguente positizzazione dei valori isotopici. Nei quattro campioni più sospetti (aprile ed agosto 1980 - Molo; aprile 1980 e febbraio 1981 - S. Antonio) è stato determinato il contenuto in Cl^- .

Tenendo conto della concentrazione di ioni cloruro nell'acqua marina (535 meq/l) e nei quattro campioni in esame, è stata valutata la percentuale di contaminazione da parte dell'acqua di mare. Sulla base di tali percentuali è possibile calcolare la composizione « teorica » dei suddetti campioni, tenendo conto sia della costanza della composizione isotopica dell'acqua del Tirreno meridionale ($\delta^{18}\text{O} = +1,0\text{‰}$) sia del valore medio del $\delta^{18}\text{O}$ di questo gruppo di sorgenti ($-8,5\text{‰}$) secondo l'espressione:

$$A(+1,0) + B(-8,5) = X \cdot 100$$

dove A e B rappresentano, rispettivamente,

la percentuale di acqua marina, calcolata dal contenuto in cloruri, e la percentuale di acqua dolce. L'ottimo accordo tra i valori calcolati ed osservati (tab. 2) conferma l'ipotesi del mescolamento con acqua marina come causa fondamentale delle anomalie isotopiche rilevate.

Da quanto sopra esposto si può concludere che i primi otto punti di prelevamento studiati forniscono un'acqua con composizione isotopica assai omogenea nel tempo e nello spazio il cui valore medio è dell'ordine di $-8,5\text{‰}$. Ciò dovrebbe indicare che abbiamo a che fare con vie d'uscita diverse di un'acqua proveniente dalla stessa area di alimentazione e che ha seguito un percorso indifferenziato se non nel tratto finale, immediatamente prima della venuta a giorno.

Sulla base del gradiente isotopico verticale medio già calcolato per la costa settentrionale della Sicilia ($0,2\text{‰}/100\text{ m}$; HAUSER et al., 1980) ad una composizione isotopica media di $-8,5\text{‰}$ dovrebbe corrispondere una quota media del bacino di alimentazione di 1500 metri circa. Esaminando la carta geologica della zona (fig. 3), tracciata da OGNIBEN (1960), è facile evidenziare, nella zona immediatamente a sud di Cefalù, nel massiccio delle Madonie, due vaste aree costituite da affioramenti della successione calcareo-dolomitica appartenenti alla falda della Panormide che, proprio per la loro composizione, per il fatto di avere subito un'intensa tettonizzazione, e per la vastità e l'entità dei fenomeni carsici visibili sul terreno rappresentano due aree ideali di assorbimento e di alimentazione. Entrambi i massicci calcarei poggiano direttamente su un complesso costituito dal Flysch Numidico ed in particolare dalle argille del Membro di Portella Colla (OGNIBEN, 1960). Si tratta di una formazione costituita prevalentemente da argille brune non marnose che fa da substrato ideale alla massa alloctona della Panormide che funziona in questo caso sia da superficie di assorbimento, sia da via di transito delle masse d'acqua alle quali l'esteso carsismo offre vie preferenziali di scorrimento. Le due aree in questione si riferiscono al Pizzo Carbonara (quota massima s.l.d.m. di poco inferiore ai duemila metri) ed al Pizzo Dipilo (quota massima s.l.d.m. di poco inferiore ai 1400 metri).

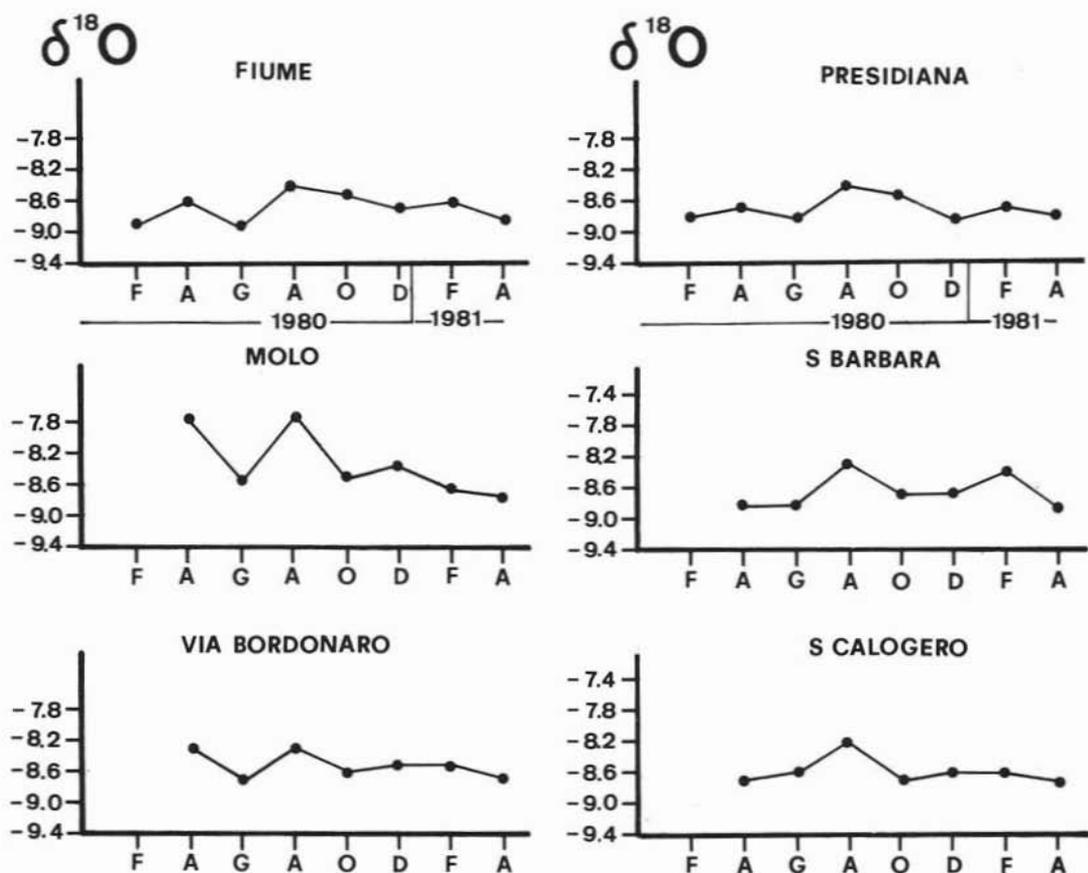


Fig. 2. — Grafici relativi alle variazioni temporali della composizione isotopica delle sorgenti e dei pozzi esaminati.

Le superfici delle aree in questione sono dell'ordine di 45 e 23 km² rispettivamente e le relative quote medie calcolabili sono di circa 1550 e 750 metri s.l.d.m.. Per quanto si riferisce all'area di Pizzo Carbonara, HAUSER et al. (1980) hanno tenuto sotto controllo, per un periodo di un anno e mezzo, la composizione isotopica delle piogge in località Piano Battaglia (1600 metri circa) ricavando un valore medio ponderato del $\delta^{18}O(H_2O)$ di circa $-8,8\text{‰}$ per il periodo in questione. Data l'analogia tra la quota media dell'area di Pizzo Carbonara e la quota della stazione di Piano Battaglia, è lecito assumere il valore di $-8,8\text{‰}$ come media delle precipitazioni su tutta l'area in esame. Per la zona di Pizzo Dipilo il gradiente isotopico medio verticale riportato da HAUSER et al. (1980) permette di calcolare il $\delta^{18}O(H_2O)$ medio uguale a $-7,0\text{‰}$. Nel-

l'ipotesi di un acquifero alimentato da entrambe le aree sopra indicate, ed a meno di variazioni di ordine inferiore nei valori della piovosità e dell'infiltrazione efficace, la composizione isotopica dell'acqua risultante sarebbe quindi di $-8,2\text{‰}$, valore un po' inferiore a quello rilevato nelle sorgenti di Cefalù isotopicamente più negative. Bisogna inoltre rilevare che un'alimentazione limitata alle due aree già menzionate non sembra sufficiente, dal punto di vista di un bilancio di massa, a rendere conto della situazione esistente. Infatti, sulla base dei dati di MANGANO et al. (1970), l'apporto idrico risulterebbe sensibilmente inferiore all'effettiva portata delle sorgenti, particolarmente se si tiene conto dell'elevata fuoriuscita di acqua dolce in mare nell'area antistante Cefalù. È necessario quindi, estendere, se possibile, l'area teorica di alimentazione dell'acquifero

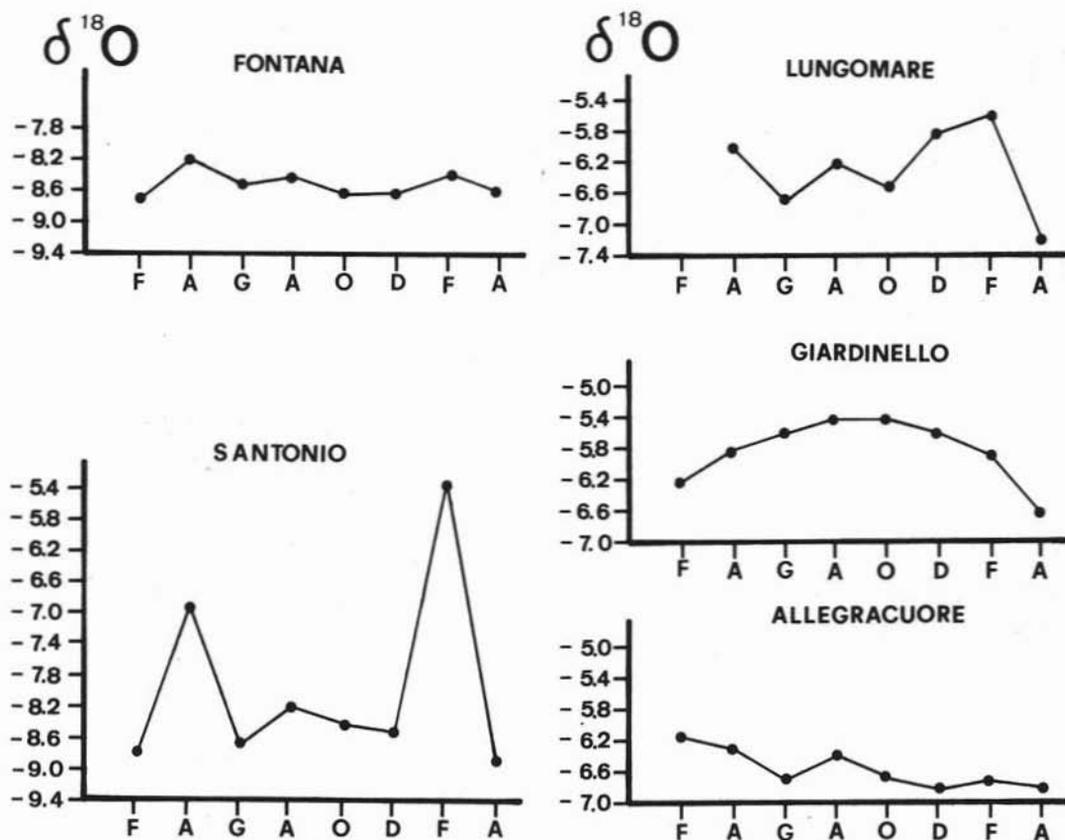


Fig. 2 (segue).

sempre tenendo conto del dato isotopico. Ciò comporta l'opportunità di prendere in considerazione altre zone la cui quota media sia almeno dello stesso ordine di grandezza di quella di Pizzo Carbonara.

La carta geologica della zona, sia nella versione di **OGNIBEN (1960)**, sia nella versione di **GRASSO et al. (1978)**, mette in evidenza la presenza, ad ovest di Pizzo Carbonara, di un vasto affioramento di rocce calcareo-dolomitiche di età Triassico-Giurese appartenenti al Complesso Basale. Si tratta di una serie essenzialmente calcareo-dolomitico-selciosa assai potente ed intensamente tettonizzata la cui estensione superficiale e quota media sono pressochè uguali a quelle dell'affioramento calcareo di Pizzo Carbonara. Non esiste alcun dubbio che un'area di questo tipo rappresenti una zona di assorbimento quanto mai favorevole. Può esistere invece qualche riserva sulla esistenza e localizzazione di un eventuale substrato impermeabile e sull'esistenza di una continuità di comunicazioni tra questo com-

plesso e la sovrastante falda Panormide, il diaframma di separazione essendo costituito dalle Argille di Portella Colla, della potenza di circa 300 metri. A causa dell'intensa tettonizzazione della zona, tettonizzazione che interessa in profondità tutte le formazioni (**GRASSO et al., 1978**) e dell'entità del rigetto di alcune delle fratture più vistose (dell'ordine di diverse centinaia di metri) sembra ragionevole ammettere che tale continuità esista realmente o sia, quanto meno, plausibile. Accettando tale ipotesi, è possibile calcolare un valore medio per la composizione isotopica di un acquifero alimentato dalle tre aree suaccennate, considerando ragionevolmente omogenei sia i valori della piovosità su tali aree, contigue l'una all'altra, sia i valori dell'infiltrazione efficace, essendo analoghe le caratteristiche litologiche delle formazioni in questione. Accettando il dato riportato da **MANGANO et al (1970)** per l'infiltrazione efficace (500 mm/anno), e tenendo conto delle ri-

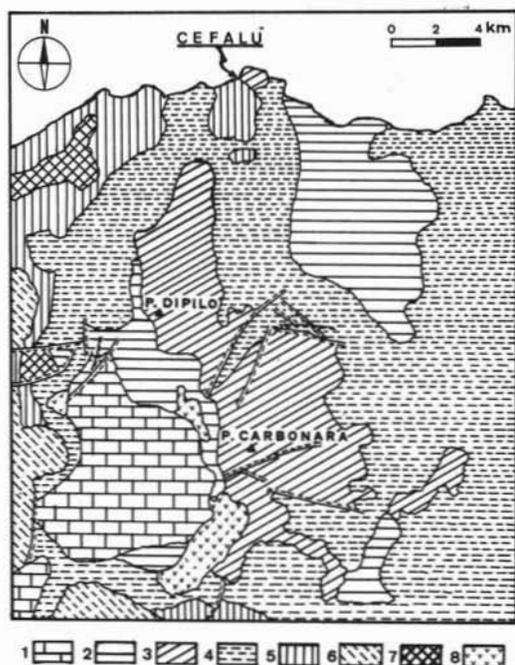


Fig. 3. — Mappa geologica delle Madonie Orientali (particolare, da OGNIEN, 1960, semplificata). - **Legenda:** 1) Complesso basale, serie calcareo-dolomitica; 2) Complesso basale, Flysch Numidico, Membro di Portella Colla; 3) Complesso Panormide; 4) Complesso mesoautoctono, Flysch Numidico, Membro di Geraci; 5) Complesso Sicilide, Falda di Troina; 6) Complesso Sicilide, Falda di Cesarò; 7) Serie gessoso-solfifera; 8) Frane.

spettive superfici e delle quote medie sopra riportate, si ottiene, per un ipotetico acquifero alimentato dai tre affioramenti calcareo-dolomitici, una portata di 1800 litri/sec. ed un $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ di $-8,4\text{‰}$, valori questi perfettamente compatibili sia con il $\delta^{18}\text{O}$ medio rilevato a Cefalù per le sorgenti più negative ($-8,5\text{‰}$), sia con le elevate portate delle sorgenti stesse (non meno di 850 litri/sec., complessivamente).

Per quanto concerne il percorso sotterraneo delle acque ed i tempi medi di residenza, si possono fare alcune considerazioni basandosi per ora sui dati già noti, in assenza di altre informazioni di tipo geochimico. Sulla base delle sezioni geologiche riportate da GRASSO et al. (1978) e grazie alla tettonizzazione delle formazioni interessate risulta assicurata la continuità della falda Panormide di Pizzo Carbonara verso nord fino a Cefalù.

Non esiste quindi alcun problema per il mescolamento degli apporti provenienti dalle aree di Pizzo Carbonara e di Pizzo Dipilo, il cui deflusso verso Nord, tenendo conto della viscosità dei fenomeni carsici, non dovrebbe incontrare alcun ostacolo. Viene così a cadere l'obiezione fondamentale di MANGANO et al. (1970) relativa alla mancanza di continuità tra i due affioramenti. Secondo questi autori il convogliamento delle acque verso nord era assicurato dall'esistenza di una struttura a graben, con andamento NW-SE (dreno di Cefalù), suggerita da GLANGEAUD ed OLIVE (1970) sulla base di rilevamenti gravimetrici. Nel caso specifico, e senza entrare assolutamente nel merito dell'esistenza e dell'efficacia di tale struttura, il percorso diretto S-N o un percorso che implica l'afflusso verso il dreno ed il successivo convogliamento verso NW, non cambia sostanzialmente la situazione risolvendosi il tutto, esclusivamente in una modesta variazione del percorso.

Rimane il problema della continuità tra il Complesso Basale calcareo-dolomitico e la falda Panormide; l'osservazione delle strutture riportate da GRASSO et al. (1978) e le caratteristiche del sistema suggeriscono, come già rilevato, l'esistenza di tale possibilità.

Per quanto si riferisce ai tempi medi di residenza, il valore fornito da MANGANO et al. (1970) di circa 10 anni non è incompatibile con le nostre conclusioni anche se, in considerazione dell'entità dei fenomeni carsici e della tettonizzazione delle formazioni interessate, tempi un po' inferiori sarebbero più appropriati. Non potendo però disporre di dati probanti sull'attività del Tritio e del ^{14}C nelle acque in questione, dobbiamo limitarci ad una considerazione puramente qualitativa senza poter entrare nel merito del problema con considerazioni basate su dati di fatto.

È ora necessario svolgere alcune considerazioni sui punti di prelievo n. 9, 10 e 11 i cui valori medi risultano sensibilmente meno negativi degli altri deponendo a favore di una zona di alimentazione a quota relativamente modesta e, di conseguenza, a favore di un circuito di tipo locale di limitata profondità e con breve percorso.

Prima di tutto è opportuno far notare

che i valori medi calcolati rappresentano delle medie *aritmiche* e non delle medie ponderate in quanto non abbiamo dati sicuri relativi alle portate delle singole manifestazioni nei diversi periodi dell'anno. Ciò significa che la media reale potrebbe spostarsi di qualche frazione di unità delta verso valori più negativi in quanto la piovosità massima (e quindi la ricarica maggiore) si verifica nei mesi invernali.

A prescindere da ciò, i valori medi calcolati nell'intervallo di un anno sono rispettivamente: n. 9 (Lungomare) = $-6,1\%$, n. 10 (Giardinello) = $-5,6\%$, n. 11 (Allegracuore) = $-6,6\%$. È chiaro che ognuno dei tre acquiferi deve essere caratterizzato da un'area di alimentazione e da un circuito che ne differenziano i valori isotopici medi in maniera molto modesta ma abbastanza netta.

Nel caso dell'acquifero Lungomare (n. 9) il valore medio del $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ è tale da fargli attribuire un'area di alimentazione situata ad una quota media dell'ordine dei 300 metri. Tuttavia è opportuno sottolineare l'andamento alquanto anomalo della composizione isotopica, che, come comportamento generale, fa rilevare una modesta negativizzazione nel semestre estivo contro una positivizzazione nel periodo invernale. Inoltre, la determinazione del contenuto in Cl^- indica un modestissimo apporto di acqua marina (2-3 %) nel mese di febbraio 1981. Tenendo conto di ciò e della limitatissima profondità del pozzo (circa 5 metri) è azzardato avanzare ipotesi di dettaglio in quanto possono, con ogni probabilità, verificarsi inquinamenti anche da parte di falde sospese o di scarichi antropogenici. In ogni caso sembra logico identificare l'area di alimentazione della falda in esame con i rilievi collinari immediatamente retrostanti l'abitato di Cefalù.

Dal punto di vista dei valori isotopici e del loro andamento generale, il comportamento dell'acquifero Giardinello (n. 10) è sensibilmente diverso dal precedente. Il valore medio del $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ risulta meno negativo ($-5,7\%$) senza bruschi sbalzi nei valori rilevati che, almeno in senso lato, seguono un andamento regolare con valori leggermente più negativi nel periodo invernale rispetto al periodo estivo. L'escursione totale di tali valori è tuttavia limitata, risul-

tando di poco superiore all'1‰.

Tutto ciò porta a conclusione che deve trattarsi di una falda alimentata da precipitazioni locali relative ad un'area assai prossima al punto di prelevamento. Deve cioè trattarsi di precipitazioni che interessano parzialmente o totalmente il Membro di Geraci del complesso mesautoctono, l'assorbimento e la circolazione essendo assicurati da un sistema di fratture, cosa che contribuisce a spiegare le limitate oscillazioni stagionali in un acquifero locale di modesta profondità.

Il punto di prelevamento n. 11 (Allegracuore) non mostra le benchè minime variazioni stagionali di composizione isotopica ed ha un valore medio di $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ dell'ordine di $-6,6\%$. Ciò dovrebbe indicare una quota media, per l'area di alimentazione, dell'ordine di 500-600 metri con caratteristiche del percorso tali da cancellare totalmente qualsiasi effetto di variazione stagionale. I rilievi collinari circostanti (variabili tra i 200 ed i 660 m circa di Cozzo Carbonara) (fig. 1) sembrano poter rappresentare un'area di assorbimento accettabile, anche in considerazione della presenza di rilevanti affioramenti di calcescisti della Falda di Troina (Complesso Sicilide) che rappresentano un terreno più che adatto dal punto di vista della permeabilità e della facilità di assorbimento.

Conclusioni

Lo studio geochimico isotopico condotto su campioni prelevati nel corso di 14 mesi circa di una serie di 11 tra pozzi e sorgenti nella zona di Cefalù e nel suo immediato entroterra ha consentito di stabilire una serie di relazioni tra la situazione geologico-strutturale dell'entroterra e le caratteristiche delle zone di alimentazione prevedibili in base ai dati ottenuti. È possibile, sulla base dei dati isotopici, separare con estrema chiarezza gli acquiferi appartenenti a circuiti di tipo regionale, alimentati dalle precipitazioni sui notevoli rilievi dell'entroterra (Madonie Orientali), dagli acquiferi appartenenti a circuiti di tipo locale, alimentati dalle precipitazioni afferenti alle zone collinari di modesta elevazione prospicienti la costa. In entrambi i casi l'andamento nel tempo dei valori di $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ indica che la circolazione deve avvenire principalmente attraverso

so fratture, come del resto suggerito dalle caratteristiche litologiche delle rocce della serie locale, alimentando le evidenti manifestazioni di tipo carsico della zona madonita più interna. Ciò suggerisce anche tempi di residenza delle acque piuttosto modesti ed elevate velocità di trasporto, giustificando inoltre le portate considerevolmente elevate

di alcuni degli acquiferi considerati, velocità e portata favorite, oltre che dal tipo di circolazione, dagli elevati dislivelli della piovosità dell'area madonita e dai conseguenti gradienti piezometrici.

Ricerca eseguita con il contributo finanziario del C.N.R., Istituto di Geochimica dei Fluidi, Palermo.

BIBLIOGRAFIA

- EPSTEIN S., MAYEDA T.K. (1953) - *Variations of the $^{18}O/^{16}O$ ratio in natural waters*. Geoch. Cosm. Acta, 4, 213.
- GLANGEAUD L., OLIVE P. (1970) - *Structures métriques de la Méditerranée. Evolution de la Mésogée de Gibraltar à l'Italie*. C.R. Ac. Parici, 271, 1161.
- GONFIANTINI R. (1978) - *Standards for stable isotope measurements in natural compounds*. Nature, 271, 5645, 534.
- GRASSO M., LENTINI F., VEZZANI L. (1978) - *Lineamenti stratigrafico strutturali delle Madonie (Sicilia Centro-Settentrionale)*. Geologica Romana, 17, 45.
- HAUSER S., DONGARRÀ G., FAVARA R., LONGINELLI A. (1980) - *Composizione isotopica delle piogge in Sicilia. Riferimenti di base per studi idrogeologici e relazioni con altre aree mediterranee*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 36 (2), 671.
- MANGANO F., MARCÉ A., MEYBECK M., OLIVE P., PRATELLI W. (1970) - *Idrogeologia isotopica, metodologia e prime applicazioni alle sorgenti Fiume e Bella (Madonie Orientali)*. Riv. Min. Sic. n. 124-126.
- OGNIBEN L. (1960) - *Nota illustrativa dello schema geologico della Sicilia Nord-Orientale*. Riv. Min. Sic. n. 64-65.