

# Caratterizzazione idrogeochimica e rapporti isotopici $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ nelle acque del distretto vulcanico del Monte Vulture (Basilicata): implicazioni idrogeologiche.

Maurizio Barbieri<sup>1</sup>, Gianpietro Summa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Autore corrispondente. Dipartimento Scienze della Terra, Università "La Sapienza", Box n. 11, P.le A. Moro, 5 – 00185 Roma, Tel/Fax + 39 06 49914593 maurizio.barbieri@uniroma1.it

<sup>2</sup> Dottore di Ricerca in Geologia Applicata ed Ambientale – libero professionista, idrogeo@infinito.it

*Hydrogeochemistry and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotope ratios of waters from Monte Vulture (Basilicata): hydrogeological implications*

**ABSTRACT:** The paper describes the results of a study that was conducted to determine the relationship between hydrogeochemical composition and hydrogeological knowledge of the Mt. Vulture spring waters. Mount Vulture is a Pleistocene stratovolcano, located in the northeastern sector of the Basilicata region, along the external edge of the Apennine Chain, close to the Bradano river Miocene foredeep. Mount Vulture's volcanic structure developed during the period 730 and 130 kyr BP, with a maximum activity period in the period of 800 kyr and 580 kys BP. Two hydrogeologically independent groundwater basins have been found: Monticchio-Atella and Melfi-Barile. In the Monticchio-Atella groundwater basin the representative hydrogeochemical type is sodium-bicarbonate, associated with high grade mineralization of groundwater. The latter is characterised by  $\text{CO}_2$  relative abundance (with values up to about 4000 mg/l), by electrical conductivity ranging between 200 and 19.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and by a temperature ranging between  $10^\circ\text{C}$  and about  $20^\circ\text{C}$ . The highest  $\text{CO}_2$  values have been detected in the Monticchio area, where the last eruption of Monte Vulture occurred. In the Melfi-Barile basin a different hydrogeochemical feature has been found. Calcium-bicarbonate and sodium-bicarbonate are the most represented hydrogeochemical types. The first, characterises a great part of Melfi-Barile groundwater basin, while the second can be detected only close to the aforesaid Toppo San Paolo structure (between Melfi and Rapolla towns) and in the area westward from Melfi. The strontium isotope ratios for four more anomalous samples in comparison with those representative of the volcanic rocks, showed a model with four sources with different strontium isotope ratios.

*Key terms:* hydrogeology, Vulture volcano, hydrochemistry,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

*Termini chiave:* idrogeologia, vulture, idrochimica,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

## Riassunto

Il Monte Vulture, di origine vulcanica, è localizzato all'incrocio di due sistemi di faglie a direzione NO-SE ed E-O. L'attività eruttiva, iniziata circa 740 Ka con la formazione di prodotti ignimbrici e trachifonolitici è continuata in maniera discontinua, con lunghi periodi di stasi, fino a circa 130 Ka con la messa in posto della formazione piroclastica affiorante presso i laghi di Monticchio.

In questo lavoro vengono presentati i risultati ottenuti dall'analisi di oltre 66 campioni di acque provenienti da sorgenti, pozzi e corsi d'acqua ubicati nel distretto vulcanico.

Accanto alla determinazione dei costituenti chimici delle acque, su alcuni campioni è stata effettuata la determinazione del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . I valori ottenuti sono poi stati confrontati con i valori dello stesso

rapporto in alcune litologie, vulcaniche e della serie carbonatica locale, potenzialmente interessata dalla circolazione idrica sotterranea dell'area in studio.

L'obiettivo è stato quello di confermare lo schema idrogeologico e di cercare di chiarire alcuni aspetti delle zone di difficile interpretazione idrogeologica.

## Inquadramento geologico ed attività vulcanica del Monte Vulture

Il Monte Vulture è un vulcano-strato di età pleistocenica, situato nel settore nord-orientale della Basilicata, lungo il margine esterno della Catena Appenninica, ai margini dell'Avanfossa Bradanica (Fig. 1).

L'edificio vulcanico del Monte Vulture si è sviluppato nell'arco di tempo compreso tra 730 e 130 ka B.P. (Brocchini, Laurenzi, La Volpe, Principe, 1994).

Esso si differenzia per vari motivi dagli altri vulcani della Provincia Co-magmatica Romana. Infatti, è il solo ad essere ubicato lungo il versante orientale della Catena Appenninica, come feldspatoide dominante presenta l'haunya al posto della leucite, le sue lave basiche hanno un rapporto  $K_2O/Na_2O$  prossimo a quello dei magmi della serie HKS e la composizione isotopica dello stronzio, oltre ad essersi mantenuta abbastanza costante nel tempo ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ : 0,70563-626), è la più bassa conosciuta fra le vulcaniti ricche in potassio dell'Italia peninsulare (La Volpe, Principe, 1989a).



Figura 1: Ubicazione dell'area in studio (da Celico, Summa, 2003).  
*Geographical location of the studied area (from Celico, Summa, 2003).*

La storia evolutiva del Monte Vulture può essere schematizzata in tre stadi principali (Boenzi, La Volpe, Rapisardi, 1987). I primi prodotti eruttati sono rappresentati da fonoliti e da trachiti fonolitiche che hanno formato delle modeste coltri ignimbristiche e, successivamente, uno o più duomi. Nel secondo stadio, caratterizzato dall'emissione di magmi tefritici e foiditici, l'attività è stata inizialmente esplosiva (con formazione di estesi depositi piroclastici da caduta e/o flusso) e successivamente mista (con edificazione del vulcano centrale). Nel terzo stadio si sono verificate importanti deformazioni tettoniche e/o vulcano-tettoniche, nonché le ultime manifestazioni dell'attività vulcanica, con la messa in posto dei prodotti eruttati dai crateri oggi sede dei Laghi di Monticchio (Stoppa, Principe, 1998).

Nella ricostruzione dell'attività vulcanica sono state individuate sei distinte unità vulcano-stratigrafiche generalmente separate da superfici erosive e/o da paleosuoli (La Volpe, Principe, 1991; Brocchini, Laurenzi, La Volpe, Principe, 1994). I valori assoluti dell'età, riportati in Fig. 2, derivano da determinazioni  $^{39}Ar/^{40}Ar$  (Brocchini, Laurenzi, La Volpe, Principe, 1994).

L'edificio vulcanico si erge su un substrato alloctono flyschoidale, costituito da sedimenti oligo-miocenici delle Unità Lagonegresi, delle Unità Iripine, delle Unità Sannitiche e delle Unità Sicilidi, affioranti negli alti

strutturali, e da sedimenti del Pliocene inferiore-medio / Pleistocene, affioranti nei bassi tettonici (Boenzi, La Volpe, Rapisardi, 1987). Le quote alle quali affiora oggi il substrato del vulcano hanno risentito fortemente dell'innalzamento isostatico verificatosi in tutta la zona nell'ultimo milione di anni; l'entità del sollevamento supera i 300 m, ed è stata stimata (Rapisardi, 1980) prendendo a riferimento la quota zero alla quale doveva trovarsi la superficie di chiusura del ciclo sedimentario nell'adiacente Avana fossa Bradanica (La Volpe, Principe, 1989b).

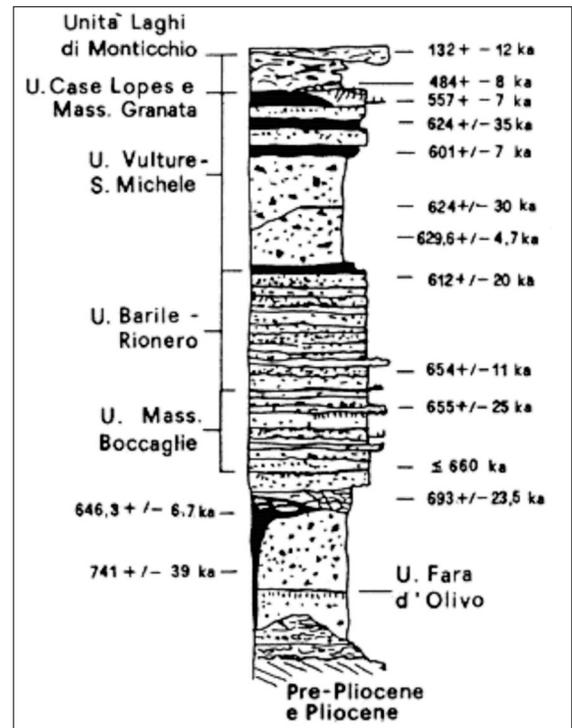


Figura 2: Colonna stratigrafica schematica del Monte Vulture. Età  $^{39}Ar/^{40}Ar$  (da Celico, Summa, 2003).

*Schematic stratigraphic column of Mount Vulture.  $^{39}Ar/^{40}Ar$  age (from Celico, Summa, 2003).*

Gli anzidetti depositi terrigeni poggiano su termini mesozoici rigidi che, ad est, sono rappresentati dai carbonati della Piattaforma Apula, e, ad ovest, dai termini calcareo-silicei delle Unità Lagonegresi. In corrispondenza dell'edificio vulcanico, dove La Volpe et al., (1984) hanno rilevato la presenza di un substrato elettrico resistivo, è difficile individuare le specifiche unità stratigrafico-strutturali, anche se si può avanzare l'ipotesi che si tratti di termini interni della Piattaforma Apula (Boenzi, La Volpe, Rapisardi, 1987).

## Idrogeologia

Per la ricostruzione dello schema di circolazione idrica sotterranea, nell'area di interesse sono stati utilizzati oltre 90 pozzi e circa 40 sorgenti (Celico, Summa, 2004).

I pozzi, di profondità variabile tra 10 e 200 m, risultano

ubicati soprattutto nelle zone di Monticchio, Rionero-Atella e Melfi-Barile; la concentrazione media è di 1-2 pozzi/km<sup>2</sup>.

Le sorgenti sono caratterizzate da una portata compresa tra  $2 \cdot 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s e  $1 \cdot 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s; sono poche (ad esempio: “La Francesca”; n° 2 in Fig. 4) quelle con portate superiori a 0,01 m<sup>3</sup>/s.

Tutti i punti d’acqua di cui sopra fanno riferimento ad un acquifero (quello vulcanico) eterogeneo ed anisotropo, costituito dall’alternanza di termini molto permeabili (orizzonti lavici fessurati, tufi fessurati, livelli piroclastici a granulometria grossolana, lapilli) e termini poco permeabili (tufi compatti, paleosuoli e piroclastiti a granulometria fine). Sebbene la suddetta alternanza dia localmente luogo a più falde basali sovrapposte, queste sono tutte intercomunicanti a grande scala, a causa delle frequenti soluzioni di continuità degli impermeabili relativi.

Le piccole sorgenti di alta quota sono invece alimentate da falde sospese.

Dall’analisi dati piezometrici sono evidenti complicazioni nella circolazione idrica sotterranea. Numerose sono, infatti, le zone sterili (ad ovest, ad est e nel settore meridionale della struttura). Nel settore meridionale, in particolare, i pozzi esistenti sono poco produttivi ed

intercettanti a breve profondità il substrato sedimentario impermeabile.

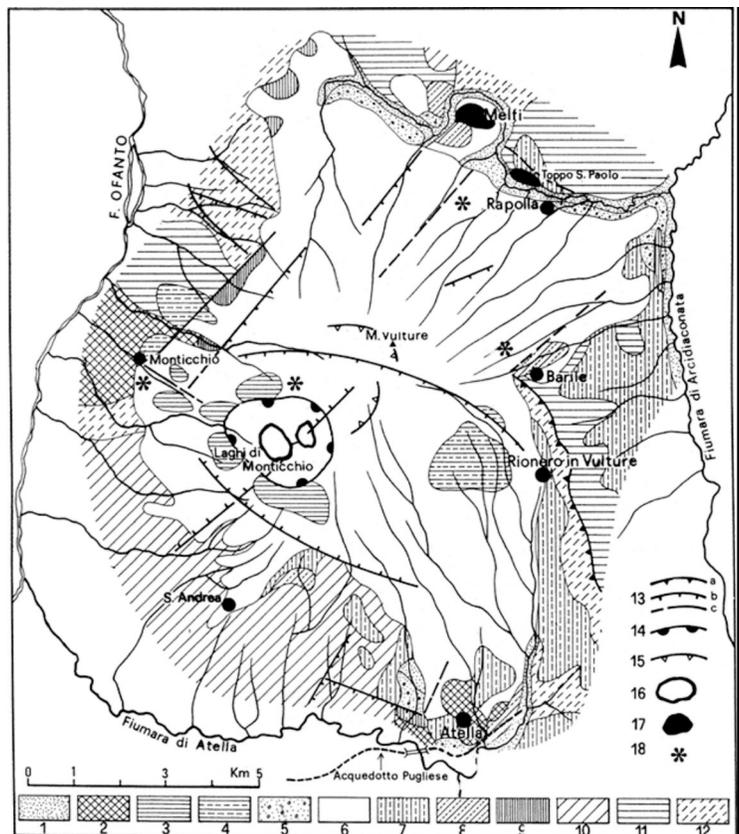
I dati piezometrici, risultati compatibili con l’assetto strutturale (Fig. 3) riportato in letteratura (Schiattarella, Beneduce, Giannandrea, Giano, 1999), hanno permesso di riconoscere due superfici piezometriche distinte (Fig. 4): una afferente al bacino sotterraneo di Monticchio-Atella e l’altra al bacino sotterraneo di Melfi-Barile.

Il bacino di Monticchio-Atella risulta incassato tra le due più importanti lineazioni strutturali: la faglia centrale (Valle dei Grigi - Fosso del Corbo) e la faglia meridionale che, sulla base delle informazioni ricavate dalle indagini idrogeologiche (stratigrafie dei pozzi e morfologia della superficie piezometrica), risulta leggermente modificata rispetto a quanto riportato in letteratura (Schiattarella, Beneduce, Giannandrea, Giano, 1999).

I recapiti di questa falda sono localizzati nelle zone di Monticchio (ad ovest) e di Atella (a sud-est). Infatti, i dati piezometrici dei pochi pozzi del settore meridionale del Monte Vulture non sono compatibili con la ricostruzione della superficie piezometrica del “bacino”. Il flusso ha inizio nella zona centrale, per poi indirizzarsi verso le citate zone di Monticchio e di Atella.

Figura 3: Carta geologica schematica del Monte Vulture. Legenda: 1. Alluvioni; 2. Travertino (Pleistocene superiore-Olocene?); 3. VI Unità vulcano-stratigrafica (Unità dei Laghi di Monticchio, 130 ka); 4. V Unità vulcano-stratigrafica (Unità di Case Lopes-Masseria Granata, 480 ka); 5. Depositi epiclastici e lacustri dei bacini di Atella, Melfi e Venosa (Pleistocene medio); 6. IV Unità vulcano-stratigrafica (Unità di Vulture-S. Michele, 620 ka); 7. III Unità vulcano-stratigrafica (Unità di Barile-Rionero, 654 ka); 8. II Unità vulcano-stratigrafica (Unità di Masseria Boccaglie, 660 ka); 9. I Unità vulcanostratigrafica (Unità di Fara d’Olivio, 730 ka[?]); 10. Depositi clastici pliocenici; 11. Unità sinorogene mioceniche; 12. Unità preorogene mesozoiche; 13. a) Sovrascorrimento (i trattini indicano la parte sovrascorsa), b) Faglia diretta (i trattini indicano la parte ribassata), c) Faglie presunte (prolungamenti di faglie rilevate o tratti sepolti); 14. Orlo calderico; 15. Orlo craterico relitto; 16. Orlo craterico; 17. Cupola lavica (cryptodomo fonolitico di Toppo S.Paolo, 646 ka, e duomo lavico o “haunofiro” di Melfi, 560 ka); 18. Centro eruttivo periferico (da Celico, Summa, 2003).

*Schematic geological map of Mount Vulture. Legend: 1. Alluvial deposits. 2. Travertine (upper Pleistocene – Holocene?). 3. VI Volcano-stratigraphic unit (Monticchio Lakes Unit, 130 ka); 4. V Volcano-stratigraphic unit (Case Lopes-Masseria Granata, 480 ka); 5. Epiclastic and lacustrine deposits of the Atella and the Venosa basins (middle Pleistocene); 6. IV Volcano-stratigraphic unit (Vulture-S. Michele Unit, 620 ka); 7. III Volcano-stratigraphic (Barile-Rionero Unit, 654 ka); 8. II Volcano-stratigraphic unit (Masseria Boccaglie Unit, 660 ka); 9. I Volcano-stratigraphic unit (Fara d’Olivio Unit, 730 ka (?)); 10. Pliocene clastic deposits; 11. Miocene synorogenic units; 12. Meso-Cenozoic preorogenic units; 13. a) thrust (segments indicate the overthrust side), b) tension fault, c) hypothesized and buried faults; 14. caldera rim; 15. relict caldera rim; 16. crater rim; 17. lava domes (Toppo San Paolo phonolitic crypto-dome, 646 ka, and lavas or “haunofiro” Melfi dome, 560 ka); 18. peripheral eruptive centre (from Celico, Summa, 2003).*



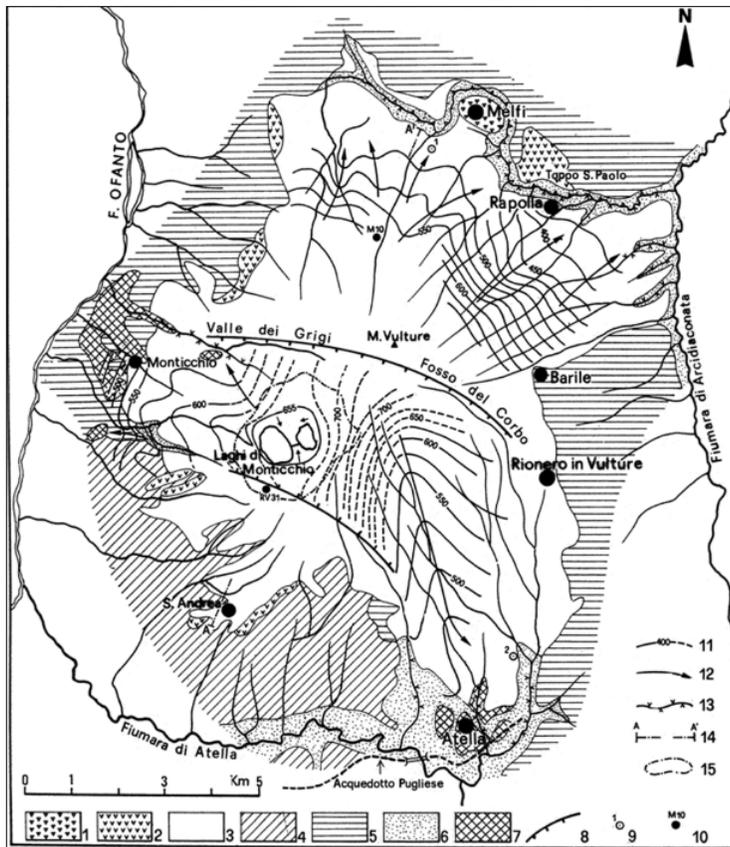


Figura 4: Schema idrogeologico del Monte Vulture. Legenda: 1. Complesso delle lave; 2. Complesso dei tufi chiari; 3. Complesso dei tufi scuri; 4. Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico; 5. Complesso argilloso-marnoso-arenaceo; 6. Complesso alluvionale; 7. Complesso dei travertini; 8. Faglie; 9. Sorgenti principali: 1) sorgente “La Maddalena” (esaurita), 2) sorgente “La Francesca”; 10. Pozzi RV31 e M10 di Fig. 5; 11. Curve isopiezometriche (agosto 1999), ipotizzate quando tratteggiate; 12. Assi di drenaggio preferenziale; 13. Incrementi di portata in alveo (i trattini indicano il lato di alimentazione); 14. Traccia di sezione (cfr. Fig. 5); 15. Limite del bacino imbrifero dei Laghi di Monticchio (da Celico, Summa, 2003).

*Monte Vulture hydrogeological map. Legend: 1. Lavas complex. 2. White tuffs complex. 3. Dark tuffs complex. 4. Clay-sand-conglomerate complex. 5. Clay-marl-sandstone complex. 6. Alluvial complex. 7. Travertine complex. 8. Faults. 9. Principal springs: 1) “La Maddalena spring” (depleted), 2) “La Francesca” spring; 10. RV31 and M10 wells (see fig. 5); 11. Groundwater head contour lines (August 1999), hypothesised when dashed; 12. Preferential drainage axes; 13. Increasing discharge river bed sectors (ticks indicate the feeding side); 14. Section line (see fig. 5); 15. Monticchio lakes watershed (from Celico, Summa, 2003).*

Nella zona di Atella, dove si individua un unico importante asse di drenaggio preferenziale, le curve isopiezometriche mostrano un gradiente idraulico sostanzialmente regolare, il cui valore medio è di circa il 2% (il più basso dell’intera struttura vulcanica).

Nella zona di Monticchio, invece, il flusso si presenta più articolato, con più assi di drenaggio preferenziale e spartiacque sotterranei; il gradiente idraulico assume valori compresi tra il 2% ed il 4%. Le complicazioni di deflusso sono evidentemente da attribuire all’assetto geologico-strutturale della zona, all’eterogeneità dei litotipi attraversati nonché al collegamento idraulico con i Laghi di Monticchio dove, in prossimità del lago Grande, si rinvennero anche pozzi artesiani.

Il *bacino di Melfi-Barile*, situato nel settore settentrionale del vulcano, mostra modalità di deflusso più articolate, rispetto al precedente. La superficie piezometrica evidenzia un’alternanza di assi di drenaggio preferenziale e di spartiacque sotterranei, denunciando un certo adattamento della superficie piezometrica alla morfologia del territorio. I recapiti di questo bacino sono identificabili nelle fiumare della “Melfia” (a nord) e della “Arcidiaconata” (ad est). Il gradiente idraulico assume i valori più elevati (~ 4%) nella zona Rapolla-Barile, identificando quest’area come la meno trasmissiva dell’intera struttura vulcanica.

Le sorgenti del *bacino di Monticchio-Atella* hanno

portate variabili e comprese tra qualche litro al minuto fino ad alcuni litri al secondo, fatta eccezione per la sorgente “La Francesca”, ad est, con una portata attuale di circa  $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ .

Quasi la totalità delle sorgenti è localizzata alla base della struttura vulcanica.

Le acque che scaturiscono dalle sorgenti appartenenti al bacino di Monticchio-Atella hanno temperature costantemente inferiori ai 20 °C, conducibilità elettrica compresa tra valori di poco inferiori ai 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  fino a valori di circa 19.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ed abbondante presenza di  $\text{CO}_2$ .

Nel *bacino di Melfi-Barile*, i recapiti principali sono rappresentati dai corsi d’acqua della “Melfia” (a nord) e della “Arcidiaconata” (ad est). Il numero delle sorgenti localizzate alla base della struttura, è modesto. Le portate variano tra  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ . Le temperature delle acque, concordemente a quanto riscontrato nel bacino di Monticchio-Atella, sono risultate inferiori ai 20 °C; le conducibilità misurate sono minori di 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Nelle acque del bacino di Melfi-Barile non si rinvennero concentrazioni apprezzabili di  $\text{CO}_2$ , con esclusione della già citata sorgente n° 17 (circa 300 mg/l) che, peraltro, è l’unica ad avere una conducibilità elevata.

La sorgente più importante del bacino in esame era la sorgente “La Maddalena”, nei pressi di Melfi (già captata agli inizi del secolo, a servizio dell’acquedotto comunale),

con una portata di  $2\div 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ . Con il passare degli anni e con l'aumento degli emungimenti tramite pozzi, la sua portata è andata diminuendo fino all'esaurimento (Agosto 1999), denunciando l'esistenza di un chiaro sovrasfruttamento della falda in questo settore.

**Indagini idrogeochimiche**

Nell'area in studio sono state condotte indagini idrogeochimiche consistite nell'analizzare 66 campioni d'acqua, prelevati nel periodo agosto-settembre 1999, in corrispondenza di pozzi, sorgenti, lago piccolo e corsi d'acqua significativi per la ricostruzione dello schema di

circolazione idrica sotterranea (Fig. 5).

Le analisi hanno riguardato la determinazione dei principali parametri chimico-fisici (temperatura, pH, conducibilità ionica) e quella degli elementi maggiori. Le determinazioni della temperatura, del pH, della conducibilità ionica, dell'ossigeno disciolto e dell'anidride carbonica libera sono state eseguite in campagna. Le concentrazioni dei cationi e dei metalli sono state determinate con ICP-AES, quelle degli anioni attraverso cromatografia ionica liquida, la durezza e l'alcalinità sono state determinate per titolazione.

Tabella 1 – Composizione chimica ed isotopica delle acque campionate. Le concentrazioni sono espresse in mg/L, il pH in unità pH ( $\pm 0,1$ ); la conducibilità in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $20^\circ\text{C}$ . Il valore del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  è affetto da un errore espresso come  $2\sigma$  ( $\pm 00000,2$ )

*Chemical and isotopic composition of sampled waters (values are expressed in mg/L), pH in pH units (accuracy  $\pm 0,1$ ), electrical conductivity in  $\mu\text{S}/\text{cm}$  at  $20^\circ\text{C}$ . The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic ratios is affected by an error expressed as  $2\sigma$  ( $\pm 00000,2$ ).*

ZONA	Sorgente n°	pH	Cond.	HCO <sub>3</sub>	Li	Ca	Cl	SO <sub>4</sub>	F	SiO <sub>2</sub>	Mg	Na	K	Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
Ovest	19	7,21	213,1	103,7	0,2	11,2	11,3	8,0	0,5	49,8	2,6	21,6	16,1	0,2	0,70610
Est	12	7,08	500	183	0,2	64,8	23,5	111,0	0,8	60,1	12,3	33,2	13,8	0,8	0,70704
Sud Ovest	2	6,94	2150	890,6	0,3	197,6	61,3	66,8	0,1	33,9	59,4	111,2	20,1	1,0	0,70780
Sud-	29	7,03	18840	9064,4	1,3	388,8	1076,8	4594,5	0,1	36,4	143,2			0,3	0,70880

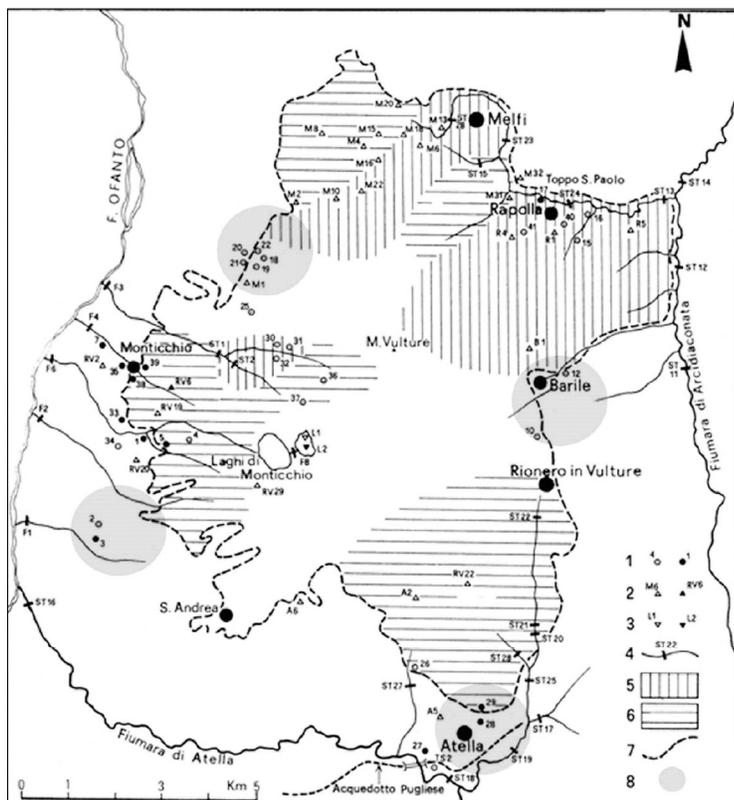


Figura 5: Ubicazione dei punti d'acqua campionati e carta delle facies idrochimiche. Legenda: 1. Sorgenti (il cerchio pieno indica presenza di CO<sub>2</sub>); 2. Pozzi (M=Melfi, R=Rapolla, RV=Rionero in Vulture, A=Atella). Il triangolo pieno indica presenza di CO<sub>2</sub>; 3. Lago (L2=campione di fondo con presenza di CO<sub>2</sub>); 4. Corsi d'acqua (ST ed F=stazioni di misura in alveo); 5. Facies bicarbonato-alcalina (BA); 6. Facies bicarbonato-alcalino-terrosa (BAT); 7. Limite di struttura; 8. Zone anomale.

*Location of sampled springs and wells and hydrogeochemical types. Legend: 1. Springs (solid circle indicates CO<sub>2</sub> relative abundance); 2. Wells (M=Melfi, R=Rapolla, RV=Rionero in Vulture, A=Atella). Solid triangle indicates CO<sub>2</sub> relative abundance; 3. Lake (L2=bottom lake water sample with significant CO<sub>2</sub>); 4. Stream channels (ST and F=discharge measure station along the river bed); 5. Calcium-bicarbonate (BA); 6. sodium-bicarbonate type (BAT); 7. Hydrogeological structure limit; 8. Anomalous areas.*

Su quattro campioni rappresentativi di altrettante aree maggiormente anomale sono stati determinati i valori del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Le analisi isotopiche sono state effettuate mediante uno spettrometro di massa VG-54E.

Da dette analisi è emerso che le acque sotterranee del Vulture sono caratterizzate, in genere, da temperatura compresa tra 10 e 20 °C, conducibilità elettrica compresa tra circa 200 e 19.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e diffusa presenza di anidride carbonica con valori che variano da 200 mg/l a circa 4.000 mg/l.

Nel diagramma di Schoeller-Berkaloff (Fig. 6) sono riportati, a titolo di esempio, i risultati delle analisi di due campioni per bacino. Uno a bassa mineralizzazione e l'altro a più alta mineralizzazione. Per entrambi i bacini il diagramma sembra indicare un'origine comune delle acque, anche se si può notare una significativa differenziazione nell'inversione del rapporto solfati/cloruri.

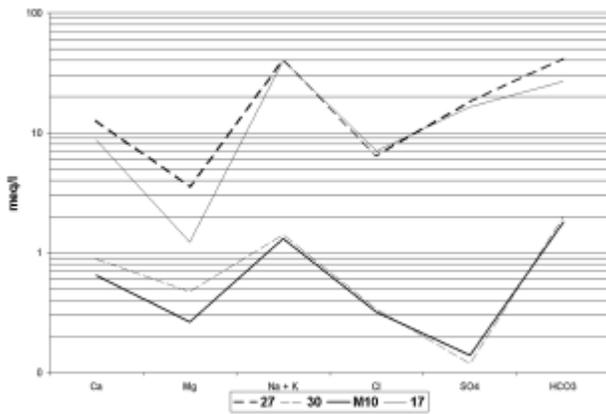


Figura 6: Diagramma di Schoeller-Berkaloff relativo a campioni rappresentativi per i due bacini (27 e 30 del bacino di Monticchio-Atella; M10 e 17 del bacino di Melfi-Barile) (da Celico, Summa, 2003).

*Schoeller-Berkaloff diagram, representing water sampled from the two groundwater basins (27 and 30 belong to the Monticchio-Atella groundwater basin; M10 and 17 belong to the Melfi-Barile basin) (from Celico, Summa, 2003).*

L'elevata differenza di mineralizzazione tra i due bacini sembra essere dovuta all'attività della  $\text{CO}_2$  che è presente in maggior quantità nel bacino di Monticchio-Atella.

La costruzione del diagramma di Piper (Fig. 7), ha permesso di riconoscere le due principali facies idrogeochimiche (bicarbonato-alcina e bicarbonato-alcanino-terrosa) cartografate in Fig. 5.

La facies bicarbonato-alcina è presente in entrambi i bacini, con una maggiore abbondanza in quello di Melfi-Barile, mentre nel bacino di Monticchio-Atella è presente in modo localizzato nella parte alta della falda e, nel settore occidentale (zona di Monticchio), in campioni prelevati dai corsi d'acqua. Essa è generalmente associata ad acque a debole mineralizzazione e con trascurabili contenuti in  $\text{CO}_2$ .

La facies bicarbonato-alcino-terrosa è dominante nel bacino di Monticchio-Atella, in cui sono presenti le acque

più mineralizzate; ad essa è associata la presenza di  $\text{CO}_2$ , che è più abbondante nel settore occidentale (zona di Monticchio), dove si sono verificate le ultime manifestazioni dell'attività vulcanica (Stoppa, Principe, 1998). Invece, nel bacino di Melfi-Barile, è presente in modo localizzato nei pressi del Toppo S.Paolo, dove è probabilmente da mettere in relazione con l'ipotizzata risalita di fluidi profondi, e nel settore nord-occidentale (zona di Melfi), dove la fenomenologia è probabilmente imputabile alla mobilizzazione di acque profonde (come è peraltro ipotizzabile sulla base dell'intenso sfruttamento del settore, testimoniato dall'esaurirsi della sorgente "La Maddalena" e dal prosciugarsi di alcuni pozzi).

Le zone risultate anomale e non riconducibili allo schema di circolazione appena descritto sono localizzate nelle aree riportate in Fig. 5 rispettivamente ad ovest, ad est, a sud-ovest ed a sud-est del Monte Vulture.

In queste aree le scaturigini presentano caratteristiche geochimiche diverse dalle altre analizzate. Per cercare di chiarire il ruolo idrogeologico di queste zone nei confronti della circolazione basale dei due bacini sotterranei descritti, su alcune sorgenti delle aree anomale riportate in Fig. 5 sono state eseguite le determinazioni del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Questa metodologia, ancora innovativa nel panorama idrogeologico italiano, ha messo in evidenza la possibilità di utilizzare le caratteristiche geochimiche ed isotopiche di tale elemento per distinguere la natura litologica delle rocce coinvolte nella circolazione delle acque sotterranee, e possibili fenomeni di mixing con acque di altra natura.

Infine parallelamente alla determinazione del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nei campioni di acqua in studio, sono stati considerati i valori dello stesso rapporto per alcune litologie appartenenti alla serie vulcanica locale, potenzialmente interessata dalla circolazione idrica sotterranea dell'area in studio (Barbieri, Morotti, 2003).

Le sorgenti oggetto delle determinazioni sono riportate in Tab. 1.

Per la zona ad ovest la sorgente n° 19 è rappresentativa del gruppo di sorgenti 18-22 per le quali non è stato possibile chiarire i rapporti con la circolazione basale dei due bacini. Le sorgenti sono localizzate al contatto tra i tufi scuri (acquifero) ed i tufi chiari. Sono, dunque, relative a circolazione esclusiva esplicita all'interno delle vulcaniti così come indicato dal valore del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  della sorgente 19 (0,70610). Detto valore è, infatti, molto simile al valore medio, riportato in letteratura (Barbieri, Morotti, 2003) per le vulcaniti del Vulture (0,70580).

Per la zona ad est, le sorgenti 10 e 12 affiorano dai depositi flyschoidi miocenici. Essi traggono alimentazione da un'esiguo spessore di vulcaniti che poggiano, più a monte, su i depositi impermeabili; le acque percorrono parte del loro tragitto nei depositi flyschoidi alterati prima di venire a giorno. Così come dimostrato dal valore del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  della sorgente 12 (0,70704) se

confrontato con il valore isotopico dei depositi flyschoidi (Barbieri, Morotti, 2003).  
del bacino di Lagonegro riportata in letteratura (0,70762,

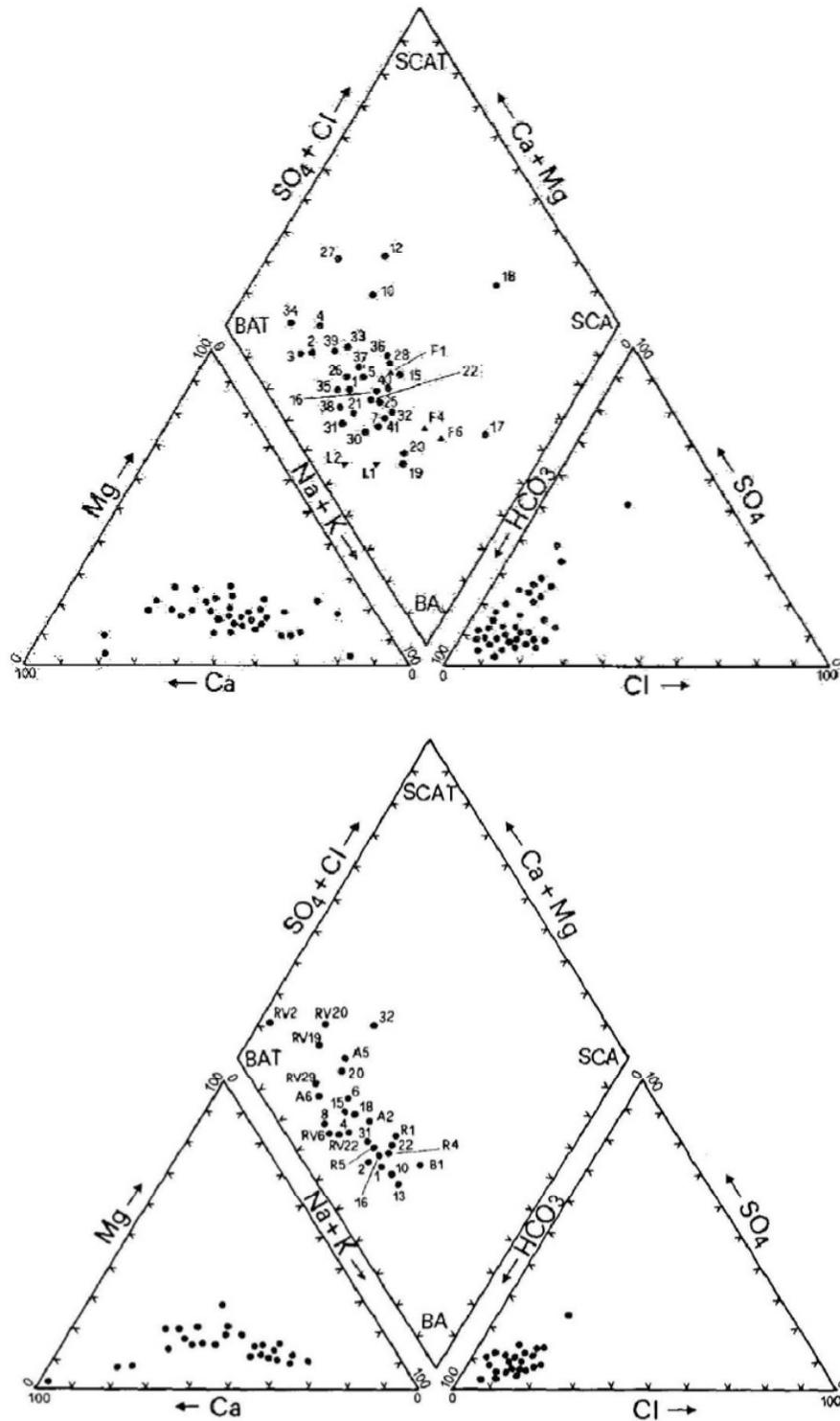


Figura 7: Diagramma di Piper. a) 1=Sorgenti; F=Corsi d'acqua; L=Lago piccolo. b) Pozzi (1=Melfi; R=Rapolla, B=Barile; RV=Rionero in Vulture; A=Atella) (da Celico, Summa, 2003).  
Piper diagram. A) 1=Springs; F=Stream channels; L=Little Lake. B) Wells (1=Melfi; R=Rapolla; B=Barile; RV=Rionero in Vulture; A=Atella) (from Celico, Summa, 2003).

Per la zona a sud-ovest l'anomalia è rappresentata da una sorgente (n° 2) lontana dalle altre della zona che affiora dai depositi clastici pliocenici (Fig. 5) probabilmente dopo un lungo percorso negli stessi depositi e trae alimentazione dalle vulcaniti più a nord tramite faglia. Il valore del rapporto isotopico  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  della sorgente 2 (0,70780) è, infatti, confrontabile con il valore isotopico del complesso calcareo-argilloso di Melfi (0,70783) e riportato in letteratura (Barbieri, Morotti 2003).

Nella zona a sud-est è presente la sorgente n° 29 che è, con una conducibilità di circa 19.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la sorgente più mineralizzata dell'intera struttura vulcanica. Essa affiora alla base di un esteso banco di travertino sovrapposto al substrato impermeabile flyschoidale ed è in contatto laterale con la circolazione basale delle vulcaniti a nord. L'elevata mineralizzazione e le caratteristiche geochimiche di questa sorgente sono da imputare alla bassissima permeabilità del travertino che si presenta completamente intasato di depositi limoso-argillosi. Questa interpretazione trova conferma nella lettura del rapporto  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,70880). Detto valore, risulta, infatti, più elevato dei precedenti a causa proprio del contributo dei depositi flyschoidali che presentano un valore medio pari a 0,70900 (Barbieri, Morotti, 2003).

## Conclusioni

Sulla base delle analisi idrogeochimiche è stato possibile riconoscere due principali facies idrogeochimiche (bicarbonato-alcalina e bicarbonato-alcantano-terrosa). La facies bicarbonato-alcalina è presente in entrambi i bacini,

con una maggiore abbondanza in quello di Melfi-Barile, mentre nel bacino di Monticchio-Atella è presente in modo localizzato nella parte alta della falda, essa è generalmente associata ad acque a debole mineralizzazione e con trascurabili contenuti in  $\text{CO}_2$ .

La facies bicarbonato-alcantano-terrosa è dominante nel bacino di Monticchio-Atella, in cui sono presenti le acque più mineralizzate; ad essa è associata la presenza di  $\text{CO}_2$ , che è più abbondante nel settore occidentale (zona Monticchio), dove si sono verificate le ultime manifestazioni dell'attività vulcanica.

Le aree maggiormente anomale dal punto di vista idrogeochimico sono state investigate con l'ausilio delle analisi isotopiche dello stronzio. Mediante detta metodologia è stato possibile evidenziare:

- per la zona ad ovest (sorgenti 18-22), come la circolazione avvenga principalmente nelle vulcaniti;
- per la zona ad est (sorgenti 10 e 12) come queste sorgenti traggono alimentazione da un'esigua spessore di vulcaniti che poggiano, più a monte, su i depositi flyschoidali alterati;
- per la zona sud-ovest la sorgente 2 rappresenta una circolazione esplicata principalmente all'interno dei depositi clastici pliocenici;
- per la zona a sud-est la sorgente n° 29 (la più mineralizzata dell'intera struttura vulcanica) dovrebbe rappresentare una circolazione all'interno dei travertini completamente intasati dai depositi limoso-argillosi.

## Bibliografia

- Barbieri M., Morotti M., 2003. Hydrogeochemistry and strontium isotopes of spring and mineral waters from Monte Vulture volcano, Italy. *Applied Geochemistry*, 18, 117-125.
- Boenzi F., La Volpe L., Rapisardi L., 1987. Evoluzione Geomorfologica del Complesso Vulcanico del Monte Vulture (Basilicata). *Boll. Soc. Geol. It.*, 106, 673-682.
- Bonadonna F.P., Brocchini D., Laurenzi M.A., Principe C., Ferrara G., 1994. Stratigraphical and chronological correlations between Monte Vulture volcanics and sedimentary deposits of the Venosa basin. Submitted to *Quaternary International*.
- Brocchini D., Laurenzi M.A., La Volpe L., Principe C., 1994. Storia evolutiva del Monte Vulture. *Plinius*, 12, 22-25.
- Casoria E., 1901. Le acque carbonatiche delle falde orientali del Vulture in relazione alla costituzione chimica dei materiali vulcanici. *Ann. Reale Scuola Sup. Agricoltura Portici*, S.11, 1-40.
- Celico P., Summa G., 2004. Idrogeologia dell'area del Vulture (Basilicata). *Boll. Soc. Geol. It.*, 123, 343-356.
- Ciccacci S., Del Gaudio V., La Volpe L., Sansò P., 1999. Geomorphological features of Monte Vulture Pleistocene Volcano (Basilicata, Southern Italy). *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.* 114, 29-48.
- La Volpe L., Patella D., Rapisardi L., Tramacere A., 1984. The evolution of the Monte Vulture volcano (Southern Italy): inferences from volcanological, geological and deep dipole electrical soundings data. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 22, 147-162.
- La Volpe L., Principe C., 1989a. Guida alla escursione sul Monte Vulture, del 18-19 ottobre 1989. Convegno Scientifico su "Genesi ed aspetti geodinamici del vulcanismo potassico ed ultrapotassico: stato dell'arte e prospettive di ricerca"; Bari, 17-18 ottobre 1989. 1-33.
- La Volpe L., Principe C., 1989b. Stratigrafia e Storia eruttiva del Monte Vulture. Revisione ed aggiornamenti. *Bollettino GNV*, 2, 889-902.
- La Volpe L., Principe C., 1991. Comments on Monte Vulture Volcano (Basilicata, Italy): an analysis of morphology and volcanoclastic facies by J.E. Guest, A.M. Duncan and D.K. Chester. *Bull. Volcal.*, 53, 222-227.
- Laurenzi M.A., Brocchini D., Principe C., Ferrara G., 1993. Mt. Vulture volcano chronostratigraphy and the effectiveness of dating young phlogopites. Abstracts (Oral presentation to) *EUG 7<sup>e</sup>*, Strasburgo.
- Principe C., Stoppa F., 1994. Caratteristiche litologiche delle piroclastiti associate alla genesi dei maar di Monticchio: prima segnalazione di depositi carbonatico-melilititici al M. Vulture (Basilicata). *Plinius*, 12, 86-90.
- Rapisardi L., 1980. Osservazioni sulla neotettonica del Foglio 187 "Melfi"; in contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia. Pubblicazione n° 356 del P.F. Geodinamica, 121-131.
- Schiattarella M., Beneduce P., Giannandrea P., Giano S.I., 1999. Evoluzione strutturale del vulcano quaternario del Monte Vulture (appennino meridionale). *Geitalia*, 2° FIST, 1999, 1, 229-230 (Abstract).
- Stoppa F. & Principe C., 1998. Eruption style and petrology of a new carbonatitic suite from the Mt. Vulture (Southern Italy): The Monticchio Lakes Formation. *Journal of Volcan. and Geother. Reserch*, 80, 137-153.