

**INDIVIDUAZIONE DI AREE A RISCHIO DI SPROFONDAMENTO E STUDIO
DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA IN ALCUNE AREE CAMPIONE DELLA
REGIONE ABRUZZO.**

DR.SSA DANIELA LUDOVICO

TUTOR: DR.SSA STEFANIA NISIO

COTUTOR: DR. GIANCARLO CIOTOLI

Premessa.

Questa tesi di stage è nata come approfondimento di un più generale studio svolto dall'APAT sui fenomeni di sprofondamento naturale (sinkhole). Da alcuni anni infatti il Servizio Geologico-Dipartimento Difesa del Suolo censisce e studia i fenomeni tipo piping sinkholes sviluppatisi sul territorio italiano analizzandone il contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico (Progetto Sinkhole) anche ai fini della ricostruzione del meccanismo genetico, della classificazione delle forme e della individuazione delle aree a rischio.

Nell'ambito di questa attività si è evidenziata la necessità di svolgere studi più circostanziati in aree in cui i dati di letteratura erano scarsi o del tutto assenti. Nello specifico alcune aree dell'Abruzzo, in cui sono sviluppati i fenomeni carsici, hanno richiesto approfondimenti specialistici per un corretto riconoscimento e classificazione di alcune forme riconosciute in aree di pianura.

In questa tesi la dott.ssa Daniela Ludovico ha svolto uno studio multidisciplinare su alcune cavità riconosciute nella Valle dell'Aterno in provincia dell'Aquila, la cui genesi era stata diversamente interpretata nel tempo dagli Autori.

Il lavoro che ne è scaturito è un bell'esempio di applicazione multipla di tecniche specialistiche di campo, di laboratorio e di rappresentazione dei risultati utilizzate nelle Scienze della Terra per la comprensione ed interpretazione dei fenomeni naturali.

Infatti attraverso un attento studio di testi e carte antiche presso biblioteche tecniche ed archeologiche, l'analisi fotointerpretativa per l'individuazione delle principali caratteristiche geomorfologiche e strutturali dell'area, il rilevamento geo-strutturale e geomorfologico condotto in situ per la verifica puntuale della situazione attuale, l'acquisizione dei dati geochimici e batimetrici di alcune depressioni occupate da laghetti, la ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo attraverso i dati dei pozzi censiti con la legge 464/84, nonché l'esame degli eventi sismici e degli studi precedenti, si è giunti alla definizione di un quadro geologico-interpretativo ragionevolmente certo e completo dell'area in esame. Molte delle informazioni acquisite sono state rappresentate, mediante un GIS, in un primo tentativo di realizzazione di una carta della pericolosità per tutta la regione Abruzzo.

Stefania Nisio

Abstract.

Karst phenomena in the Abruzzo region are widespread present due to the diffusion of carbonatic outcrops, otherwise in plain areas sinkhole phenomena strict sense are still less known and studied.

On the basis of the recent researches these landforms are primarily concentrated in alluvial plains, in the immediate vicinity of carbonate ridges or in complex geological-structural and hydrogeological and are originated by piping phenomena.

Furthermore, the presence of fault acting as route for acidic fluids (enriched in CO₂ and H₂S) migration which dissolve and/or pass into the groundwater and make it more aggressive, has been recognized in many cases. Sub circular ponds, that lie in several plains of the Abruzzo region, could represent these piping sinkholes actually water filled. Piping sinkholes could be triggered by various natural causes (seismicity, drought, flood, pumping of water etc.). Regarding seismicity the Abruzzo region has been hit by several earthquakes in the past (L'Aquila in 1703 and Avezzano in 1915).

In the Abruzzo region areas affected by these phenomena are intermontane tectonic valleys bordered by direct or strike – slip regional faults and filled by thick alluvial deposits (i.e. Sulmona and Fucino plains).

Sinkholes occur in zone characterised by thick alluvial and lacustrine deposits and should not be related to karst phenomena, as shown in some appenninic river valleys.

Several sinkhole prone areas are aligned along the Aterno river valley fault; this fault is a direct Apennine regional master fault about 68 kilometres long and with a strike of some tens of meters.

In this work the first results of the Abruzzo region sinkholes census and a theory about the sinkhole prone areas 's origin is presented.

Indice.

Abstract.....	2
Introduzione.....	5
L' Area di studio.....	6
Inquadramento geologico-strutturale.....	7
La Faglia dell'Aterno.....	11
Cenni sul carsismo dell'area.....	16
Inquadramento idrogeologico.....	17
Sismicità dell'area.....	21
I fenomeni di Sinkhole concetti generali.....	26
I fenomeni di sprofondamento nella Valle dell'Aterno.....	28
L'area di Pizzoli-Amiterno.....	30
L'area di S.Gregorio-Civita.....	33
L'area di S. Demetrio ne Vestini.....	38
L'area di S. Pio delle Camere.....	46
L'area di Raiano – Prezze.....	50
Carta di pericolosità da sinkhole nella regione Abruzzo.....	54
Discussione e Conclusioni.....	57
Bibliografia.....	62

Introduzione.

In Italia, i fenomeni repentini di sprofondamento del terreno, le cui forme superficiali sono indicate con il termine generico di sinkholes sono molto frequenti e distribuiti su tutto il territorio. I sinkholes si sviluppano nelle pianure alluvionali e costiere e in particolar modo in conche intermontane di origine tettonica in corrispondenza di successioni carbonatiche ricoperte da spessori di terreni alluvionali, piroclastici o marini.

Molti di questi fenomeni si localizzano su importanti strutture tettoniche e si innescano in occasione di eventi sismici di una certa intensità.

Lo scopo del lavoro è stato quello di individuare attraverso un' attento studio geologico-strutturale, idrogeologico e geomorfologico eventuali aree a rischio di sprofondamento e chiarire i rapporti tra la struttura tettonica principale e i fenomeni suddetti.

L' area di indagine scelta è una porzione dell'Abruzzo occidentale, caratterizzata da elevata sismicità, in cui sono presenti importanti strutture tettoniche attive.

In particolare è stata indagata la valle del Fiume Aterno, in provincia dell'Aquila, piana alluvionale, ubicata all'interno delle dorsali carbonatiche dell'Appennino apertasi durante la fase tettonica distensiva che ha interessato l'Appennino centrale durante il Pliocene.

La valle del Fiume Aterno coincide con un'importante dislocazione tettonica ad andamento Appenninico, e lungo la stessa si individuano a distanza di alcuni chilometri numerose cavità sub-circolari.

La prima parte del lavoro si è svolta attraverso un attento studio preliminare dei dati di letteratura ed una ricerca storica presso biblioteche ed archivi specializzati, che ha permesso di reperire informazioni sulle date di formazione di alcuni fenomeni.

Nota, inoltre, la stretta correlazione tra l'attività sismica e gli sprofondamenti del terreno, è stata svolta un'analisi della sismicità di quest'aree dell'Appennino centrale per chiarire dei legami eventuali tra i grandi terremoti e la formazione improvvisa di queste depressioni.

I successivi sopralluoghi di campagna hanno permesso di reperire dati geologici, geomorfologici ed idrogeologici con prelievo di campioni di acque per la determinazione dei parametri geochimici.

La seconda parte del lavoro è stato lo studio della pericolosità dell'intero territorio abruzzese. Analizzando i dati della regione Abruzzo relativi al progetto sinkhole Apat, ed integrando questi con i risultati ottenuti nella Valle dell'Aterno, è stata studiata la pericolosità geologica da sinkhole su tutto il territorio abruzzese.

L' Area di studio.

L'area studiata è situata a sud – est del Massiccio del Gran Sasso d'Italia, tra l'imponente catena carbonatica del M.te Ocre (m 2.204)- M.te Sirente (m 2.349) e la valle del fiume Aterno. Essa ricade all'interno di un bacino intermontano orientato in direzione NW-SE che si è aperto durante la fase distensiva Pliocenica che ha interessato tutto l'Appennino Centrale. All'interno di questa valle scorre il fiume Aterno il cui corso si è impostato in corrispondenza di un'importante dislocazione tettonica lungo cui sono presenti numerose cavità sub circolari.

Dal punto di vista geomorfologico, la valle del fiume Aterno è caratterizzata dall'intenso sviluppo di morfologie carsiche, sia a piccola scala (doline, campi carreggiati) che a grande scala (polja). Queste ultime, più che forme carsiche sono vere e proprie depressioni tettoniche, associate a sistemi di faglia distensivi, evolutesi in depressioni endoreiche costituenti il livello di base di primitivi reticoli idrografici, ora secchi.

Sul fondo di tali depressioni si sono instaurati nel corso del Pleistocene-Olocene ambienti sedimentari di tipo lacustre-palustre, con sedimentazione di piccoli spessori di sabbie, argille e torbe. Al margine di alcune di esse si aprono inghiottitoi. A quote minori, la piana intermontana del fiume Aterno rappresenta la più grande depressione tettonica dell'area, interposta tra i massicci del Gran Sasso e del Velino-Ocre-Sirente. La sua morfologia è caratterizzata da superfici terrazzate, rilievi collinari e aree pianeggianti modellate in depositi lacustri e fluvio-lacustri relativi a più cicli sedimentari succedutisi nel corso del Pleistocene. Le zone oggetto di questo studio si trovano nel foglio 139 "L'Aquila", nel foglio 145 "Avezzano" e nel foglio 146 "Sulmona" della carta geologica d'Italia a scala 1:100.000 (vedi figura 1).



Figura 1. Schema dell'area studiata (all'interno del poligono).

Inquadramento geologico – strutturale.

L'area di studio ricade tra le dorsali carbonatiche dell'Appennino centrale che rappresenta il risultato di un processo tettonico iniziato verso la fine del Mesozoico e tuttora in atto. L'Appennino centrale è una catena montuosa costituita da una serie di sovrascorrimenti con vergenza adriatica che costituiscono il risultato della tettonica compressiva di età mio-pliocenica.

A partire dal Pliocene, questa porzione di catena è interessata da varie fasi tettoniche distensive orientate in direzione NE –SW e da molteplici fasi di sollevamento che hanno originato un complesso assetto morfologico costituito da bacini intermontani che si alternano a dorsali allungate in senso NW- SE (Basili, Bosi & Messina, 1997).

Il risultato di questi processi geologici è stato un elevato numero di faglie lunghe anche venti chilometri e con orientazione tra NW – SE, NNW- SSE e WNW- ESE. L'area di studio delimitata a nord – est dal massiccio del Gran Sasso e a sud – ovest dall'Alta

valle del fiume Aterno, ha subito un'evoluzione tettonica rappresentata da diversi eventi deformativi. Il primo evento deformativo riconosciuto è di tipo compressivo e causa la formazione di piani di faglia inversi con direzione compresa tra E-W e NW-SE, e di accavallamenti a vergenza meridionale o sud occidentale.

Faglie dirette con direzione NE- SW e il basculamento verso sud-est dei blocchi che formano i rilievi della zona di S. Pio delle Camere – Monte Mattone, dove le giaciture si dispongono quasi ortogonali ai versanti di faglia a direzione NW-SE che bordano la piana di Barisciano - S. Pio delle Camere, sembrano essere collegati ad un evento successivo, collocabile ipoteticamente nel Pleistocene, che potrebbe aver riattivato con movimenti distensivi il sistema di faglie trascorrenti NE –SW. L'ultimo evento, con direzione di estensione NE-SW, causa la riattivazione di antiche faglie compressive e la neoformazione di faglie dirette ad andamento da E-W a NW-SE (D'Agostino. Funicello, Speranza & Tozzi, 1994).

La morfologia del settore in esame che racchiude i prolungamenti sud orientali della catena del Gran Sasso, limitati verso sud dalle depressioni tettoniche della Media Valle del fiume Aterno, è rappresentata da una serie di dorsali allungate in senso appenninico separate da depressioni chiuse, da valli sospese e da depositi di brecce pleistocenici. L'ossatura del rilievo è costituita da calcari mesozoici in facies di margine e retro margine di piattaforma, corrispondenti alle suddette dorsali allungate che immergono verso i quadranti meridionali. Le depressioni chiuse si presentano bordate da faglie con pendenze comprese tra 40° e 70°, con direzione appenninica ed E- W.

L'area studiata è caratterizzata da sedimenti prevalentemente calcarei, molassici e lacustri.

Il Mesozoico è rappresentato da dolomie farinose grigie o biancastre su cui poggiano in concordanza calcari oolitici, compatti e calcari dolomitici.

Segue poi la serie eocenica che oltre alle brecce nummulifere nelle parti compatte intercalate, comprende calcari del tipo maiolica, calcari granulari bianchi e calcari marnosi. La serie miocenica è composta, dal basso verso l'alto, da calcari grigi fossiliferi, marne scistose grigie, argille e arenarie di tipo molassico. I depositi quaternari sono costituiti da conglomerati costituiti da elementi di rocce regionali con spigoli più o meno vivi, legati da cemento calcareo. Questi conglomerati hanno una stratificazione sempre netta e seguono la topografia nel terreno su cui poggiano. I terreni quaternari relativi ai depositi fluvio – lacustri sono molto sviluppati. Occupano aree importanti e vaste e sono costituiti da alternanze ciottolose – sabbiose ed argillose e da marne

calcaree. Quest'ultime sono molto sviluppate soprattutto nella Conca Subequana, sull'altopiano Navelli – Barisciano, a S.Demetrio ne' Vestini. Le marne ricoprono alternanze sabbiose- argillose ed a loro volta sono ricoperte da conglomerati più o meno cementati (vedi figure 2 e 3).



Figura 2 . Schema geologico di una porzione della Valle dell'Aterno.

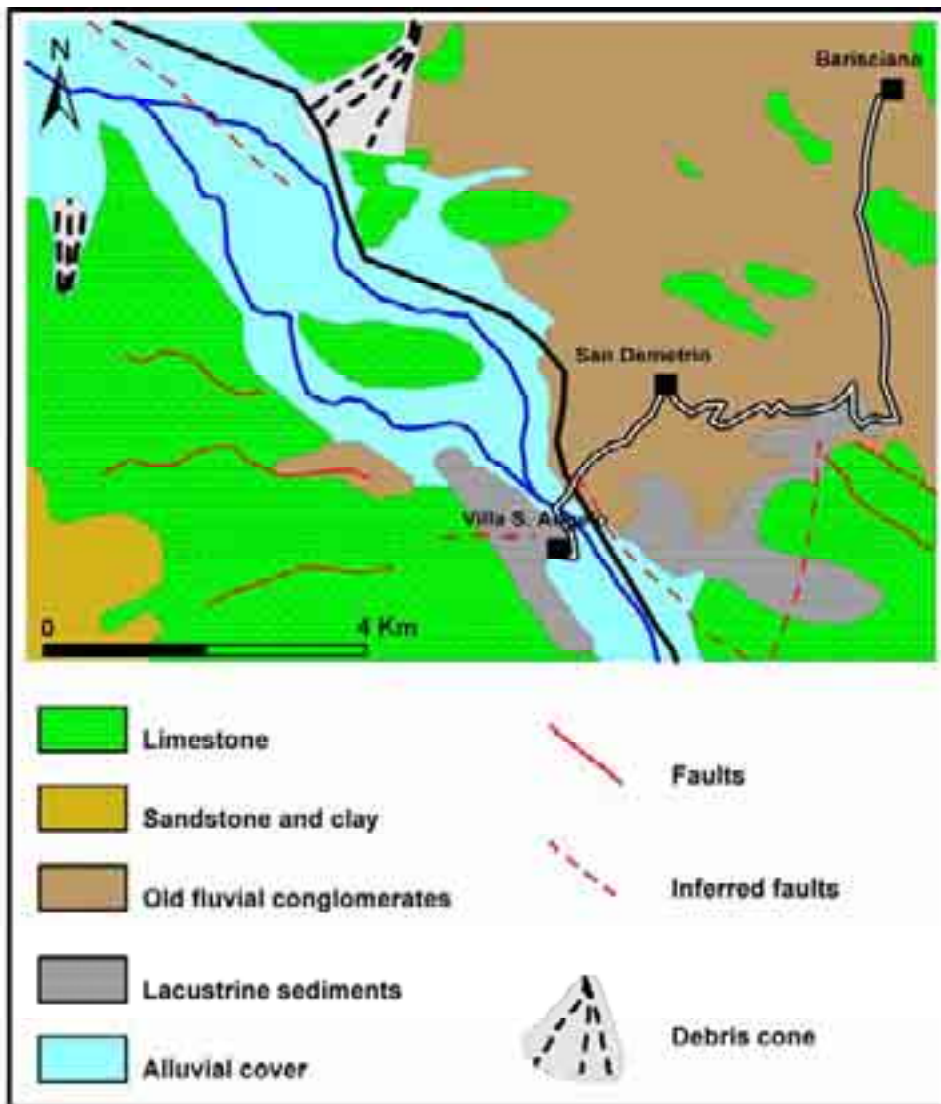


Figura 3. Schema geologico dell'area studiata (da Nisio et alii 2005).

La faglia dell'Aterno.

La faglia dell'Aterno è una lineazione ad andamento NW-SE che si estende da Pizzoli sino alla Piana di Sulmona per una lunghezza totale di circa 68 km.

Lungo i versanti della Valle affiorano successioni continentali costituite da sedimenti fluviali e lacustri che ricoprono un substrato di natura carbonatica. Questi sedimenti sono costituiti da alternanze ciottolose – sabbiose, da marne ed argille. Le marne sono ricoperte da conglomerati più o meno cementati che rappresentano i resti di grandi conoidi di deiezione.

La faglia dell'Aterno presenta una geometria complessa infatti, non c'è accordo tra i vari autori che hanno studiato la sua cinematica.

Gli Autori concordano comunque nel rappresentare un sistema composto da un primo tratto costituito da due sub- segmenti con direzione di circa N140, di lunghezza inferiore ai 10-15Km ciascuno, per una estensione complessiva di ca. 21Km. Verso sud il sistema continua con un ulteriore segmento che delimita a NE la Conca Subequana, per il quale non ci sono evidenze di attività recente. Lungo il margine nord orientale della Valle dell'Aterno, affiorano dei piani di faglia che interrompono la continuità del versante e che sono riconducibili a movimenti tettonici recenti. Secondo alcuni autori, scarpate di questo tipo si sarebbero formate in seguito al terremoto del Fucino del 1915 (Oddone,1915;Serva,1989).

L'intera estensione della faglia dell'Aterno può essere suddivisa in due grandi sistemi di faglie: quelli dell'alta e quelli della media valle del fiume Aterno.

Alta valle del fiume Aterno.

Il sistema di faglie dell'Alta valle del fiume Aterno è composto da quattro segmenti di faglia (M. Pettino, M. Marine, Capitignano e San Giovanni). I primi tre sono responsabili dell'evoluzione di altrettanti bacini (rispettivamente bacino di L'Aquila, di Pizzoli-Arschia e di Montereale; vedi figura 4).

La porzione nord-occidentale della faglia di Capitignano (lunghezza di circa 8 km) mette a contatto il flysch argilloso-arenaceo miocenico con i depositi di versante. Nonostante sia impostata su rocce argilloso-arenacee facilmente erodibili, la scarpata di faglia si presenta estremamente evidente, a testimonianza dell'attività recente di questa struttura. La porzione sud-orientale (lunghezza pari a circa 10 km) interessa il substrato carbonatico miocenico ma, al contrario della porzione nord-occidentale, non presenta evidenze di

attività recente e non interessa, con dislocazioni, i depositi quaternari (da F. Galadini, P. Messina, A. Sposato,).

Le faglie più meridionali (di M. Marine e di M. Pettino) sono caratterizzate da evidenti scarpate di faglia su rocce carbonatiche che mettono in contatto il substrato carbonatico con i depositi di versante stratificati. In alcuni casi i depositi di versante, datati 31.710 ± 760 e 23.330 ± 300 con il metodo del radiocarbonio, sono chiaramente dislocati, a conferma dell'attività tettonica del Pleistocene superiore già indicata dai lavori di Blumetti (1996). La faglia di M. Marine è caratterizzata da un'evoluzione simile a quella di Capitignano. L'intera faglia è infatti, lunga circa 14 km, ma solo la sua porzione sud-orientale (circa 9 km) presenta evidenze di movimenti recenti. Dall'analisi delle superfici relitte è emerso che la porzione nord-occidentale della faglia non presenta significative dislocazioni quaternarie, mentre la porzione sud-orientale, responsabile della formazione e dell'evoluzione del bacino di Arischia, è stata attiva anche in tempi storici (Blumetti, 1995). L'attività recente della faglia di San Giovanni, ubicata tra le faglie di Capitignano e M. Marine, va riferita esclusivamente alla porzione più meridionale della struttura, lungo la quale brecce riferibili alla formazione delle Brecce di Bisegna (Pleistocene inferiore, parte alta; Bosi e Messina, 1991) sono state deformate e basculate. Verso nord-ovest la faglia non interessa né i depositi recenti del bacino di Montereale né un esteso paleo-paesaggio (presente a nord di Montereale) più antico della formazione del bacino stesso. In base alla dislocazione dei depositi del Pleistocene superiore da parte della faglia di M. Marine, Galadini e Galli (in stampa) hanno calcolato un rateo minimo di movimento verticale pari a 0.25-0.43 mm/a. Per la faglia del M. Pettino la dislocazione di un terrazzo riferibile al Pleistocene superiore consente di ipotizzare un rateo di movimento verticale pari 0.47-0.86 mm/anno (Galadini e Galli, in stampa).

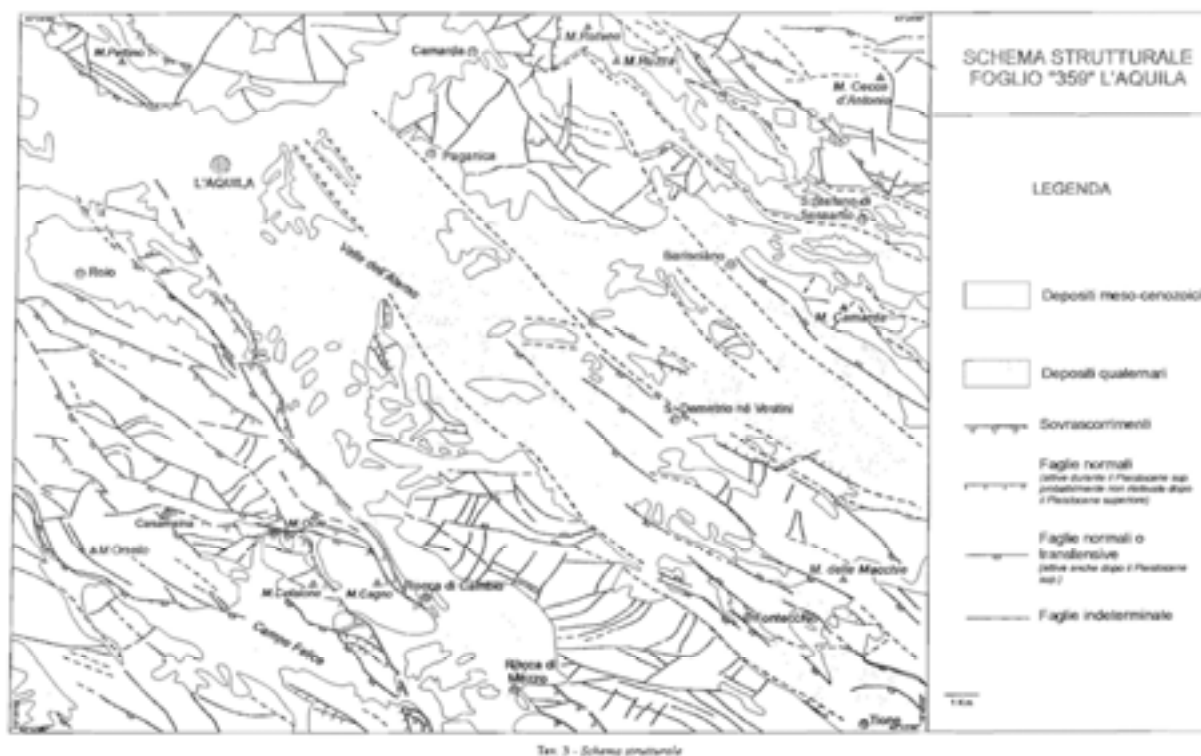


Figura 4. Schema strutturale relativo alle faglie quaternarie della valle dell'Aterno (da Note illustrative del Foglio 1:50.000 L'Aquila).

Media Valle del Fiume Aterno.

La struttura geologica della media valle dell'Aterno è determinata nelle sue linee generali da movimenti di faglia che hanno separato dorsali monoclinali diversamente orientate. Sulla destra della valle le monoclinali immergono verso SW e sono separate da faglie, generalmente inverse, da sub verticali a inclinate verso SW; la parte più occidentale è delimitata dal sovrascorrimento del Monte Cagno. Sulla sinistra della valle dell'Aterno le monoclinali immergono verso NE, le faglie che le separano sono generalmente dirette e inclinate verso sud- ovest (Bosi & Bertini, 1970).

L'inizio di un' attività tettonica distensiva si può collocare nel Pliocene fino all'attuale. Esempi di movimenti posteriori alla sedimentazione lacustre del Pliocene inferiore sono rappresentati da una faglia che interesserebbe il bordo occidentale della Conca Subequana con un rigetto di circa cinquanta metri in corrispondenza di Gagliano Aterno e

da discordanze angolari nei conglomerati fluviali soprastanti ai depositi lacustri nella zona di Madonna dell'Acquatina (S. Demetrio ne' Vestini).

L'esistenza di varie dislocazioni tettoniche nella media valle dell'Aterno è segnalata dall'esistenza di alcune faglie nei sedimenti lacustri di S. Demetrio e S. Nicandro, tra l'Aterno e Barisciano con la sommità dei sedimenti lacustri da quota 600 a quota 830 (una pendenza non di certo originaria dei sedimenti). Inoltre, alcune caratteristiche riscontrate nel reticolo idrografico portano a pensare ad un sollevamento della dorsale nella zona di Barisciano. All'interno della valle, la giacitura delle superfici ed i rapporti che intercorrono tra i vari lembi di successione stratigrafica ha permesso di individuare una serie di dislocazioni con direzione appenninica assimilabili a faglie con piani da subverticali a fortemente inclinati verso SW. Le più importanti ed evidenti sono le faglie dell'Annunziata, di S. Demetrio e del Lago Sinizzo.

La faglia dell'Annunziata è messa in evidenza dalla dislocazione della "superficie di Valle Daria" di circa trenta metri e l'andamento dei limi tra i "limi calcarei di S. Nicandro" e i "conglomerati del fosso dell'Inferno".

La faglia di S. Demetrio è identificabile tra l'abitato e la località Costa Ferro, il suo rigetto è valutato sulla base dell'altezza del gradino morfologico, è di una decina di metri, e si prolunga probabilmente verso NW fino, almeno, all'altezza di Fossa Prinesca.

L'esistenza della faglia del Lago Sinizzo è provata dal brusco contatto laterale tra i "limi calcarei di S. Nicandro" ed i conglomerati che costituiscono la zona posta a SW. Il rigetto complessivo dovrebbe essere di circa 120-140 metri all'altezza della chiesa di S. Croce per poi arrivare ad 80 metri nella zona tra il Lago Sinizzo e la strada S. Demetrio – S. Nicandro. Le faglie sopra descritte compongono una struttura a gradinate rialzata verso NE (vedi figura 5).

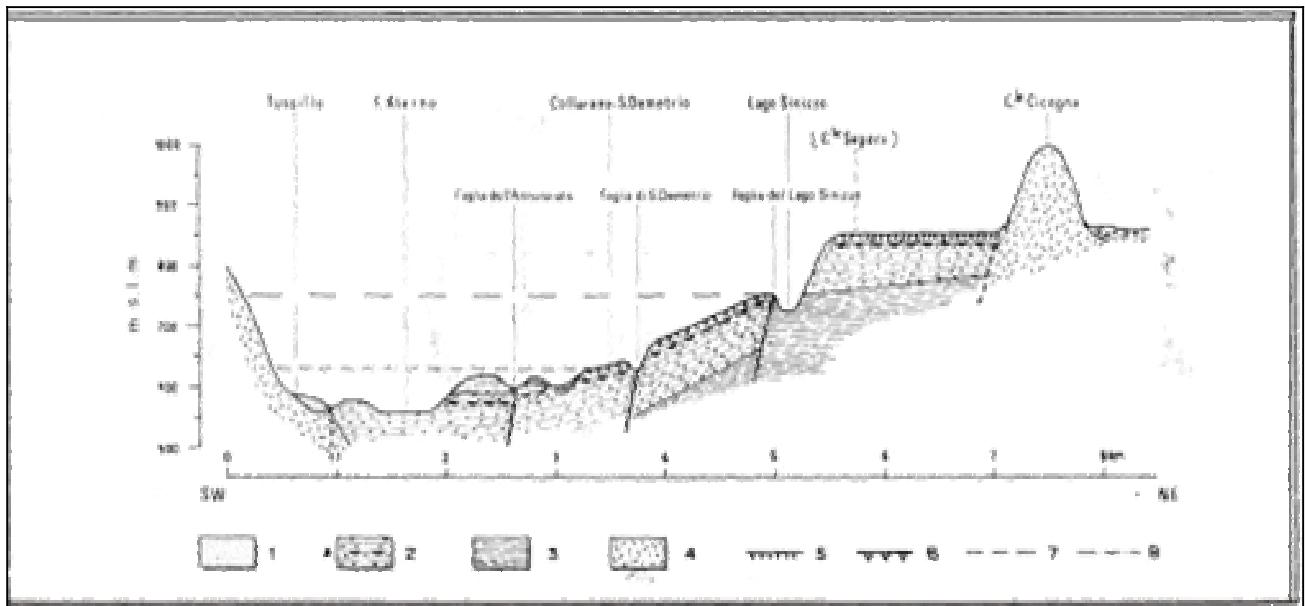


Figura 5. Sezione geologica schematica delle dislocazioni quaternarie dell'area. Legenda:1- Complesso fluvio lacustre superiore; 2- Conglomerati di Fossa dell'Inferno; 3- Limi calcarei di S.Nicandro; 4- Calcari cretatici; 5,7- Superficie di Valle Daria; 6- Superficie Di Ansidonia; 8-Terrazzo; 9- Faglie accertate e probabili; (da Bosi & Bertini,1970).

In relazione a questa struttura, si possono ricavare delle indicazioni sull'entità reale degli spostamenti subiti dalle varie porzioni che la compongono basandosi sulla superficie di colmatazione del bacino lacustre lungo tutta la valle del fiume Aterno. Sulla base di questa ipotesi, si può dunque affermare che la zona compresa tra la faglia dell'Annunziata e quella di S.Demetrio sia stata abbassata da 70 a 100 metri circa; quella compresa tra la faglia di S.Demetrio e quella del Lago Sinizzo dovrebbe esser stata ribassata in misura variabile verso NW da pochi metri, nella zona sud del Lago Sinizzo, a circa 70 metri nella zona di Fossa Cupa. Lo schema di figura 3 mostra una rappresentazione schematica delle dislocazioni.

Cenni sul carsismo dell'area.

Nell'area studiata il carsismo è molto sviluppato e dà luogo a conche più o meno ampie, valli e doline soprattutto nelle zone di Balascio – Barisciano. Fenomeni carsici sono presenti anche nei terreni di depositi fluvio- lacustri (S. Demetrio ne' Vestini) che riempiono di solito le depressioni di origine tettonica in cui si è aggiunto il modellamento carsico come nella Valle dell'Aterno. Nell'Appennino centrale ed in particolare nell'Appennino Aquilano sono molto frequenti e diffusi i fenomeni carsici. Questi che si presentano sottoforma di doline, polje e depressioni si trovano sia lungo le dorsali sia all'interno delle valli apertesesi in seguito a fenomeni tettonici stanno ad attestare l'esistenza di una complicata rete idrografica sotterranea, le cui acque trascinando o dissolvendo i materiali degli strati permeabili che attraversano, scavano o ingrandiscono cavità preesistenti il cui cedimento delle volte può manifestarsi all'esterno con la formazione delle doline. L'origine dei fenomeni carsici nelle conche e nelle valli intermontane però non sempre è ben nota. Le numerose doline e i campi dolinati del carso abruzzese hanno dato luogo ad una ricca e varia toponomastica. Pochi sono i termini geografici che si riferiscono esclusivamente alle depressioni carsiche in esame (es. canetra, codaio, cotturo, scafa, tazza) mentre, predominano quelli generici usati per indicare sia i polja e sia i fenomeni e le situazioni topografiche che non hanno nulla a che fare con il carsismo (es. caforchie, campo, coppo, piano, quarto, valle).

Un esempio della diretta corrispondenza tra il nome e la reale natura geologica è rappresentato dall'abitato di Fossa nei pressi di San Demetrio ne' Vestini che prende il nome proprio da una depressione del terreno. Nella terminologia geografica ed in particolare nella toponomastica regionale, questo termine viene usato per indicare una macrodolina.

Inquadramento idrogeologico.

Il bacino imbrifero del fiume Aterno - Pescara copre una superficie complessiva di 3.188 km², compresa per il 75% in provincia di L'Aquila, il 23,5% in provincia di Pescara e l'1,5% in provincia di Chieti.

Il fiume Aterno nella provincia di L'Aquila rappresenta il corso d'acqua principale e, dopo l'immissione delle sorgenti del Pescara nei pressi della località di Popoli, il principale della Regione Abruzzo. Da questo punto, fino alla foce nel mare Adriatico, prende il nome di Pescara. La portata media annua del fiume Aterno misurata in tre stazioni poste lungo il suo percorso è di seguito sintetizzata:

Stazione	Sup.bacino sott.(Km ²)	Permeabilità (%)	Numero di anni di osservazione	Portata media annua (m ³ /sec)	Media delle portate al colmo(m ³ /sec)
Tre Ponti	114	34	35	1.05	23.4
L'Aquila	431	46	21	3.92	13.8
Molina	1303	60	53	5.10	43.0

Tabella 1. Portata media annua del fiume Aterno.

La lunghezza totale dalle sorgenti dell'Aterno fino al mare è di 145 km, il fiume drena direttamente, o indirettamente tramite sorgenti, un bacino comprendente l'alta, la media e la bassa valle aquilana, una parte del massiccio del Gran Sasso, del Velino e del Sirente.

L'Aterno nasce nei monti sovrastanti alla pianura di Montereale appartenenti alla regione occidentale del gruppo del Gran Sasso. Più precisamente le sue scaturigini si trovano nei dintorni dell'abitato di Aringo, alimentato dalle omonime sorgenti situate sulle pendici di M. Capo-Cancelli (1398 m s.l.m.) e prende il nome di Torrente Mandragone fino alla località Piè di Colle. Nella piana a Nord della Città di L'Aquila, il fiume Aterno riceve importanti contributi dal fiume Vetoio, e dal torrente Raio; a sud dell'abitato di Bazzano, situato a circa 10 km ad est di L'Aquila, il fiume riceve, in sinistra idrografica, l'apporto del fiume Raiale.

Il fiume Aterno ed i suoi affluenti, dalle sorgenti fino a monte della città di L'Aquila, non hanno significative utilizzazioni se si esclude la irrigazione di limitata importanza. La pratica irrigua si fa più intensa a valle dove i corsi d'acqua Aterno e Raiale vengono, pur se per limitati periodi estivi, utilizzati intensamente.

All'altezza della piana di Molina, il fiume Aterno è rifornito dall'omonimo gruppo di sorgenti. In questo tratto non vi sono altre utilizzazioni tali da produrre riduzioni di portata, ad eccezione di prelievi, per usi potabili, da sorgenti con portata limitata.

A valle di Molina il fiume Aterno scorre ripido ed incassato nelle aspre Gole di San Venanzio fino a raggiungere la piana di Molina e quella di Raiano; nelle gole è situata una traversa per la produzione di energia elettrica ed una presa per la irrigazione della sottostante vallata.

Il fiume Aterno a monte dell'abitato di Popoli, circa un chilometro a valle del confine tra le Province di L'Aquila e Pescara, riceve, in destra, il fiume Sagittario, suo principale affluente, che a sua volta riceve le acque dal fiume Gizio e dal fiume Vella. Nell'abitato di Popoli, il fiume Aterno riceve le acque del Pescara e prende il nome di Pescara.

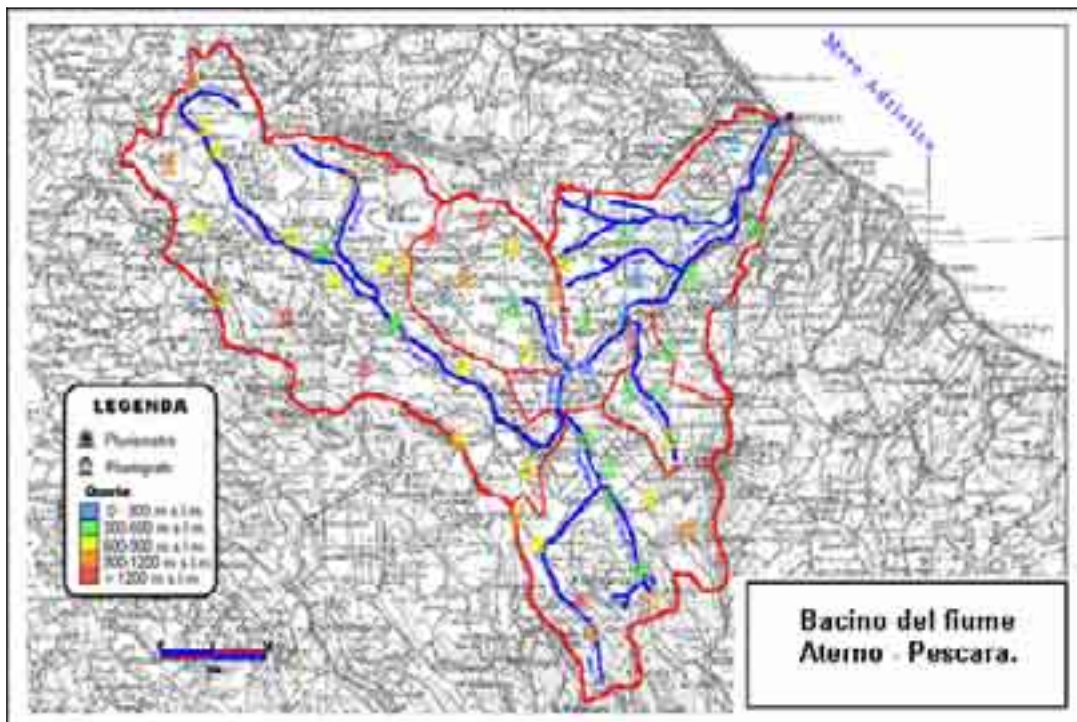


Figura 6. Bacino idrografico del fiume Aterno – Pescara.

Per quanto riguarda l'analisi idrogeologica dell'area è fondamentale considerare che i sedimenti detritici del Quaternario che affiorano su tutta l'area hanno l'importante funzione di ricarica e serbatoio per i corsi d'acqua superficiali ed in particolare per il fiume Aterno.

Lungo tutta la valle del fiume, l'alternarsi dei depositi lacustri, fluviali e di conoide comporta l'esistenza nel sottosuolo di falde acquifere sospese e trattenute dalle argille basali. I sondaggi condotti su tutta l'area studiata rivelano quanto segue in dettaglio:

- nell'abitato di Civita di Bagno è stata rilevata la presenza di due acquiferi sovrapposti a quota 543 a -60 metri dal piano campagna e a quota 539 a -64 m dal piano campagna.
- Il sondaggio di 102m effettuato in località Prata d'Ansidonia per verificare la presenza di acquiferi partendo da quota di 785m mostra la presenza di due acquiferi separati posti rispettivamente a quota 40 m e 102 m.
- Molteplici sono i sondaggi eseguiti in diverse località limitrofe all'abitato di San Demetrio ne' Vestini : Onna, Ocre, Fossa e l'Aquila. In tutti i sondaggi sono stati individuati almeno due acquiferi sospesi posti a quote differenti all'interno di formazioni marnose - arenacee per le falde più superficiali e in formazioni calcaree per quelle più profonde.

In seguito ad un attento studio condotto sulla cartografia dell'area in scala 1:25.000 sono state individuate numerose sorgenti. In particolare, sul versante nord- occidentale del Monte Ocre (2204m) nei pressi degli abitati di Civita di Bagno e Bagno Grande in un'area di circa 30km² sono presenti molte sorgenti e pozzi perenni. A sud –est dell'abitato di Lucoli Alto, lungo la strada che corre parallela al torrente “Il Rio” si trovano numerose sorgenti che seguono l'andamento della valle orientata in direzione appenninica.

L'esistenza di formazioni calcaree caratterizzate da un alto assorbimento per fessurazione e carsismo che rivestono un ruolo fondamentale di ricarica di un acquifero sottostante potrebbe giustificare la presenza di così tante sorgenti puntuali. Lì dove infatti, sono maggiori le fratture della roccia e le manifestazioni carsiche di superficie come le doline e gli inghiottitoi la permeabilità risulta elevata (vedi figura 7).

Abbastanza numerose sono le acque minerali della provincia dell'Aquila ed appartengono principalmente al gruppo delle clorurato – sodiche e a quelle delle solforose e solforose – ferruginose (Pinali & Vinaj, 1923).

Sulla sponda destra del fiume Aterno, nei pressi dell'abitato di Rajano esistono due sorgenti denominate “Acqua sulfurea della Quaglia” e “Acqua sulfurea del Pescara”.

Nei dintorni di queste in passato sono stati scoperti dei ruderi riconducibili ad antichi bagni e poco distante si poteva osservare un piccolo lago di acqua solforosa che da molti si credeva occupasse un cratere di un vulcano spento.



19

Sismicità dell'area.

In Abruzzo sono avvenuti alcuni tra i maggiori terremoti dell'Italia Centrale (vedi figura 8).

L'informazione storica relativa ai terremoti più distruttivi dell'Appennino centrale evidenzia che l'area aquilana è stata interessata da una delle scosse della disastrosa sequenza del 1349 (intensità pari a IX – X MCS a l'Aquila, Monachesi e Stucchi, 1997).

Prima di questo evento l'area aveva già subito il terremoto del 1315, i cui effetti sono tuttavia, poco noti. In seguito, l'Aquila e l'alto Aterno sono stati interessati dal terremoto del 1461 e del 1762 (intensità pari a X e IX rispettivamente a l'Aquila) con effetti di certo non paragonabili a quelli del 1349 e 1703.

Questi eventi sismici si sono verificati con cinematismi piuttosto complessi e con epicentri in aree distinte, interessando anche le regioni confinanti come il Molise (1349) e l'Umbria (1703). L'evento sismico che però, provocò più danni e vittime modificando l'assetto di una grande porzione del territorio fu il terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915 (intensità del VII grado della scala Mercalli).



Figura 8. I principali terremoti storici dell'Appennino Centrale (INGV).

In seguito ad una ricerca condotta sui terremoti storici che si sono verificati nell'Appennino centrale, ed in particolare nell' area di studio, possiamo indicare dal punto di vista cronologico i seguenti eventi sismici con particolare riguardo agli effetti causati sul territorio circostante:

Evento Sismico	Intensità	Informazioni storiche
1349 <i>settembre</i>	X-XI	E' uno dei più importanti terremoti dell'Appennino centro-meridionale. I danni più gravi e le vittime si ebbero in due aree distinte: al confine tra l'Aquilano e valle del Salto e nella zona tra Isernia e Cassino (FR).
1456 <i>5 dicembre</i>	XI	Le informazioni sono scarse e frammentarie.
1461 <i>26 novembre</i>	X	Alcuni eventi del periodo sismico, che terminò nel febbraio 1462, produssero danni gravi a l'Aquila e nel suo contado, causando numerose vittime.
1639 <i>7 ottobre</i>	X	Tre eventi provocarono il crollo di molte costruzioni e numerose vittime ad Amatrice (AQ) e in altre località del versante nord-ovest dei Monti della Laga.
1654 <i>23 luglio</i>	X-XI	Un terremoto produsse danni molto gravi, in alcuni casi con vittime, in numerose località delle province di Frosinone e di l'Aquila.
1703 <i>14 gennaio</i>	XI	Tra il gennaio e il febbraio 1703 una serie di terremoti colpì un'ampia area dell'Italia centrale; molte località dell'area compresa tra Norcia(TR), Cittareale e l'Aquila furono completamente distrutte. Le vittime furono circa 10.000.
1706 <i>3 novembre</i>	X-XI	Questo terremoto produsse distruzioni e vittime in numerosi centri abitati della Maiella. I danni si estesero per tutto l'Abruzzo e il Molise.
1762 <i>6 ottobre</i>	IX	La scossa principale avvenne il 6 ottobre 1762 (ore 12:10 GMT ca.). Il terremoto fu avvertito fortemente nei vicini paesi di Barisciano (AQ) e San Demetrio ne' Vestini (AQ), dove non sono ricordati danni
1904 <i>24 febbraio</i>		Le scosse sismiche si sono avvertite nel comune di Barisciano (AQ) e in altri comuni della provincia dell'Aquila.
1915 <i>13 gennaio</i>	XI	Terremoto della Marsica: oltre 30.000 morti. Distruzioni e vittime interessarono tutti i paesi della zona del Fucino; l'evento fu avvertito dalla Basilicata al Veneto.
1933 <i>6 settembre</i>		Le aree colpite sono state quelle appartenenti ai comuni di Zizzoli (AQ), Barisciano (AQ) e l'Aquila.
1958 <i>giugno</i>		Il terremoto con una magnitudo VII ha colpito le zone di S.Demetrio ne' Vestini (AQ), Fossa (AQ), Pizzoli (AQ), Scoppito (AQ).
1962 <i>6 ottobre</i>		Il terremoto viene avvertito nel centro del comune di Barisciano (AQ).

Tabella 2. I più importanti eventi sismici che hanno colpito l'area studiata (da D. Postpischl, a cura di, 10 domande sul terremoto, GNDT, 1994; integrato).

Accanto ai danni provocati ed alle vittime causate, la ricerca ha cercato di evidenziare soprattutto la stretta correlazione tra l'evento sismico e l'apertura repentina di cavità e voragini nel terreno. Dalla documentazione storica degli archivi dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), abbiamo raccolto le seguenti notizie:

Terremoto del 5 dicembre 1456.

In diverse località (Benevento, Isernia, Napoli, Castellammare di Stabia, Ascoli Satriano e Fornelli (IS)) si aprirono fenditure nel terreno e si intorbidirono le sorgenti; gli effetti più rilevanti avvennero a Bojano (CB), che fu sommersa dalle acque, probabilmente a causa di una frana che interruppe il corso del fiume Biferno, e a Castel di Sangro, che fu investita da una frana staccatasi dal monte soprastante.

Terremoto del 7 ottobre 1639.

Ad Amatrice (AQ) alcune sorgenti si disseccarono e altre si intorbidirono; ad Accumoli (FR) in un vigneto di proprietà dei frati francescani fu osservato un avvallamento superficiale.

Terremoto del 23 luglio 1654.

Una frana investì l'abitato di Roccasecca (FR) aggravando i danni causati dal terremoto. Tra Isola del Liri e Sora (FR) si aprì una grande voragine; una larga fenditura si aprì sul monte Corvo (Massiccio del Gran Sasso).

Terremoto del Gennaio- Febbraio 1703.

Le notizie riguardanti la sismicità storica fanno notare che l'area è stata interessata nel 1703 da una delle più distruttive sequenze sismiche che hanno interessato l'Italia peninsulare. La sequenza è caratterizzata da tre eventi principali di cui l'ultimo con epicentro nella zona dell'Aquila, è risultato di intensità pari a X MCS (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999). La cronologia degli eventi principali (14 gennaio, 16 gennaio, 2 febbraio) e l'ubicazione delle aree epicentrali evidenziano l'attivazione progressiva di sorgenti sismogenetiche in direzione appenninica, da nord verso sud (Moro M., Bosi V. et al., 2002).

Unitamente ai crolli degli edifici ed ai danni umani si crearono, nelle aree colpite, degli sprofondamenti del terreno anche di notevoli dimensioni. Le numerose scosse causarono rilevanti aspetti sull'ambiente: voragini e spaccature nel terreno, fuoriuscita di materiale infiammato e di gas sulfurei, dissesti e variazioni del corso dei fiumi, formazione di laghetti. Ne abbiamo testimonianza dagli scritti di Francesco Cappa il quale raccolse delle memorie che si riferivano al terremoto del 2 febbraio del 1703. Nei suoi scritti narra di voragini di grandi dimensioni che si aprirono improvvisamente nei paesi di Sigillo e Lucoli (AQ) durante il suddetto terremoto e da cui fuoriuscivano fiaccole di fuoco e fumi.

Si racconta in particolare, della voragine di Sigillo (AQ) che sembra fosse molto lunga (circa venticinque canne) e molto larga (circa venti canne) e la cui profondità non fosse calcolabile per mancanza di strumenti idonei alla misurazione; ciò accadde in un altopiano che fino ad allora era stato utilizzato come pascolo. Tra le voragini o sinkhole apertesì nell'Appennino in seguito alla scosse sismiche del terremoto del 1703 si ricordano anche quelle che si aprirono presso il torrente Pizzoli (AQ) nel bacino del fiume Aterno dove si formò una voragine dalla quale uscì con violenza una colonna d'acqua solforosa fino all'altezza di un "alto pioppo" ed il cui getto durò fino al 20 febbraio (dal terremoto del 2 febbraio) (Bersani & Moretti, 2004).

Terremoto del 3 novembre del 1706.

Spaccature del terreno a Pettorano sul Gizio(AQ) e a Caramanico (AQ) ; in particolare, una grande fenditura da cui uscirono gas solforosi si aprì nelle vicinanze della Maiella, dove vennero anche uditi dei rombi sotterranei.

Terremoto del 13 gennaio 1915.

Gli effetti causati dal terremoto sui suoli furono notevolissimi e si estesero a una regione molto vasta. Un ampio insieme di fratture fu osservato nei terreni dell'area epicentrale. In particolare, Oddone descrisse una grande spaccatura che attraversava longitudinalmente in direzione SE-NO tutto l'alveo del Fucino per circa 70 km, assumendo superficialmente l'aspetto di un crepaccio largo da 30 a 100 cm, con un dislivello tra i due bordi oscillante tra i 30 e i 90 cm. Nei pressi di Ortucchio dalla fenditura scaturirono per molti giorni acqua e gas infiammabili. Nei pressi di San Benedetto dei Marsi, si aprirono grandi fenditure, dalle quali fuoriuscirono acqua e gas solforosi; vulcanetti di fango apparvero, dopo la scossa, a Pescina, Sora (FR) e Concerviano. Una larga fenditura interruppe la strada che collegava Avezzano a Pescina. La violenza della scossa causò frane e distacchi di massi in numerose località. Tutta l'area interna del Fucino, per una superficie complessiva di circa 50 kmq, si abbassò in media di 40 cm circa.

A causa del terremoto tutto il regime freatico della regione compresa nel raggio di 100 km da Avezzano subì alterazioni di vario genere ed entità: i terreni sud-orientali dell'alveo del Fucino si allagarono, anche a causa dell'abbassamento del livello del suolo, che rendeva difficoltoso il regolare deflusso delle acque. In numerose località, soprattutto nell'alveo bonificato, si registrarono intorbidamenti, variazioni nella portata, temporanea scomparsa delle sorgenti; variarono in più luoghi i livelli delle acque di pozzi e specchi d'acqua. A

Tivoli si abbassò il livello delle acque sulfuree dei bagni e si prosciugò il lago detto “di Inferno”. Nei pressi di Posta Fibreno si intorbidirono per circa 12 ore le acque della sorgente del fiume Fibreno e aumentò la portata dell'acqua.

I fenomeni di Sinkhole.

Concetti generali.

Il termine inglese sinkhole (letteralmente “buco sprofondato”) indica cavità che si aprono nel terreno in seguito a fenomeni di sprofondamento con conseguente richiamo di materiale nel proprio interno.

In tutto il mondo il termine viene usato genericamente per indicare una cavità sub circolare apertasi nel terreno indipendentemente dalle cause che lo hanno generato.

Nella letteratura italiana esiste già da tempo una classificazione dei vari tipi di cavità carsiche, antropiche stilata in base ai meccanismi genetici.

Con il termine “dolina” si indica una cavità che si forma per fenomeni di dissoluzione in seguito all’assorbimento del terreno di acqua superficiale, tipica di zone carsiche.

Con il termine “sprofondamento” invece, si indicano depressioni sub circolari del terreno createsi repentinamente le cui cause scatenanti sono la gravità e/o l’antropizzazione.

Con il termine “camino di collasso” infine, si indicano tutte quelle forme semicircolari con dimensioni dell’ordine da qualche metro al centinaio di metri formati per dissoluzione o subsidenza dovuta localmente alla presenza di sorgenti.

Considerando dunque, i meccanismi di genesi degli sprofondamenti, il termine sinkhole in senso stretto viene da alcuni Autori impiegato solo per quelle forme la cui origine è data da processi di risalita dei fluidi dal basso verso l’alto all’interno di fratture che collegano le cavità profonde con i sedimenti superficiali generando fenomeni di deep piping o suffosione profonda.

Molteplici sono le cause che generano i sinkholes s.s. (o piping sinkhole) e possono essere di varia natura come sismi, alluvioni, siccità alternata ad eventi particolarmente piovosi o variazioni del cono d’acqua in profondità.

In sintesi le cause predisponenti possono essere (Nisio, 2003):

- Attività antropiche come attività estrattive o emungimenti di acqua per uso irriguo.
- Elevate precipitazioni piovose alternate a lunghi periodi di siccità.
- Presenza di gas nel sottosuolo (come CO₂ o H₂S) che facilita la dissoluzione dei materiali di copertura.
- Scarsa presenza di una copertura vegetale in superficie con conseguente mobilizzazione del terreno.
- Terremoti.
- Presenza di faglie o fratture in profondità come vie preferenziali di circolazione idrica.

- Litologia. Il substrato carbonatico può essere interessato da fenomeni carsici e l'eterogeneità dei sedimenti in superficie (alternanza di argille e sabbie ad esempio) può facilitare la circolazione idrica limitandone la capacità di barriera.

I sinkholes si sviluppano nelle pianure alluvionali, nelle zone costiere, nelle conche intermontane di origine tettonica in corrispondenza di successioni carbonatiche che ospitano importanti acquiferi ricoperte da depositi fluvio – lacustri, vulcanici o lagunari.

In Italia, e in particolare nell'Appennino centrale, sono molteplici le zone in cui si sono originati i sinkholes. Per citarne alcuni possiamo indicare: La Piana di S. Vittorino, (RI) (Ciotoli et alii, 2000), La Pianura Pontina (LT), La Valle del Tevere (Capena) (Annunziatellis A., Beaubien S.E. et alii, 2004), Lago di S. Antonio, Poggibonsi (SI) o il Lago di S. Floriano nel grossetano (Caramanna et alii, 2004).

I fenomeni di sprofondamento nella Valle dell'Aterno.

Dopo un'attenta indagine cartografica e di campagna sono state individuate alcune aree della valle del fiume Aterno in cui sono evidenti cavità subcircolari.

Tali forme sono tutte ubicate in pianura su sedimenti lacustri o alluvionali, e da sempre considerate cavità carsiche (cover doline). La presenza però di grandi spessori di copertura terrigene impermeabile o semipermeabile, gli evidenti allineamenti lungo la faglia dell'Aterno e l'elevato numero di terremoti registrati nell'area ha aperto la strada ad altre ipotesi sulla interpretazione di tali cavità.

La data di formazione di queste cavità non è certa, ma da una ricerca condotta su carte geologiche I.G.M. del 1875, 1887 e del 1907 queste cavità risultano già formate (vedi figure 9, 10,11,12)



Figura 9. Foglio 146 IV NO - Sulmona – 1:25000
IGM 1875



Figura 10. Foglio 146 IV NO - Sulmona – 1:25000
IGM 1875



Figura 11 .Foglio 145 - Avezzano – 1:100000 IGM
1884



Figura 12. Foglio145 I - Avezzano – 1:50000 IGM
1907

Le zone rilevate e campionate sono elencate qui di seguito, procedendo da Nord verso Sud:

1. Area di Pizzoli – Amiterno.
2. Area Civita – Barisciano.
3. Area S. Demetrio né Vestini.
4. Area S.Pio delle Camere.
5. Area Raiano – Prezze.



-Area 1-

Pizzoli-Amiterno

Nei pressi di Amiterno, all'interno della piana, sui depositi alluvionali dell'Aterno, sono stati individuati 3 laghetti due di forma subcircolare, vicini tra loro denominati Laghetti Giorgio (1 e 2) e un terzo, presso Ponte tre occhi, con forma più allungata.

L'ubicazione dei primi due di tali laghetti, la natura, il contesto geologico- strutturale al contorno, e la morfologia ha permesso di ipotizzare una genesi mediante un processo di tipo sinkholes.

Il substrato carbonatico, ribassato dai sistemi di faglie, dovrebbe attestarsi nell'area a grande profondità (>100 m), la natura dei sedimenti di copertura, tuttora non ancora

accertata da sondaggi geognostici, è costituita da alternanze a granulometrie differenti dalle ghiaie alle argille.

Dai dati di pozzo ottenuti con perforazioni nell'area del comune di Pizzoli in località Conella, risultano le seguenti litologie:

0 - 2 m Suolo

2 m – 4 m Ghiaia in matrice sabbiosa

4 m – 42 m Breccia Calcarea Con Falda a 32 metri (acquifero in pressione).

42 m – 50 m Ghiaia

Le cavità presentano diametri tra 40 e 10 m e profondità scarse tra 1.5 e 3 m.

Il Laghetto Giorgio presenta 25 metri di diametro, il pelo dell'acqua è 2 sotto il piano di campagna, le sponde sono costituite da limi argillosi, il lago viene utilizzato per irrigazione dei campi ed è collegato tramite un canale artificiale a laghetto Giorgio 2. Sul fondo del lago sono presenti tre sorgenti la cui portata è difficilmente calcolabile; il laghetto non subisce variazioni stagionali di livello.

Il flusso dell'acqua all'interno dei canali di collegamento è da laghetto Giorgio 2 verso laghetto Giorgio.

La data di origine di formazione della cavità rimane ignota, il proprietario del terreno riferisce che i laghetti sono sempre esistiti almeno da quando il terreno è divenuto di sua proprietà (1970), anche se uno dei due non viene riportato sulla tavoletta IGM quindi l'origine potrebbe essere successiva alla metà del secolo scorso.

Le acque non sono aggressive e non sono evidenti venute di gas in superficie.

Il laghetto "ponte tre occhi" presenta una forma allungata con scarsa profondità circa 0,5 m, l'origine di questo laghetto sembra in seguito al sopralluogo difficilmente compatibile con un fenomeno tipo sinkhole. Infatti il laghetto sembra alimentato da una vicina sorgente che sgorga da un fontanile.

Su tutti i laghetti sono stati prelevati campioni d'acqua in cui sono state eseguite le caratterizzazioni fisiche principali, mostrate in tabella 3. Sono in itinere ulteriori analisi geochimiche più specifiche.



Foto 1. Il Lago Giorgio

Parametri chimico-fisici	Laghetto Giorgio (Amiterno)	Laghetto Giorgio 2 (Amiterno)	Ponte tre occhi (Amiterno)
Temperatura (°C)	9.8	9.8	11
Conducibilità	600 $\mu\text{s}/\text{sec}$	600 $\mu\text{s}/\text{sec}$	570 $\mu\text{s}/\text{sec}$
Potenziale ossido-riduttivo			122 eV
PH	7.16	7.16	6.93
Bicarbonati			366

Tabella 3. Parametri chimico fisici dei laghi in località Amiterno.



Figura 13. Stralcio della tavoletta 1:25.000

In prossimità dell'abitato di Pizzoli veniva riportato sia sulla cartografia al 25.000 IGM che sulla cartografia IGM al 50.000 (1998), in località Fonte del Moro, un ulteriore laghetto.

Nella cronistoria del terremoto del 1703 si parla della formazione repentina di queste cavità a cui sono succedute delle emissioni di acqua solforosa e gas.

Il sopralluogo di campagna ha mostrato che il lago è stato ricolmato, sarà necessario dunque effettuare ulteriori indagini per la comprensione della natura di tale laghetto.

-Area 1- Pizzoli – Amantea.			
<u>Nome della Cavità</u>	<u>Stato di attività</u>	<u>Tipologia dei sedimenti</u>	<u>Tipologia del collasso</u>
Laghetto Giorgio	Annegato	Depositi alluvionali	Piping Sinkhole ?
Laghetto Giorgio 2	Annegato	Depositi alluvionali	Piping Sinkhole ?
Ponte tre Occhi	Sorgente	Depositi alluvionali	/
Fonte del Moro	Ricolmato	Depositi alluvionali	Piping Sinkhole ?

-Area 2-

S.Gregorio-Civita.

Nei pressi del Km 4 della S.S. Vestina Salentina (n° 5 bis) si trova un'ampia depressione posta a quota 640 m s.l.m. : il Lago di San Raniero. Più a sud dello stesso, nei pressi dell'abitato di S. Benedetto, c'è un'altra grande cavità sub circolare ricolma d'acqua che risponde al nome di Lago San Giovanni (foto 2. veduta aerea di entrambi i laghi). Dalla stratigrafia ottenuta dai pozzi effettuati in località Civita di Bagno emergono le seguenti litologie:

0-15 m dal p.c. ghiaia eterometrica spigolosa con clasti a composizione carbonatica prevalentemente in matrice limoso-sabbiosa color rossastro, consistenza sciolta, pareti del foro franose

15-33 m dal p.c. argilla color bruno, limosa, molto consistente se disseccata, rari clasti ghiaiosi carbonatici e sparsi clasti millimetrici, intercalazioni ghiaiose

33-82 m dal p.c. limo grigio prevalente con componente di sabbia fine frammenti di siltite color grigio scuro. verso il basso prevale la sabbia fine e si incontrano orizzonti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi.



**Foto 2. Lago San Raniero e Lago San Giovanni.
(foto aerea).**

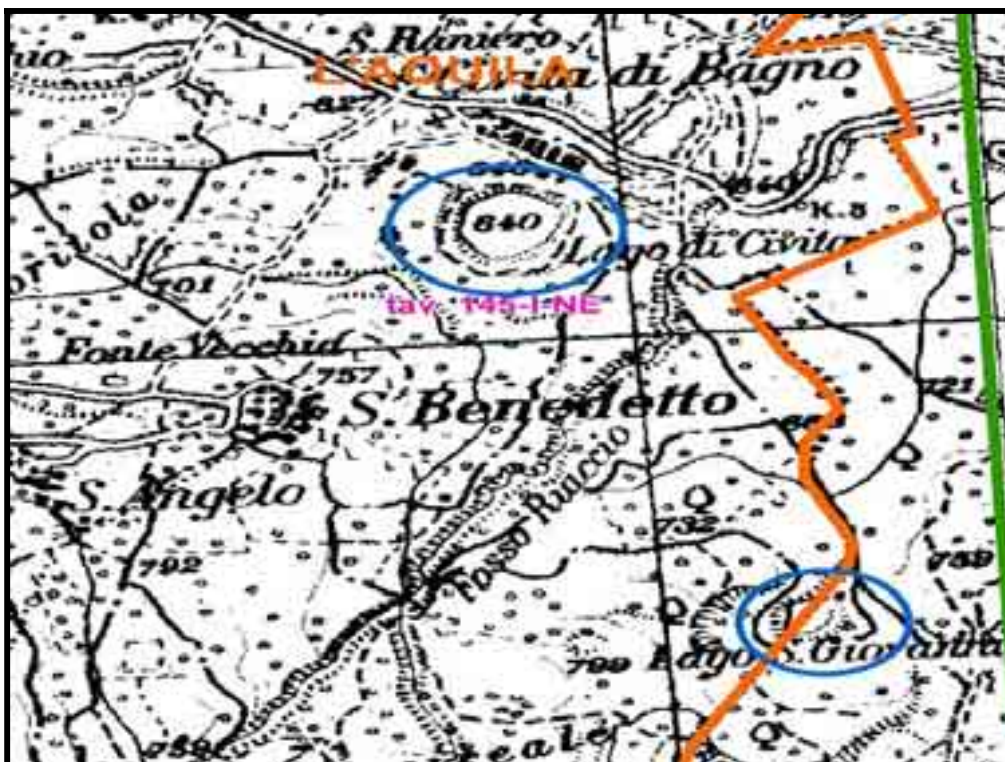


Figura 14. Stralcio della tavoletta 1:25.000

Lago San Raniero.

Questo lago è situato a nord-est dell'abitato di S. Benedetto (AQ). La profondità è variabile; oscilla tra i 6 e i 15 metri a seconda delle stagioni. La foto n°3 mostra il bordo superiore corrispondente al massimo invaso.

Ha un diametro di circa 200 metri ed è alimentato da una sorgente esterna. Le sue rive sono piuttosto pianeggianti tranne il versante sud – occidentale limitato dalla pendice ripida e in parte franosa di una piccola collinetta. Dal punto di vista litologico il bacino è caratterizzato da banchi di arenaria a tratti argillosa alternata con marna gialla o turchina ricca di ciottoli calcarei. Il laghetto è alimentato, oltre che dalle piogge, da un emissario sito all'estremo N-E che si scarica nell'Aterno. Quest'ultimo è chiuso artificialmente affinché le acque piovane si raccolgano nel lago durante l'inverno e la primavera ;d'estate poi viene aperto per l'utilizzo dell'acqua a scopi irrigatori. Il bacino è soggetto a forti oscillazioni di livello che generano notevoli alterazioni dell'area soprattutto lungo la riva orientale che è molto bassa (Almagià, 1910).

Come si può notare dalla foto n°5, su una sponda del lago è stata costruita una piccola diga la cui realizzazione risale agli anni '50.

Sono state eseguite anche le analisi delle acque. I parametri riscontrati sono i seguenti:

Temperatura	10.9°C
Conducibilità	484 $\mu\text{s}/\text{sec}$
Potenziale ossido – riduttivo	64 eV
PH	8.09
Bicarbonati	315

Tabella 4. Parametri chimico - fisici del Lago San Raniero (AQ).



Foto 3. Lago San Raniero (AQ).



Foto 4 . Lago San Raniero (AQ). (Ortofoto)



**Foto 5. Lago San Raniero (AQ)
(particolare della diga).**



Foto 6. Lago San Raniero (AQ)(Foto aerea).

Riguardo l'origine del lago, il Chelussi (1910) rimase in dubbio se ritenerlo un'antica dolina o un relitto del lago che occupava un tempo la bassa valle aternina. Dall'osservazione delle caratteristiche del bacino e, considerando la posizione del lago (circa 70 metri sopra il livello della pianura), secondo Almagià (1910) è evidente che la seconda ipotesi deve essere scartata. Il lago è di origine molto recente essendosi formato per sprofondamento nel marzo del 1352 (altri cronisti riferiscono nel 1353) (Tetè P., Pesce G.L. & Leonardis B. 1984), come ci attestano tutti i cronisti aquilani.

Nella "Cronaca aquilana rimata" Buccio di Ranallo scrive: *"dello mese di marzo la terra s'è sfondata. Esso, de sotto ad Bagno si fo questa lamata; Et omne di lamavase e fo tanto largata. Nanti no oscio lo mese che fo una bella strata"*.

Le brevissime notizie lasciate dai cronisti fanno ritenere che la cavità si è prodotta per step successivi (Almagià, 1910).

Lago San Giovanni.

Questo lago si trova nelle vicinanze del Lago di San Raniero a sud - est dell'abitato di S. Benedetto; occupa il fondo di una cavità apertasi nelle arenarie limitata da pendici assai ripide. All'estremo nord è solcato da un piccolo emissario che si genera più in alto da una sorgente al contatto fra le arenarie e i calcari e che di seguito va a gettarsi nel fiume Aterno. L'alimentazione superficiale manca si pensa infatti, che il lago ricevesse in sotterraneo il contributo di acque filtranti in seno ai calcari o in parte derivate dallo scioglimento delle nevi (Almagià, 1910).

Le caratteristiche tecniche del lago sono: superficie: 3,14 ettari, Circonferenza max piena: 730,50 m/l, volume serbatoio livello max piena: 410.000 m³/c, volume serbatoio livello normale: 280.000 m³/c.

L'origine per sprofondamento è ancora più evidente che non per il lago San Raniero ed è piuttosto recente come è testimoniato dal corso irregolare ed incerto dell'emissario. La profondità del lago è molto piccola in quanto questo viene colmato dai materiali che le acque piovane asportano dalle dorsali circostanti di arenarie scistose.

Notizie storiche narrano che il lago di San Giovanni fosse un piccolo invaso e che nel 1956 grazie all'interessamento dell'On. Vincenzo dei duchi Rivera, si avviò un progetto di ampliamento dei due laghi (lago di San Giovanni e lago di San Raniero) e della

costruzione della canalizzazione a scorrimento per l'irrigazione dei terreni agricoli, redatto dall'ing. Valentini.



Foto 7 (a e b). Lago San Giovanni (AQ).

Concludendo, se consideriamo per entrambe queste cavità la natura dei sedimenti (depositi alluvionali), l'ubicazione e il contesto geologico – strutturale in cui si sviluppano, possiamo ipotizzare una genesi di tipo piping sinkhole.



Foto 7 c. Lago San Giovanni. (Ortofoto)-

Riassumendo:

-Area 2 -		S.Gregorio - Civita	
<u>Nome della Cavità</u>	<u>Stato di attività</u>	<u>Tipologia dei sedimenti</u>	<u>Tipologia del collasso</u>
Lago San Raniero	Annegato	Banchi di arenaria a tratti argillosa	Piping Sinkhole ?
Lago San Giovanni	Annegato	Banchi di arenaria a tratti argillosa	Piping Sinkhole ?

-Area 3-

S. Demetrio ne' Vestini.

Nei pressi dell'abitato di S. Demetrio ne' Vestini, sono state individuate due grandi cavità sub circolari che corrispondono alla località di Collarano e al Lago Sinizzo. In generale, quest'area è nota per numerose grotte di attrazione turistica che si diramano su tutta la zona come ad esempio le ben note grotte di Stiffe.

Dal punto di vista litologico, i dati del pozzo effettuato in località Poggio Pienze a nord-ovest dell'abitato di San Demetrio ne' Vestini indicano le seguenti litologie:

- 0 – 10 m limo argilloso sabbioso color avana con inclusi frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati
- 10 - 16m ghiaia e ciottoli di natura calcarea
- 16 – 24m limo calcareo di color biancastro
- 24 – 42m argilla e argilla limosa di colore grigio.

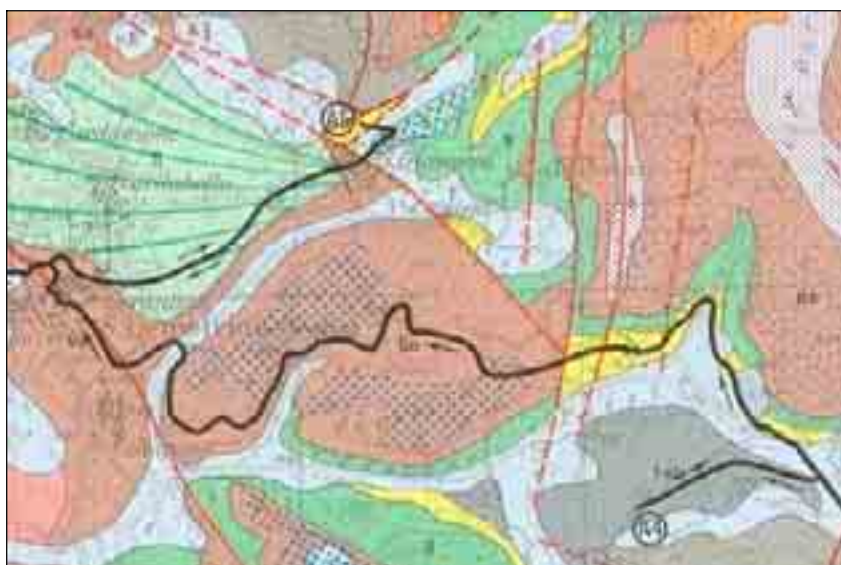


Figura 15. Schema geologico- strutturale di S.Demetrio né Vestini.



Lago Sinizzo.

Il lago Sinizzo è situato a circa 19 Km da L'Aquila, in località Valle dell'Inferno, nel comune di San Demetrio né Vestini, a 740 m s.l.m. (long. 01, 06',26"; lat. 42, 17'25"); è in parte naturale e in parte artificiale, essendo stato aumentato nei primi anni ottanta il suo livello originario, che doveva essere di circa 7 metri, con la costruzione di uno sbarramento di 22.5 metri di lunghezza.



Figura 16. Stralcio della tavoletta 1:25.000

Nel sedicesimo secolo il lago veniva usato per la macerazione della canapa e del lino e in precedenza le sue acque venivano usate a scopo idrico incanalate in un acquedotto i cui resti erano ancora visibili nel diciottesimo secolo. Nel 1974 il bacino è stato in parte svuotato e a causa di un anno di siccità la portata della sorgente situata nelle sue vicinanze è scesa, nel luglio del 1975, ad un minimo storico di 0.02 l/sec. Il paesaggio attorno al lago è caratterizzato da zone aride alternate ad altre con vegetazione rigogliosa localizzate in prossimità sia delle numerose sorgenti sia del lago stesso. Il bacino non presenta affluenti e l'unico apporto idrico costante visibile è una sorgente sulla riva nord; un'altra sorgente si trova all'estremità est del Colle Sinizzo a quota 790m s.l.m.. La polla sorgiva è nascosta da un muro e mediante una canalizzazione interrata scende verso il lago e probabilmente vi si riversa con uno sbocco al di sotto del livello dell'acqua.

La forma del lago Sinizzo è subcircolare, forma tipica dei laghi di dolina; l'indice di sinuosità infatti (sviluppo della linea di costa) ha valore 1.02, ovvero molto prossimo all'unità ed evidenzia quindi la similitudine del perimetro del bacino con un cerchio (Tetè, Pesce & Leonardis, 1984).

Il perimetro misura 395.00 metri: la lunghezza è di 135.50m; la larghezza media è di 87.25m; la superficie misura 11822.38 m²; il diametro medio è di 122.69m; la profondità massima misurata è 9.80 m e il volume è di 66627.14 m³. Ad esclusione della riva est e della riva ovest in corrispondenza dello sbarramento che degradano dolcemente, le altre rive scendono con una certa ripidità (vedi carta planimetrico – batimetria di figura 17).

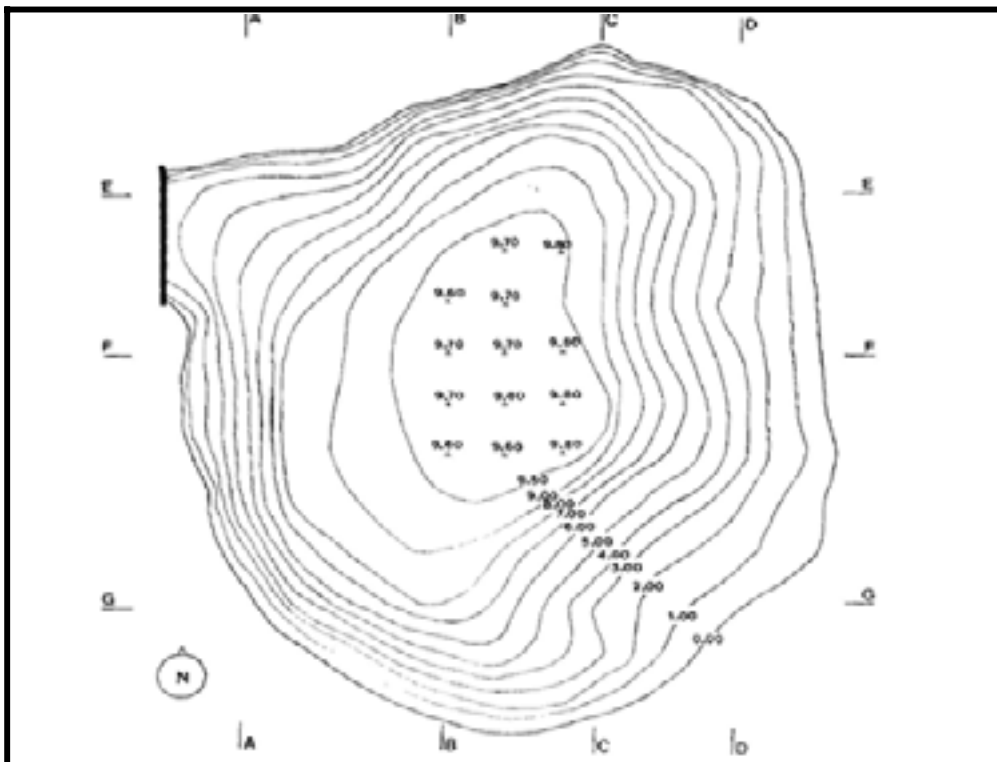


Figura 17. Carta planimetrico – batimetria del Lago Sinizzo (AQ)
(da Tetè P., Pesce G.L. & Leonardis B., 1984)



Foto 8. Lago Sinizzo (AQ).



Foto 8 a. Lago Sinizzo (AQ).

Riguardo l'origine del lago Sinizzo Almagià (1910) ipotizza che il bacino abbia una natura carsica riferendo “ il laghetto di San Raniero presso Civita di Bagno è dovuto ad uno sprofondamento avvenuto nel 1352 o nel 1353, ed origine simile hanno probabilmente il vicino lago di San Giovanni e il Lago Sinizzo presso San Demetrio; tutti e tre sono doline alluvionali, del genere di altre asciutte che si trovano nei dintorni di San Demetrio ed altrove”.

Marini (1976) sostiene invece che “il lago Sinizzo presso San Demetrio nei Vestini, quota 740 m s.l.m., è formato da una piccola risorgenza ed è annidato in un affossamento di argilla lacustre quaternaria.

Tutto intorno al lago affiorano sedimenti ciottolosi con spigoli più o meno arrotondati in matrice argillosa (vedi foto 8a).

In seguito agli studi ed ai sopralluoghi condotti, considerando la forma e la geometria del lago (depressione sub verticale) e la copertura sedimentaria si potrebbe pensare che questo lago sia uno sprofondamento in seguito riempito d'acqua la cui genesi si potrebbe attribuire ad un processo di piping sinkhole.

Dalle analisi delle acque risultano i seguenti parametri:

Temperatura	15.7°C
Conducibilità	366 µs/sec
Potenziale ossido – riduttivo	85
PH	7.24
Bicarbonato	189

Tabella 5. Parametri chimico – fisici del Lago Sinizzo (AQ).

In prossimità del lago, è cartografata ed è presente una sorgente perenne che alimenta direttamente il lago (vedi foto 9).



Foto 9 Sorgente perenne del Lago Sinizzo.



Foto 9 a Affioramento di ciottoli calcarei in matrice argillosa.



Foto 9 b. Lago Sinizzo. (Ortofoto)

Località "Collarano".

Nei pressi della frazione di Collarano di S. Demetrio ne' Vestini si trova una depressione di forma subcircolare ricolmata e delimitata da fusti arborei. Il dislivello dell'area rispetto al piano campagna è di qualche metro. Intorno tutta l'area si trovano dei ciottoli sciolti, ben arrotondati di dimensioni centimetriche e di natura calcarea (vedi foto 9a). Considerando la morfologia della depressione, la natura dei sedimenti e l'assetto strutturale dell'area si è giunti alla conclusione che l'origine di questa depressione possa essere legata a fenomeni di cover collapse. Nella foto n°10 il tratto rosso delimita il perimetro della cavità.



Foto 10. Località “Collarano”.



Foto 10 a. Ciottoli di natura calcarea.

-Area 3 –		S. Demetrio Né Vestini	
<u>Nome della Cavità</u>	<u>Stato di attività</u>	<u>Tipologia dei sedimenti</u>	<u>Tipologia del collasso</u>
Lago Sinizzo	Annegato	Argille limose	Piping sinkhole ?
Fossa del Monte	Ricolmata	Limo argilloso, ghiaia e ciottoli di natura calcarea	Cover Collapse
Fossa Cupa	Ricolmata	Limo argilloso, ghiaia e ciottoli di natura calcarea	Cover Collapse
Collarano	Ricolmata	Limo argilloso sabbioso con inclusi frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati	Cover Collapse
Fossa di Ripa	Ricolmata	Limo argilloso, ghiaia e ciottoli di natura calcarea	Cover Collapse
Fossa Prinesca	Ricolmata	Limo argilloso, ghiaia e ciottoli di natura calcarea	Cover Collapse
Fosse “Casale”	Ricolmata	Depositi alluvionali	Piping sinkhole ?
Fossato del Monte	Ricolmata	Limo argilloso, ghiaia e ciottoli di natura calcarea	Cover Collapse



Figura 18. Collarano
(Stralcio topografico 1:25.000)



Foto 11. Collarano (Ortofoto)

Nell'area di S. Demetrio né Vestini, sono state individuate altre cavità di forma subcircolare ricolmate da depositi alluvionali quali argille limose e ghiaie.

Queste depressioni denominate Fossa del Monte, Fossa Cupa, Fossa di Ripa, Fossa Prinesca, Fossato del Monte, si trovano su terrazzi alluvionali in cui lo spessore della copertura risulta poco profondo. Tutte queste caratteristiche ci inducono a credere che la genesi di queste cavità sia legata a fenomeni di cover collapse.



Figura 19. Fossa Cupa.
(Stralcio topografico 1:25.000)



Foto 12. Fossa Cupa (Ortofoto).



Figura 20. Fossa Prinesca.
(Stralcio topografico 1:25.000)

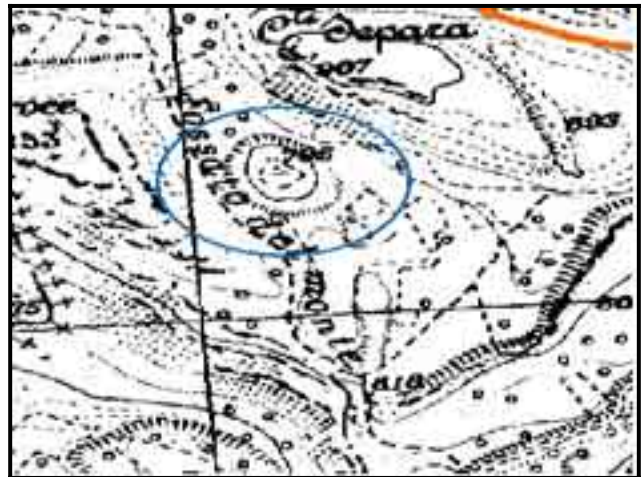


Figura 21. Fossato del Monte.
(Stralcio topografico 1:25.000)

Per quanto concerne le due cavità denominate Fosse “Casale” non sono state reperite informazioni complete. Considerando però, la loro ubicazione all’interno della valle alluvionale , il notevole spessore di sedimenti alluvionali e il contesto geologico – strutturale, possiamo ipotizzare anche per queste cavità una genesi di tipo piping sinkhole.

-Area 4-

S. Pio delle Camere.

Il paese di S. Pio delle Camere sorge alle pendici del Monte Gentile e domina il Tratturo Magno. Posto nella conca aquilana, è dominato dai resti del castello. Il nome del borgo ha origine dalle numerose, piccole grotte presenti nel territorio circostante. Arroccato sulle pendici della montagna (830m s.l.m.), nel versante sud est della valle dell'Aterno, è sovrastato dai suggestivi ruderi del castello-recinto (XIII - XIV sec.).

All'interno di quest' area, lungo la strada S.S. 87 dell'Appennino Abruzzese ed Apulo Sannitico, sono state individuate tre cavità.

La valle all'interno nella quale ricadono è orientata in direzione appenninica, è caratterizzata da elevati spessori di sedimenti prevalentemente argillosi e risulta particolarmente ricca di sorgenti e pozzi perenni che si diramano lungo tutta la valle in prossimità del Monte Buscito e del Monte Castellone.

Procedendo da nord verso sud le cavità individuate sono le seguenti:

- Il Lago
- Mad.^{na} Cinturelli
- Località "Il pantano"

IL Lago.

Questa località si trova all'altezza del km 60 della S.S. dell'Appennino Abruzzese ed Apulo Sannitica. L'area si presenta lievemente depressa (profondità di circa 2 metri) con forma circolare. La depressione è stata ricolmata da sedimenti alluvionali; al centro dell'avvallamento è presente una vegetazione di tipo arbustivo differente da quella circostante. La foto n°13 mostra la depressione il cui perimetro è tracciato in rosso.

Dai dati di pozzo emerge che quest'area è caratterizzata dalle seguenti litologie:

0 – 1 m terreno vegetale.

1 – 102 m argilla grigia sovraconsolidata con intercanalizzazioni marnose.

Da questi dati risulta dunque che il substrato carbonatico dovrebbe trovarsi nell'area a profondità > di 100m, al di sotto della copertura sedimentaria.



Foto 13. IL Lago.



Foto 13 a. Ortofoto de "Il Lago".

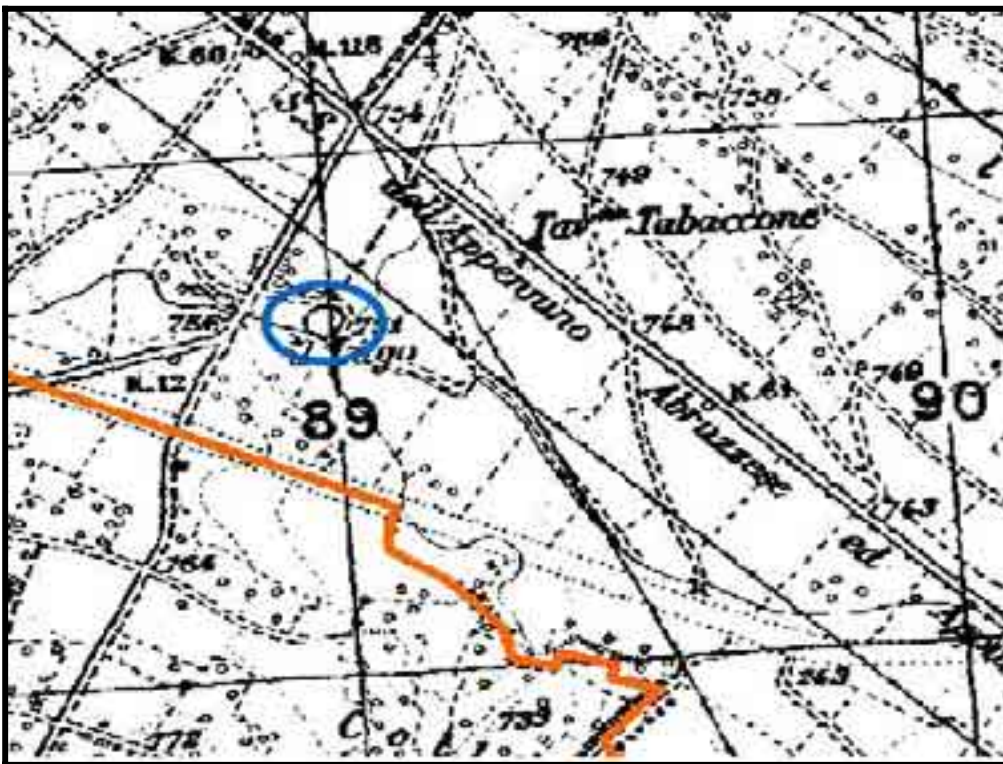


Figura 22. Stralcio della tavoletta 1:25.000.

Mad.^{na} Cinturelli.

Questa piccola depressione è ubicata all'interno della valle alluvionale del fiume Aterno. La natura dei sedimenti, il contesto geologico- strutturale al contorno, e la morfologia ha consentito di ipotizzare una genesi mediante un processo di tipo sinkholes. A conferma del sopralluogo fatto in campagna, l'ortofoto in foto 14 mostra che questa cavità risulta ormai estinta.



Foto 14. Mad.^{na} Cinturelli.

Località “Il Pantano”

Questo evidente fenomeno di sprofondamento a forma sub circolare è ubicato lungo la S.S. dell’Appennino Abruzzese ed Apulo Sannitica all’altezza del km 64. La litologia dei sedimenti e la struttura geologica dell’area sono le stesse delle altre cavità indagate. La cavità del Pantano è ormai estinta, come mostrato nelle foto 15 e 15°, circondata da vegetazione arbustiva.



Foto 15. Il Pantano.



Foto 15a .Il Pantano (Ortofoto).



Figura 23. Il Pantano.
Stralcio della tavoletta 1:25.000



Foto 16. Il Pantano. (Foto aerea).

Così come per le cavità precedenti, considerando la posizione geologico – strutturale e la natura dei sedimenti che le caratterizzano, possiamo ipotizzare una genesi mediante un processo di tipo sinkholes.

Riassumendo:

-Area 4 - S. Pio delle Camere			
<u>Nome della Cavità</u>	<u>Stato di attività</u>	<u>Tipologia dei sedimenti</u>	<u>Tipologia del collasso</u>
Il Lago	Asciutto	Argilla grigia sovraconsolidata	Piping sinkhole ?
Mad. ^{na} Cinturelli	Estinto	Argilla grigia sovraconsolidata	Sinkhole ?
Il Pantano	Estinto	Argilla grigia sovraconsolidata	Sinkhole ?

-Area 5

Raiano – Prezze

Il Lago La Quaglia (Raiano)

Il piccolo lago “la Quaglia” probabilmente si è originato solo nella seconda metà del XVI secolo, in seguito ad un terremoto. A sostegno di questa tesi riportiamo la notizia dell’Antinori, noto storico, corrispondente del Muratori: “furono dei terremoti in Abruzzo a dicembre – 1456 nda. - S’aprì la terra presso Raiano ed uscì un lago da quella voragine”.

L’Autore scrive inoltre: “poco lungi dall’Aterno, vicino questa terra è un lago denominato Quaglia, le cui acque sono medicinali, delle quali dovevano servirsi gli antichi Corfiniesi, essendosi talora scoperte alcune antiche fabbriche stimate portici per comodo di coloro che si servivano delle acque per rimedio delle loro infermità . È di figura rotonda e prima di giungere all’acqua si scende ad una piccola valle, nel cui fondo è il lago. Nel medesimo territorio più vicino all’Aterno vi è una fonte di acque solfuree di meravigliosa virtù”.

Si registra anche a Raiano una leggenda di fondazione legata al culto di S. Anna che narra di un tragico evento in cui persero la vita dei contadini i quali osarono trebbiare nel giorno di festa. Per il non rispetto di una precisa norma tabuizzante che impone di non poter lavorare nel “tempo sacro”, i raianesi, nel racconto leggendario, sprofondarono assieme ai propri animali nelle viscere della terra, inondati dalle acque che così diedero origine a un laghetto denominato “La Quaglia”. Da allora la popolazione locale non si bagna nel lago il giorno dedicato a S. Anna.

Tale leggenda (il giorno di S. Anna è il 26 luglio) appare in contraddizione con la data (dicembre) attribuita da Antinori. Altre fonti riportano la data del 1707 in seguito ad un terremoto (terremoto avvenuto il 3 novembre 1706).

Il Lago presenta diametro di 124 m e profondità massima di 9 m.

Si origina sulle alluvioni del F. Aterno, alluvioni miste, costituite da sabbie e ghiaie che affiorano presso le sponde del lago.

Lo spessore massimo stimato di tali depositi è di 50-60 m (Miccadei et alii 1998) e al di sotto sedimenti fini lacustri. Il tetto del substrato dovrebbe essere molto profondo (500 m ? secondo la gravimetria).

Nell’area di Raiano sono presenti numerose emergenze minerali (solfureo bicarbonato-solfato calciche) che oggi vengono sfruttate in centri termali terapeutici: in particolare ricordiamo la sorgente solfurea (la “Solfa”) e quella ferruginosa, che si trovano poco a valle della Gola di S. Venanzio.



Foto 17. a) Panoramica del Lago La quaglia durante le misure effettuate il (5/10/04).b) Dettaglio della sponda del laghetto dove sono visibili sedimenti ghiaiosi.

A poca distanza dal Lago La quaglia è ubicato sulle carte topografiche un altro laghetto, Cerviello, la ricerca di questo lago non è stata proficua, gli abitanti sembrano non ricordarsene, i sentieri che portavano al laghetto sono ormai cambiati.

Le fosse di Prezze

Nei dintorni dell'abitato di Prezze sono presenti altre cavità di forma pressoché circolare con diametro compreso tra gli 80 e i 90 m, di cui solamente una presenta ancora acqua (Fossa Morici).

Fossa de il Colle, è la più vicina alla dorsale carbonatica, si presenta ormai asciutta, nelle vicinanze di un fontanile e alle spalle del piccolo abitato.

-Area 5- La Conca di Sulmona			
<u>Nome della Cavità</u>	<u>Stato di attività</u>	<u>Tipologia dei sedimenti</u>	<u>Tipologia del collasso</u>
Lago La Quaglia	Annegato	Alluvioni miste	Piping sinkhole ?
Fossa Morici	Annegato	Alluvioni	Piping sinkhole ?
Fossa de il Colle	Asciutto	Alluvioni	Piping sinkhole ?
Laghetto Cerviello	Estinto	Alluvioni	Piping sinkhole ?



Foto18. Fossa Morici: è presente una fitta vegetazione e un canneto, è possibile che ci sia stata una riduzione del diametro della cavità



Foto19. Fossa de il Colle (Prezze), la cavità risulta ormai asciutta.



Figura 23. Stralcio della tavoletta 1:25.000

CARTA DI PERICOLOSITÀ DA SINKHOLE NELLA REGIONE ABRUZZO.

Numerosi sono i parametri che concorrono a definire un'area a rischio sinkhole, quali ad esempio, la profondità del substrato, le caratteristiche geotecniche della copertura sedimentaria, la sismicità e le faglie attive.

Tutti i dati raccolti sono stati utilizzati per calcolare una carta di pericolosità da sinkhole.

La carta è stata elaborata usando i seguenti tematismi vettoriali: caratteristiche della copertura sedimentaria, (spessore e caratteristiche geotecniche), presenza di faglie (capaci o normali), presenza di epicentri di forti terremoti ($I_s > 6$), e presenza di sorgenti mineralizzate (vedi figura 24).

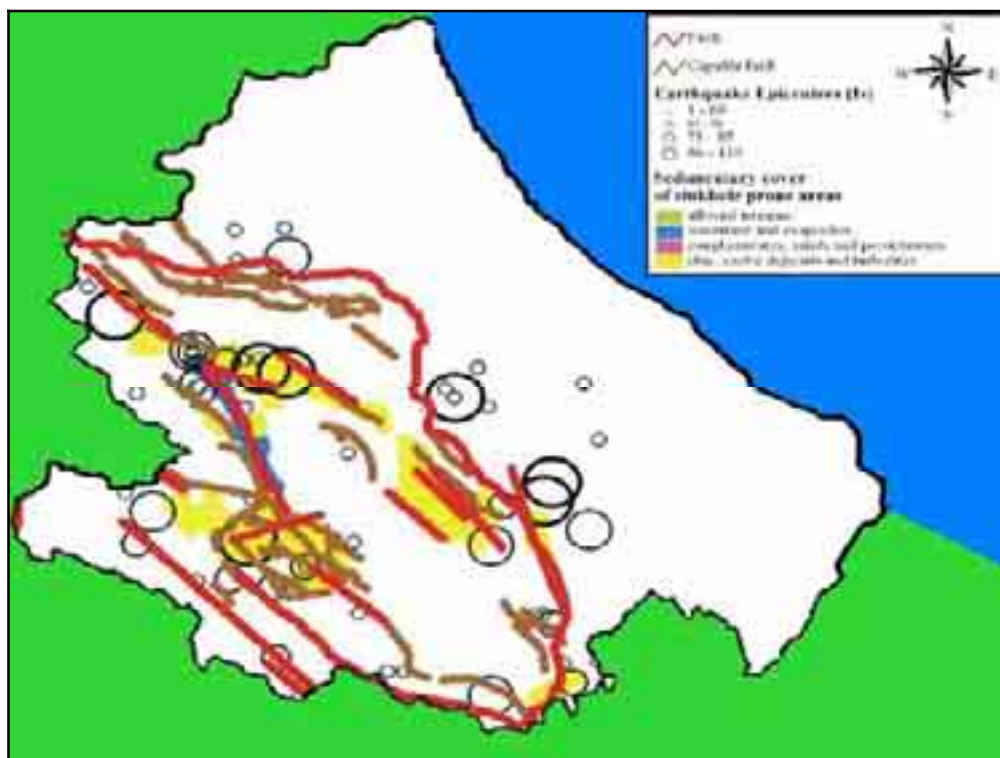


Figura 24. Schema dei tematismi della Regione Abruzzo.

Tutti i geotematismi considerati sono stati classificati assegnando un punteggio soggettivo, relazionato al potenziale di rischio, come segue:

- attorno ad ogni singolo sinkhole studiato, sono state create tre fasce di distanza (buffer), alle quali è stato assegnato un punteggio di pericolosità decrescente al crescere della distanza dallo sprofondamento (0- 1000m, 1000- 2000m, 2000- 3000m con punteggi di 3, 2, 1, rispettivamente). Il tematismo risultante è stato elaborato in ambiente Arc View GIS (ESRI Inc. 1992 – 2002) ed intersecato (intersect) con la

carta geolitologica dell'Italia (1:500.000) (Servizio geologico d'Italia) al fine di ottenere una carta delle principali litologie affioranti nelle aree soggette a sinkhole.

- fasce di rispetto (ogni 1000m) sono state create anche intorno agli epicentri dei terremoti ($I_s > 6$) fino ad una distanza di 3000m (punteggio da 3 a 1).
- fasce di rispetto (ogni 1000m) sono state create intorno alle faglie fino ad una distanza di 3000 m (punteggio da 3 a 1); il punteggio è stato raddoppiato per le faglie capaci.
- la copertura sedimentaria è stata classificata in quattro classi con differenti caratteristiche geotecniche (punteggio da 1 a 4)
- la copertura sedimentaria è stato suddivisa in 4 classi di spessore differente (0- 30m; 30 – 50m; 50 – 100m; molto più di 100m) alle quali è stato assegnato un punteggio da 4 a 1 rispettivamente;
- un punteggio è stato assegnato per indicare la presenza di differenti tipi di sorgenti termali (termo minerali - 3, minerali - 2 e sorgenti - 1) nelle zone limitrofe alle aree a sinkhole.

I geotematismi vettoriali classificati sono stati trasformati in geotematismi aster (grid) e i punteggi relativi ad ogni cella elementare della griglia sono stati sommati utilizzando le proprietà di “overlay” topologico di Arc View GIS (ESRI Inc. 1992 – 2002).

Il tematismo risultante rappresenta una carta della pericolosità da sinkhole dell'Abruzzo in cui ogni cella della griglia assume un singolo punteggio ottenuto dalla somma dei punteggi di ogni geotematismo di partenza (vedi figura 25).

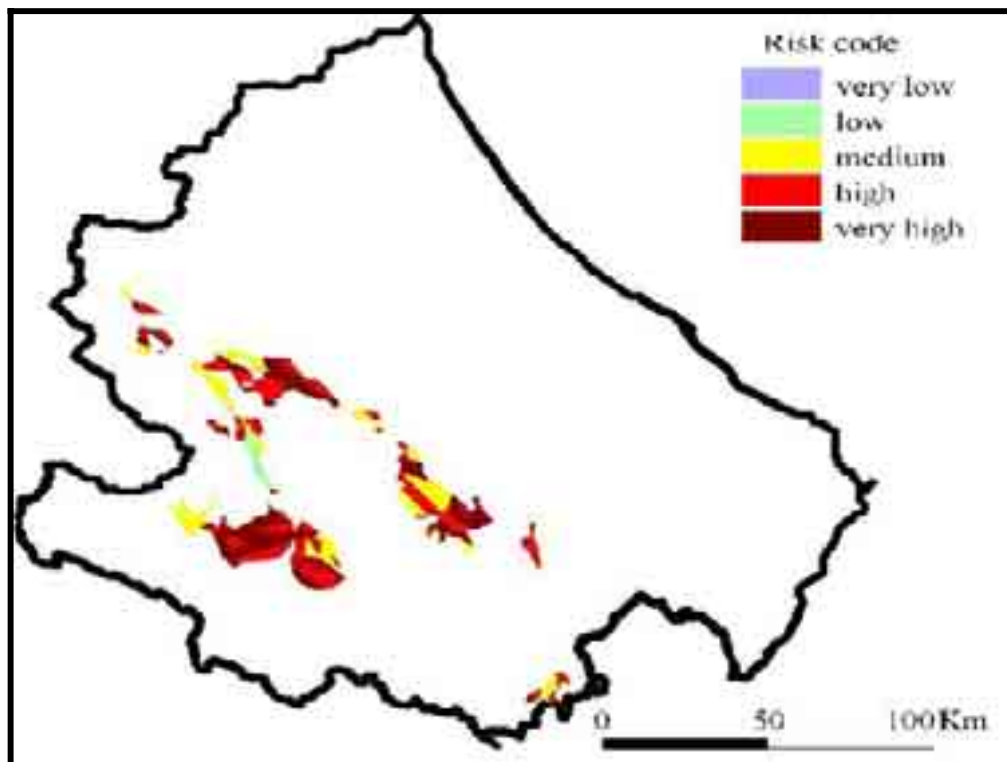


Figura 25. Carta della pericolosità da sinkhole dell'Abruzzo

Discussione e Conclusioni.

Nel territorio della regione Abruzzo sono molto sviluppati i fenomeni carsici a causa della grande estensione di dorsali carbonatiche con litologie fratturate e cataclasate facilmente erodibili. Molti dei fenomeni di sprofondamento che danno origine a forme subcircolari doliniformi si sviluppano anche in aree di pianura al di sopra di rilevanti spessori di coperture terrigene continentali e sono stati da sempre interpretati come doline alluvionali (cover sinkhole o cover doline) (Almagià, 1910; Chelussi, 1910).

A tali episodi di sprofondamento non è mai stata prestata la dovuta attenzione; infatti, i dati di letteratura sono molto scarsi o per alcune aree del tutto assenti. In questo lavoro è stato offerto un primo contributo allo studio di questi fenomeni e alla valutazione della pericolosità da sinkhole per l'Abruzzo ed è stata analizzata la possibilità che per alcune delle fenomenologie analizzate nella Valle del fiume Aterno si tratti in realtà di fenomeni di sinkhole in senso stretto, così come già segnalato in alcuni lavori (Nisio et alii 2005; Caramanna et alii 2005) talvolta innescati da eventi sismici, alluvioni, siccità, emungimenti incontrollati d'acqua, etc.

La situazione geologico-strutturale ed idrogeologica della Valle del fiume Aterno è infatti predisponente alla formazione di fenomeni di sinkhole:

- La Valle è di origine tettonica, originata da un elemento ad andamento appenninico con cinematica prevalentemente distensiva.
- I depositi quaternari che la colmano, con spessori di oltre cento metri, sono costituiti in prevalenza da sedimenti fluviali e lacustri che ricoprono un substrato di natura carbonatica. Questi sedimenti sono costituiti da alternanze ciottolose – sabbiose, da marne ed argille ricoperte da conglomerati più o meno cementati che rappresentano i resti di grandi conoidi di deiezione.
- L'area è altamente sismica, fattore questo che favorisce l'innescarsi di fenomeni di sprofondamento; infatti, nelle cronistorie di terremoti storici si narra spesso la formazione di cavità e voragini. Ancora oggi tutta la provincia de L'Aquila è interessata da numerosi terremoti i cui epicentri si allineano anche lungo la valle dell'Aterno (il grado di sismicità di tutti i paesi dell'area è compreso tra 1 e 5).
- Le dorsali carbonatiche circostanti la Valle dell'Aterno sono fortemente interessate da fenomeni carsici (doline di crollo o di soluzione normale) sia a piccola che a grande scala (polje). Forme carsiche sono inoltre presenti nei terreni fluvio – lacustri che riempiono le depressioni tettoniche dell'area.

- Il substrato carbonatico, al di sotto della copertura quaternaria, è ribassato dall'importante dislocazione della Valle dell'Aterno (costituita da differenti segmenti) e da diversi sistemi trasversali di trascinamento. L'intera estensione della faglia può essere suddivisa in due gruppi: quelli dell'alta e quelli della media valle del fiume Aterno. Quattro sono i segmenti di faglie che caratterizzano l'alta valle del fiume: M. Pettino, M. Marine, Capitignano e San Giovanni.

Le faglie che, invece, rappresentano la media valle del fiume Aterno sono la faglia dell'Annunziata, la faglia di San Demetrio e quella del Lago Sinizzo.

- Il substrato è sede, inoltre, di un acquifero confinato, in cui si esplica una notevole circolazione idrica: le falde sono poste a 40 m e 120 m di profondità. A ciò si associa una forte circolazione sotterranea di fluidi aggressivi per la presenza di H_2SO_4 e H_2S legati ad una circolazione molto profonda all'interno dei sistemi di faglia, come testimoniato dalla presenza di due importanti sorgenti sulfuree che vengono a giorno sulla sponda destra del fiume Aterno denominate "Acqua sulfurea della Quaglia" e "Acqua sulfurea del Pescara".
- L'attività tettonica recente del settore è testimoniata dalla sismicità sia storica che strumentale che ha colpito in particolare l'Appennino Aquilano. I terremoti storici più distruttivi che hanno provocato l'apertura repentina di cavità e voragini nel terreno sono quelli del 1456 e del 1703 e più di recente il terremoto del 1915, che ha provocato danni e vittime modificando l'assetto di una grande porzione del territorio.

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

Anche in altre aree dell'Abruzzo (Piana del Fucino, Piana di Sulmona, etc..) sono stati segnalati in letteratura laghetti di forma sub-circolare, rinvenuti anche su mappe storiche, e narrati nelle cronistorie di alcuni importanti terremoti (Nisio et alii 2005; Caramanna et alii, 2005) , oggi scomparsi o di difficile ubicazione. Inoltre, alcune leggende e fonti storiche narrano dell'apertura nel terreno di grandi voragini (es. Lago della Quaglia).

Gli studi e i sopralluoghi effettuati nella valle dell'Aterno hanno permesso di individuare alcune morfologie sub-circolari coincidenti con piccole polle, laghetti o cavità.

In particolare tali fenomeni si localizzano in 5 aree distinte, lungo una distanza di 68 km che da N a S sono:

- area di Pizzoli- Amiterno (quattro cavità)
- area di San Gregorio- Civita (due cavità)
- area di S. Demetrio né Vestini (otto cavità)

- area di San Pio delle Camere (tre cavità)
- area di Raiano - Prezze (quattro cavità)

Tra i fenomeni studiati particolare attenzione è stata volta ad alcune cavità le cui caratteristiche, formazione mediante un evento improvviso, ubicazione in pianura al di sopra grandi spessori di depositi terrigeni fini, fanno escludere genesi puramente carsica del fenomeno: Laghetti Giorgio 1e2, Lago di S. Raniero, Lago San Giovanni, Lago Sinizzo e Lago La Quaglia.

I laghetti Giorgio (1 e 2) si trovano entrambe all'interno della piana alluvionale del fiume Aterno. Le considerazioni morfologiche, geologiche e strutturali condotte hanno permesso di ipotizzare una genesi di tipo sinkhole per entrambi questi piccoli laghi.

Il Lago di S. Raniero è un'importante cavità che si trova nei pressi dell'abitato di Civita. La sua forma è quasi perfettamente circolare con un diametro di circa 200 metri. Il bacino è caratterizzato da banchi di arenarie a tratti argillosi alternati a marne gialle o turchine ricche di ciottoli calcarei.

Il Lago San Giovanni si trova a monte del Lago San Raniero, a circa 500 metri di distanza in linea retta dallo stesso. Il bacino è scavato nelle sabbie mioceniche ed ha l'aspetto caratteristico di un profondo imbuto all'interno del quale ristagna l'acqua.

Il lago Sinizzo, che si è formato in seguito ad uno sprofondamento repentino del terreno, è una cavità di forma sub-circolare annidata all'interno di sedimenti quaternari limoso – argillosi poggianti su substrato carbonatico mesozoico.

Il Lago La Quaglia, sito nei pressi di Raiano all'interno della conca di Sulmona, sembra essersi originato nella seconda metà del XVI secolo in seguito ad un terremoto.

Nella stessa Valle le cronistorie del terremoto del 1703 narrano dell'apertura di una cavità presso Pizzoli (fonte del Moro) con connessi episodi di liquefazione e di fuoriuscita di acque mineralizzate.

Le numerose scosse provocarono voragini e spaccature nel terreno, fuoriuscita di materiale infiammato e di gas sulfurei, dissesti e variazioni del corso dei fiumi, formazione di laghetti. Ne abbiamo testimonianza dagli scritti di Francesco Cappa, il quale raccolse delle memorie che si riferivano al terremoto del 2 febbraio del 1703. Nei suoi scritti narra di voragini di grandi dimensioni che si aprirono improvvisamente nei paesi di Sigillo e Lucoli (AQ).

Si racconta, in particolare, della voragine di Sigillo (AQ) che sembra fosse molto lunga (circa venticinque canne) e molto larga (circa venti canne).

Le morfologie delle cavità risultano essere cilindriche, con pareti verticali profonde ed un caratteristico aspetto di imbuto profondo.

Le profondità di questi bacini sono variabili; in media le depressioni sono profonde circa 10 metri.

E' presumibile pensare inoltre, che l'alimentazione dei vari laghi sia dovuta all'apporto della falda più superficiale (40 m di profondità), ma non si può comunque escludere, come nel caso del lago Sinizzo, la presenza di ulteriori piccole polle di risalita di acque profonde. Il processo genetico che ha originato i Laghetti Giorgio 1 e 2, i laghi San Raniero, San Giovanni, il Lago Sinizzo e il Lago La Quaglia, 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, le morfologie delle cavità cilindriche e non coniche (caratteristiche nei processi di *raveling*) fa piuttosto ipotizzare la presenza di un condotto.

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 dell'Aterno. 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 alcune delle cavità dipendano da processi agenti nel bedrock posto a notevole profondità.

Per altre cavità quali Fossa del Monte, Fossa Cupa, Collarano, Fosse di Ripa, Fossa Prinesca, Fossato del Monte la posizione, al di sopra di terrazzi alluvionali costituiti da depositi a granulometria grossolana fanno ipotizzare meccanismi di crollo e di *raveling*. Pertanto è possibile ipotizzare meccanismi genetici tipo cover – collapse sinkhole.

Tali processi sono da escludersi per i fenomeni posti sulle dorsali o al di sopra di coperture continentali a scarso spessore per cui i processi possono essere ricondotti a fenomeni carsici superficiali.

Questa cavità si possono ritenere delle antiche doline scavate nei sedimenti carbonatici in seguito riempiti dai materiali che le acque piovane asportano dalle dorsali circostanti.

L'elaborazione dei dati relativi al progetto sinkhole apat relativi al territorio abruzzese ha permesso di realizzare, mediante un gis, una carta di pericolosità da sinkhole dell'intera regione Abruzzo.

La carta è stata realizzata utilizzando i dati raccolti in ogni area relativi alle caratteristiche della copertura sedimentaria (proprietà geotecniche e spessore), alla tettonica ed alla presenza di forti terremoti e di sorgenti mineralizzate.

Ad ogni geotematismo è stato assegnato un punteggio in relazione al potenziale di rischio; il tematismo risultante (somma dei punteggi) rappresenta una carta di pericolosità da sinkhole nella regione Abruzzo.

In base a queste considerazioni e ai dati raccolti si può, infine, asserire che la valle dell'Aterno è per genesi un' area ad elevata pericolosità di sinkhole e la crescente urbanizzazione del territorio e gli aumentati emungimenti di acqua dal sottosuolo ne fanno incrementare il rischio di sprofondamento.

BIBLIOGRAFIA.

- **Almagià R.** (1910)– Alcuni fenomeni carsici nell'Abruzzo Aquilano. Boll. Soc. Geogr. Ital. Fasc.VIII, 1910.
- **Annunziatellis A., Beaubien S.E., Ciotoli G., Lombardi S., Nisio S. & Nolasco F.** - (2004) Studio dei parametri geologici e geochimici per la comprensione dei meccanismi genetici degli sprofondamenti nella piana di S. Vittorino. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004"; 63-82.
- **Basili R., Bosi C., Messina P.**(1997) – La tettonica Quaternaria dell'Alta Valle del F. Aterno (Appennino Centrale) desunta dall'analisi di successioni di superfici relitte. Il Quaternario 10(2), (1997).
- **Beaubien S.E., Ciotoli G., Lombardi S., Nisio S. & Nolasco F.** (2003) - **Indagini Geologiche E Geochimiche per lo Studio del Rischio Sinkholes nella Piana di S. Vittorino Atti Conv. 4° Forum FIST Bellaria (Rimini) 16-18 sett. 2003. Vol Abs., 357-359**
- **Beneo E.** (1943) – Note illustrative della Carta Geologica d'Italia , Foglio 146 Sulmona.
- **Bersani P. & Castellano F.** - *I sinkhole della Piana di S. Vittorino (Rieti) e il rischio idraulico connesso.* In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, (GR). Regione Toscana, 47-61 (2002).
- **Bersani P.,** Moretti D. – I sinkhole e l'uomo. 1° Seminario "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio. Apat, 2004.
- **Berti G., Canuti P., & Casagli N.** - Voragini e sprofondamenti nel territorio nazionale: analisi morfometrica di alcuni casi caratteristici in aree appenniniche. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 71-81 (2002 b).
- **Berti G., Canuti P., & Casagli N.**– Criteri per la previsione e prevenzione del rischio connesso agli sprofondamenti catastrofici. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 82-98. (2002 a)

- **Blumetti A.M., Cavinato G.P., Tallini M. (1996)** – Evoluzione plio – Quaternaria della Conca di Aquila – Scoppito: Studio preliminare. Il Quaternario 9(1), 1996.
- **Boni C., Cappelli G. & Petitta M.** – Carta idrogeologica dell'alta e media valle del F. Velino. System cart, Roma (1995)
- **Bosi C., Bertini T. (1970)**- Geologia della media valle del fiume Aterno. Mem. Soc. Geol. It. Vol.9, fasc.4
- **Buccio di Ranallo** - Cronaca Aquilana rimata. Fonti per la Storia d'Italia. Roma, 1907.
- **Campobasso C., Graciotti R., Nisio S. & Letizia V. (2004)** - Il progetto sinkhole: le attività svolte dal Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004". 171-188.
- **Cappa F.** – Sul terremoto che a ' 2 di febbraio 1703 rovinò l'Aquila e molti paesi di Abruzzo. Memorie. Tipografia Aternina, 1871.
- **Caramanna G., G. Ciotoli And S. Nisio (2005)** - A review of natural sink phenomena in Italian plain areas. 6th international conference of Geomorphology, 7-11 Sept, 2005- Zaragoza, Spain, 347.
- **Caramanna G., G. Ciotoli And S. Nisio (2005)** A review of natural sink phenomena in Italian plain areas. Journal of Natural Hazard vol. Spec. (presentato).
- **Caramanna G., Nisio S. & Vita L. (2004)** - Fenomeni di annegamento dei sinkholes: casi di studio su alcuni laghetti di origine incerta. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004", 229-248.
- **Cecchetti Ad. (1907)** – Le doline nella valle del Roio nell'Appennino Aquilano. Mondo Sotterraneo: rivista per lo studio delle grotte e fenomeni carsici. Udine, 1907.
- **Celico P.** - Idrogeologia dei massicci carsici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania). Quad. Cassa Mezzogiorno, 4 (2) (1983).
- **Centamore E. & Nisio S.** - The effects of uplift and tilting in the Central Apennine. Quaternary international 101-102 (2003), 93-101
- **Chelussi I.** - Alcuni fenomeni carsici e glaciali dell'Appennino Aquilano. Atti della Società Italiana di Scienze Naturali. Volume XL Milano, 1901.

- **Ciotoli G. Di Filippo M. Nisio S. & Romagnoli C. (2000)** – La Piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici. Mem. Soc. Geol. It., 56, 297-308.
- **Ciotoli G., Di Filippo M., Nisio S., Romagnoli C.** - La piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali , geomorfologici, geofisici e geochimica. Atti Conv. Giovani Ricercatori di Geologia Applicata. Chieti 22-24 Ott. 1998, Vol. abs. 200-201 (1998)
- **Colombi A., Salvati R., Capelli G., Sericola A., Colasanto F., Crescenzi R., Mazza R., Meloni F. & Orazi A.** - Problematiche da sprofondamento catastrofico nelle aree di pianura della Regione Lazio. Il Progetto Sinkhole del Lazio. Convegno Conoscenza e salvaguardia delle aree di Pianura. Ferrara Italy, 8-11 Novembre 1999. (1999)
- **Corrado S., Miccadei E. Parotto M. & Salvini F. (1996)** – Evoluzione tettonica del settore di Montagna Grande (Appennino Centrale): il contributo di nuovi dati geometrici, cinematici e paleomagnetici. Boll. Soc. Geol.It. Vol.115 .
- **Crema C.** - Sprofondamenti carsici del Gennaio e del Febbraio 1915 nella Valle del Velino (Aquila). In: Tra i monti del Lazio e dell'Abruzzo. Roma, 1, 41-54 (1924).
- **D'Agostino N., Funicello R., Speranza F. & Tozzi M. (1994)** – Caratteri della tettonica distensiva nell' Appennino Centrale: L'Area di S.Stefano di Sessanio – Calascio (L'Aquila). Boll. Soc. Geol.It. Vol 113.
- **Faccenna C. , Florindo F., Funicello R., & Lombardi S.**– Tectonic setting and Sinkhole Features: case histories from western Central Italy. Quaternary Proceeding n.3, 47-56 (1993).
- **Faccenna C. , Florindo F., Funicello R., & Lombardi S.**– Tectonic setting and Sinkhole Features: case histories from western Central Italy. Quaternary Proceeding n.3, 47-56, (1993)
- **Galandini F., Giraudi C., Giuliani R. (1991)** – Su alcune dislocazioni di un detrito di versante in un'area tettonicamente attiva (Conca de "Il Tagno", media valle del fiume Aterno) Boll. Soc. Geol.It. Vol.110 fasc.1
- **Galandini F., Giuliani R. (1993)** – Pleistocene deformational history of the Barisciano –Calascio area, NE margin of the middle Aterno river valley (Central Italy). Bollettino del Servizio Geologico d'Italia. Vol. CX- 1991

- **Gortani M.** – Sulla glaciazione quaternaria nell’Appennino Abruzzese. Rendiconto delle sessioni della R. Accademia delle Scienze dell’istituto di Bologna. Vol. XXXV (1930- 31).
- **Marini G.** – Il fenomeno carsico nella conca dell’Aquila”.Quad. Mus. Speleol. V. Rivera, 1 (3): 41-56 ,1976.
- **Massimi G.** – Considerazioni sul fenomeno carsico con particolare riguardo all’Appennino Abruzzese.
- **Messina P., Moro M. & Speranza F. (2001)** – Primi risultati di stratigrafia magnetica su alcune formazioni continentali dell’Alta Valle del Fiume Aterno (Italia Centrale). Il Quaternario, 14(2), 2001.
- **Moro M., Bosi V., Galadini F., Galli P., Giaccio B., Messina P., Sposato A.** – Analisi Paleosismologiche lungo la faglia del M.Marine (Alta Valle dell’Aterno). Risultati preliminari. Il Quaternario 15 (2), 2002.
- **Nisio S. (2004)** - Aree a rischio sinkhole. Annuario dei dati ambientali, 1151-1155.
- **Nisio S. (2005)** - Il rischio sinkhole. Censimento dei fenomeni ed alcuni casi di studio. Convegno Aiga Rossano, 18-21 maggio 2005 .
- **Nisio S. & G. Caramanna G. Ciotoli (2005)** - Sinkholes hazard in Italy: first results on the inventory and analysis of some case studies. Geological Society of London, in stampa.
- **Nisio S. & G. Caramanna G. Ciotoli (2005)** - Sinkholes hazard in Italy: first results on the inventory and analysis of some case studies. General Assembly of the European Geosciences Union (EGU), Vienna April 24 to 29; Geophysical Research Abs. Vol. 7, 03922, 2005.
- **Nisio S. & Salvati R. (2004)** - Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana. Atti Conv. “Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004”, 573-584.
- **Nisio S. (2003)** – I Fenomeni di Sprofondamento:Stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale. Il Quaternario 16 (1), 2003.
- **Nisio S. (2004)** - Aree a rischio sinkhole. Annuario dei dati ambientali, 2004, 1151-1155.
- **Nisio S.**– I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale. Il Quaternario, 16(1), 121-132, (2003).

- **Nisio S., Graciotti R. & Vita L. (2004)** - I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte. Atti Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio Roma 20-21 maggio 2004", 557-572.
- **Pinali R., Vinaj G.S.** – Le acque minerali e gli stabilimenti termali, idropinici ed idroterapici d'Italia. Umberto Orioni Editore 1923, Milano.
- **Tenore G. (1872)** – Sulle azioni chimiche e meccaniche dell'acqua come cagioni attuali modificatrici nella Valle del Velino nel secondo Abruzzo Ulteriore (Piana di San Vittorino).
- **Tetè P., Pesce G.L. & Leonardis B.** – Il Lago Sinizzo nei pressi di San Demetrio Né Vestini (L'Aquila). Natura, 1984.