

# **I FENOMENI DI ANNEGAMENTO DEI SINKHOLES: STUDI PRELIMINARI SU ALCUNI LAGHETTI DI ORIGINE INCERTA**

**CARAMANNA GIORGIO, NISIO STEFANIA, VITA LETIZIA**

Apat- Dipartimento Difesa del Suolo, V. Curtatone, 3 - 00185 Roma

---

## **INTRODUZIONE**

In Italia sono molti i laghetti originatisi in epoca storica, le cui modalità di formazione, la morfologia e il contesto geologico-strutturale potrebbero essere compatibili con fenomenologie di sinkhole.

Su alcuni di essi si narrano leggende che ne farebbero risalire l'origine ad un unico evento catastrofico.

Nel presente lavoro vengono esposti i primi risultati di uno studio volto all'individuazione di questi casi.

Si è iniziato con una ricerca delle fonti storiche che testimoniassero le modalità nonché la data di formazione dei sinkholes.

I fenomeni censiti sono stati inoltre inquadrati nel contesto geologico-strutturale ed idrogeologico; alla fase di acquisizione e rielaborazione delle informazioni disponibili è seguita, ove possibile, l'indagine in sito con misurazioni dirette dei principali parametri geomorfologici ed idrochimici.

In alcuni casi si è provveduto anche ad indagini dirette con tecniche subacquee al fine di raccogliere informazioni, anche fotografiche, circa la geomorfologia della parte sommersa dei sinkholes e prelevare campioni litologici e di fluidi.

## **1. I PROCESSI DI ANNEGAMENTO DEI SINKHOLES**

Il processo di "annegamento" è il fenomeno più frequente dopo la formazione di un sinkhole. Accade nella maggior parte dei casi, infatti, che acque di infiltrazione (si può escludere l'annegamento per apporto meteorico) si riversino all'interno della depressione dando a questa la fisionomia di un piccolo lago. I tempi di formazione del laghetto sono variabili da poche ore ad alcuni giorni, a qualche mese.

Quando la profondità della voragine è pari o superiore alla quota piezometrica della falda, il lago viene alimentato da quest'ultima. In tale situazione il livello dell'acqua all'interno del piccolo lago subisce delle fluttuazioni stagionali, poiché strettamente collegato agli eventi pluviometrici, con minimi nella stagione estiva. In alcuni casi, durante i minimi estivi, si assiste al prosciugamento del lago.

In altri casi si osserva, invece, che il piccolo lago ormai formato non subisce nessuna variazione stagionale di livello, inoltre è possibile osservare alla superficie del lago bolle dovute a risalite di gas. In questi casi si può accertare la presenza di piccole emergenze al fondo lago; quando la portata delle sorgenti al fondo è notevole, è possibile che si formi un piccolo emissario. In questa seconda ipotesi si può supporre che il fenomeno di annegamento sia influenzato dalla presenza di acquiferi in pressione all'interno del bedrock carbonatico, e che i fenomeni di risalita di fluidi profondi (acqua e gas), nei sedimenti di copertura operino in maniera diretta sull'evoluzione di sprofondamenti catastrofici in superficie; si può classificare il fenomeno nel tipo piping sinkhole.

La risalita delle acque profonde tramite processi di upwelling risulta, poi, essere controllata da discontinuità (faglie, fratture) presenti nel bedrock e nella copertura sedimentaria, quest'ultima può raggiungere spessori anche notevoli (100-200 m). Il sinkhole risulta essere così in collegamento con l'acquifero basale attraverso un condotto che ha le stesse caratteristiche di un pozzo artesiano che capta in profondità. Tale processo è stato più volte suffragato da analisi geochimiche delle acque e dei gas disciolti che hanno confermato l'origine profonda (CIOTOLI et alii, 1998, 2000). I fenomeni di annegamento a cui si è assistito in epoca recente sono pochi, i più esemplificativi si riscontrano in Toscana: il sinkhole del Bottegone (BERTI et alii, 2002) e quello di Camaiore (BUCHIGNANI, 2002 BUCHIGNANI & CHINES, 2002, D'AMATO AVANZI et alii, 2002); quest'ultimo è stato ricolmato artificialmente in tempi molto rapidi. Nel caso del Bottegone durante la formazione della voragine era ben visibile, da una parte della cavità un'iniziale presenza d'acqua, dopo alcuni mesi dalla formazione il sinkhole si è trasformato in un laghetto.



Foto 1, 2 - Immagini del Sinkhole del Bottegone il giorno successivo alla sua formazione, dove è visibile la risalita d'acqua e 4 anni dopo, a fenomeno di annegamento avvenuto.

## 1. ALCUNI ESEMPI NEL LAZIO

### ALCUNI LAGHETTI DELLA PIANURA PONTINA (LATINA)

Casi di sprofondamento sono comuni in tutta la Pianura Pontina, costellata da numerosi laghetti e sorgenti. Tali fenomeni sono stati segnalati in epoca storica da Prony (1818) che narra. ..."nel 1786 una porzione di terreno si è affondata nella pianura situata al di sotto e presso Sermoneta, sulla Via dell'Irto, tra il fosso Sermoneta e la Ninfa ed ha formato un vasto pozzo chiamato "Obico". Di Tucci e De Rossi (1876) parlano di sprofondamenti nei pressi di Sermoneta quest'ultimo afferma che lungo l'allineamento Velletri-margine catena Lepina si sono attivati nel corso del 1800 alcuni fenomeni:..."nell'anno 1809 se ne formò uno del diametro di 100 m, ora pieno d'acqua, un altro ne avvenne nel 1848 un terzo nel 1842 e l'ultimo nel 1857".

Riuscire ad individuare la corrispondenza tra le cavità attualmente attive con le citazioni storiche per risalire all'età dell'evento è oggi molto difficile.

Nella pianura Pontina attualmente si possono distinguere alcuni gruppi di laghetti: il gruppo dei Laghi del Vescovo, una serie di cavità sub-circolari colmate d'acqua ubicate nell'area compresa tra il settore più meridionale dei Monti Lepini e il Fiume Uffente a sud di Sezze, gli sprofondi nel Comune di Sermoneta, ed un gruppo di laghetti nei pressi di Doganella di Ninfa (il sinkhole di Doganella, Casa Affondata, Lago di Cotronia etc.)

### 1.1. Il sinkhole di Doganella di Ninfa

Il sinkhole di Doganella di Ninfa è una struttura cava allagata profonda circa 35 metri dal piano di campagna. Dal giorno della formazione, il 22 Agosto 1989 (BONO, 1995), ha progressivamente aumentato le dimensioni. Attualmente si presenta come una cavità sub ellittica allungata in direzione Est – Ovest. La voragine è sede di un lago con battente d'acqua di circa 30 metri. La presenza di sedimento in sospensione rende l'acqua particolarmente torbida. L'origine del particolato sospeso è dovuta a fenomeni di microfranosità che interessano le pareti della cavità contribuendo al suo progressivo allargamento.

Il profilo delle pareti del sinkhole presenta una sostanziale verticalità. Solo localmente, poco sotto la superficie dell'acqua, si registrano rotture di pendio con accumulo di detrito fangoso. Il dato più rilevante scaturito dall'esplorazione della parte allagata della cavità è la presenza di un esteso sgrottamento, prossimo al fondo, con profondità variabile da circa un metro ad oltre sei lungo il perimetro della struttura. In particolare la massima estensione dello sgrottamento coincide con la direzione del massimo allungamento del sinkhole cioè verso Ovest.

Da 15 metri fino al fondo il sedimento diventa più compatto determinando, verso il basso, una struttura a gradini inversi lungo la volta dello sgrottamento perimetrale (figg. 1 - 3). Il fondo è ricoperto da uno strato di limo. Sondaggi eseguiti in immersione hanno permesso di definire lo spessore della copertura non consolidata che copre il substrato più coerente (Tab. 1). Per il tipo di resistenza incontrata alla penetrazione della sonda, si può escludere la presenza di materiale litoide. Si ipotizza, piuttosto, un substrato con caratteristiche granulometriche assimilabili ad argille coerenti o a piroclastiti addensate. Lo strato coerente ricalca l'andamento morfologico del fondo del lago, originando un piano inclinato verso il massimo approfondimento dello sgrottamento. A tratti sul fondo si trovano blocchi di dimensioni metriche che chiaramente provengono dalle pareti, a testimonianza di episodici fenomeni di crollo più vistosi. Osservazioni dirette della litologia delle pareti della cavità hanno permesso di definire una litostratigrafia di massima. Dal piano di campagna fino a circa 12 – 15 metri sotto

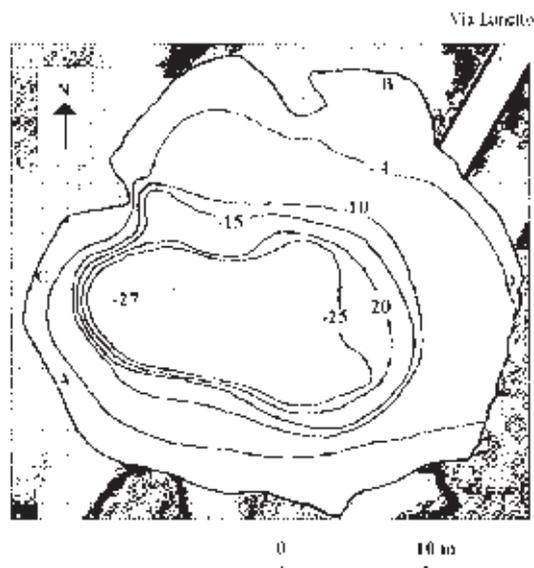


Fig. 1 - Batimetria sinkhole Doganella di Ninfa (Pianura Pontina) A-B, C-D, tracce delle sezioni

la superficie dell'acqua, il sedimento prevalente è di tipo vulcanoclastico con una matrice argillosa. Da 15 metri fino al fondo il sedimento diventa più compatto determinando, verso il basso, una struttura a gradini inversi lungo la volta dello sgrottamento perimetrale (figg. 1 - 3).

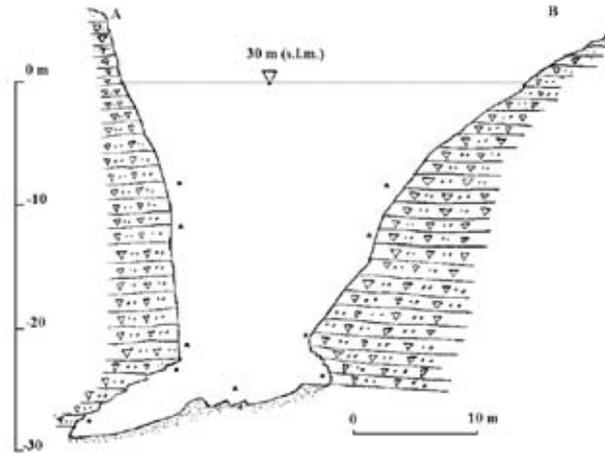


Fig. 2 - Sezione A-B della parte sommersa del sinkhole di Doganella di Ninfa (Pianura Pontina)

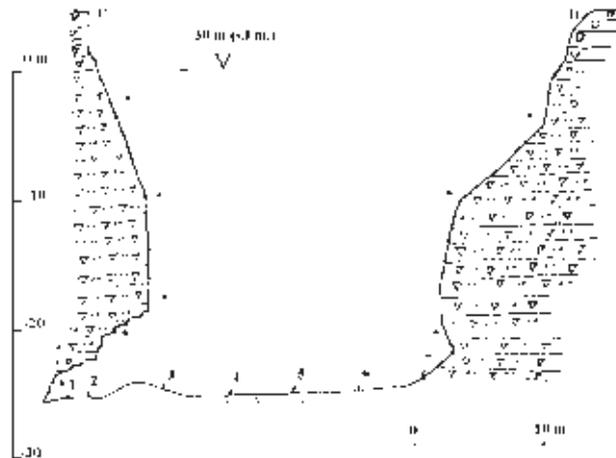


Fig. 3 - Sezione C-D del settore sommerso del sinkhole di Doganella di Ninfa - Pianura Pontina (\*) Capisaldi del rilevamento subacqueo. (1-7) Punti di verifica spessore sedimenti

Punto	1	2	3	4	5	6	7
cm	120	100	90	80	80	70	80

Tab. 1 - Spessore (cm) dei sedimenti lungo la traccia C-D

Il sinkhole di Doganella di Ninfa è sede di un affioramento della falda idrica basale. Osservazioni dirette della cavità hanno evidenziato l'assenza di immissari od emissari, tuttavia l'acqua presente non è stagnante segno della presenza di un continuo, seppur

lento, circuito di ricambio. Le dimensioni del sinkhole sono tali da far stimare un volume di acqua accumulata dell'ordine dei 15 .000 – 20.000 m<sup>3</sup>.

Le analisi comparate (Tab. 2) dei campioni d'acqua prelevati in data 19/05/03 in prossimità degli impianti di pompaggio della sorgente di Ninfa (T 15°C - pH 6,60 – Cond. Electr. 430 µs/cm) e nel sinkhole di Doganella (T 17°C - pH 7,05 – Cond. Electr. 4386 µs/cm) evidenziano una differenza nelle concentrazioni degli ioni principali. Le acque del sinkhole sono complessivamente più mineralizzate con un arricchimento in Na, K, e solfati e relativamente in Cl. L'origine di tale mineralizzazione e' verosimilmente da attribuirsi a fenomeni di lisciviazione di lenti evaporitiche ricche in CaSO<sub>4</sub>. Il Ca ed il Mg dovrebbero essere adsorbiti dai depositi argillosi che sigillano il fondo del sinkhole con rilascio di Na e K in soluzione mentre SO<sub>4</sub> e Cl rimangono liberi in soluzione. La presenza di F fa ipotizzare la lisciviazione anche di sedimenti piroclastici recenti. Si esclude la presenza di un flusso di CO<sub>2</sub> anomalo visti i tenori dei bicarbonati tipici dell'area. La diversità dei valori dei rapporti ionici principali ed in particolare del rapporto (Cl+SO<sub>4</sub>)/HCO<sub>3</sub>, tre volte superiore nel sinkhole rispetto alla sorgente di Ninfa (Tab. 3), conferma una differenziazione evidente nel chimismo delle acque affioranti nel sinkhole rispetto a quelle captate alle sorgenti di Ninfa.

Campione	F <sup>-</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	Ca <sup>2+</sup> (meq/l)
Sinkhole sup.	0,01	0,40	0,18	0,33	3,03	0,53	< 0.1	0,04	0,75	2,74
Sinkhole fondo	0,01	0,44	0,28	0,42	3,63	0,58	< 0.1	0,09	0,90	3,42
Ninfa	0,00	0,22	0,05	0,06	4,04	0,18	< 0.1	0,01	1,12	3,32

Tab. 2 – Concentrazioni degli ioni principali

Campione	SO <sub>4</sub> /Cl	Mg/Ca	Na/Ca	Cl/HCO <sub>3</sub>	K/Na	(Ca+Mg)/(Na+K)	(Cl+SO <sub>4</sub> )/HCO <sub>3</sub>
Sinkhole sup.	0,83	0,27	0,19	0,13	0,08	6,12	0,24
Sinkhole fondo	0,95	0,26	0,17	0,12	0,16	6,45	0,24
Ninfa	0,27	0,34	0,05	0,05	0,06	23,37	0,07

Tab. 3 – Rapporti ionici principali

## 1.1. Il Lago di S. Carlo

Il Laghetto di S. Carlo fa parte del Gruppo dei Laghi del Vescovo, presenta una forma perfettamente circolare, ed è il più distante dalla dorsale carbonatica. E' facilmente raggiungibile dalla strada poiché collegato attraverso un sentiero. Sono facilmente individuabili alcune polle risorgive al suo fondo e risalite di gas.

### 1.1. Il gruppo degli sprofondi

Il gruppo degli sprofondi è costituito da 5 voragini di forma subcircolare rinvenute nel comune di Sermoneta, che sembrano allinearsi all'interno della pianura Pontina secondo direzione appenninica (NW-SE),

Le prime due cavità erano ubicate presso la stazione di Sezze e sono state di seguito ricolmate artificialmente.

In una delle due era presente dell'acqua probabilmente alimentata dalla falda superficiale, in seguito prosciugata, ed interrita da almeno sette anni secondo alcune informazioni raccolte, ma già nel 1904 era coperta di poca erba (LAZZARINI, 1904).

Tale voragine, aveva le dimensioni di 36 m di diametro massimo e 30 circa di minimo nel



Fig. 4, Foto 3 - Stralcio della tavoletta topografica 1:25.000 dell'area dei Laghi del Vescovo, ed immagine del Laghetto di S. Carlo.

1904 (MARINELLI), presentava acqua stagnante al fondo, la profondità appariva modesta. Altri due sprofondi, sono ancora presenti, e sono ubicati in terreni di proprietà privata. L'accesso è particolarmente difficoltoso data la rigogliosa vegetazione che si è insediata sulle sponde, e la recinzione.

Si tratta di laghetti di forma sub-circolare dalle pareti subverticali, in cui il pelo dell'acqua si trova a circa 10 m dal piano campagna (nel 1903 a 4 m e nel 1904, annata piovosa, a soli 3m). Il livello di falda risulta invece in quest'area, da dati raccolti a dicembre 2003, a circa 13 m dal p.c.

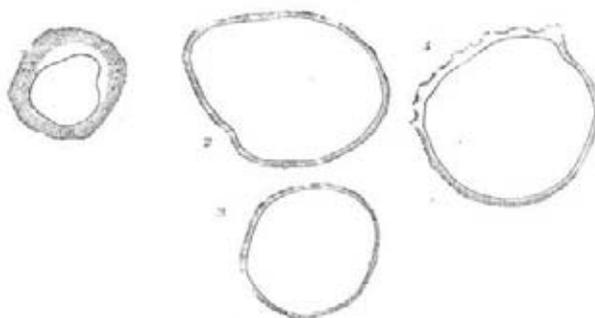


Fig. 5 - Planimetrie degli sprofondi da MARINELLI (1904).

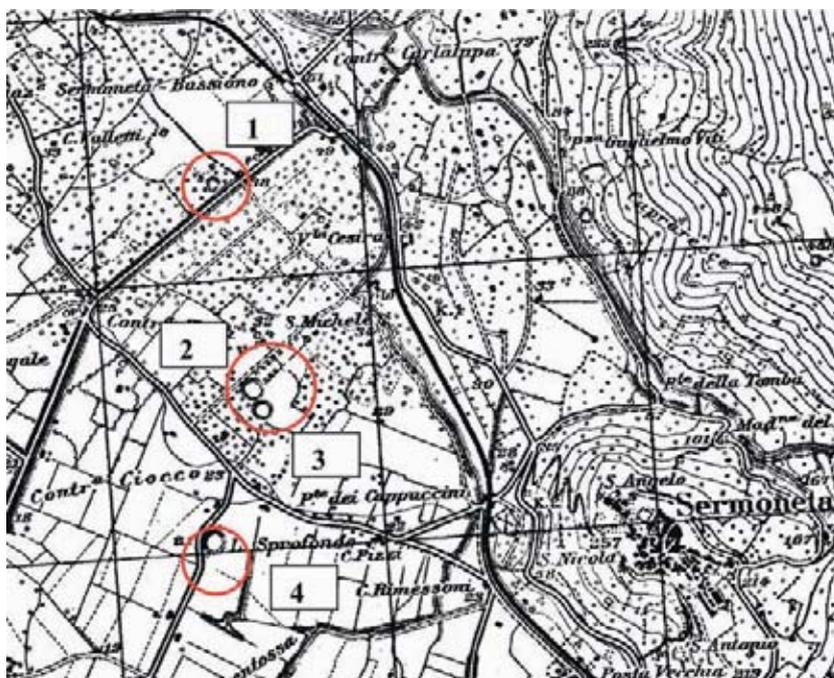


Fig. 6 - Stralcio della tavoletta topografica 1:25.000 Sermoneta

Il diametro del sinkhole n.2, della figura, è di circa 90 m max e 74 m il minimo, le dimensioni del n. 3 di 70 m (D max, 54 m D min). Il livello dell'acqua è variabile, strettamente connesso ai cicli stagionali e alle precipitazioni abbondanti. Nel 1904 i laghetti erano pescosi ed alimentati dalla falda.

Dal pelo libero dell'acqua uno dei due dovrebbe essere profondo altri 25 m nel punto centrale.

Dalle informazioni raccolte non sembrano essere presenti emergenze sul fondo, l'alimentazione sembra dovuta alle acque della falda superficiale. Per quanto riguarda le età questi due sprofondi (n. 2 e 3 della figura) dovrebbero risalire al 1870 circa (LAZZARINI, 1904), la loro età sarebbe ancora più remota secondo MARINELLI (1904) che identifica queste cavità con quelle osservata nel 1818 da PRONY.

L'ultimo degli sprofondi, oggi noto come lago Azzurro (n. 4 della figura), ma presente nelle carte topografiche con il toponimo di "sprofondo" ha forma circolare, con diametro di 80 m circa, ed è poco distante dagli altri due.

La sua formazione è molto antica, risalirebbe secondo le credenze popolari al giorno di S. Giacomo (25 luglio) dell'anno 1786 secondo LAZZARINI (1904), in cui dopo un evento catastrofico persero la vita i lavoranti dei campi ed il bestiame. Al fondo del Lago azzurro a differenza degli altri due profondi sarebbero presenti sorgenti di piccola portata.



Foto 4 - Il Lago azzurro, inizialmente di forma perfettamente circolare è stato arginato artificialmente ed adibito a pesca sportiva. (denominato sprofondo sulla tavoletta IGM)



Foto 5a, 5b - a) Gli sprofondi; le due cavità 2 e 3 sono difficilmente raggiungibili, recintate e mascherate da una fitta vegetazione, il pelo dell'acqua si trovava durante il sopralluogo di dic. 2003 a 7-8 m dal piano campagna. b) Targa caratteristica lungo la via che porta ai due sprofondi

## 1. ALCUNI ESEMPI IN TOSCANA

### 1.1. Il Lago dell'Accesa

Si hanno poche notizie riguardo l'origine del Lago dell'Accesa (Massa Marittima), la cui origine risalirebbe secondo una leggenda al 26 luglio 1218.

La leggenda narra che: "Il 26 luglio festa di S. Anna, giornata dedicata ai festeggiamenti per la santa e non al lavoro, il proprietario dei terreni, in cui attualmente sorge il lago, di origine turca, non era ben avvezzo ai festeggiamenti religiosi e volle, nonostante il malcontento degli agricoltori, dedicare quella giornata alla trebbiatura e non al riposo. Così secondo il racconto: verso mezzogiorno il cielo improvvisamente si rabbiuò. Nuvole minacciose si addensarono sopra l'Accesa mentre tremori sconvolsero la terra. I trebbiatori colti alla sprovvista, cercarono di mettersi al riparo, cercando scampo sotto gli alberi, chi nei capannoni chi nella casa del Turco. Ma non ci fu nulla da fare una fenditura si aprì nel terreno lungo tutta l'aia e rapidamente divenne un'enorme voragine. La terra precipitò dentro, le messi furono inghiottite, i capanni e la casa sprofondarono con tutti i malcapitati che avevano creduto di trovarvi riparo, mentre lingue di fuoco si levavano dal sottosuolo. Nello stesso tempo si aprirono cateratte dal cielo e un diluvio si precipitò sull'Accesa...Dopo mezz'ora di questa musica, la terra finalmente si raffreddò, il cratere con altri brontolii lamentosi poco a poco si richiuse e il sole ricomparve di nuovo ma dove fino a poco tempo prima c'era un'aia, trebbiatori e bionde spighe a perdita d'occhio, ora c'era solamente un piccolo lago verde azzurro con qualche bagliore rossastro."

Anche il nome del lago Accesa dovrebbe derivare da una luce misteriosa che sembrava provenire dalla profondità e che emanava bagliori rossastri.

Il primo a parlare del lago dal punto di vista scientifico fu SANTI (1809) nel suo lavoro Viaggio terzo in Toscana in cui l'autore afferma: "la profondità in mezzo al Chiaro è grandissima. Parvemi che egli tragga le sue acque da polle del suo proprio fondo e le acque dell'emissario, regolate da cataratta, manda le sue acque ai forni dell'accesa ove si fonde e si ripurga il minerale dell'Elba".

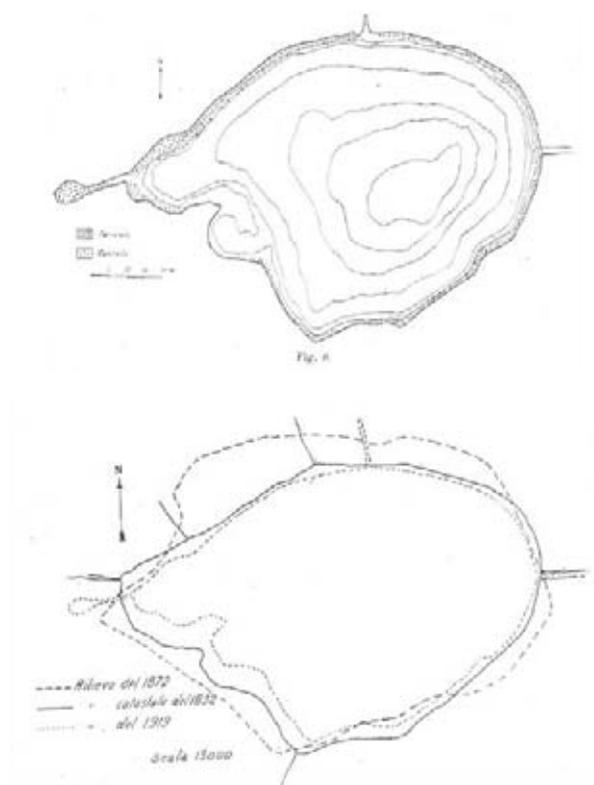
Nei primi anni del 1800 le acque del lago erano utilizzate per gli impianti di lavaggio delle vicine miniere dell'Accesa, proprio in virtù dello stato perenne del lago alimentato dalle sorgenti al fondo.

RIPETTI nel 1833 tenta di calcolare le dimensioni reali del Lago ma non dà nessun giudizio in merito all'origine dello stesso affermando: "non appartiene alla serie di ristagni palustri, sivvero entra nel numero di quelli che Virgilio chiamò con il suo vero epiteto vivique lacus".

I primi studi di carattere geologico si hanno nel 1886 (DE FERRARI & LOTTI) in cui gli Autori ricollegano l'origine del lago a fenomeni carsici e parlano anche di altre sorgenti che si allineano in direzione N-S secondo una medesima direttrice con il Lago dell'Accesa. Le sorgenti delle Venelle e dell'Aronna che distano in linea d'aria 2,2 km da quelle dell'Accesa e vengono a giorno alla stessa quota da p.c..

Il lago presenta un canale di scarico, che fu ripristinato ed approfondito nel 1912 dall'Azienda Agraria Società Montecatini con abbassamento del livello del Lago di 50 cm, bonificando tutta la zona circostante.

Le dimensioni del lago sono state rilevate per primo da MERCIAI (1933); il lago presenta forma ellittica con asse maggiore di 580 m e asse minore di 390 m, la profondità massima è stata stimata dallo stesso Autore essere di 40 m.



Figg. 7 e 8 - Curve batimetriche del Lago dell'Accesa e variazioni della linea di costa dal 1872 al 1919 da MERCIAI (1933)

Il lago ha subito variazioni di forma e dimensioni nel tempo le variazioni nella planimetrie dal 1832 al 1919 sono state riportate da MERCIAI (1933), le ultime misurazioni batimetriche sono state effettuate da NEGRI nel 1995 (NEGRI, 1998).

La temperatura risente della temperatura esterna ed oscilla dagli 8° ai 25° circa. La sorgente a fondo lago ha portata di 68 l/sec secondo PERRONE (1912), risultava invece a DE FERRARI E LOTTI (1886) di 160 l/sec; mentre la portata del piccolo canale emissario è di 10 l/sec.



Foto 6 - Panoramica del lago dell'Accesa



### 3.1.1. Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area circostante il Lago dell'Accesa, nei dintorni di Massa Marittima, è caratterizzata da depressioni subcircolari attribuite a processi carsici.

La prima è il bacino della Ghirlanda ad est di Massa Marittima, il secondo è quello delle Venelle ad ovest, dal quale si originano le sorgenti omonime, quello di Schiantapetto e procedendo verso Sud quello dell'Aronna ed infine quello dell'Accesa.

Dal punto di vista morfologico il bacino dell'Accesa presenta forma allungata in direzione NS, una piccola insenatura lo divide da un'altra depressione all'interno della quale si rinvergono le sorgenti dell'Aronna.

Le sorgenti delle Venelle, dell'Aronna e dell'Accesa si allineano secondo una direttrice circa NS. La sorgente delle Venelle, a quota 164 m, è posta all'interno di una dolina originata sul Calcare cavernoso, su cui poggiano stratigraficamente gli argilloscisti eoceenici. L'area sorgentifera in realtà è costituita da una serie di emergenze la cui portata totale è di 300 l/sec..

La sorgente dell'Aronna è costituita da due gruppi di polle, alcune formanti laghetti, impostatesi sugli argilloscisti e sedimenti fluvio-lacustri ai bordi di una dorsale costituita da Calcare Cavernoso. La portata totale è di 850 l/sec (DEFERRARI & LOTTI, 1886).

Dal punto di vista geologico nell'area sono presenti tre formazioni: un substrato del Permiano costituito da scisti, su cui poggia la formazione del Calcare Cavernoso, molto permeabile ed erodibile che ben si presta allo sviluppo di carsismo. Il Calcare Cavernoso affiora a N e a W del lago.

Al di sopra del Calcare Cavernoso si rinvergono gli Argilloscisti a Galestri e Palombini. Il quaternario è rappresentato da detriti che si trovano al di sopra degli argilloscisti e formano una fascia che circonda il Lago.

L'area è interessata da due sistemi di faglie: un sistema NS o NNW-SSE e uno ortogonale ENE-WSW. I due sistemi si intersecano proprio in corrispondenza del Lago dell'Accesa.

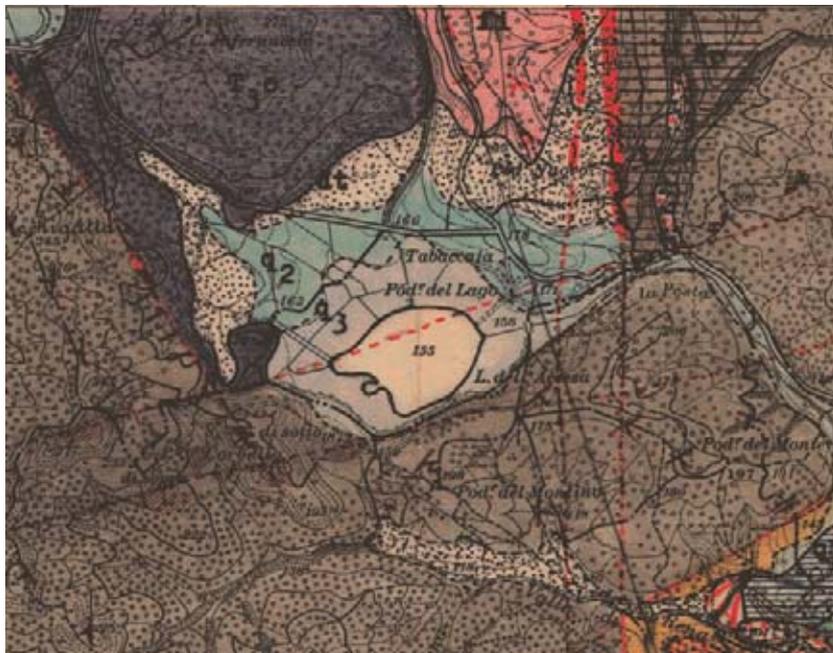


Fig.11 - Stralcio degli originali d'Autore (scala 1:25.000) per il rilevamento del Foglio geologico Piombino alla scala 1:100.000

### 3.2. I Laghi di S. Antonio (Poggibonsi-Siena)

Nella parte settentrionale della montagna senese, sull'Altopiano di S. Antonio, la dorsale tra i corsi d'acqua dell'Elsa e della Staggia, si rinvengono quattro cavità sub-circolari che si allineano tutte secondo una direttrice, due delle quali ospitano laghetti, il Lago Scuro e il Lago Chiaro, la terza l'Ausciana è ridotta ad un piccolo spazio ricoperto da vegetazione palustre e l'ultima invece è ormai prosciugata.

Singolari tradizioni e leggende riguardano questi laghetti. Secondo una leggenda, conservata in un vecchio manoscritto conservato nella Pieve di Staggia e riportata da DEL ZANNA (1901): Sant'Ambrogio recandosi a Roma si fermò in una locanda, presso la vecchia strada maremmana, per passarvi la notte. Nella sera mentre prendeva riposo dalle fatiche del viaggio, s'intrattene a parlare familiarmente col proprietario dell'albergo, e questi discorrendo di sè disse, caso più unico che raro, di essere felice, senza desideri, e che nessuna disgrazia aveva mai turbata la sua serena contentezza. A tali parole il vescovo milanese ordinò a quelli che l'accompagnavano di prepararsi a partire subito perché un'immensa sciagura minacciava quella casa. Infatti il sant'uomo col suo seguito si era di poco allontanato, che la casa sprofondò col terreno adiacente e nella voragine si raccolsero le acque formando un lago.

Altri Autori riportano leggende diverse, DEL ZANNA (1901) riporta un interessante brano di un autore del '500, Leandro Alberti, (1550), tratto da Descrizione di tutta Italia, (stesso racconto è riportato da Paolo Merula nel 1605 in Cosmografia e Geografia):

“Preso l'Abbadia, onorevole contrada posta fralli termini di Fiorenza e di Siena, sono dui laghi l'uno dall'altro discosto, al tirare di una saetta. In uno di quelli vedesi l'acqua chiara ma non se ne ritrova il fondo (come dicono gli habitatori del paese), nell'altro alquanto più piccolo, appare l'acqua tanto nera che pare da reguagliare all'inchiostro, al cui fondo non si può attingere. E questa acqua è totalmente di natura contraria all'altre acque, imperocché essendogli gelato dentro il legno incontinente, scende al profondo, e più non si vede. Et quivi pesce non di ritrova. Ella è volgata fama appresso agli abitatori del paese che passando quindi S. Cervone Vescovo di Massa e quivi fermandosi a riposare (ove è il primo lago) ove era una taverna, e intendendo la vitiosa vita dell'hosto, che teneva, e sforzando di ridurlo in penitenza dei suoi peccati, e giudicando di non poterlo convertirlo, partendosi la mattina seguente li pronunciasse, che insieme lui insieme colla taverna profundarebbe nell'abisso, et che partito il santo vescovo, incontinente aprendosi la terra fosse inghiottito coll'edificio e che poi vi rimanesse detto lago. Dell'altro lago dicono, che habitando in questo luogo unscelerato sodomita e essendo vivuto in tanta sceleragine alquanto tempo, non lo volendo più sopportare Iddio, fece aprire la terra, e lo fece sprofondare con tutta la fameglia, rimanendovi questo lago pieno d'acqua negrissima, e di contraria natura dell'altra acqua, quanto era la sua habitazione.”

La profondità di lago Chiaro si attestava a 14 m nel 1888 (Lotti), ed il diametro di 60 m; nel Lago Scuro la profondità è di 7.5 m (dati del 1888) ed il diametro di 20 m. Secondo DEL ZANNA invece le misure eseguite nel 1901 attesterebbero le dimensioni del Lago Chiaro a 120 m l'asse maggiore di un'ellisse e 110 m l'asse minore, mentre il Lago Scuro avrebbe assi di 80 m e 65 m.

La Chiesa di S. Antonio, che si trovava presso le sponde del lago Chiaro, ha subito cedimenti negli ultimi anni dell'800 pertanto fu abbattuta e ricostruita nel 1898.

Alla base dei laghi la cui origine dovrebbe essere uno sprofondamento carsico sono presenti sorgenti di modeste portate 13 l/sec.

La situazione geologica mostra che i laghi si formano a contatto dei travertini e sedimenti plio-pleistocenici che poggiano trasgressivi su un substrato costituito da Calcarea Cavernosa (Bossio et alii, 2002) (vedi stratigrafie dei sondaggi della zona).



Foto 7 - Il Lago di S. Antonio



Foto 8 - Il Lago Scuro



Foto 9 - Il Laghetto di S. Silvestro

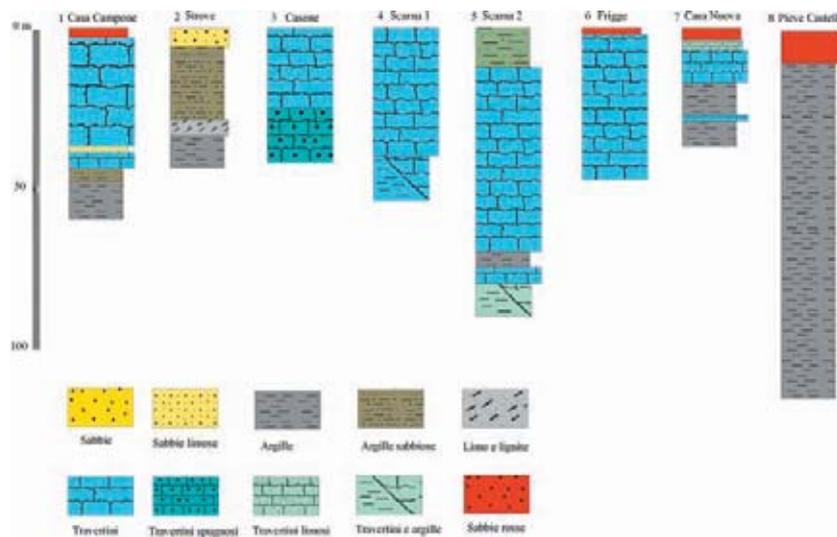


Fig.12 – Stratigrafie dei sondaggi nell’area dei laghi di S. Antonio



Il Lago di S. Floriano dal punto di vista geologico poggia su sedimenti limosi palustri (tp) alla cui base affiora un substrato costituito da Calcere Cavernoso (cv).  
Il diametro massimo è di 228 m il minimo di 195 m, la profondità media di circa 2.5 m, quella massima di 5 m



Foto 10 - Panoramica del lago di S. Floriano

### 3.3.2. I laghi del Marruchetone

Ad ovest del Lago del Cutignolo, presso Casale del Marruchetone, sono presenti due laghetti.

Il primo denominato del Marruchetone, ma che noi chiameremo del Bosco Schiapparello, sembra essersi formato circa una trentina di anni fa (prima del 1970 dai racconti degli abitanti) in un unico evento catastrofico.

Nasce a ridosso di un piccolo rilievo allungato, all'interno di un bosco di querce, antistante la piana, e poggia dal punto di vista geologico sulla formazione dei Galestri e Palombini.

Il laghetto all'origine aveva una morfologia circolare, successivamente è stato allungato artificialmente all'interno del bosco. Il diametro iniziale doveva essere di una cinquantina di metri (oggi ha forma ellissoidale con asse maggiore di circa 80 m) e profondità molto scarsa 2-3 m. Durante la stagione secca il livello dell'acqua si abbassa ma mai si arriva all'estinzione.

La temperatura delle acque è risultata 6°C, la conducibilità 175,4  $\mu$ s.



Foto 11 - Il primo Lago del Marruchetone nel bosco



Foto 12 - Il secondo Lago del Marruchetone

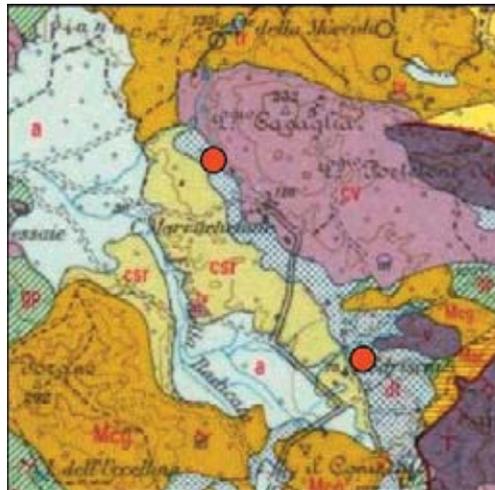


Foto 13, Fig.14 - a) Veduta panoramica dell'area in cui è ubicato il Lago del Marruchetone; b) stralcio del Foglio Geologico Orbetello Scala 1: 100.000

Il secondo lago che definiremo del Marruchetone, ubicato sempre all'interno della tenuta omonima, si è formato circa quindici anni fa durante la stagione invernale. L'area occupata dal bosco è stata disboscata ed arata (i lavori sono durati una decina di giorni circa), il giorno successivo all'aratura, si è verificato uno sprofondamento catastrofico con fuoriuscita istantanea di acque che hanno dato origine ad un laghetto.

Le fratture dovute allo sprofondamento hanno interessato un'area più vasta arrivando sino alla strada.

Attualmente gli argini sono stati antropizzati e il laghetto sempre perenne viene utilizzato a fini irrigui nella tenuta. Il vicino torrente Radicata durante la stagione estiva si asciuga mentre il lago del Marruchetone mantiene costante il suo livello.

Le dimensioni sono di circa 60 m di diametro e profondità di 3-4 m.

La temperatura è risultata di 6°C la conducibilità di 677  $\mu$ s.

#### 4. DISCUSSIONE

In Italia sono presenti molti laghetti di forma sub-circolare originatesi in epoca storica, di cui le modalità di formazione, la morfologia e il contesto geologico-strutturale potrebbero essere compatibili con fenomenologie di piping sinkhole (sprofondamento improvviso connesso alla risalita di fluidi e all'erosione dal basso).

Tali laghetti presentano in genere diametro variabile da pochi metri al centinaio di metri e profondità fino ad un massimo di cinquanta metri. Sono stati segnalati e studiati in epoca storica attribuendo ad essi differenti denominazioni dialettali: obico, sprofondo o sprofondo, ovizo, obizzo (che ricordano la parola aviso o aiso che vuol dire dolina in un dialetto arcaico della penisola salentina), sprugola (in dialetto ligure), gorgo (in dialetto siciliano), occhio pollino (in dialetto lombardo) tonzi o occhi d'acqua, sparafunni, puri o putei (in dialetto capano). Su alcuni si narrano leggende che ne farebbero risalire l'origine ad un unico evento catastrofico.

Essi hanno origine generalmente connessa a fenomeni carsici, si formano in seguito ad un crollo repentino della volta (doline di crollo) o a causa di fenomeni di dissoluzione spinta, a volte invece i meccanismi genetici sono più complessi ed assumono ruolo importante i fenomeni di erosione dal basso (piping).

La correlazione tra questi e gli sprofondamenti catastrofici, tipo piping sinkholes, nasce dall'osservazione del fenomeno più frequente dopo la formazione di un sinkhole: il processo di "annegamento" della cavità. Nella maggior parte dei casi, infatti, le acque di infiltrazione si riversano all'interno della cavità dando a questa la fisionomia di un piccolo lago di forma sub-circolare. In altri casi invece al fondo della cavità vi sono delle sorgenti che colmano rapidamente, nell'arco di pochi giorni, la voragine alimentandola perennemente.

Stabilire quali dei numerosi laghetti presenti nel territorio italiano possano essere considerati fenomeni di sinkhole è difficile e la veridicità di tali ipotesi può venire confermata solo in seguito ad indagini specifiche (ricostruzioni geologiche, sondaggi geognostici, indagini geofisiche, analisi idrogeologiche e geochemiche).

Tuttavia spesso non è possibile effettuare tutte le indagini necessarie a causa dei costi troppo onerosi, pertanto è possibile formulare soltanto ipotesi.

Per accertare che un laghetto sia un fenomeno di sinkhole è necessario esaminare la presenza di alcune condizioni essenziali, che possono essere tratte dalla letteratura storica e geologica.

- 1) Il laghetto deve essere impostato su depositi sciolti, terreni (alluvioni, depositi marini, depositi marnosi o scistosi, che comunque si comportino come terre) e non direttamente su roccia carsificabile (carbonati, o rocce solubili).
- 2) Lo spessore della copertura deve essere considerevole, superiore almeno ai 20-30 m, per poter ipotizzare la presenza di un bedrock carsificabile, (ciò può essere accertato da un sondaggio o in mancanza di esso dalla ricostruzione della situazione geologica).
- 3) L'assetto strutturale al contorno deve evidenziare la presenza di faglie di importanza regionale o locale, spesso intersecantesi.
- 4) Il rilevamento idrogeologico deve accertare la presenza di una circolazione idrica importante e di sorgenti, anche mineralizzate, nelle vicinanze.
- 5) L'origine dello sprofondamento deve essere stata repentina e dunque catastrofica. E' necessaria, pertanto, una ricerca storica in quanto molti laghetti si sono formati nei secoli passati.
- 6) La presenza di sorgenti perenni a fondo lago è una condizione favorevole. Sarebbe però necessario un loro studio diretto (analisi del chimismo) per poterne attribuire l'alimentazione ad un acquifero profondo.

Sono molti i laghetti che vengono segnalati come probabili sinkhole; è stata fatta per-

tanto una verifica su molti di essi secondo i criteri sopra esposti. Per alcuni sembra si possa delineare una fenomenologia da piping sinkhole. Altri invece si sono rivelati semplici crolli carsici.

In Toscana meritano studi più approfonditi il Lago dell'Accesa, uno dei due Laghetti del Marruchettone, il Laghetto Pra di Lama e i laghi di S. Antonio. Mentre nel Lazio possono essere considerati sinkholes i laghi del Vescovo e gli Sprofondi nella Pianura Pontina. Gli studi da noi svolti non sono esaustivi si pensa pertanto di continuare le ricerche volte all'approfondimento delle indagini e al censimento di altri sinkholes.

## BIBLIOGRAFIA

BERTI G., CANUTI P. & CASAGLI N., MICHELI L., PRANZINI G. (2002). Risultati preliminari sullo sprofondamento in località Bottegone (Grosseto). In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 242-256.

BONO P. (1995)- The sinkhole of Doganella (Pontina, Plain, Central Italy). *Environmental Geology*, **26**, 48-52.

BOSSIO A., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANDRELLI F. (2002) – Geologia dell'area compresa tra Siena e Poggibonsi ("bacino del Casino"). *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Mem. Serie A*, 69-85.

BUCHIGNANI V. (2002) - Indagini relative al fenomeno di crollo verificatosi nell'ottobre 1995 in località "le Funi" Camaiole capuologo, rapporto di aggiornamento 2001. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 202-209.

BUCHIGNANI V. & CHINES C. (2002) - Indagini relative al fenomeno di crollo verificatosi nell'ottobre 1995 in località "le Funi" Camaiole capuolog.. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 176-201.

CENSINI G. & COSTANTINI A. (2002) – Il sottosuolo della pianura tra Grosseto e Ribolla: ipotesi sul suo assetto strutturale. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 231-241.

CIOTOLI G., DI FILIPPO M., NISIO S., ROMAGNOLI C. (1998) - 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.

CIOTOLI G. DI FILIPPO M. NISIO S. & ROMAGNOLI C. (2001) – La Piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici. *Mem. Soc. Geol. It.*, **56**, 297-308.

D'AMATO AVANZI G., PUCCINELLI A., VERANI M. (2002) – La geologia della Piana di Camaiole in relazione al fenomeno di sprofondamento del 15 ottobre 1995. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 154-175.

DE FERRARI P. & LOTTI B. (1886) – Le sorgenti dell'Aronna delle Venelle e del Lago Accesa presso Massa Marittima. *Boll. Del R. Com. Geol. D'It.* 17, 3-4.

DE ROSSI M. S. (1876) - *Meteorologia endogena Fratelli Dumolard Milano* Vol. 1. pg 220-225.

DEL GRECO O., GARBARINO E., OGGIERI C., FORNARO M., PIOLI F. (2003) -Studio del fenomeno di subsidenza del "Bottegone" (Grosseto). *Geom. Territorio e Difesa del suolo*. maggio 2003, 40-62.

DEL ZANNA (1901) – I laghi di S. Antonio in provincia di Siena. *Boll. Soc. Geol. It.*, VIII., 281-288.

- DI FILIPPO M., PALMIERI M., TORO B. (2002) - Studio gravimetrico del sinkhole di Doganella di Ninfa (Latina). In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 62-70.
- DI TUCCI P. (1876) - nota del socio di Tucci. Boll Del Cl. A. It., 67
- GONNELLI I., MATTIOLI V. & MICHELI L. Primo contributo all'individuazione delle aree a rischio sinkhole in Toscana: il carsismo nel Calcare cavernoso. In: Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 110-122.
- LAZZARINI A. (1904) –Ulteriori notizie sugli sprofondi della Pianura Pontina Mondo Sotterraneo 52-59.
- MARINELLI G. (1904) Gli Sprofondi della Pianura Pontina. Mondo Sotterraneo pp 13-18 e 29-37.
- MERCIAI G. (1933) - Il Lago dell'Accesa presso Massa Marittima. Atti della Soc. Tosc. Sc. Nat. Pisa Mem., 43, 29-50.
- MORI A. (1932) – Ricerche sui laghi dell'orbetellano e del capalbiese. Boll. Soc. Geol. It. 51(1), 1-52.
- NEGRI M. (1998) Contributo alla conoscenza del Lago dell'Accesa Massa marittima (GR). Atti Mus. Stor. Nat. Maremma, 17, 129-139.
- PERRONE E. (1912) – Memorie per servire alla carta idrologica d'Italia. Fiora, Bruna.
- PRINCIPI P. (1952) - Sulla origine di due laghetti esistenti nel pianalto travertino di S. Antonio al Bosco a SE di colle di Val d'Elsa. Atti dell'Acc. Ligure di Scienze e lettere. Vol. 8, 36-40.
- PRONY (1818) Des marais Pontis. Paris 1818, p 243.
- REPETTI E. (1833) - Dizionario geografico fisico-storico della Toscana. Vol. 1
- SANTI G. (1809) – Viaggio Terzo per la Toscana, p182.