

# I laghetti sorgivi delle Acque Albule

“IL TRAVERTINO: ASPETTI NATURALISTICI E SFRUTTAMENTO INDUSTRIALE ALL’INIZIO DEL TERZO MILLENNIO”

GUIDONIA 27-28 OTTOBRE 2000

Giorgio Caramanna

## Premessa

Lo scrivente, nell’ambito della raccolta dei dati per la sua tesi di Laurea in Idrogeologia, ha personalmente effettuato una serie di immersioni scientifiche all’interno dei Laghi Regina e Colonnelle e nel limitrofo Lago di S. Giovanni negli anni 1999 - 2001. Le immersioni sono state finalizzate alla raccolta di dati morfometrici e idrochimici atti a caratterizzare l’ambiente in studio.

La ricerca si inquadra in un più ampio progetto relativo allo studio idrogeologico e geomorfologico di diverse voragini allagate presenti nel territorio del Lazio.

In questo lavoro verrà sovente adottato il termine anglosassone di *sinkhole*. Esso sarà utilizzato nella sua accezione più ampia a significare ogni generico fenomeno di sprofondamento o subsidenza catastrofica indipendentemente dal tipo litologico di substrato nel quale si è verificato.

## Inquadramento morfologico e geologico dell’area

La Piana di Tivoli, incastonata tra rilievi di modesta altezza, è caratterizzata dalla presenza di potenti depositi travertinosi a luoghi affioranti e altrove coperti da sedimenti piroclastici, argillosi ed alluvionali. A Nord è delimitata dalla struttura carbonatica dei Monti Cornicolani. La dorsale dei Monti Lucretili e Tiburtini segna il confine orientale. L’alveo del fiume Aniene borda il settore meridionale. I depositi piroclastici più settentrionali del Vulcano Albano costituiscono il limite occidentale. (Fig. 1).

Il substrato carbonatico, ivi incluso quello travertinoso, è interessato da vistosi fenomeni carsici con formazione di cavità epigee ed ipogee. In alcuni casi le voragini si manifestano in modo repentino senza apparenti segnali premonitori.

Ad un fenomeno di crollo improvviso si deve la formazione della dolina di Quarto Pianelle a nord di Montecelio (Crema C., 1915). Frequenti sono le segnalazioni di boati uditi dalla popolazione locale cui spesso fanno seguito ritrovamenti di nuove aperture sul piano campagna che consentono di raggiungere cavità ipogee (Ezio Curti G.S.G. com. pers.).

La cavità carsica più imponente è senza dubbio il Pozzo del Merro sui Monti Cornicolani. Questa voragine, parzialmente allagata, è stata oggetto di studi da parte dello scrivente fin dal 1998 e, ad oggi, risulta essere uno dei *sinkholes* allagati più profondi del Pianeta.

Ad ulteriore prova della dinamicità del fenomeno carsico, in data 24 gennaio 2001 in località Pozzo Grande, nei pressi del paese di Marcellina, si è repentinamente formato un *sinkhole* in un terreno agricolo.

In prossimità dell'abitato di Bagni di Tivoli, nell'ampia lente di travertino affiorante, si aprono due *sinkholes* allagati sorgenti delle Acque Albule: i laghi "Colonnelle" e "Regina". Un particolare interessante è stata la presenza, in passato, sulla loro superficie di isole galleggianti numerose e di modeste dimensioni (Sir Davy Humphry; 1830). Tali strutture sono probabilmente da considerare originatesi da incrostazioni travertinose sulle quali si è impostato un feltro vegetale favorito dalla presenza di alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> nell'acqua dei laghi in questione. Attualmente le isole non sono più visibili, sono segnalate solo piccole "matte" galleggianti (Pentecost, Tortora; 1989).

A poca distanza dai laghi di "Regina" e "Colonnelle" si trova il piccolo laghetto subcircolare di S. Giovanni oggetto di misure da parte del Clerici negli anni '20. La profondità massima misurata dal Clerici è stata di 17,46 m. ed egli avvalorava l'ipotesi che il lago si sia originato per un improvviso sprofondamento del terreno.

Il Bacino delle Acque Albule è da ritenersi di origine tettonico-carsica, in concomitanza con un'ulteriore fase di sollevamento del Preappennino Romano. L'idrografia epigea ed ipogea è concordante con la giacitura dei depositi travertinosi con una leggera pendenza verso Sud. Il carsismo è diffuso e, sotto lo strato più superficiale di "tartaro", i travertini sono soggetti ad estesi fenomeni di sgrottamento con formazione di doline di crollo la cui morfologia risulta spesso obliterata da interventi antropici. Un sollevamento in blocco della struttura ha interrotto la deposizione del travertino e il conseguente approfondimento del reticolo idrografico ha fatto sì che le acque calacreo-solfidriche risalenti dal sottosuolo esercitino la loro azione incrostante prevalentemente in ambiente ipogeo contrastando la formazione delle citate cavità nel substrato travertinoso. L'utilizzo del travertino (Lapis Tiburtinus) è noto fin dai tempi antichi, tale utilizzo è continuato fino ai giorni nostri favorendo una diffusissima presenza di cave nell'area circostante Tivoli. La maggior parte della formazione travertinosa si può considerare deposta in sincronia col II Interglaciale (Riss-Wurm), coeva con i depositi della "Formazione fluvio-lacustre" cui possono corrispondere il Tirreniano di *facies* marina e la fauna musteariana con il cranio neandertaliano di Sacco Pastore (Maxia; 1949).

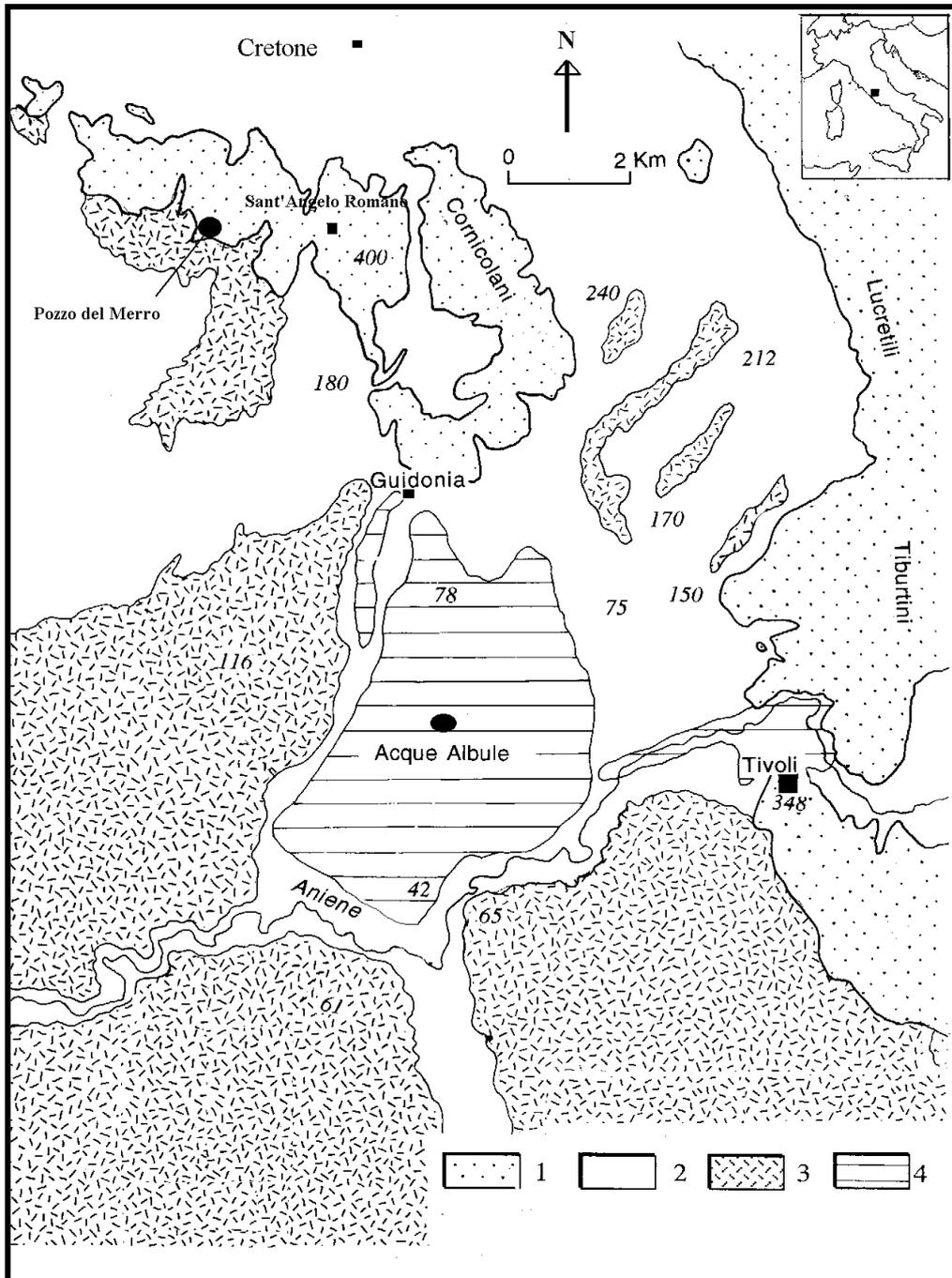


Fig. 1 - Schema geologico semplificato del sistema Monti Cornicolani –Piana di Tivoli

(da Facenna *et alii* mod., 1994)

- 1) Idrostrutture carbonatiche (Mesozoico – Cenozoico) – 2) Copertura sedimentaria (Pliocene – Quaternario) – 3) Depositi piroclastici dei Monti Albani (Quaternario)
- 4) Depositi travertinosi (Quaternario)

## **Morfologia dei laghetti**

Lago Regina. Ha forma ellittica con diametri maggiore e minore rispettivamente di 90 e di 75 m. La profondità massima è di 35 metri (Fig. 2). Alla base della parete settentrionale si incontra l'emergenza principale. Il flusso della sorgente è considerevole (ca. 2,5 m<sup>3</sup>/s) e viene captato da un sistema di condotte a gravità che portano le acque agli impianti termali di Bagni di Tivoli.

Le pareti del *sinkhole* sono costituite da travertino alterato dall'azione chimica delle acque sorgive acide e con lievi anomalie termiche (23°C). La forma della cavità è subcilindrica con fondo ricoperto da depositi fangosi di spessore decimetrico. Nei pressi della sorgente la parte più sottile del sedimento è allontanata dal flusso turbolento delle acque e il fondo risulta coperto da detrito grossolano con ciottoli arrotondati. La parte meridionale del lago forma un bacino di modesta profondità in cui si accumulano fanghi carbonatici che vengono utilizzati per finalità terapeutiche. Sia sul fondo che lungo le pareti si osservano numerosi punti di emissione di gas e piccoli flussi d'acqua.

Lago Colonnelle. Il diametro maggiore non supera 60 metri il minore 40 m. La profondità si aggira attorno ai 60 metri (Fig. 2). La voragine si presenta imbutiforme restringendosi via via con la profondità. Lungo la parete orientale sono presenti estesi sgrottamenti dalle cui volte pendono pseudostalattiti per precipitazione di CaCO<sub>3</sub> sul materiale organico costituito da solfobatteri che ricoprono la roccia. Indagini dirette hanno rilevato una modesta copertura di sedimenti incoerenti; a tratti si rilevano accumuli metrici che formano conoidi. Anche in questo caso le acque sorgentizie sono acidule, molto mineralizzate e con temperatura prossima a 23°C.

Lago di S. Giovanni. Ubicato poche centinaia di metri a Nord delle sorgenti Acque Albule. A differenza di queste l'acqua non presenta fenomeni di mineralizzazione con fluidi sulfurei e geotermici. La temperatura è di 10 °C (Febbraio 2001) e apparentemente non si riscontrano manifestazioni sorgive sub-laguali..

La forma dello specchio lacustre è subcircolare con diametro di circa 60 metri. La profondità massima è di 16 metri con fondale piatto e ricoperto da un modesto spessore di limo e da materiale vegetale in decomposizione (Figg. 3,4). Le pareti, di travertino, sono subverticali con dislivello dal piano campagna al livello dell'acqua di circa 2- 3 metri. La caratteristica peculiare di cui ci si è accorti grazie all'esplorazione diretta della cavità, con immersioni scuba condotte dallo scrivente e dal Nucleo Sommozzatori dei Vigili del Fuoco di Roma, è la presenza di ampi sgrottamenti lungo il perimetro con volte e cunicoli di varie dimensioni. La massima penetrazione, misurata dalla verticale delle pareti, è di 16 metri nel settore orientale, alla profondità di circa 8 metri. A luoghi

sono presenti camini verticali di dimensioni metriche in parte esplorabili. La volta, di quella che si può definire una caverna perimetrale, è caratterizzata da mammelloni calcarei e stalattiti. Lungo le pareti si trovano numerosi speleotemi più piccoli simili a vaschette calcaree. Il colore della superficie delle pareti e della volta varia da biancastro a spiccatamente nero, quasi bruciato, evidenziando fenomeni di alterazione del materiale calcareo.

Si ipotizza una evoluzione subaerea della cavità con la formazione di incrostazioni calcaree tipiche di ambienti non allagati. Successivamente la risalita della tavola d'acqua potrebbe aver allagato la cavità ed il collasso della parte centrale della volta ha evidenziato la superficie libera della falda secondo il processo genetico tipico dei *sinkholes* da crollo.

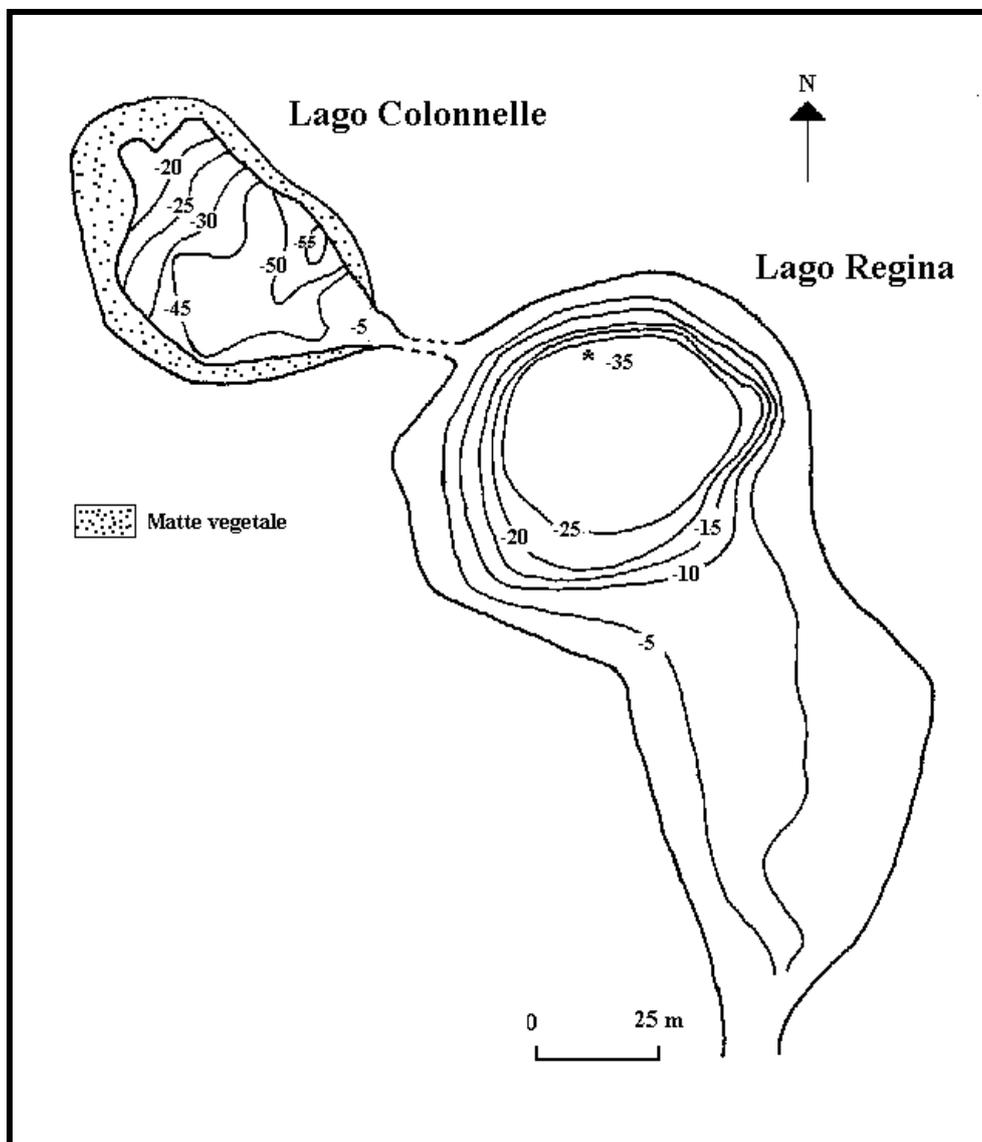


Fig. 2 - Batimetria dei Laghi Regina e Colonnelle (Acque Albule – Piana di Tivoli)

\*) punto di captazione delle acque (da A. Pentecost e P. Tortora; 1989 mod.)

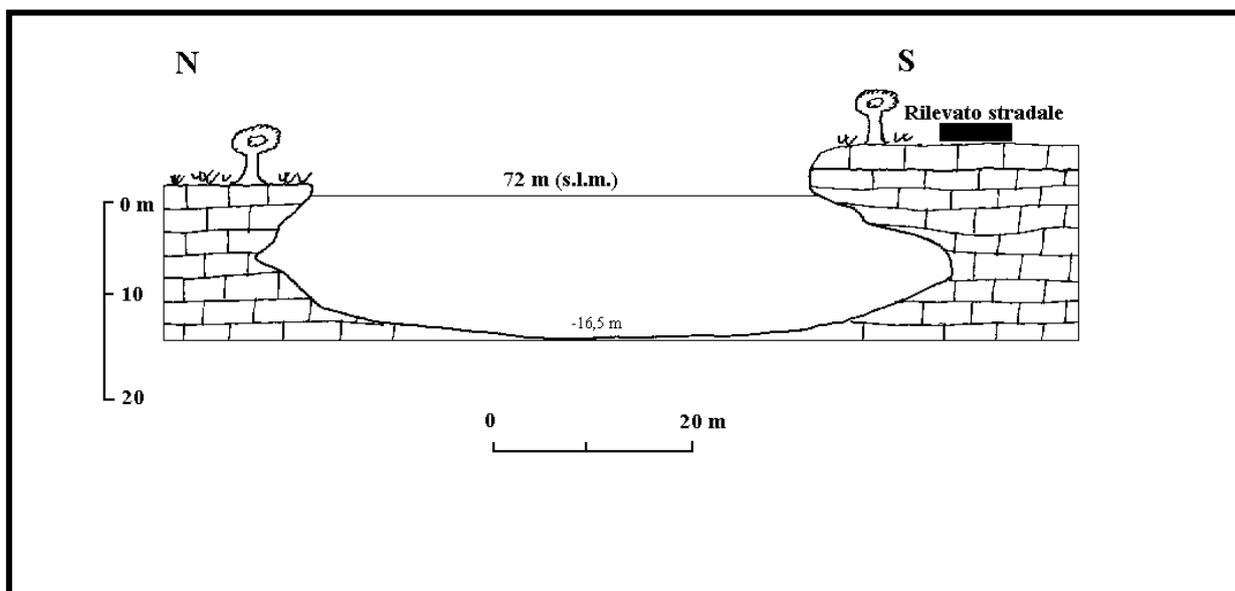


Fig. 3 - Lago di S. Giovanni (Piana di Tivoli): sezione N-S (2001)

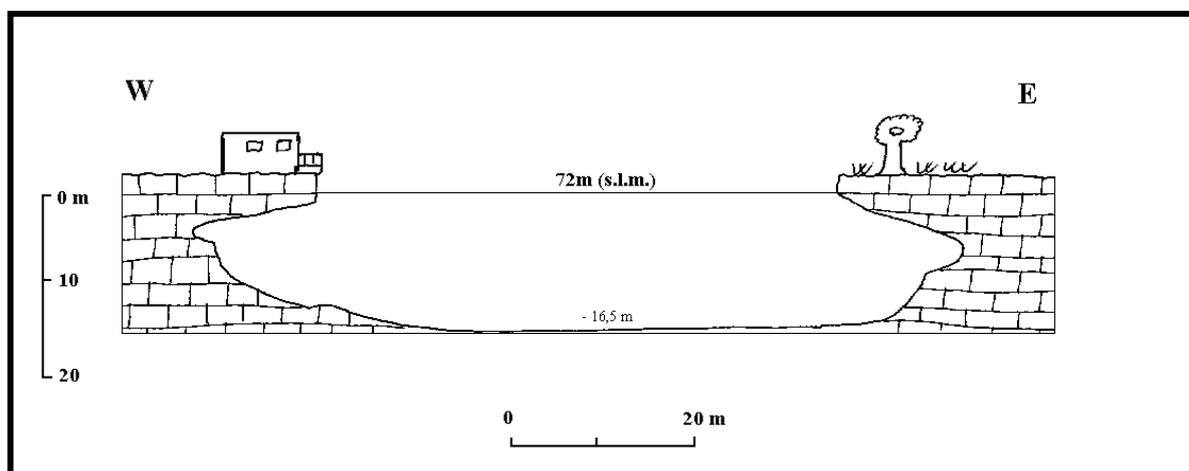


Fig. 4 - Lago di S. Giovanni (Piana di Tivoli): sezione W-E (2001)

## Idrogeologia

Il sistema dei Monti Cornicolani - Piana di Tivoli viene alimentato dal settore meridionale della catena Sabina, dai Monti Lucretili e dai Cornicolani. L'area di alimentazione è compresa tra le isoiete 1.000 e 1.500 mm/a, il valore più alto limitatamente al settore meridionale dei Monti Sabini (Tab. 1).

Sup. Km <sup>2</sup>	CD %	CC %	DS %	DP %	Q <sub>t</sub> m <sup>3</sup> /s	P <sub>m</sub> mm	IE mm
832	-	44,5	8,5	47	15	1.288	568

Tab. 1 - Principali caratteristiche idrologiche ed idrogeologiche del sistema

### Monti Cornicolani – Piana di Tivoli

Sup.) superficie totale dell'idrostruttura di alimentazione. CD) Complesso dolomitico. CC) Complesso marnoso-calcarenitico. DS) Dominio di Piattaforma Carbonatica. DP) Dominio pelagico. Q<sub>t</sub>) flusso totale. P<sub>m</sub>) piovosità media. IE) infiltrazione efficace. (da "Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale" Boni *et alii*, 1986).

L'esistenza di acque solfuree, e di depositi travertinosi, nell'area di Tivoli è ben nota. Le acque vennero sfruttate fin da epoca romana per le loro proprietà terapeutiche con la realizzazione di impianti termali.

Un importante studio sulla falda idrica profonda che alimenta le sorgenti delle Acque Albule è quello condotto dal Manfredini negli anni '40. Egli ipotizza un collegamento idraulico tra alcune delle emergenze nella piana delle Acque Albule ed il sistema idrogeologico dei Monti Cornicolani e di Monte Gennaro. Le emergenze, pur essendo diretta emanazione delle acque contenute nei calcari mesozoici, sarebbero dovute al contatto tra detta formazione calcarea e i terreni impermeabili delle argille plioceniche e delle coperture quaternarie. La presenza di una lente travertinosa sarebbe la causa dell'allontanamento delle sorgenti delle Acque Albule dal contatto diretto tra i calcari ed i materiali impermeabili della piana. Le caratteristiche di termalità sarebbero dovute a contributi puntiformi di vapori ed acque juvenili, a temperatura elevata, derivanti da fenomeni post-eruttivi del bacino magmatico del Vulcano Laziale. Egli inoltre riconosce nel Lago di S. Giovanni un affioramento della falda basale priva dei contributi geotermici profondi. Il Pozzo del Merro e il laghetto ipogeo del vicino Pozzo Sventatore del Merro (Monti Cornicolani), dai dati raccolti dallo scrivente, rappresenterebbero emergenze della stessa piezometrica basale.

Per la caratterizzazione chimico-fisica delle acque sono stati realizzati log verticali di conducibilità elettrica e temperatura (Figg. 5-8) e si sono prelevati campioni per analisi di laboratorio. Si è verificata una mineralizzazione elevata con tenori elevati in solfuri e carbonati. In

particolare nel Lago Regina si è riscontrata una conducibilità elettrica superiore ai 3000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  con una temperatura di 23 °C mentre nel Lago Colonnelle la conducibilità misurata è stata di 2800  $\mu\text{s}/\text{cm}$  con temperatura di 23°C. Le emissioni gassose, presenti in entrambe le sorgenti, sono più evidenti nel Lago Regina.

Per la temperatura del Lago Regina sono disponibili dati storici a partire dal 1857 (Tab. 2).

<b>Data</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Autore</b>
1857	23,0	Latini <i>et alii</i>
1874	23,0	Canevari
1896	23,7	Camilla
1899	23,5	Perrone
1924	24,7	Piccinini
1933	22,0	Dir. Gen. Sanità
1940	23,0	Min. Interno
1951	22,0	Messini
1964	23,0	Falchitto
1974	23,4	Camponeschi
1980	23,3	Camponeschi – Nolasco
1999 - 2001	23,0	Caramanna

Tab. 2- Temperature dell'acqua del Lago Regina (da Camponeschi & Nolasco mod., 1988)

Le analisi chimiche hanno inoltre rilevato la presenza di concentrazioni importanti in solfuri. All'ossidazione di questi composti dello zolfo, per opera dell'ossigeno atmosferico, si deve la particolare opalescenza della superficie dei laghi da cui il nome "Acque Albule". Le immersioni condotte nelle cavità (periodo 1999-2001) hanno evidenziato le particolari condizioni di visibilità prodotte dallo spessore dello strato superficiale ossidato. Nel Lago Regina lo spessore dello strato opalescente è variato da meno di dieci metri durante l'estate a quasi trenta in inverno. Il fenomeno probabilmente deve attribuirsi all' "effetto termosifone" che in inverno fa sì che l'acqua calda, meno densa, risalga in superficie via via raffreddandosi ed ossidandosi. Dalla superficie lo strato d'acqua, divenuto più ossigenato, ridiscende verso il fondo incrementando la torbidità sino a 30 metri di profondità. Tali processi possono essere determinati anche da attività sismica. A tale attività è probabilmente imputabile il marcato intorbidimento delle acque del Lago Colonnelle, verificato personalmente dallo scrivente durante l'immersione eseguita in data 13 ottobre 2000. Il fenomeno, probabilmente non dovuto a variazioni climatiche, sembrerebbe essere collegato all'attività sismica registrata in quei giorni nell'area aniense.

Un'altra caratteristica delle sorgenti Acque Albule è associata a forti emissioni gassose; queste si manifestano maggiormente alla superficie del Lago Regina. In immersione il fenomeno si palesa con la formazione di una crescente effervescenza negli strati più superficiali della colonna d'acqua per la progressiva liberazione di CO<sub>2</sub>.

Il particolare chimismo delle acque permette l'esistenza di colonie di solfobatteri che ricoprono sia il fondo che le pareti delle cavità. In particolare nel Lago Colonnelle i solfobatteri assumono la forma di pseudostalattiti che pendono dalla volta degli sgrottamenti laterali.

L'elevata concentrazione in bicarbonato di calcio è alla base della continua formazione di incrostazioni travertinose sui materiali esposti al contatto dell'acqua; anche l'influenza dei batteri può favorire il fenomeno di precipitazione (Pentecost A., 1989).

Anche nel Lago S. Giovanni è stato eseguito un log verticale dell'andamento dei valori di T, conducibilità elettrica e TDS. Dall'analisi dei dati risulta evidente la diversità dei valori di mineralizzazione e di temperatura delle acque rispetto a quelli dei limitrofi laghi Regina e Colonnelle.

Il quadro che si delinea dall'analisi dei principali parametri idrochimici dei campioni prelevati (Caramanna G., 2001) è quello di un acquifero principale "falda carsica regionale" ospitato nei termini carbonatici mesozoici della "Serie Sabina" con apporti di fluidi mineralizzati e caldi lungo le dislocazioni tettoniche attive dell'area aniene e cornicolana. Alla circolazione basale dell'acquifero regionale si associano, ai margini della struttura carbonatica, piccole falde sospese ubicate nei depositi di copertura.

I citati acquiferi sono sfruttati localmente con un uso prevalentemente irrigui e domestici, sebbene presentino una sostanziale differenza nella potenzialità di risorse utilizzabili, la produttività dei pozzi e delle sorgenti si correla all'andamento delle precipitazioni stagionali con frequenti casi di prosciugamento dei pozzi (soprattutto quelli a minor profondità) durante il periodo estivo notoriamente più arido.

La presenza di acque con marcate anomalie geochimiche assume particolare interesse anche in relazione alla diffusione del carsismo nell'area cornicolana. Il processo erosivo è controllato da dislocazioni tettoniche attive che costituiscono percorsi preferenziali per la risalita di fluidi geotermici chimicamente aggressivi nei confronti delle rocce carbonatiche. I fluidi di origine profonda favoriscono infatti la dissoluzione e quindi l'allargamento del reticolo di fratture con un fenomeno di *feedback*.

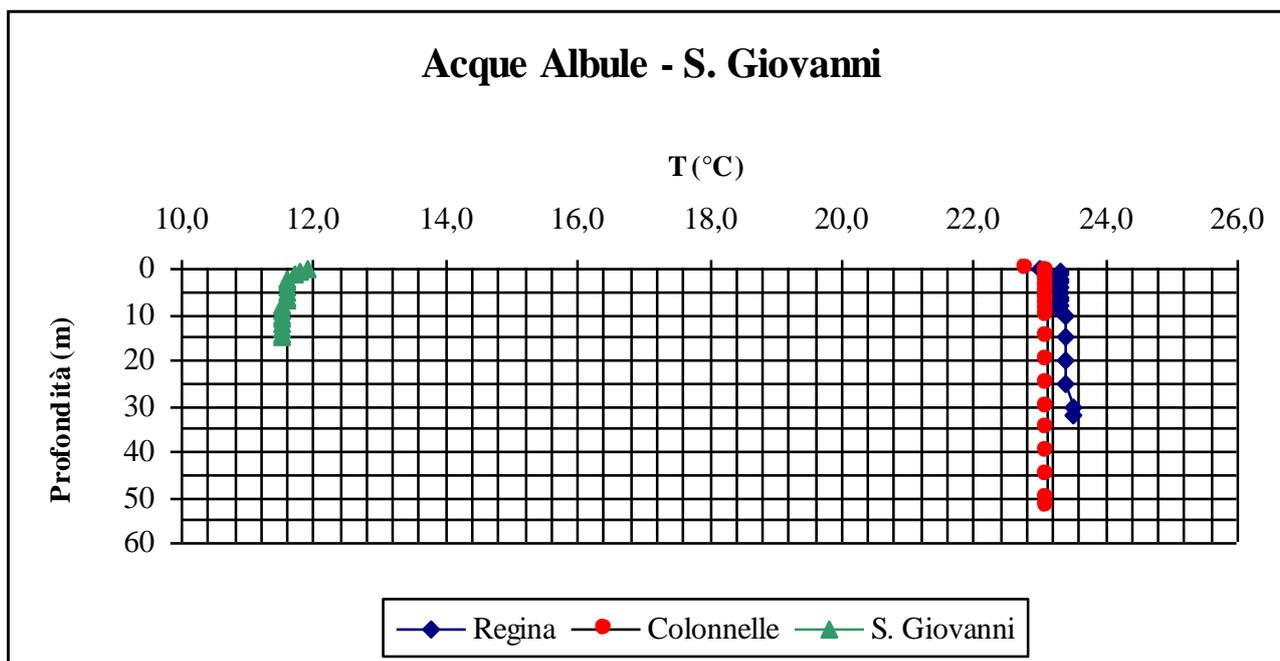


Fig. 5 - Andamento delle temperature dell'acqua nei *sinkholes* dell'area di Bagni di Tivoli (periodo 2000 – 2001)

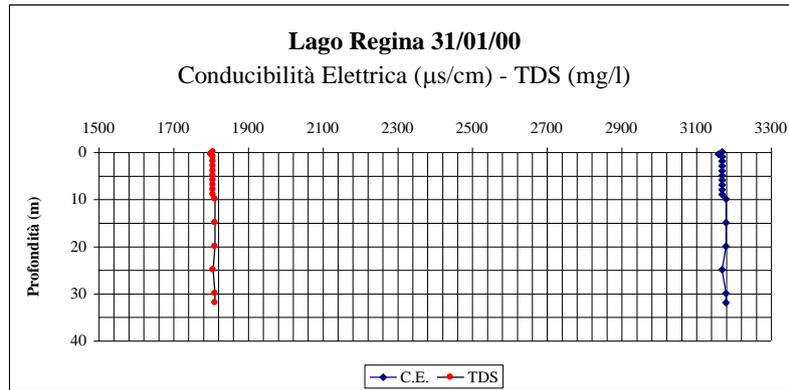


Fig. 6 - Log dei valori della conducibilità elettrica (C. E.) e della mineralizzazione (TDS)

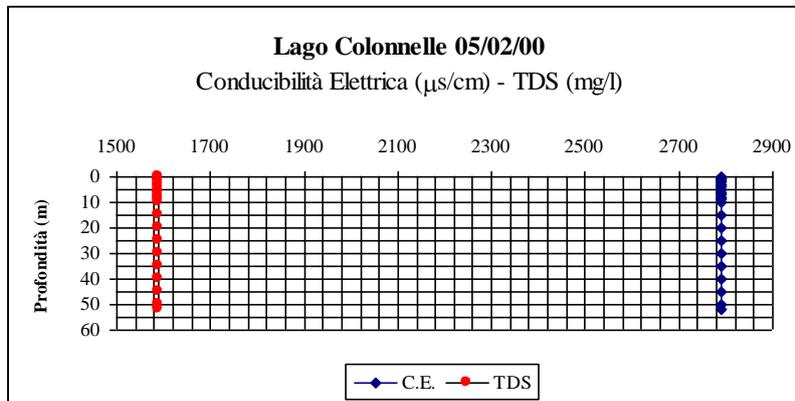


Fig. 7 - Log dei valori della conducibilità elettrica (C. E.) e della mineralizzazione (TDS)

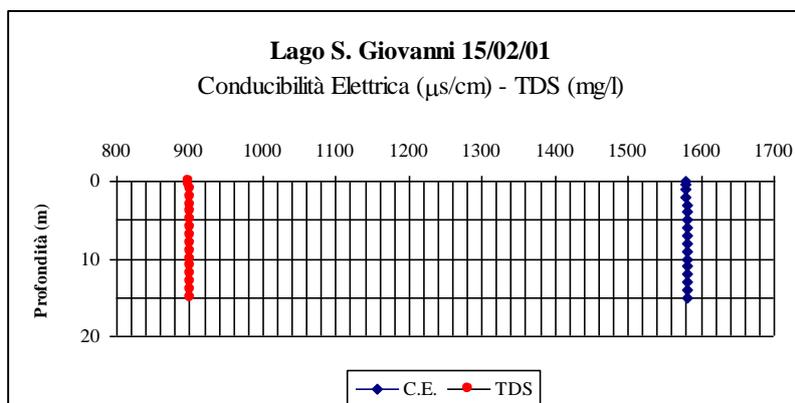


Fig. 8 - Log dei valori della conducibilità elettrica (C. E.) e della mineralizzazione (TDS)

## **La sicurezza nelle immersioni**

Le immersioni scientifiche necessitano di preparazione e materiali sovrabbondanti rispetto alle normali immersioni sportive. Gli operatori infatti devono trasportare strumentazione spesso delicata od ingombrante e compiere operazioni articolate e complesse per la raccolta dei dati necessari alla ricerca. Per questo motivo l'attività è riservata a sub di provata esperienza con un alto livello di confidenza con le apparecchiature e con le procedure di immersione e campionamento. Si è spesso sottoposti a carichi di lavoro, mentale e fisico, elevati dovendo affrontare situazioni ambientali particolari quali: visibilità ridotta, temperature basse od elevate, impossibilità di una risalita diretta in superficie.

Le immersioni nei laghi sorgivi delle Acque Albule rientrano a pieno diritto nella categoria delle immersioni in ambienti estremi per la presenza di fluidi chimicamente aggressivi per i materiali, gas potenzialmente tossici per gli operatori e per la particolare morfologia delle cavità.

La presenza di alte concentrazioni di gas tossici, quali HS e CO<sub>2</sub>, ha reso necessario l'isolamento completo dei sub dall'ambiente esterno. Si sono quindi utilizzate mute stagne, a dispetto della temperatura elevata dell'acqua (23°C), e maschere "granfacciali" (Interspiro MKII e Kirby-Morgan Exo 26).

Per la presenza di elevate concentrazioni in solfuri, nelle componenti metalliche delle apparecchiature subacquee si sono riscontrati fenomeni di ossidazione accelerata con la necessità di frequenti interventi di manutenzione nonché l'immediato risciacquo delle stesse appena terminata l'immersione.

L'opalescenza degli strati superficiali blocca quasi completamente la penetrazione di luce e quindi l'uso di lampade e cime guida è stato fondamentale anche in immersioni diurne soprattutto nelle operazioni condotte nel Lago Colonnelle. In questo caso infatti la particolare morfologia, con cavità laterali e volte, impediva la risalita diretta del sub in superficie facendo assumere all'immersione connotazioni di tipo speleosubacqueo.

## **Ringraziamenti**

- Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma “La Sapienza”
- Provincia di Roma Assessorato all’Ambiente
- Acea S.p.A.
- Società Acque Albule
- Nucleo Sommozzatori dei Vigili del Fuoco di Roma
- Riccardo Malatesta
- Simone Formica
- Palmiro Bernardini
- Marco Vinci

## Bibliografia

- BONI C., BONO P., CAPELLI G., 1986 “*Schema idrogeologico dell’Italia Centrale*” Mem. Soc. Geol. It. 35: 991-1012
- CAMPONESCHI B., NOLASCO F., 1983 “*Le risorse naturali della Regione Lazio*” Vol. 8 Regione Lazio 415 pp.
- CARAMANNA G., 2001 “*Idrogeologia, Idrologia e Morfologia di sinkholes rappresentativi della Regione Lazio*” Tesi di Laurea in Idrogeologia A.A. 2000 –2001 Corso di Laurea in Scienze Geologiche DST Uniroma1 - Roma
- CARAMANNA G., 2001 “*L’immersione scientifica avanzata nelle ricerche geologiche subacquee – Un caso di studio: il sinkhole Pozzo del Merro*” Rivista della Federazione Italiana di Scienze della Terra 7: 28-29
- CLERICI E., 1926 “*Sul laghetto di S. Giovanni presso le Acque Albule*” Boll. Soc. Geol. It. 45: 26 – 27
- CREMA C., 1915 “*Improvvisa formazione di una dolina presso Montecelio*” Boll. Soc. Geol. It. 34: 273-276
- FACENNA C., FUNICIELLO R., MONTONE P., PAROTTO M., VOLTAGGIO M. (1994) “*Tettonica trascorrente del pleistocene superiore nel bacino delle Acque Albule (Tivoli, Lazio)*” Mem. Descr. Carta Geol. d’It. Vol. 49: 37-50
- HUMPHRY D. SR., 1830 “*Cosolations in travel, or, The Last Days of a Philosopher*” Londra pp. 122-129
- MANFREDINI M., 1949 “*Alcuni dati sulla falda idrica che alimenta le sorgenti delle Acque Albule*” Boll. Serv. Geol. d’Italia, 71: Nota VIII
- MAXIA C., 1949 “*Studio geologico del Bacino delle Acque Albule*” La Ric. Sc. 19 Roma: 351 - 353
- PENTECOST A., TORTORA P., 1989 “*Bagni di Tivoli, Lazio: A modern travertine depositing site and its associated microorganisms*” Boll. Soc. Geol. It. 108: 315 -324