Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, **97** (1990)
pagg. 149-159, figg. 6, tab. 1

S. GRASSI (*) e P. SQUARCI (*)

PRIME OSSERVAZIONI SULLA CIRCOLAZIONE IDRICA NELLE VULCANITI DI S. VINCENZO (LIVORNO)

Riassunto — Vengono riportate le caratteristiche termiche ed isotopiche di una sorgente e di un pozzo situati all'interno dell'affioramento delle vulcaniti di S. Vincenzo.

Una circolazione idrica a carattere locale, suggerita sia dal chimismo che dai dati di $\delta^{18}O$ delle acque, è caratterizzata da assenza quasi totale di tritio. Considerate le ridotte dimensioni dell'affioramento delle vulcaniti, questo dato può essere spiegato ipotizzando una circolazione a sviluppo prevalentemente verticale in corrispondenza dei duomi presenti in questa unità, o ammettendo una bassa permeabilità di insieme del complesso igneo.

Abstract — *First observations on water circulation within the volcanites of S. Vincenzo (Livorno - Central Italy).* A description is given of the thermal, chemical and isotopic characteristics of a spring and a well located within the volcanites of San Vincenzo.

A local-type water circulation, as suggested by the chemical composition and $\delta^{18}O$ of the waters, is characterized by the almost total absence of tritium. Considering the reduced dimensions of the outcrop of the volcanites, this could be ascribed to either a prevailingly vertical circulation within the domes inside the unit or an overall low permeability of the igneous complex.

Key words — Hydrogeology, thermal waters, isotopes, groundwater.

INTRODUZIONE

Le conoscenze sulle vulcaniti affioranti in prossimità di S. Vincenzo (Livorno) riguardano essenzialmente gli aspetti petrologici connessi con la loro origine, il cui studio è stato affrontato nel tempo da vari autori (RODOLICO, 1931; MARINELLI, 1961; MICHELUCCINI, 1964; BARBERI *et al.*, 1967; BORSI *et al.*, 1964; FERRARA *et al.*, 1989), i quali

(*) CNR - Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche - Piazza Solferino 2, Pisa

hanno messo in luce le caratteristiche salienti di questi prodotti ignei. Non si ha invece traccia di indagini idrogeologiche che abbiano preso in considerazione la circolazione idrica che si sviluppa in questo complesso vulcanico.

Nell'ambito di un'indagine sulle caratteristiche termali delle acque sorgive del Campigliese (CELATI *et al.*, 1990; in stampa), sono state effettuate numerose osservazioni anche sulla sorgente Acqua Calda, una delle poche emergenze presenti negli affioramenti delle vulcaniti di S. Vincenzo, e su un pozzo, utilizzato a scopo irriguo e perforato alla profondità di 145 m nella stessa formazione.

I dati acquisiti hanno fornito elementi utili per un inquadramento, di carattere preliminare, della circolazione idrica in questa unità.

CENNI DI GEOLOGIA

La messa in posto delle vulcaniti di S. Vincenzo, datata intorno a 4.7 M.a. (BORSI *et al.*, 1967), segue la messa in posto del granito di Botro ai Marmi, presso Campiglia Marittima, avvenuta circa un milione di anni prima.

È generalmente accettato che alla fase compressiva del Miocene medio, in cui si ebbe il carreggiamento verso Est delle Toscanidi e delle Liguridi e la loro sovrapposizione sul basamento regionale, seguì una fase prevalentemente distensiva nel Messiniano-Pliocene, responsabile della formazione di strutture ad horst e graben e della deposizione di sedimenti neogenici nei bacini subsidenti.

L'assottigliamento crustale determinato dalla rotazione antioraria della penisola, derivante dall'apertura del Tirreno, ed il sollevamento del mantello, portarono alla formazione di magmi anatettici (PUXEDDU, 1984) che, facilitati dalla tettonica distensiva, intrusero la crosta raggiungendo localmente la superficie, come nel caso della zona di Campiglia-S. Vincenzo.

Le vulcaniti, a composizione prevalentemente riolitica, giacciono localmente su lembi di conglomerati miocenici (COSTANTINI *et al.*, 1990) e, più generalmente, sul complesso alloctono delle Argille Scagliose, attraversandolo, insieme alle unità ad esso sottostanti, talora con strutture a duomo. Queste si rinvengono in varie zone dell'affioramento vulcanico, come segnalato da MICHELUCCINI (1964), che individua tre cupole di lava, di cui una nella zona della sorgente in esame. Anche BARBERI *et alii* (1967), che ritengono tali strutture piutto-

sto diffuse in questa unità, riferiscono della presenza di altri due duomi. A tutt'oggi mancano tuttavia studi vulcanologici di dettaglio che descrivano in maniera esauriente le caratteristiche giaciturali di queste formazioni ignee.

Caratteristiche dei punti d'acqua considerati

La figura 1 mostra lo schema geologico dell'area recentemente proposto da Costantini *et alii* (1990) e l'ubicazione dei punti d'acqua considerati in questa nota.

La sorgente Acqua Calda si trova nell'affioramento più settentrionale del complesso vulcanico, ad una quota di circa 60 m s.l.m.. La temperatura media dell'acqua, intorno ai 19°C, la inserisce nel contesto delle acque termali, essendo la temperatura all'emergenza maggiore di quella del luogo, che può essere stimata intorno a 15°C. La portata, certamente esigua, è mal valutabile, dato che la sorgente sgorga al fondo di una vasca di raccolta, da cui l'acqua è poi drenata per caduta verso un vicino podere. Essa non dovrebbe comunque essere superiore 1-2 l/s.

La composizione chimica ed isotopica media dell'acqua è riportata nella tabella 1, insieme ai dati relativi al pozzo da noi studiato. La sorgente ha contenuto salino (TDS) medio, con una lieve prevalenza di HCO_3 rispetto a Cl e di Na+K rispetto a Ca, come è evidenziato in figura 2, in cui è riportato il diagramma di Stiff per le acque in questione.

Ripetute osservazioni, condotte per un periodo di circa tre anni (gennaio 1984 - settembre 1986), ci hanno consentito di verificare una considerevole costanza nel tempo sia della temperatura, sia della composizione chimica ed isotopica dell'acqua sorgiva. In figura 3 sono riportati gli andamenti temporali dei principali parametri fisici, chimici ed isotopici dell'acqua sorgiva, messi a confronto con l'andamento delle precipitazioni mensili registrate nella vicina stazione pluviometrica di S. Carlo. Dall'andamento dei parametri sopracitati non si osservano variazioni di rilievo che evidenzino tendenze particolari in relazione alle condizioni pluviometriche. È da ritenere pertanto che la circolazione che alimenta la sorgente in oggetto sia sufficientemente isolata dalla superficie da non risentire, in tempi brevi, degli effetti della ricarica meteorica. Il contenuto in tritio, caratterizzato da valori così bassi da rientrare nell'ambito

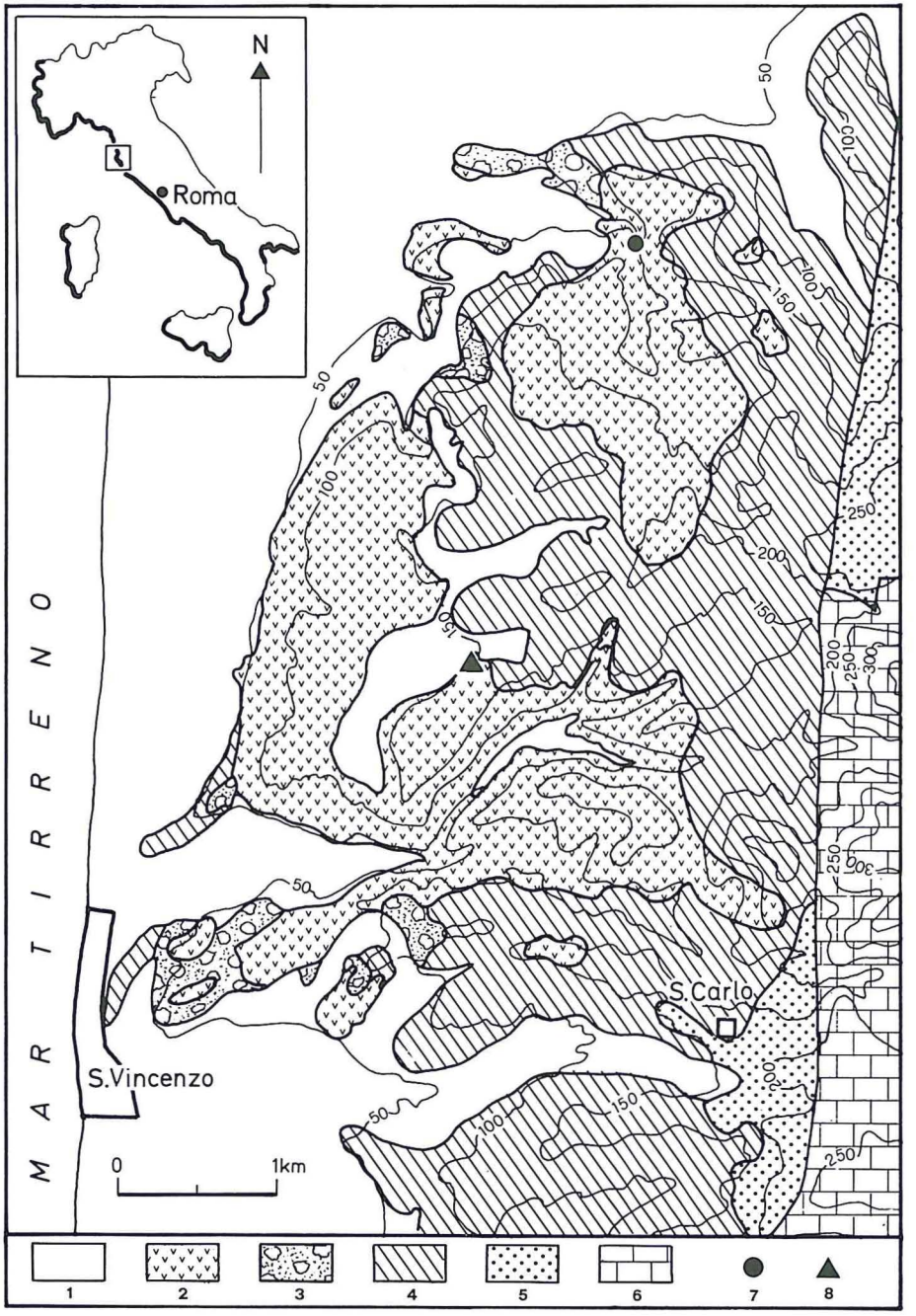

Fig. 1 - Schema geologico semplificato della zona di S. Vincenzo (da COSTANTINI *et al.*, 1990). 1) depositi terrigeni quaternari; 2) vulcaniti (4.7 M.a.); 3) conglomerati (Miocene sup.); 4) complesso delle Argille Scagliose (Cretaceo-Eocene); 5) formazioni marnose ed arenacee (Cretaceo-Oligocene); 6) complesso carbonatico (Lias); 7) sorgente; 8) pozzo.

TAB. 1 - *Valori medi (gennaio 1984-settembre 1986), e relative deviazioni standard, di temperatura, composizione chimica e composizione isotopica dei punti d'acqua considerati. Le concentrazioni chimiche sono espresse in mg/Kg, il tritio in T.U. e $\delta^{18}O$ in ‰ vs. SMOW.*

	Sorgente		Pozzo	
	media	dev. st.	media	dev. st.
T (°C)	19.0	0.4	19.4	0.3
pH	7.1	0.2	6.7	0.1
Na	113.9	7.3	122.5	0.5
K	6.8	0.9	11.8	0.7
Ca	80.0	2.9	73.5	1.5
Mg	27.9	2.0	33.5	0.5
Cl	173.6	7.0	282.0	7.0
SO_4	40.6	4.0	49.5	4.2
HCO_3	324.4	14.0	158.6	1.2
SiO_2	68.9	7.1	61.8	13.0
TDS	836	25	793	9
$\delta^{18}O$	—6.1	0.2	—6.2	0.1
Tritio	0.7	0.5	0.6	0.4

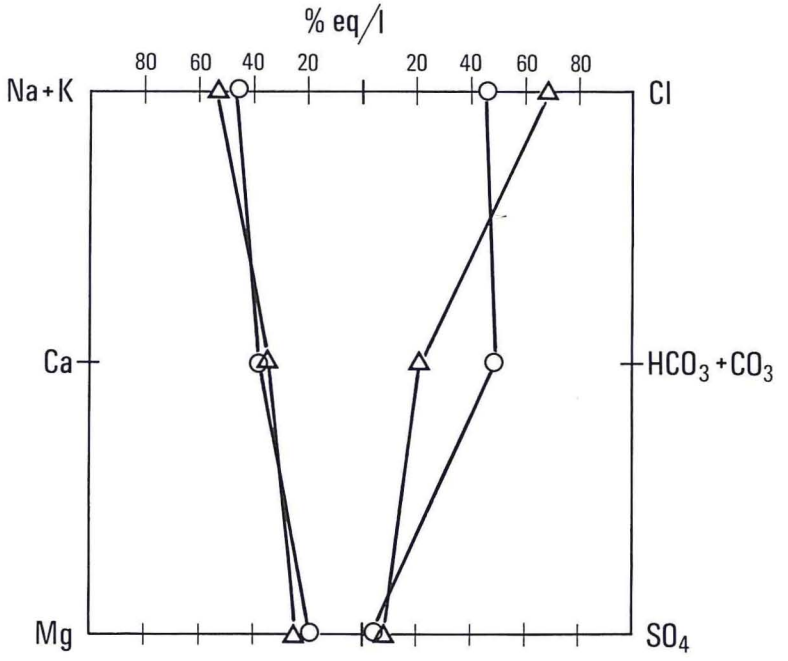

Fig. 2 - Diagramma di Stiff per le acque in esame: (○) sorgente, (△) pozzo.

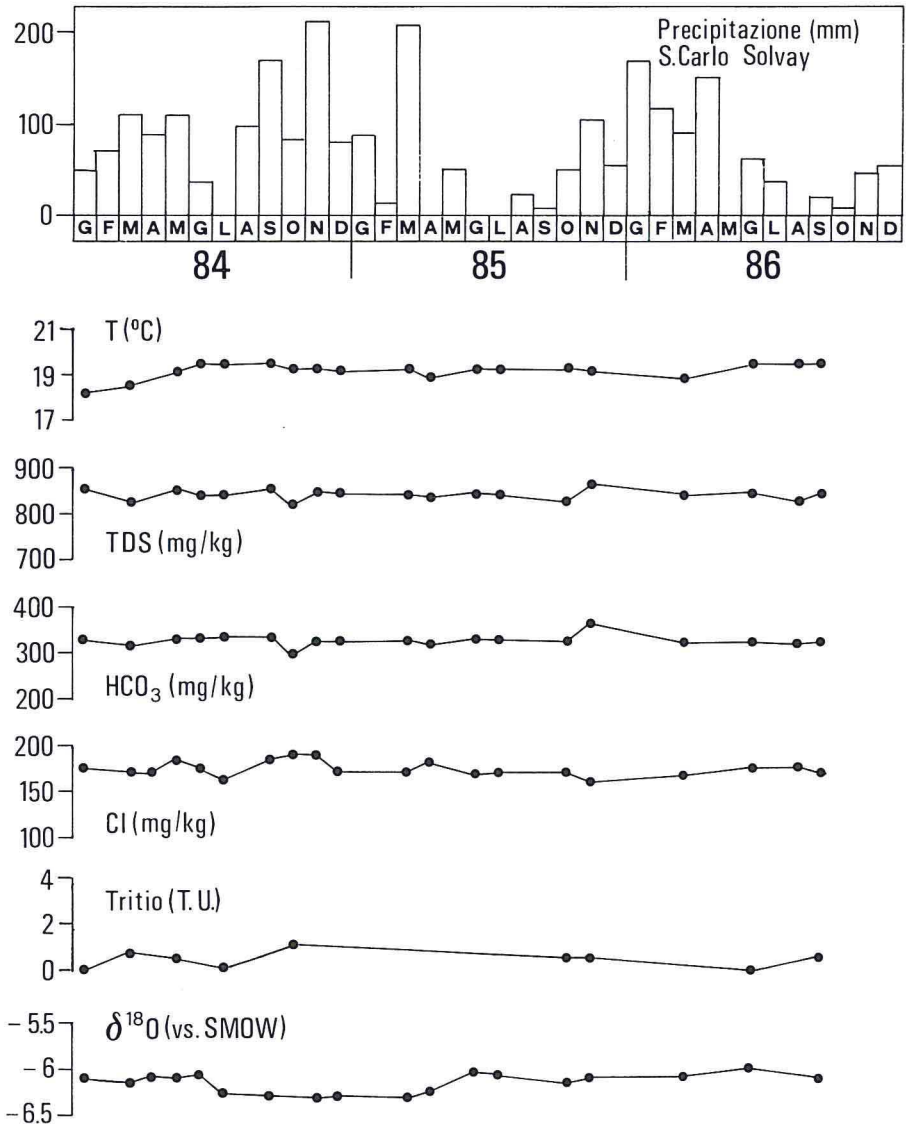

Fig. 3 - Andamenti nel tempo delle principali caratteristiche della sorgente Acqua Calda e precipitazioni mensili a S. Carlo Solvay.

dell'errore analitico (±1 T.U.), indica lunghi tempi di residenza del fluido nell'acquifero.

Il pozzo da noi preso in considerazione si trova a circa 3.5 km a NE di San Vincenzo, ad una quota di campagna di circa 150 m s.l.m.. Nel pozzo, perforato nell'ottobre del 1983 per scopi irrigui,

è stato eseguito un log termometrico dopo circa sei mesi di sosta dalla fine della perforazione. La figura 4 mostra il profilo termico rilevato e le principali caratteristiche del pozzo.

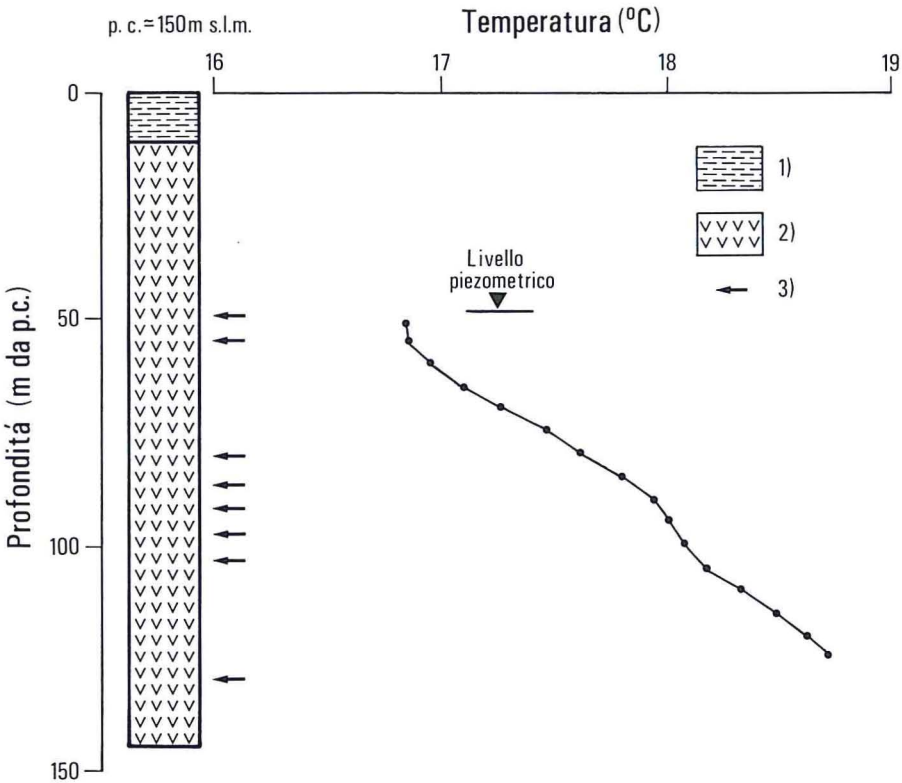

Fig. 4 - Profilo termico e principali caratteristiche del pozzo considerato. 1) Depositi terrigeni; 2) vulcaniti; 3) livelli permeabili.

Manca un log di perforazione dettagliato; vi è solo una colonna stratigrafica di massima, costruita con i dati raccolti dalla ditta cui è stata affidata la perforazione. Secondo questi dati esisterebbe un primo livello acquifero fra 48 e 57 m di profondità ed un secondo livello, compreso fra 80 e 105 m da p.c.; livelli fratturati sono inoltre segnalati a circa 130 m da p.c..

I livelli inferiori del pozzo sono probabilmente i più produttivi, come indica il confronto fra la termometria di fig. 4 e la temperatura media del fluido erogato (Tab. 1), relativa a tre successivi cam-

pionamenti, effettuati fra luglio 84 e novembre 85, dopo la messa in esercizio del pozzo.

Ammettendo che le temperature misurate in pozzo fossero sufficientemente stabilizzate, si deve ritenere che la maggior parte dell'acqua erogata circoli entro gli orizzonti più profondi non esplorati dalla termometria. Tali orizzonti acquiferi potrebbero essere stati attivati, successivamente all'esecuzione del log di temperatura, dalla riduzione dei carichi indotta dallo sfruttamento.

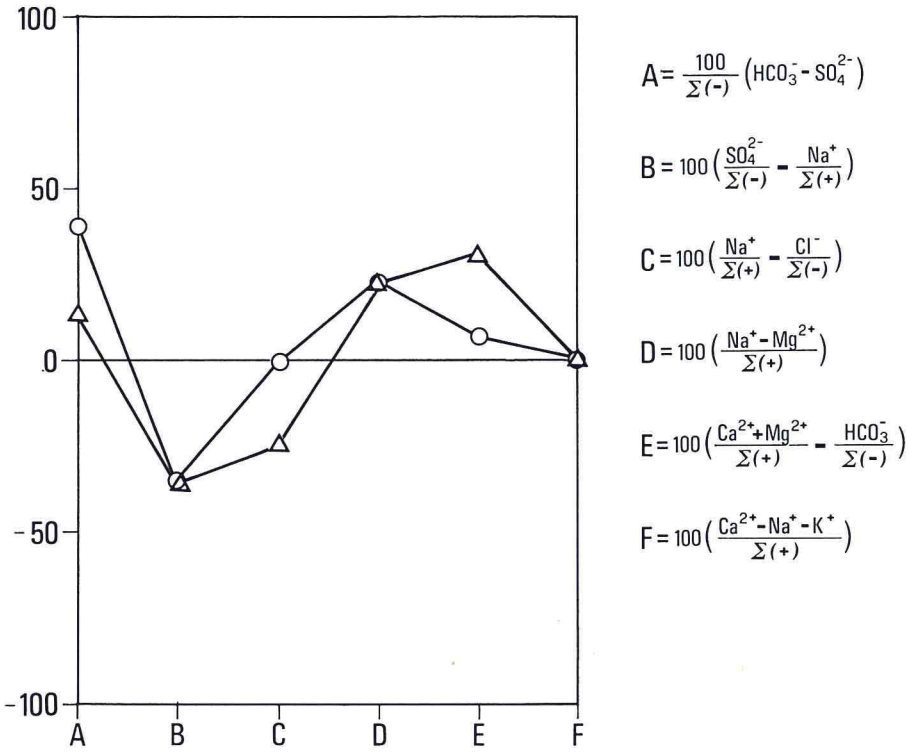

Fig. 5 - Diagramma classificativo delle acque secondo i parametri definiti da D'Amore et al. (1983); (○) sorgente, (Δ) pozzo. Le concentrazioni chimiche nelle espressioni dei parametri sono in meq/l; Σ (+) ed Σ (—) rappresentano, rispettivamente, la somma dei cationi e la somma degli anioni.

L'acqua del pozzo presenta una composizione chimica leggermente diversa da quella della sorgente Acqua Calda, essendo la prima caratterizzata da maggiori tenori di Cl e minori contenuti in HCO_3 (Tab. 1, fig. 2). La salinità e la composizione isotopica delle due acque sono invece praticamente uguali.

CONSIDERAZIONI

Il confronto fra grado di mineralizzazione e contenuto in tritio suggerisce una prolungata interazione delle acque con rocce poco solubili, quali in effetti sono i depositi ignei.

Il diagramma di figura 5, in cui le caratteristiche geochimiche medie dei punti d'acqua considerati sono eleborate secondo i parametri stabiliti da D'AMORE *et alii* (1983), definisce trends compatibili con i modelli proposti dagli autori per circolazioni in materiali vulcanici.

Inoltre, in base alla relazione di figura 6, elaborata attraverso

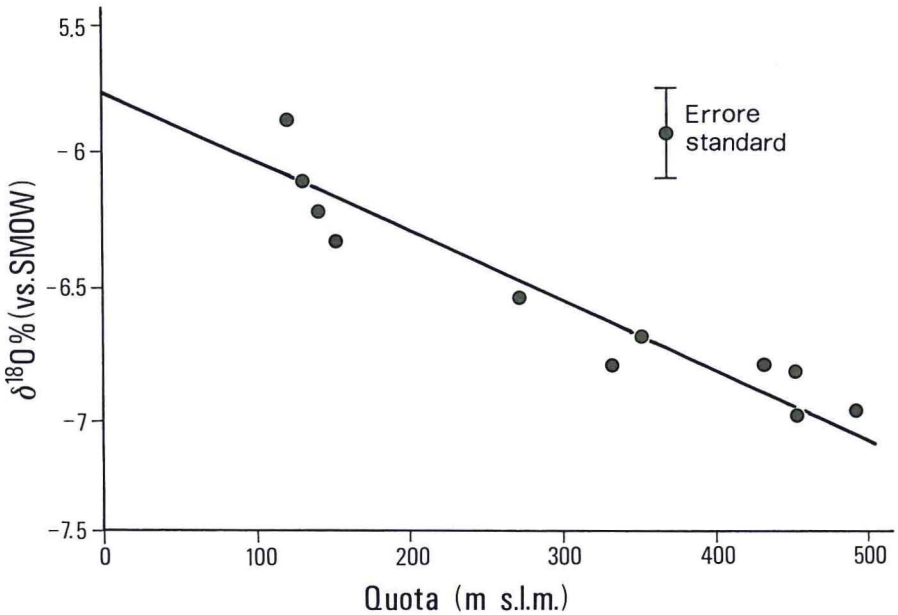

Fig. 6 - Relazione fra $\delta^{18}O$ e quota di alimentazione per alcune sorgenti fredde del Campigliese (da CELATI *et alii*, 1990; in stampa).

l'esame dei dati di alcune sorgenti fredde del Campigliese, di cui è nota la quota delle aree di ricarica (CELATI *et al.*, 1990; in stampa), i valori di $\delta^{18}O$ delle acque in esame (Tab. 1) indicano un'altitudine delle aree di alimentazione di circa 100-150 m s.l.m., prossima alle quote degli affioramenti riolitici (fig. 1).

Tutto pertanto sembra indicare una circolazione idrica che si sviluppa interamente entro le formazioni vulcaniche.

Considerate però le ridotte dimensioni degli affioramenti rioliti-ci e la posizione dei punti d'acqua rispetto ai bordi degli affioramenti stessi (fig. 1), non sembrano poter sussistere circolazioni sufficientemente estese sul piano orizzontale da giustificare l'assenza o quasi di tritio.

Lo scarso contenuto in questo isotopo è da imputarsi, a nostro avviso, o a lunghi circuiti a prevalente componente verticale, che potrebbero svilupparsi in corrispondenza delle strutture a duomo, oppure a circolazioni lente, determinate da una generale bassa permeabilità del complesso vulcanico. Ciò non esclude la presenza, all'interno delle vulcaniti, di acquiferi anche con buone caratteristiche di produttività (1), che, stando alle indicazioni del tritio, dovrebbero essere però scarsamente ricaricati dalle acque di superficie.

Controlli da effettuarsi in un ampio intervallo temporale sia sulla composizione dell'acqua erogata dal pozzo, sia sull'andamento del livello piezometrico potranno contribuire ad una migliore comprensione della circolazione sotterranea nelle vulcaniti di S. Vincenzo.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Dott. C. Panichi per la revisione critica della parte chimico-isotopica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

BARBERI F., INNOCENTI F., MAZZUOLI R. (1967) - Contributo alla conoscenza chimico-petrografica e magmatologica delle rocce intrusive, vulcaniche e filoniane del Campigliese (Toscana). *Mem. Soc. Geol. It.*, **6**, 643-681.

BORSI S., FERRARA G., TONGIORGI E. (1967) - Determinazione con il metodo K-Ar dell'età delle rocce magmatiche della Toscana. *Boll. Soc. Geol. It.*, **26**, 403-410.

CELATI P., GRASSI S., D'AMORE F., MARCOLINI L. (1990) - The low temperature hydrothermal system of Campiglia, Tuscany (Italy): a geochemical approach. *Geothermics*. (In stampa).

COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., MACCANTELLI M., MAZZANTI R., SANDRELLI F., TAVARNELLI E. (1990) - Carta geologica della provincia di Livorno a sud del F. Cecina. Amministrazione Provinciale di Livorno e Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Siena.

D'AMORE F., SCANDIFFIO G., PANICHI C. (1983) - Some observations on the chemical classification of ground waters. *Geothermics*, **12**, 141-148.

(1) A quanto riferito dagli utilizzatori, il pozzo eroga quantità d'acqua sufficienti ad irrigare ampie superfici coltivate, anche in anni di scarsa piovosità.

FERRARA G., PETRINI R., SERRI G., TONARINI S. (1989) - Petrology and isotope geochemistry of S. Vincenzo rhyolites (Tuscany - Italy). *Bull. Volcanol.*, **51**, 379-388.

GIANNINI E. (1955) - Geologia dei Monti di Campiglia Marittima (Livorno). *Boll. Soc. Geol. It.*, **74**, 219-296.

MARINELLI G. (1961) - Genesi e classificazione delle vulcaniti recenti Toscane. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, Serie A, **68**, 74-116.

MICHELUCCINI M. (1964) - Studio chimico-petrografico delle vulcaniti del Campigliese. Tesi di Laurea in Sc. Geol., Pisa.

PUXEDDU M. (1984) - Structure and late Cenozoic evolution of the upper lithosphere in south-west Tuscany (Italy). *Tectonophysics*, **101**, 357-382.

RODOLICO F. (1931) - Ricerche sulle rocce eruttive recenti della Toscana. I. Le rocce del Campigliese. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, **41**, 197-251.

(ms. presentato il 2 novembre 1990; ult. bozze il 28 dicembre 1990)