

#### 4. - LA VALLE DEL LIRI-GARIGLIANO (2)

Le aree di pianura suscettibili ai fenomeni di sprofondamento del Lazio meridionale, coincidono con le piane di Cassino e Sora e con una parte della piana alluvionale del Liri-Garigliano, alle pendici di alcune dorsali carbonatiche tra cui quella di Monte Cairo (NISIO & SCAPOLA, 2005), nella provincia di Frosinone (fig. 69).

##### 4.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Le aree di pianura del basso Lazio sono state interessate, dopo la tettonica compressiva, che ha portato alla costruzione dell'edificio a *thrust*, da una fase estensionale che ha prodotto una rete di faglie normali ad alto angolo, immergenti, generalmente, verso ovest, molte delle quali riattivano i vecchi piani di *thrust* sepolti (GHISETTI & VEZZANI, 1999; CAVINATO & DE CELLES, 1999).

Si impostano, nel versante sudovest della catena, numerosi bacini estensionali, tra cui il bacino di Sora, con una geometria ad *half-graben* delimitati dalle suddette faglie, ripetutamente riattivate durante il Pliocene sup.- Pleistocene, con rigetti, per le strutture maggiori, fino a uno/due chilometri (GHISETTI *et alii*, 2001).

I bacini, colmati da sedimenti di *syn-rift* dal Miocene sup. al Pleistocene inferiore, presentano un'orientazione NNW-SSE e NW-SÈ; altri, di dimensioni minori, a direzione NE-SW o N-S (tra cui il bacino di Cassino), si sono sviluppati come strutture trasversali (MATTEI *et alii*, 1994).

Durante il Pleistocene l'area emerge ed una fase tettonica distensiva genera bacini interni fluvio-



Fig. 69 - Ubicazione dell'area di studio - Location of the studied area.

(2) In collaborazione con F. Scapola stage APAT

lacustri con connesse manifestazioni vulcaniche (Roccamonfina), controllati da strutture appenniniche ed antiappenniniche. Nel Pleistocene medio si verifica una nuova fase distensiva che porta all'estinzione dei bacini lacustri, alla formazione di nuove conche interne e alle attuali morfostrutture.

Dal Pleistocene superiore è attiva una tettonica tipo *strike-slip* che localmente ha dato origine a: piccoli bacini tipo *pull-apart*, sorgenti termominerali, deposizione di travertini e fenomeni vulcano-tettonici (FACCENNA, 1994; MATTEI *et alii*, 1994).

In questo contesto si è formato il "Bacino Lirino" che è stato colmato da depositi lacustro-alluvionali (con spessori di oltre 100 m) posti in contatto tettonico con la successione carbonatica mesozoica che costituisce l'ossatura del massiccio affiorante.

Esso si estende nell'ambito delle province di Frosinone e di Caserta, presenta una direttrice morfo-strutturale NW-SE, fra la catena dei Monti Aurunci (a Sud-Ovest) e la catena dei Monti Simbruini-Monte Cairo (a Nord-Est), a confine fra l'Appennino centrale e quello meridionale. La nascita e lo sviluppo del bacino Lirino sono stati, fin dai primi studi, attribuiti sia all'attività di sistemi di faglie appenniniche, a carattere prevalentemente distensivo con notevoli rigetti verticali, che al sorgere dell'edificio vulcanico del Roccamonfina (DEVOTO, 1965; DAMIANI & PANUZZI, 1980, 1982; CAVINATO *et alii*, 1995).

All'interno di quest'area si distinguono tre sistemi di faglie principali: N-S, NW-SE ed E-W. Le faglie che ne bordano il margine nord-orientale, ai piedi sia di Monte Cairo che dei Monti di Venafro, sono normali ad alto angolo; mentre la linea tettonica che borda il margine sud-occidentale, fra Pico, Esperia e M.te Fammera, è un piano di faglia inverso (un sovrascorrimento) a direzione NW-SE immergente verso Sud, a basso angolo (CERISOLA & MONTONE, 1992). I rilevamenti hanno messo in luce l'esistenza di un terzo elemento tettonico di importanza probabilmente "regionale" (confermato anche dal confronto dei dati di rilevamento con i sondaggi geognostici reperiti), definito *faglia Theodicea* (passante presso S. Angelo in Theodice; (fig. 70); NISIO & SCAPOLA, 2005). Osservazioni geomorfologiche, strutturali e stratigrafiche, accompagnate da indagini geofisiche, suggeriscono una ripartizione del bacino lirino in due settori, uno occidentale (ad Ovest del Fiume Gari) caratterizzato da un regime estensionale a direzione prevalentemente NE-SW ed uno orientale caratterizzato da un regime sempre estensionale ma a direzione prevalentemente WNW-ESE.

La *faglia Theodicea*, a direzione NNE, potrebbe servire da svincolo fra questi due settori a mobilità diversa e quindi non si possono escludere movimenti trascorrenti lungo la stessa. I settori orientali in prossimità del Fiume Gari sono ri-

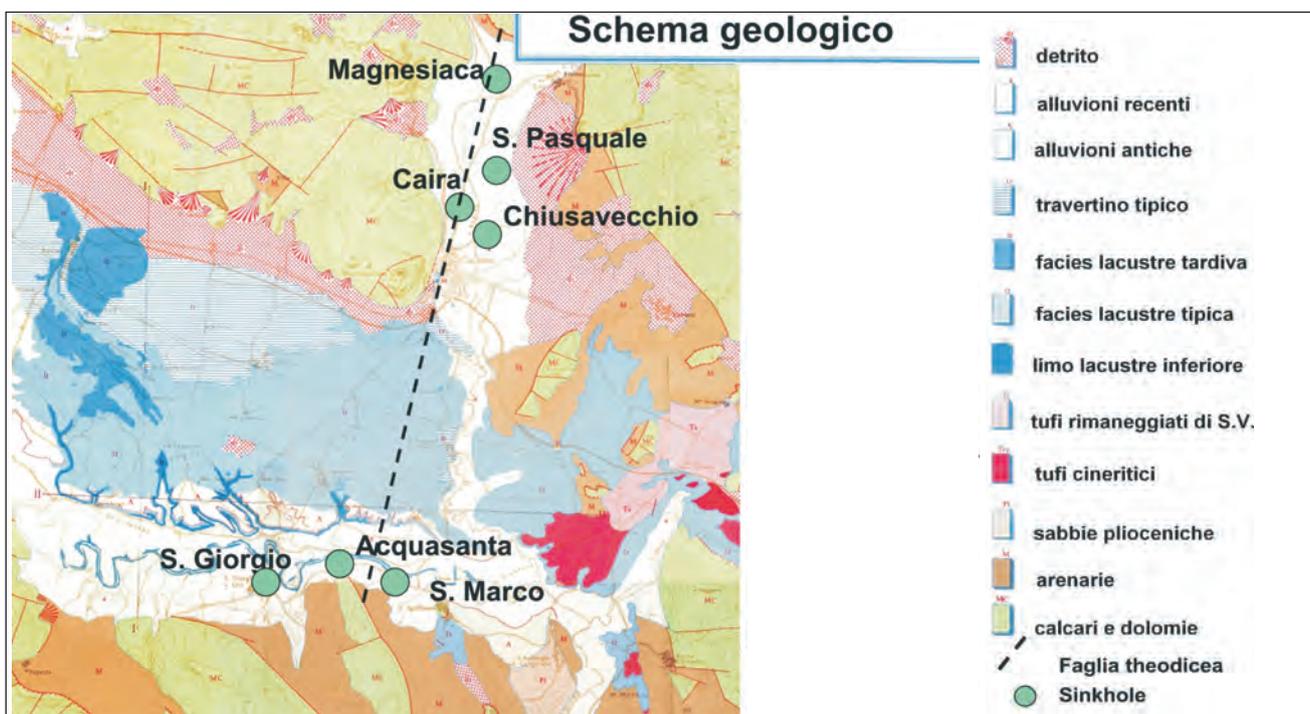


Fig. 70 - Schema geologico delle piane di Cassino e della Valle del Liri-Garigliano e ubicazione dei principali fenomeni di sprofondamento (da DEVOTO, 1965).  
- *Geologica sketch map of the Cassino and Liri-Garigliano river plains; localization of the studied sinkholes (from DEVOTO, 1965).*

bassati, rispetto a quelli occidentali, dall'attività del sistema NNE più giovane rispetto a quello WNW e NW.

La piana di Cassino-Caira a Nord-Est è delimitata dalla faglia della Marsica, che interessa i monti di Venafro e Monte Cifalco, ad Ovest dalla faglia *Theodicea* (NNE) e a Sud dall'allineamento Monte Trocchio-Monte Porchio, che sembra essere una prosecuzione sud-orientale della faglia che mette in contatto Monte Cairo con i sedimenti lacustri ed alluvionali che colmano la Valle Latina (ACCORDI, 1964, 1966; ACCORDI *et alii*, 1969; PAROTTO, 1971; 1980; PAROTTO & PRATURLON, 1975; 1981). Questo forte controllo tettonico e l'intensità delle deformazioni fragili ad esso associate hanno provocato un'intensa disarticolazione del substrato carbonatico (CERISOLA & MONTONE, 1992). In effetti dai numerosi dati di pozzo si nota che la profondità del *bedrock* varia, anche in aree ristrette, da poche decine di metri dal piano di campagna, nei pressi della dorsale carbonatica, fino a diverse centinaia di metri al centro della piana.

Le unità litostratigrafiche, che formano i rilievi carbonatici presenti nell'area (M. Cairo - M. Cifalco - M. Ausoni-Aurunci - rilievo settentrionale di M. Massico), vengono collocate nel dominio di piattaforma Laziale-Abruzzese (ACCORDI *et alii*, 1988) a cui si sovrappongono sedimenti terrigeni (fig. 70).

Al di sopra dei depositi marini e continentali, già morfologicamente modellati, di età plio-pleistocenica poggiano i sedimenti lacustri lirini. L'intera sequenza stratigrafica lacustre, non ancora conosciuta nei dettagli, presenta uno spessore complessivo di cento metri circa. Dal punto di vista stratigrafico DEVOTO (1965) suddivide la suddetta successione in tre formazioni principali che sono, dal basso verso l'alto, il *Limo Lacustre Inferiore*, la *Facies Lacustre Normale* e la *Facies Lacustre Tardiva*. A queste l'Autore aggiungeva, oltre ai travertini tipici, le facies vulcaniche rappresentate dalle tufiti di Vandra, dai tufi cineritici e dai tufi rimaneggiati di San Vittore (fig. 70).

Il *Limo Lacustre Inferiore* presenta grande uniformità, è composto da limi calcarei molto puri, a giacitura orizzontale, ad alto tenore in  $\text{CaCO}_3$  (circa l'80/90%) regolarmente intercalati da numerosi livelli, a spessore variabile, di prodotti vulcanici. Lo spessore totale affiorante è di circa 25-30 m.

La *Facies Lacustre Normale* è la più rappresentativa dei depositi lacustri lirini, complessivamente è costituita da un 60% di ghiaia-sabbia, da un 30% di limi calcarei e per il restante 10% da altre tipologie di sedimenti, presenta una significativa varietà di litofacies ed un'estrema variabilità del contenuto in  $\text{CaCO}_3$  che oscilla fra il 20% ed il 98%.

La *Facies Lacustre Tardiva* è composta prevalentemente da limi calcareo-argillosi, da limo torboso, da sabbie calcaree, da travertini incoerenti e da travertini porosi inglobanti resti vegetali palustri. Significative sono le variazioni delle percentuali di sabbia e di argilla nei singoli strati.

La deposizione del travertino tipico (che affiora solo in alcuni punti della Piana; CARRARA, 1991) è connessa con l'attività di sorgenti fortemente incrostanti ad elevato tenore in  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  alcune delle quali sono tuttora attive (Capo d'Acqua).

I principali sistemi di faglie che hanno interessato l'area sono due: il primo presenta allineamento NW-SE cui sono collegate le placche di travertino presenti fra Aquino - Cassino, il secondo è orientato circa N-S o NNE-SSW alla cui attività vengono attribuiti sia gli affioramenti rinvenuti presso la direttrice Pontecorvo-Aquino che quelli lungo il corso del Fiume Gari in S. Angelo in Theodice. Benché le bancate di travertino si ritrovino in maniera frammentaria in tutta l'area, si è ipotizzata l'esistenza, su base morfologica, di un solo grande affioramento il cui spessore raggiunge i 18 m.

Di norma i travertini tipici seguono o sono incassati nei sedimenti lacustri del Lago Lirino mentre, lungo il margine nord-orientale, poggiano sulla sequenza carbonatica della piattaforma Laziale - Abruzzese. Da un punto di vista composizionale la litofacies, per lo più vacuolare, è caratterizzata da alternanze di sabbie e limi calcarei, contenenti litotipi autoctoni micro e fitotermaali associati a facies stromatolitiche e biolitiche. Di frequente dal travertino litoide si passa a quello spugnoso ed incoerente.

Al di sopra dei sedimenti lacustri affiorano, per lo più, alluvioni antiche e recenti, detriti di falda e/o di versante e terre rosse.

Una colonna stratigrafica tipo per la piana di Cassino, ricordando comunque che la profondità del substrato carbonatico oscilla notevolmente fra il piano campagna ed i 150 m, allontanandosi dai bordi verso il centro della piana è la seguente:

0/4 m: terreno vegetale; 4/15 m: grosse alternanze di limo con argilla, sabbia e sabbia con ghiaia; 15 m/15,5 m: ghiaia grossolana; 15,5 m/16,7 m: limo poco argilloso, grigio chiaro; 16,7 m/17,0 m: ghiaia grossolana; 17,0 m/ 18,5 m: limo con argilla, bruno; 18,5 m/22,0 m: sabbia media grossolana; 22,0 m/23,4 m: limo argilloso e sabbioso con poca ghiaia minuta, grigio; 23,4 m/43,5 m: limo con argilla, da grigio scuro a bruno; 43,5 m/48,0 m: limo poco argilloso con tracce di sabbia fine, grigio chiaro; 48,0 m/51,5 m: limo poco argilloso con tracce di sabbia fine, gri-

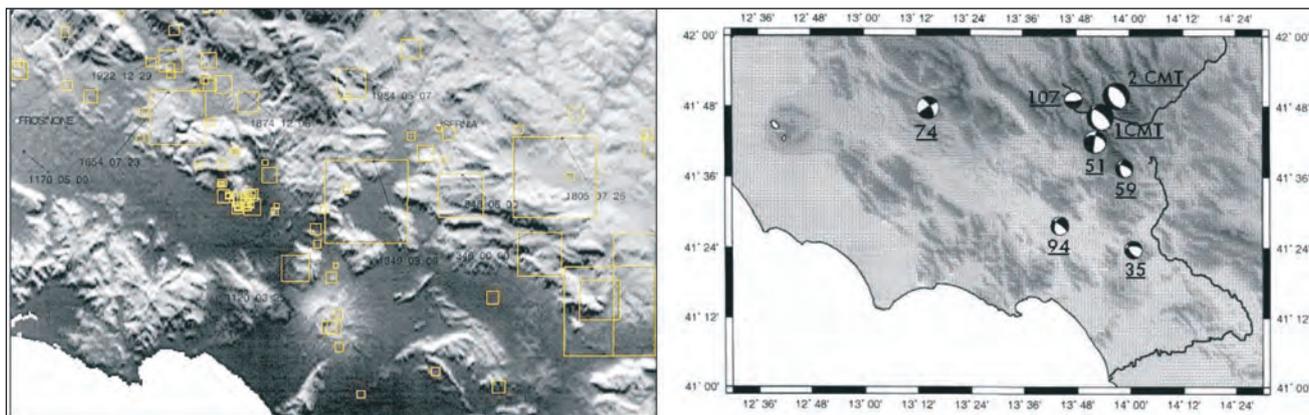


Fig. 71 - Ubicazione dei principali epicentri dei terremoti che hanno interessato l'area.  
 - Localization of the principal epicentre of the earthquakes that have interested the studied area.

gio; 51,5 m/60,5 m: limo con argilla, grigio; 60,5 m/67,8 m: limo argilloso, debolmente organico, con elementi di ghiaia, da grigio scuro a bruno; 67,8 m/103 m: calcari biancastri.

#### 4.2. - SISMICITÀ DELL'AREA

Nella zona di Montecassino sono frequenti "tremori" nel sottosuolo e microsismi ("i terremoti locali di Montecassino").

La cronistoria "sismica" di Montecassino, registrata dai monaci della Abbazia, inizia nel 1005 e, tranne qualche piccola lacuna, giunge fino al 1920. Dal 1005 al 1887 si registrarono ben 453 terremoti ma, nel 1920, SACCHETTI annotava che "la quasi totalità dei terremoti registrati rimase circoscritta a Montecassino e solo raramente fu avvertita a Cassino". I Monaci chiesero al Re di Napoli, Ferdinando II di Borbone, di far studiare da un geologo del Regno le cause dei "tremori" ai quali si associava un odore di zolfo. Il re, nel 1837, incaricò Leopoldo Pilla che imputò i terremoti a fattori "locali" e li ascrisse a cause elettriche. DE MARCO invece, nel 1888, arriva alla conclusione che tali scosse sono imputabili a crolli dovuti all'azione aggressiva delle acque sotterranee. SACCHETTI (1920) sostenne la tesi di DE MARCO (1888) riportando, a supporto della stessa il "terremoto che nel 1724 si verificò al paesello di Caira" (data coincidente con la formazione del Lago di Caira) e precisando che non si trattò di una vera e propria scossa sismica.

Gli episodi descritti sono in definitiva da ricollegare ai fenomeni carsici presenti sulla dorsale di Monte Cairo che portano alla frequente formazione di doline di crollo e all'allargamento di cavità ipogee, processo peraltro molto spinto ed ancora visibilmente in atto.

L'area in esame tuttavia è stata colpita da diversi sismi di forte intensità (Istituto Nazionale di Geo-

fisica, 2000). In particolare la zona compresa fra la Valle Latina e il confine con la Campania (da Sora al Vulcano di Roccamonfina) appare decisamente attiva soprattutto per l'elevata frequenza degli eventi registrati, con un addensamento anomalo proprio in corrispondenza del territorio di Cassino (GASPARINI *et alii*, 1985; FREZZOTTI *et alii*, 1988; FREPOLI & AMATO, 2000). L'area con elevato risentimento è allungata lungo la direzione NW-SE.

Tra gli eventi della sismicità storica dell'area si ricorda quello del 9 Settembre del 1349 che colpì il Cassinate ed il territorio di Isernia (a Cassino il risentimento è stato del IX grado), quello del Giugno 848 nel Sannio occidentale, quello del 23 Luglio del 1654 nell'area Sorano-marsicana che provocò la completa distruzione delle località di Piedimonte San Germano Alta, Posta Fibreno e Santopadre, ed infine l'evento del 6 Dicembre 1874 dei Monti della Meta. Nel 1724 si verificarono solo due scosse nei mesi di settembre e ottobre.

Tra gli eventi sismici recenti (fig. 71), i più significativi sono: un evento del 1973 (di magnitudo 4.4 localizzato a 5 km di profondità), un evento del 1980 (di magnitudo 3.5 con ipocentro a 8 km di profondità) e i due terremoti del 7 e del 11 Maggio del 1984 che colpirono l'area compresa tra l'alta Valle del Sangro, San Donato in Val di Comino ed i Monti della Meta, di magnitudo mb 5.5 e 5.3, rispettivamente. I danni del sisma si riscontrano nell'area di studio lungo l'allineamento rappresentato dalla *falga Theodicea* (su cui è ubicato il *sinkhole* di Caira); il piezometro ubicato nella Villa comunale di Cassino (distante circa 1.5 km dal Lago di Caira sul medesimo allineamento) si abbassò di molti centimetri.

Ulteriori eventi sismici sono stati registrati nel giugno e nel settembre 1994, e gli effetti si registrano anche sugli allineamenti in direzione N-S (FREPOLI & AMATO, 2000).

Inoltre scosse strumentali registrate tra il 2003 e il 2004 nell'area di Cassino hanno determinato un abbassamento del suolo (registrato presso un piezometro) di circa 3 centimetri a poca distanza dal Lago di Caira, e lungo l'allineamento NNE di cui si è parlato in precedenza.

Ultimamente l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha rilevato, durante il monitoraggio della Rete Sismica nazionale centralizzata, il verificarsi di un periodo sismico. Tali eventi sismici avvertiti dalla popolazione locale e, peraltro, segnalati alla Protezione Civile, presentano profondità ipocentrale molto superficiale dando luogo a boati e a risentimenti macrosismici molto localizzati.

#### 4.3. - EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA

Nel Pliocene la porzione sud-orientale dell'odierna Valle Latina era interessata da una sedimentazione caratteristica di ambiente marino costiero e doveva presentarsi come un golfo aperto in direzione ESE fino al Pliocene medio-superiore, (fig. 72). Durante la fase regressiva le acque lasciarono definitivamente l'area compresa fra le dorsali carbonatiche. Il rapido abbassamento del livello del mare dovette incidere profondamente sull'organizzazione dei reticoli idrografici preesistenti ed il settore appena emerso divenne una

valle fluviale sbarrata in seguito alla costruzione del Vulcano di Roccamonfina. Nel Pleistocene medio iniziò la raccolta delle acque del Lago Lirino (DEVOTO, 1965). L'aumento del carico sedimentario con l'erosione della soglia operata dall'emissario (l'attuale Garigliano), hanno fatto del Lago Lirino un lago precocemente fossile. Infatti, dato il continuo sollevamento a cui è stata soggetta quest'area, gli immissari furono costretti ad operare un continuo "ringiovanimento" del loro profilo d'equilibrio; cosa che determinò un apporto talmente massivo di sedimenti da ottenere, come effetto, il rapido colmamento del bacino stesso. L'età di estinzione del sistema lacustre lirino potrebbe essere avvenuta 368 ka (EVERNDEN & CURTIS; 1965) o tra i  $354 \pm 7$  ed i  $359 \pm 7$  ka (NARCISI; 1986).

Terminato il ciclo lacustre il principale agente morfologico divenne quello fluviale; ai sedimenti "lirini" si sovrapposero i depositi alluvionali. L'ultimo ordine di terrazzi, post-wurmiano, si situa a pochi metri dall'attuale letto del Liri.

La piana di Cassino presenta versanti regolarizzati ad est ed ad ovest ed è orlata, nel margine settentrionale, da piccole conche intermontane la cui genesi è strettamente collegata alla presenza ed alla attività di elementi strutturali il più delle volte a direzione NS.



Fig. 72 - Schema dell'evoluzione paleogeografia dell'area.  
- Evolution paleogeographic scheme of the Liri river area.

Il massiccio carbonatico affiorante, oltre ad essere visibilmente fratturato e tettonizzato, presentandosi a luoghi pulverulento, è anche intensamente carsificato. Presso Monte Cairo-Monte Cassino è emersa la presenza di numerose doline per crollo o dissoluzione (di grande diametro) la cui distribuzione sembra ricalcare l'andamento delle faglie principali.

All'interno della conca si individuano numerose conoidi detritiche a ventaglio di notevoli dimensioni, disposte prevalentemente lungo la faglia della Marsica e, subordinatamente, lungo la faglia *Theodicea* (in località Caira).

Anche il reticolo idrografico e la distribuzione delle sorgenti risentono del controllo tettonico. È evidente in quest'area la regolarizzazione di tratti o di intere aste fluviali (ad es. Fiume Rapido e parte del Fiume Gari) che assumono un andamento circa NS ricalcando l'andamento della faglia *Theodicea*.

La ricostruzione della rete di drenaggio superficiale, ordinata secondo il metodo di Strahler (1954), ha permesso di ricavare indizi morfotettonici: un'anomalia significativa è rappresentata dalle aste dei primi ordini che tendono ad assumere un'orientazione preferenziale NW-SE, tale distribuzione ha un addensamento in corrispondenza della diagonale NW-SE tracciabile fra la confluenza del Fiume Liri con il Fiume Gari e Massoneria di Folco (Aquino). Anche le Forme d'Aquino presentano in quest'area una rettizzazione NW-SE, preceduta da una "cattura a gomito", del loro corso.

Questi indizi, associati alla constatazione che tale direttrice funge anche da spartiacque fra il settore nordorientale e quello sudoccidentale, fanno pensare alla presenza di una faglia sepolta avente la medesima orientazione. In effetti le aste dei primi ordini, essendo le più "giovani" non sono controllate dalle "vecchie direttrici tettoniche" ma da quelle recenti e/o attuali.

L'azione della tettonica è altresì testimoniata dalla presenza di forme strutturali sui versanti quali: faccette triangolari, depressioni, selle e interruzione di linee di cresta (SERAFINI & VITTORI, 1988).

#### 4.4. - RISORSE IDRICHE DELL'AREA: STUDI SULLA MIGRAZIONE E SULLA VARIAZIONE DI PORTATA DELLE SORGENTI

L'area in studio è caratterizzata da un abbondante flusso di acque sia superficiali che profonde. Quest'ultime vanno ad alimentare, in maniera considerevole, le portate dei corsi principali. L'unità idrogeologica, che dà origine alle sorgenti del Gari,

appartiene a quella più grande, costituita dai Monti Ernici, dai Monti Simbruini e da Monte Caira, e ne rappresenta la terminazione meridionale a partire dal Fiume Cosa (BAJ & TARTAGLIA, 1973; BONI, 1973; BONI *et alii*, 1986; MOUNTON, 1973; CELICO, 1976; CELICO & STANGANELLI, 1976).

A Sud della linea del F. Cosa sono presenti altri due punti di sfioro della falda che costituiscono, rispettivamente, le sorgenti di Capodacqua d'Aquino e di Bucone (fig. 73). Le prime sono legate alla discontinuità tettonica della Valle del Melfa, le seconde all'innalzamento del complesso dolomitico in corrispondenza di Monte Cairo.

Caratteristica non trascurabile delle sorgenti Bucone è che esse sono costituite da due polle, una sulfurea a circuito lento e profonda e l'altra non sulfurea a ricambio veloce. Le sorgenti presenti nell'area di Cassino possono essere raggruppate in tre gruppi principali: il gruppo pedemontano, il gruppo delle Terme Varroniane ed il gruppo Mastronardi (fig. 73) con valori di portata cumulati pari a 18m<sup>3</sup>/sec. Le acque di tali sorgenti confluiscono nel Fiume Gari incrementandone la portata.

La conca di Cassino è attraversata dal Fiume Rapido (che presenta portata media di 2.5 m<sup>3</sup>/sec) nelle cui acque vanno a confluire i torrenti che attraversano il territorio di Cassino-Caira fra cui ricordiamo il Torrente Calcara, il Torrente del Campo, il Fosso della Grotta ed il Fosso di Caira. Il Rapido si immette nel Gari in prossimità del gruppo Mastronardi (fig. 73).

Le sorgenti presenti nel territorio di Cassino (s.l.) sono numerose e con portata elevata. Negli ultimi anni esse hanno subito variazioni per numero, portata, ubicazione e chimismo (VARRONE, 1954). Attualmente è diminuito il numero delle sorgenti minerali la cui presenza ed azione massiva nei tempi passati sono testimoniate litologicamente dalle bancate di travertino, che occupano gran parte della piana, e documentate da numerose fonti storiche e bibliografiche. La maggior parte delle sorgenti minerali sgorgava fra valle Faga e Suio, ma ve ne erano altre anche nel territorio di Cassino nei pressi della Badia, in località S. Onofrio ed in località Fontanelle (fra il Colosseo e la Cappella di Santa Scolastica). In particolare in località Fontanelle erano presenti due polle, una d'acqua sulfurea e l'altra ferruginosa con temperatura di 15°C (SACCHETTI 1920). Queste polle minerali rappresentavano ciò che rimaneva di una serie più numerosa che fino al secolo decimo ottavo alimentava il ramo del Fiume Rapido (GATTOLA 1734); fra queste erano le due sorgenti presenti nei pressi del lago di Caira. Il numero delle sorgenti d'acqua dolce era imprecisato (PILLA, 1837): nel 1902 DEL FOCO ne

elena più di quaranta per il solo centro abitato.

La distribuzione delle sorgenti sul territorio non sembra casuale ma si individuano allineamenti lungo direttrici tettoniche ben precise. Quelle sulfuree (GATTOLA, 1734) si disponevano lungo il corso del Rapido (dove lo stesso assume un andamento circa NS) ricalcando la direttrice della *faglia Theodicea*. DEVOTO (1965) descrive l'attività di sorgenti fortemente incrostanti ad elevato tenore in  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  (ad esempio quelle di Capo d'Acqua) la cui disposizione coincide con l'andamento dei principali sistemi di faglie: il primo ad andamento NW-SE, cui sono collegate le placche di travertino presenti fra Aquino e Cassino, ed un altro orientato circa N-S o NNE-SSW, alla cui attività vengono attribuiti sia gli affioramenti rinvenuti presso la direttrice Pontecorvo-Aquino che quelli lungo il corso del Fiume Gari in S. Angelo in Theodice.

Un'ultima annotazione riguarda la migrazione delle sorgenti sulfuree che si sono spostate progressivamente dai settori SE (Cassino, Sant'Angelo), prossimi all'apparato del Roccamonfina, verso quelli NW (Isola Liri, Ceprano) ove attualmente si assiste a periodiche manifestazioni sulfuree. Tale migrazione di sorgenti è stata accompagnata da un abbassamento delle vecchie linee sorgentizie, in località Caira, di almeno cinquanta metri e da oscillazioni continue del livello di falda. Oltre alle probabili cause naturali la spiegazione del fenomeno va ricercata anche in quelle antropiche: quest'area è sotto-

posta a continui emungimenti (per portate "dichiarate" di  $3m^3/sec$ , ma sicuramente più cospicue), resi più intensi negli ultimi 20 anni.

Tale captazione di acque sotterranee, in un'area prossima alla confluenza del Rapido con il Gari, aveva avuto approvazione per portate di  $6m^3/sec$ . Fra l'Agosto del 1986 ed il Settembre dell'87, a seguito dell'emungimento di  $1,5m^3/sec$  si registrarono nel territorio di Cassino continui "assestamenti" accompagnati da tremori, alcune sorgenti si estinsero, altre diminuirono notevolmente la loro portata ma, cosa più grave, si verificò la subsidenza di una vasta area e vennero denunciate lesioni a diversi manufatti. Dopo perizie tecniche e studi congiunti, le Autorità dichiararono che per portate pari a  $3m^3/sec$  non ci sarebbero stati risentimenti o rischi significativi per il territorio; tali dati risultarono dagli accertamenti delle condizioni geologico-strutturali al contorno e dai parametri geotecnici dei terreni analizzati.

#### 4.5. - LE FALDE DELLA PIANA DI CASSINO

Nei sedimenti di copertura della Piana di Cassino, caratterizzati dall'alternanza di orizzonti per lo più impermeabili (argille o limi argillosi) con altri a media/alta permeabilità (sabbie grossolane e ghiaie), si rinvengono falde sovrapposte (riscontrate a 25 m e a 40 m di profondità negli strati a buona permeabilità orizzontale).

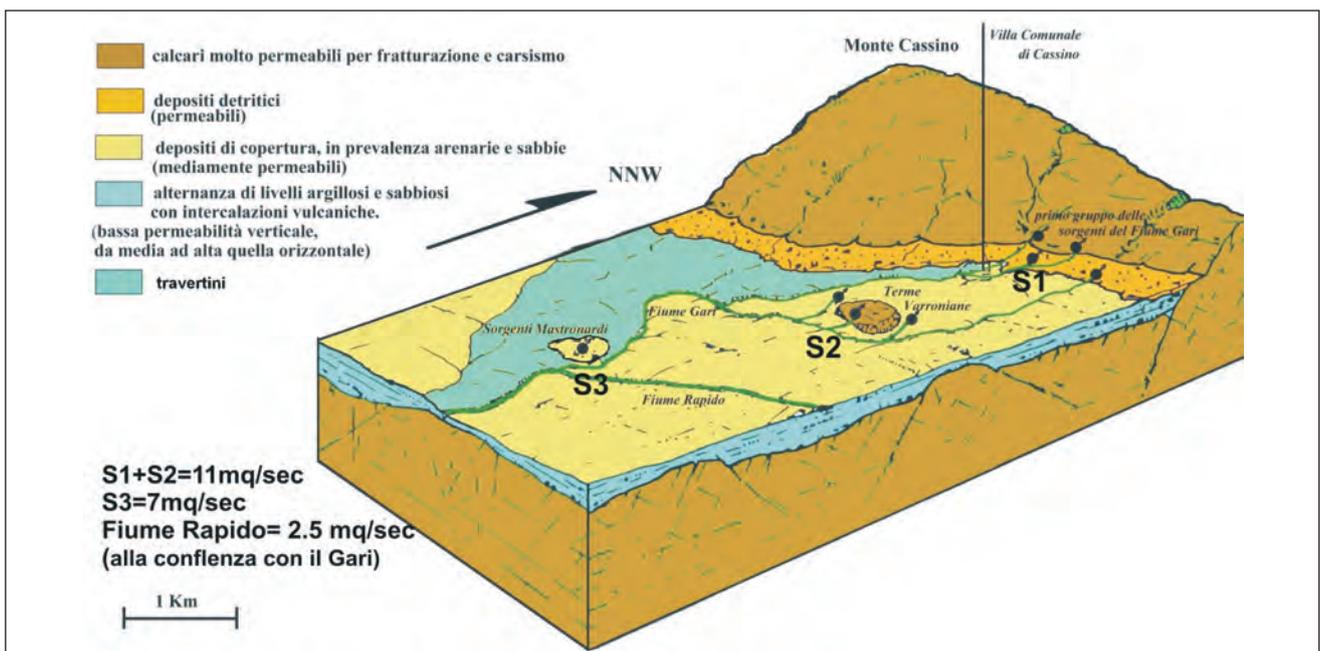


Fig. 73 - Schema della circolazione idrica dell'area.  
 - Liri-Garigliano rivers area hydro-circulation scheme.

La stessa successione quaternaria, presentando una quasi totale impermeabilità verticale, permette la presenza, nel substrato carbonatico, di un acquifero confinato o falda in pressione.

Le connessioni idrauliche tra la falda profonda e le sospese falde superficiali avvengono, per lo più, attraverso strati limoso-sabbiosi, a luoghi ghiaiosi, a bassa trasmissività. Solo localmente e in aree ristrette, la falda profonda è direttamente in comunicazione con quella superficiale. Questo è possibile per la presenza di depositi grossolani posti o al tetto dell'acquifero calcareo o intercalati nei sedimenti fluvio lacustri.

Connessione tra la falda profonda e quella superficiale è possibile per la presenza di importanti dislocazioni tettoniche (es. *faglia Theodicea*), che attraversano sia il substrato che le coperture quaternarie, accompagnate da un reticolo di ripetizioni, di fratture o diaclasi, che mettono in comunicazione il mezzo permeabile carbonatico profondo con quello impermeabile di superficie.

#### 4.6. - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI DI COPERTURA

I terreni lacustri recenti della piana di Cassino sono formati in massima parte da terreni coesivi inorganici (limo con argilla, argilla con limo e limo argilloso) e in minima parte da intercalazioni e lenti di terreni non coesivi (ghiaie più o meno sabbiose e sabbie).

Fra i terreni coesivi prevalgono le argille inorganiche di elevata plasticità, seguite in ordine decrescente da limi di medio-bassa plasticità. Il contenuto d'acqua del terreno varia generalmente tra il 20% e il 50%. Il peso di volume allo stato naturale è in generale compreso tra 1,7 e 2 g/cm<sup>3</sup>, con valori medi che tendono ad addensarsi intorno a 1,0 g/cm<sup>3</sup>. I valori medi di  $W_0$  e  $\gamma_s$  non mostrano alcuna tendenza a variare con la profondità. La coesione non drenata è risultata elevata in base alle ben note correlazioni sperimentali con l'indice di plasticità e con la pressione di consolidazione, indicando un certo grado di consolidazione.

#### 4.7. - I FENOMENI DI SPROFONDAMENTO NEL LAZIO MERIDIONALE

L'area della provincia di Frosinone, coincidente con le antiche proprietà benedettine, prendeva il nome, agli inizi del 1800, di *Terra dei Laghi*. Ciò per la presenza di una serie di piccoli laghi fra cui: *Lacus Raedemprandi*; *Lacus Sapatini*; *Lacus Maiore* (presso Aquino) già presenti nel 1734; *Lacus de Pobilu* in area

non precisata sulla linea di confine con il territorio di Venafro all'interno delle proprietà benedettine; *Lacus Viticosum*; *Lacus Acquafondata* (presso Viticoso e Venafro; JANDOLO, 1966; DISSERTATIO, 1800). Altri numerosi laghi, oggi scomparsi, sono emersi dall'analisi toponomastica dell'area in studio, consultando gli atti di compravendita delle proprietà benedettine, relative al periodo 1600-1800 (LECCISOTTI & AVIGLIANO, 1977): *La Cisterna*, *la Cisternola*, *Pescorile*, *Lo Lago*, *Lago di Sotto*, *Acqua Nera* nei pressi di S. Elia Fiumerapido; *Le Pantane* nel territorio di Cervaro; *Lo Lacozzo*, *La Pescarola*, *Le Pescie*, *La Puzza* e *Caput Casini* (nelle vicinanze della Chiesa di S. Pietro), *Lo Lacozzo*, *Lo Lago*, *Lo Pantano*, presso San Germano (attuale Cassino); *Le Pantanella* presso l'abitato di Piumarola nella Valle del Liri. Della maggior parte di tali laghi oggi non vi è più traccia, fatta eccezione per La Pescarola, in località Masseria Chiusavecchio.

La ricerca storica, pertanto, è stata volta alla possibile ubicazione di tali laghi e al censimento di eventuali cavità sub-circolari che potrebbero far ipotizzare episodi di sprofondamento del terreno (figg. 74, 75).



Fig. 74 - Disegni ad acquerello di GUGLIELMELLI (1715), dove è possibile individuare la presenza di alcuni laghi.

- Watercolour pictures from GUGLIELMELLI (1715), are represented some little lakes.

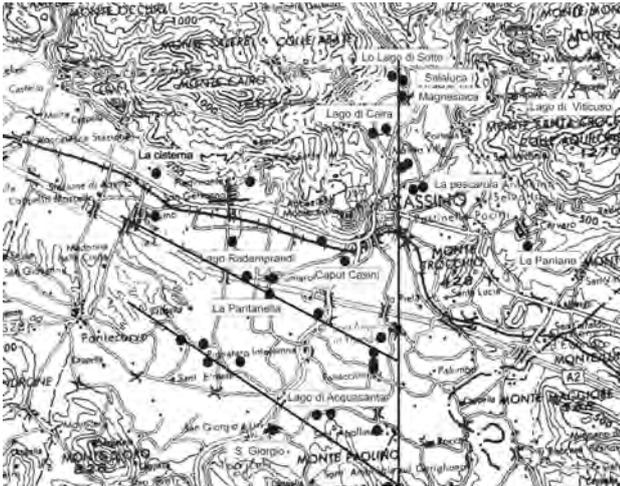


Fig. 75 - Possibile ubicazione di alcuni laghi presenti nel territorio di Cassino.

- Possible localization of some little lake in the Cassino interland.

Documenti storici, unitamente alla fotointerpretazione hanno portato all'individuazione di una serie di specchi d'acqua e di possibili morfologie depresse nelle aree di pianura: laghi, piccole polle, con caratteristica forma sub-circolare, cavità asciutte relitte, che si rinvergono al centro di piane alluvionali o conche intermontane, privi di immissario o emissario, e che non possono essere attribuiti ad attività antropiche e/o a fenomeni carsici in senso stretto.

La conferma dell'esistenza di tali fenomeni è avvenuta con il reperimento della documentazione storica riguardante la formazione di un lago oggi estinto: il Lago di Caira.

#### 4.8. - IL LAGO DI CAIRA

L'antico Lago di Caira (presente dal 1724 al 1904), attualmente estinto e trasformato in vivaio della forestale, è ubicato a valle dell'abitato di Caira, frazione di Cassino (figg. 76, 77). Si colloca quasi alla confluenza fra il Torrente Calcara ed il Fiume Rapido, sul limite morfologico della conoide alluvionale sulla quale si è sviluppato il paese.

Lo sprofondamento che diede origine al Lago di Caira viene riportato in letteratura da numerose fonti che, comunque, fanno riferimento alle notizie riportate dal "Giornale Cassinese" dell'epoca, e successivamente raccolte nelle "Historiae" di Gattola (1733, 1734). In queste fonti si ritrova la seguente descrizione (riportata in latino e tradotta dagli scriventi): *In questo anno 1724, non lontano da Caira nella notte fra il 18 e 19 febbraio con ingente strepito, tale che gli abitanti pensando che fosse un terremoto avevano abbandonato le case, la terra di otto tomoili, ciascuno dei quali comprende novecento cubiti napoletani*



Fig. 76 - Panoramica della Piana di Caira-Cassino.  
- Caira-Cassino plain view.



Fig. 77 - Il Lago di Caira: l'area del Vivaio dove si trovava il Lago.  
- Caira lake: nursery area where the Caira lake was localized.

*ni di otto palmi, fu vista sprofondare a perpendicolo in quel luogo, dove c'erano alcuni alberi. La profondità di novanta palmi napoletani subito da parecchie sorgenti poste nella circonferenza dei lati iniziò ad essere riempita, mentre l'acqua cresceva così di giorno in giorno, che dopo un mese soltanto per cinque palmi distava dal piano del terreno. Tutta la circonferenza del lago è di duecentosettantacinque cubiti napoletani, il diametro da oriente ad occidente circa centotrentaquattro, e trasversale circa centotrentanove.*

Oltre a questi eventi, nel Giornale cassinese e negli scritti di GATTOLA (1734), viene riportato: *"la notte fra il 18 ed il 19 febbraio dello stesso anno nel luogo, ove è ora, il Lago di Caira, un rumore fortissimo si intese ed i contadini che abitavano nei dintorni, come se un grande terremoto fosse accaduto, abbandonando le loro case fuggirono..."*

Un'altra "fossa", oltre al Lago, si aprì alle pendici orientali di Monte Cairo e la tradizione afferma che in determinati periodi si sentivano dei rumori, provenire dalla stessa; gli abitanti del

luogo iniziarono a buttare rifiuti all'interno della fenditura. Gli abitanti si accorsero che i frutti lanciati nella voragine venivano ritrovati nei pressi dell'attuale Chiesa Madre nell'abitato di Cassino.

Il livello del lago non subiva variazioni stagionali e, periodicamente, era soggetto ad una fase di intorbidimento delle acque che venivano rese acide da un improvviso aumento della concentrazione di zolfo. Riportiamo il testo di BARATTA (1978): «...Nacque così il lago di Caira le cui acque non si vedono crescere anche nei tempi più piovosi, né diminuire. Di questo lago i monaci fecero un vivaio di pesci ma periodicamente le acque si intorbidavano, probabilmente per l'afflusso di sorgenti sulfuree, ed i pesci rimanevano tramortiti. Si rianimavano, però, dopo pochi giorni. La periodicità del fenomeno era tanto nota che i pescatori vi si recavano, a data fissa, per farvi buona pesca.»

Altre notizie del lago risalgono a DE MARCO (1888): «Il detto lago ritiene ancora la forma arrotondata; ma la circonferenza è più grande, la profondità molto minore, e la superficie è occupata da un lato quasi per un terzo da piante acquatiche a causa della terra ivi trasportata dal torrente che viene dai monti vicini. Avendolo io misurato nel gennaio di quest'anno, ho trovato la sua periferia di 525 m (con un diametro medio di 165 metri circa)».

Si ha notizia di numerose sorgenti sulfuree (PuzzaturIELLO, fig. 78) presenti a quell'epoca nell'area, la loro provenienza tuttavia è sempre stata imputata alla risalita, secondo vie preferenziali, di acque appartenenti alla falda profonda. È possibile che il progressivo svasamento del lago ed il continuo apporto di materiale detritico da parte dei torrenti abbia formato, nel tempo, un manto impermeabile al fondo impedendo l'interscambio delle acque. Periodicamente i sedimenti fini

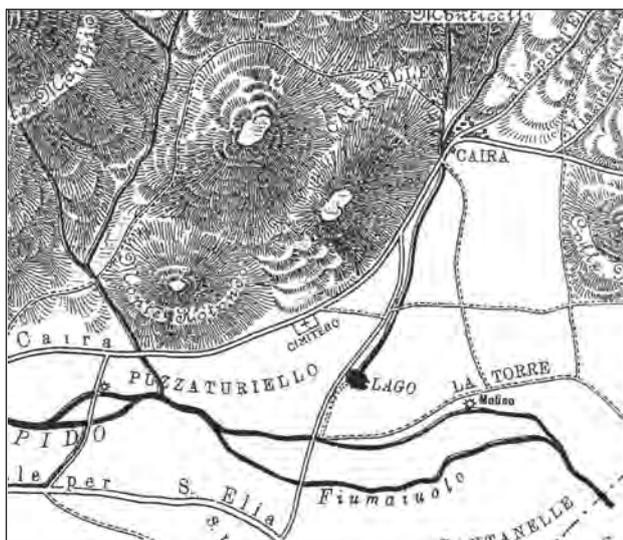


Fig. 78 - Mappa storica che riporta il Lago di Caira.  
- Historical map of the Caira lake.



Fig. 79 - Immagine aerea dell'area di Caira: a sinistra la paleoforma del Lago di Caira, a destra e in alto aree depresse di forma sub-circolare.  
- Caira area orthophoto: on the left the Caira lake shape; on the right and at the top depressed areas with sub-circular shape.

potrebbero essere stati rimossi, all'aumentare della pressione della falda sottostante (questo spiegherebbe l'intorbidimento delle acque associato all'immissione di acque sulfuree nel lago). Questo fenomeno lascia comunque ipotizzare la presenza di un condotto di collegamento fra la falda profonda, presente nei calcari, e le acque del lago.

Nel 1902 DEL FOCO scrive: «A destra di questa strada traversa, v'ha il laghetto di Caira con scarse sorgenti interne. La superficie di questo lago, pel materiale importato da due torrenti che scendono a settentrione e a mezzogiorno del Colle del Forno e dei Monticelli, che si riuniscono a Caira, va anno per anno restringendosi, e finirà collo scomparire del tutto, con miglioramento delle condizioni sanitarie di quei dintorni infestati dalle febbri palustri. Intanto quanto sarebbe desiderabile che l'autorità venisse in aiuto del lavoro lento della natura...».

Poco dopo il consiglio comunale decise di prosciugarlo, ma eventi naturali precedettero questo intervento di bonifica; durante una fase di piena del fiume una grande quantità di detriti si riversò nel lago (restò attivo almeno fino al 1904; fig. 78). Il lago si prosciugò e, nel corso degli anni la forma si obliterò definitivamente (fig. 79). Attualmente all'interno del vivaio della forestale sono presenti alcune sorgenti che manifestano periodiche risalte di gas.

La successione stratigrafica dell'area circostante il lago (figg. 80, 81), come rilevato da pozzi e sondaggi geoelettrici, varia procedendo da monte verso valle (da est ad ovest). Nell'area di affioramento della conoide alluvionale, al di sotto di una fascia pedogenizzata (con spessore di pochi metri

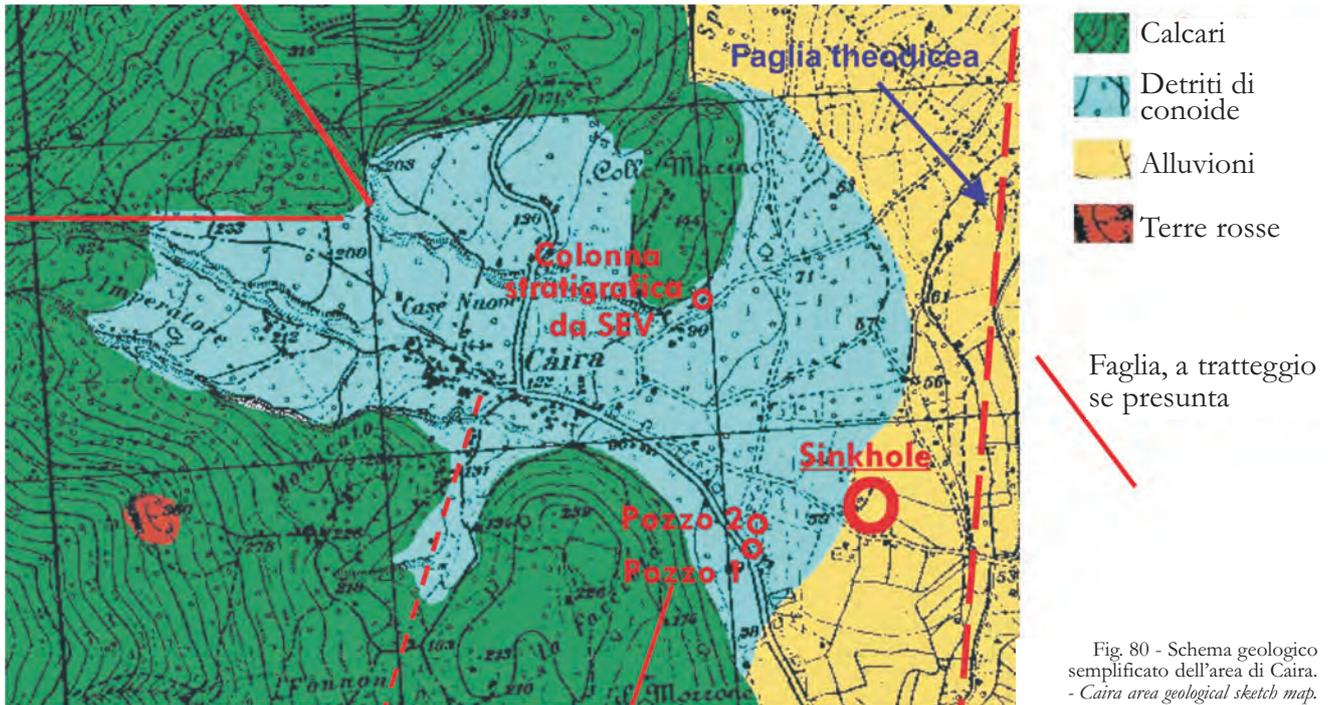


Fig. 80 - Schema geologico semplificato dell'area di Cairà.  
- Cairà area geological sketch map.

fino ad alcune decine), si rinvencono detriti di falda, con spessori considerevoli (cento metri circa) in contatto diretto con il substrato carbonatico.

Più a valle, nella zona di piana, i pozzi n.1 e n.2 (fig. 81), molto prossimi al paleolago, mostrano la

presenza di un'alternanza di argille, limi argillosi con ciottoli calcarei e ciottolate, il tutto al di sopra di un substrato carbonatico ubicato intorno a settanta metri di profondità dal piano campagna.

Questo tipo di successione stratigrafica determina valori bassi di permeabilità verticale, mentre valori elevati, negli strati a granulometria più grossolana, di permeabilità orizzontale. È possibile, pertanto, trovare nella copertura detritica più falde sospese ed una falda imprigionata all'interno del substrato calcareo (permeabile per fratturazione e carsismo) ribassato tettonicamente.

La geometria iniziale della voragine viene descritta da GATTOLA (1734): a) *sprofondati otto tomoli di terreno, ciascuno di 900 "cubiti napoletani di otto "palmi"* ; b) *perimetro della voragine 275 cubiti napoletani*; c) *asse est-ovest 124 e nord-sud 139* (dei quali l'Autore non riporta però l'unità di misura).

SARAGOSA & SARAGOSA (1998), tradussero il testo latino dell'Autore, ed indicarono che, al momento della formazione, la cavità presentava una circonferenza di 550 m e diametri di 250 m e 280 m NISIO & SCAPOLA (2005) rilevano che questi dati non corrispondono alla situazione reale.

Il Lago di Cairà, al momento della sua formazione, aveva l'asse maggiore di 41 m, il minore di 37 m, il perimetro di 122,1 m, una profondità di 23,7 m (90 palmi napoletani) ed un'area di 310 m<sup>2</sup> (NISIO & SCAPOLA, 2005).

Misure effettive sulle dimensioni del lago, dopo una sua evoluzione, risalgono a DE MARCO (1888): «*Avendolo io misurato nel gennaio di quest'anno,*

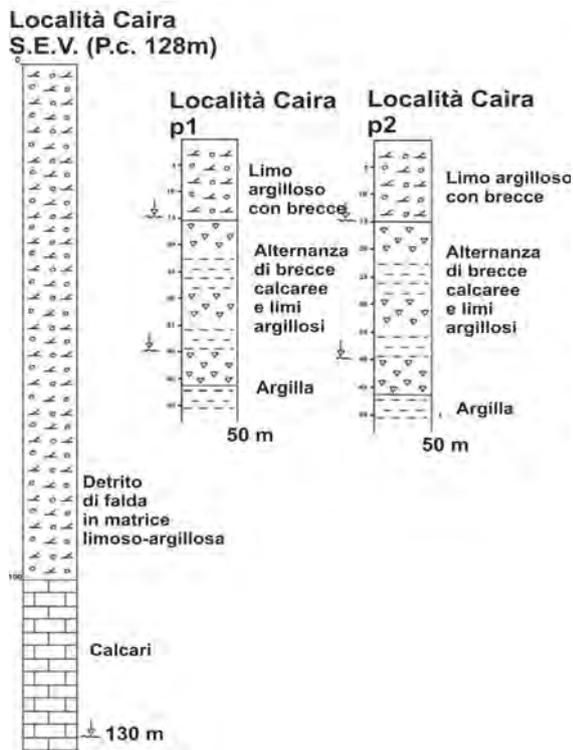


Fig. 81 - Stratigrafie di pozzo rappresentative dell'area di Cairà.  
- Representative borehole stratigraphic data in the Cairà area.

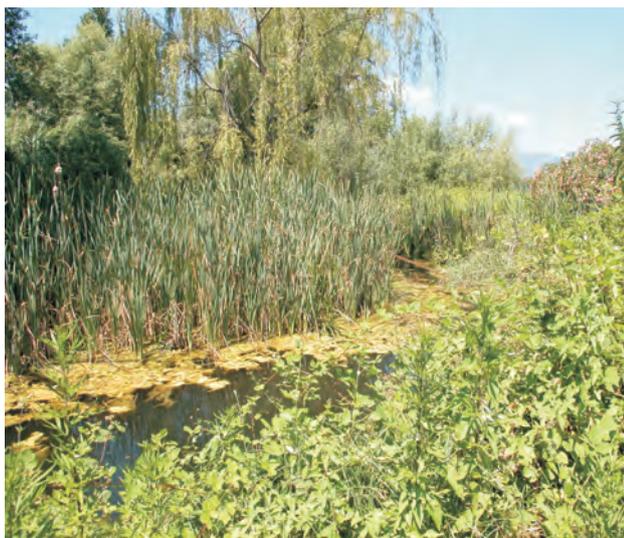


Fig. 82 - La Pescarola, presso Masseria Chiusavecchio.  
- *Pescarola pond, near Chiusavecchio farm.*

*ho trovato la sua periferia di 525m (con un diametro medio di 165 metri circa)».*

In 164 anni lo svasamento dei bordi con la rimozione delle particelle ha più che quadruplicato le dimensioni originarie (sulla sezione IGM al 10.000 il diametro della paleoforma è di 170 m).

L'interrimento del lago è successivo all'anno 1902; presumibilmente avvenne pochi anni dopo (DEL FOCO, 1902; fig. 78).

#### 4.9. - ALTRE AREE INTERESSATE DA SPROFONDAMENTI

La conferma della presenza dello sprofondamento di Caira nell'area ha stimolato ulteriori ricerche storiche e ricognizioni in tutto il territorio per individuare altre cavità o paleoforme.



L'analisi delle foto aeree di tutta l'area ha messo in evidenza altre tre forme sub-circolari ormai obliterate, due in località Vertelle (con diametri di circa 250 m) e una presso Masseria Chiusavecchio dove si evidenzia una paleoforma gemellata (data dalla fusione di due cavità sub-circolari) con diametro maggiore di 380 m circa.

Il successivo sopralluogo sul terreno presso Masseria Chiusavecchio ha evidenziato la presenza di un piccolo lago (fig. 82) ormai quasi estinto: la Pescarola (la denominazione antica ricordata dagli abitanti, i quali affermano che si formò naturalmente), con diametro attuale di 25-30 m e scarsa profondità. Alcuni abitanti affermano che il lago era già presente alla fine del 1800 con dimensioni molto più grandi ed adibito a vivaio. Negli archivi della Abbazia benedettina, un atto di vendita presente nei Regesti ha confermato la presenza della Pescarola già nel 1676.

Nel 1920 tutta l'area è stata bonificata e molte polle, stagni ed eventuali cavità sono stati ricolmati. Inoltre, durante il sopralluogo, è emerso che a poca distanza dalla Pescarola era presente un altro specchio d'acqua, presso l'area in cui oggi sorge l'ospedale. Nel corso dei lavori per la costruzione dell'ospedale si sono verificati eccessivi cedimenti del terreno (gli ultimi nell'agosto 2005) che hanno portato alla provvisoria sospensione dei lavori.

Il sopralluogo condotto sul terreno in località Vertelle (dove si distinguevano altre forme sub-circolari) non ha dato però esiti positivi in quanto l'urbanizzazione del territorio ha ormai obliterato le presunte cavità. Nei pressi del lago di Caira (antico Mulino) è stata individuata un'altra paleoforma risalente almeno al 1200.

Nella porzione settentrionale della stessa piana presso S. Elia Fiumerapido, l'analisi fotointerpre-



Fig. 83 - L'area di Sant'Elia Fiumerapido sorgenti e paleoforme di sprofondamento.  
- *St. Elia Fiumerapido area springs and sinkholes ancient shake.*

tativa ha evidenziato la presenza di altre tre paleoforme (fig. 83), di cui due coincidono sul terreno con polle subcircolari con diametri di 8-10 m (Salaluca e Magnesiaca; fig. 83), sedi di sorgenti di acqua mineralizzata, con abbondanti risalite di gas. Le portate stimate delle sorgenti sono di 94 l/sec e 68 l/sec, le conducibilità rispettivamente di 445  $\mu\sigma$  (nel 1996) e 935  $\mu$ , la salinità di 370 e 660 g/cm<sup>3</sup> rispettivamente. Gli alti valori di conducibilità sono compatibili con acque di provenienza profonda.

Presso la polla Magnesiaca è stata eseguita la batimetria con ecoscandaglio che ha fatto registrare la presenza di una cavità tronco-conica, con pareti sub-verticali e profondità di 8 m. Per quanto riguarda i dati di sottosuolo un sondaggio geognostico, reperito nelle vicinanze delle due polle, mostra la presenza di limi argillosi sino alla profondità di almeno 50 m (fondo foro; fig. 84) e di due falde sovrapposte rispettivamente a 24 m e a 49 m, corrispondenti con livelli permeabili. Durante il terremoto del 1984 l'acqua provenien-

te dalla sorgente Magnesiaca ha subito intorbidimento per 3 giorni circa, con risalita di fango.

In prossimità della sorgente Magnesiaca era presente un'altra cavità circolare, oggi inaccessibile, contenente attualmente acqua.

L'esame delle mappe storiche conferma che presso l'abitato di Sant'Elia, nei primi del settecento erano presenti tre laghi uno dei quali in località Acqua Nera; le posizioni coincidono con le polle e le paleoforme individuate.

La seconda area indagata è ubicata presso S. Giorgio al Liri, nella porzione meridionale del bacino Lirino. Nei pressi dell'abitato è ubicato il lago di Acquasanta (fig. 85) che oggi si presenta come un piccolo specchio d'acqua, con diametro di 12 m e profondità di 1,5 m, ma che, in passato, doveva avere dimensioni più grandi, infatti è presente in una mappa storica del 1700 (disegni ad acquerello di M. GUGLIELMELLI; figura 86). Il lago presenta emissioni di gas ed una probabile emergenza al fondo.

Nelle vicinanze del primo lago, nella piana del Liri, è presente un'altra cavità sub-circolare col-

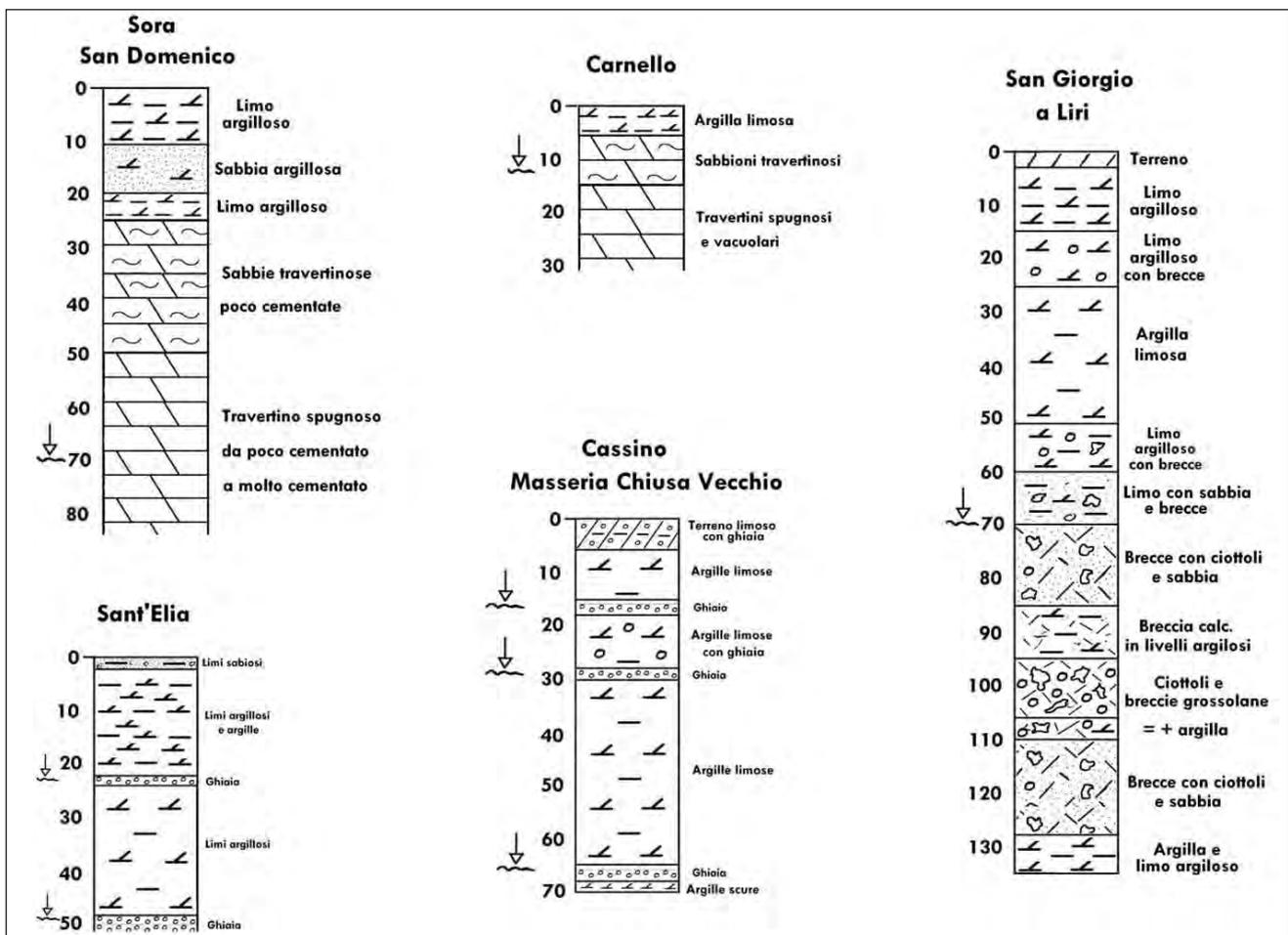


Fig. 84 - Stratigrafie di sondaggio nelle aree investigate.  
- Borehole stratigraphies in the investigate area.

mata d'acqua, sede di sorgente di acqua ferruginosa risalente almeno ai primi del 1700.

All'interno dell'abitato di S. Giorgio al Liri è ubicato il terzo lago ormai con sponde antropizzate e collegato al Liri tramite canale artificiale, la cui origine dovrebbe risalire a più di 300 anni (è infatti riportato nelle carte antiche di GATTOLA, 1734, e di GUGLIELMELLI, 1715; fig. 86). Il diametro della cavità è diminuito nel tempo, attualmente si attesta intorno ai 30-40 m e la profondità è pari a circa 2 m.

La forma del lago di S. Giorgio in origine era circolare; infatti l'urbanizzazione dell'area ha seguito la morfologia dell'antico perimetro del lago, e ciò testimonia che la nascita dell'abitato è successiva allo stesso (informazioni fornite dal Comune di San Giorgio a Liri).

Una quarta cavità asciutta, ormai obliterata, è presente presso località S. Marco: negli anni 50 il diametro si attestava intorno ai 47 m, attualmente è pari a circa 20 m; probabilmente la cavità naturale è stata successivamente sfruttata per recupero di inerti.

Dai dati raccolti emerge che le conducibilità sono compatibili con lo scorrimento delle acque in terreni di natura alluvionale, i valori di pH

potrebbero essere stati contaminati con apporti di acque superficiali e di scolo provenienti dai canali artificiali.

I dati di sondaggio, nei pressi del lago di S. Giorgio (fig. 84), mostrano una successione di limi e argille sino alla profondità di 85 m successivamente brecce calcaree e ghiaie sino alla profondità di 128 m, ed infine argille sino a foro 135 m. Il substrato carbonatico, non riscontrato mai in sondaggio, pertanto, è molto profondo; si può escludere così una genesi carsica dei laghetti. Nei sedimenti è stata, inoltre, riscontrata una falda in pressione alla profondità di 70 m che risale sino al piano di campagna.

La terza area indagata è la piana di Sora (fig. 87), a nord-ovest di Cassino, in cui è stato rinvenuto un antico lago oggi ricolmato, il Lago Tremoletto. Questo è ubicato nella tenuta dei Conti Manconi, secondo alcune fonti l'origine risale ad alcuni secoli addietro, in epoca borbonica; risulta comunque già presente nei primi del 1800. Secondo altre fonti esso sarebbe stato originato da un episodio catastrofico, e caratterizzato dalla presenza di tremori e boati nel sottosuolo, da cui il nome "Tremoletto". A partire dal 1800 il lago ha iniziato a colmarsi per



Fig. 85 - I laghi presenti presso S. Giorgio al Liri.  
- *St. Giorgio al Liri lakes view.*

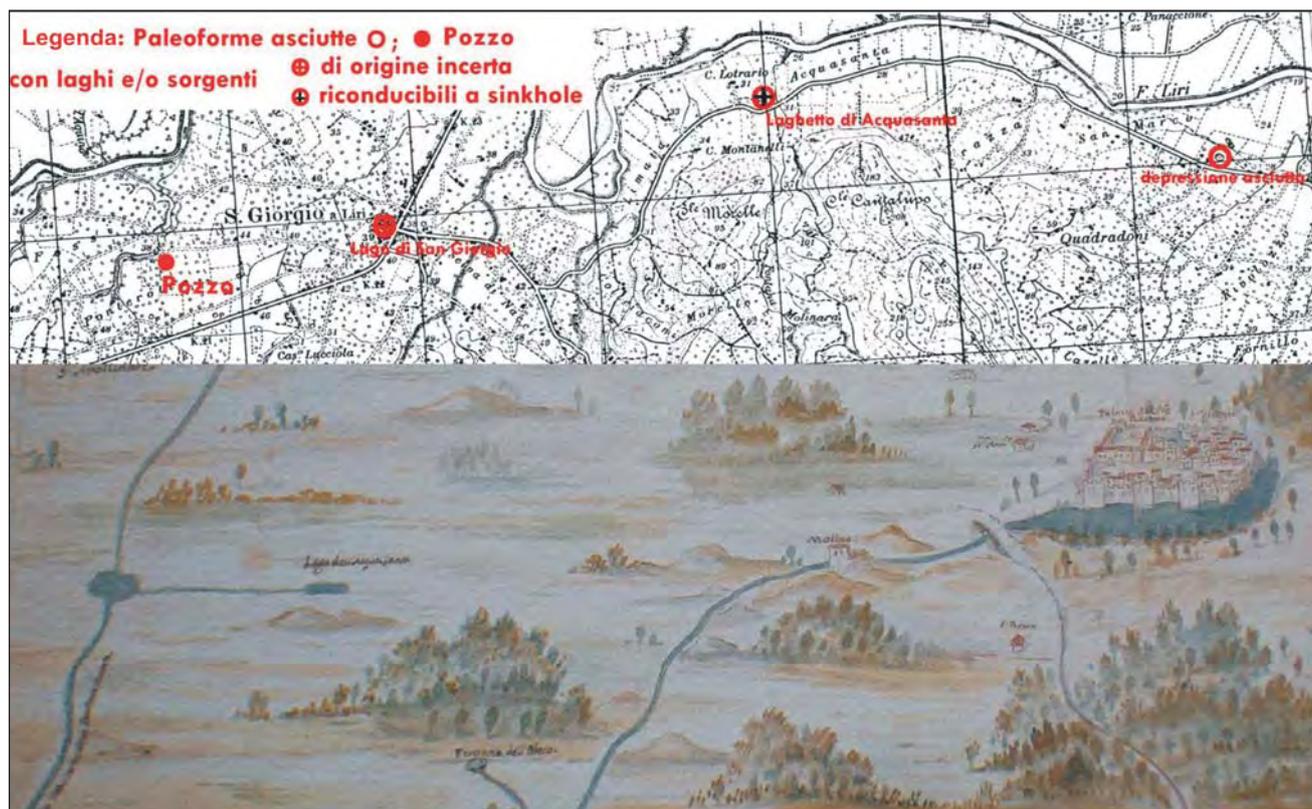


Fig. 86 - In alto ubicazione dei laghi e dei pozzi presso S. Giorgio al Liri. In basso i disegni ad acquerello di GUGLIELMELLI, 1715, in cui sono ubicati alcuni laghi.  
- At the top localization of the lakes and the boreholes near S. Giorgio al Liri. At the bottom watercolours tables from GUGLIELMELLI, 1715, showed some lakes.

gli apporti detritici del Fiume Fibreno e ridotto ad un piccolo specchio d'acqua, dopo il 1948, è stato definitivamente bonificato. Le stratigrafie dei sondaggi geognostici mostrano una copertura sedimentaria di sabbie e limi sino ad una profondità variabile tra i 15 m e i 25 m; al di sotto si rinven-gono sabbioni calcarei e bancate di travertino di spessore complessivo di circa 20 m. I sondatori hanno riscontrato la presenza di vuoti alla profondità di 20-25 m. Il livello di falda si attesta ad una profondità media di 40-50 m circa.

Ulteriore conferma della presenza di fenomeni di sprofondamento all'interno della piana di Sora proviene dalla cronaca del terremoto di Avezzano, del 13 gennaio del 1915, quando si è aperta una cavità nel terreno con fuoriuscita di acqua mista a fango con formazione di vulcanelli e fontane di sabbia.

Dalle osservazioni finali sulle ricognizioni effettuate di paleoforme e dei laghi rinvenuti tra la piana di Cassino e S. Giorgio al Liri, si evince che essi si allineano secondo una direttrice orientata circa NS (N10E): la *falla Theodicea*.

#### 4.10. - ANALISI E CONSIDERAZIONI

La situazione geologico-strutturale ed idrogeologica della Bassa Valle Latina, ed in particolare

modo delle piane di Cassino e Sora, è predisponente alla formazione di fenomeni di *sinkhole* (NISIO & SCAPOLA, 2005).

Le piane su cui si sviluppano gli abitati sono di origine tettonica; i depositi quaternari che le colmano, con spessori di oltre cento metri, sono costituiti in prevalenza da un'alternanza di limi e argille, dotate di discreta consistenza e subordinatamente da sabbie e ghiaie; solo a luoghi, includono bancate



Fig. 87 - L'area di Sora, ubicazione del Lago Tremoletto.  
- Sora village area, localization of the Tremoletto lake.

o lenti di travertino (ad ovest del F. Gari, per esempio presso la Piana di Sora, e i dintorni di Aquino).

Le dorsali carbonatiche circostanti le piane sono fortemente interessate da fenomeni carsici (doline di crollo o di soluzione normale); il substrato carbonatico, al di sotto della copertura quaternaria, è profondamente disarticolato da diversi sistemi di dislocazioni ed è sede di un acquifero confinato, in cui si esplica una notevole circolazione idrica (sorgenti con portate complessive superiori ai 20 m<sup>3</sup>/s).

A ciò si associa una forte circolazione sotterranea di fluidi aggressivi per la presenza di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S legati al vulcanismo di Roccamonfina e/o ad una circolazione molto profonda all'interno di sistemi di faglia.

L'attività antropica con emungimento indiscriminato delle acque dal sottosuolo, dal 1984 ad oggi, ha determinato l'abbassamento repentino del livello di falda e la migrazione di alcune sorgenti. L'attività tettonica recente del settore è testimoniata dalla sismicità sia storica che strumentale che ha colpito in particolare l'area di Cassino dove, in occasione anche di piccole scosse strumentali, si sono verificati cedimenti del terreno di alcuni centimetri.

Tali caratteristiche al contorno conferiscono all'area tutte le condizioni predisponenti ed innescanti per la formazione di fenomeni di sprofondamento (*sinkhole* s.s.).

Infatti l'intera area in epoca storica era caratterizzata dalla presenza di piccoli laghi di forma sub-circolare, (nota per questo motivo come Terra dei Laghi) rinvenuti su mappe antiche (ne sono stati individuati ben 23), ma oggi scomparsi o di difficile ubicazione, inoltre alcune leggende e fonti storiche narrano dell'apertura nel terreno di grandi voragini.

La ricerca sul territorio ha permesso di individuare alcune morfologie sub-circolari coincidenti con piccole polle, specchi d'acqua o cavità. Tra questi il lago Tremoletto, nella piana di Sora (di cui purtroppo si hanno pochi dati), che si è formato in seguito ad uno sprofondamento repentino del terreno in epoca borbonica non precisata; in parte interrito dagli apporti detritici del F. Rapido, è stato ricolmato artificialmente dopo il 1948.

La presenza però al di sotto del lago di bancate di travertino e la segnalazione da parte dei sondatori di alcuni vuoti, riscontrati durante i lavori di escavazione, possono far ipotizzare per questo lago un meccanismo assimilabile a un *cover-collapse sinkhole*. Nella stessa piana di Sora, tuttavia, le cronache del terremoto di Avezzano nel 1915 descrivono l'apertura di una cavità con connessi episodi di liquefazione e di fuoriuscita di acque mineralizzate.

Più a Sud, nel Bacino Lirino, le ricerche stori-

che hanno portato all'individuazione di altri laghi di forma sub-circolare: i laghi di S. Giorgio e Acquasanta non riconducibili a fenomeni carsici in quanto originati al di sopra di una copertura argillosa-limosa (con spessori maggiori di 135 m) in cui è presente una falda in pressione.

La presenza di avvenuti episodi di sprofondamento con meccanismi profondi è stata accertata con lo sprofondamento di Caira, noto in letteratura come Lago di Caira, formatosi nella notte fra il 18 ed il 19 febbraio del 1724. La raccolta di dati ha permesso di avere un quadro chiaro ed esauritivo della situazione.

Il Lago di Caira si è formato nella piana omonima, a poca distanza dall'abitato, su di una copertura costituita da un'alternanza di argille, limi argillosi con ciottoli calcarei e ghiaie con spessore di cento metri, al di sotto della quale affiora il substrato carbonatico.

La falda profonda è in pressione, mentre i depositi quaternari, al tetto, contengono piccole falde sovrapposte a profondità rispettivamente di 25 m e 40 m dal p.c., in corrispondenza di lenti od orizzonti più permeabili.

La voragine si è aperta in corrispondenza di un elemento tettonico di importanza regionale individuato durante i rilievi di campagna, il cui piano è visibile presso S. Angelo in Theodice: la *faglia Theodicea* (con andamento circa N5-10E) (NISIO & SCAPOLA, 2005).

All'interno della cavità vi era risalita di gas (H<sub>2</sub>S), testimoniata dalle fonti storiche ed, a poca distanza, erano ubicate sorgenti sulfuree (oggi estinte) che alimentavano il corso del Fiume Rapido.

La morfologia della cavità risulta essere cilindrica, con pareti verticali profonde 23,5 m; è presumibile pensare che l'alimentazione del lago (il cui livello non oscillava mai) fosse dovuta all'apporto della falda più superficiale (25 m di profondità), ma non si può comunque escludere la presenza di ulteriori piccole polle di risalita di acque sulfuree (infatti periodicamente si assisteva alla morte per asfissia della fauna acquatica).

In quest'area nel 1723 sono registrate nel catalogo dei terremoti molte scosse sismiche (di cui una molto intensa il 18 ottobre) ma non nella notte fra il 18 ed il 19 febbraio 1724 (anche se alcune fonti storiche narrano di un terremoto avvenuto proprio quella notte); pertanto non è possibile ricondurre il fattore innescante ad un evento sismico.

Non è noto, inoltre, se ci sia stata una brusca variazione del livello di falda attribuibile ad un evento pluviometrico importante.

Il processo genetico che ha originato il lago, data la profondità del substrato ed il notevole spessore dei sedimenti di copertura, nonché la loro

composizione (prevalentemente limosa dotata di una certa consistenza), non può essere imputabile al lento scorrimento di particelle verso il basso (*raveling*) in quanto gli orizzonti argillosi-limosi impermeabili renderebbero difficile l'infiltrazione d'acqua e l'asportazione di particelle in profondità.

Inoltre la morfologia della cavità (così come viene descritta) cilindrica e non conica (caratteristica nei processi di *raveling*) fa piuttosto ipotizzare la presenza di un condotto.

Si esclude poi la presenza di una cavità a profondità intermedia (di circa 25-30 m) imputabile per esempio alla presenza di placche di travertino o di breccie carsificabili, in quanto non rinvenute in sondaggio.

Si propone pertanto un meccanismo erosivo che proceda dal basso verso l'alto collegato alla risalita di fluidi arricchiti nella componente gassosa ( $H_2O + CO_2 + H_2S$ ) che avrebbero potuto sfruttare proprio la linea di debolezza, costituita dalla *faglia Theodicea*. Tale circolazione di fluidi accompagnata a processi di erosione, di sifonamento e di suffosione profonda (*deep piping*) dei materiali di copertura porterebbe, nel tempo, fino al collasso finale della copertura detritica.

È quindi possibile che la cavità superficiale dipenda da processi agenti nel *bedrock* posto a notevole profondità.

Da quanto detto è possibile classificare lo sprofondamento che ha dato origine al Lago di Caira come *deep piping sinkhole*.

L'analisi fotointerpretativa su tutto il territorio ha permesso di individuare inoltre paleo-cavità e la verifica sul terreno ha confermato tali ipotesi: all'interno delle paleoforme si rinvenivano laghi in via di estinzione o piccole polle riconducibili a fenomeni del tutto simili a quello avvenuto a Caira che potrebbero essersi formati nell'arco degli ultimi secoli.

Infatti nella piana di Cassino è presente la maggior parte delle forme relitte sub-circolari, riconosciute: nei pressi di Sant'Elia Fiumerapido sono presenti tre forme coincidenti con antichi laghi, dove oggi si individua una piccola polla con sorgente (sorgente Magnesiaca); a poca distanza da Cassino sono state individuate altre paleoforme e la verifica sul terreno ha portato alla conferma della presenza di un piccolo lago, la Pescarola, (presso Masseria Chiusavecchio), ormai quasi in estinzione. Gli abitanti del luogo ricordano la presenza di un altro lago dove oggi sorge l'ospedale. A poca distanza dal lago di Caira è inoltre presente una ulteriore morfologia subcircolare, delimitata da piccole scarpate, nelle cui vicinanze sorgeva un antico mulino (anno 1200), gli abitanti ricordano che anticamente era presente una sorgente e polle d'acqua stagnante.

Dai dati raccolti sull'intera area si può infine asserire che la piana di Cassino, quella di Sora e parte del territorio in pianura della provincia di Frosinone sono aree ad elevata suscettibilità di *sinkhole*, inoltre la crescente urbanizzazione del territorio e gli aumentati emungimenti di acqua dal sottosuolo ne fanno incrementare il rischio. Infatti i lavori di costruzione di alcuni edifici (tra cui il nuovo ospedale) al di sopra di una paleoforma di sprofondamento hanno subito già alcuni problemi durante l'esecuzione, ed altri ben più gravi potrebbero verificarsi in futuro soprattutto in seguito ad eventuali scosse sismiche, anche solo di tipo strumentale. Pertanto il verificarsi oggi di un evento calamitoso, come quello che ha portato alla formazione del lago di Caira, potrebbe certamente provocare oltre a danni gravi all'edilizia perdita di vite umane.