

I sinkholes in Campania

The sinkholes in Campania region

DEL PRETE S. (*), GUARINO P. M. (**),
NISIO S. (**), SANTO A. (***)

1. - INTRODUZIONE

A differenza dei fenomeni di sprofondamento associati alla presenza di cavità artificiali nel sottosuolo, i *sinkholes* di origine naturale nella Campania sono tanto numerosi quanto poco noti; essi sono ampiamente diffusi nelle aree appenniniche interne e nelle aree di piana alluvionale (fig. 1) ed in letteratura sono talora stati oggetto di controverse interpretazioni riguardo la loro genesi (DEL PRETE *et alii*, 2004).

Molti *sinkholes* si aprono sui versanti dei rilievi carbonatici in corrispondenza di importanti faglie regionali ed in corrispondenza di risalite di gas endogeni, in aree mineralizzate, dove si creano situazioni di ipercarsismo.

È il caso degli sprofondamenti della Collina di Montepugliano a Telesse, dell'area delle sorgenti di Triflisco presso Caserta, del *sinkhole* di Cancellò, di quelli di Castellammare-Vico Equense e quelli di Contursi nella alta valle del Sele.

Altri fenomeni interessano le litologie carbonatiche ma non hanno nessuna interazione con sorgenti basali in quanto ubicati ad alta quota sui versanti e dove, attualmente, non si hanno dati sulla presenza di falde mineralizzate. È il caso del *sinkhole* di Valle di Maddaloni, di alcuni *sinkholes* dei M.ti di Avella e Sarno presenti a Monteforte, Casamarciano e Roccarainola, dei *sinkholes* di

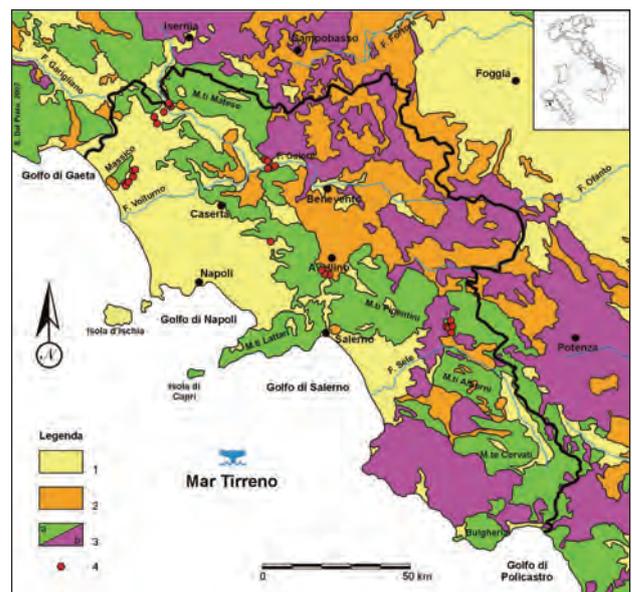


Fig. 1 - Schema geologico semplificato dell'Appennino Meridionale (da BONARDI *et alii*, 1988 mod.) con l'ubicazione delle principali aree suscettibili ai fenomeni di sprofondamento per *piping* in Campania: 1) terreni del periodo post-orogenico (Quaternario): depositi delle piane costiere e delle conche intramontane; rocce vulcaniche s.l.; 2) terreni del periodo sin-orogenico (Miocene p.p. - Pleistocene inf.): sedimenti terrigeni delle avanfosse Plio-quaternarie e mioceniche; 3) terreni del periodo pre-orogenico (Mesozoico-Terziario) derivati dalle piattaforme carbonatiche (a) e dai bacini (b); 4) aree interessate da *sinkhole*.

- Geological sketch map of southern Apennines (after BONARDI *et alii*, 1988 mod.) with location of piping sinkhole areas of Campania region: 1) post orogenic deposits (Quaternary): coastal plain and endoreic basins deposits; volcanic rocks s.l.; 2) sin orogenic deposits (Miocene p.p. - lower Pleistocene): plio-quaternary and miocene flysch of fore arc basins; 3) pre orogenic deposits (Mesozoic-Tertiary) of carbonatic platform (a) and of basins (b); 4) areas with sinkhole.

(*) Federazione Speleologica Campana.

(**) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia - Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia.

(***) Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale (Sezione Geologia Applicata), Università di Napoli "Federico II".

Pertosa sugli Alburni. Queste fenomenologie sembrano ormai relitte e potrebbero avere età anche molto antiche (alcune centinaia di migliaia di anni) di fatto sono ancora ben conservate perché interessano rocce lapidee (calcarei mesozoici).

Si tratterà di seguito di una terza tipologia di *sinkholes* e cioè di quelli che interessano aree pianeggianti e che in alcuni casi si aprono nelle zone di raccordo con il fondovalle di massicci carbonatici già interessati da sprofondamenti più francamente di origine carsica (Telese, Contursi, Solopaca). In molti altri casi invece essi si aprono in aree alluvionali sub-pianeggianti, lontano dai versanti calcarei e dove il substrato carsificabile è ubicato anche ad oltre 100 m di profondità.

Le aree interessate da questi fenomeni corrispondono ad importanti depressioni tettoniche per lo più colmate, nel corso del Quaternario, da depositi ghiaioso-sabbioso-limosi alluvionali e da piroclastiti rimaneggiate e da caduta. In tutti i casi le depressioni sono delimitate da importanti faglie regionali probabilmente ancora attive, come testimoniato dall'elevato grado di sismicità delle aree.

Le ricerche hanno permesso di riconoscere per ogni settore la presenza di più fenomenologie, ma non si esclude che molte altre si possano essere formate precedentemente ed ormai risultano obliterate dalla azione antropica. I *sinkholes* in aree alluvionali, infatti, molto spesso ricadono in zone agricole e per tale motivo vengono ricolmati dall'uomo o rimodellati, anche se lentamente, dall'erosione.

Le aree di piana alluvionale nelle quali sono state individuate e censite morfologie da *sinkhole* sono quelle della media e alta valle del F. Volturno e della zona pedemontana del Roccamonfina, dove in alcuni casi si concentrano numerose fenomenologie e quelle alla base del M.te Massico. Altre fenomenologie sono state riscontrate nella bassa valle del F. Calore beneventano nella zona pianeggiante che comprende i territori comunali di Telese e Solopaca. Altri sono presenti nel bacino endoreico della piana di Forino in provincia di Avellino e, più a sud, nella zona di Contursi in provincia di Salerno.

Tali fenomeni il più delle volte sembrano essere molto recenti, di età storica, tant'è che per alcuni di essi esistono fonti che li farebbero risalire all'epoca romana (come nel caso di alcune Fosse Falerne). Spesso la loro genesi è associata ad importanti eventi sismici, come è accaduto nell'area telesina.

Questi fenomeni, comunque, anche se molto di rado, continuano a verificarsi tutt'oggi e a causa del notevole ampliamento delle aree urbanizzate, la loro interazione con l'antropizzato rappresenta un fattore

di grande rischio per l'incolumità pubblica e privata.

Le interpretazioni sulla loro genesi non sono ancora del tutto chiare; alcuni sprofondamenti più antichi, ad esempio quelli delle Fosse Falerne, sono stati interpretati da alcuni Autori (SCHERILLO *et alii*, 1965, 1966, 1968; GASPARINI, 1965, 1966) come manifestazioni vulcaniche di tipo freatico "gassoso" (*maar*) post Ignimbrite Campana e connesse alle ultime manifestazioni vulcaniche del Roccamonfina. In altri casi, invece, le fonti storiche tramandano informazioni certe in merito alla genesi di simili fenomeni, come nel caso dell'area telesina alle estreme propaggini sud orientali dei Monti del Matese; mentre le manifestazioni recenti (come quelle di Telese nel 2002 e di Forino nel 2005) stanno consentendo l'avvio di preziose indagini e ricerche per una miglior comprensione della loro formazione.

Di grande importanza si sta rivelando l'approccio multidisciplinare al problema, con particolare riguardo alle informazioni che derivano dallo studio stratigrafico ed idrogeologico.

Nei paragrafi successivi verranno descritte separatamente le aree con presenza di *sinkholes*, riportando per ognuna di esse un breve inquadramento geologico e geomorfologico e l'assetto idrogeologico, soprattutto riguardo la falda profonda. In alcuni casi saranno riportate anche alcune brevi sintesi di fonti storiche e ipotesi riguardanti la genesi. Infine, si descriveranno le caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche dell'area dei *sinkholes* e, nei limiti del possibile, si cercherà di inquadrare la loro genesi nel contesto geologico generale dell'area circostante.

2. - L'AREA TRA IL ROCCAMONFINA E LA VALLE DEL VOLTURNO (CASERTA)

2.1. - ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Il settore più settentrionale della Campania interessato da *sinkholes* in aree di piana alluvionale è compreso tra la media valle del Fiume Volturno, il versante orientale del Roccamonfina e quello meridionale del massiccio carbonatico del M.te Massico. L'area, ricadente nella provincia di Caserta, delimita il settore settentrionale della grande depressione tettonica della Piana Campana dove importanti faglie regionali hanno disarticolato i rilievi mesozoici carbonatici ribassandoli a gradinata verso il margine tirrenico e lungo le quali si è instaurato anche il vulcanismo del Roccamonfina. Il vulcano è ubicato nel settore nord ovest della regione al confine con il Lazio. La sua evoluzione (GIORDANO 1993, 1998) è caratterizzata da un

primo periodo di attività (630-400 ka), durante il quale si assiste alla costruzione dell'edificio principale, caratterizzato dalla deposizione di colate laviche tefritico-leucitiche associate a emissioni di piroclastiti per attività sub pliniane e fenomeni tipo *lahar*. In una seconda fase (350-150 ka), l'attività diventa prevalentemente esplosiva con messa in posto di colate piroclastiche cui segue un breve periodo di attività idromagmatica che si conclude con la messa in posto di duomi lavici. La terza e ultima fase di attività (150-53 ka) vede la messa in posto di depositi lavici e piroclastici da apparati eccentrici.

Dal punto di vista geologico, l'area compresa tra il Roccamonfina e la valle del Volturno è quindi caratterizzata dall'affioramento di terreni riconducibili molto schematicamente a dorsali carbonatiche costituite da calcari e dolomie di piattaforma carbonatica e localmente da flysch miocenici, dai depositi lavici e piroclastici del Roccamonfina, dall'Ignimbrite Campana di origine flegrea, nonché da sedimenti alluvionali sabbiosolimosi della valle del Fiume Volturno.

Lungo il margine settentrionale della Piana Campana, importanti faglie regionali seguono direttrici prevalentemente appenniniche ed anti-appenniniche i cui incroci sono localizzati lungo la valle del Fiume Volturno. In quest'area è presente uno dei lineamenti tettonici regionali più importanti dell'Appennino meridionale rappresentato dalla Linea Ortona-Roccamonfina (nota in letteratura anche come Linea Pescara-Volturno) che rappresenterebbe lo svincolo tra due archi della catena appenninica (PATACCA & SCANDONE, 1989).

2.2. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area di interesse è caratterizzata da uno schema di circolazione idrica sotterranea alquanto complesso, per la presenza di diverse unità idrogeologiche a vario grado di permeabilità e contraddistinte da un articolato assetto geologico strutturale (fig. 2).

Le principali unità idrogeologiche dell'area sono quelle del M.te Massico, del M.te Maggiore, del Roccamonfina e l'acquifero alluvionale della valle del Volturno, nonché la sub struttura del M.te Gallo e della dorsale di Ciorlano facenti parte della più ampia unità idrogeologica dei Monti del Matese.

La struttura acquifera del M.te Massico è caratterizzata da una monoclinale mediamente immergente verso SO delimitata, a nord ovest e sud est, da due importanti faglie regionali, in parte sepolte, orientate NE-SO.

Il massiccio è caratterizzato da un complesso basale impermeabile costituito da dolomie triassiche ampiamente affioranti lungo il fronte nord orientale del massiccio, che passa a un complesso calcareo del Lias-Cretaceo molto permeabile per fratturazione e carsismo. Verso le propaggini sud occidentali, invece, affiora in trasgressione sui calcari un complesso terrigeno miocenico (VALLARIO, 1966) impermeabile, che tampona l'acquifero anche su questo lato del versante (NICOTERA & CIVITA, 1969).

La struttura del M.te Massico è idrogeologicamente isolata dagli altri acquiferi carbonatici limitrofi e da quello del Roccamonfina (NICOTERA & CIVITA, 1969; CELICO, 1979).

Lungo i suoi bordi, la struttura è tamponata in profondità dal complesso arenaceo-marnoso-argilloso miocenico al di sopra del quale, però, la presenza di sedimenti sabbioso conglomeratici di natura vulcanica e alluvionale è sufficientemente ricettiva da non consentire alla falda di traboccare e alimentare importanti sorgenti basali.

Nell'ambito dell'unità idrogeologica del Roccamonfina è possibile distinguere una struttura acquifera intracalderica ed una extracalderica.

Nella conca calderica del vulcano è presente una potente copertura di materiale piroclastico e depositi lacustri scarsamente permeabili che tamponano lateralmente due cupole laviche centrali e la cinta lavica della stessa caldera, dando origine a diverse sorgenti la cui portata complessiva è di circa 80 l/s.

La struttura acquifera extracalderica è caratterizzata da una circolazione idrica di tipo radiale (fig. 4) condizionata dalla sovrapposizione di colate laviche permeabili per fessurazione e di banchi piroclastici a permeabilità relativa più elevata. Le acque di infiltrazione defluiscono in parte nella parte scoriacea e alterata delle lave lungo linee di flusso parallele all'asse delle colate stesse fino al loro fronte, dove danno origine a numerose piccole sorgenti sospese. Il grosso delle acque di infiltrazione, invece, riesce a essere veicolata in profondità fino ad alimentare i complessi piroclastici alluvionali della piana circostante.

La falda del vulcano-strato, ad occidente e nel settore meridionale è tributaria del Fiume Garigliano (circa 20 milioni di m³/a) mentre le acque del versante orientale (24x10⁶ m³/a) alimentano la falda del M.te Maggiore; infine, quelle della zona settentrionale (10x10⁶m³/a) alimentano il Fiume Peccia e la sua valle nonché la struttura carbonatica di Rocca d'Evandro, stratigraficamente sottoposta ai depositi vulcanici. Ad occidente, i rapporti tra la falda del Roccamonfina ed il M.te Pecoraro (Unità del M.te Massico) sono pressoché nulli per l'affioramento a quota alta dei depositi torbiditici lungo i margini della struttura carbonatica. Ciò è

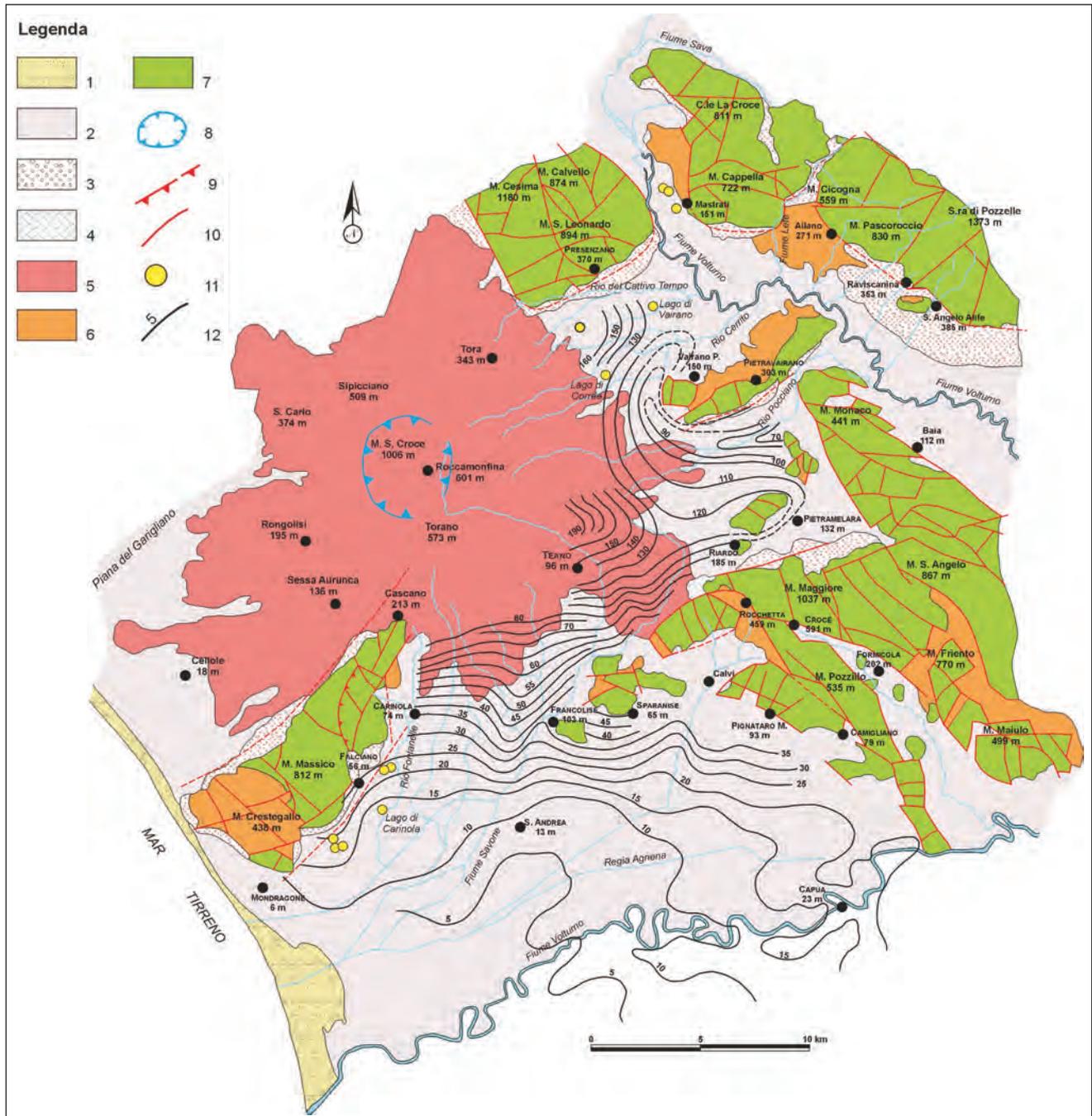


Fig. 2 - Carta dell'unità idrogeologica del Roccamonfina (settore sud orientale) e della bassa valle del Volturno (da CELICO, 1983 modificata e ridisegnata).
 Legenda: 1) sabbie; 2) depositi piroclastici limoso-sabbiosi; 3) depositi detritici; 4) travertini; 5) depositi piroclastici e lave del Roccamonfina; 6) argille, arenarie e marne; 7) calcari; 8) orlo di caldera; 9) sovrascorrimento; 10) faglia; 11) sinkhole; 12) isopiezometrica.

- Hydrogeological map of Roccamonfina volcano (south eastern sector) and lower Volturno plain (from CELICO, 1983 mod.). Legend: 1) sand; 2) sandy-silty pyroclastic deposits; 3) slope detritus; 4) travertine; 5) Roccamonfina pyroclastic deposits and lavas; 6) miocene flysch; 7) limestone; 8) caldera rim; 9) overthrust; 10) fault; 11) sinkhole in alluvial plain; 12) isopiezometric curves.

evidenziato anche dall'andamento delle isopiezometriche (CELICO, 1983) dalle quali si evince che in quest'area la falda tende a defluire verso la piana del Volturno ed il lago di Falciano del Massico dove il suo immissario, il Rio Fontanelle, raggiunge in magra 80 l/s (CAPELLI *et alii*, 1999).

Nell'unità idrogeologica del M.te Maggiore si

distinguono due unità idrogeologiche principali isolate da direttrici tettoniche importanti che fungono da spartiacque tra le due unità (CELICO *et alii*, 1977; CELICO, 1979).

La struttura principale dell'unità idrogeologica del M.te Maggiore è caratterizzata da un deflusso verso sud, con i punti di recapito principali corri-

spondenti alle sorgenti di Triflisco, Fontana Pila (portata media circa 3,8 mc/s, CELICO *et alii*, 1977) e alla più modesta sorgente di Acqua Riccia, ubicata in sinistra del Fiume Volturno. Queste acque sono caratterizzate da una marcata mineralizzazione legata probabilmente ad una mobilitazione di acque di fondo in corrispondenza di un sifone calcareo al di sotto di M.te Friento e M.te Maiulo.

L'unità idrogeologica dei Monti Tifatini è caratterizzata dalla presenza di direttrici tettoniche che veicolano il deflusso sotterraneo in parte verso il Fiume Volturno e in parte verso le falde della Piana Campana. Il punto di recapito principale della falda in rete è rappresentato dalle sorgenti di S. Sofia (portata circa 0,9 m³/s, CELICO *et alii*, 1977), costituite da un fronte acquifero lungo qualche centinaio di metri, con più polle sparse e venute d'acqua diffuse nei terreni alluvionali.

Le due sub strutture del M.te Gallo e della dorsale di Ciorlano, estreme propaggini occidentali dell'unità idrogeologica del Matese, drenano rispettivamente la prima direttamente nel Fiume Volturno, lungo un ampio fronte acquifero, la seconda ha recapito nella sorgente S. Agata (portata media 0,3 m³/s, CELICO, 1979).

Infine, l'acquifero alluvionale della valle del Volturno è costituito da una sequenza di depositi detritico alluvionali di diverse centinaia di metri di spessore poggianti (laddove il substrato è stato raggiunto dai sondaggi) sul substrato carbonatico o su quello arenaceo-marnoso-argilloso mio-pliocenico. La presenza di depositi clastici, costituiti da detrito di falda e/o da conoide, è più comune in corrispondenza dei bordi delle dorsali carbonatiche, mentre nei settori più distali prevalgono alluvioni ghiaioso sabbiose ed elevati spessori di depositi piroclastico tufacei.

I massicci carbonatici (tra cui quello del Matese e del M.te Maggiore, rispettivamente a nord e ad est dell'area in oggetto) rappresentano il principale acquifero alimentante la piana alluvionale del Volturno. Essi sono costituiti da litotipi calcarei fratturati e carsificati il cui grado di permeabilità è molto elevato.

Ad essi si contrappone la scarsissima permeabilità dei terreni mio-pliocenici argilloso-marnoso-arenacei appartenenti alle Unità Irpine e Sicilidi che fungono, inoltre, da impermeabile di fondo degli acquiferi quaternari (CELICO *et alii*, 1980).

I depositi quaternari (alluvionali e vulcanici) sono, nel loro complesso, dei buoni acquiferi per porosità ed il loro grado di permeabilità è valutato come intermedio rispetto a quello dei due complessi idrogeologici suddetti; questi depositi, contribuiscono in parte a tamponare la falda di rete presente nei terreni carbonatici (CELICO *et alii*,

1977) mentre in altri casi (vedi M.te Massico) sono comunque dotati di una ricettività sufficiente ad impedire la tracimazione della falda in rete. La presenza del vulcano Roccamonfina (fig. 2), poi, influenza la circolazione delle acque e la portata delle sorgenti.

2.3. - LE ACQUE SORGIVE

Numerose sono le sorgenti mineralizzate a causa di venute endogene profonde in corrispondenza di aree vulcaniche o di importanti faglie regionali.

In molti casi la presenza di sorgenti mineralizzate, ricche soprattutto in CO₂ ed H₂S, facilita la lenta dissoluzione di tutti i litotipi carbonatici (calcari, dolomie e travertini).

Alcune di queste sorgenti emergono lungo un tratto del Torrente Savone, tra Riardo e Teano, in un'area interessata da profonde discontinuità tettoniche (D'ARGENIO & PESCATORE, 1963); qui il corso d'acqua corre a nord ovest dei rilievi carbonatici giurassici e cretaci del M.te Maggiore che risultano bordati da elementi tettonici ad orientazione appenninica ed antiappenninica.

Queste acque vengono captate anche attraverso pozzi che hanno incontrato, al di sotto dei prodotti del Roccamonfina, a più di 100 m di profondità i carbonati appartenenti all'unità del M.te Maggiore (CORNIELLO, 1988).

Più a sud, lungo il corso del fiume Volturno, ad ovest della dorsale del M.te Maggiore, emergono le sorgenti Triflisco (T), Pila (P) e Riccia (R) anch'esse con elevato tenore in CO₂ (fig. 3).

Anche in un tratto del fiume Garigliano, ad ovest del Roccamonfina, sul limite tra carbonati e depositi vulcanici emergono sorgenti minerali che risalgono, attraverso una serie di faglie che bordano i carbonati. In questa zona, inoltre, un pozzo per captazione ha rinvenuto 40 m di lave al di sotto delle quali sono stati riscontrati alcuni metri di argille sabbiose ed infine il substrato carbonatico. L'acqua è di tipo bicarbonato-calcica, ipertermale con elevati tenori in CO₂ ed H₂S (CORNIELLO, 1988).

Nel comune di Pratella, a nord del lago di Vairano, è ubicata la sorgente Lete (poco a nord dell'area studiata); anche in questo caso si tratta di acque bicarbonato-calciche ricche in CO₂ interpretate come apporto endogeno lungo le linee tettoniche a SO del Matese.

Altre sorgenti minerali si ritrovano poco a nord di Mondragone (località "sorgente calda" C); Le acque sono sulfuree, ricche in CO₂ e con temperature superiori a 50°C. I terreni in affioramento sono marnoso-arenacei e poggiano in tra-

2.5. - L'ALTA VALLE DEL FIUME VOLTURNO

2.5.1 - L'Area di Capriati a Volturno

Capriati al Volturno ricade nel settore mediano dell'alta valle del F. Volturno, articolata depressione di origine strutturale, impostata su un lineamento a carattere regionale (linea Ortona-Roccamonfina *Auctorum* - LOCARDI, 1982) la cui individuazione e il successivo ampliamento sono state determinate dalle fasi tettoniche infrapleistoceniche e, successivamente, dalla traslazione e dalla rotazione in senso antiorario del blocco del Matese (IORIO *et alii*, 1996; SPERANZA *et alii*, 1998)

A partire dal Pleistocene medio, secondo BRANCACCIO *et alii* 1997, 2000, si sono individuati in questa area due settori che hanno seguito una differente evoluzione tettonica e sedimentaria, a causa di movimenti differenziali che hanno determinato il sollevamento, e quindi la reincisione della porzione settentrionale, e la subsidenza della parte meridionale.

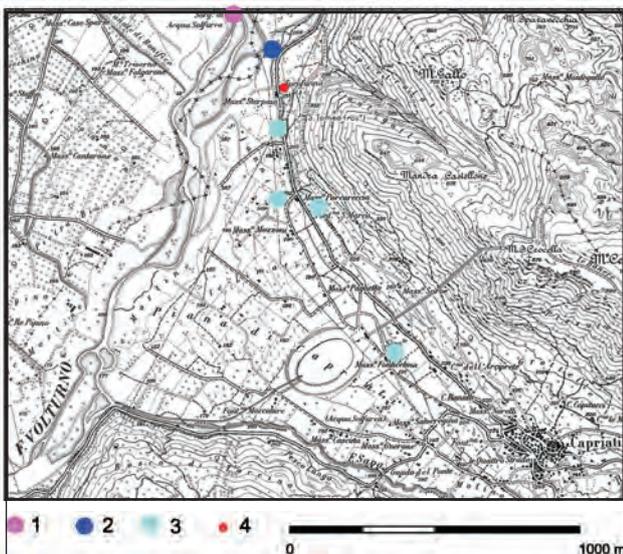


Fig. 4 - Ubicazione delle sorgenti nell'area del *sinkhole* dello Sprofunno. Legenda: 1) sorgente di acque mineralizzate; 2) sorgente Seggia d'Orlando; 3) sorgenti minori; 4) lo Sprofunno.
- Springs location in Sprofunno area. Legend: 1) mineralized springs; 2) Seggia d'Orlando spring; 3) smaller springs; 4) lo Sprofunno sinkhole.

Il settore settentrionale, prossimo ad Isernia, risulta caratterizzato dalla presenza di una successione fluviale e lacustre potente almeno 150 m, nella quale vengono riconosciuti una unità principale (in facies alluvionale, di conoide e lacustre) e una unità di fondovalle. Il settore meridionale, o di Venafro, risulta caratterizzato da una morfologia piatta, non reincisa dal Volturno, con un riempimento sedimentario di oltre 250 m di spessore.

Dal punto di vista cronologico, i numerosi orizzonti tufacei presenti nella parte intermedia della sequenza presente a sud, vengono attribuiti all'attività del Roccamonfina (Pleistocene medio), mentre un livello di limo grigiastro con lapilli nerastri presente nei primi metri a partire dal p.c. viene ascritto alla formazione del Ignimbrite Campania *Auct.*

Al piede del rilievo di M.te Gallo, a nord di Capriati a Volturno e in prossimità del *sinkhole* dello Sprofunno, sono presenti numerose sorgenti (fig. 4).

La principale è la sorgente Seggia d'Orlando, distante poche centinaia di metri dal *sinkhole*; essa è posta a una quota di 184 m s.l.m. ed ha una portata media pari a 128 l/s. Le sorgenti Acqua la Pace e Campo la Fontana (non riportate in figura) sgorgano poco più a nord, a una quota di 215 m s.l.m., ed hanno una portata più ridotta (poche decine di l/s); a sud dello Sprofunno, sono presenti alcune sorgenti di portata ancora più ridotta.

Le suddette emergenze sorgentizie sono legate al tamponamento operato dai depositi detritico-alluvionali sulla falda di base accolta nel bacino idrogeologico di M.te Gallo (CORNIELLO *et alii*, 1999). Le caratteristiche idrochimiche delle sorgenti (tab. 2) risultano infatti in accordo con quelle tipiche di acquiferi carbonatici (TDS circa 200 mg/l, durezza < 20°F, prevalenza sugli altri degli ioni bicarbonato e alcalino-terrosi).

Accanto a queste sorgenti a chimismo *normale*, è presente, infine, una sorgente di acqua sulfurea lungo l'alveo del F. Volturno, verosimilmente legata alla risalita di acque arricchite in CO₂ e H₂S di origine profonda, lungo le fasce cataclazizzate connesse alla presenza di faglie nel substrato carbonatico profondo.

Tab. 2 - Caratteristiche chimico fisiche delle sorgenti Seggia d'Orlando e Campo la Fontana (da CORNIELLO *et alii*, 1999).
- Chemical and physical characteristics of Seggia d'Orlando and Campo la Fontana springs (from CORNIELLO *et alii*, 1999).

Toponimo	pH	T °C	dH° F	TDS mg/l	Cl mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₄ mg/l	NO mg/l	SiO ₂ mg/l
Seggia d'Orlando	7,9	14,0	21	250	10,75	2,8	1,0	8,59	2,85	225,51	4,5	9,56
Campo la Fontana	7,4	-	18,2	220	28,33	2,0	1,09	21,32	3,88	138,19	10,0	10,26

Lo Sprofunno

Nel territorio del comune di Capriati al Volturmo è stato riconosciuto un *sinkhole*, denominato lo Sprofunno, attualmente ricolmato, la cui formazione viene collegata nella tradizione locale, ad uno sprofondamento avvenuto il giorno della festa di S. Anna (26 luglio).

Lo Sprofunno era una cavità di forma conica, ben visibile nelle foto aeree del 1956. Il diametro, desumibile dalla carta topografica IGM in scala 1:25.000 del 1960 era di circa 50 m; non si hanno informazioni relative alla profondità. Le dimensioni alquanto ridotte dello sprofondamento e l'assenza di una raccolta d'acqua spiegano, almeno in parte, perché non si rinvengono rappresentazioni nella cartografia storica acquisita.

Lo Sprofunno era ubicato immediatamente a monte della SS 158, sul conoide alluvionale del T. Cantagallo. L'area è caratterizzata dalla faglia bordiera della struttura carbonatica di M.te Gallo con direzione NE-SO, il cui proseguimento si allinea con la cavità e una linea ad essa perpendicolare che interessa la stessa conoide.

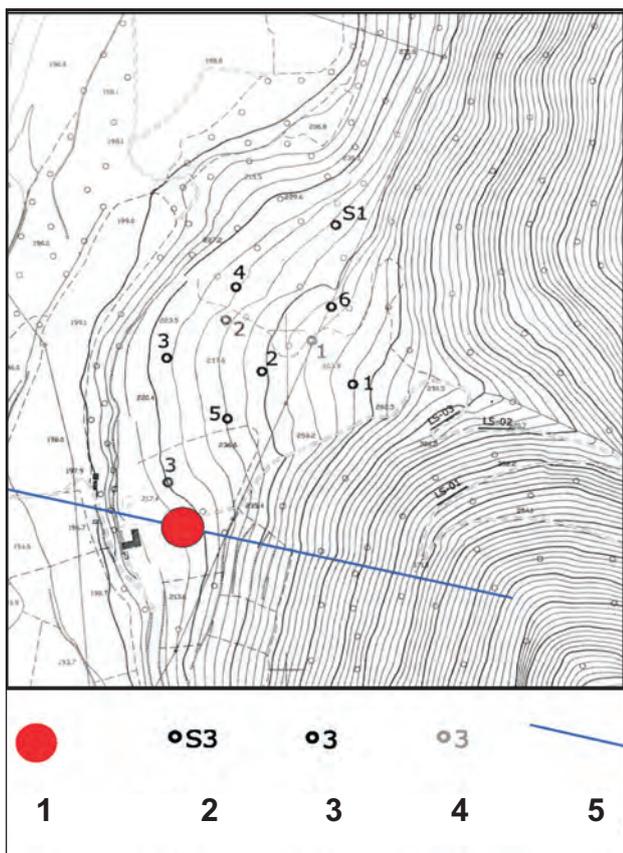


Fig. 5 - Ubicazione dello Sprofunno e dei sondaggi geonostici. Legenda: 1) *sinkhole*; 2) indagini relative al P.R.G.; 3) indagini relative al P.I.P.; 4) altre indagini.
 - *Sprofunno sinkhole and geological drillings location. Legend: 1) sinkhole; 2) P.R.G. drilling; 3) P.I.P. drilling; 4) other drilling.*

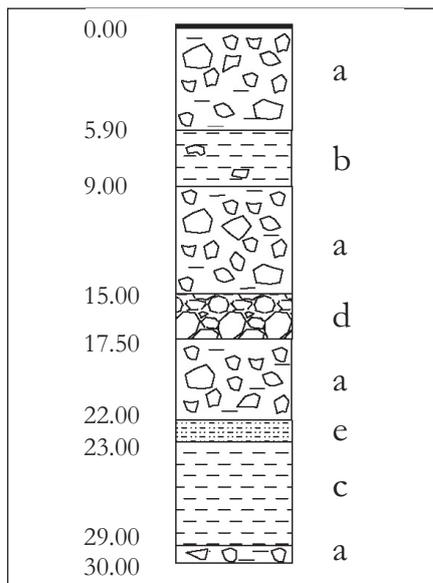


Fig. 6 - Colonna stratigrafica del sondaggio 3 realizzato in prossimità dello Sprofunno. Legenda: a) detrito calcareo in matrice argillosa; b) argilla marrone con rari clasti calcarei; c) argilla marrone scuro, plastica; d) breccia calcarea cementata; e) cinerite argillificata con clasti e pomice.
 - *Stratigraphy of drilling n. 3 bored near Sprofunno. Legend: a) clayey calcareous debris; b) brown clay with calcareous rare pebbles; c) dark brown plastic clay; d) calcareous breccia e) clayed ash with pumice*

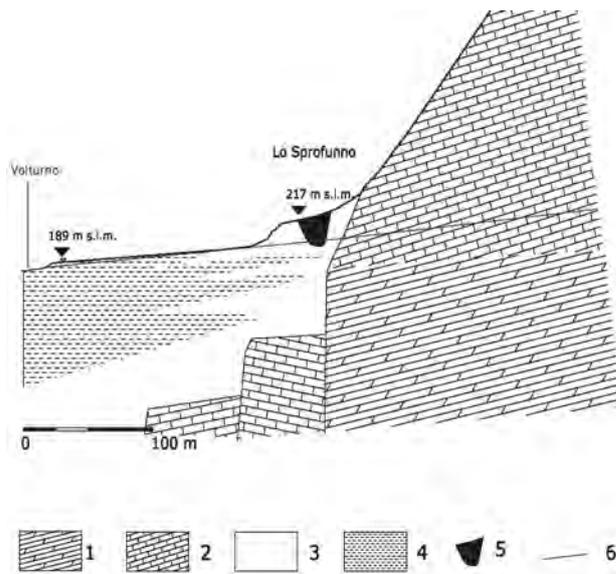


Fig. 7 - Lo Sprofunno: sezione geologica. Legenda: 1) dolomie; 2) calcari; 3) detrito di falda; 4) alluvioni; 5) *sinkhole*; 6) superficie piezometrica. Ubicazione in figura 5.
 - *Sprofunno: geological cross section. Legend: 1) dolomite; 2) limestone; 3) slope debris deposits; 4) alluvial deposits; 5) sinkhole; 6) water table. Location in figure 5.*

Nell'area dello Sprofunno sono stati realizzati dall'amministrazione comunale alcuni sondaggi per l'edificazione di capannoni industriali (fig. 5). I sondaggi attraversano una successione di conoide data da alternanze di livelli ghiaiosi, argillosi e vulcanici. In figura 6 e 7 vengono riportati la colonna stratigrafica relativa al sondaggio più vicino e una sezione geologica esplicativa.

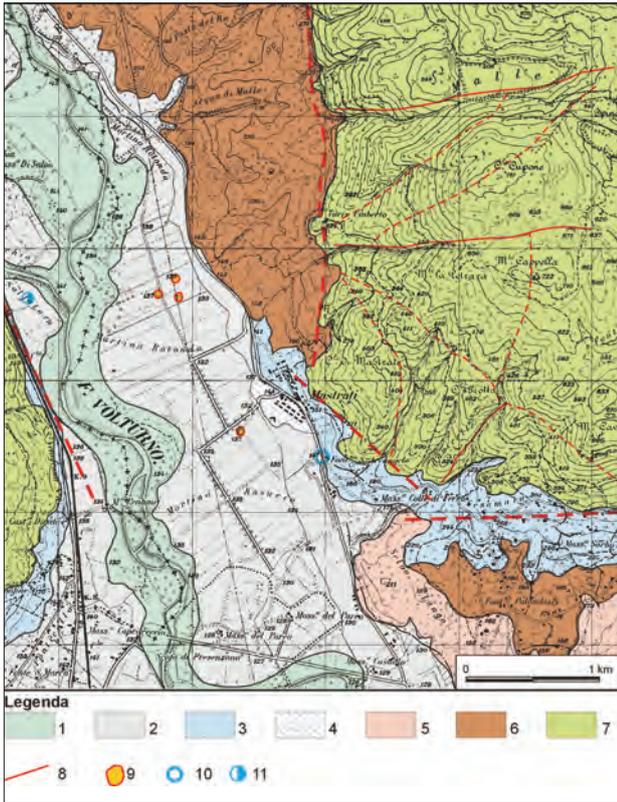


Fig. 8 - Stralcio geologico dell'area di Mastrati. Legenda: 1) alluvioni attuali del Fiume Volturno (Olocene); 2) alluvioni recenti del Fiume Volturno (Olocene - Pleistocene sup.); 3) detrito di versante (Olocene - Pleistocene sup.); 4) travertini (Pleistocene sup.); 5) ignimbrite Campana (Pleistocene sup.); 6) depositi marnoso-arenacei-argillosi (Flysch miocenici); 7) calcari mesozoico terziari; 8) faglie principali; 9) piping sinkhole; 10) sorgenti; 11) sorgenti sulfuree.

- Geological map of Mastrati area. Legend: 1) present alluvial deposits of Volturno River (Holocene); 2) recent alluvial deposits of Volturno River (upper Pleistocene-Holocene); 3) slope deposits (upper Pleistocene-Holocene); 4) travertine (upper Pleistocene); 5) Campanian Ignimbrite (upper Pleistocene); 6) miocenic flysch; 7) Mesozoic limestones; 8) faults; 9) piping sinkhole; 10) spring; 11) sulphurous spring.

2.5.2 - L' Area di Mastrati

L'area interessata dagli sprofondamenti (fig. 8) corrisponde al settore di piana alluvionale del Fiume Volturno compreso tra la confluenza del Rio San Bartolomeo ed il Volturno, a nord, e l'abitato di Mastrati, a sud. Essa è localizzata nella zona di confine tra la piana di Venafro a quella di Vairano ed è delimitata, sui due fianchi dalle dorsali carbonatiche di M.te Cappella (722 m s.l.m.), ad est, e di M.te Alto (791 m s.l.m.), ad ovest.

Tra i versanti carbonatici e la piana alluvionale si sviluppa una fascia di *glacis* costituita da depositi piroclastici rimaneggiati a granulometria limo-sabbioso-ghiaiosa (BRANCACCIO *et alii*, 1997).

Dai dati di sondaggio risulta che la falda è sub affiorante e che fino a circa 135 m di profondità sono presenti depositi alluvionali costituiti da limi, argille, sabbie e ghiaie in matrice sabbiosa.

Testimonianze locali riportano che, nel periodo antecedente al 1950, nella piana si sono verificati almeno 3 sprofondamenti con diametro di circa 20 m, anche riportati nella cartografia in scala 1:25.000 IGM del 1954 (tavoletta 161 III SE Pratella), sebbene siano stati successivamente ricolmati, pertanto, oggi non più visibili. Vengono ricordati, inoltre, altri *sinkholes* risalenti a circa 30 anni fa circa, generatisi più a sud nella piana del Volturno. La loro ubicazione, tuttavia, non è accertata perchè gli sprofondamenti sono stati ricolmati dall'uomo per scopi agricoli.

Tali fonti riferiscono che a seguito degli sprofondamenti, per la presenza della falda sub affiorante, si sono creati piccoli laghi, localmente denominati "Tonzi" o "Occhi d'acqua".



Fig. 9 - Panoramica aerea del sinkhole del 10 febbraio 2004 nella piana del Volturno a NW dell'abitato di Mastrati (a) ripreso in (b) con maggior dettaglio. - Orthophoto of 2004 February sinkhole in Volturno plain near Mastrati village (a). Detail in (b).



Fig. 10 - Il sinkhole apertosi il 10 febbraio 2004 nei terreni alluvionali del Fiume Volturno in località Martina Rotonda nella piana a NO dell'abitato di Mastrati (da DEL PRETE *et alii*, 2004).
 - 2004 February 10 sinkhole in alluvial deposits of Volturno river located at Martina Rotonda plain, north western Mastrati village (from DEL PRETE *et alii*, 2004).



Fig. 11 - Il sinkhole di Mastrati nel luglio 2004.
 - Mastrati sinkhole in 2004 July.

L'ultimo *sinkhole* si è verificato il 10 febbraio 2004 (DEL PRETE *et alii*, 2004); presentava un diametro di circa 15 m per una profondità di circa 6 m e sembra che nella stessa area un *sinkhole* si fosse già aperto circa 30 anni fa (figg. 9, 10, 11). A seguito dell'improvviso collasso si è avuto un violento "ribollire" dell'acqua (a detta dei locali) cioè una sorta di tracimazione delle acque della falda sub affiorante che ha portato in superficie numerosi resti legnosi e frustoli vegetali presenti nei primi metri del riempimento fluvio-lacustre. Da alcuni sondaggi effettuati in loco dopo lo sprofondamento sono state evidenziate brusche variazioni laterali di granulometria dei terreni (alternanze di limi sabbie e ghiaie). Per quanto riguarda la genesi di questi fenomeni, i dati di sottosuolo (fig. 12) al momento fanno ipotizzare locali fenomeni di liquefazione in corrispondenza di livelli sabbioso-torbosi dovuti, probabilmente, a variazioni di carico della falda in pressione che ha raggiunto il piano campagna, conseguenti alle intense piogge dei mesi precedenti (DEL PRETE *et alii*, 2004).

2.5.3. - *Analisi e considerazioni*

Relativamente all'alta valle del F. Volturno, ad oggi risultano verificate poche segnalazioni.

Una riguarda il territorio di Capriati al Volturno: si tratta di un fenomeno di sprofondamento verificatosi presumibilmente in epoca storica, circa 200 anni fa (l'accostamento nella tradizione popolare alla festività di S. Anna potrebbe essere motivato dal verificarsi dello sprofondamento per effetto del terremoto del 26 luglio 1805).

La cavità, denominata "Lo Sprofunno", ubicata nella parte inferiore di una conoide alluvionale,

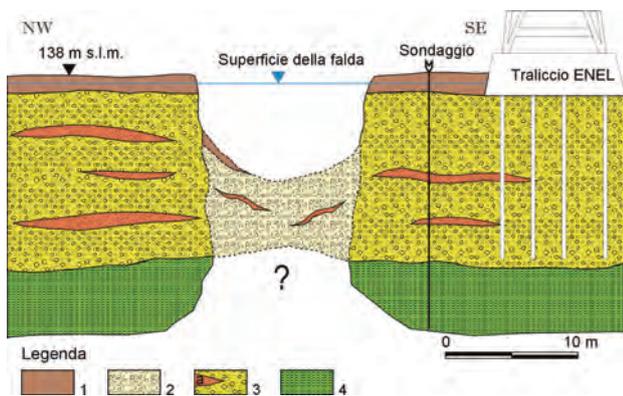


Fig. 12 - Ricostruzione stratigrafica dell'area dello sprofondamento del 2004 nella piana di Mastrati (da DEL PRETE *et alii*, 2004).
 - Stratigraphy of 2004 sinkhole area in Mastrati plain (from DEL PRETE *et alii*, 2004).
 Legend: 1) sandy-lime soil; 2) sinkhole detritus; 3) sandy-gravel present alluvial deposits; 4) palustrine deposits with peat level.

ha coinvolto una successione di depositi prevalentemente detritici e subordinate intercalazioni di livelli a granulometria fine, in un settore corrispondente alla fascia di intersezione di importanti lineazioni tettoniche, che costituiscono via di risalita preferenziale di acque mineralizzate profonde, che, in effetti, scaturiscono nelle vicinanze della cavità, nell'alveo del Fiume Volturno.

Le altre segnalazioni ricadono nel territorio di Mastrati e sono riferite a sprofondamenti avvenuti a più riprese, alcuni antecedenti agli anni '50, fino ad un ultimo episodio verificatosi nel febbraio 2004. Tali sprofondamenti possono essere messi in relazione a fenomeni di liquefazione di livelli sabbioso-torbosi dovuti a improvvise variazioni di carico della falda.

Nella maggior parte dei casi considerati, gli interventi antropici hanno cancellato pressoché totalmente le evidenze di campagna di queste particolari morfologie.

2.6. – LA MEDIA VALLE DEL FIUME VOLTURNO

2.6.1. – I sinkholes della valle del fiume Lete tra i comuni di Pratella e Prata Sannita

In quest'area sono presenti numerosi sprofondamenti (CORNIELLO *et alii*, 1999; DEL PRETE *et alii*, 2004) riconducibili a *collapse sinkhole* in calcari e *cover piping sinkhole* (“Sparafunni” secondo la terminologia locale) in depositi alluvionali limo sabbiosi.

Il settore di interesse comprende il fondovalle del Fiume Lete tra gli abitati di Prata Sannita e Pratella dove l'alveo risulta impostato lungo una linea tettonica a direzione NNE-SSO (fig. 13). In quest'area, lungo un fronte di circa 1 km, ha recapito il gruppo sorgivo “Pratella-Prata Sannita-Lete” caratterizzato da una serie di scaturigini lungo il corso d'acqua (sorgenti Ielo, Pozzo, Fontanone e Molinello), alcune delle quali mineralizzate, con portate complessive variabili da 20 a 450 l/s (CORNIELLO *et alii*, 1999).

A ridosso dei versanti settentrionali di Colle Pizzuto, a monte del fronte sorgivo, associato a lineamenti tettonici con orientazione E-O e NNE-SSO, si rilevano, a quote comprese tra 280 e 160 m s.l.m., numerose forme relitte da *collapse sinkhole* che hanno interessato i calcari dolomitici profondamente tettonizzati, alterati e carsificati. Essi presentano forma sub circolare, con diametro di circa 100 m e profondità di circa 40 m. Altre morfologie riconducibili a *collapse sinkhole* in calcari (almeno 5) sono localizzate più a nord lungo tutto il versante orientale di Colle le Tore (325 m s.l.m.) in destra del fiume Lete. Essi presentano tutti forma sub-circo-



Fig. 13 - Panoramica del versante orientale di Colle le Tore, ubicato in destra orografica del Fiume Lete tra i comuni di Prata Sannita e Pratella. Le frecce indicano l'ubicazione di due *sinkholes* (da DEL PRETE *et alii*, 2004).
- General view of eastern slope of Colle Le Tore, in Lete river orographical right, between Prata Sannita and Pratella. Arrows show *sinkholes* ubication (from DEL PRETE *et alii*, 2004).

lare con diametro massimo di circa 80 m e profondità di circa 10 m. Analogamente, in sinistra del fiume Lete, sulla collina immediatamente ad est di Colle le Tore, sono presenti altri due sprofondamenti in corrispondenza di un incrocio di faglie orientate NNE-SSO e NO-SE. Tra questi, in particolare, il più spettacolare è quello denominato “Fossa dei Palombi” che consiste in uno sprofondamento cilindrico del diametro di circa 30 m e profondo circa 35 m. Anche in questo caso i calcari affioranti lungo tutta la parete del *sinkhole* sono fortemente cataclastici. Fenomenologie più strettamente riconducibili a fenomeni di *piping* sono prevalentemente concentrate lungo l'alveo del fiume Lete, ed interessano i depositi alluvionali limo-sabbiosi. Di particolare interesse è il fenomeno deformativo in atto da alcuni anni caratterizzato da una lenta subsidenza del suolo che sta coinvolgendo un'antica casa colonica nei pressi delle sorgenti dei Bagni Minerali (Pozzo e Molinello). La deformazione interessa un'area pianeggiante e per tale motivo difficilmente può essere giustificata da un movimento franoso, mentre è molto probabile che essa sia legata all'azione operata nel substrato dalle acque minerali. Alcuni fenomeni da collasso (almeno 3) sono segnalati nei depositi alluvionali del fondovalle del fiume Lete talora nelle immediate vicinanze di strutture antropiche.

In particolare, uno sprofondamento avvenuto alcuni anni fa nei pressi dell'attuale stabilimento per l'imbottigliamento dell'acqua è stato successivamente riempito con terreno; ancora visibili sono,



Fig. 14 - *Sinkhole* presente lungo il corso del Fiume Lete.
- *Sinkhole near Lete River.*

invece, altri due sprofondamenti che si sono verificati più a nord tra loc. Starze e Ponte Rio entrambi in destra del fiume Lete ed a pochi metri dal suo alveo (fig. 14). Essi hanno forma conica con diametro di circa 10 m e profondità di circa 5 m ed hanno interessato i depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi del Lete.

2.6.2. – L'area di Raviscanina

L'abitato di Raviscanina si estende in sinistra orografica della Valle del medio Volturno, al piede del settore sud-occidentale della catena del Matese.

Il settore montano del territorio comunale è dato dai rilievi di M.te Codarci (1138 m s.l.m.), M.te Pizzone (992 m s.l.m.) e M.te Il Vecchio (1077 m s.l.m.) costituiti da dolomie saccaroidi biancastre, in strati e banchi, molto fratturate, di età triassica. Tali rilievi presentano morfologia aspra e versanti molto ripidi, dissecati da profonde incisioni.

La fascia di raccordo tra il settore montano e quello della piana del Volturno è costituita da una potente coltre di detrito di falda che poggia su un substrato variamente dislocato da faglie orientate prevalentemente secondo i sistemi NO-SE e NE-SO, costituito dai calcari cretacei della successione di piattaforma e, in parte, dai terreni arenaceo-marnosi della trasgressione miocenica, quest'ultimi affioranti in corrispondenza dell'abitato (fig. 15).

Gli elementi principali della circolazione idrica sotterranea comprendono la presenza di una cospicua circolazione basale nei rilievi carbonatici della dorsale M.te Acuto – M.te Coracchia che, con deflussi orientati verso Sud, alimenta, tramite travasi idrici sotterranei, i conoidi pede-

montani e la Piana di Raviscanina e, quindi, l'alveo del F. Volturno, come evidenziato dagli incrementi di portata osservati (820 l/s) lungo l'alveo (CASALE *et alii*, 1996). Nel complesso, il disegno piezometrico presenta direzione di flusso della falda subortogonale ai rilievi, e profondità della falda dal piano campagna rapidamente crescente verso la piana, fino a superare - 70 m di profondità in corrispondenza dei *sinkholes* di località Le Starze.

In aggiunta, non essendo la falda di base tamponata efficacemente dai depositi detritici pedemontani, questi diventano, a loro volta, sede di un corpo idrico che tende a digitarsi in più livelli, per effetto delle locali variazioni granulometriche, più

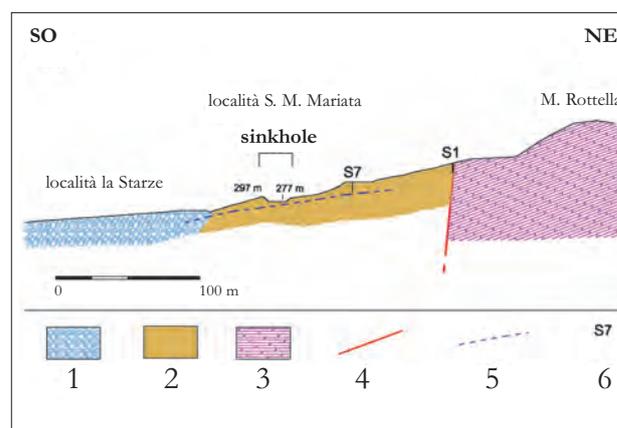


Fig. 15 - Sezione geologica del *sinkhole* di S. Maria Mariata (Raviscanina).
Legenda: 1) detrito di falda (Pleistocene sup.-Olocene); 2) arenarie e siltiti (Miocene); 3) dolomie (Trias); 4) faglia; 5) piezometrica; 6) sondaggio.

- *Geological cross section of S. Maria Mariata sinkhole (Raviscanina). Legend: 1) slope deposits (upper Pleistocene-Holocene); 2) sandstones (Miocene); 3) dolomite (Trias); 4) fault; 5) watertable; 6) borehole.*

o meno interconnessi. Infatti, numerose sono le venute d'acqua che alimentano i piccoli corsi che circondano l'abitato di Raviscanina.

Il travaso di acque sotterranee dall'acquifero del Matese è inoltre confermato dalle caratteristiche idrochimiche misurate nei pozzi presenti nei dintorni dell'abitato di Raviscanina (CORNIELLO & DE RISO, 1986; CORNIELLO *et alii*, 1995). Dalle analisi svolte in questi ultimi emerge che le acque sono bicarbonato-alcalino-terrose (CORNIELLO & DE RISO, 1986) e presentano un profilo globale vicino a quello delle acque presenti nei carbonati del Matese; gli elementi alcalini in particolare sono da ricondurre alle piroclastiti e ai livelli limo-argillosi presenti nei depositi detritico alluvionali.

Fenomeni di Sprofondamento

Nel territorio del comune di Raviscanina sono stati individuati 4 *sinkholes* (fig. 16). Tre di essi ricadono in località Le Starze, ad una quota compresa tra 210 e 220 m s.l.m., a circa 1 km a SO dell'abitato; il quarto è ubicato in prossimità del paese, a una quota di 295 m s.l.m. Dei tre *sinkholes* presenti in località Le Starze il più occidentale si estende lateralmente alla Strada Pezza dei Fichi, in prossimità dell'incrocio con la Strada Fossetello e la Strada Vicinale Fossetello; presenta morfologia irregolare, sub circolare, diametro medio di 65 m e profondità 10 m circa. Il secondo, in posizione relativamente più centrale, presenta forma circolare, leggermente ellittica, con diametro massimo di circa 90 m, pareti poco acclivi e profondità circa 12 m.

Il terzo dei *sinkholes* presenti in località Le Starze è quello più grande; presenta forma ellittica, con asse maggiore di circa 170 m, orientato secondo la direzione NNO-SSE e asse minore di circa 105 m, e profondità di circa 20 m. Esso risulta facilmente raggiungibile da Strada Vicinale Saude.

L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato dalla presenza di una potente successione di detrito di falda, costituito da clasti carbonatici di diametro centimetrico, a spigoli vivi, in matrice sabbiosa. Lo spessore attraversato in sondaggio giunge a superare i 120 m (sondaggio 163501 in figura 15 - località Case Pagane, ove peraltro non è stato raggiunto il substrato).

Un quarto *sinkhole* è ubicato in prossimità dell'abitato, ad una distanza di circa 100 m in direzione ESE; presenta una morfologia circolare regolare, con diametro di 60 m e profondità di 16 m. Questo *sinkhole* si è originato nei terreni della formazione arenaceo-marnosa di età miocenica, su cui sorge l'abitato (fig. 17).



Fig. 16 -Panoramica aerea dei fenomeni di sprofondamento dell'area di Raviscanina.
- Location of Raviscanina area sinkhole on orthophoto.

2.6.3. - L'area di Vairano

Ad est dell'edificio vulcanico del Roccamonfina, nella piana del medio corso del Fiume Volturno, tra i comuni di Vairano e di Caianello sono presenti due depressioni: il lago di Vairano e il lago delle Corrèe (fig. 18).

Questi specchi d'acqua sono stati segnalati per la prima volta da GUSSONE & TENORE (1835) e successivamente da SCACCHI (1885), che le hanno interpretate come sprofondamenti. Successivamente altri Autori (SCHERILLO, 1965, SCHERILLO *et alii*, 1965; 1966; 1968, GASPARINI, 1965; 1966), in analogia alle supposizioni avanzate per le "Fosse Falerne", hanno reinterpretato queste forme come crateri vulcanici "gassosi" da mettere in relazione alle fasi terminali del vulcanismo del Roccamonfina. A conferma di questa ipotesi, gli Autori fanno rilevare l'allineamento delle Fosse Falerne e dei



Fig. 17 - Il *sinkhole* formatosi nella formazione arenacea in prossimità dell'abitato di Raviscanina.
- Sinkhole in arenaceous deposits near Raviscanina village.

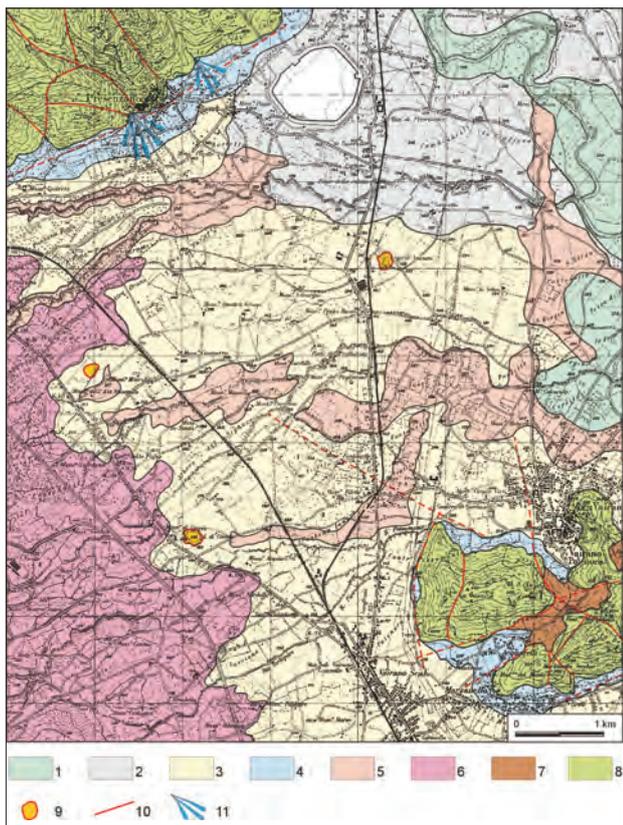


Fig. 18 - Stralcio geologico dell'area dei *sinkholes* di Corràe e Vairano. Legenda: 1) alluvioni attuali del Fiume Volturno (Olocene); 2) alluvioni recenti del Fiume Volturno (Pleistocene sup. - Olocene); 3) depositi colluviali eluviali (Pleistocene sup. - Olocene); 4) detrito di versante (Pleistocene sup. - Olocene); 5) ignimbrite Campana (Pleistocene sup.); 6) depositi piroclastici e tufacci del Roccamonfina (Pleistocene medio-sup.); 7) depositi marnoso-arenacci-argillosi (flysch miocenici); 8) calcari mesozoico terziari; 9) faglie principali; 10) *piping sinkhole*; 11) conoide.

- Geological map of Corràe and Vairano sinkhole area. Legend: 1) present alluvial deposits of Volturno River (Holocene); 2) recent alluvial deposits of Volturno River (upper Pleistocene-Holocene); 3) colluvium and eluvium (upper Pleistocene-Holocene); 4) slope deposits (upper Pleistocene-Holocene); 5) Campanian Ignimbrite (upper Pleistocene); 6) pyroclastic and tuff deposits of Roccamonfina volcanoes (middle-upper Pleistocene); 7) miocene flysch; 8) Mesozoic limestones; 9) fault; 10) *piping sinkhole*; 11) fan.



Fig. 19 - Panoramica da ortofoto del Lago delle Corràe.
- Orthophoto view of Corràe Lake.

laghi di Corràe e Vairano lungo la direttrice tettonica regionale del M.te Massico, orientata NE-SO, in corrispondenza della quale si sarebbero impostate le esplosioni esclusivamente gassose che hanno portato alla loro formazione. Studi più recenti, in accordo con le prime descrizioni del XIX Secolo ne attribuiscono la genesi a fenomeni di sprofondamento connessi a collassi (*sinkhole*) avvenuti in epoca successiva alla cessazione dell'attività vulcanica (NISIO, 2003; DEL PRETE *et alii*, 2004).

Il Lago delle Corràe

Situato al margine nord-orientale dell'area vulcanica di Roccamonfina, tra i paesi di Marzano Appio e Vairano Partenora, il Lago delle Corràe (o Corraie) è ubicato nella piana alluvionale del Fiume Volturno, a soli 100 m dalla SS n° 6, Via Casilina (fig. 19).

Si tratta di una depressione sub cilindrica di circa 40 m di profondità, sul cui fondo si trova un piccolo lago di circa 150 m di diametro. Le pareti dello sprofondamento sono subverticali, tendenti a svasare debolmente verso il ciglio dove la depressione aumenta il suo diametro a circa 200 m. Le pareti del lago (figg. 20, 23), per il particolare microclima, sono ricoperte da una ricca vegetazione di alberi d'alto fusto e da un fitto sottobosco che scompare sul ciglio dove predominano coltivazioni agrarie (BATTAGLINI *et alii*, 1968).

Il lago veniva descritto già da SCACCHI (1885) nelle sue note di campagna del 1838-1844, che scriveva: "il lago delle Corraie è un profondo fosso circolare le cui pareti scendono quasi a perpendicolo ed ha una certa somiglianza coi crateri vulcanici, ma, trovandosi in una pianura senza che alcuna parte della sua circonferenza sia rilevata, è da credere siasi formata per uno sprofondamento. Nel suo interno, fino a notevole profondità si scorgono strati orizzontali di varia natura, ed uno di quelli che sono più in alto contiene grossi pezzi rotondati di leucitofiro, di trachite petroselciosa ... come gli ordinari conglomerati di Roccamonfina. A tutti sovrapposto è il tufo feldspatico".

Lo studio delle fonti storiche e cartografiche fa risalire la formazione del lago ad almeno quattro secoli fa, essendo il lago riportato in una Carta della Diocesi di Teano del 1635 (fig. 21).

Inoltre il lago viene riportato nelle rappresentazioni cartografiche del 1850 nella Carta della "Provincia di Terra di Lavoro" disegnata da Marzolla in scala 1:250.000 circa.

In alcune mappe (MAGINI, 1631 scala 1:258.000, 1800 Carta della Società Geografica d'Italia, scala 1:100.000) il lago non compare. In particolare nella carta del 1800 è riportato il lago di Vairano (di limitata estensione), ma non quello di Corràe.



Fig. 20 - Stralcio dalla tavoletta IGM 172 IV NE in scala 1:25.000 con l'ubicazione del Lago delle Corree e vista del lago.
 - Clip of topographic map (tav. IGM 172 IV NE) at scale 1:25.000 with location of Corree lake and view of lake.



Fig. 21 - Stralcio dalla *Descriptio Theanensis Dioecesis* (1635), in cui sono riportati il Lago delle Corree e il Lago di Vairano.
 - Clip of *Descriptio Theanensis Dioecesis* (1635), with location of Corree and Vairano Lake.



Fig. 22 - Dettaglio dell'area del Lago di Corrè della Carta Topografica in scala 1:50.000 redatta nel 1875 dall'Istituto Topografico Militare Italiano.
- Detail of Corrè Lake area on Topographic Map at scale 1:50.000 edited in 1875 from Italian Army Topographic Institute.

Nella Carta Topografica dell'Istituto Topografico Militare del 1875 in scala 1:50.000 il lago non viene segnalato ma al suo posto è presente un piccolo simbolo che indica una depressione morfologica, e l'unico toponimo riconducibile al nome Corrè è quello di una Taverna (fig. 22).

Tuttavia il lago viene descritto per la prima volta nel 1834 da GUSSONE & TENORE (1835): "dopo una sosta alla Taverna omonima, al miglio 35 della Consolare di Sangermano, si sono fermati ad osservare il lago". Essi descrivono lo specchio d'acqua come di forma ellittica, come il bacino che lo circonda, con un diametro in estate di 400 piedi e con profondità modesta "vista l'emersione di zolle di erba"; la presunta mancanza di vegetazione consente loro di osservare strati orizzontali "senza tracce di sconvolgimento" (GUSSONE & TENORE, 1835).

Gli abitanti del luogo fanno risalire l'origine del lago ad epoca recente, circa 150-200 anni fa, collegandola ad un episodio catastrofico che narra

della leggenda di S. Anna (Santa protettrice dei trebbiatori) secondo la quale sul luogo dell'attuale lago si trovava un'antica villa con annessa aia e stalle per animali. Poiché nel giorno ad Ella sacro, il 26 luglio, "si trebbiava, in spregio del riposo festivo, tra osceni canti e lazzi", la Santa sdegnata fece sprofondare l'aia e la villa circostante dando luogo al lago delle Corrè. La tradizione popolare racconta che, ancora oggi, nella notte di Sant'Anna si odono salire dal fondo del lago il rumore del trotto dei buoi e dei cavalli spinti dalla frusta, ed i canti e pianti dei trebbiatori (figg. 20, 23).

Sulla scorta dei dati desunti dalle fonti storiche, l'origine del lago, come descritto sopra, è ben più antica (precedente al 1635); è possibile, tuttavia che la leggenda di Sant'Anna abbia un fondo di verità, ed infatti è presumibile che un evento riattivante potrebbe essere stato il sisma del 26 luglio 1805 ("terremoto di S. Anna") con epicentro nel Matese che ha interessato estesamente la provincia di Caserta e Benevento. Inoltre, proprio in connessione con questo sisma, analoghe fenomenologie sono segnalate anche nell'area telesina (ROSSI, 1857).

Per quanto riguarda la genesi del lago, si esclude l'ipotesi di una depressione per degassazione vulcanica. In questo caso il lago dovrebbe essere connesso alla storia eruttiva del Roccamonfina, ma la morfologia e i prodotti presenti lungo le pareti non sono risultati compatibili con l'attività di un *maar* situato in posizione distale.

La presenza dell'Ignimbrite Campana e delle alluvioni sabbioso limose, di età olocenica, affioranti lungo le pareti dello sprofondamento consentono di affermare che la depressione è sicuramente posteriore alla messa in posto dell'Ignimbrite



Fig. 23 - Panoramica del Lago delle Corrè risalente al dicembre 1964 (da SCHERILLO et alii, 1966), a sinistra, ed al febbraio 2004, a destra.
-View of Corrè Lake in 1964 December (after SCHERILLO et alii, 1966), at left, and in 2004 February, at right.

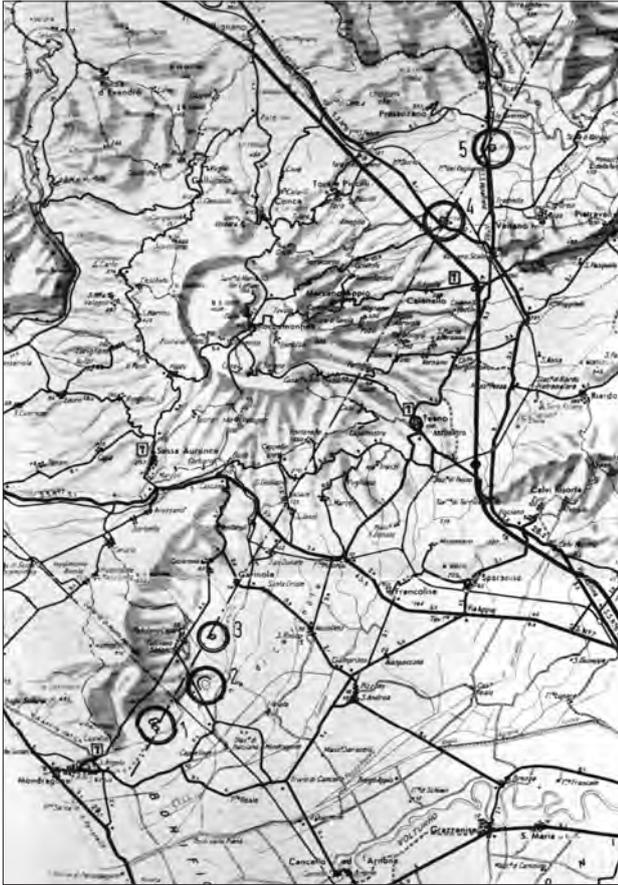


Fig. 24 - Mappa con l'allineamento lungo la direttrice del Monte Massico di tutti i sinkholes dei siti indagati redatta da SCHERILLO *et alii*, 1965. Legenda: 1) Fossa Barbata e Fossa del Ballerino; 2) Lago di Carinola (o Lago di Falciano); 3) Fossa Annunziata; 4) Lago di Corrè; 5) Lago di Vairano.
- Map with alignment of sinkholes along the regional lineation of Massico Mountain edited by SCHERILLO *et alii* in 1965. Legend: 1) sinkhole of Fossa Barbata and Fossa Ballerino; 2) sinkhole of Carinola Lake (or Falciano Lake); 3) sinkhole of Fossa Annunziata; 4) sinkhole of Corrè Lake; 5) sinkhole of Vairano Lake.

Campana (39.000 anni fa), ma sia molto probabilmente di epoca storica e quindi non compatibile con il vulcanismo del Roccamonfina le cui ultime manifestazioni risalirebbero a 53.000 anni fa.

Per quanto riguarda l'assetto stratigrafico dell'area in cui si sviluppa il *sinkhole*, l'esame di alcuni sondaggi effettuati nella zona (fig. 25) evidenzia la presenza di una articolata successione di depositi piroclastici e depositi alluvionali. Il pozzo più vicino all'area di interesse attraversa una sequenza di depositi piroclastici dello spessore di almeno 80 m. Lungo le pareti di circa 40 m di altezza è stato possibile effettuare alcune ricostruzioni stratigrafiche che a partire dall'alto comprendono:

- pochi dm di suolo vegetale che passano in profondità a pochi metri di depositi alluvionali recenti costituiti da limi, sabbie e piroclastiti rimaneggiate;
- cineriti grige fini stratoidi con gradazione inversa, che presentano verso l'alto un livello a consistenza tufacea fortemente pedogenizzato. Nel tufo sono evidenti lapilli, pomici molto vescicolate, cristalli di mica scura, analcime, K-feldspato e clinopirosseno; il deposito è probabilmente riconducibile alle fasi finali dell'eruzione della Ignimbrite Campana (39.000 anni dal presente; DE VIVO *et alii*, 2001);
- deposito in giacitura primaria da *pyroclastic surge* dello spessore complessivo di circa 12 m costituito da tufo a lapilli con matrice ricca in cristalli. Alla base è presente un livello ricco in frammenti litici disposti a struttura embriicata; verso l'alto accenno di laminazione incrociata, sono presenti rari blocchi lavici (lava a grossi cristalli di leucite) e pomici centimetriche;
- tufo cineritico a struttura massiva, di colore

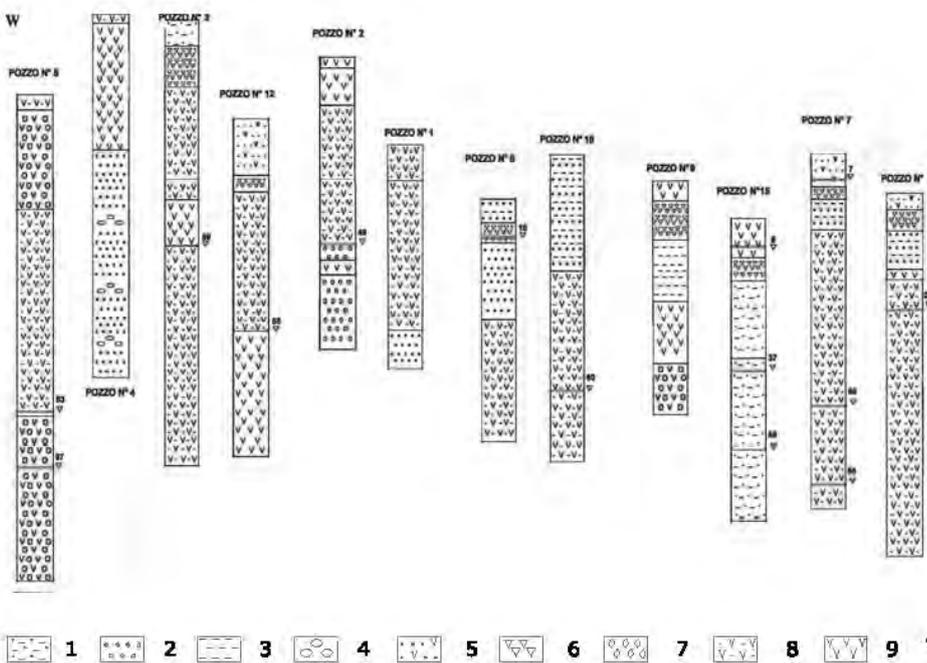


Fig. 25 - Stratigrafia di sondaggi eseguiti nella zona dei sinkholes di Corrè e Vairano. Legenda: 1) depositi fluvio-lacustri; 2) sabbie; 3) argille e limi; 4) ghiaie; 5) cineriti associate all'I.C.; 6) Ignimbrite Campana (I.C.); 7) lapilli; 8) tuffiti; 9) tufo; 10) profondità della falda dal p.c.

- Stratigraphy of boreholes drilled in Corrè and Vairano sinkholes areas. Legend: 1) lacustrine and alluvial deposits; 2) sands; 3) clays and muds; 4) gravels; 5) ashy I.C.; 6) Campanian Ignimbrite (I.C.); 7) lapilli; 8) tuffite; 9) tuff; 10) watertable depth.

ocraceo con grossi blocchi lavici in leucite. Lo spessore è di 15 m circa;

- sottile livello (spessore circa 15 cm) di limi biancastri attribuibili a livelli diatomitici lacustri o a una cinerite fine;
- deposito primario da *pyroclastic flow* dello spessore di circa 5 m costituito da tufo cineritico massivo ocraceo, fortemente pedogenizzato, con pomice centimetriche chiare molto alterate e blocchi litici angolari sia sedimentari che lavici.

Per quanto riguarda l'idrogeologia locale, la presenza di un lago perenne all'interno della depressione è legata alla presenza sul versante interno settentrionale della cavità di una piccola sorgente (con portata di 0,1 l/sec). I dati di letteratura (CELICO, 1979; 1983) indicano che il lago si ubica in un settore in cui tendono a mescolarsi le acque sotterranee dell'unità idrogeologica del Roccamonfina, provenienti da ovest, con quelle, proveniente da NE, del drenaggio preferenziale probabilmente corrispondente ad un paleoalveo del Fiume Volturno. Non si hanno dati sull'eventuale oscillazione della falda, i segni della vegetazione sui lati della depressione fanno apprezzare una variazione del livello della falda di pochi metri tra i periodi invernali e quelli estivi. È possibile supporre tuttavia che al di sotto della superficie lacustre siano presenti alcune falde sospese, e una falda in pressione al livello del *bedrock*. Le analisi dei parametri chimico fisici confermano che le acque del lago sono relative ad una circolazione superficiale. Indagini batimetriche hanno permesso di stabilire che il lago ha una profondità di 3 metri e presenta il fondo a forma concava (fig. 26).

Il lago di Vairano

Il lago di Vairano è ubicato nella piana alluvionale del Volturno a circa 3 km a sud est dall'abitato di Presenzano e a 3.5 km a nord ovest da Vairano Patenora. Esso ricade in un'area pianeggiante delimitata a SO dalle estreme propaggini orientali dell'edificio vulcanico del Roccamonfina e, a NO e SE, rispettivamente dai rilievi carbonatici delle dorsali di M.te S. Leonardo (894 m s.l.m.) e dall'allinea-

mento M.te S. Nicola (562 m s.l.m.), M.te Caievola (588 m s.l.m.), M.te S. Angelo (465 m s.l.m.).

Il lago di Vairano si sviluppa in un'area alluvionale corrispondente ad un paleoalveo del Fiume Volturno prima che esso venisse deviato lungo l'attuale percorso dalla costruzione e dall'apporto dei prodotti vulcanici dell'apparato del Roccamonfina.

Il lago è presente nella Carta della Diocesi di Teano, del 1635, inoltre a differenza del lago delle Corré viene riportato nella carta della Società Geografica Italiana del 1800 in scala 1:100.000.

Nella Carta Topografica del 1875 in scala 1:50.000, il lago ha una forma diversa rispetto a quella attuale: è più stretto in direzione EO e più sviluppato longitudinalmente (fig. 27, 28, 29).

La genesi del lago di Vairano viene spesso messa in relazione a quella del lago delle Corré poiché sono molto vicini. Gli Autori propongono due differenti origini: vulcanica come (SCHERILLO *et alii*, 1965; 1966, 1968), e da sprofondamento secondo GUSSONE & TENORE (1834), SCACCHI (1885), DEL PRETE *et alii*, (2004).



Fig. 27 – Dettaglio dell'area del Lago di Vairano dalla Carta Topografica in scala 1:50.000 redatta nel 1875 dall'Istituto Topografico Militare Italiano. - Detail of Vairano Lake area on Topographic Map at scale 1:50,000 edited in 1875 from Italian Army Topographic Institute.

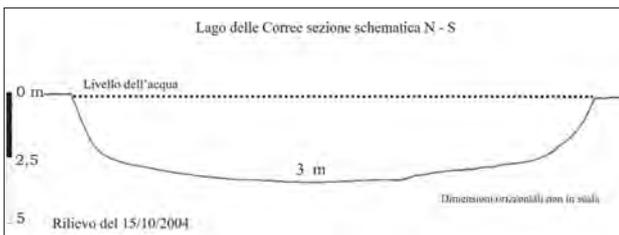


Fig. 26 - Profilo batimetrico del Lago delle Corré ricostruito mediante ecoscandaglio. - Bathymetric section of Corré Lake.



Fig. 28 - Panoramica da ortofoto del Lago di Vairano. - Orthophoto view of Vairano Lake.

I sostenitori dell'origine vulcanica proposero una genesi collegata alle fasi finali del vulcanismo del Roccamonfina ed al sistema di faglie regionali presenti nel settore, attraverso le quali masse calde sarebbero risalite riscaldando l'acqua della falda freatica e provocandone l'esplosione; altri Autori (in particolare DEL PRETE *et alii*, 2004) sulla scorta delle evidenze stratigrafiche (non ultima l'incongruenza tra l'età degli ultimi prodotti dell'attività del Roccamonfina e quella dei terreni più recenti coinvolti nello sprofondamento) propendono, invece, per una genesi da sprofondamento il cui meccanismo ancora non risulta completamente chiaro ma probabilmente da imputare a liquefazione dei livelli sabbioso-limosi nella coltre più superficiale del riempimento alluvionale.

Il lago si presenta come una depressione di forma sub-rettangolare avente il diametro maggiore di circa 200 m ed impostata nei depositi ghiaioso-sabbiosi della piana alluvionale. La morfologia del fondo è stata indagata con l'ecoscandaglio, che ha permesso di stimare una profondità



Fig. 29 - Immagine storica del dicembre 1964 del Lago di Vairano (da SCHERRILLO *et alii*, 1965).
- *Vairano Lake in 1964 December (after SCHERRILLO et alii, 1965).*

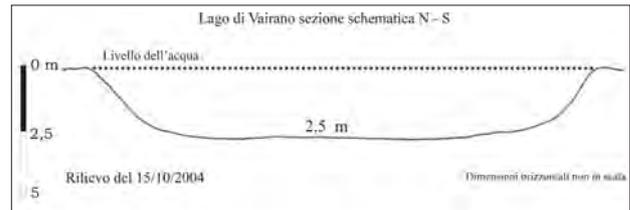


Fig. 30 - Profilo batimetrico del Lago di Vairano ricostruito mediante ecoscandaglio.
- *Bathymetric section of Vairano Lake.*

massima di 2,5 m (fig. 30). Le pareti sono verticali, ed il profilo del fondo è tipicamente concavo.

Le sponde e il letto del lago risultano in parte rimodellate da interventi antropici che lo hanno parzialmente bonificato mediante rinterro e piantumazione di pioppi. Il dislivello tra piana alluvionale circostante la depressione ed il livello del lago è di circa 5 m, la falda è affiorante e viene drenata da un canale artificiale di bonifica.

La depressione è impostata su alluvioni, ghiaie calcaree alternate a piroclastiti rimaneggiate provenienti dalla zona circumvulcanica del Roccamonfina. I sondaggi presenti nell'area, spinti fino ad una profondità massima di 40 m, hanno attraversato una articolata successione di depositi sabbioso-limosi e ghiaiosi di origine alluvionale, depositi piroclastici sciolti e paleosuoli.

Dal punto di vista idrogeologico la presenza di un lago perenne all'interno della depressione testimonia dell'affioramento della falda che si livella ad una quota assoluta di circa 129 m s.l.m.

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei due laghi sono riportate in tabella 3. I valori del pH sono risultati medi, mentre quelli della conducibilità sono riferibili ad una circolazione sotterranea poco profonda.

L'assetto idrogeologico del settore di piana in cui ricade il lago è alquanto complesso per l'interferenza delle acque di deflusso sotterraneo dei versanti orientali del vulcano del Roccamonfina e della struttura carbonatica del M.te Maggiore, con l'acquifero della piana alluvionale (CELICO, 1983). Più precisamente, questo settore di piana coincide

Tab. 3 – *Caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei laghi di Corrèe e Vairano.*
- *Chemical and physical characteristics of Corrèe and Vairano lakes.*

Toponimo	pH	cH	Cond. $\mu\sigma/cm$	T °C	Li mg/l	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	F mg/l	Br mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l
Lago di Corrèe	6,72	202	195	17	9,21	9,99	1,0	17,7	10,2	0,31	2,08	0	0,8/50
Lago di Vairano	6,88	218	268	18	15,2	4,9	9,36	35,8	13,3	4,81	0,5	0	1,52/50

con una zona di drenaggio sotterraneo preferenziale proveniente dal Fiume Volturno e che corrisponde probabilmente ad un suo paleoalveo. Tra il lago di Vairano e di Corrè questa zona di deflusso viene intercettata da ovest dalle acque del settore orientale dell'unità idrogeologica del Roccamonfina e, piegando verso est, prosegue il suo deflusso preferenziale attraverso la struttura carbonatica del M.te Maggiore, a sud di Riardo, per poi confluire nell'alveo del Fiume Savone, verso SO, all'altezza di Francolise (CELICO, 1983).

Aia Spaccata

Nell'area della media valle del Volturno si segnala una paleoforma sub-circolare, individuata attraverso lo studio delle foto aeree, ben visibile sulla cartografia IGM del 1954. Questa depressione è localizzata 2 km a NO del lago delle Corrè ed è caratterizzata da un diametro di circa 250 m con un dislivello tra il piano campagna e il fondo di soli pochi metri ed è priva di laghetti o di altre emergenze di acqua.

La morfologia appena accennata sembra essere antica, molto rimodellata ed ormai in via di estinzione.

L'età ed il meccanismo genetico di questa depressione non sono stati ancora accertati sebbene la morfologia fosse già evidente nel 1875.

Per quanto riguarda i terreni coinvolti nell'area dell'Aia Spaccata, affiorano depositi piroclastici del Pleistocene superiore e sulla scorta dei dati geognostici acquisiti, il substrato carbonatico si ritrova sicuramente ad oltre 100 m di profondità. Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico locale, non si hanno dati precisi sulla profondità della falda, sebbene da dati di letteratura essa dovrebbe essere presente pochi metri al di sotto del piano campagna.

2.6.4. - L'Agro Falerno

L'Agro Falerno, noto sin dall'epoca romana per i vigneti e la produzione del vino, coincide con l'area di piana che si estende tra gli abitati di Mondragone e Carinola alle pendici sud-orientali del rilievo carbonatico del M.te Massico.

Lungo un settore esteso per 5 km e che delimita la fascia pedemontana del massiccio, sono presenti alcune depressioni sub-circolari oggi asciutte e riconducibili a *sinkhole*, quali: le Fosse Barbata, del Ballerino, dell'Annunziata e della Torre, e il piccolo lago di Falciano del Massico o di Carinola. Altri *sinkholes* (almeno 2) interessano i calcari del M.te Massico.

In quest'area (figg. 31, 32) pianeggiante affiora estesamente la formazione piroclastica dell'Ignimbrite Campana (età: 39.000 anni dal

presente; DE VIVO *et alii*, 2001) che si presenta, generalmente, in una facies poco coerente (detta Cinerazzo; DI GIROLAMO, 1968). Localmente, verso le pendici di M.te Massico ed in corrispondenza dello sbocco di alcuni impluvi, si rinvengono sovrapposti al tufo lembi di ghiaie calcaree di conoide.

I *sinkholes* si allineano lungo una fascia che si sviluppa per circa 6 km in direzione SO-NE (fig. 24) in corrispondenza dell'importante lineamento strutturale a carattere regionale, orientato N 40°, che delimita il versante sud orientale di M.te Massico ed il limite nord occidentale del *graben* della Piana Campana. Tutte le depressioni rilevate si impostano nei depositi dell'Ignimbrite Campana, sempre ben affiorante lungo le pareti delle depressioni. Il fondo attualmente è, in genere, piatto e sede di attività agricole. Nei paragrafi seguenti descriveremo le singole depressioni da nord verso sud.

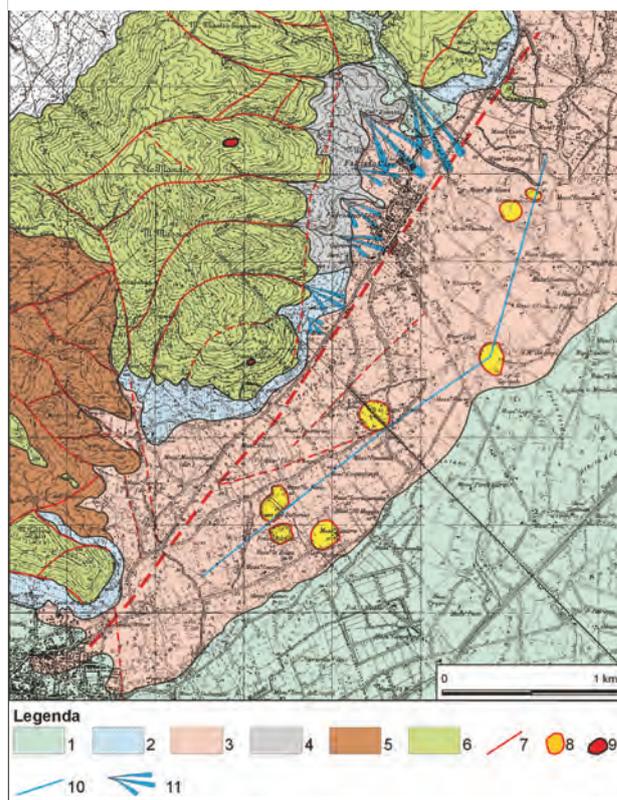


Fig. 31- Schema geologico dell'area delle Fosse Falerne alla base del Monte Massico. Legenda: 1) alluvioni attuali del Fiume Volturno (Olocene); 2) detrito di versante (Pleistocene sup.-Olocene); 3) ignimbrite Campana (Pleistocene sup.); 4) ghiaie e conglomerati di conoidi antiche (Pleistocene); 5) Flysch miocenici; 6) Calcari mesozoico terziari; 7) Faglia principale; 8) *Sinkhole*; 9) *Sinkhole* su versante carbonatico; 10) Traccia di sezione; 11) conoide.

- Geological map of Fosse Falerne at the foot of Massico Mount. Legend: 1) alluvial deposits of Volturno River (Holocene); 2) slope deposits (upper Pleistocene-Holocene); 3) Campanian Ignimbrite (upper Pleistocene); 4) gravel of ancient fan (Pleistocene); 5) miocenian flysch; 6) Mesozoic limestones; 7) fault; 8) *sinkhole*; 9) *sinkhole* on carbonatic slope; 10) cross section; 11) fan.

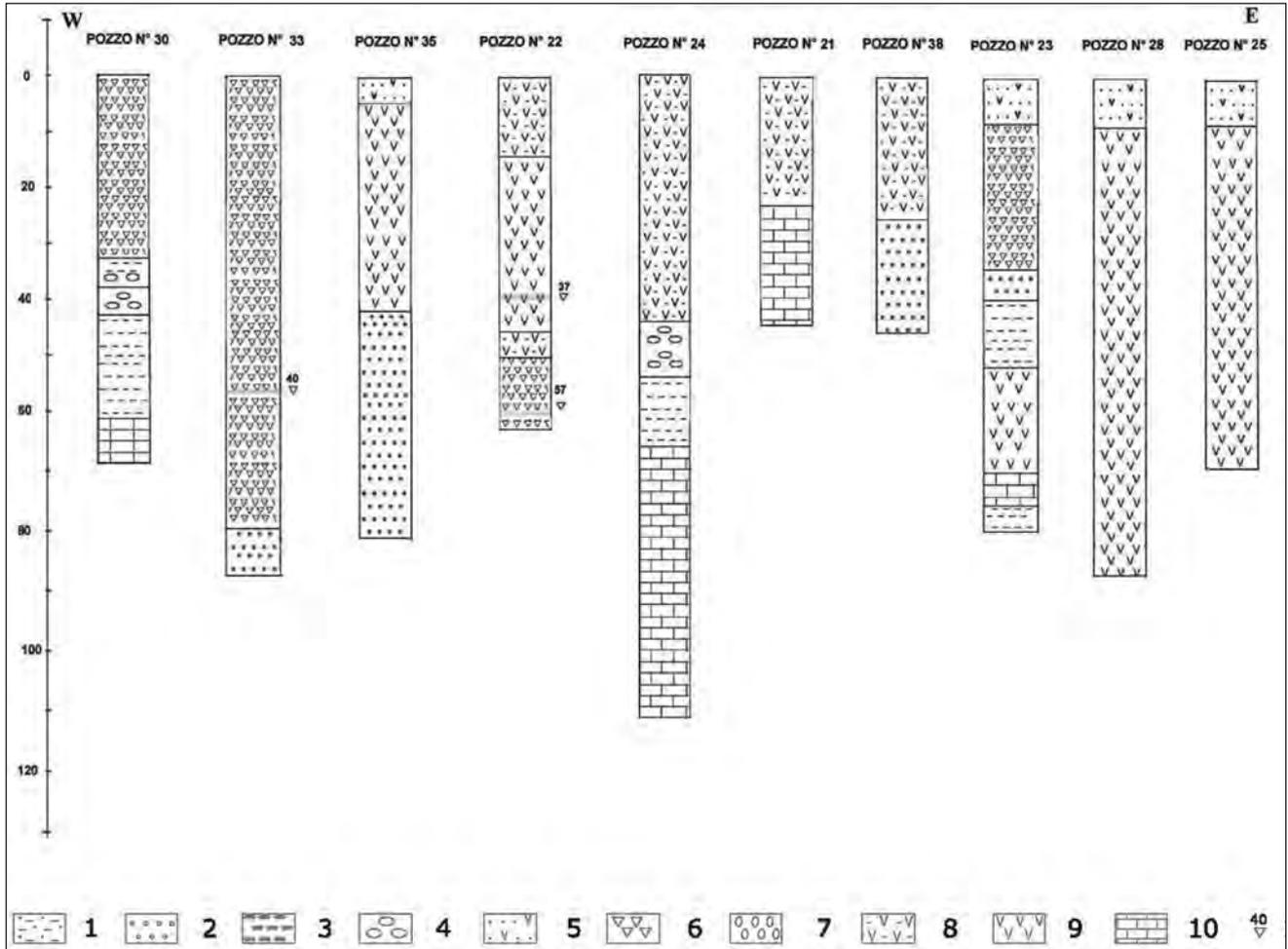


Fig. 32 - Stratigrafie dei pozzi nell'area dell'Agro Falerno. Legenda: 1) depositi fluvio-lacustri; 2) sabbie; 3) argille e limi; 4) ghiaie; 5) cineriti associate all'I.C.; 6) ignimbrite Campana (I.C.); 7) lapilli; 8) tuffiti; 9) tufo; 10) calcari; 11) profondità della falda dal p.c.
 - Stratigraphy of boreholes drilled Agro Falerno area. Legend: 1) lacustrine and alluvial deposits; 2) sands; 3) clays and muds; 4) gravels; 5) ash I.C.; 6) campanian ignimbrite (I.C.); lapilli; 8) tuffite; 9) tuff; 10) limestone; 11) watertable depth.

Il Lago di Carinola o Lago di Falciano del Massico

Il lago di Falciano del Massico o di Carinola, è localizzato a poco più di 1,5 km a SE dell'abitato di Falciano ed a circa 2 km dalle pendici del rilievo carbonatico di M.te Massico.

Lo specchio d'acqua (fig. 33) ha un'estensione di circa 93.000 m² e la sua originaria forma sub-circolare oggi risulta alterata a seguito delle opere di regimentazione idraulica, risalenti all'epoca

Borbonica. Per evitare il ristagno delle acque, infatti, furono realizzati un canale immissario, mediante la deviazione del Rio Fontanelle, ed uno emissario (Rio Forma).

ZANNINI (2001), con riferimento allo scrittore latino-cristiano Paolo Orosio che nel 417 d.C. riporta di un'eruzione avvenuta nel 276 a.C. nella zona di Cales (forse l'odierna Carinola), sostiene che la traduzione fedele dal testo originale pone dubbi sull'ubicazione esatta del luogo escludendo



Fig. 33 - Panoramica del Lago di Carinola.
- View of Carinola Lake.



Fig. 34 - Dettaglio dell'area del Lago di Carinola o di Falciano della Carta Topografica in scala 1:50.000 redatta nel 1875 dall'Istituto Topografico Militare Italiano.

- Detail of Carinola (or Falciano) Lake area on Topographic Map at scale 1:50,000 edited in 1875 from Italian Army Topographic Institute.



Fig. 35 - Dettaglio del fotogramma 2579 del volo Italia dell'IGM del 1954 con il lago di Falciano come si presentava all'epoca.

- Detail of aerial photo n. 2579 edited in 1954 from Italian Army Geographic Institute with location of Falciano Lake.

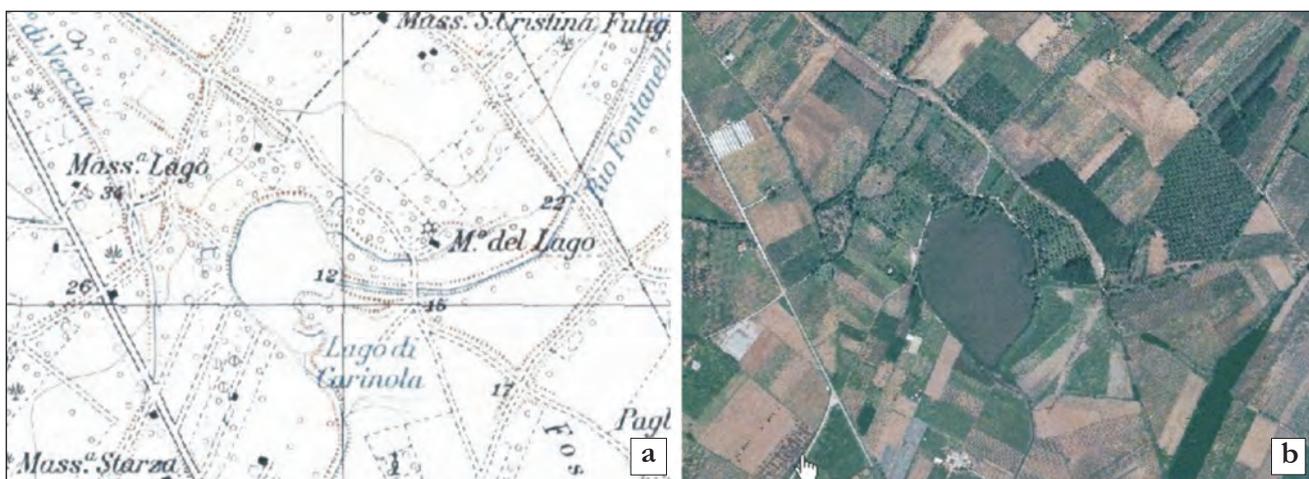


Fig. 36 - Stralcio topografico dalla cartografia in scala 1:25,000 con l'ubicazione del Lago di Falciano o di Carinola (a); vista del lago da ortofoto a colori (b).

- Clip from topographic map at scale 1:25,000 with location of Falciano or Carinola Lake (a); view from orthophoto (b).

che si possa far riferimento ad esso per la genesi del lago. ZANNINI (2001), inoltre, riferisce che da ricerche nel Grande Archivio di Napoli ci sono sei volumi dal titolo "Regii Neapolitani Archivi Monumenta" in cui si parla di un "lago di Sancte Christine" nel territorio di Carinola presumibilmente risalente al 1105.

L'assenza di informazioni sul lago negli scritti di epoca romana ed in un'area a loro particolarmente pregiata per la qualità dei vini prodotti, fa ipotizzare una sua assenza in questo periodo.

L'analisi della cartografia storica mostra che su due carte della Provincia di Terra di Lavoro, risalenti, la prima al 1613 ad opera del Cartaro e la seconda al 1616 ad opera di Baratta e Fontana, il lago viene riportato solo nella seconda, nonostante il dettaglio con cui è stata realizzata la prima fosse maggiore.

La fonte storica più recente è la Carta topografica dell'Istituto Topografico Militare del 1875 che mostra il lago con una forma diversa e una estensione maggiore, (figg. 34, 35, 36) il confronto della morfologia del lago con quello riportato nelle cartografie più recenti, evidenzia chiaramente il fenomeno di interrimento provocato dal carico solido del Rio Fontanelle suo immissario.

Si può affermare sicuramente, quindi, che il lago si è formato prima del 1616, ma non si hanno dati storici certi sulla sua età.

Per quanto riguarda l'assetto geologico (fig. 37), i dati di alcuni sondaggi ed alcuni affioramenti hanno permesso di accertare nella zona del lago la presenza di depositi piroclastici sciolti e rimaneggiati con spessore variabile da pochi metri a 10-20 m, costituiti da sabbie con scorie e pomici diffuse o in sottili livelli che, verso la base del M.te Massico, si alternano a lenti di detrito calca-

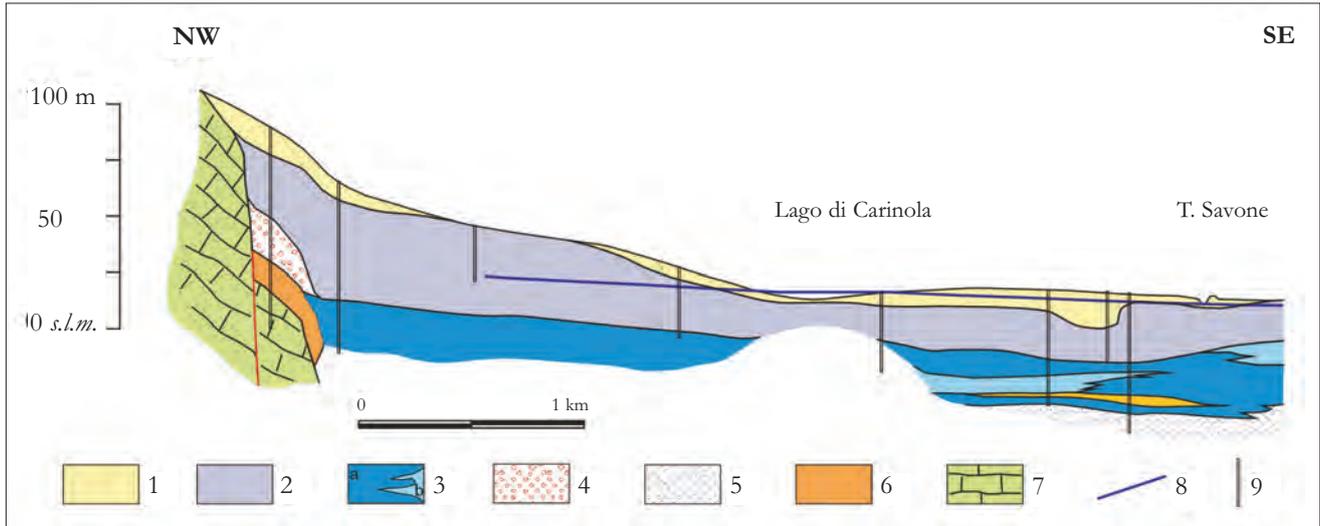


Fig. 3 - Sezione geologica dell'area del Lago di Carinola. Legenda: 1) piroclastiti sciolte talora rimaneggiate ed argillificate sovente associate, alla base dei rilievi carbonatici, a lenti di detrito calcareo; 2) ignimbrite Campana costituita da cineriti grigio nerastre con pomici e scorie diffuse. Verso l'alto è più frequente la facies incoerente (Cinerazzo); 3) depositi alluvionali e marini antichi con granulometria sabbioso limosa e argillosa (a) o prevalentemente sabbiosa (b); 4) brecce antiche di versante; 5) travertino; 6) depositi marnoso-arenaceo-argillosi (flysch miocenici); 7) calcari e calcari dolomitici di piattaforma mesozoici; 8) livello della falda riferita al periodo giugno luglio 2006; 9) sondaggio.

- Geological cross section of Carinola Lake area. Legend: 1) pyroclastic deposits locally clayeyed with lens of slope detritus at the foot of carbonatic massif; 2) Campanian Ignimbrite: black and grey ash with pumice and scoriae. At the top is frequent the incoherent facies (Cinerazzo); 3) sandy clayey (a) or sandy (b) marine and alluvial Pleistocene deposits; 4) breccias; 5) travertine; 6) miocenic flysch; 7) mesozoic limestones; 8) watertable in 2006 June-July; 9) borehole.

reo di versante e/o a depositi di conoide. Segue la formazione tufacea dell'Ignimbrite Campana, che si presenta sia nella facies incoerente che in quella litoide. Ad una profondità compresa tra 30 e 40 m, al tufo soggiacciono depositi alluvionali e marini a granulometria limo-argillosa o sabbiosa.

Per quanto riguarda la genesi del lago, SCHERILLO *et alii*, (1965, 1968) avanzano, seppur con riserva, l'ipotesi che si tratti di un *maar*, ovvero, analogamente alle altre depressioni limitrofe, a un "cratere" di esplosione puramente gassosa in cui non si è avuta, o quasi, alcuna emissione di prodotti, e per questo con morfologie prive di argini sopralevati.

Anche ZANNINI (2001) propone per il lago di Falciano una analoga origine; diversamente, lavori recenti (DEL PRETE *et alii*, 2004) interpretano il lago e le Fosse Falerne come fenomeni di sprofondamento in materiali fini (piroclastiti ed alluvioni).

Dal punto di vista idrogeologico, il lago rappresenta l'affioramento della falda, che viene ali-

mentata dall'acquifero del Roccamonfina (CELICO, 1983). La profondità massima è di 6,5 m, la morfologia della depressione, ricostruita con l'ecoscandaglio, è sub-cilindrica con profondità alle sponde di 3,5 m. Nelle vicinanze delle sponde sono segnalate due sorgenti oggi estinte. La presenza di una fitta vegetazione e l'apporto solido del suo immissario che ha creato un piccolo delta, ha ridotto la sua superficie originaria.

In tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque.

La Fossa Annunziata e la Valla

A nord est del Lago di Carinola ed a meno di 1 km ad est dell'abitato di Falciano Sèlice, si individuano altre due depressioni sub circolari (figg. 38, 39): la Fossa Annunziata, ubicata 1,8 km a nord est del lago di Carinola e quella de "La Valla" ubicata poco più a sud ovest. Sulla carta topografica al 100.000 il toponimo "Fossa Annunziata" non compare, mentre è presente il toponimo La Valla; è probabile che i due toponimi siano stati

Tab. 4 – Caratteristiche chimico fisiche delle acque del Lago di Falciano.
- Chemical and physical characteristics of Falciano lake.

Toponimo	pH	Cond μS/cm	T °C	bicarb	Na mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Ca mg/l	F mg/l	Cl mg/l	Br mg/l	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l
Lago di Corrèe	6,79	270	15,3	183	16,8	10,7	5,5	28,5	0	15,2	0,05	5,83	2,9

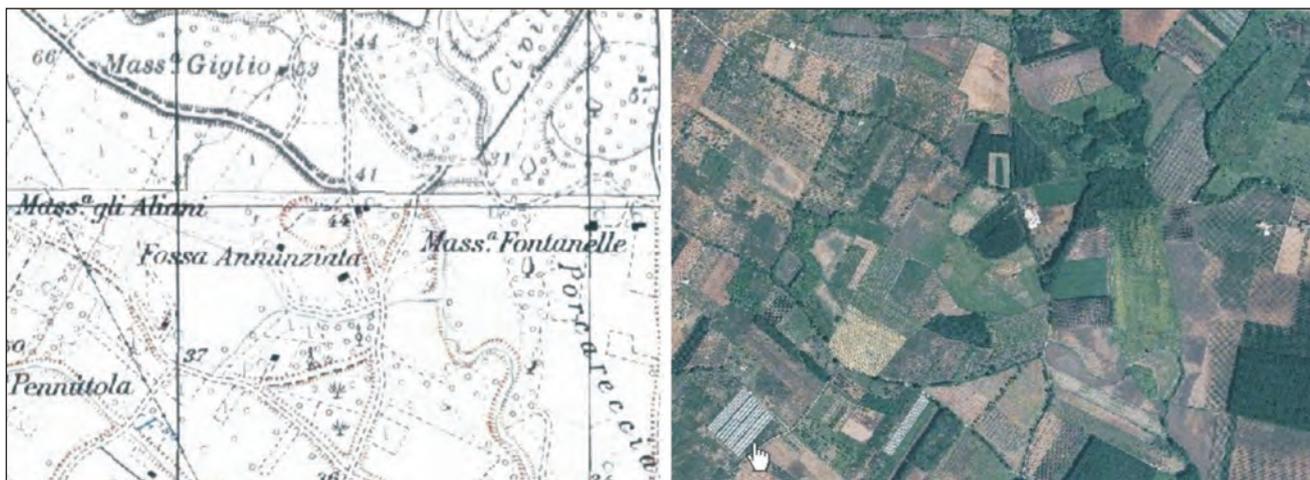


Fig. 38 - Ubicazione delle Fosse Annunziata e La Valla in topografia e ortofoto. La più blanda depressione de La Valla non ha una morfologia evidente come quella della Fossa Annunziata, rispetto alla quale è ubicata a sud ovest in corrispondenza della quota 37m.
 - Location of Fossa Annunziata and La Valla sinkhole on topographic map and orthophoto. The bland morphology of La Valla sinkhole is not evident on topographic map. It is located south west of Fossa Annunziata.



Fig. 39 - Panoramica della Fossa Annunziata.
 - View of Fossa Annunziata sinkhole.

spesso confusi anche se costituiscono sicuramente due distinte depressioni.

Quest'ultima si presenta come una debole concavità della superficie topografica con un dislivello di soli pochi metri rispetto alla quota media del piano campagna circostante. La sua morfologia fa pensare ad una forma ormai relitta nella quale sono riconoscibili due piccole pareti al contorno, ed altre completamente spianate dall'attività antropica. La depressione è stata riconosciuta anche da SCHERILLO *et alii* (1965, 1968), i quali la interpretano come per una morfologia derivata da "uno spazio rimasto libero tra i lobi terminali di due colate piroclastiche contigue".

Secondo l'interpretazione data da SCHERILLO (1965) in uno scritto dello storico latino Paolo Orosio, la Fossa Annunziata sarebbe un cratere generato da un'eruzione "gassosa" avvenuta nel 276 a.C. ed associata all'ultima manifestazione vulcanica del Roccamonfina.

La presenza sull'orlo settentrionale della depressione dei resti di un'antica villa romana e di antiche sepolture portate alla luce durante alcuni scavi, che hanno indotto a ritenere la fossa come una possibile arena o anfiteatro a servizio della villa, farebbero presupporre che la depressione risalirebbe almeno al periodo romano.

Per quanto riguarda i terreni coinvolti, entrambi i *sinkholes* interessano i depositi dell'Ignimbrite Campana; essi, inoltre, sono circondati da una fitta vegetazione, e la loro morfologia interna è stata in parte obliterata dalla intensa attività agricola (fig. 38).

La Fossa Annunziata ha una profondità di circa 8 m e forma sub-ellittica con asse maggiore della lunghezza di 150 m, orientato NO-SE, ed asse minore di 100 m di lunghezza. Nel suo settore più settentrionale si rileva una netta scarpata rettilinea con direzione N 40° che disloca il fondo della depressione con un rigetto di circa 1 m. Non

è chiaro se si tratta di fagliazioni recenti o di un fenomeno gravitativo limitato solo al *sinkhole*.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico locale le curve isopiezometriche della figura 2 evidenziano la presenza della falda a pochi metri dal piano campagna e attualmente alcuni pozzi presenti al bordo della depressione emungono acqua a circa 12 m di profondità.

Fossa Barbata, Fossa del Ballerino e Fossa della Torre

Lungo una ristretta fascia che si sviluppa ai piedi del versante del M.te Massico in direzione NE-SO per una lunghezza di circa 6 km, sono chiaramente riconoscibili le depressioni della Fossa Barbata e del Ballerino, una morfologia relitta detta Fossa della Torre e quella, rimodellata antropicamente, di Campoli posta allo sbocco

della galleria ferroviaria del Massico. Tutte queste depressioni coinvolgono e si impostano nei depositi dell'Ignimbrite Campana (fig. 40) ben affiorante lungo le pareti delle Fosse soprattutto nella sua *facies* poco coerente nota come Cinerazzo (DI GIROLAMO, 1968). Il fondo è, in genere, colmato o rimodellato per lasciar posto a coltivazioni irrigue, mentre la morfologia a loro contorno evidenzia una debole pendenza centripeta presumibilmente dovuta ad un effetto di richiamo degli sprofondamenti stessi.

Esse sono riportate nella Cartografia dell'Istituto Topografico Militare del 1875 dove però, rispetto alla cartografia IGM del 1954, la Fossa del Ballerino viene indicata come Fossa Barbata, mentre la Fossa Barbata viene indicata come Fossa del Parco (fig. 41).

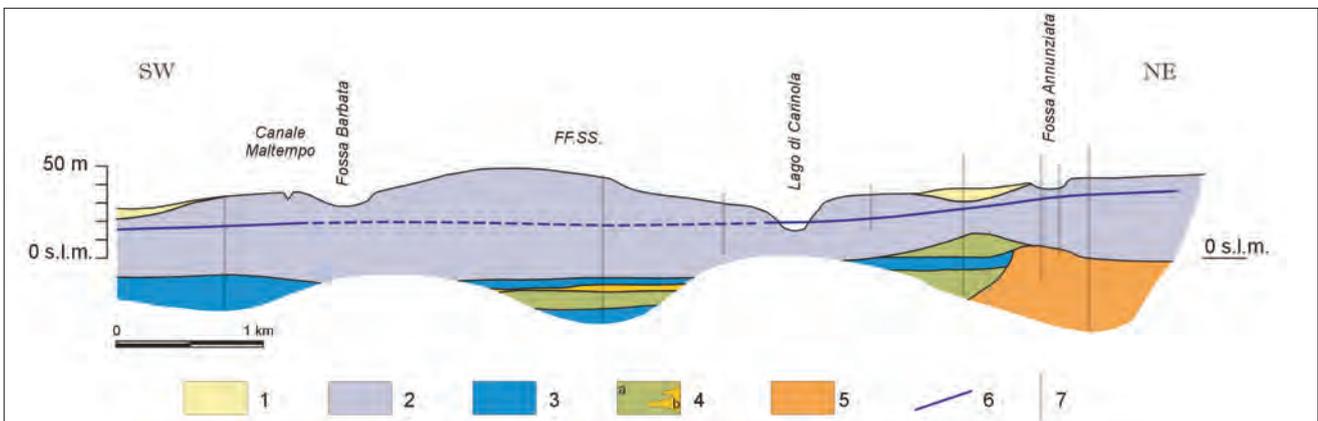


Fig. 40 - Sezione geologica dell'area di Fossa Barbata, Lago di Carinola e Fossa Annunziata. Legenda: 1) piroclastiti sciolte talora rimaneggiate ed argillificate sovente associate, alla base dei rilievi carbonatici, a lenti di detrito calcareo; 2) ignimbrite Campana costituita da cineriti grigio nerastre con pomice e scorie diffuse. Verso l'alto è più frequente la *facies* incoerente (Cinerazzo); 3) depositi alluvionali e marini antichi con granulometria sabbioso limosa e argillosa; 4) depositi piroclastici incoerenti antichi con granulometria siltoso-sabbiosa o sabbioso-ghiaiosa (a); tuffi antichi (b); 5) depositi marnoso-arenaceo-argillosi (flysch miocenici); 6) livello della falda riferita al periodo giugno luglio 2006; 7) sondaggio.

- Geological cross section of Barbata Sinkhole, Carinola Lake, Annunziata Sinkhole area. Legend: 1) pyroclastic deposits locally clayey with lens of slope detritus at the foot of carbonatic massif; 2) Campanian Ignimbrite: black and grey ash with pumice and scoriae. At the top is frequent the incoherent *facies* (Cinerazzo); 3) sandy clayey marine and alluvial Pleistocene deposits; 4) silt-sandy or sandy-gravel incoherent pyroclastic deposits (a); tuff (b); 5) miocene flysch; 6) watertable in 2006 June-July; 7) borehole.



Fig. 41 - Dettaglio della Carta Topografica dell'Istituto Topografico-Militare Italiano del 1875 in scala 1:50.000 e dettaglio del Fotogramma 2579 del volo aereo Italia dell'IGM del 1954 in cui sono riportate le ubicazioni dei *sinkholes* di Fossa Barbata, del Ballerino e della Torre.

- Detail of Fossa Barbata, Fossa del Ballerino and Fossa della Torre sinkholes on Topographic Map at scale 1:50,000 edited in 1875 from Italian Army Topographic Institute and on aerial photo n. 2579 edited in 1954 from Italian Army Geographic Institute with location of Falciano Lake.

La Fossa del Ballerino (figg. 41, 42) è una depressione policiclica con una tipica forma “a otto” con asse maggiore, orientato NE-SO, di 375 m e asse minore di 225 m. La sua morfologia può essere interpretata come risultato della coalescenza di due distinti *sinkholes* che si compenetrano parzialmente. Il fondo della Fossa è a 29 m s.l.m., sulla carta del 1875 è a 28 m per una profondità di circa 14 m rispetto al ciglio la cui area a contorno presenta una lieve pendenza di richiamo per una fascia di almeno 100 m.

Lungo i bordi della depressione sono ben affioranti i depositi piroclastici della formazione dell'Ignimbrite Campana che si presentano in

facies poco coerente (Cinerazzo), e facilmente erodibile (fig. 43). Ad ulteriore conferma di un policiclicità del *sinkhole*, lungo le pareti si sono ben evidenti alcune superfici terrazzate ancora immergenti verso il centro della depressione con inclinazione dell'ordine dei 10-15°.

La Fossa Barbata (figg. 44, 45) è ubicata immediatamente a sud di quella del Ballerino e, dal confronto con la cartografia del 1875 prima citata (dove viene riportata col toponimo di Fossa del Parco), la quota del fondo attuale (23 m s.l.m.) risulta di 4 m più bassa rispetto alla quota riportata sulla carta del 1875 (27 m s.l.m.).

Ha una forma sub-circolare con un diametro



Fig. 42 - Ubicazione delle Fosse Barbata e del Ballerino da stralcio topografico e da ortofoto a colori; a destra è visibile una terza cavità quasi obliterata, la Fossa della Torre.
- Location of Fossa Barbata and Fossa del Ballerino sinkhole on topographic map and orthophoto; on right is partially visible a third sinkhole of Fossa della Torre.



Fig. 43 - Panoramica della Fossa del Ballerino.
- View of Fossa del Ballerino sinkhole.



Fig. 44 - Panoramica della Fossa Barbata.
- View of Fossa Barbata sinkhole.



Fig. 45 - Panoramica della Fossa Barbata risalente al 1965 (da SCHERILLO *et alii*, 1965). - View of Fossa Barbata sinkhole in 1965 (from SCHERILLO *et alii*, 1965).

di circa 200 m ed un dislivello rispetto al piano campagna circostante di 22 m. Anche in questo caso, lungo le sue scarpate interne sono ben visibili in affioramento i depositi della formazione dell'Ignimbrite Campana e lungo il suo bordo meridionale sono ancora preservati, sebbene rimodellati dall'azione antropica, tre lembi di superfici terrazzate da collasso delimitate da scarpate sub-verticali di 4-5 m di altezza.

Il fondo della Fossa del Ballerino è occupato da depositi lacustri indicatori di un ristagno d'acqua che nella limitrofa Fossa Barbata, invece, era ancora presente (fig. 45) fino ad almeno il 1965.

Ad est della Fossa Barbata è presente la Fossa della Torre (fig. 46), subito a NE della Torre del Ballerino. La morfologia, ancora visibile da foto-interpretazione, è stata quasi completamente obliterata dall'attività antropica. Sul terreno sono rilevabili solo alcune pareti relitte del suo bordo orientale, mentre il suo lato occidentale, rimodellato artificialmente, si raccorda più dolcemente con la piana circostante.

Un'altra depressione dubitativamente riconducibile allo stesso meccanismo genetico delle altre fosse, è presente in località Campoli allo sbocco della galleria ferroviaria del M.te Massico (fig. 47). La sua forma risulta evidentemente rimodellata da attività antropiche e presenta un asse maggiore di circa 250 m allungato in direzione NO-SE. Il bordo sud occidentale è delimitato da una scarpata nella facies incoerente dell'Ignimbrite Campana di circa 10 m mentre sul bordo opposto essa si raccorda più dolcemente con la piana circostante.

La stratigrafia dell'area desunta dalla consultazione di alcuni sondaggi eseguiti nei dintorni delle Fosse, vede la presenza di Ignimbrite Campana fino ad una profondità di 60 m cui segue un livello di travertino, non sempre presente, alcuni metri

di ghiaie calcaree ed, infine, depositi sabbiosi di origine marina almeno fino ad 80 m dal piano campagna. A monte delle Fosse, verso le pendici del Massico, il tufo tende ad assottigliarsi ed alla sua base i livelli ghiaiosi, derivati anche da apporti fluvio-torrentizi, diventano più potenti.

Dal punto di vista idrogeologico locale, fonti del luogo riportano che oggi la falda è captata a circa 35 m di profondità cioè ad una quota di pochi m s.l.m. Negli anni '60 la documentazione fotografica esistente (SCHERILLO *et alii*, 1965) evidenziava la presenza di un modesto specchio d'acqua temporaneo sul fondo della Fossa Barbata legato alla falda sub affiorante (29 m s.l.m.) la quale ha subito un progressivo abbassamento nel tempo localizzandosi ad una quota variabile tra i 15 e i 20 m s.l.m. (BUDETTA *et alii*, 1994b).

Più in generale, la circolazione idrica sotterranea di questo settore della Piana del Volturno avviene tipicamente per falde sovrapposte (CELICO, 1983). L'andamento delle curve isopiezometriche dell'area evidenzia che la falda viene



Fig. 46 - Panoramica della blanda depressione della Fossa della Torre. La morfologia attuale è stata quasi completamente obliterata dall'azione antropica. - View of bland depression of Fossa della Torre sinkhole. The actual morphology is modified from anthropic activities.

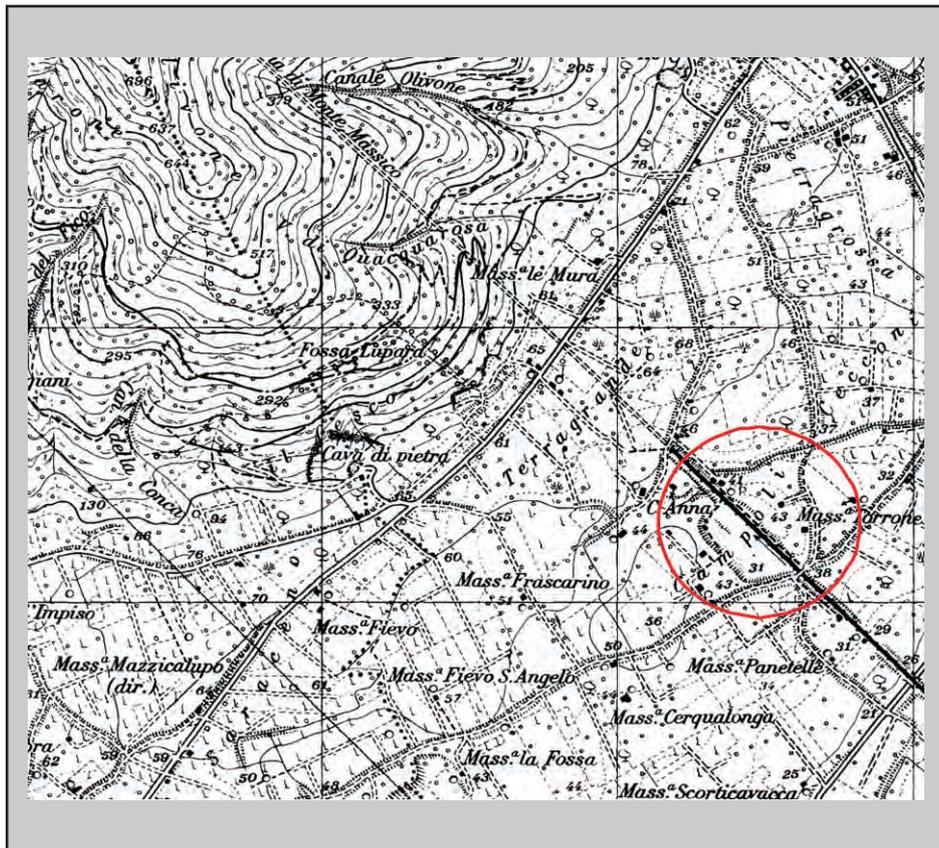


Fig. 47 - Stralcio topografico con l'ubicazione della depressione di Campoli allo sbocco della galleria ferroviaria di Monte Massico.

- Clip of topographic map with location of Campoli depression near the railway gallery of Mount Massico.

drenata preferenzialmente dalla rete dei canali di bonifica del Fiume Savone. Scarse sono le alimentazioni dal massiccio del M.te Massico che, tamponato in profondità dai flysch sottostanti la copertura dei depositi quaternari, trova recapito preferenziale verso nord nella piana del Garigliano. Da est, inoltre, la falda riceve alimentazione dal Roccamonfina e dal blocco carbonatico di Pignataro maggiore e di Francolise.

A sud ovest di M.te Massico in località Incaldana a Mondragone, sono presenti due sorgenti sulfuree ricche in CO_2 e con temperature $>50^\circ C$, il profilo chimico delle acque denota l'influenza del substrato calcareo ma anche dei terreni marnoso arenacei in trasgressione sul substrato carbonatico (CORNIELLO, 1988). Oltre ad una possibile influenza di acque marine, il livello termico delle acque ed il carattere inorganico della CO_2 disciolta costituiscono prove a favore di apporti endogeni risalenti lungo i sistemi di faglia bordieri del M.te Massico (CORNIELLO, 1988) in corrispondenza dei quali si allineano anche le Fosse Falerne.

2.6.5. - Analisi e considerazioni

La media e bassa valle del Fiume Volturno presenta una elevata varietà di fenomeni di sprofonda-

damento, associati a contesti geologici differenti e a differenti dinamiche genetica evolutive.

Gli sprofondamenti presenti nella valle del F. Lete, tributario del F. Volturno, sono riconducibili a *collapse sinkhole* in calcari e *cover piping sinkhole* in depositi alluvionali limo sabbiosi. Questi ultimi, in particolare, presentano dimensioni modeste, con diametro dell'ordine della decina di metri e profondità di pochi metri, e per tale motivo sono stati oggetto di interventi di riempimento e, quindi, poco studiati.

Dei *sinkholes* individuati nel territorio di Raviscanina, tre si sono sviluppati lungo la fascia pedemontana, che raccorda i rilievi del Matese alla piana del F. Volturno.

Per questi fenomeni non risulta ancora possibile stabilire una data di attivazione, sia pure approssimativa. Il sottosuolo dell'area è caratterizzato dalla presenza di spessori rilevanti (> 120 m) di detrito di falda, a tetto del substrato carbonatico. Altri elementi emersi chiaramente sono l'allineamento degli sprofondamenti in corrispondenza di una faglia e l'assenza di circolazione idrica basale in pressione.

Il quarto *sinkhole* individuato presenta caratteristiche peculiari, in quanto si è formato nella successione arenaceo-siltosa, e non sono emersi ele-

menti sufficienti a formulare un modello genetico.

Relativamente agli sprofondamenti riconosciuti e analizzati nel territorio di Vairano e dell'Agro Falerno, l'analisi dei dati raccolti e delle indagini svolte consente di avanzare alcune considerazioni sulla loro genesi.

La maggior parte delle depressioni taglia i depositi dell'Ignimbrite Campana, risalente a 39.000 anni dal presente, e in molti casi depositi fluvio-lacustri di probabile età olocenica; questo elemento e l'assenza di evidenze morfologiche e di depositi vulcanici riferibili ad attività di centri eruttivi, porta ad escludere una origine connessa alla attività vulcanica del Roccamonfina, le cui ultime manifestazioni risalgono a circa 53.000 anni dal presente.

La ricerca attraverso le fonti e la cartografia storica documenta un'origine recente, talvolta risalente all'epoca romana o medioevale, e talvolta secolare. Per alcuni di essi, evidenzia una evoluzione nel tempo delle forme che non può essere quindi associata ad un evento esplosivo vulcanico, ma appare compatibile piuttosto con uno sprofondamento, ad opera di un progressivo processo erosivo o ad improvvisi fenomeni di liquefazione dei livelli limoso-sabbiosi saturi, probabilmente in concomitanza di terremoti. D'altra parte le morfologie sono quelle tipiche degli sprofondamenti improvvisi, con pareti sub verticali e assoluta assenza di depositi lungo il bordo delle pareti e con una generale concavità della superficie topografica che in alcuni casi può intercettare corsi d'acqua (lago di Falciano).

L'esame della cartografia unita alla fotointerpretazione ha evidenziato l'esistenza di altre forme da sottoporre ad ulteriori indagini (Fossa della Torre e Aia spaccata). In base agli studi ad oggi effettuati, tali forme sembrano associabili a quelle qui studiate in dettaglio anche per quel che riguarda la genesi.

Le depressioni si trovano in aree di pianura circondate da rilievi carbonatici ribassati tettonicamente e sono state colmate da potenti spessori di depositi vulcanici e/o fluvio-lacustri a differente granulometria nei quali prevalgono livelli sabbioso-limosi.

La ricostruzione geologica del substrato carbonatico, ottenuta attraverso le stratigrafie dei pozzi, mostra che questo è molto disarticolato e raggiunge elevate profondità, sicuramente superiori ai 100 m.

In genere il fondo dei *sinkholes* è ubicato a pochi metri dalla falda che in molti casi è affiorata durante lo sprofondamento.

La morfologia delle fosse e dei piccoli laghi, indagata anche nella porzione subacquea median-

te ecoscandaglio, mostra pareti verticali e forma complessivamente cilindrica. Tale morfologia risulta compatibile con fenomenologie di sprofondamento, tipo *deep piping sinkhole*.

Tuttavia le acque all'interno delle cavità che ospitano specchi d'acqua (Corrèe, Vairano, Falciano del Massico) mostrano caratteri compatibili con acque superficiali o meteoriche. Tali risultati sono in accordo con la presenza di immisari (lago di Falciano) e/o con la presenza di sorgenti legate a falde superficiali.