

6. - LA MEDIA VALLE DELL'ANIENE (3)

6.1. - LA PIANA DI TIVOLI E IL BACINO DELLE ACQUE ALBULE

La Piana di Tivoli, incastonata tra rilievi di modesta altezza, è ubicata sulla destra idrografica del F. Aniene ed 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. 102).

Il substrato carbonatico, ivi incluso quello travertino, 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.

La piana 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 dissoluzione con formazione di doline di crollo la cui morfologia risulta spesso obli-

(3) In collaborazione con CARAMANNA G. - "La Sapienza" Università di Roma - Dipartimento Scienze della Terra.

terata da interventi antropici (fig. 103). 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 calcareo-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 travertinoso 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 neanderthaliano di Sacco Pastore (MAXIA, 1948 1950, 1962; FACENNA *et alii*, 1994).

6.2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il bacino delle Acque Albule è di origine tettono-carsica. Si è formato in concomitanza di una fase di sollevamento del preappennino romano, che ha portato all'innalzamento e all'inarcamento dei Monti Tiburtini, e alla accentuazione della

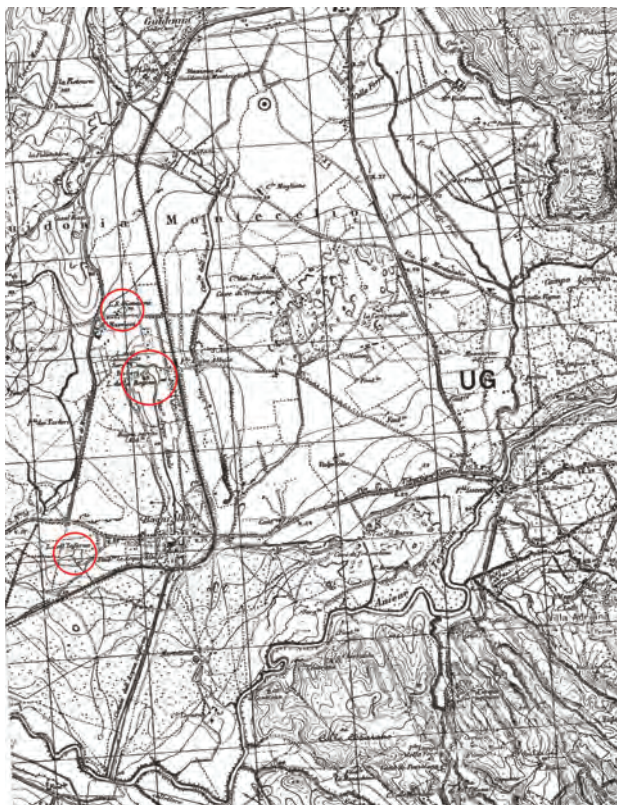


Fig. 102 - Stralcio della Tavoleta Topografica in scala 1:25.000 (Tivoli).
- Topographic sketch map 1:25.000 scale (Tivoli, Rome).



Fig. 103 - Ripresa aerea della Piana, immagini delle cave di travertino e di alcune cavità naturali con acque sulfuree.

- *Aerial photo of the Acque Albule plain; it is showed a travertine caves and natural caves with sulphuric water.*

faglia bordiera della pianura romana, che separa la dorsale carbonatica dal bacino stesso.

Nel bacino delle Acque Albule affiorano 3 distinte Unità tettono-stratigrafiche (fig. 104).

La prima è data dalla successione carbonatica dei Monti Lucretili-Tiburtini che viene ribassata attraverso una faglia bordiera al di sotto della piana.

La seconda è una successione sedimentaria marina plio-pleistocenica costituita da argille, sabbie e ghiaie, trasgressiva sul substrato carbonatico.

La terza è costituita dai depositi dell'apparato vulcanico laziale, con attività del Pleistocene, che ha ricoperto con i propri prodotti i sedimenti delle due precedenti unità.

Al di sopra delle tre successioni, nella piana delle Acque Albule, si rinvergono i depositi alluvionali del fiume Aniene in cui si intercalano potenti orizzonti di travertino.

I travertini si sono depositi a partire dal Pleistocene medio, dopo il "Tufo litoide da costruzione *Auct*", e si depongono tutt'ora all'interno della piana.

6.3. - ASSETTO STRUTTURALE

L'area è stata interessata da una tettonica polifasica che ha visto l'alternarsi di fasi compressive e distensive, in cui si è prodotto dapprima un sistema di strutture a pieghe, sovrascorrimenti e faglie trascorrenti orientato in direzione N5°E, e quindi sistemi distensivi a direzione appenninica, antiappenninica e E-W.

L'attività compressiva inizia nel Pliocene con un fronte di corrugamento che parte dalla Sabina, attraversa i M.ti Cornicolani e arriva sino alla Valle dell'Aniene. Le strutture compressive sono visibili presso le dorsali carbonatiche che circondano l'area e nella porzione occidentale delle Acque

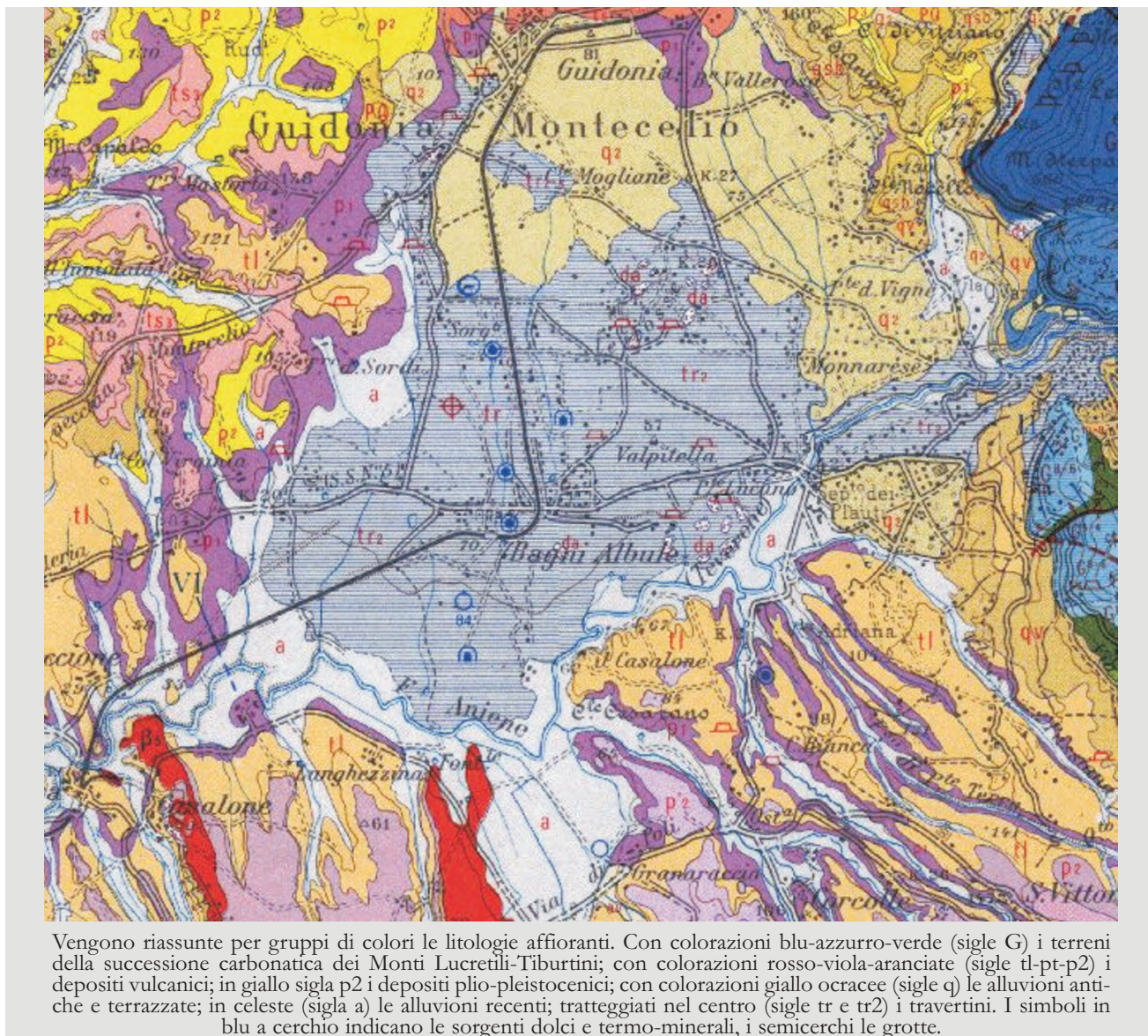


Fig. 104 - Stralcio del Foglio Geologico in Scala 1:100.000 (Roma).
- Geological sketch map By Geological survey of Italy map (1:100.000 scale).

Albule in località il Pantano.

Una serie di faglie trascorrenti bordano e attraversano il bacino delle Acque Albule.

La prima importante struttura borda la dorsale dei M.ti Lucretili con andamento N45W; altra struttura trascorrente borda il bacino sul versante occidentale dal colle Fiogito al Fiume Aniene.

La faglia con maggiori evidenze sul terreno invece attraversa la piana nella sua porzione centrale, all'interno della placca di travertino, con andamento circa NS dai M.ti Cornicolani, presso S. Angelo Romano, a Colle Cesarino sulla sinistra idrografica del F. Aniene. Lungo tale dislocazione si allineano una serie di sorgenti termali e laghetti tra cui i Laghi Regina e delle Colonnelle.

Durante il Pleistocene l'area è interessata da un'attività distensiva, che dà inizio all'attività dei Colli Albani, il distretto vulcanico ubicato 20 km a sud della città di Roma. L'attività dei Colli Albani è riferita a 0.7- 0.01 Ma.

A tale attività è riferibile anche la formazione della placca travertinosa che si estende da Guidonia a N, al Fiume Aniene a S.

Una serie di faglie distensive e transtensive segmentarono durante questa fase il bacino con orientazioni differenti. Da tali faglie giungono in superficie vapori, fluidi gassosi e aggressivi che facilitano la dissoluzione dei carbonati e la conseguente precipitazione dei carbonati a giorno responsabili della formazione dei travertini.

6.4. - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista morfologico il bacino delle Acque Albule è un'area pianeggiante, nella bassa Valle del fiume Aniene, depressa rispetto ai rilievi adiacenti, circondata da dorsali carbonatiche e da rilievi vulcanici.

I rilievi che bordano il bacino ad E hanno morfologie aspre, pareti scoscese e scarpate, dovute alla presenza di versanti strutturali determinati dall'azione di una faglia che borda il bacino alla sua destra. Alla sommità dei rilievi sono comunque riconoscibili superfici di spianamento relitte, se ne riconoscono in particolare tre ordini distinti, dovuti a differenti momenti dell'impulso del sollevamento tettonico nel Plio-Pleistocene e alle oscillazioni climatiche. Tali superfici si rinven- gono presso quote di 590-600 m, 420-480 m e 350 m.

Morfologie, invece, più dolci si osservano ai margini S e W dove colline e piccoli rilievi, con sommità arrotondate e/o tabulari, circondano la depressione.

Nella piana le alluvioni antiche del fiume Aniene hanno costituito due ordini di terrazzi, con quote decrescenti verso il centro.

L'estensione della piana nel suo complesso è di circa 45 km², presenta forma ovale con asse maggiore di 9 km. Il Fiume Aniene l'attraversa con andamento ENE-WSW, dopo aver compiuto un brusco gomito di deviazione fluviale presso l'abitato di Tivoli. Ivi il fiume incide il proprio alveo in una stretta forra profonda oltre 20 m, originata oltre che dall'azione del corso d'acqua anche dalla dissoluzione delle bancate di travertino.

Anticamente per la sua conformazione depressa il bacino delle Acque Albule prendeva il nome di "Lago Tiburtino", poiché, osservando l'area dal suo centro, si aveva la netta sensazione di trovarsi nel mezzo di un lago prosciugato; ed in realtà un ambiente fluvio-lacustre occupava quest'area nel Pleistocene medio-superiore.

L'area dal punto di vista geomorfologico viene definita un "campo di doline": infatti all'interno della piana si rinvengono cavità sub-circolari con differenti diametri che possono ospitare piccoli laghi e pozze, sorgenti mineralizzate, incrostazioni di travertino ed emergenze di acqua dolce (fig. 105).

Alcuni laghi sono ormai bonificati ed ospitano soltanto acque piovane o sono completamente disseccati dalle incrostazioni calcaree sui vegetali (lago dei Tartari ed il Pantano).

La presenza delle cavità è da ricondurre ai fenomeni di dissoluzione carsica che sono molto diffusi nell'area di studio (non solo nei travertini

ma anche nei sedimenti carbonatici al di sotto della cittadina di Tivoli dove sono note alcune grotte carsiche, Grotte di Nettuno e Grotte delle Sirene) anche se non sempre in forme appariscenti ed ben visibili.

Il fenomeno carsico nel bacino interessa le litologie travertinose ed in particolare lo strato di travertino più profondo e compatto. Le acque di infiltrazione e di circolazione sub-superficiali, particolarmente aggressive, poiché ricche in H₂S e CO₂, facilmente riescono a dissolvere la roccia carbonatica dando origine e forme carsiche quali doline, piccole grotte e inghiottitoi.

Generalmente le doline nell'area evolvono per crolli successivi della volta (doline di crollo) che si manifestano con l'apertura in superficie, più o meno improvvisa, di cavità sub-circolari.

Le cavità possono presentare incrostazioni calcaree anche alabastroidi e riempimenti di terre rosse.

Alcune sono state alterate dall'uomo durante gli scavi per le coltivazioni del travertino, altre sono state portate a giorno dai numerosi bombardamenti che si sono succeduti durante la seconda guerra mondiale. Si osservano inoltre nell'area mesoforme date da depressioni e avvallamenti poco percettibili nel terreno, che fanno pensare a cavità carsiche che hanno ristretto sempre più la loro area fino a prosciugarsi.

Altre forme frequenti sono depressioni circondate da liste di travertino dello spessore di 7-10 cm, che formano poligoni iscritti l'uno nell'altro (suoli a struttura poligonale di disseccamento) o croste di travertini più o meno allungate che sollevano alvei di piccoli rigagnoli e torrenti (mura- glie travertinose. Si osservano poi suoli a "pozzette" e a ripiani tartarosi, nonché incrostazioni travertinose di neoformazione (fig. 106).

Inoltre nella piana sono presenti fenomeni di risalita di fluidi gassosi dal terreno che danno luogo a caratteristiche forme quali vulcanelli di fango e una sorta di piccoli "gyser", rilievi con sommità piatta.

Piccole grotte carsiche si trovano in tutta la piana, manifestazioni di un carsismo anche più profondo, come quella esistente presso la ferrovia di Bagni sulla sinistra del canale dell'acqua sulfurea. Quest'ultima è una piccola cavità a sviluppo orizzontale di pochi metri al cui tetto si trovano i tartari. L'altezza dell'ingresso è di 50 cm.

Le doline invece presenti nell'area (presso il canale dell'acqua sulfurea, a N di Bagni e presso Cave del Barco) hanno diametri da 50 m a 10 m e profondità dell'ordine di 2.50-3.00 m. Lo sviluppo di queste forme avviene prevalentemente nello strato di travertino litoide al di sotto del "tartaro" (lo strato superficiale di incrostazione carbonatica).

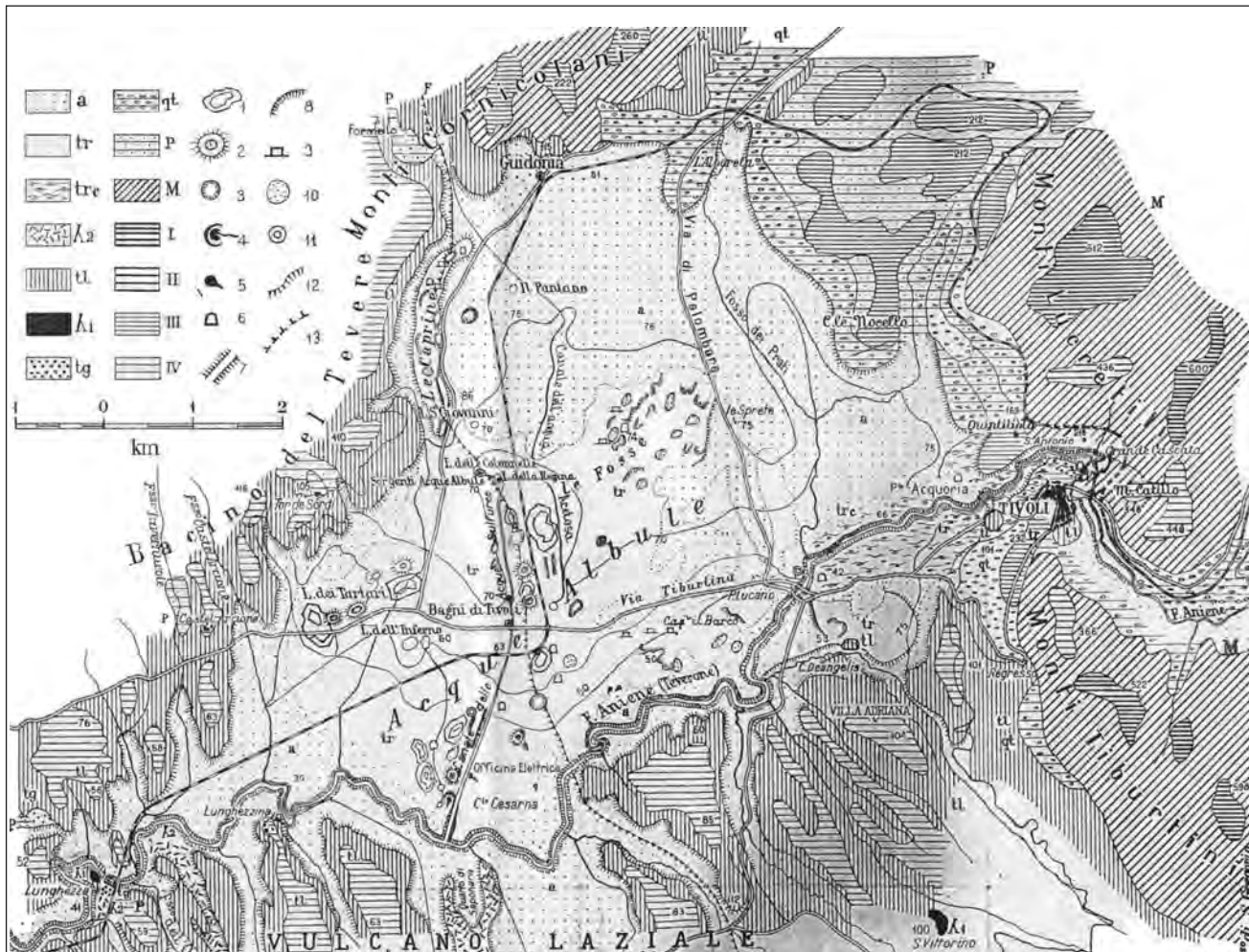


Fig. 105 - Schema geologico-geomorfologico dell'area: a) alluvioni attuali e recenti; tr) travertini; trc) calcari concrezionati, argillosi; 2) leucitite di Lunghezza; tl) complesso dei tufi leucititici; 1) Leucitite di S. Vittorino; qt) alluvioni; P) successione plio-pleistocenica; M) Calcari, Calcari, Marnosi della successione di Lucretili-Tiburini; L, I, II, III, IV) Terrazzi alluvionali; 1) suoli a struttura poligonale; 2) suoli a pozzette e a ripiani tartarosi; 3) doline; 4) inghiottitoi carsici; 5) sorgenti; 6) grotte; 7) alvei sopraelevati dalle incrostazioni calcaree "Muraglie"; 8) scarpate, cave di travertino abbandonate; 9) cave di travertino; 10) materiale di risulta delle cave; 11) sondaggi; 12) faglia; 13) filone termale.

- Acque Albule basin geological-geomorphological scheme: a) recent alluvial; tr) travertine; concrezionate limestone; 2) Lunghezza leucite; tl) tuff complex; 1) St. Vittorino Leucitite; qt) alluvial; plio-pleistocene deposits; limestone of the Mt. Lucretili-Tiburini succession; ; I,II, III, IV) alluvial terraces; 1) polygonal soil; 2) ponds and travertine soils; 3) dolines; 4) karst swallows; 5) springs; 6) caves; 7) riverbed raised by travertine incrustation; 8) travertine scarp and filled travertine quarry; 9) travertine quarry; 10) quarry material resulted; 11) boreholes; 12) faults; thermal seam.



Fig. 106 - Incrostazioni di travertino nella Piana delle Acque Albule.
- Travertine crusts in the Acque Albule plain.

6.5. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Le caratteristiche idrogeologiche generali dell'area dipendono dalla natura e dalla permeabilità dei tipi litologici affioranti ai lati e al di sotto della piana, nonché dalla situazione strutturale.

Nel bacino delle Acque Albule possono riscontrarsi più livelli di falda sovrapposti dovuti alla sovrapposizione di terreni caratterizzati da permeabilità differenti.

Sono stati pertanto distinti nell'area alcuni complessi idrogeologici in cui si sviluppano differenti circolazioni idriche; dal più antico e stratigraficamente inferiore al più recente sono:

- il complesso della successione dei Monti Lucretili-Tiburtini-Carseolani;

- il complesso dei sedimenti plio-pleistocenici.
- il complesso dei terreni vulcanici;
- il complesso dei depositi alluvionali ed eluvio-colluviali;
- il complesso dei sedimenti dei Travertini;

Il complesso della successione dei Monti Lucretili-Tiburtini-Carseolani costituisce l'acquifero principale che influenza la circolazione primaria dell'area. Costituisce una cintura che borda la Piana a N e ad E, e è presente a notevoli profondità al di sotto della stessa.

La successione carbonatica che costituisce questo complesso è la più antica e stratigraficamente inferiore, presenta spessori molto elevati (centinaia di metri) e alto grado di permeabilità.

I depositi costituenti tale complesso sono permeabili per stratificazione, fratturazione, e carsismo trattandosi principalmente di calcari e calcari marnosi.

La circolazione idrica presenta un flusso principale con direzione N e NE verso S e SW.

Tale acquifero è tamponato a bordo della piana delle Acque Albule a contatto con una faglia bordiera ad E.

Il complesso dei sedimenti plio-pleistocenici è formato da terreni molto eterogenei quali argille, limi, sabbie e ghiaie disposte in lenti o orizzonti di potenza variabile ed immersione verso sud o sud-est, e conseguentemente mostra caratteri di permeabilità molto variabili, ma in generale si possono definire semi-permeabili.

Questi sedimenti si ritrovano al di sotto della piana tra il basamento carbonatico, i depositi vulcanici e le alluvioni. Costituiscono quindi un tappo per la circolazione idrica principale all'interno del corpo carbonatico.

Nell'area di studio il complesso delle vulcaniti comprende depositi del distretto dei Colli Albani, (piroclastiti di ricaduta del Tuscolano- Artemisio) che presentano spessore ed estensione progressivamente crescenti da N verso S.

Nella piana delle Acque Albule tali terreni affiorano ad W e a S ma si possono riscontrare in profondità al di sotto dei travertini. Si presentano permeabili per porosità e fratturazione.

I rilievi vulcanici a sud delle Acque Albule drenano le acque secondo un flusso da S e SE verso N (fig. 107) ne sono emergenze la sorgente dell'Acqua Ferruginosa ed una serie di fontanili che si rinvergono sulla sinistra del fiume Aniene da Lunghezza a Villa Adriana.

I rilievi vulcanici occidentali drenano al di fuori dell'area studiata; un piccolo flusso idrico è comunque presente però verso E, verso il centro della piana, e ne è testimonianza un fontanile ubicato presso Tor de Sordi.

Il complesso dei depositi alluvionali ed eluvio-colluviali è costituito prevalentemente da terreni a differente grado di permeabilità ma generalmente poco permeabili, quali limi, argille limose e limi sabbiosi vulcaniti rimaneggiate, che affiorano estesamente sulla riva destra del Fiume Aniene, o più permeabili come orizzonti o lenti di sabbie e ghiaie in essi intercalate.

Questi sedimenti bordano la placca di travertino tamponandola ai lati a causa del contrasto di permeabilità.

Il flusso all'interno di tali depositi è prevalentemente da N verso S e ne sono emergenze Fonte la Botte ed un altro fontanile presso Colle Vitriano.

La placca di travertino ubicata al centro della piana è fortemente permeabile per porosità e carsismo. Il primo orizzonte di travertini è rappresentato dal tartaro, sedimento estremamente vacuolare e altamente solubile. L'orizzonte più profondo è caratterizzato da fenomeni carsici ipogei ormai accertati.

All'interno dei travertini si verifica una discreta circolazione idrica dovuta ai fenomeni di infiltrazione carsica che originano un flusso con direzione da N verso S.

Il livello di falda riscontrato in sondaggio nei travertini è ubicato a profondità modeste tra i 5 e i 2 m.

Molte emergenze si rinvergono nel centro della piana (fig. 107) le più importanti delle quali sono quelle ubicate presso i laghi della Regina, delle Colonnelle, di S. Giovanni e il Pantano, altre erano presenti all'interno dello stabilimento delle Acque Albule, altre ancora presso località Le fosse, ormai obliterate dall'attività estrattiva (CARAMANNA, 2002; CARAMANNA *et alii*, 2004, 2005).

Piccole sorgenti si incontrano poi, più a S, sulla sponda destra dell'Aniene, presso il Canale dell'Acqua sulfurea, Martellona, Casale Cesarea (fig. 107).

6.6. - SISMICITÀ DELL'AREA

L'esame dettagliato del carattere sismico dell'area del bacino della Acque Albule e dei suoi dintorni, entro un raggio di circa 30 Km, permette di individuare alcune aree sismogenetiche (SALVI *et alii*, 2004):

1) La media-alta Valle dell'Aniene impostata prevalentemente lungo faglie a direzione appenninica, con brevi tratti ad andamento antiappenninico (NE-SW), è caratterizzata da una media sismicità (MOLIN *et alii*, 2002) i cui eventi storici hanno avuto una $I_{max} > 7$ MCS. Nel marzo 2000 in questo particolare settore della Valle dell'Aniene si è manifestato un periodo sismico il cui evento mag-

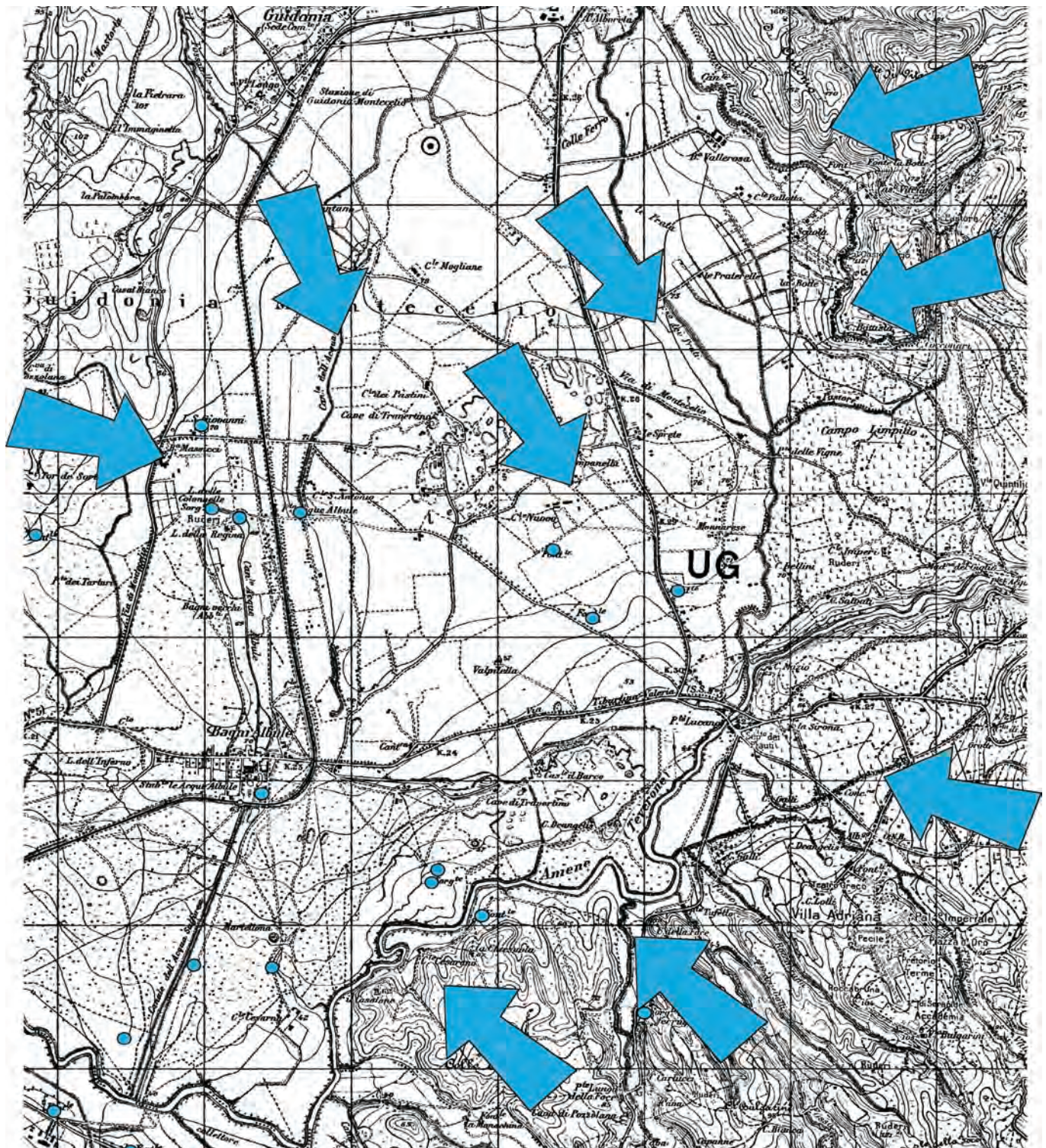


Fig. 107 - Schema idrogeologico: le frecce indicano le principali direzioni di flusso, i cerchi le principali sorgenti dell'area.
 - Hydrogeological scheme: the arrows showed the principal directions of the flows and the circles the principal springs of the area.

giore, avvenuto alle ore 10.35 (GMT) del giorno 11, ha raggiunto una magnitudo $M_d = 4.3$ pari al VI-VII MCS danneggiando i centri storici di Rocca Canterano, Gerano, Canterano e Cerreto Laziale (PIRRO & DI MARO, 2003).

2) A sud, oltre la piana di Guidonia, è presente l'importante centro sismico del 'Vulcano Laziale' caratterizzato prevalentemente da eventi sismici di bassa intensità che non hanno superato all'epicentro un valore di intensità pari al VII-VIII MCS;

3) Ad est il settore compreso tra Palombara Sabina e Monterotondo è caratterizzato da una sismicità medio bassa il cui più importante periodo sismico noto fu caratterizzato dall'evento principale del 24 aprile 1901, stimato all'epicentro con intensità pari all'VIII MCS (MARGOTTINI & PACIELLO, 1983);

4) La piana di Guidonia, a Nord, è caratterizzata da eventi sismici maggiori che hanno raggiunto il V-VI MCS (GASPARINI *et alii*, 2001, 2002). L'ultimo periodo sismico, avvenuto nel 2001, ha evidenziato una distribuzione ben raggruppata degli eventi tellurici che risultano localizzati lungo i due principali lineamenti tettonici dell'area rispettivamente ad andamento meridiano (N-S) e ad andamento anti-appenninico N 25°-30° E. Tali eventi sono stati caratterizzati da una profondità ipocentrale modesta, compresa fra 300 m e 800 m (GASPARINI *et alii*, 2001, 2002).

6.7. - LE SORGENTI DELLE ACQUE ALBULE E GLI SPROFONDAMENTI

L'area delle Acque Albule è un'area termominerale in cui si concentrano una gran quantità di sorgenti con portate di oltre due metri cubi al secondo. In tale area sono da tempo noti i fenomeni di sprofondamento tipo *cave collapse sinkhole* o *cover collapse sinkhole* dovuti alla presenza di travertini affioranti o subaffioranti.

Tali sprofondamenti danno origine a doline di crollo (*collapse sinkhole*) in cui spesso è presente una sorgente al fondo.

Le sorgenti carbonico-solfuree conservano il nome che ebbero fin dall'antichità: "Acque Albule", biancastre a causa dell'emulsione gassosa che si forma in superficie quando, al diminuire della pressione, si liberano l'anidride carbonica e l'idrogeno solforato prima disciolti nell'acqua.

La mineralizzazione delle acque è dovuta ad apporti locali di fluidi mineralizzati risalenti lungo le linee maggiori di dislocazione tettonica.

Le acque furono sfruttate sin dai tempi dell'antica Roma con la costruzione di uno stabilimento che fu sviluppato soprattutto nell'ultimo secolo, dopo la sistemazione degli impianti per cure idropiniche, bagni, vari trattamenti terapeutici etc.

Lo sfruttamento delle sorgenti ha inizio nel III sec. a.C. e raggiunge l'apice nel II sec. d. C. I Bagni di Agrippa o di Zenorbia, riportati alla luce nel sec. XVI erano in riva al lago della Regina o Solfataria. Nel sec. IX il sito è menzionato con il toponimo di Acqua Puza; nel 1532 è presente il toponimo Acqua Zolfa.

Le terme delle Acque Albule vennero spesso menzionate da scrittori latini e celebrate per le

loro virtù terapeutiche: Virgilio ne parla nell'Eneide, Strabone ricorda come le ville romane fossero più numerose nei dintorni delle sorgenti che nella stessa Tivoli, l'imperatore Cesare Augusto, probabilmente affetto da gotta, trasse giovamento dai bagni sulfurei, tanto che decise di far costruire dall'architetto M. Vipsanio Agrippa l'edificio termale, del quale sono visibili ancora i massicci ruderi.

La temperatura delle acque oscilla tra i 22°C e i 24°C e pertanto le acque sono classificate come ipotermali.

Dal punto di vista chimico sono classificabili come acque solfuree-carboniche, a contenuto salino misto e precisamente di tipo bicarbonato e solfato alcano.

Le acque del complesso termale sono alimentate da due laghi ubicati a Nord di Bagni di Tivoli: il Lago della Regina e il Lago delle Colonnelle (fig. 108), probabilmente originatisi per sprofondamento in epoca pre-romana, con portate complessive di 2,1 mc/sec. Il lago Colonnelle ha diametro di circa 50 m (fig. 109) ed una profondità di circa 60 metri con variazioni stagionali. Il Lago della Regina (fig. 109) ha diametro massimo di 150 m, durante la stagione piovosa, e profondità di 36 m. Attualmente risultano ridotti sia in diametro che in profondità a causa dell'abbassamento della falda regionale che li alimenta. Lungo il perimetro del lago Colonnelle si rinvennero formazioni pseudo-stalattitiche dovute alla deposizione del travertino su resti vegetali e sulle colonie di solfobatteri che si trovano nella cavità allagata.

Tali laghi hanno subito nel tempo variazioni di livello e di chimismo delle acque; un esempio è fornito dalle cronache del terremoto di Avezzano, ODDONE (1915): *Il laghetto Regina, che alimenta l'ac-*



Fig. 108 - Ortofoto dell'area; in alto il Lago di S. Giovanni, in basso i Laghi Regina e le Colonnelle.
- Ortophoto of the Acque Albule area: at the top St. Giovanni lake, at the bottom Regina and the Colonnelle lakes.



Fig. 109 - I Laghi Regina (a sinistra) e delle Colonnelle (a destra).
- Regina and Colonnelle lakes view.

qua solfa ai Bagni di Tivoli, all'atto del terremoto ebbe un soffio che ne alzò il livello per un metro (egual fenomeno si osservò in occasione del terremoto di Messina, addì 28, XII- 1908), dopochè le acque si abbassarono permanentemente fino a 30 cm sotto il livello solito..Così si abbassò il livello dell'altro laghetto di S. Giovanni; e si asciugò l'altro piccolo denominato "inferno".

Altri due gruppi di sorgenti alimentano l'area sono le emergenze del Pantano e del lago di S. Giovanni.

Le sorgenti del Pantano costituiscono un gruppo di manifestazioni che si estendono su una vasta area delle Acque Albule, a circa 70 s.l.m., hanno temperatura di 23°C e portata di 125 l/sec. Le acque vengono convogliate nel canale dell'Acqua Acetosata e si disperdono poi nel terreno.

Il Lago di S. Giovanni si è, probabilmente, originato in epoca storica, sulla sua formazione è narrata una legenda che riporta l'origine ad un episodio di sprofondamento, ma finora non si è riusciti a confermare tale fonte con documentazione più precisa. La data dello sprofondamento potrebbe essere compresa tra il medioevo e il 1698; secondo alcune ricostruzioni catastali, il lago compare con la denominazione di S. Giovanni, nella carta corografica dimostrativa della Sabina Antica e Moderna 1698, della Sabina di Diego de Revillas (1739), (fig. 110), e nella Pianta della Città di Tivoli e agro Tiburtino del 1851. Nella Carta della Campagna Romana del 1666 alle Acque Albule compaiono solo due laghi di cui uno con il nome di lago delle Isole Natanti, mentre nella Carta della Campagna Romana di Cingolati (1692) sono indicati solo 2 laghi. Alcune fonti ritengono il lago originato il 24 giugno del 1612, ma tali dati non sono stati per il momento confermati dalle ricerche storiche.

PALMIERI (1851) riporta la seguente descrizione: "Circa mezzo miglio da tramontana del Lago delle

acque albule si trova un laghetto chiamato di S. Giovanni, ed un tempo del Zappi di Bresciano o di Nerone. È profondo nel centro 22 metri, l'acqua contiene meno zolfo e più abbondanza di acido carbonico per cui bevendola sembra acetosa, e non è tanto biancastra come le albume. Il lago non ha lo scolo apparente ma sembra lo abbia sotterraneo; giacchè in non molta distanza sorge da un laghetto abbondante capo d'acqua detta acetosa da suo gusto acidulo, la quale mediante un canale o forma viene scorrendo da maestro a mezzodi parallela al canale delle albume, e poco prima della strada romana si perde in una fossa sotterra e va in parte a risorgere nella contrada il Barco".

La sorgente del Lago S. Giovanni (fig. 111) è ubicata nelle immediate vicinanze del Lago delle Colonnelle, attualmente ha diametro di 57 m e una profondità di 16 m (ridotta rispetto al passato). L'acqua del lago è debolmente sulfurea ed alcalina, è stata ascritta alle acque dolci idrotermali con temperatura variabile tra 15° C e 22°C a seconda delle stagioni. La cavità è impostata inte-

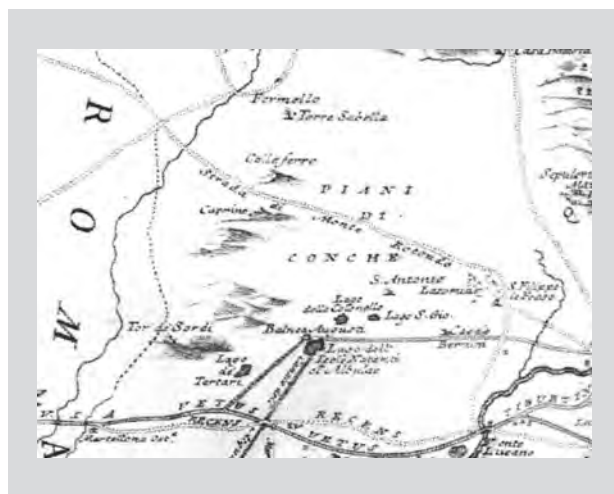


Fig. 110 - Carta della Sabina di DIEGO DE REVILLAS (1739).
- Sabina district map from DIEGO DE REVILLAS (1739).

ramente nel travertino e (fig. 112) la morfologia della stessa (ad anfora) fa presumere che l'origine sia per crollo di volta; lungo il perimetro è presente un esteso sgrottamento. Sulla volta e lungo le pareti di questa cavità sono presenti speleotemi di modesta dimensione a testimonianza del fatto che una volta il lago S. Giovanni era una cavità ipogea solo parzialmente occupata dall'acqua e che le successive variazioni della falda lo hanno riempito fino a venire a giorno a seguito del crollo della volta. Le principali caratteristiche delle acque sono riassunte nelle tabelle 11 e 12 e in figura 113.

A circa 2 km ad ovest di Bagni, a 64 m da p.c., una polta di acqua sulfurea alimenta un piccolissimo lago le cui dimensioni sono state ridotte a scopo di bonifica: il lago dell'Inferno. La portata della sorgente è di 4 l/sec. la temperatura è di circa 20°C il pH è di 6.4.

Inoltre tra quota 50 m e quota 43 m nella piana si rinvencono altre piccole emergenze la più

conspicua delle quali è denominata Cesarni o Cesarna di 500 l/sec a 44 m sul p.c. in prossimità dell'alveo dell'Aniene.

Procedendo verso SE all'interno della piana, a 500 m a sud di Bagni, alcune polle liberano abbondanti quantità di gas, la temperatura oscilla tra 19.8°C e 21°C, la portata complessiva è di circa 90 l/sec, il pH è variabile tra 6.2 e 6.5.

La profondità della falda all'interno delle Acque Albule è stata stimata ad una scarsa profondità tra 5 m e 2 m dal p.c. Presso il Canale dell'acqua sulfurea, in particolare in sondaggio, nei travertini la falda è stata riscontrata a soli 2 m. da p.c.

6.8. - ANALISI E CONSIDERAZIONI

Il bacino delle Acque Albule si colloca nella media Valle dell'Aniene, in un contesto geologico strutturale caratterizzato da linee tettoniche attive (elevata attività sismica), nonché in area di recapi-

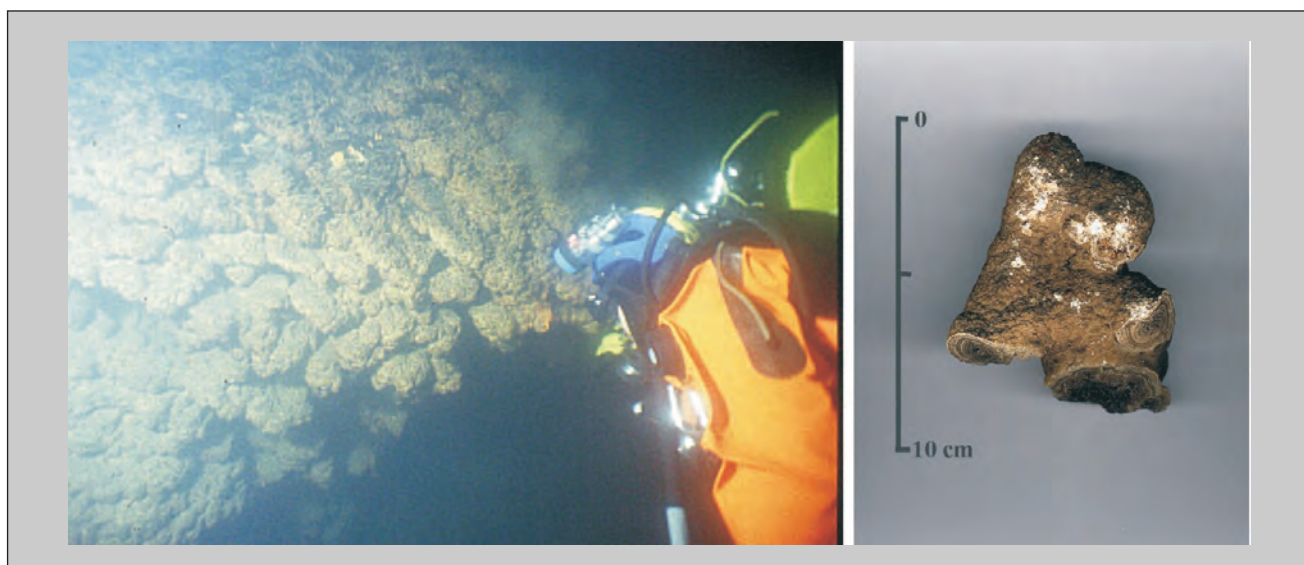


Fig. 111 - Immagini in profondità del Lago di S. Giovanni, durante l'immersione subacquea.
- *St. Giovanni lake sub-water view.*

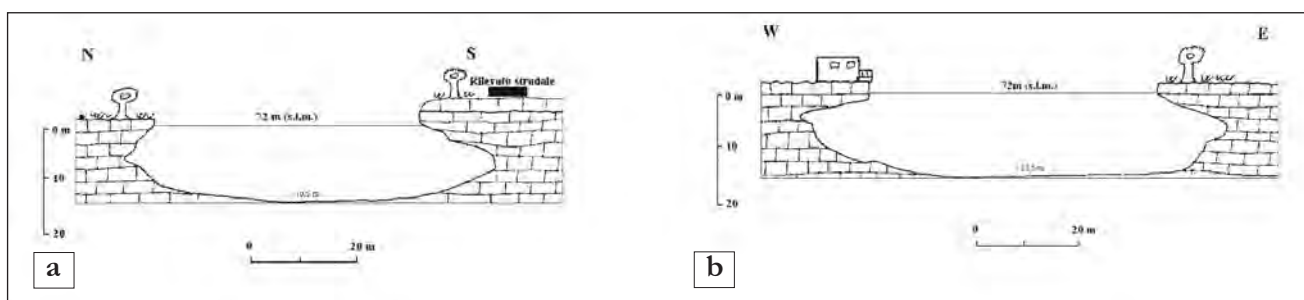


Fig. 112 - Profili batimetrici del Lago di S. Giovanni a) sezione N-S; b) sezione E-W.
- *Bathymetric profiles of the St. Giovanni lake: a) NS section; b) EW section.*

to di grandi portate di acque, contraddistinta da sorgenti termo-minerali. Queste ultime hanno dato origine ad estesi depositi di travertino che caratterizzano la porzione, meridionale del bacino, sulla destra idrografica dell'Aniene.

Il travertino riscontrato nell'area ha generalmente spessore di alcune decine di metri: lo spessore misurato in sondaggio nel centro della piana è stato stimato di 60 m circa, nelle aree limitrofe i travertini sono presenti in profondità sino ad 85 m. Lo spessore del travertino può diminuire verso i bordi della placca travertinoso (10 m in sondaggio) per il passaggio, eteropico, ai depositi alluvionali del F. Aniene. Al di sotto del travertino, in sondaggio nel centro della piana, è stato riscontrato un orizzonte di sabbie e ghiaie dello spessore di 10 m, seguito da 20 m di argille.

Il banco di travertino è composto da un orizzonte superficiale di "tartaro", cioè travertino cavernoso e vacuolare, con aspetto spugnoso, impuro a volte sabbioso con scadenti caratteristiche fisico meccaniche e molto permeabile, e da un orizzonte più compatto di maggiore potenza (travertino s.s.).

La litofacies vacuolare ha uno spessore di pochi metri, al massimo una decina, al di sotto di esso il travertino si presenta più litoide ma con caratteristiche fisico-meccaniche estremamente variabili in relazione alle variazioni di facies del deposito.

Lo strato più profondo e litoide può essere

interessato inoltre da cavità carsiche più o meno estese. A volte le cavità, per crolli successivi della volta, costituita prevalentemente dal tartaro, si estendono fino alla superficie.

Fenomeni di sprofondamento si sono già manifestati nell'area in diverse epoche storiche, generando laghi e cavità sub-circolari a vario diametro (MESSA, 1998; SALVI *et alii* 2004, 2005).

Tali sprofondamenti sono dovuti oltre all'accentuato carsismo, anche alla presenza di diaclasi e faglie che attraversano tutta la piana con differenti orientazioni.

Dalle faglie inoltre è facilitata la risalita di fluidi gassosi H_2S e CO_2 , altamente aggressivi nei confronti dei carbonati, che trovano così una via di risalita preferenziale, e che contribuiscono oltremodo alla formazione delle cavità stesse. Ad aumentare il rischio idrogeologico dell'area è senz'altro la presenza di un abbondante circolazione di acque mineralizzate che danno luogo a numerose emergenze. Il livello della falda superficiale si attesta tra i 4 e i 2 m dal piano di campagna. Risultano suscettibili agli sprofondamenti anche le aree, caratteristiche dei depositi lacustri e fluviali, in cui il travertino è ridotto.

In particolare nell'area è possibile individuare diversi tipi di fenomenologie da *sinkhole*.

La prima tipologia, *cave collapse sinkhole*, si sviluppa sui travertini in affioramento ed interessa le bancate litoide di travertino al di sotto del tartaro.

Tab. 11 - *Parametri fisico-chimici delle acque nei principali laghi della piana.*
- Physical-chemical parameters in the principal lakes of the Acque Albule plain.

I.D.	Prof. m	T°C	pH	C. E. s/cm	TDS mg/l
Lago Regina	35	23	6,25	3210	1830
Lago Colonnelle	55	23	6,30	3200	1824
Lago S. Giovanni	15	11,5	7,30	1580	901

Tab. 12 - *Concentrazioni ioniche principali (in milligrammi-litro).*
- Principal ionic concentration (in mg/l).

I.D.	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ^{- -}	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Lago Regina	83	97	25	1417	740	102	2
Lago Colonnelle	80	88	26	1389	754	109	5
Lago S. Giovanni	57	60	8	638	201	106	6

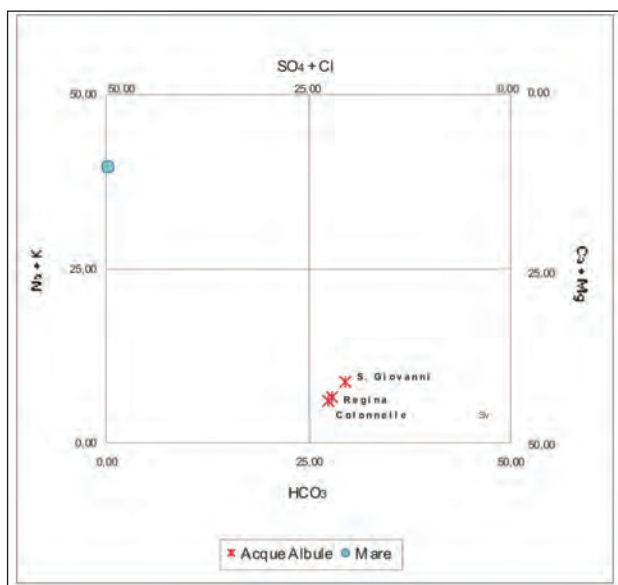


Fig. 113 - Chebotarev delle acque delle sorgenti dell'area delle Acque Albule (Lago Regina, Lago Colonnelle e Lago S. Giovanni).
- Chebotarev diagram of the Acque Albule springs (Regina, Colonnelle and St. Giovanni lakes).

Il processo è dovuto alla percolazione di acque, dall'alto verso il basso, attraverso gli strati superficiali del terreno e il tartaro, che tende ad allargare le fratture ed i vuoti naturalmente presenti nel travertino mediante un'azione dissolvente della roccia. La cavità prodotta progredisce allargandosi attraverso crolli successivi della volta.

La seconda tipologia *cover collapse sinkhole* si sviluppa all'interno di terreni di copertura (*cover*), sciolti, costituiti da sabbie, ghiaie, limi ed argille. Il processo è controllato da una cavità che si forma all'interno di un substrato solubile posto ad una certa profondità e che porta per crolli successivi alla formazione di una voragine in superficie all'interno delle coperture. La terza tipologia di *sinkhole*, presente nell'area delle Acque Albule, interessa sempre i travertini ma, ruolo determinante in essa, è la risalita di acque mineralizzate in pressione dal basso, che portano alla formazione di un condotto, o camino, cilindrico, anche ad elevata profondità, sino allo sfioro in superficie attraverso un crollo. In tale tipo di *sinkhole* il processo risulta inverso e cioè dal basso verso l'alto ed è facilitato senza dubbio da linee di faglia o di frattura nel terreno che possono costituire camini preferenziali per le acque in pressione ed i gas. In tali tipologie di fenomeni è possibile che si verifichi la liquefazione di orizzonti di materiali limosi e/o sabbiosi che faciliterebbero al formazione della cavità in superficie (*deep piping sinkhole*, NISIO, 2003).

Tutte le tipologie di *sinkhole* danno luogo in superficie ad una medesima forma costituita da

una cavità sub-circolare di diametro e profondità variabile, e con sezione conica, cilindrica o ad anfora in relazione alla tipologia di sprofondamento. Nell'area delle Acque Albule, all'interno della depressione è spesso presente una sorgente al fondo. La presenza della sorgente fa sì che la voragine si trasformi presto in un piccolo lago.

I laghi di S. Giovanni, Regina e delle Colonnelle, per le loro caratteristiche geologiche, morfologiche, e idrogeologiche sono geneticamente attribuiti a fenomeni di *sinkhole*.

Essi si sono originati in corrispondenza di importanti lineamenti tettonici che costituiscono via preferenziale di risalita delle acque profonde mineralizzate e di fluidi aggressivi.

Le ricerche storiche hanno rilevato che i laghi delle Colonnelle, e della Regina erano già noti e sfruttati in epoca romana, che non hanno subito sostanziali modifiche nel corso degli anni. Il lago di S. Giovanni tuttavia potrebbe avere un'origine per sprofondamento più recente (1600?), tale ipotesi comunque non è stata ancora confermata da opportuna documentazione.

Le fenomenologie da *sinkhole* menzionate hanno avuto origine, almeno in due casi, Regina e Colonnelle, da processi di erosione/dissoluzione, a discapito dei travertini, operati presumibilmente dal basso, in cui ha avuto ruolo importate una falda di acque mineralizzate e termali in pressione artesiane. Ruolo importante inoltre è stato esercitato dalla linea di faglia, ad andamento meridiano, che ha costituito il cammino preferenziale del condotto di risalita. Tale ipotesi trova conferma nel chimismo delle acque all'interno dei due laghi e nella morfologia delle cavità, cilindrica, ben visibile nel lago della Regina, e non conica, che farebbe supporre una dissoluzione per soluzione normale.

Il Lago di S. Giovanni, presenta un chimismo delle acque intermedio tra la falda superficiale e la falda profonda, che porterebbe a supporre un miscelamento delle circolazioni idrogeologiche discusse. Inoltre la morfologia della cavità indagata da ispezioni subacquee (CARAMANNA *et alii*, 2004), più ad anfora, potrebbe far ipotizzare anche crolli della volta travertinosi.

Da un punto di vista idrochimico le Acque Albule sono caratterizzate da acque ipotermali (23 °C) bicarbonato-calciche ad elevata mineralizzazione e con forti concentrazioni in SO_4 . All'ossidazione dei 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 1999-2004) 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 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 non è dovuto a variazioni climatiche ma ha fatto seguito all'attività sismica registrata in quei giorni nell'area del bacino del fiume Aniene.

Un'altra caratteristica delle sorgenti delle Acque Albule è la presenza di forti emissioni gassose; queste si manifestano maggiormente nel 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 CO₂.

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 & TORTORA, 1989).