

## CARATTERISTICHE, ORIGINE ED ETA' DI ACQUE DA SORGENTI E DA POZZI PRESENTI SUL MONTE VULTURE (REGIONE BASILICATA, ITALIA)

### CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

ANDREA FUGANTI(\*) & VINCENZO SIGILLITO(\*\*)

(\*) Università degli Studi di Trento - Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e Tecnologie Industriali - Via Mesiano, 77 - 38050 Trento, Italy - afuganti@tin.it  
(\*\*) ARPAB Potenza - Via della Fisica, 18 - 85100 Potenza (Italy) - info@arpab.it

#### RIASSUNTO

Il Monte Vulture è un vulcano quaternario spento situato in provincia di Potenza (Regione Basilicata). Esso è costituito prevalentemente da tufi con subordinate lave. L'area è caratterizzata da una tettonica attiva testimoniata da terremoti. Il vulcano è costituito da rocce porose e permeabili e poggia su una formazione impermeabile costituita dal Flysch. Il vulcano è ricco di acque sotterranee con sorgenti ed acquiferi costituiti da acque poco mineralizzate e da acque ben mineralizzate ed effervescenti naturali. Il gas prevalente è l'anidride carbonica. Nella parte centro meridionale del vulcano sono state studiate le acque di 24 sorgenti e di 21 pozzi profondi fino a 250 metri. I parametri chimici delle acque variano molto. Le variazioni sono condizionate dalla posizione altimetrica delle sorgenti, dalla profondità dei pozzi, dall'anidride carbonica, dalla presenza sul fondo del pozzo del Flysch, dalle condizioni oxic e anoxic e dalla vicinanza delle faglie. Le temperature delle acque dei pozzi variano fra 14 e 21,7°C. Sono stati controllati i contenuti di caffeina nelle acque di 10 pozzi, di 5 sorgenti e nelle acque del Fosso Fontanelle che nasce a Rionero. La caffeina è stata ritrovata solo nel Fosso Fontanelle. Le acque sotterranee sono prive di caffeina, ad indicare il buon grado di purezza. Sulle acque di 6 pozzi profondi sono state eseguite le seguenti analisi isotopiche: ossigeno 18, deuterio, eccesso di deuterio, kripton-85, trizio, carbonio 13 in DIC, carbonio 14 in DIC, carbonio 13 nell'anidride carbonica, rapporto fra elio 3 ed elio 4 e rapporto fra argon 40 e argon 36. Le acque sotterranee hanno 3 componenti, in base all'età. La componente più recente è l'acqua presente nella parte superiore dell'acquifero; l'età varia dall'attuale a qualche decina di anni. Essa corrisponde ad una ricarica locale. Una seconda componente è un'acqua che ha età fra alcune decine di anni e qualche centinaia di anni. Detta componente è sottostante all'acqua più recente. Il suo bacino di alimentazione è nella parte mediana del versante. Una terza componente è l'acqua profonda che ha il bacino di ricarica nella parte alta del Monte Vulture. Questa componente ha un'età di qualche migliaia di anni. Il modello prevalente della circolazione è a pistone.

**TERMINI CHIAVE:** Monte Vulture, Italia, acque sotterranee, origine, età, analisi isotopiche

#### ABSTRACT

Monte Vulture is an extinct Quaternary volcano in Potenza Province (Basilicata Region), in southern Italy. The area is tectonically active, testified by earthquakes. The volcano consists prevalently of tuffs with subordinate lavas, overlying an impermeable Flysch formation. It has abundant groundwater with springs and aquifers containing water with low to high mineralization and in some cases sparkling water. The most common gas is carbon dioxide. Studies were carried out on the water of 24 springs and 21 wells of depths down to 250 metres on the southern central part of the volcano. The chemical parameters of the water sources vary significantly. The variations are dependent on the altitude of the springs, depth of the wells, presence of carbon dioxide, presence of Flysch at the base, the oxic and anoxic conditions, and proximity to faults. The well water temperatures range from 14 to 21.7°C. The caffeine content was studied in the water of 10 wells, 5 springs, and the Fosso Fontanelle river, which rises at Rionero. Caffeine was found only in the water of Fosso Fontanelle. The groundwater is free of caffeine, indicating a high degree of purity. The following isotopic analyses were conducted on the water of 6 deep wells: oxygen 18, deuterium, deuterium excess, krypton-85, tritium, carbon 13 in DIC, carbon 14 in DIC, carbon 13 in the carbon dioxide, the ratio between helium 3 and helium 4, and the ratio between argon 40 and argon 36. The groundwater has 3 components, depending on age. The most recent component is the water in the upper part of the aquifer; the age varying between contemporary to a few decades. This is supplied by local recharge. The second component is water dated from a few decades to a few hundred years. This underlies the water of recent origin and the supply basin is the mid section of the mountain slope. The third component is the deep water with the recharge area on the upper part of Monte Vulture. This component has an age of a few thousand years. The principal form of circulation is the piston flow model.

**KEY WORDS:** Mt. Vulture, Italy, groundwater, origin, age, isotope analyses

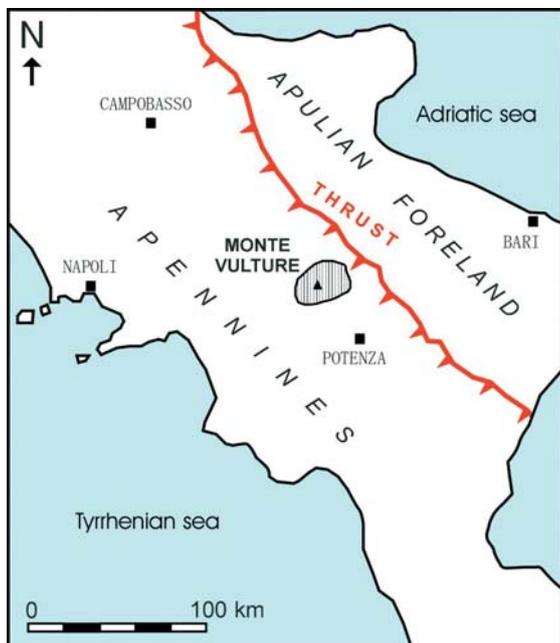


Fig. 1 - Ubicazione del Monte Vulture (Quaternario) rispetto al fronte delle falde appenniniche spostate in età Terziaria verso NE (BIGI *et alii*, 1992)  
 - Location of Monte Vulture (Quaternary) relative to the Appennino Fault line, which shifted NE in the Tertiary (BIGI *et alii*, 1992)

#### AREA DI STUDIO

Il Monte Vulture, situato in provincia di Potenza (Regione Basilicata), è un vulcano quaternario spento da circa 100.000 anni costituito da lave e tufi di varia porosità e permeabilità che poggiano su un basamento impermeabile costituito da Flysch. Il Monte Vulture è noto per l'abbondanza di acque sotterranee che sono usate per il consumo umano, per l'agricoltura e come acque minerali naturali.

Il vulcano Vulture si è intruso al fronte delle falde appenniniche sovrascorse in età terziaria (Fig. 1).

Oltre alle attività terziarie e pleistoceniche che hanno condizionato l'assetto regionale, è da evidenziare una tettonica attiva testimoniata dalla sismicità che si è esplicata con forti terremoti nel 1456, nel 1561, nel 1851, nel 1930 distruggendo la città di Melfi ed il paese di Atella (BARATTA, 1936). Alla tettonica attiva è da attribuire la risalita lungo le principali faglie dell'anidride carbonica che permette la formazione delle acque effervescenti naturali sia di sorgente che di falda. Il legame fra tettonica attiva, sismicità, anidride carbonica ed acque effervescenti naturali è universalmente riconosciuto da IRWIN *et alii* (1980); BARNES *et alii* (1984) e per l'area del Monte Vulture è evidenziato da FUGANTI *et alii* (1994, 1995) che studiano l'idrogeologia della zona fin dal 1992.

#### VULCANO VULTURE E ROCCE CIRCOSTANTI

Le rocce più antiche sono la Formazione di Pescopagano (GIANNANDREA *et alii*, 2004) che è costituita da argille marnose, arenarie e da calcareniti. La formazione era conosciuta come Flysch. Essa è sovrascorsa verso nordest e mostra giaciture irregolari degli strati.

È una roccia marina del Cretaceo-Oligocene. Il Flysch è ricoperto da vulcaniti e localmente dalla formazione di Monte Sirico. Tale

#### STUDY AREA DESCRIPTION

Monte Vulture, in the Province of Potenza (Basilicata Region), is a Quaternary volcano inactive for about 100,000 years, consisting of lavas and tuffs of varying porosity and permeability lying on an impermeable base of Flysch. Monte Vulture is well known for its abundance of groundwater, which is used for human consumption, agriculture, and as mineral water.

The Vulture volcano is an intrusion on the leading edge of the Appennino fault line, overthrust in the Tertiary age (Fig. 1).

In addition to the Tertiary and Pleistocene activity that conditioned the regional structure, also of note is the active tectonic activity testified by seismic phenomena with powerful earthquakes in 1456, 1561, 1851, and 1930 destroying the city of Melfi and the town of Atella (BARATTA, 1936). It is this tectonic activity that results in carbon dioxide rising from along the main faults and the consequent formation of sparkling mineral water in the springs and aquifers. The relationship between tectonic activity, seismic activity, carbon dioxide, and sparkling mineral water is universally acknowledged by IRWIN *et alii* (1980) and by BARNES *et alii* (1984), and for the Monte Vulture area this was identified by FUGANTI *et alii* (1994, 1995), who have been studying the hydrogeology of the area since 1992.

#### THE VULTURE VOLCANO AND SURROUNDING ROCKS

The oldest rocks are the Pescopagano Formation (GIANNANDREA *et alii*, 2004) consisting of marly clays, sandstones, and calcarenites. This formation is known as Flysch. It is overthrust towards the north east and has an irregular bedding alignment.

It is a marine rock of the Cretaceous-Oligocene. The Flysch is covered with volcanites and locally by the Monte Sirico formation. This formation consists of conglomerates, gravels, and Pliocene-

formazione è costituita da conglomerati, ghiaie, sabbie plio-pleistocenici intercalati con argille; le parti superiori sono caratterizzate da impregnazioni di ossidi di ferro e mostrano localmente graduale passaggio alle vulcaniti basali. E' una formazione postorogena e risulta localmente fagliata ma non piegata.

Il Monte Vulture è un grande cono vulcanico che ha un diametro di circa 15 km. La morfologia e la giacitura delle bancate vulcaniche è radiale permettendo di riconoscere tre bacini morfologici ed idrogeologici (Fig. 2).

Il vulcano è stato studiato da vari autori fra cui ricordiamo (HIEKE MERLIN, 1965; HIEKE MERLIN, 1967; HIEKE MERLIN *et alii*, 1971; CORTINI, 1975; DE FINO *et alii*, 1982; CRISCI *et alii*, 1983; LA VOLPE *et alii*, 1984; DE FINO *et alii*, 1986; BOENZI *et alii*, 1987; GUEST *et alii*, 1988; LA VOLPE *et alii*, 1988; LENZI *et alii*, 1989; CAGGIANELLI *et alii*, 1990; BROCCINI *et alii*, 1994; MARINI *et alii*, 1994; LA VOLPE *et alii*, 1994; DUNCAN *et alii*, 1996; MELLUSO *et alii*, 1996; STOPPA *et alii*, 1997; SCHIATTARELLA *et alii*, 1998; LA VOLPE *et alii*, 1999; SCORDARI *et alii*, 1999; GAMBARDELLA *et alii*, 2004; SCHIATTARELLA *et alii*, 2005; GIANNANDREA *et alii*, 2006).

Il vulcano Monte Vulture spicca nel paesaggio della Basilicata per il caratteristico profilo a cono visibile da chi percorre le valli laterali. L'altitudine massima è di 1326 metri sul livello del mare e corrisponde alla vetta del Monte Vulture, cui fanno corona una serie di rilievi minori, relitti di antichi coni e di caldere. Fra 1000 e 1200 m di quota si trova il cratere principale, mentre l'orlo ancora visibile della caldera è compreso fra le quote di 1000 m e 800 m circa. Il fondo della caldera è occupato dai due Laghi di Monticchio, fra loro comunicanti, posti alla quota di 658 e 656 m s.l.m. rispettivamente. Secondo BOENZI *et alii* (1987) l'attività del vulcano si è esplicata in almeno tre fasi, mentre secondo LA VOLPE *et alii* (1994, 1999) il Monte Vulture è formato da sei differenti unità vulcano-stratigrafiche separate da paleosuoli e/o superfici erosive come sintetizzato nella figura 3.

La netta prevalenza della successione vulcanica è fatta da tufi con subordinate lave che spesso mostrano porosità. Dall'esame microscopico risulta che i minerali prevalenti sono pirosseni, plagioclasti, hauina, biotite, magnetite, idrossidi di ferro, apatite, sodalite. Le rocce presenti sono basaniti, nefriti, foiditi, fonoliti. I pori delle lave sono spesso tappezzati da idrossidi di ferro.

La composizione mineralogica è confermata dall'analisi chimica di numerosi campioni dove sono stati determinati sia gli ossidi (Tab. 1) che gli elementi minori, fra cui si evidenziano lo stronzio (fra 1140 e 2750 ppm), il bario (fra 1960 e 2340 ppm), il fluoro (fra 332 e 1440 ppm), lo zirconio (fra 360 e 401 ppm), il vanadio (fra 212 e 279 ppm), il cromo (fra 50 e 267 ppm), il torio (fra 40 e 72 ppm), l'uranio (fra 8 e 30 ppm), l'arsenico (fra 14 e 36 ppm), lo zinco (fra 93 e 114 ppm), il rame (fra 67 e 98 ppm), il piombo (fra 49 e 71 ppm).

La parte inferiore del Monte Vulture è ricca di travertini depositi dalle acque ben mineralizzate e ricche di anidride carbonica. Vi è travertino attuale ma soprattutto travertino antico con superfici terrazzate.

Pleistocene sands with clays. The upper parts are characterized by impregnation with iron oxides and locally exhibit gradual transitions to the base volcanites. It is a post-orogenic formation and is faulted locally but not folded.

Monte Vulture is a large volcanic cone with a diameter of about 15 km. The morphology and bedding of the volcanic seams is radial and three morphological and hydrological basins can be identified (Fig. 2).

The volcano has been studied by various authors including (HIEKE MERLIN, 1965; HIEKE MERLIN, 1967; HIEKE MERLIN *et alii*, 1971; CORTINI, 1975; DE FINO *et alii*, 1982; CRISCI *et alii*, 1983; LA VOLPE *et alii*, 1984; DE FINO *et alii*, 1986; BOENZI *et alii*, 1987; GUEST *et alii*, 1988; LA VOLPE *et alii*, 1988; LENZI *et alii*, 1989; CAGGIANELLI *et alii*, 1990; BROCCINI *et alii*, 1994; MARINI *et alii*, 1994; LA VOLPE *et alii*, 1994; DUNCAN *et alii*, 1996; MELLUSO *et alii*, 1996; STOPPA *et alii*, 1997; SCHIATTARELLA *et alii*, 1998; LA VOLPE *et alii*, 1999; SCORDARI *et alii*, 1999; GAMBARDELLA *et alii*, 2004; SCHIATTARELLA *et alii*, 2005; GIANNANDREA *et alii*, 2006).

The Monte Vulture volcano stands out in the Basilicata landscape for its characteristic cone profile visible from the surrounding valleys. The highest point is 1326 metres above sea level, at the Monte Vulture summit, which is surrounded by a series of minor peaks, the relics of ancient cones and calderas. The main crater is between 1000 and 1200 m in height, while the edge of the caldera is still visible between approximately 1000 m and 800 m. The caldera is occupied by two lakes, the Laghi di Monticchio, connected to each other, and lying at heights of 658 and 656 m a.s.l. respectively. According to BOENZI *et alii* (1987) the activity of the volcano developed in at least three phases, while according to LA VOLPE *et alii* (1994, 1999) Monte Vulture is formed from six different volcanic-stratigraphic units separated by paleo-levels and/or erosive surfaces as summarized in Figure 3.

The volcanic succession has a net prevalence of tuffs with subordinate lavas which are often porous. Microscopic analysis reveals that the most common minerals are pyroxenes, plagioclases, hauyne, biotite, magnetite, iron hydroxides, apatite, and sodalite. The rocks present are basanites, nephrites, phoidites, phonolites. The lava pores are often surfaced with iron hydroxides.

The mineral compositions were confirmed by chemical analysis of numerous samples with determination of the major elements (Tab. 1) and minor elements, most notably strontium (between 1140 and 2750 ppm), barium (between 1960 and 2340 ppm), fluorine (between 332 and 1440 ppm), zirconium (between 360 and 401 ppm), vanadium (between 212 and 279 ppm), chrome (between 50 and 267 ppm), thorium (between 40 and 72 ppm), uranium (between 8 and 30 ppm), arsenic (between 14 and 36 ppm), zinc (between 93 and 114 ppm), copper (between 67 and 98 ppm), lead (between 49 and 71 ppm).

The lower part of Monte Vulture has travertine deposits from the highly mineralized water rich in carbon dioxide. There is contemporary travertine, but mostly ancient travertine with terraced surfaces.

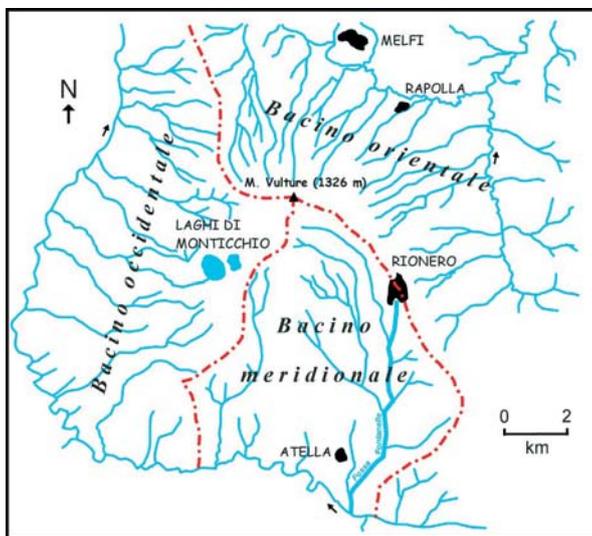


Fig. 2 - Reticolo idrografico (blu) e bacini idrologici sul Monte Vulture. Le linee rosse indicano gli spartiacque. Laghi di Monticchio=Lago Grande e Lago Piccolo di Monticchio  
 - Hydrographic net (blu) and hydrological basins on Monte Vulture. The red lines indicate the watersheds. Bacino occidentale=Western basin; Bacino orientale=Eastern basin; Bacino meridionale=Southern basin. Lakes of Monticchio=Lago Grande and Lago Piccolo di Monticchio

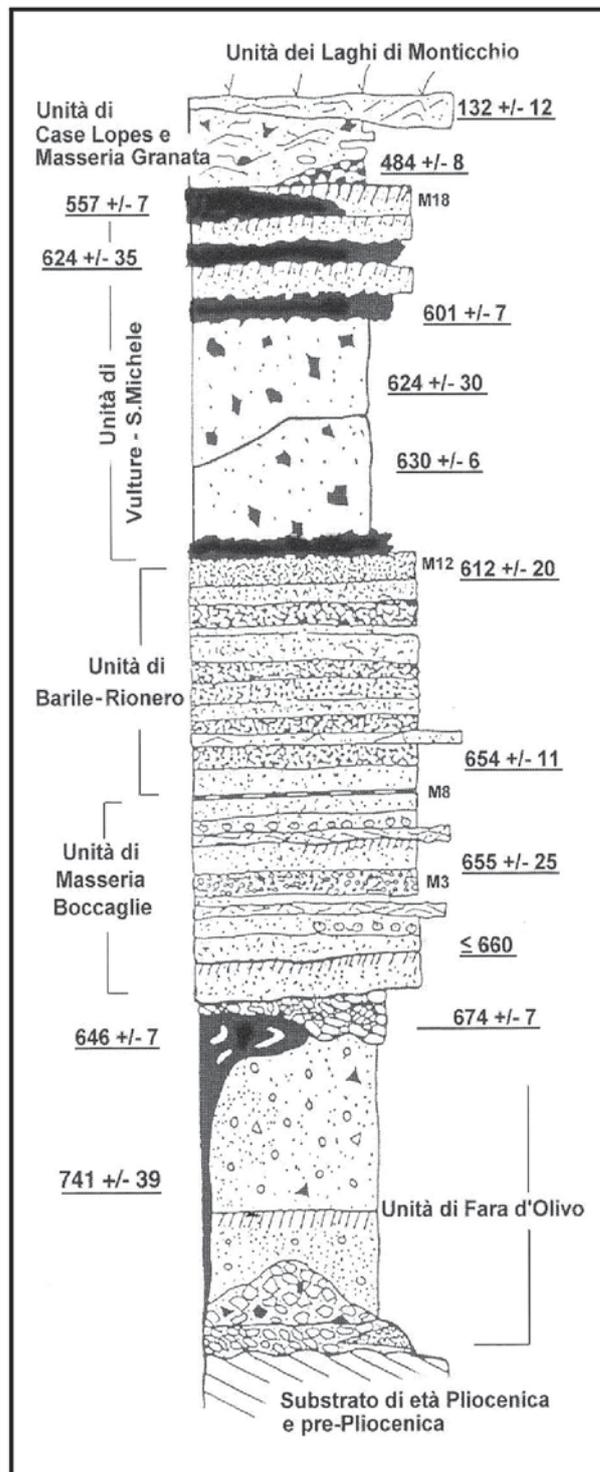


Fig. 3 - Colonna stratigrafica schematica dei depositi dell'attività vulcanica del Monte Vulture. Essa è in netta prevalenza costituita da tufi. Sono riportate le età assolute con i relativi limiti di errore (LA VOLPE et alii, 1999). Le età sono in migliaia di anni  
 - Schematic stratigraphic column of deposits from the volcanic activity of Monte Vulture. The deposits are mainly composed of tuffs. Absolute ages are given with relative error limits (LA VOLPE et alii, 1999). Ages are in thousands of years. Unità di Case Lopes e Masseria Granata=Unit of Case Lopes and Masseria Granata; Unità dei Laghi di Monticchio=Unit of Laghi di Monticchio; Unità di Vulture-S. Michele=Unit of Vulture-S. Michele; Unità di Barile-Rionero=Unit of Barile-Rionero; Unità di Masseria Boccaglie=Unit of Masseria Boccaglie; Unità di Fara d'Olivo=Unit of Fara d'Olivo; Substrato di età Pliocenica e pre-Pliocenica=Basement of Pliocenic and pre-Pliocenic age

Tab. 1 - Composizione chimica di tre rocce del pozzo R. LOI=Perdita al fuoco. Per l'ubicazione si veda la figura 5  
 - Well R - Chemical composition of three rocks of well R. LOI=Loss on ignition. For the location see figure 5

Well		R	R	R
Lithology		Tuff	Lava	Tuff
Deep		- 2 m	- 85 m	- 144 m
SiO <sub>2</sub>	%	50.51	43.64	41.89
TiO <sub>2</sub>	%	1.19	1.26	1.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	14.44	16.57	16.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	8.50	10.10	8.86
MnO	%	0.19	0.27	0.22
MgO	%	6.63	4.25	3.64
CaO	%	7.92	11.83	9.40
Na <sub>2</sub> O	%	1.33	2.25	2.56
K <sub>2</sub> O	%	1.78	1.12	2.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.87	1.20	1.09
S	%	0.02	0.03	0.88
LOI	%	4.90	5.25	7.90
TOTAL		98.77	98.39	96.67

### STUDI PRECEDENTI DI CARATTERE IDROGEOLOGICO

Sono presi in considerazione gli studi pubblicati a partire dall'inizio degli anni '70 in quanto contengono dati confrontabili con quelli del presente studio. MONGELLI *et alii* (1975) hanno realizzato lo studio termico ed isotopico dei due laghi di Monticchio. Il lago Piccolo è alimentato da numerose polle subacquee e la sua acqua, ben stratificata, passa attraverso un canale nel lago Grande dal quale poi esce attraverso l'emissario. Le acque dei laghi sono sottoposte ad un processo di evaporazione. Studiando undici sorgenti comprese fra le quote di 400 e 900 m s.l.m. risultò che il valore dell'ossigeno 18 diminuisce con l'aumentare della quota di emergenza rispecchiando l'effetto altimetrico. Si evidenziò un gradiente di -0,2‰ di ossigeno 18 per ogni 100 m di differenza di quota come confermato poi da LONGINELLI *et alii* (2003). A conclusioni analoghe a quelle del 1975 arrivano anche CIET *et alii* (1981) e BONO *et alii* (2007).

FIDELIBUS *et alii* (1981) distinguono due tipi di acque sotterranee: acque bicarbonato-calciche ed acque bicarbonato-sodico-calciche. Notarono che le prime provengono da scaturigini di alta e media quota circolanti solo nelle vulcaniti; sono acque povere di anidride carbonica. Le seconde appartengono a sorgenti che emergono alla base del Monte Vulture e talora a contatto con le rocce sedimentarie del basamento; sono acque ricche di anidride carbonica. CARDINALE (1991) studiò il versante sud del Monte Vulture circa al contatto vulcaniti-Flysch; è un'area ricca di acque mineralizzate effervescenti naturali e di acque oligominerali. Risultò che esiste uno sfasamento di circa sei mesi fra i periodi maggiormente piovosi ed i massimi di portata delle sorgenti. FUGANTI *et alii* (1994, 1995) descrivono la situazione idrogeologica dell'area Gaudianello posta appena a nord di quella qui descritta. Vengono fornite le stratigrafie di sei pozzi profondi fino a 200 metri nei quali sono stati raccolti vari campioni di roccia sottoposti ad analisi chimica e mineralogica. Sono riportate le analisi chimiche delle acque dei principali pozzi verticali e dei drenaggi suborizzontali, nonché l'elaborazione delle prove di portata. Vengono inoltre analizzate isotopicamente (trizio, ossigeno 18, deu-

### PREVIOUS HYDROGEOLOGICAL STUDIES

Studies published starting from the beginning of the 1970s were considered since they contain data comparable with that of the present study. MONGELLI *et alii* (1975) conducted a thermal and isotopic analysis of the water of the two Monticchio lakes. Lago Piccolo is fed by numerous underwater springs and its well stratified water passes through a channel to Lago Grande from where it exits in an effluent. The lake water is subject to evaporation. Studies on the water of eleven springs between the altitudes of 400 and 900 m a.s.l. showed that the oxygen 18 level diminishes with the increase in height of the outlet point, reflecting the effect of altitude. A gradient of -0.2‰ was identified for oxygen 18 for every 100 m in height difference, as later confirmed by LONGINELLI *et alii* (2003). CIET *et alii* (1981) and BONO *et alii* (2007) came to similar conclusions to those of 1975.

FIDELIBUS *et alii* (1981) distinguished two types of groundwater: bicarbonate-calcium and bicarbonate-sodium-calcium. They noted that the first, with low carbon dioxide content, came from high and middle altitude springs with circulation only in the volcanites. The second type, high in carbon dioxide, came from springs emerging at the basis of Monte Vulture, sometimes in contact with the sedimentary base rocks. CARDINALE (1991) studied the southern side of Monte Vulture regarding the contact between the volcanites and Flysch. This area is rich in sparkling mineral water and oligomineral water. It emerged that there was a time lapse of about six months between the most rainy periods and the maximum spring output. FUGANTI *et alii* (1994, 1995) described the hydrogeological situation of the Gaudianello area lying just north of the area described here. Stratigraphies were provided for six wells of depths down to 200 metres, in which various rock samples were taken and subjected to chemical and mineralogical analyses. Chemical analyses were provided for the water of the main vertical wells and the subhorizontal drainage systems, together with assessment of the pumping tests. Isotopic analyses (tritium, oxygen 18, deuterium) were also conducted on the water of the different springs and wells. The maximum tri-

terio) le acque di sorgenti e pozzi. Il contenuto massimo di trizio è risultato minore di 1,5 unità di trizio (UT) a dimostrazione della non recente età delle acque esaminate. La Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente e Territorio, Ufficio Geologico ed Attività Estrattive (2000) ha pubblicato: "Linee Guida per il Piano di Tutela e Sviluppo del Bacino Idrominerario del Vulture". Tale documento ha raccolto ed elaborato i dati esistenti con nuove indagini fornendo un quadro di tutto il sistema Vulture sia dal punto di vista geologico che idrogeologico. Ad esempio sono state monitorate 105 sorgenti ed è stata ricostruita la superficie piezometrica in base al controllo di numerosi pozzi. Successivamente a tale documento sono state pubblicate varie note da Autori che hanno partecipato al progetto della Regione Basilicata. Ricordiamo SPILOTRO *et alii* (2003, 2004, 2005, 2006). E' del 2004 la pubblicazione di CELICO *et alii* dal titolo: "Idrogeologia dell'area del Vulture (Basilicata)". I rapporti isotopici fra stronzio 87 e stronzio 86 nelle acque del distretto vulcanico del Monte Vulture sono discussi da BARBIERI *et alii* (2003, 2005). Gli Autori riconoscono due bacini: Monticchio-Atella e Melfi-Barile, nonché le due principali facies geochimiche relative: bicarbonato-alcalina e bicarbonato-alcalino-terrosa. E' più recente il volume edito da PRINCIPE (2006) dal titolo "La geologia del Monte Vulture" ad opera della Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente, Territorio e Politiche della Sostenibilità. Il documento contiene 15 contributi di vari Autori ed una completa bibliografia. Ha inoltre allegato carte geologiche del Monte Vulture e del Bacino di Venosa. Nove contributi riguardano le rocce magmatiche del vulcano; cinque contributi trattano gli aspetti generali di tipo idrogeologico, geochimico ed isotopico; l'ultimo contributo tratta gli utilizzi industriali delle vulcaniti.

#### COMPOSIZIONE CHIMICA ED ISOTOPICA DELLA PIOGGIA E DELLA NEVE

Sono stati raccolti tre campioni di pioggia e tre di neve. La tabella 2 riporta le analisi chimiche della neve prelevata l'1 marzo 2002 a 1300 m s.l.m. sul Monte Vulture e della pioggia prelevata il 10 marzo 2002 alla quota di 540 m s.l.m. fra Rionero ed Atella. Risulta che l'acqua di pioggia raccolta a 540 m s.l.m. è più mineralizzata della neve caduta a 1.300 m s.l.m. Nella neve sono stati anche determinati 23 elementi traccia a livello di g/L. Si riscontra che neve e pioggia raccolgono vari elementi presenti nell'atmosfera per le attività umane sottostanti.

La figura 4 propone i valori isotopici di neve e pioggia cadute sul Monte Vulture a varie date e quote, nonché i valori isotopici delle acque del Lago Grande di Monticchio (656 m s.l.m.) prelevate a varie profondità. Appare che i valori più negativi dell'ossigeno 18 sono tipici della neve caduta alla quota più elevata (900 m s.l.m.). Per la pioggia si constata che i valori meno negativi dell'ossigeno 18 sono tipici della pioggia caduta alla quota più bassa (400 m s.l.m.). Dalla figura risulta anche che le acque del Lago Grande hanno subito una evaporazione. Al momento non è possibile correlare la composizione della pioggia con quella delle acque sotterranee.

tium content was less than 1.5 units of tritium (UT) proving the non-recent age of the water samples studied. The Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente e Territorio, Ufficio Geologico ed Attività Estrattive (2000) published: "Linee Guida per il Piano di Tutela e Sviluppo del Bacino Idrominerario del Vulture". This document collected and processed the existing data together with new studies, providing a picture of the entire Vulture system from both the geological and hydrogeological perspectives. For example 105 wells were monitored and the piezometric surface was reconstructed on the basis of checks on numerous wells. Following this document, various papers were published by authors who had taken part in the Basilicata Region project. These included SPILOTRO *et alii* (2003, 2004, 2005, 2006). There is in 2004 the publication by CELICO *et alii* titled: "Idrogeologia dell'area del Vulture (Basilicata)". The isotopic ratios between strontium 87 and strontium 86 in the water in the volcanic area of Monte Vulture are discussed by BARBIERI *et alii* (2003, 2005). The authors identify two basins: Monticchio-Atella and Melfi-Barile, together with the two main relative geochemical facies: bicarbonate-alkaline and bicarbonate-alkaline-earth. More recent is the volume edited by PRINCIPE (2006) titled "La geologia del Monte Vulture" for the Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente, Territorio e Politiche della Sostenibilità. The document contains 15 contributions from various authors and a complete bibliography. It also has attached geological maps of Monte Vulture and of the Venosa Basin. Nine contributions discuss the magmatic rocks of the volcano. Five deal with the general hydrogeological, geochemical, and isotopic aspects. The final contribution addresses the industrial uses of volcanites.

#### CHEMICAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF RAIN AND SNOW

Three rain and three snow samples were collected. Table 2 shows the results of the chemical analyses on the snow collected on 1 March 2002 at 1300 m a.s.l. on Monte Vulture, and of the rain sample taken on 10 March 2002 at 540 m a.s.l. between Rionero and Atella. The rain water collected at 540 m a.s.l. is higher in elements than the snow falling at 1300 m a.s.l. In the snow 23 trace elements were also determined at levels of g/L. It is evident that snow and rain accumulate various elements present in the atmosphere due to human activities.

Figure 4 shows the isotopic composition of rain and snow falling on Monte Vulture on different dates and heights, as well as the isotopic composition of the water in Lago Grande di Monticchio (656 m a.s.l.) taken at different depths. The most negative oxygen 18 figures are found in the snow falling at the highest altitude (900 m a.s.l.). The least negative oxygen 18 figures are found in the rain water falling at the lowest altitude (400 m a.s.l.). The figure also shows that the water of Lago Grande was subject to evaporation. Currently it is not possible to correlate the composition of the rain water with that of the groundwater.

CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

Tab. 2 - Analisi chimiche della pioggia e della neve raccolte a varie date e quote sul Monte Vulture.  
 nd=non determinato  
 - Chemical analysis of rain and snow sampled on various dates and heights on Monte Vulture.  
 nd=non detected

		Snow	Rain
Date		01/3/02	10/3/02
Elevation	m a.s.l.	1300	540
pH		6.39	nd
C.E.S at 20 °C	μS/cm	35.5	nd
Na	mg/L	1.08	0.38
K	mg/L	0.44	1.01
Mg	mg/L	0.10	0.59
Ca	mg/L	3.20	12.61
Sr	mg/L	6.80	nd
Si	mg/L	0.92	nd
Cl	mg/L	0.80	2.59
SO <sub>4</sub>	mg/L	0.20	5.17
NO <sub>3</sub>	mg/L	nd	7.72
HCO <sub>3</sub>	mg/L	17.90	nd
Fe	μg/L	30.90	nd
Ni	μg/L	0.70	nd
P	μg/L	23.70	nd
Li	μg/L	1.10	nd
Cu	μg/L	6.60	nd
Ag	μg/L	0.90	nd
Be	μg/L	< 0.10	nd
Ba	μg/L	4.30	nd
Zn	μg/L	108.20	nd
Cd	μg/L	0.19	nd
Hg	μg/L	< 0.10	nd
Sn	μg/L	0.82	nd
Pb	μg/L	2.40	nd
Ti	μg/L	1.15	nd
V	μg/L	0.24	nd
Sb	μg/L	<0.10	nd
Cr	μg/L	2.70	nd
Mo	μg/L	<0.10	nd
Mn	μg/L	12.10	nd
Co	μg/L	0.22	nd
Tl	μg/L	0.90	nd
Se	μg/L	<0.10	nd
As	μg/L	1.76	nd

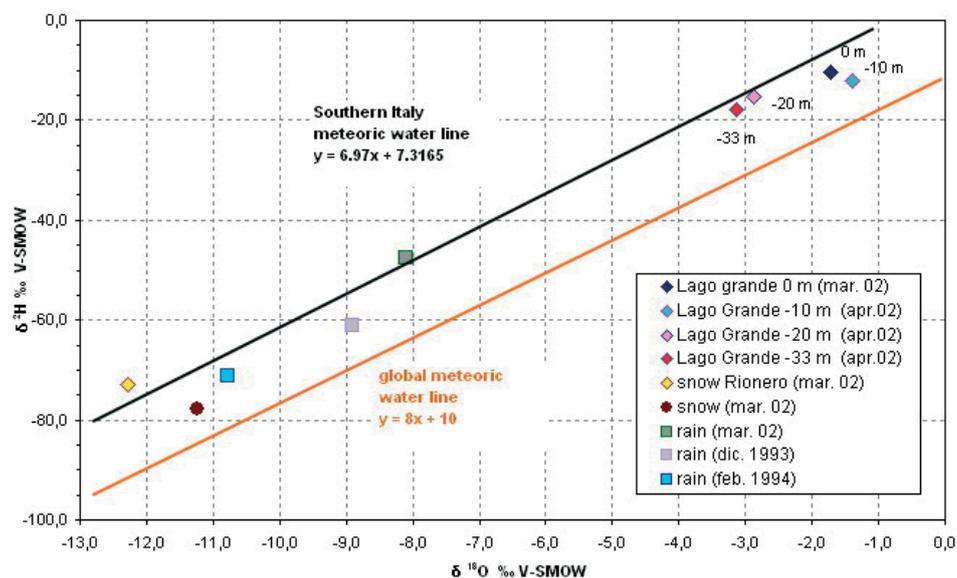


Fig. 4 - Valori isotopici di neve e pioggia caduta a varie quote e date sul Monte Vulture, nonché delle acque del Lago Grande di Monticchio prelevate a profondità fra 0 e 33 metri nell'aprile 2002  
 - Isotopic composition of snow and rain as it did fall at various elevations and times on Monte Vulture and of the water of Lago Grande di Monticchio sampled at depths from 0 to 33 metres in April 2002

## COMPOSIZIONE CHIMICA ED ISOTOPICA DELLE ACQUE DELLE SORGENTI

Le sorgenti studiate sono state divise in due gruppi (Fig. 5):

- sorgenti con acqua poco mineralizzata e povera di CO<sub>2</sub>;
- sorgenti con acqua mineralizzata e ricca di CO<sub>2</sub>.

Le sorgenti emergono su tutto il monte, da poco sotto la sommità fino alla base dell'apparato vulcanico. Le sorgenti basali, dove le rocce vulcaniche permeabili poggiano sul Flysch impermeabile, sono le più ricche di acqua; le sorgenti sui fianchi del vulcano emergono quando la superficie topografica intercetta la falda, come nelle valli più profonde, ma le portate sono molto modeste. Sono state considerate 24 sorgenti la cui composizione chimica è nelle tabelle 3, 4 e 5 che mostrano gli elementi più abbondanti ed anche la quota in metri sul livello del mare.

I metalli sono stati determinati mediante spettroscopia di emissione ICP-OES; anioni e cationi sono stati analizzati mediante cromatografia liquida a scambio ionico con conducibilità soppressa; pH, conducibilità ed alcalinità sono stati determinati per via potenziometrica.

Nella tabella 6 sono riportati i contenuti di elementi in traccia di 6 sorgenti, tre ad elevata mineralizzazione e ricche di anidride carbonica e tre a bassa mineralizzazione e a contenuti irrilevanti di questo gas. Si può constatare che le sorgenti più ricche di anidride carbonica si trovano spesso lungo le faglie dirette circa N-S e NNW-SSE (Fig. 5). Appare evidente il legame fra anidride carbonica e conducibilità e contenuti di elementi maggiori e di elementi traccia. Fra questi ultimi si evidenziano il ferro, il litio, il manganese e soprattutto l'arsenico. L'abbondanza di ferro, manganese e arsenico è probabilmente da attribuire a condizioni riducenti in cui le acque delle sorgenti sono state soggette lungo il loro percorso.

Nel bacino meridionale (Tab.3) vi sono ad esempio le sorgenti *lc* con conducibilità a 5026  $\mu$  S/cm, CO<sub>2</sub>: 700 mg/L; *ls* con conducibilità di 919  $\mu$ S/cm e CO<sub>2</sub>: 1140 mg/L; *ca* con conducibilità di 1790  $\mu$ S/cm e CO<sub>2</sub>: 1784 mg/L. Queste sorgenti hanno portate inferiori a mezzo litro al secondo.

Nel bacino occidentale (Tab. 4) le sorgenti di acqua ben mineralizzata e ricche di anidride carbonica sono in prossimità di faglie; ad esempio le sorgenti *sml* con conducibilità: 1732  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 900 mg/L; *fr* con conducibilità: 3417  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1628 mg/L; *cr* con conducibilità: 1281  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1000 mg/L; *vi* con conducibilità: 2580  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 2.000 mg/L; *te* con conducibilità: 953  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1800 mg/L; *36* con conducibilità: 1751  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1595 mg/L; *t* con conducibilità: 6540  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 600 mg/L.

Nel bacino orientale (Tab. 5) sono state rilevate solo sorgenti con bassa mineralizzazione e molto basso contenuto di anidride carbonica, ma anche l'assenza di faglie significative. In tutto il Monte Vulture si nota che lontano dalle faglie e risalendo i versanti le acque delle sorgenti diventano oligominerali diminuendo nettamente anche il contenuto di anidride carbonica.

Le temperature delle sorgenti riportate al momento del controllo variavano da 10,4°C a 16,6°C. Le temperature più elevate caratteriz-

## CHEMICAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF THE WATER OF THE SPRINGS

The springs studied were divided into two groups (Fig. 5):

- springs containing water with low conductivity and low in CO<sub>2</sub>;
- springs containing water with high conductivity and high in CO<sub>2</sub>.

Springs rise all over the mountain, from just below the summit down to the base of the volcanic structure. The base level springs, where the permeable volcanic rocks rest on impermeable Flysch, emit the most water. The springs on the flanks of the volcano emerge when the surface topography intercepts the water-table, as in the deeper valleys, but the flow rates are limited. The study examined the water of 24 springs and their chemical compositions are detailed in Tables 3, 4, and 5, showing the most abundant elements and the height in metres above sea level.

Metals were determined by emission spectroscopy using inductively coupled plasma. The ionic compound consisting of the cationic species M<sup>+</sup> and the anionic species A<sup>-</sup> were determined by ion-exchange chromatography and suppressed conductivity; pH, conductivity was determined using a potentiometric method.

It can be seen that the springs containing water with the highest carbon dioxide levels are often along the faults lying roughly N-S and NNW-SSE (Fig. 5). There would seem to be a clear link between carbon dioxide, conductivity, and the contents of major and trace elements. Of the latter, most significant are iron, lithium, manganese, and in particular arsenic. The abundance of iron, manganese, and arsenic is probably the result of the reducing conditions to which the spring waters are subjected along their courses.

The southern basin (Tab. 3), for example, contains springs *lc* with water conductivity of 5026  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 700 mg/L; *ls* with water conductivity of 919  $\mu$ S/cm and CO<sub>2</sub>: 1140 mg/L; *ca* with water conductivity of 1790  $\mu$ S/cm and CO<sub>2</sub>: 1784 mg/L. These springs have water capacities of less than half a litre per second.

In the western basin (Tab. 4) the springs containing water with high conductivity and high in carbon dioxide are close to faults. For example the springs *sml* with water conductivity: 1732  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 900 mg/L; *fr* with water conductivity: 3417  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1628 mg/L; *cr* with water conductivity: 1281  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1000 mg/L; *vi* with water conductivity: 2580  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 2000 mg/L; *te* with water conductivity: 953  $\mu$  S/cm, CO<sub>2</sub>: 1800 mg/L; *36* with water conductivity: 1751  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 1595 mg/L; *t* with water conductivity: 6540  $\mu$ S/cm, CO<sub>2</sub>: 600 mg/L.

In the eastern basin (Tab. 5) only springs containing water with low conductivity and very low carbon dioxide contents were found, but also the absence of significant faults. All over Monte Vulture, moving away from faults and up the mountain slopes, the spring water becomes oligomineral, with a marked reduction in carbon dioxide.

The temperatures of the water of the springs measured at the time of the sampling vary from 10.4°C to 16.6°C. The highest temperatures are typical of the water of springs with highest conductivity and

CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

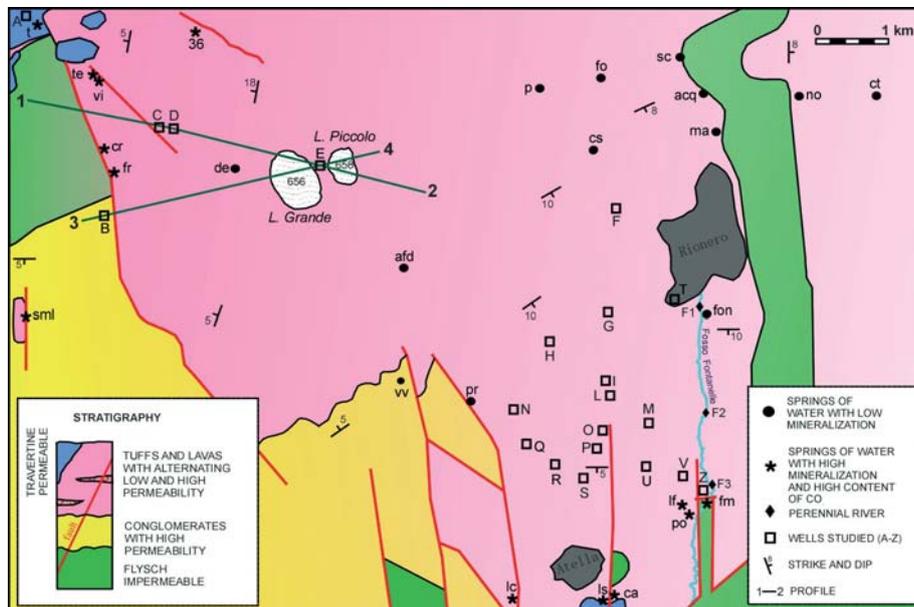


Fig. 5 - Schizzo tettonico con ubicazione di sorgenti e pozzi studiati e traccia di profili idrogeologici. Faglie: linee rosse. Sorgenti: t=Tokà; te=Terme; 36=36; vi=Vittoria; cr=Crocchio; fr=Fratta; sml=Santa Maria De Luco; de=Demonio; afd=Afsd; fon=Fontanelle; pr=Priore; ls=La Serra; ca=Cacarella; fm=Fontana Marsico; lf=La Francesca; po=Pompei; lc=La Cupa; vv=Vivaio; p=Prete; fo=Forbici; sc=Scea; acq=Acquasanta; ma=Maruccio; no=Noci; ct=Catavatto; cs=Castagna

Tectonic sketch with locations of the springs and wells studied and traces of the hydrogeological profiles. The red lines are the faults. Springs: t=Tokà; te=Terme; 36=36; vi=Vittoria; cr=Crocchio; fr=Fratta; sml=Santa Maria De Luco; de=Demonio; afd=Afsd; fon=Fontanelle; pr=Priore; ls=La Serra; ca=Cacarella; fm=Fontana Marsico; lf=La Francesca; po=Pompei; lc=La Cupa; vv=Vivaio; p=Prete; fo=Forbici; sc=Scea; acq=Acquasanta; ma=Maruccio; no=Noci; ct=Catavatto; cs=Castagna

Tab. 3 - Composizione chimica delle sorgenti considerate e presenti nel bacino idrogeologico meridionale. Per l'ubicazione si veda la figura 5. nd=non determinato. Sorgenti, Springs: fon=Fontanelle; pr=Priore; ls=La Serra; ca=Cacarella; fm=Fontana Marsico; lf=La Francesca; lc=La Cupa; afd=afsd

Spring		fon	pr	ls	ca	fm	lf	lc	afd
Date		01/3/03	27/2/02	25/10/02	25/10/02	24/1/07	10/2/95	06/11/02	28/1/03
C.E.S at 20 °C	µS/cm	446	472	919	1790	1179	nd	5026	767
CO <sub>2</sub>	mg/L	20	30	1140	1784	420	700	700	54
Na	mg/L	35.1	20.2	93.0	4932.0	196.0	104	1240	42
K	mg/L	10.0	5.7	24.0	732.0	27.22	33	150	10
Mg	mg/L	10.3	10.3	17.0	152.0	184.0	25	70	24
Ca	mg/L	44.9	69.0	81.0	391.0	58.1	55	270	108
Cl	mg/L	19.7	12.3	37.0	nd	86.0	47	286	51
SO <sub>4</sub>	mg/L	33.3	7.7	110.0	950.0	283.0	105	1097	94
NO <sub>3</sub>	mg/L	48.4	18.7	6.0	4.0	18.6	24	2	nd
Elevation	m a.s.l.	572	700	467	468	485	475	464	850

Tab. 4 - Composizione chimica delle sorgenti considerate e presenti nel bacino idrogeologico occidentale. Per l'ubicazione si veda la figura 5. nd=non determinato. Sorgenti, Springs: t= Toka; 36=36; te=Terme; vi=Vittoria; cr=Crocchio; fr=Fratta; sml=Santa Maria de Luco; de=Demonio

Spring		t	36	te	vi	cr	fr	sml	de
Date		01/3/02	08/2/94	28/2/02	28/2/02	28/2/02	28/1/03	28/7/03	28/2/02
C.E.S at 20 °C	µS/cm	6540	1751	953	2580	1281	3417	1732	245
CO <sub>2</sub>	mg/L	600	1595	1800	2000	1000	1628	900	20
Na	mg/L	1407	165	70.0	272.9	140.0	450.0	nd	11.4
K	mg/L	310.0	51	30.0	73.1	39.0	87.0	nd	6.5
Mg	mg/L	110.3	68	29.0	110.1	55.0	99.0	nd	7.9
Ca	mg/L	208.5	135	95.0	258.5	135.0	463.0	196	20.0
Cl	mg/L	265.3	39	40.0	50.4	35.0	95.0	50	7.1
SO <sub>4</sub>	mg/L	1194	nd	71.0	239.8	128.0	307.0	80	10.1
NO <sub>3</sub>	mg/L	14.0	1	8.0	0.1	0.1	11.0	18	83.3
Elevation	m a.s.l.	425	559	569	575	571	600	520	760

CARATTERISTICHE, ORIGINE ED ETA' DI ACQUE DA SORGENTI E DA POZZI PRESENTI SUL MONTE VULTURE (REGIONE BASILICATA, ITALIA)

Spring		<i>p</i>	<i>fo</i>	<i>sc</i>	<i>acq</i>	<i>ma</i>	<i>no</i>	<i>ct</i>	<i>cs</i>
Date		17/2/02	27/2/02	27/2/02	27/2/02	27/2/02	27/2/02	27/2/02	17/2/01
C.E.S at 20 °C	µS/cm	235	273	268	342	543	543	437	665
CO <sub>2</sub>	mg/L	nd	25	30	27	23	15	15	nd
Na	mg/L	nd	27.0	30.4	28.6	29.7	35.8	31.0	nd
K	mg/L	nd	8.0	18.1	12.4	11.1	13.6	10.0	nd
Mg	mg/L	nd	5.0	4.4	7.5	10.4	14.2	11.0	nd
Ca	mg/L	nd	17.0	13.8	27.6	49.2	64.3	43.0	nd
Cl	mg/L	nd	17.0	13.1	14.3	15.6	24.9	21.0	nd
SO <sub>4</sub>	mg/L	nd	16.0	9.2	32.1	47.1	92.7	64.0	nd
NO <sub>3</sub>	mg/L	nd	0.6	7.3	13.2	18.9	22.7	22.0	nd
Elevation	m a.s.l	1160	902	620	670	672	514	400	752

Tab. 5 - Composizione chimica delle sorgenti considerate e presenti nel bacino idrogeologico orientale. Per l'ubicazione si veda la figura 5. nd=non determinato. Sorgenti, Springs: *p*=Preti; *fo*=Forbici; *sc*=Scea; *acq*=Acquasanta; *ma*=Maruccio; *no*=Noci; *ct*=Catavatto; *cs*=Castagna  
 - *Chemical composition of the water of the springs from the eastern hydrogeological basin. For the locations see figure 5. nd=non detected. Sorgenti, Springs: p=Preti; fo=Forbici; sc=Scea; acq=Acquasanta; ma=Maruccio; no=Noci; ct=Catavatto; cs=Castagna*

Spring		<i>te</i>	<i>vi</i>	<i>cr</i>	<i>fon</i>	<i>no</i>	<i>pr</i>
Date		28/2/02	28/2/02	28/2/02	27/2/02	27/2/02	27/2/02
CO <sub>2</sub>	mg/L	1800	2000	1000	20	15	30
C.E.S at 20 °C	µS/cm	953	2580	1281	446	543	472
Fe	µg/L	1000	12280	5927.8	7.40	20.50	8.90
Ni	µg/L	0.90	0.90	1.70	0.70	0.80	0.40
P	µg/L	140.10	206.30	111.90	70.80	99.10	10.80
Li	µg/L	42.90	117.20	78.40	8.90	4.00	9.40
Cu	µg/L	4.75	7.70	6.50	2.80	4.10	4.40
Ag	µg/L	0.40	0.24	0.33	0.20	0.40	0.30
Be	µg/L	1.60	2.10	1.40	< 0.1	0.20	< 0.1
Ba	µg/L	31.80	17.90	26.50	41.80	91.70	55.30
Zn	µg/L	10.20	23.90	19.30	6.70	6.50	6.80
Cd	µg/L	0.70	0.44	0.38	0.20	0.30	0.10
Hg	µg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.10	< 0.1
Sn	µg/L	49.80	9.70	19.00	31.00	32.00	24.60
Pb	µg/L	2.30	1.40	1.55	0.70	0.50	0.50
Ti	µg/L	2.60	0.70	1.40	0.50	0.70	0.30
V	µg/L	4.40	0.95	0.26	18.40	15.80	4.70
Sb	µg/L	12.20	< 0.1	< 0.1	0.60	1.50	0.60
Cr	µg/L	0.40	0.25	< 0.1	0.70	1.00	0.60
Mo	µg/L	9.40	0.90	2.60	1.50	2.20	1.30
Mn	µg/L	54.60	416.40	309.60	< 0.1	0.20	0.10
Co	µg/L	0.70	1.80	3.40	0.40	0.50	0.40
Tl	µg/L	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.00	1.30	1.10
F	µg/L	500.00	300.00	500.00	700.00	800.00	600.00
Se	µg/L	14.60	7.80	10.50	5.00	3.00	2.90
As	µg/L	22.50	35.60	22.30	9.70	8.00	5.10
Elevation	m a.s.l.	569	575	571	572	514	700

Tab. 6 - Elementi in traccia nelle sorgenti *te*, *vi*, *cr*, *fon*, *no*, *pr*, unitamente ai contenuti di anidride carbonica e alla conducibilità. Per l'ubicazione si veda la figura 5. Sorgenti, Springs: *te*=Terme; *vi*=Vittoria; *cr*=Crocco; *fon*=Fontanelle; *no*=Noci; *pr*=Priore  
 - *Trace elements in the water of springs te, vi, cr, fon, no, pr, together with carbon dioxide content and conductivity. For the locations see figure 5. Sorgenti, Springs: te=Terme; vi=Vittoria; cr=Crocco; fon=Fontanelle; no=Noci; pr=Priore*

zano le sorgenti più mineralizzate e ricche di CO<sub>2</sub> e con circuito profondo emergenti nella parte bassa del vulcano. Le temperature minori sono delle sorgenti di acqua oligominerale con circuito poco profondo presenti nella parte alta del vulcano.

Nella figura 6 sono rappresentati i contenuti isotopici (ossigeno 18 e deuterio) di molte sorgenti già caratterizzate chimicamente. Tutte le sorgenti sono comprese fra la Southern Italy Meteoric Water Line di LONGINELLI *et alii* (2003) e la Global Meteoric Water Line di Craig (1961). Tutte le acque sono di origine piovana. Si può evidenziare che i valori meno negativi sono nelle sorgenti no (quota 514 m s.l.m.) e ct (quota 400 m s.l.m.), mentre i valori più negativi sono della sorgente t (quota 425 m s.l.m.). Le altre sorgenti hanno valori intermedi fra questi due estremi. L'oscillazione in termini di ossigeno 18 varia fra circa -8,0 e -9,8 e ciò corrisponde, in termini di differenza di quota di penetrazione dell'acqua piovana, di circa 900 metri utilizzando il criterio di LONGINELLI *et alii* (2003) che considera 100 metri di quota ogni variazione di -0,2‰ di ossigeno 18.

Ossigeno 18 e deuterio sono stati determinati mediante spettrometria di massa mentre il trizio con spettrometria scintillometrica LSC.

Un aiuto alla comprensione della circolazione delle acque delle sorgenti viene dal loro contenuto in trizio. KASS (1998) e KLARK *et alii* (1999) considerano acque vecchie (penetrate prima del 1950 circa) quelle dove i valori del trizio sono minori di 1 UT ed acque recenti (penetrate dopo il 1950 circa) quelle con valori più elevati.

Nel bacino meridionale si evidenzia il basso valore del trizio (0,7 UT) dell'acqua della sorgente ca molto mineralizzata e ricca di CO<sub>2</sub>. Netta prevalenza di acqua vecchia è anche la finitima sorgente ls pure ben mineralizzata e ricca di CO<sub>2</sub>. La sorgente fm è invece una miscela di acqua vecchia e di acqua recente (2,5 UT). La sorgente lc, ad ovest di Atella, ha un contenuto di trizio di 7,2 UT che indica acqua recente o una miscela. Il suo contenuto di CO<sub>2</sub> è elevato (700 mg/L), con discreti valori di mineralizzazione (817 µS/cm di conducibilità). Anche la sorgente fon, posta appena a sud di Rionero in Vulture, ha acqua recente (7,2 UT) ed oligominerale. La sorgente vi posta presso una faglia nel bacino occidentale ha un valore di trizio molto basso (<0,60 UT); è acqua vecchia. Nel bacino occidentale la sorgente vi

CO<sub>2</sub> contents and deep circuits, emerging at the base of the volcano. The lowest temperatures were found in the water of oligomineral springs with shallow circuits on the upper slopes of the volcano.

Figure 6 shows the isotopic compositions (oxygen 18 and deuterium) of the water of numerous springs already chemically characterized. All the springs are contained between the Southern Italy Meteoric Water Line of LONGINELLI *et alii* (2003) and the Global Meteoric Water Line of Craig (1961). All the water originates from precipitation. It is noted that the least negative values are those of springs no (height 514 m a.s.l.) and ct (height 400 m a.s.l.), while the most negative figures are for spring t (height 425 m a.s.l.). The other springs have intermediate values between these two extremes. The oscillation in oxygen 18 varies between -8.0 and -9.8 and this corresponds, in terms of difference in height of penetration of precipitation, to about 900 metres, applying the criterion of LONGINELLI *et alii* (2003), which assigns 100 metres in altitude for every variation of -0.2‰ in oxygen 18.

Oxygen 18 and deuterium were determined with isotope ratio mass spectrometry, related to VSMOW-Std: ± 0.15‰. Tritium was determined with fluid scintillation spectrometry, measured in tritium units (TU) with double standard deviation (1 TU = 0.119 Bq/L).

The tritium content in the water of the different springs can help to understand the water circulation. KASS (1998) and KLARK *et alii* (1999) consider water to be old (penetrated before about 1950) when the tritium level is below 1 UT, and water to be recent (penetrated after about 1950) for higher values.

In the southern basin, of note is the low tritium value (0.7 UT) for the water of spring ca, which has high conductivity and is high in CO<sub>2</sub>. There is again a net prevalence of old water in the neighbouring spring ls, also with high conductivity and high in CO<sub>2</sub>. The spring fm is instead a mixture of old and recent water (2.5 UT). The spring lc, west of Atella, has a tritium content of 7.2 UT, indicating recent water or a mixture. Its CO<sub>2</sub> content is high (700 mg/L), with quite high conductivity (817 µS/cm). The spring fon, just south of Rionero in Vulture, also has recent oligomineral water (7.2 UT). The spring vi located close to a fault in the western basin at 575 m a.s.l. has a very

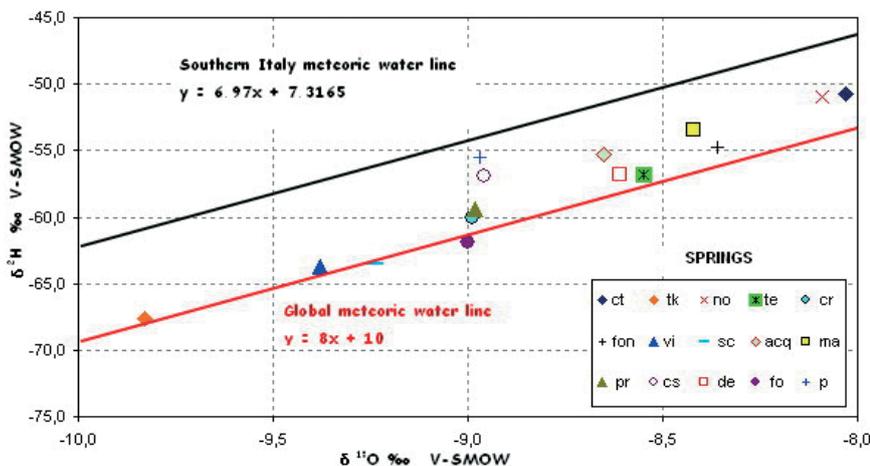


Fig. 6 - Valori isotopici dell'ossigeno 18 e del deuterio delle sorgenti presenti in figura 5 e nelle tabelle 3, 4 e 5 - Oxygen 18 and deuterium data for the springs marked in figure 5 and in the tables 3, 4 and 5

posta a 575 m s.l.m. ha valori di trizio minori di 1 UT. Essa ha acqua ben mineralizzata e ricca di anidride carbonica.

Risulta che acque di sorgenti emergenti circa alla stessa quota possono essere ricche o povere di mineralizzazione e di anidride carbonica a seconda se il loro circuito è profondo o superficiale; risulta anche che la valutazione del circuito dell'acqua delle sorgenti del Monte Vulture è basata sulla conoscenza dei seguenti parametri: quota di emergenza, valori del trizio, dell'ossigeno 18, del deuterio, del grado di mineralizzazione, del contenuto di anidride carbonica.

### CHIMISMO DELLE ACQUE DEI POZZI

Sulla figura 5 sono ubicati 21 pozzi per acqua minerale naturale, per irrigazione, per uso industriale, per uso umano che sono segnati con le lettere dalla A alla Z. La tabella 7 riporta le analisi fisico-chimiche di 15 pozzi campionati a fine gennaio e a inizio maggio 2007; sono stati determinati 19 parametri.

I contenuti dei principali parametri con relative oscillazioni sono: anidride carbonica fra 42 e 1900 mg/L; conducibilità fra 254 e 2550  $\mu$ S/cm; pH fra 5,98 e 7,58; cloruri fra 12 e 102 mg/L; nitrati fra 0,45 e 44,6 mg/L; solfati fra 6,2 e 351 mg/L; sodio fra 26 e 398 mg/L; potassio fra 14 e 101 mg/L; magnesio fra 2,3 e 63 mg/L; calcio fra 12 e 227 mg/L; alcalinità ( $\text{HCO}_3$ ) fra 313 e 2537 mg/L; manganese fra 0,5 e 870  $\mu$ g/L; ferro fra 0,68 e 8.017  $\mu$ g/L. Fluoro, litio e fosfati sono presenti in piccole quantità e non mostrano variazioni così evidenti come gli altri parametri. I motivi di ritrovare pozzi vicini con acque molto diverse dipende da vari fattori. I principali sono: profondità del pozzo, anidride carbonica, presenza sul fondo foro del basamento marino (Flysch), condizioni di ossidazione e riduzione nella falda e vicinanze delle faglie. Le condizioni oxic ed anoxic determinano ad esempio la presenza dei nitrati, del manganese, del ferro e di altri elementi quali l'arsenico. I pozzi poco profondi o che emungono acque dalla parte superiore dell'acquifero hanno elevati contenuti di nitrati che derivano da letame e da concimi chimici sparsi nei campi, come risulta dalle indagini isotopiche eseguite dagli scriventi nel 2001 e non pubblicate utilizzando i rapporti fra  $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3(\text{‰})$  e  $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3(\text{‰})$ . I pozzi che emungono solo dalla parte profonda della falda hanno contenuti di nitrati irrilevanti. Avviene il contrario per i contenuti di manganese, ferro, ed arsenico che si concentrano nell'ambiente riducente profondo. Il meccanismo è ben noto e descritto dalla letteratura (BARCELONA *et alii*, 1991; CHAMP *et alii*, 1979; CHAPPELLE *et alii*, 1992; STUYFZAND, 1999; BROWN *et alii*, 2000; GLYNN *et alii*, 2005; WALRAEVENS *et alii*, 2005).

### PROFILI IDROGEOLOGICI

Parte dei pozzi sono stati usati anche per disegnare due profili (1-2, 3-4) la cui traccia è nella figura 5. Alcuni di questi pozzi hanno raggiunto la profondità di 268 m attraversando le vulcaniti e raggiungendo il basamento di origine marina.

Il profilo 1-2 (Fig. 7) è diretto WNW-ESE e comprende i laghi di

low tritium level (<0.60 UT), indicating old water, and it is high in conductivity and  $\text{CO}_2$ .

It is seen that water from wells emerging at around the same height can have high or low conductivity and high or low  $\text{CO}_2$  contents depending on how deeply or superficially they circulate. Consequently, the assessment of the circuit followed by the water of a Monte Vulture spring must take into account: emergence height, levels of tritium, oxygen 18, and deuterium, the conductivity, and the  $\text{CO}_2$  content.

### THE WATER WELLS COMPOSITION

Figure 5 shows the location of 21 wells for mineral water, for irrigation, for industrial use, and for human consumption indicated with the letters A to Z. Table 7 shows the chemical-physical analyses on the water of 15 wells sampled at the end of January and beginning of May 2007 with the determination of 19 parameters.

The hydrochemical data with relative oscillations were: carbon dioxide between 42 and 1900 mg/L; conductivity between 254 and 2550  $\mu$ S/cm; pH between 5.98 and 7.58; chlorides between 12 and 102 mg/L; nitrates between 0.45 and 44.6 mg/L; sulphates between 6.2 and 351 mg/L; sodium between 26 and 398 mg/L; potassium between 14 and 101 mg/L; magnesium between 2.3 and 63 mg/L; calcium between 12 and 227 mg/L; alkalinity ( $\text{HCO}_3$ ) between 313 and 2537 mg/L; manganese between 0.5 and 870  $\mu$ g/L; iron between 0.68 and 8017  $\mu$ g/L. Fluorine, lithium and phosphates are present in small quantities and do not show such obvious variations as the other parameters. The reason that very different water is found in nearby wells depends on a number of factors. The most important are: depth of each well, carbon dioxide in the water, marine bedrock (Flysch) in the well, conditions of oxidation and reduction in the aquifer, and proximity to faults. The oxic and anoxic conditions determine the presence of nitrates, manganese, iron, and other elements including arsenic. The shallow wells or which draw water from the upper part of the aquifer, have high levels of nitrates derived from manure and chemical fertilizers dispersed in the fields, as shown in the unpublished isotopic investigations conducted by the authors in 2001 and using the ratio between  $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3(\text{‰})$  and  $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3(\text{‰})$ . Wells that draw water only from the deep part of the aquifer have negligible nitrate contents. The opposite is true for the contents of manganese, iron, and arsenic, which are concentrated in the deep reducing environment. This mechanism is well known and described in literature (BARCELONA *et alii*, 1991; CHAMP *et alii*, 1979; CHAPPELLE *et alii*, 1992; STUYFZAND, 1999; BROWN *et alii*, 2000; GLYNN *et alii*, 2005; WALRAEVENS *et alii*, 2005).

### HYDROGEOLOGICAL PROFILES

Some of the wells were also used to draw two profiles (1-2, 3-4) the traces of which are shown in Figure 5. A number of these wells go down to a depth of 268 m, passing through the volcanites and reaching the base of marine origin.

Profile 1-2 (Figure 7) runs WNW-ESE and includes the

CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

Well Date	CO <sub>2</sub> mg/L	Cond. µS cm <sup>-1</sup>	pH	°F	F mg/L	Li mg/L	PO <sub>4</sub> mg/L	Cl mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>4</sub> mg/L	SO <sub>4</sub> mg/L	Na mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Ca mg/L	HCO <sub>3</sub> mg/L	Mn µg/L	Fe µg/L
A 09/5/07	1780	2550	6.30	78.3	0.85	0.2	0.8	42.5	0.45	nr	nr	351.8	398.75	101.25	52.1	227.35	1683.6	204.85	2.49
C 09/5/07	1900	1600	5.98	67.3	0.75	0.18	nd	28.4	2.3	nr	nr	189.45	150	44	63.09	165.29	1146.8	486.6	8017
D 09/5/07	170	480	6.44	18.5	1.22	0.34	0.15	86	18.6	nr	nr	22	37.5	23	18.67	43.13	305	nr	nr
F 24/1/07	228	283	6.07	9.2	0.3	0.1	nd	102.2	35	nr	nr	10.1	26.4	18.7	3.9	16.9	345	17.3	2293
G 24/1/07	432	539	6.15	16	0.7	0.1	1.5	22	6.1	nr	nr	20.5	53.4	32.2	11.7	38.2	657	0.7	0.68
H 24/1/07	42	254	6.85	5.2	0.9	0.1	1.3	21	12.6	nr	nr	8.7	26.8	20.0	2.3	12.0	310	0.5	5.8
I 24/1/07	296	364	6.15	9.2	0.5	0.1	1.4	14	16.2	nr	nr	7.7	36.0	23.7	6.5	23.2	444	0.3	5.27
L 24/1/07	128	374	6.55	13	0.7	0.1	1.3	14	21.2	nr	nr	6.2	27.4	14.0	10.4	30.2	456	0.3	14.3
M 24/1/07	72	433	6.96	14	0.5	0.1	1.4	12	24.5	nr	nr	15.6	33.1	13.9	11.0	36.2	528	1.66	17.9
N 24/1/07	40	257	7.58	7.6	0.9	0.1	1.4	14	30.3	nr	nr	6.7	22.1	12.0	5.0	17.9	313	0.14	19.91
O 24/1/07	212	456	6.38	12	1.2	nr	1.6	18	7.2	nr	nr	11.7	48.4	25.9	8.6	29.7	556	7.31	5.71
P 24/1/07	1080	2080	6.35	85	1.2	0.2	nr	31	1.15	nr	nr	137	228	65	45	277	2537	870	5863
S 24/1/07	60	309	7.13	8	1.6	0.1	1.3	37	44.6	nr	nr	10.5	30.3	17.6	5.5	18.7	377	9.16	123
V 24/1/07	160	481	6.39	13	0.6	0.1	1.35	37	36	nr	nr	26	45.9	19.2	10.0	32.5	586	2.2	9.69
Z 24/1/07	380	956	6.35	16	0.8	nr	1.5	56	23.7	nr	nr	174	163	20.0	12.3	38.3	1190	17.8	0.93

Tab. 7 - Determinazioni fisico-chimiche delle acque dei pozzi controllati nel 2007. Per l'ubicazione si veda la figura 5. nr = non rilevabile - *Hydrochemical data for the water of the wells tested in 2007. For the locations see figure 5. nd = non detectable*

Monticchio, i pozzi C e D, per terminare con la faglia regionale NNW-SSE che mette a contatto le vulcaniti ed il Flysch. Il pozzo C, profondo 250 metri, ha raggiunto il basamento impermeabile (Flysch) sotto le vulcaniti, mentre il pozzo D, profondo 110 metri, si è fermato nelle vulcaniti. Questi due pozzi sono caratteristici per capire l'evoluzione geochimica delle acque sotterranee. Il pozzo C ha acqua più ricca di anidride carbonica (2000 mg/L) rispetto al pozzo D (500 mg/L); il primo pozzo infatti è più profondo del secondo. Anche la diversa conducibilità (1820 µS/cm rispetto a 440 µS/cm) è dovuta alla diversa profondità del pozzo. Il contenuto di nitrati è di <0,3 mg/L nel pozzo C e di 1,9 mg/L nel pozzo D; il loro basso contenuto di nitrati è dovuto all'ambiente riducente che soggiace a quello ossidante, tipico invece delle acque più superficiali che in alcuni pozzi hanno valori fino a 44 mg/L. L'acqua del pozzo C proviene da un ambiente più profondo e riducente perché anche più ricco di ferro, manganese ed arsenico. Il livello statico è uguale nei due pozzi perché qui le falde sono confinate ed in pressione; i livelli più acquiferi sono composti da tufi ghiaiosi compresi fra livelli di tufi a fine granulometria.

Il profilo 3-4 (Fig. 8) conferma la presenza della faglia regionale. Il profilo contiene il pozzo B già descritto da FUGANTI *et alii* (1995) con il nome di San Vito. In detto pozzo vi è acqua oligominerale nella parte alta della falda; in profondità l'acqua è ben mineralizzata e ricca di anidride carbonica.

**TEMPERATURE DELLE ACQUE DEI POZZI**

Sono state controllate mensilmente le temperature dei pozzi A, C, D, G, I, O, V, Z fra gennaio 2006 ed il marzo 2007 confrontate con le temperature dell'aria presso il pozzo (Fig. 5). Le temperature delle acque oscillano fra 14 e 21,7°C mentre le temperature dell'aria variano fra 3°C in gennaio e 26-31°C in estate. Il pozzo Z ha temperature

Monticchio lakes, wells C and D, ending with the regional fault line NNW-SSE, which brings the volcanites and Flysch into contact. Well C, 250 metres deep, reaches the impermeable base (Flysch) under the volcanites, while well D, 110 metres deep, ends in the volcanites. These two wells offer an understanding of the geochemical evolution of the groundwater. The water of the deeper well C has higher carbon dioxide contents (2000 mg/L) compared to the water of the shallower well D (500 mg/L). The difference in water conductivity (1820 µS/cm compared to 440 µS/cm) is also caused by the different depths of the wells. The nitrate content is <0.3 mg/l in well C water and 1.9 mg/L in well D water, and these low nitrate contents are due to the reducing environment which predominates over the oxidizing environment typical of surface water, with the water of other wells having values up to 44 mg/L. The water of well C comes from a deeper and more reducing environment because it is also higher in iron, manganese, and arsenic. The static level is equal in the two wells because the aquifers are confined and under pressure. The more aquiferous layers consist of gravely tuffs contained between layers of fine grained tuffs.

Profile 3-4 (Figure 8) confirms the presence of the regional fault. The profile contains well B already described by FUGANTI *et alii*(1995) with the name San Vito. This well has oligomineral water in the upper part of the aquifer while at depth the water has high conductivity and is high in carbon dioxide.

**TEMPERATURE OF THE WATER IN THE DIFFERENT WELLS**

Monthly checks were made on the water temperatures of wells A, C, D, G, I, O, V, Z between January 2006 and March 2007 compared with the air temperature at the wells (Fig. 5). The well water temperatures oscillate between 14 and 21.7°C while the air temperature varies between 3°C in January and 26-31°C in summer. Well Z had a

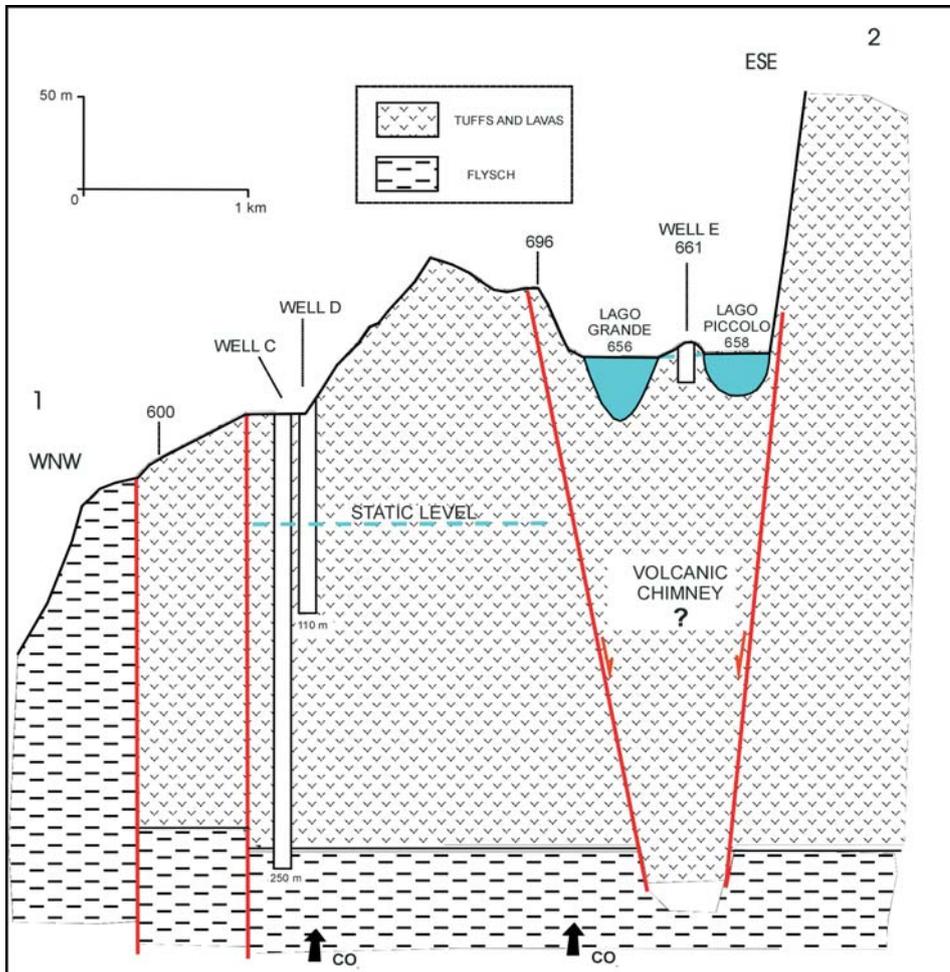


Fig. 7 - Profilo 1-2 comprendente i laghi di Monticchio, i pozzi C e D e le faglie  
 - Profile 1-2 including the Monticchio lakes, wells C and D, and the faults

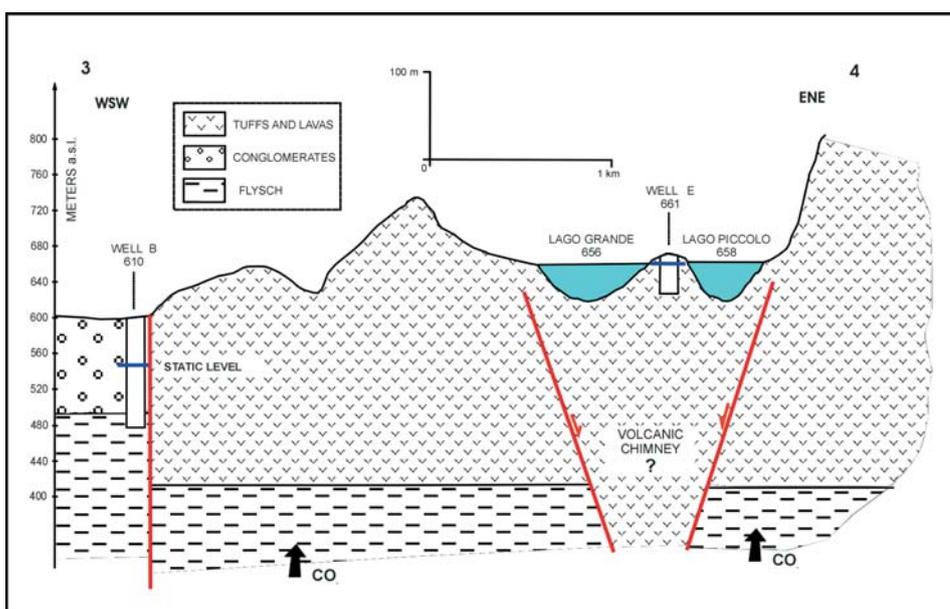


Fig. 8 - Profilo 3-4 che comprende i laghi di Monticchio ed il contatto per faglia fra tuffi e lave con i conglomerati ed il Flysch  
 - Profile 3-4 including the Monticchio lakes and the contact between the tuffs and lavas with conglomerates and Flysch, caused by the faults

di 14,8°C in febbraio e marzo 2006; negli altri mesi di 15,2-15,3°C. Il pozzo V ha temperature più elevate (14,5°C) in inverno e meno in estate (14,2°C). Il pozzo O ha temperature di 16,8-16,9°C nel 2007, mentre nel 2006 è sui 14,3°C in inverno e sui 15°C nei restanti mesi. Il pozzo I ha temperature minori (14,1°C) nel 2007 e maggiori nel 2006 (15,1°C). Il pozzo G ha temperature di 17-17,3°C nel 2007 e sui 14,1-14,6°C nel 2006. Il pozzo A ha temperature oscillanti fra 15,4 e 16°C nel 2006-2007. Il pozzo D ha temperature oscillanti fra 16 e 16,5°C. Il pozzo C ha le temperature più elevate perché è il più profondo: oscillano fra 20,5 e 21,7°C. Le elevate temperature delle acque dei pozzi, la mancanza di legami con le stagioni e le temperature dell'aria, fanno ritenere che le acque considerate hanno un circuito profondo.

### CONTENUTI DI CAFFEINA NELLE ACQUE DI POZZI, SORGENTI E CORSI D'ACQUA

Ritrovare caffeina nelle acque sotterranee e superficiali significa che esse sono state contaminate da fluidi provenienti da fognatura umana in quanto solo gli umani bevono caffè. Il controllo del contenuto della caffeina nelle acque con interessi ambientali soggette a protezione si è sviluppato da pochi anni in quanto ora si possono determinare con il metodo MI-113 HPL C/uv-DAD contenuti fino a frazione di microgrammo/litro ( $\mu\text{g/L}$ ). Il limite diventa strumentale quando il contenuto è inferiore a circa 0,010  $\mu\text{g/L}$ ; con tale valore si accetta che nelle acque non vi sia caffeina. Vi è al riguardo varia letteratura, fra cui BARONE *et alii* (1996), PROESCH *et alii* (1998), SEILER *et alii* (1999), HEBERER *et alii* (2002), BAZZOLI *et alii* (2005). La figura 5 mostra l'ubicazione dei pozzi, delle sorgenti e del corso d'acqua con acqua perenne (Fosso Fontanelle) che sono stati campionati il 10 ottobre 2006. Sono stati controllati 10 pozzi di interesse quali O, I, G, P, C, D, U, T, R, Q e cinque sorgenti (ls, ca, fm, po, afd). Sono state inoltre campionate le acque del Fosso Fontanelle in tre punti. Il campione più settentrionale (F1) è appena a valle dell'abitato di Rionero; il campionamento intermedio è stato fatto sulle acque che contengono anche i fluidi usciti dal depuratore (F2); infine il campionamento più meridionale è stato attuato presso il ponte che attraversa il rivo stesso (F3). Il maggior centro abitato della zona è la città di Rionero in Vulture che si estende sul vulcano fino a circa 700 m s.l.m. A valle di Rionero vi sono insediamenti sparsi ed il paese di Atella. Le sorgenti ls, ca, fm, po sono a valle di Rionero, mentre le sorgenti fo e afd sono a monte e nel bosco. I pozzi C e D sono nel bacino occidentale lontano da centri abitati, mentre tutti gli altri pozzi sono nel bacino meridionale a valle di Rionero. Anche il Fosso Fontanelle scende da Rionero.

La tabella 8 mostra i risultati delle analisi sui contenuti di caffeina presenti nelle acque campionate. La caffeina risulta presente solo nelle acque del Fosso Fontanelle (da 30,2 a 45,14  $\mu\text{g/L}$ ) che si origina a Rionero. Le altre acque non contengono caffeina e ciò indica il buon livello di qualità e di protezione naturale delle acque sotterranee della porzione del Monte Vulture esaminata.

water temperature of 14.8°C in February and March 2006 and in the other months 15.2-15.3°C. The water in well V had a higher temperature (14.5°C) in winter and lower in summer (14.2°C). Well O had a water temperature of 16.8-16.9°C in 2007, while in 2006 it was 14.3°C in winter and 15°C in the other months. Well I had a lower water temperature (14.1°C) in 2007 and higher in 2006 (15.1°C). Well G had a water temperature of 17-17.3°C in 2007 and 14.1-14.6°C in 2006. Well A had a water temperature oscillating between 15.4 and 16°C in 2006-2007. Well D had a water temperature oscillating between 16 and 16.5°C. Well C had the highest water temperatures because it is the deepest, oscillating between 20.5 and 21.7°C. The high temperatures of the water in the wells and the lack of coherence with seasonal air temperatures, lead to the conclusion that all these water have deep circulation circuits.

### CAFFEINE CONTENT IN THE WELL, SPRING, AND RIVER WATER

Finding caffeine in underground and surface water indicates that these have been contaminated with fluids from human sewage, because only humans drink coffee. The test for the caffeine content in water of environmental interest and subject to protection has improved in recent years so that now it is possible to determine contents using the MI-113 HPL C/uv-DAD method down to fractions of a microgram/litre ( $\mu\text{g/L}$ ). The instrumental limit is reached when the content is below about 0.010  $\mu\text{g/L}$ . At this level it is accepted that there is no caffeine in the water. There is various literature in this respect, including BARONE *et alii* (1996); PROESCH *et alii* (1998); SEILER *et alii* (1999); HEBERER *et alii* (2002); BAZZOLI *et alii* (2005). Figure 5 shows the location of the wells, springs, and perennial river (Fosso Fontanelle) which were sampled on 10 October 2006. Checks were conducted on the water of the 10 wells of interest O, I, G, P, C, D, U, T, R, Q and five springs (ls, ca, fm, po, afd). The water of Fosso Fontanelle was also sampled at three points. The most northern sample (F1) was just downstream of the town Rionero. The intermediate sample was taken from water coming from sewerage treatment plant (F2). The most southern sample was taken near the bridge over the river (F3). The main urban centre of the zone is the city of Rionero in Vulture which extends up the volcano up to about 700 m a.s.l. Downstream of Rionero there are scattered settlements and the village of Atella. The springs ls, ca, fm, po are downstream of Rionero, while the springs fo and afd are upstream and in the forest. The springs C and D are in the western basin, far from the urban centres, while all the other wells are in the southern basin downstream of Rionero. The Fosso Fontanelle also descends from Rionero.

Table 8 shows the results of the analyses of caffeine content in the water samples. Caffeine was found only in Fosso Fontanelle (from 30.2 to 45.14  $\mu\text{g/L}$ ) originating from Rionero. The other samples did not contain caffeine and this indicates a good level of quality and natural protection of the groundwater in the section of Monte Vulture studied.

## COMPOSIZIONE DEI GAS DISCIOLTI NELLE ACQUE DEI POZZI

I gas sono stati determinati qualitativamente nelle acque dei pozzi O, I, G, P (vol- %), mentre nei pozzi P e C sono stati determinati quantitativamente (Nml/kg) mediante gascromatografia GC-WLD. Nel primo caso sono stati determinati: elio, neon, argon, ossigeno, azoto, anidride carbonica, metano. Nel secondo caso sono stati determinati: elio, argon, ossigeno, azoto, anidride carbonica, metano, etano, propano, butano. I valori sono nella tabella 9.

Risulta che l'anidride carbonica è dominante con oltre l'80% nella frazione gassosa. I contenuti di azoto ed ossigeno nelle acque dei pozzi O, I, G sono da riferire a gas atmosferici probabilmente contenuti nella componente recente delle acque. I contenuti di metano sono riconducibili all'ambiente fortemente riducente dove sono le acque dei pozzi P e C, con un contenuto di ossigeno irrilevante. Per approfondire l'origine dei gas ed in particolare dell'anidride carbonica sono stati determinati i valori dell'isotopo carbonio 13 nella anidride carbonica presente nei pozzi O e P ( $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ ). I valori espressi in ‰ sono rispettivamente di -5,9 e -4,4.

Il contenuto di anidride carbonica varia; è più abbondante nei pozzi profondi P e C vicini alle faglie. Riportiamo a tal proposito la tabella 10 che mostra il confronto fra i vari pozzi ed il contenuto di anidride carbonica espresso in mmol/L.

## ANALISI ISOTOPICHE NELLE ACQUE DEI POZZI PROFONDI

Allo scopo di meglio conoscere le modalità della circolazione idrica sotterranea nel monte Vulture sono stati eseguiti nell'ottobre 2006 esami isotopici sulle acque di 6 pozzi (P, O, I, G, C, D) di figura 5. I primi 5 pozzi sono stati scelti perché sono fra i più profondi con acque più antiche di circa 50 anni, in base al contenuto di trizio; il pozzo D contiene un po' di trizio, è meno profondo ed ha un'acqua poco mineralizzata, avendo certamente una componente più recente di 50 anni. La tabella 11 riporta i risultati.

## CONTENUTI DI OSSIGENO 18 E DI DEUTERIO

Il diagramma della figura 9 riporta i valori dell'ossigeno 18 e del deuterio presenti in campioni di acqua prelevati dai pozzi O, I, G, P, C, D e dalla sorgente fm nell'autunno 2006.

Risulta che tutte le acque hanno un'origine piovana e che le acque del pozzo D e della sorgente fm hanno un bacino di alimentazione a quote nettamente meno elevate degli altri pozzi. I pozzi O, I, G, P, C sono posizionati nella fascia fra -9 e -9,5‰ per l'ossigeno 18, mentre il pozzo D e la sorgente fm sono posizionati su valori attorno a -8,2‰ sempre per l'ossigeno 18. Vi è quindi una differenza in valori di ossigeno 18 di circa -1,2‰. Confrontando le varie posizioni dell'ossigeno 18, si può affermare che le piogge che alimentano il pozzo D e la sorgente fm sono cadute a quote inferiori rispetto agli altri pozzi di circa 600 metri in quota. La sorgente fm è a circa 500 m s.l.m.; il pozzo D è a circa 650 m s.l.m. Entrambi hanno le maggiori percen-

## COMPOSITION OF THE GASSES DISSOLVED IN THE WELL WATER

The gas contents were determined qualitatively in the water of wells O, I, G, P (vol - %), while in the water of wells P and C they were determined quantitatively (Nml/Kg) using Gaschromatography GC-WLD. In the first case: helium, neon, argon, oxygen, nitrogen, carbon dioxide, and methane were measured. In the second case: helium, argon, oxygen, nitrogen, carbon dioxide, methane, ethane, propane, and butane contents were determined. The levels are shown in Table 9.

As can be seen, carbon dioxide is dominant with over 80% of the gaseous fraction. The contents of nitrogen and oxygen in the waters of wells O, I, G originate from atmospheric gasses probably contained in the recent water component. The methane contents originate from the strongly reducing environment where wells P and C are located, with a negligible oxygen content. The carbon 13 isotope contents in the carbon dioxide is present in the wells O and P ( $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ ). The values expressed in ‰ are respectively -5.9 and -4.4.

The carbon dioxide content varies and is more abundant in the water of the deep wells P and C close to the faults. In this respect Table 10 shows a comparison between the water of various wells with the carbon dioxide content expressed in mmol/L.

## ISOTOPIC ANALYSES OF THE WATER OF THE DEEP WELLS

In October 2006 isotopic analyses were conducted on the waters of 6 wells P, O, I, G, C, D (Table 11, Figure 5). The first 5 wells were chosen because they are among the deepest with water older than about 50 years on the basis of the tritium contents. Well D water contains some tritium, is less deep, has low water conductivity, and certainly includes a component more recent than 50 years. Table 11 shows the results.

## CONTENTS OF OXYGEN 18 AND DEUTERIUM

The diagram in Figure 9 shows the oxygen 18 and deuterium levels in the water samples from wells O, I, G, P, C, D and from spring fm in autumn 2006.

All the water originates from precipitation and the water in well D and spring fm has a collection basin of clearly lower altitude than the other wells. The water of wells O, I, G, P, C are located in the band between -9 and -9.5‰ for oxygen 18, while well D and spring fm are positioned at levels around -8.2‰ for oxygen 18. There is thus a difference in oxygen 18 levels of about -1.2‰. Comparing the various oxygen 18 positions, it can be seen that the precipitation supplying well D and spring fm fell at lower altitudes compared with the other wells by about 600 metres. Spring fm is at about 500 m a.s.l.; well D is at about 650 m a.s.l. Both have the highest percentage of recent water. If a further height of about 600 metres is

CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

Springs and wells		Caffeine
Spring - <i>ls</i>	µg/L	<0.010
Spring - <i>ca</i>	µg/L	<0.010
Spring - <i>fm</i>	µg/L	<0.010
Spring - <i>fo</i>	µg/L	<0.010
Spring - <i>po</i>	µg/L	<0.010
Spring - <i>afd</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>O</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>I</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>G</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>P</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>C</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>D</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>U</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>T</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>R</i>	µg/L	<0.010
Well - <i>Q</i>	µg/L	<0.010
Fosso Fontanelle - F1	µg/L	45.140
Fosso Fontanelle - F2	µg/L	42.200
Fosso Fontanelle - F3	µg/L	30.200

Tab. 8 - Determinazione del contenuto di caffeina in acque di sorgente, di pozzi e del Fosso Fontanelle. Il valore di 0.010 µg/L è il limite di detezione. La caffeina è presente solo nelle acque del Fosso Fontanelle che scende da Rionero. Campionamento del 17/10/2006. Per l'ubicazione si veda la figura 5. Sorgenti, Springs: *ls*=La Serra; *ca*=Cacarella; *fm*=Fontana Marsico; *fo*=Forbici; *po*=Pompei; *afd*=afsd  
 - *Determination of caffeine contents in the water of springs, wells, and the Fosso Fontanelle river. The level 0.010 µg/L is the detection limit. Caffeine is present only in the water of Fosso Fontanelle which descends from Rionero. Sampling on 17/10/2006. For locations see figure 5. Sorgenti, Springs: ls=La Serra; ca=Cacarella; fm=Fontana Marsico; fo=Forbici; po=Pompei; afd=afsd*

Qualitative analyses (a)					Quantitative analyses (b)		
Well	D	E	F	C	Well	C	G
Helium vol-%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	Helium Nml/kg	<0.01	<0.01
Neon vol-%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	Argon Nml/kg	0.38	0.22
Argon vol-%	0.30	0.28	0.16	0.03	Oxygen Nml/kg	0.7	<0.01
Oxygen vol-%	3.6	6.5	3.5	0.01	Nitrogen Nml/kg	17.4	10.3
Nitrogen vol-%	12.1	12.0	8.2	1.15	Carbon Dioxide Nml/kg	1875	2170
Carbon dioxide vol-%	83.0	81.0	88.1	98.8	Methane Nml/kg	0.087	0.11
Methane vol-%	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	Ethane Nml/kg	<0.001	<0.001
					Propane Nml/kg	<0.001	<0.001
					Butane Nml/kg	<0.001	<0.001

Tab. 9 - Analisi qualitativa dei gas dei pozzi D, E, F, C (a) e analisi quantitativa dei gas dei pozzi C e G (b). Per l'ubicazione si veda la fig. 5  
 - *Qualitative analyses of gasses in the water of wells D, E, F, C (a) and quantitative analyses of gasses in the water of wells C and G (b). For locations see fig. 5*

Tab. 10 - Confronti fra pozzi e contenuti di anidride carbonica. Per l'ubicazione si veda la fig. 5  
 - *Comparison between wells and water carbon dioxide contents. For locations see fig. 5*

Well		O	I	G	P	C	D
Deep	m	148	130	208	155	250	110
Deep of filter section	m	125-140	100-125	170-205	125-155	160-180	70-100
Basic capacity (pH 8.2)	mmol/L	8.4	8.4	15.0	29.5	37.5	5.3
CO <sub>2</sub>	mmol/L	4.8	6.7	9.9	24.5	45.4	12.5

Tab. 11 - Determinazioni fisico-chimiche ed isotopiche eseguite sulle acque dei pozzi O, I, G, P, C, D prelevate nell'ottobre 2006. Per l'ubicazione si veda la figura 5. nd=non determinato  
 - *Physical-chemical and isotopic determinations conducted on the water of wells O, I, G, P, C, D sampled in October 2006. For locations see figure 5. nd=non detected*

Well		O	I	G	P	C	D
Date		17/10/06	17/10/06	18/10/06	17/10/06	18/10/06	18/10/06
Temperature	°C	16.6	13.9	17.8	18.6	20.9	16.0
C.E.S at 25 °C	µS/cm	507	402	587	2370	1820	565
pH		6.0	5.9	5.82	6.14	5.97	6.24
Dissolved oxygen	mg/L	5.8	6.95	4.75	0.65	0.75	2.33
Acid capacity (pH 4.3)	mmol/L	4.2	3.0	4.3	25.6	15.8	4.2
Basid capacity (pH 8.2)	mmol/L	8.4	8.4	15	29.5	37.5	5.3
Oxygen 18 (δ <sup>18</sup> O)	‰	-9.42	-9.14	-9.34	-9.52	-9.17	-8.10
Deuterium (δ <sup>2</sup> H)	‰	-57.9	-56.6	-57.2	-58.5	-56.2	-8.10
Deuterium excess	‰	17.5	16.5	17.5	17.7	17.2	14.4
Tritium (³H)	UT	0.6	0.6	<0.6	<0.6	<0.6	1.2±0.4
Krypton 85 <sup>85</sup> Kr	dpm/L	0.4±0.2	0.7	No krypton	No krypton	No krypton	nd
Carbon 13 <sup>13</sup> C-DIC	‰	-3.13	-1.94	-2.96	-1.45	-1.56	-5.1
Carbon 14 <sup>14</sup> C-DIC	‰ pmC	4.8	6.8	2.1	<2	<2	12.8
Carbon 13 (δ <sup>13</sup> C-CO <sub>2</sub> )	‰	-5.9	nd	nd	-4.4	nd	nd
<sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He		7.9E-6	nd	nd	8.19E-6	7.84E-6	nd
<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar		nd	nd	nd	297.2±2.9	294.0±2.8	nd

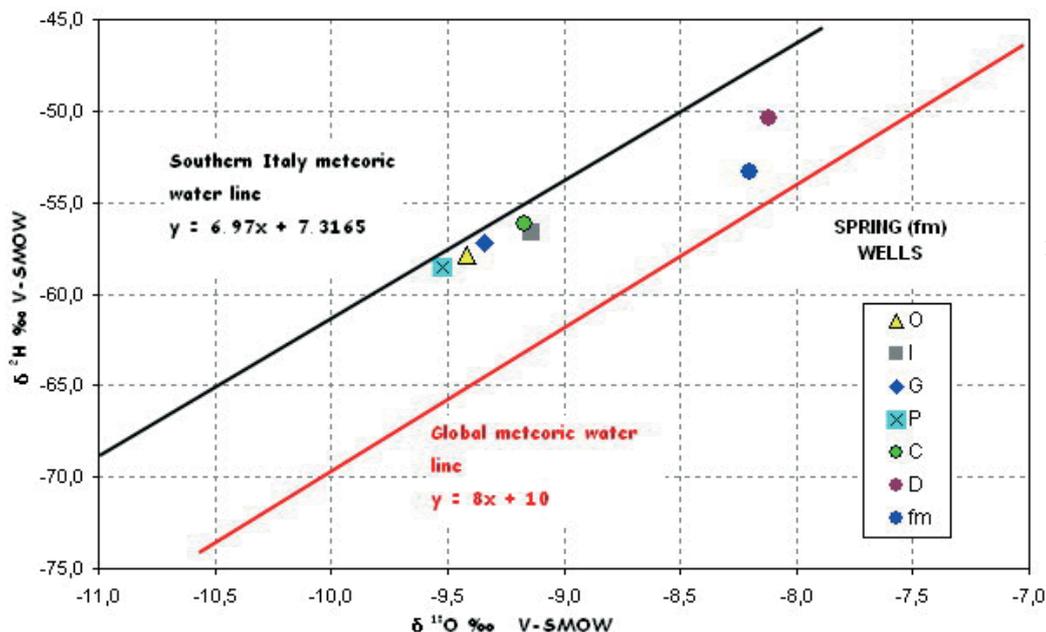


Fig. 9 - Valori isotopici di acque della sorgente fm e di alcuni pozzi presenti in figura 5 e prelevate nell'autunno 2006  
 - Isotopic data of the water of the spring fm and of the wells given in figure 5. The water was sampled in Autumn 2006

tuali di acqua recente. Se a tali quote aggiungiamo altri 600 metri circa siamo nella parte alta del Monte Vulture usando il criterio di LONGINELLI *et alii* (2003). L'eccesso di deuterio è normalmente connesso con le piogge. I suoi valori sono simili per i pozzi profondi O, I, G, P, C; è diverso il valore nel pozzo D.

Le acque piovane cadute nella parte alta del vulcano devono fare un circuito lungo e profondo prima di giungere nelle zone poste a basse quote dove vi sono i pozzi studiati. Il circuito profondo implica tanto tempo con una circolazione a pistone dove le acque recenti spingono quelle più antiche. Ricordiamo che sul Monte Vulture gli strati di tufi e lave sono radiali rispetto alla sommità e tale è anche la circolazione idrica sotterranea.

### CONTENUTI DI TRIZIO

Il trizio serve per datare le acque con età fino a 50 anni circa secondo KASS (1998) e CLARK *et alii* (1999). Nel 2006 solo il pozzo D ha un contenuto di trizio misurabile ( $1,2 \pm 0,4$  UT). Le acque degli altri pozzi esaminati (O, I, G, P, C) hanno un contenuto di trizio attorno o sotto il limite di rilevabilità (0,6 UT) e sono quindi più vecchie di 50 anni circa. Solo il pozzo D ha una componente di acqua recente valutabile attorno al 12%. Fra il 2001 ed il 2002 è stato misurato il trizio anche nei pozzi G (0,7 UT), I (<0,6 UT), O (<0,6 UT), Z (4 UT), U (<0,6 UT). FUGANTI *et alii* (1994, 1995) riportano che i pozzi profondi dell'area Gaudianello, situata appena a nord della mappa di figura 5, hanno valori di trizio minori di 1 UT. I dati indicano che la maggior parte dei pozzi profondi sono composti da acque che hanno subito un percorso sotterraneo di oltre 50 anni.

### CONTENUTI DI KRYPTON 85

L'isotopo 85 del gas nobile krypton (<sup>85</sup>Kr) ha un tempo di dimez-

added to these heights this represents the upper reaches of Monte Vulture, applying the criterion of LONGINELLI *et alii* (2003). Deuterium excess is normally associated with rainfall. It has similar levels in the water of wells O, I, G, P, C, but is different in the water of well D.

The precipitation falling on the upper reaches of the volcano must follow a long and deep circuit before reaching the collection zone at low altitude where the studied wells are located. A deep circuit implies extended times and consequently with the more recent water pushing the older water by a piston flow action. As already noted, the layers of tuff and lava are radial relative to the summit of Monte Vulture, and so is the groundwater circulation.

### TRITIUM CONTENT

The tritium content serves to date water aged up to about 50 years, according to KASS (1998) and CLARK *et alii* (1999). In 2006 only the water of well D had a measurable tritium content ( $1.2 \pm 0.4$  UT). The water from the other wells examined (O, I, G, P, C) had levels of tritium around or below the detection limit (0.6 UT) indicating that they are older than about 50 years. Only well D contains a component of recent water, estimable at around 12%. In the years 2001 to 2002 measurements were made of tritium levels in the water of wells G (0.7 UT), I (<0.6 UT), O (<0.6 UT), Z (4 UT), U (<0.6 UT). FUGANTI *et alii* (1994, 1995) report that the water of the deep wells in the Gaudianello area, located just north of the map in Figure 5, have tritium levels below 1 UT. The figures indicate that the majority of the deep wells contain water that has followed an underground course for over 50 years.

### KRYPTON 85 CONTENT

The isotope 85 of the inert gas krypton (<sup>85</sup>Kr) has a half-life of

zamento di 10,76 anni; è originato dalle centrali nucleari ed immesso nell'atmosfera. Cade sulla terra con le piogge. La concentrazione di questo gas è continuamente aumentata con lo sviluppo e la diffusione delle dette centrali a partire dal 1950 circa. Attualmente la concentrazione di questo isotopo nell'atmosfera, nella pioggia e nell'acqua infiltrata è di circa 100 dpm/ml in accordo con KASS (1998) e CLARK *et alii* (1999). Il contenuto di krypton 85 permette quindi di datare le acque recenti (più giovani del 1950 circa). Il contenuto di krypton 85 risulta in tracce nei pozzi O ( $0,4 \pm 0,2$  dpm/mL) e I ( $0,7 \pm 0,3$  dpm/mL), cioè nei pozzi con un valore di trizio superiore al limite di rilevabilità (0,6 UT). Le acque di questi due pozzi sono in prevalenza antiche. La determinazione del krypton 85 nei pozzi G, P, D non è stata attuata perché il loro contenuto in trizio indica assenza di acqua recente posteriore al 1950 circa (Tab. 11). Il krypton 85 è stato determinato con rilevatore proporzionale misuratore del decadimento per minuto.

### CONTENUTI DI CARBONIO 14 E DI CARBONIO 13

Nelle acque sotterranee la composizione isotopica del carbonio inorganico disciolto (DIC) contempla 2 aspetti. Una componente è il carbonio 14 che risulta dalla decomposizione delle piante. Una seconda componente, in genere senza contenuti di carbonio 14, viene fornita dalla dissoluzione dei carbonati che diluiscono il carbonio 14 fornito dalle piante.

Ci troviamo quindi di fronte a due sistemi; uno chiamato "sistema chiuso" senza modifiche; il secondo chiamato "sistema aperto" che è caratterizzato dal continuo scambio fra acqua e roccia del sottosuolo. La realtà idrogeologica è quindi condizionata dai due sistemi.

Il grado di apertura del sistema complessivo si deduce dal contenuto dell'isotopo carbonio 13 nel DIC. Questo rende necessaria la determinazione del carbonio 13 nel DIC. In un sistema aperto il carbonio 13 è controllato prevalentemente dal pH mentre il carbonio 14 rimane stabile quando la percentuale di carbonio moderno è di circa 100 pmC. In un sistema chiuso il carbonio 13 è controllato dall'apporto del DIC nel suolo (da -12 a -22 ‰) e talora dall'apporto dei carbonati delle rocce. La complessità del sistema comporta la necessità di usare opportuni modelli di stima dell'età, elaborati da vari Autori come PEARSON (1965), PEARSON *et alii* (1970), VOGEL (1970), TAMERS (1975) e, più recentemente, da FONTES *et alii* (1979). Questi due ultimi Autori evidenziano anche i limiti di validità dei modelli, ricordando per esempio che l'abbondanza di anidride carbonica nelle acque non permette di valutare in dettaglio l'età delle acque. L'argomento dei modelli è ripreso da KASS (1998) e da CLARK *et alii* (1999).

Le acque esaminate sono ricche di anidride carbonica e pertanto rimane il commento delle misure del carbonio 14 e del carbonio 13 senza il dettaglio dell'età. Dalla tabella 11 si può dire, in base ai contenuti di carbonio 14, che le acque dei pozzi O, I, G hanno contenuti della componente recente (più giovane di 50 anni circa) rispettivamente del 4,8%, del 6,8% e del 2,1%. I pozzi P e C non hanno acque

10.76 years. It originates from nuclear power stations and is released into the atmosphere, falling to earth in rain. The concentration of this gas has constantly increased with the development and spread of nuclear power stations from about 1950 onwards. Currently the concentration of this isotope in the atmosphere, in rain, and in infiltrated water is about 100 dpm/ml according to KASS (1998) and CLARK *et alii* (1999). The content of krypton 85 thus makes it possible to date recent water (more recent than about 1950). Traces of krypton 85 were found in the water of wells O ( $0.4 \pm 0.2$  dpm/ml) and I ( $0.7 \pm 0.3$  dpm/ml), these being the wells with a water tritium content above the detection threshold (0.6 UT). The water of these two wells are prevalently old. Krypton 85 measurements were not taken for the water of wells G, P, D because their tritium contents indicated the absence of water more recent than about 1950 (Tab. 11). Krypton 85 was determined with a low-level proportional counter, measured in dpm/mL (nucleus pro min pro mL Krypton)  $60 \text{ dpm/mL} = 1 \text{ Bq/mL}$ .

### CARBON 14 AND CARBON 13 CONTENTS

In groundwater the isotopic composition of dissolved inorganic carbon (DIC) includes 2 components. One is carbon 14 which originates from the decomposition of plants. The second component, generally without carbon 14 content, originates from the dissolution of the carbonates that dilute the carbon 14 originating from plants.

Consequently two systems are involved, one considered a "closed system" without modifications, the second considered as an "open system" and characterized by continuous exchanges between water and underground rock. The hydrogeological context is thus conditioned by two systems.

The degree of openness of the overall system is deduced from the content of the carbon 13 isotope in the DIC, which thus needs to be established. In an open system the carbon 13 is mainly controlled by the pH while the carbon 14 remains stable when the percentage of modern carbon is about 100 pmC. In a closed system the carbon 13 is controlled by the quantity of DIC in the ground (from -12 to -22 ‰) and sometimes by the amount of carbonates in the rocks. The complexity of the system makes it necessary to adopt models for estimating the age, developed by various authors including PEARSON (1965), PEARSON *et alii* (1970), VOGEL (1970), TAMERS (1975), and more recently FONTES *et alii* (1979). The latter authors also underline the limits of accuracy of the models, noting for example that an abundance of carbon dioxide in water does not permit a detailed assessment of the age of the water. The issue of the models was discussed again by KASS (1998) and by CLARK *et alii* (1999).

The water samples studied were high in carbon dioxide and so the measurements of carbon 14 and carbon 13 are given without an age. From Table 11 it can be said, on the basis of the carbon 14 content, that the water of wells O, I, G have components of recent water (less than about 50 years) respectively of 4.8%, 6.8%, and 2.1%. Wells P and C do not contain recent water, while well D has a percentage of recent water of 12.8% as also shown by the tritium con-

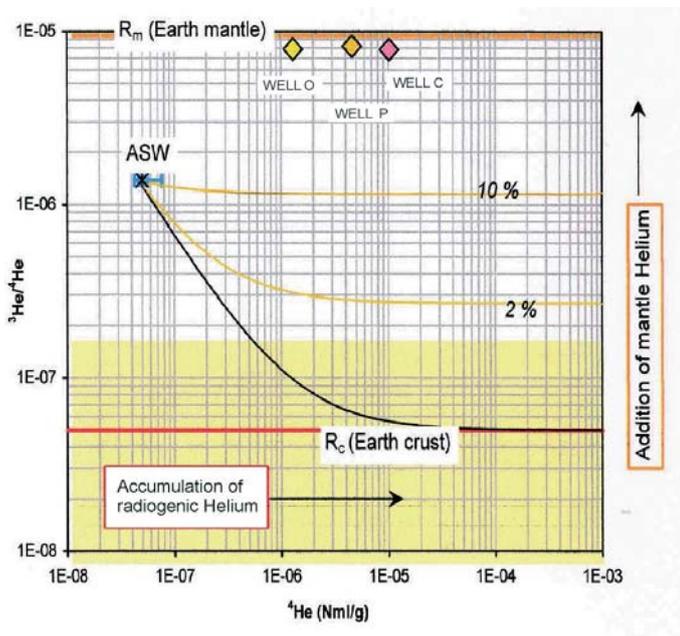


Fig.10 - Diagramma che mostra la relazione fra il contenuto di elio 4 ( ${}^4\text{He}$ ) ed il rapporto elio3/elio4 ( ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ) nell'acqua dei pozzi O, P e C. Il valore ASW (Air Saturated Water) è quello dell'acqua sotterranea in equilibrio con l'atmosfera. La fascia gialla caratterizza il rapporto elio3/elio4 nella crosta terrestre. Il rapporto tipico della crosta è  $5 \times 10^{-8}$  mentre quello tipico del mantello è  $1,1 \times 10^{-5}$ . I pozzi O, P, C hanno valori che si avvicinano a quelli del mantello, ma non tali da far ritenere che siano stati per molto tempo influenzati dal mantello stesso

- Diagram giving the relation between the helium 4 ( ${}^4\text{He}$ ) and the helium3/helium4 ( ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ) ratio in the water of the wells O, P, C. The ASW (Air Saturated Water) figure is that of groundwater in equilibrium with the atmosphere. The yellow band characterizes the helium3/helium4 ratio in the crust. The typical ratio in the crust is  $5 \times 10^{-8}$  that of the mantle is  $1.1 \times 10^{-5}$ . The wells O, P, C have levels that approach that of the mantle but not to the extent to suggest that the water has been influenced over long periods by the mantle

recenti, mentre il pozzo D ha una percentuale di acqua recente del 12,8% come risulta anche dal contenuto di trizio. Il carbonio 13 in DIC è stato determinato con spettrometria di massa IRMS, mentre il carbonio 14 in DIC è stato determinato con la spettrometria LSC.

#### RAPPORTI FRA GLI ISOTOPI ELIO 3 ED ELIO 4

Il rapporto isotopico si esprime come  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ; esso è nell'atmosfera attorno a  $1,4 \times 10^{-6}$ . Il detto rapporto nelle acque vecchie che prelevano l'elio dalla litosfera è sempre inferiore a quello presente nelle acque recenti che sono a contatto con l'atmosfera. Il contenuto di elio e del rapporto fra elio 3 ed elio 4 è maggiore nelle acque vecchie per la maggior permanenza nelle profondità geologiche della crosta terrestre. La situazione locale è descritta dalla figura 10. Il contenuto di elio nelle acque dei pozzi O, P, C varia fra  $1,29 \times 10^{-6}$  e  $1,02 \times 10^{-5}$  Nml/g, mentre l'equilibrio con l'atmosfera è di  $4,6 \times 10^{-8}$  Nml/g a  $10^\circ\text{C}$ . Il rapporto fra elio 3 ed elio 4 nelle acque considerate è fra  $8,2 \times 10^{-6}$  e  $7,8 \times 10^{-6}$ . Ciò indica che le acque dei detti pozzi sono vecchie ma non sufficientemente per poter accumulare completamente l'elio proveniente dal mantello. I rapporti fra elio 3 e elio 4 sono stati determinati mediante spettrometria di massa dopo separazione criogenica.

#### RAPPORTI FRA GLI ISOTOPI ARGON 40 ED ARGON 36

Il rapporto isotopico si esprime come  ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ ; esso è  $297,2 \pm 2,6$  nelle acque del pozzo P e  $294,0 \pm 2,8$  nelle acque del pozzo C. Il valore del rapporto nell'atmosfera è di 295,5. Elevati valori del rapporto fra argon 40 ed argon 36 derivano dal decadimento radioattivo del potassio 40 ( ${}^{40}\text{K}$ ) che è stato osservato nelle acque di lunga permanenza nel sottosuolo oltre i 10000 anni circa. Nelle acque dei pozzi P e C non sono presenti elevati valori del rapporto argon 40 ed argon 36. Si può dedurre che le dette acque sono più giovani di 10000 anni circa, ma

tent. Carbon-13 in DIC was determined with isotope ratio mass spectrometry LSC, related to VPDB-Std.  $\pm 0.3\%$ ; Carbon-14 in DIC was determined with fluid scintillation spectrometry, measured in %-modern,  $100\%-\text{modern} = 0.226$  Bq/g Carbon.

#### RATIO BETWEEN THE HELIUM 3 AND HELIUM 4 ISOTOPES

This isotope ratio is expressed as  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ . In the atmosphere it is around  $1.4 \times 10^{-6}$ . This ratio in old water, which absorbs helium from the lithosphere, is always lower than that of recent water which is in contact with the atmosphere. The helium content and the helium 3 and helium 4 ratio is higher in old water due to the extended time in the geological depths of the earth's crust. The local situation is shown in Figure 10. The helium content in the waters of wells O, P, C varies between  $1.29 \times 10^{-6}$  and  $1.02 \times 10^{-5}$  Nml/g, while the equilibrium with the atmosphere is  $4.6 \times 10^{-8}$  Nml/g at  $10^\circ\text{C}$ . The ratio between helium 3 and helium 4 in the waters examined is between  $8.2 \times 10^{-6}$  and  $7.8 \times 10^{-6}$ . This indicates that the water from these wells is old but not sufficiently so to be able to fully accumulate the helium coming from the mantle. The helium isotope ratio was determined with mass spectrometry after cryogenic separation.

#### RATIO BETWEEN THE ARGON 40 AND ARGON 36 ISOTOPES

This isotope ratio is expressed as  ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ . It is  $297.2 \pm 2.6$  in the water of well P and  $294.0 \pm 2.8$  in the water of well C. The atmospheric ratio is 295.5. High values in the ratio between argon 40 and argon 36 derive from the radioactive decay of potassium 40 ( ${}^{40}\text{K}$ ) which has been observed in water of extended permanence underground of over about 10,000 years. The water of wells P and C do not have high ratios of argon 40 and argon 36. It can thus be deduced that this water is younger than about 10000 years. The argon 40 and argon

vecchie di qualche migliaia di anni. I rapporti fra argon 40 e argon 36 sono stati determinati mediante gascromatografia di massa GC-MS.

**CONCLUSIONI**

In base ai dati ed alla loro interpretazione, risulta che l'acquifero presente nella parte meridionale del Monte Vulture è composto da acque di tre età, dall'alto al basso nella falda.

a) La componente più recente è l'acqua presente nella parte superiore dell'acquifero; l'età varia dall'attuale a qualche decina di anni. Essa corrisponde ad una ricarica locale.

b) Una seconda componente è un'acqua che ha età fra alcune decine di anni e qualche centinaia di anni. Detta componente è sottostante all'acqua più recente. Il suo bacino di alimentazione è nella parte mediana del versante.

c) Una terza componente è l'acqua profonda che ha il bacino di ricarica nella parte alta del Monte Vulture. Questa componente ha un'età di qualche migliaio di anni ed è talora caratterizzata da abbondanza di cloruri e solfati per il contatto con le rocce marine impermeabili del Flysch, che formano il substrato su cui poggiano le vulcaniti.

Il modello della circolazione idrica sotterranea nel Monte Vulture è sintetizzato nella figura 11. Essendo la disposizione delle bancate vulcaniche radiali, vi è lo stesso schema su sezioni disposte secondo qualsiasi direzione. La parte di pioggia che si infiltra lungo le fratture e le porosità della roccia giunge nella parte superiore della falda che diventa sede di acqua oligominerale con scarsa anidride carbonica. Fanno fede le sorgenti superiori e le acque emunte dai pozzi poco profondi. L'acqua che raggiunge la parte bassa dell'acquifero diventa ricca di anidride carbonica che risale dalle profondità geologiche

36 isotope ratio was determined with gaschromatography mass spectrometry (GC-MS).

**CONCLUSIONS**

On the basis of the data and its interpretation, the groundwater studied on the southern part of Monte Vulture can be divided into three age groups, from the top down to the bottom of the aquifer.

a) The most recent water component present in the upper part of the aquifer with age varying from contemporary to a few decades. This water is local recharge.

b) A second water component aged from a few decades to a few hundred years. This component underlies the more recent water and its recharge is the mid section of the mountain slope.

c) A third component of deep water with a recharge basin in the upper part of Monte Vulture. This component has an age of a few thousand years and is sometimes characterized by abundance of chlorides and sulphates due to contact with the impermeable marine rocks of the Flysch.

The model of the groundwater circulation of Monte Vulture is summarized in Figure 11. Since the volcanic seams are arranged radially, the same scheme applies for cross-sections aligned in any direction. The component of rain that infiltrates through fractures and rock porosity reaches the upper part of the aquifer and consists of oligomineral water with low carbon dioxide. This is proven by the upper springs and the water drawn from the shallower wells. The water that reaches the lower section of the aquifer becomes high in carbon dioxide, which rises from the geological depths through the faults, when these are present. In this way the water becomes high-

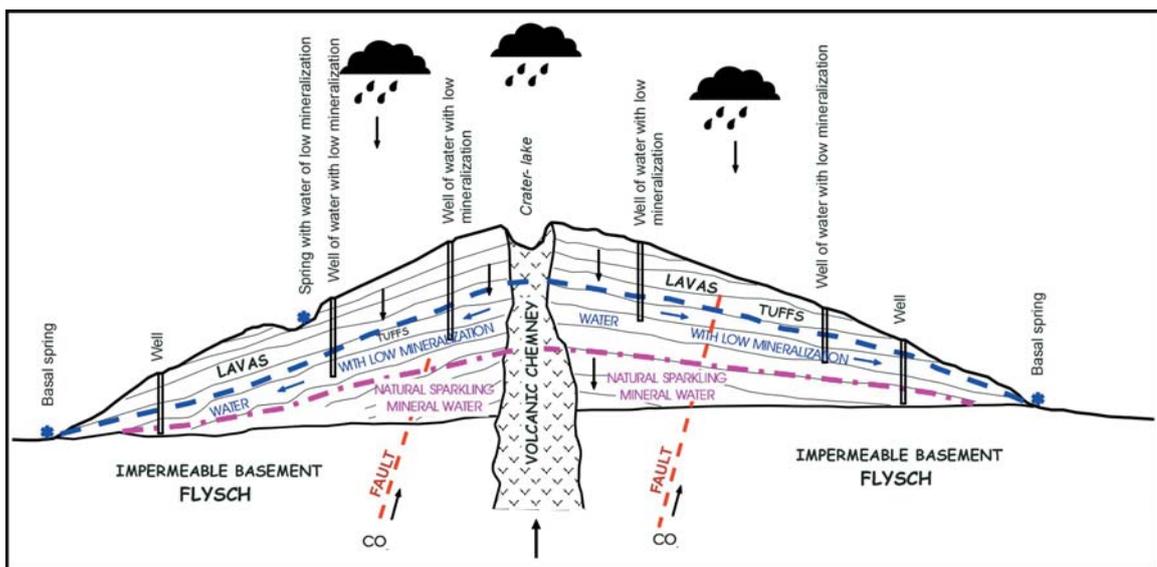


Fig. 11 - Modello della circolazione idrica sotterranea nel Monte Vulture  
 - Model of the groundwater circulation of Monte Vulture

attraverso le faglie; l'acqua diventa così ben mineralizzata ed effervescente naturale. Il modello prevalente della circolazione è a pistone dove le acque più recenti spingono quelle più vecchie.

ly mineralized and sparkling. The principal form of circulation is the piston flow model with the more recent water pushing the older water.

## OPERE CITATE / REFERENCES

- BALDASSARRE G., LA VOLPE L., PRINCIPE C. & STRAGAPEDE F. (1989) - *Monte Vulture pyroclastic deposit - physico-chemical characteristics and unconventional uses*. In: Atti del Congresso Internazionale di Geoingegneria "SuoloSottosuolo", Torino 27-30 settembre 1989, **1**: 162-170.
- BARATTA M. (1936) - *I terremoti d'Italia*. R. Accademia Nazionale dei Lincei, **6**: 1-177.
- BARBIERI M. & MORATTI M. (2003) - *Hydrogeochemistry and strontium isotopes of spring and mineral waters from Monte Vulture volcano*. Applied Geochemistry, **18**: 117-125.
- BARBIERI M. & SUMMA G. (2005) - *Caratterizzazione idrogeochimica e rapporti isotopici  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nelle acque del distretto vulcanico del Monte Vulture (Basilicata): implicazioni idrogeologiche*. Giornale di Geologia Applicata, **2**: 459-466.
- Barcelona M.J. & HOLM T.R. (1991) - *Oxidation-reduction capacities of aquifer solids*. Environ. Sci. Technol., **25**: 1566-1572.
- BARNES J., IRWIN W.P. & WHITE D.E. (1984) - *Global distribution of carbon dioxide discharge and major zones of seismicity*. U.S. Geol. Surv. Open File Rep., Water Res. Invest., **78**: 1-12.
- BARONE J.J. & ROBERTS H.R. (1996) - *Caffeine consumption*. Fd. Chem. Toxic., **34**: 119-129.
- BAZZOLI G., VISINTAINER M., ARMAN S. & GOTTARDI C. (2005) - *Caffeine as an anthropogenic of pollution of groundwater. Possible uses in mountain basins*. Geologia Tecnica & Ambientale, **4**: 5-12.
- BIGI G. COSENTINO D., PAROTTO M., SARTORI R. & SCANDONE P. (1992) - *Structural model of Italy. Mappa geologica a scala 1:500.000*.
- BOENZI F., LA VOLPE L. & RAPISARDI L. (1987) - *Evoluzione geomorfologica del complesso vulcanico del Monte Vulture (Basilicata)*. - Boll. Soc. Geol. It., **106**: 673-682.
- BONO P., BRUN C., FIORI C., GONFIANTINI R. & ZUCCO F. (2007) - *The use of oxygen -18 and deuterium in the water dynamics assessment of two lakes in the volcanic structure of Mount Vulture, Southern Italy* - IAEA International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its Role in Sustainable Water Resources Management, 21-25 May 2007, Vienna, 1-7.
- BROCCHINI D., LAURENZI M.A., LA VOLPE L. & PRINCIPE C. (1994) - *Storia evolutiva del Monte Vulture*. Plinius, **12**: 22-25.
- BROWN C.J., SCHOONEN M.A.A. & CANDELA J.L. (2000) - *Geochemical modelling of iron, sulfur, oxygen and carbon in a coastal plain aquifer*. Journal of Hydrology, **237**: 147-168.
- CAGGIANELLI A., DE FINO M., LA VOLPE L. & PICCARRETA G. (1990) - *Mineral chemistry of Monte Vulture Volcanics: petrological inferences*. Mineralogy and Petrology, **41**: 215-227.
- CARDINALE L. (1991) - *Studio idrogeologico e geochimica delle acque sotterranee del versante sud-orientale del Monte Vulture*. Tesi di laurea, anno accademico 1990-1991. Università di Bari - Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.
- CELICO P. & SUMMA G. (2004) - *Idrogeologia dell'area del Vulture (Basilicata)*. Boll. Soc. Geol. It., **123**: 343-356.
- CHAMP D.R. & GULLNS J. (1979) - *Oxidation-reduction sequences in groundwater flow systems*. Can. J. Earth Sci., **16**: 12-23.
- CHAPELLE F.H. & LOVLEY D.R. (1992) - *Competitive exclusion of sulphate reduction by Fe (III)-Reducing bacteria: a mechanism for producing discrete zones of high-iron groundwater*. Ground Water, **30**: 29-36.
- CIET P. & TAZIOLI G.S. (1981) - *Dati sul regime ideologico e termico delle sorgenti del M. Vulture* - Basilicata. PFE-CNR.
- CLARK J.D. & FRITZ P. (1999) - *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis Publishers.
- CORTINI M. (1975) - *Età K-Ar del Monte Vulture (Lucania)*. - Riv. Ital. Geof., **2**: 45-46.
- CRAIG H. (1961) - *Isotopic variations in meteoric water*. Science, **133**: 1702-1703.
- CRISCI G.M., DE FINO M., LA VOLPE & RAPISARDI L. (1983) - *Pleistocene Ignimbrites of Mt. Vulture (Basilicata, Southern Italy)*. "N. Jb. Geol. Palaeont. Mh.", **12**: 731-746.
- DE FINO M., LA VOLPE L. & PICCARRETA G. (1982) - *Magma evolution at Mt. Vulture (Southern Italy)*. Bull. Volcanol., **45**: 115-126.
- DE FINO M., LA VOLPE L., PECCERILLO A., PICCARRETA G. & POLI G. (1986) - *Petrogenesis of Monte Vulture volcano (Italy): inferences from mineral chemistry, major and trace element data*. "Contrib. Mineral. Petrol.", **92**: 135-145.
- DUNCAN A.M., COLE P.D., GUEST J.E. & CHESTER D.K. (1996) - *Transport and emplacement mechanisms of mass-flow deposits on Monte Vulture volcano, Basilicata, southern Italy*. From McGuire J. Jones A.P., Neuberg J. (eds) 1996: Volcano Instability on the Earth and Other Planets. Geological Society Special Publication, **110**: 237-247.
- FIDELIBUS D., TAZIOLI G.S., TITTOZZI P. & VURRO F. (1981) - *Chimismo delle acque sotterranee del M. Vulture (Basilicata)*. Atti II Seminario Informativo, Progetto Finalizzato Energetica, CNR-PEG Ed., 131-141.
- FONTES J.CH. & GARNIER J.M. (1979) - *Determination of initial  $^{14}\text{C}$  activity of the total dissolved carbon: a review of existing models and a new approach*. Water

## CHARACTERISTICS, ORIGINS, AND AGE OF THE WATER FROM SPRINGS AND WELLS ON MONTE VULTURE (BASILICATA REGION, ITALY)

- Resources Research, **15**: 399-413.
- FUGANTI A., MORTEANI G., PREINFALK C., BLAMORT D., BULGARELLI G. & FESTA A. (1994) - *Geochemical and isotopic 3H, D, 18O study of the natural sparkling mineral water found on the W slope of the Monte Vulture volcano and bottled by the Monticchio Gaudianello (Provincia di Potenza, South Italy)*. International Mineralogical Association, 16<sup>th</sup> General Meeting: 120-130.
- FUGANTI A., DEFRANCESCO F., SIGILITO V., BAZZOLI G.F., MORTEANI G., BULGARELLI G., FESTA A. & GUERRASIO G. (1995) - *Genesi e caratteristiche delle acque minerali effervescenti naturali nell'area Gaudianello, Monte Vulture (Potenza)*. La Rivista di Scienza dell'Alimentazione, **24**: 89-129.
- GAMBARDELLA B., CARDELLINI C., CHIODINI G., FRONDINI F., MARINI L., OTTONELLO G. & VETRUSCHI ZUCCOLINI M. (2004) - *Fluxes of deep CO<sub>2</sub> in the volcanic areas of central-southern Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **136**: 31-52.
- GIANNANDREA P., LA VOLPE L., PRINCIPE C. & SCHIATTARELLA M. (2004) - *Carta Geologica del Monte Vulture, Scala 1:25.000*. Allegata a "La geologia del Monte Vulture" a cura di Claudia Principe (2006).
- GIANNANDREA P., LA VOLPE L., PRINCIPE C. & SCHIATTARELLA M. (2006) - *Unità stratigrafiche a limiti inconformi e storia evolutiva del vulcano medio-pleistocene di Monte Vulture (Appennino meridionale, Italia)*. Boll. Soc. Geol. It., **125**: 67-92.
- GLYNN P.D. & PLUMMER L.N. (2005) - *Geochemistry and the understanding of ground-water systems*. J. Hydrogeology, **13**: 263-287.
- GUEST J.E., DUNCAN A.M. & CHESTER D.K. (1988) - *Monte Vulture volcano (Basilicata, Italy): an analysis of morphology and volcanoclastic facies*. Bull. Volcanol., **50**: 244-257.
- HEBERER TH., REDDERSEN K. & MECHLINSKI A. (2002) - *From municipal sewage to drinking water: fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment in urban areas*. Water Science and Technology, **46**: 81-88.
- HIEKE MERLIN O. (1965) - *Le vulcaniti del settore Nord-Orientale del Monte Vulture (Lucania)*. Mem. Ist. Geol. e Min. Univ. Padova, **24**: 1-74.
- HIEKE MERLIN O. (1967) - *I prodotti vulcanici del Monte Vulture (Lucania)*. "Mem. Ist. Geol. Mineral. Univ. Padova", **26**: 1-70 (con allegata carta geo-petrologica alla scala 1:25.000 a cura di HIEKE MERLIN O., LA VOLPE L. & PICCARRETA G.).
- HIEKE MERLIN O., LA VOLPE L., NAPPI G., PICCARRETA G., REDINI R. & SANTAGATI G. (1971) - *Note illustrative alla carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000*, Fogli 186 "S. Angelo dei Lombardi" e 187 "Melfi". Serv. Geol. d'It., 1-188.
- KASS W. (1998) - *Tracing technique in geohydrology*. A.A. Balkema.
- IRWIN W.P. & BARNES L. (1980) - *Tectonic relations of carbon dioxide discharges and earthquakes*. Journal of Geophysical Research, **85**: 3115-3121.
- LA VOLPE L., PATELLA D., RAPISARDI L. & TRAMACERE A. (1984) - *The evolution of the Monte Vulture Volcano (Southern Italy): interferences from volcanological, geological and deep dipole electrical soundings data*. - Journ. Volcan. Geotherm. Res., **22**: 147-162.
- LA VOLPE L., PRINCIPE C. & RAPISARDI L. (1988) - *Monte Vulture eruptive history: new stratigraphic and volcanological data*. "Atti del 74° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana (Sorrento, 13-17 settembre 1988)", **A**: 346-354.
- LA VOLPE L. & PRINCIPE C. (1994) - *Il Monte Vulture*. "77a Riunione estiva-Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana" (Bari, 23 settembre-1 ottobre 1994) - Guida all'escursione generale pregressuale. Grafiche Paternoster, Matera, 41-55.
- LA VOLPE L., PICCARRETA G. & PRINCIPE C. (1999) - *Il magmatismo paleogenico*. In: *Puglia e Monte Vulture* (Guide Geologiche Regionali, 8). BE-MA Ed., 52-62.
- LENZI G. & CASSANO C. (1989) - *I tufi vulcanici zeolitizzati del Monte Vulture (Basilicata)*. - ENEA, RT/COMB, **88**: 1-151.
- LONGINELLI A. & SELMO E. (2003) - *Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map*. Journal of Hydrology, **270**: 75-88.
- MARINI L., PRINCIPE C., PAIOTTI A., FERRARA G. & CIONI R. (1994) - *Isotopic ratio and concentration of sulfur in the undersaturated alkaline magmas of Vulture Volcano (Italy)*. Bull. Volcanol., **56**: 487-492.
- MARINI L. (2006) - *Le caratteristiche isotopiche delle acque sotterranee del Monte Vulture e delle acque dei Laghi di Monticchio*. In: *La geologia del monte Vulture, Regione Campania*, 149-154.
- MELLUSO L., MORRA V. & DI GIROLAMO P. (1996) - *The Mt. Vulture volcanic complex (Italy): evidence for distinct parental magmas and for residual melts with melilite*. Mineralogy and Petrology, **56**: 225-250.
- PEARSON F.J. (1965) - *Use of C-13/C-12 ratios to current radiocarbon ages of material initially diluted by limestone*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Radiocarbon and Tritium Dating*. Pullman Ed.: 1-357.
- PEARSON F.J. & HAUSHAW B.B. (1970) - *Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on carbon -14 dating*. In: *Isotope Hydrogeology, 1970*, IAEA Symposium 129, March 1970, Vienna: 271-286.
- PRINCIPE C. (2006) - *La geologia del Monte Vulture*. Regione Basilicata: 1-217.
- PROESCH J. & PUCHERT W. (1998) - *Caffeine: Occurrence in the Rivers of Mecklenburg-Vorkommern*. Vom Wasser, **91**: 207-214.
- REGIONE BASILICATA DIPARTIMENTO AMBIENTE E TERRITORIO UFFICIO GEOLOGICO E ATTIVITA' ESTRATTIVE (2000) - *Linee Guida per il Piano di Tutela e Sviluppo del Bacino Idrominerario del Vulture*. 1-274.
- REGIONE BASILICATA DIPARTIMENTO AMBIENTE E TERRITORIO (2001) - *Carta della vulnerabilità del Monte Vulture a scala 1:25.000*. A cura del prof. G. Spilotro.
- SCHIATTARELLA M., BENEDEUCE P., DI LEO P. & GIANO S.I. (1998) - *Comparazione tra l'evoluzione strutturale e geochimica del vulcano quaternario del Monte Vulture in Basilicata*. Plinius, **20**: 195-196.

CARATTERISTICHE, ORIGINE ED ETA' DI ACQUE DA SORGENTI E DA POZZI PRESENTI SUL MONTE VULTURE (REGIONE BASILICATA, ITALIA)

- SCHIATTARELLA M., BENEDEUCE P., DI LEO P., GIANO S.I., GIANNANDREA P. & PRINCIPE C. (2005) - *Assetto strutturale ed evoluzione morfotettonica quaternaria del vulcano del Monte Vulture (Appennino Lucano)*. Boll. Soc. Geol. It., **124**: 543-562.
- SCORDARI F., SCHINGARO E. & PEDRAZZI G. (1999) - *Crystal chemistry of melanites from Mt. Vulture (Southern Italy)*. Eur. J. Min., **11**: 855-869.
- SEILER R.L., ZAUGG S.D., THOMAS J.M. & HOWCROFT D.L. (1999) - *Caffeine and pharmaceuticals as indicators of waste water contamination in wells*. Ground Water, **37**: 405-410.
- SPILOTRO G., CANORA F., CAPORALE F., CAPUTO R., FIDELIBUS M.D., LEANDRO G. & SIGILLITO V. (2003) - *Idrogeologia e vulnerabilità del Monte Vulture*. In: Atti del Convegno SIGEA: Sorgenti di interesse scientifico ambientale, Salice Terme, 10 ott. 2003, Geologia dell'Ambiente, **3**: 1-24.
- SPILOTRO G., CANORA F., CAPORALE F., CAPUTO R., FIDELIBUS M.D., LEANDRO G. & SIGILLITO V. (2004) - *Idrogeologia e vulnerabilità del Monte Vulture*. Geologia dell'Ambiente, **12**: 64-75.
- SPILOTRO G., CANORA F., CAPORALE F., CAPUTO R., FIDELIBUS M.D. & LEANDRO G. (2005) - *Idrogeologia del Monte Vulture (Basilicata, Italia)*. Aquifer Vulnerability and Risk, 2nd Int. Workshop: 1-16.
- SPILOTRO G., CANORA F., CAPORALE F., CAPUTO R., FIDELIBUS M.D. & LEANDRO G. (2006) - *Idrogeologia della regione del Monte Vulture*. In: La geologia del Monte Vulture a cura di Principe C. (2006): 123-132.
- STOPPA F. & PRINCIPE C. (1997) - *Eruption styles and petrology of a new carbonatic suite from the Mt. Vulture (Southern Italy): The Monticchio Lakes Formation*. Journal of Volcanol. and Geoth. Res., **78**: 251-265.
- STUYFRAND P.J. (1999) - *Patterns in groundwater chemistry resulting from groundwater flow*. Hydrogeology Journal, **7**: 15-27.
- TAMERS M.A. (1975) - *The validity of radiocarbon dates on groundwater*. Geophysical Survey, **2**: 217-239.
- VOGEL J.C. (1970) - *Carbon -14 dating of groundwater*. In: Isotope Hydrogeology, 1970, IAEA Symposium 129, March 1970, Vienna, 225-239.
- WALRAEVENS K. & EPPINGER R. (2005) - *Nitrates pollution of groundwater in Flanders (Belgium)*. In: Nitrates in groundwater, Eds. L. Razowska-Jaworek, A. Sadurski. IAH Meeting, Wisla, Poland, June 2002, 209-218, Balkema.

Received July 2008 - Accepted August 2008