

# **IL PROGETTO SINKHOLE: LE ATTIVITÀ SVOLTE DAL DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO DELL'APAT**

**CAMPOBASSO CLAUDIO\*, GRACIOTTI ROBERTO\*,  
NISIO STEFANIA\*, VITA LETIZIA\***

\*APAT- Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio geologico, Scienze della Terra e Carte Tematiche

---

## **INTRODUZIONE**

Il Servizio Geologico, Scienze della Terra e Carte tematiche dell'APAT da alcuni anni ha avviato studi e ricerche sui fenomeni di sprofondamento (sinkhole) che hanno interessato il territorio nazionale. È stato costituito un gruppo di lavoro composto da geomorfologi e da geologi applicati ed è previsto il coinvolgimento futuro di ulteriori figure professionali.

Scopo del lavoro è quello di realizzare una prima raccolta di dati finalizzati al censimento degli sprofondamenti naturali italiani ed alla ricostruzione del contesto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico al loro contorno.

I principali problemi sinora affrontati hanno riguardato anche l'individuazione dei probabili meccanismi genetici ai quali è imputabile l'origine di tali fenomeni. Non sempre infatti la loro genesi è riconducibile ai comuni e ben noti processi di dissoluzione carsica e/o ad attività antropica. Ciò ha creato una evidente confusione terminologica come si evince dall'esame della letteratura sull'argomento; risulta quindi necessaria, a nostro avviso, l'individuazione di Linee Guida ampiamente condivise dalla comunità scientifica che permettano una più corretta classificazione dei fenomeni di sinkhole.

## **1. ATTIVITÀ SVOLTE**

I lavori finora svolti sono consistiti in una approfondita ricerca bibliografica ed in una prima raccolta di dati finalizzati al censimento dei fenomeni riconducibili a sprofondamenti naturali (sinkholes) sul territorio italiano, con particolare riguardo ai sinkholes formati nelle aree di pianura, su sedimenti alluvionali di rilevante spessore, giacenti su un substrato carbonatico, o comunque carsificabile, posto a notevole profondità. Questa fase, già iniziata dall'ottobre 2002, ha previsto una estesa ricerca sia nazionale che internazionale al fine di reperire, valutare, archiviare i dati fino ad oggi pubblicati sull'argomento nonché analizzare materiale inedito.

È stato quindi realizzato un elenco bibliografico che contiene al momento alcune centinaia di titoli e che viene continuamente aggiornato. È stata inoltre effettuata una raccolta di stratigrafie dei sondaggi ex lege n. 464/84 provenienti dagli archivi del Servizio Geologico Nazionale (ora APAT – Dipartimento Difesa del Suolo), nelle aree limitrofe ai sinkholes individuati. Sono state successivamente inoltrate richieste ad Enti Pubblici e Comuni per visionare i dati in loro possesso, acquisiti a seguito di indagini geognostiche e geofisiche svolte sulle aree colpite. Sono in via di acquisizione e valutazione i dati provenienti dal Progetto I.F.F.I. (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) ed è in previsione una collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile per mettere in comune le informazioni raccolte pur con finalità diverse.

In campo internazionale è stata avviata una collaborazione con scambio di materiale documentale con alcuni Enti tra cui il Florida Sinkhole Research Institute (U.S.A.), organismo internazionale che ha svolto già da anni una imponente attività di ricerca sull'argomento, con il The Ministry of National Infrastructures Geological Survey State of Israele (Stato di Israele) e con la Universidad de Zaragoza (Spagna).

Congiuntamente si è proceduto ad una prima fase di censimento dei fenomeni individuando le porzioni di territorio ritenute, sulla base delle informazioni che via via si andavano acquisendo, potenzialmente idonee al manifestarsi del fenomeno. Successivamente si è instaurato un contatto diretto con i referenti regionali e/o provinciali per recepire ulteriori informazioni circa i problemi territoriali occorsi a seguito del manifestarsi degli sprofondamenti nonché informazioni aggiornate sulla loro evoluzione e sugli eventuali interventi in atto. Si sono quindi iniziate le operazioni di rilevamento di campagna nelle due regioni in cui al momento il fenomeno di sinkhole si è manifestato con maggiore evidenza, cioè Lazio e Toscana.

Su tali aree si è proceduto, inoltre, all'analisi fotointerpretativa, multiscale e multitemporale, dell'area vasta circostante gli sprofondamenti, evidenziando con particolare attenzione i lineamenti tettonici e i processi morfogenetici, compresi quelli quiescenti ed inattivi. Lo studio fotogeologico consentirà di integrare i dati raccolti con le analisi in sito e di realizzare cartografie geologiche, geomorfologiche e di pericolosità. La fotointerpretazione si è svolta sia preliminarmente sia successivamente alle attività di campagna.

Sulla gran parte dei siti del Lazio e della Toscana interessati recentemente da fenomeni di sprofondamento sono stati condotti rilevamenti geologici, geomorfologici ed idrogeologici di dettaglio. I dati raccolti direttamente in campagna sono stati archiviati, attraverso una scheda di censimento, in una apposita banca dati collegata ad un GIS.

Nel corso delle operazioni di rilevamento si è ritenuto opportuno approfondire anche lo studio di alcuni laghetti del Lazio e della Toscana dalla caratteristica forma sub-circolare formati in epoca storica e la cui origine è spesso legata a leggende popolari che narrano sprofondamenti catastrofici. Il contesto geologico-strutturale di alcuni di essi sembrerebbe infatti compatibile con fenomenologie da sinkhole. Per il dettaglio su questi approfondimenti e sulla ricerca storica condotta si rimanda al lavoro di CARAMANNA et al. (2004, in questo volume).

## **2. PRIMI RISULTATI CONSEGUITI**

Gli studi finora condotti hanno consentito di delineare un primo quadro generale sulla situazione italiana degli sprofondamenti naturali sia relativamente alla loro distribuzione, alla diffusione, alle condizioni geologiche al contorno nonché al grado di approfondimento delle conoscenze specifiche e allo stato di avanzamento degli eventuali interventi di monitoraggio e prevenzione.

Molte regioni italiane risultano interessate da fenomeni che vengono indicati come sinkholes (fig. 1), tuttavia molti di essi sembrano riconducibili agli effetti del carsismo epigeo e/o ipogeo di piccola profondità oppure ad attività antropica di tipo minerario o caveale. Altri invece sono localizzati in aree di piana ove il substrato carsificabile è stato individuato a profondità notevoli che possono superare anche i 170 m (è ad esempio il caso dello sprofondamento occorso nel 1999. In località Bottegone nella piana di Grosseto), spesso in contesti geologico-strutturali peculiari; in tali casi il meccanismo di formazione non appare ragionevolmente imputabile al solo richiamo verso l'alto del crollo di una cavità carsica.

Alla luce di queste considerazioni e sulla base dei dati raccolti per i diversi casi italiani fino ad oggi censiti è stata effettuata una prima classificazione di essi riuscendo in tal modo a discriminare quei fenomeni che a nostro avviso necessitano di un maggiore

approfondimento nella ricostruzione del meccanismo genetico e che a buon titolo possono essere chiamati sinkholes nella accezione che i ricercatori italiani tendono ormai a dare al termine (cfr. Nisio et al., 2004, in questo volume).

La campagna di rilevamento effettuata in molte aree del Lazio e della Toscana ha consentito una verifica diretta delle fenomenologie occorse, del loro attuale stadio evolutivo nonché della situazione geologica al contorno, consentendo una prima verifica delle ipotesi classificative adottate.

Nel seguito viene tracciata una sintetica descrizione dei siti indagati attraverso i rilievi di campagna e ne vengono individuati in estrema sintesi gli elementi geologici, geomorfologici ed idrogeologici al contorno.



Fig. 1 – ubicazione delle aree oggetto di sprofondamenti naturali segnalati come “sinkholes”

## 2.1. I sinkholes del Lazio

Nel Lazio i fenomeni di sprofondamento naturale sono ben noti e studiati da alcuni decenni. Essi si manifestano in alcune aree di piana alluvionale in cui il substrato carbonatico appartenente al dominio laziale-abruzzese e/o umbro-marchigiano è ribassato da faglie di importanza regionale che favoriscono una circolazione di fluidi mineralizzati talora termali e/o contenenti gas disciolti di una certa aggressività relativamente al processo di dissoluzione carsica. Numerosi sinkholes sono stati riconosciuti e studiati nella Piana di S. Vittorino (RI), nella Pianura Pontina (LT) e lungo la Valle del Tevere nella zona di Capena (RM).

### 2.1.1. La Piana di S. Vittorino (RI)

La Piana di S. Vittorino (fig. 2), attraversata dal F. Velino, costituisce una depressione tettonica bordata da elementi tettonici distensivi e/o transtensivi che ne hanno condizionato la morfologia favorendone la particolare conformazione triangolare, con apice rivolto a sud (CENTAMORE & NISIO, 2003; DRAMIS & NISIO, in stampa).



Fig. 2 – stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione dei principali gruppi di sinkholes della Piana di S. Vittorino.

Essa è colmata da depositi fluvio-lacustri del Pleistocene superiore-Olocene; localmente si rivengono lenti di ghiaie, e travertini (per lo più sabbiosi). Gli spessori della copertura continentale variano, aumentando verso il centro della piana, fino ad un massimo di circa 130–170m (Nisio S., 2003), profondità alla quale è stata rinvenuta in sondaggio una successione carbonatica fagliata e variamente dislocata.

Dal punto di vista idrogeologico la Piana di San Vittorino costituisce il luogo di recapito della circolazione idrica dei versanti limitrofi (BONI et al., 1995; et al., 2000; CAPELLI et al., 2000). Le sorgenti, a carattere prevalentemente puntuale, sono distribuite ai margini settentrionale e meridionale della piana. Alcune sorgenti puntuali con portate modeste, stimate tra 0.1 e 2 l/s, sono presenti anche all'interno della piana in corrispondenza dei sinkholes.

La piana di S. Vittorino è caratterizzata da un notevole sviluppo di forme di collasso, presenti, per altro, anche sui versanti circostanti. Sono stati riconosciuti almeno 29 sinkholes di forma sub-circolare, con diametri che variano dal centinaio di metri a qualche metro per i più piccoli. I sinkholes sono concentrati prevalentemente nella zona set-

tentrionale della piana. Ospitano laghetti e piccole pozze sorgive talora mineralizzate e con concentrazioni anomale dei gas disciolti. L'ultimo sinkhole, si è formato negli ultimi mesi del 2003, è localizzato nella parte settentrionale della piana in prossimità delle Terme di Cotilia, presenta solo pochi metri di diametro (fig.3) e mostra evidenze di risorgive e fuoriuscita di gas. Le acque mineralizzate, quando presenti, sono rappresentate principalmente da acque solfuree e ferruginose che emergono secondo allineamenti particolari controllati dalla tettonica (cfr. FACCEMMA et al., 1993; NOLASCO, 1998; CIOTOLI et al., 2000; NISIO, 2003).



Fig. 3 – Il piccolo sinkhole apertosi nella piana di S. Vittorino (RI) nel corso del 2003 (foto G. CIOTOLI, marzo 2004).

Nell'ambito delle recenti ricognizioni effettuate nell'area dal dott. G. CARAMANNA è stata condotta una immersione subacquea nel Lago di Paterno (settore NE della Piana), finalizzata al prelievo di campioni litologici sul fondo e sulle pareti del lago, allo scopo di ottenere una ricostruzione geologica diretta delle successioni interessate dal bacino lacustre. Lo studio dei campioni prelevati è in corso (comunicazione personale).

#### 2.1.2. La Pianura Pontina (LT)

La Pianura Pontina, formatasi ai margini della dorsale carbonatica dei M.ti Lepini-Ausoni già durante il Pliocene, è fortemente subsidente. Presenta attualmente quote topografiche di poco superiori al livello del mare, da qualche metro nel tratto di Sezze e Migliara e fino a 35-50 m nei pressi di Latina.

Nella pianura affiorano depositi prevalentemente quaternari che a partire dalle falde sud-occidentali del rilievo dei Lepini-Ausoni si estendono fino all'attuale linea di costa. I depositi sono del tipo fluvio-lacustre, lagunare, eolico e piroclastico; questi ultimi sono stati riferiti prevalentemente al vulcanismo dei Colli Albani ed in parte a centri periferici locali. Sono presenti inoltre travertini a vari livelli di profondità. Alla base dei depositi continentali si rinvencono in sondaggio, e localmente in affioramento, sedimenti marini pliocenici di natura argillosa e detritico-organogena ("Macco" AA.).

Il substrato carbonatico presente al di sotto della copertura è interessato da una serie di faglie dirette che hanno originato una struttura a graben.

Nella piana è presente un reticolo fluviale naturale con drenaggio verso il Mar Tirreno ed una serie di canali artificiali realizzati durante le operazioni di bonifica.

La struttura dei M.ti Lepini-Ausoni, bordata lungo il versante occidentale da una faglia di importanza regionale, è interessata da vistosi fenomeni carsici ed ospita una falda imponente. Lungo il contatto dorsale-depositi continentali questa emerge attraverso una serie di sorgenti di discreta portata. Nella piana, al di sotto della copertura continentale, essa è presente invece come acquifero imprigionato. Si rinvencono inoltre falde sospese all'interno dei sedimenti di copertura, alimentate dagli apporti meteorici e/o dalla dorsale carbonatica attraverso una serie di faglie o fratture.

Nella piana, infine è presente una circolazione termale di acque mineralizzate ricche in gas. In particolare in letteratura sono stati distinti due gruppi di acque: acque bicarbonato-calciche e acque di tipo "solfureo" (REGIONE LAZIO, 2002).

Casi di sprofondamento sono comuni in tutta la Pianura Pontina (fig.4) che risulta costellata da numerosi laghetti subcircolari. In particolare sono stati eseguiti rilievi sul gruppo dei Laghi del Vescovo, sul gruppo degli Sprofondi e sul sinkhole di Doganella di Ninfa.

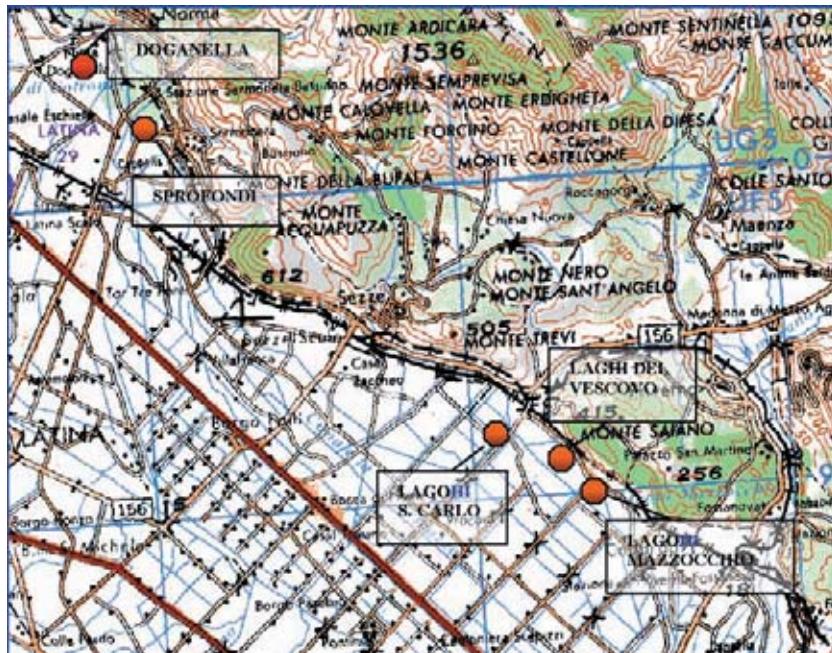


Fig. 4 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione dei principali gruppi di sinkholes della Pianura Pontina.

Il gruppo dei Laghi del Vescovo: Nell'area a sud di Sezze, a ridosso della dorsale carbonatica bordata da faglie di importanza regionale, sono presenti alcuni piccoli specchi d'acqua ed alcune sorgenti minerali. Procedendo da nord verso sud si riconoscono: il Lago di S. Carlo, il gruppo del Vescovo vero e proprio e il Lago Mazzocchio.

Il Lago di S. Carlo presenta una forma perfettamente circolare ed è distante dalla dorsale carbonatica circa 200 m. Sono facilmente individuabili alcune polle risorgive e zone di risalite di gas.

Il gruppo del Vescovo (fig. 5) è composto da 4 specchi d'acqua (Lago Bianco, Lago Verde, Lago Nero ed uno, il più piccolo, senza nome) che presentano acque mineralizzate con alti tenori in CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e altri composti dello zolfo e colore opalescente. Solo il Lago Bianco non è mineralizzato; presenta una caratteristica forma ad 8 ed una profondità di circa 18 metri. Le acque del Lago Verde sono moderatamente acide (pH tra 6.3 e 6.6), il pH tende a diminuire con la profondità ed inversamente si assiste ad un aumento della conducibilità. Il Lago Nero presenta valori del pH sempre maggiori di 7 e presenza rilevante di gas ad elevate profondità; è costituito dalla coalescenza di due cavità a forma di imbuto, della profondità di 9-10 m, separate da una soglia a 2 m di profondità.



Fig. 5 - veduta dei Laghi del Vescovo

Il lago Mazzocchio, posto a circa 500m dalla dorsale, è situato all'interno di una proprietà privata ed è alimentato dalle acque di un canale a valle di un impianto idrovoro; un altro canale drena le acque del laghetto fino al fiume Uffente. Non è stata finora possibile una indagine diretta delle sue caratteristiche morfologiche ed idrochimiche.

Il gruppo degli Sprofondi: si trova in comune di Sermoneta ed è costituito da 5 sprofondamenti di forma subcircolare allineati secondo direzione appenninica (NW-SE). Le prime due cavità, ubicate una presso la stazione di Sermoneta - Bassiano e l'altra a poche centinaia di metri a SW, sono state colmate da alcuni anni; l'ultima di esse è visibile sulla tavoletta topografica IGM rilevata nel 1938 e, secondo le informazioni raccolte, sarebbe stata sede di acqua di alimentazione superficiale. Attualmente è ancora riconoscibile una piccola forma subcircolare leggermente concava vegetata da flora igrofila.

Altre due cavità sono ubicate in terreni di proprietà privata. Esse ospitano laghetti dalle pareti subverticali il cui pelo libero si trova a circa 10 m dal piano campagna. Non sembrano essere presenti emergenze sul fondo. La quota piezometrica della falda in quest'area della piana è stata riferita attestarsi a circa 13 m dal p.c.

L'ultimo degli Sprofondi, presente sulle carte topografiche IGMI con il toponimo di "L. Sprofondo" ma attualmente noto come Lago Azzurro, ha forma circolare ed è poco distante dagli altri due. La sua formazione sembra molto antica e risalirebbe, secondo la tradizione popolare, al giorno di S. Giacomo (25 luglio) di un anno imprecisato, in cui avrebbero perso la vita i lavoranti dei campi ed il bestiame a seguito dello sprofonda-

mento catastrofico dal quale avrebbe avuto origine il lago. Le analisi chimiche effettuate sulle acque del lago (REGIONE LAZIO, 2002) hanno evidenziato la presenza di acque bicarbonato-calciche caratterizzate da pH sempre superiori a 7, con tendenza ad assumere valori più bassi in profondità dove aumenta moderatamente la conducibilità e il contenuto dei sali disciolti. La temperatura dell'acqua nettamente più bassa della media annua dell'area potrebbe evidenziare l'ingresso nel lago di acque sotterranee più fredde. Attualmente il lago è attrezzato per la pesca sportiva e presenta argini artificiali. Doganella di Ninfa: è ubicata nella porzione nord-orientale della Pianura Pontina a pochi chilometri da Latina. Lo sprofondamento è avvenuto il 22 agosto del 1989 in conseguenza di una scossa sismica registrata nei primi giorni di agosto e di un periodo di siccità che avrebbe provocato l'abbassamento della falda a seguito dei ripetuti pompaggi. La cavità, ubicata in un terreno agricolo ed in un'area intensamente coltivata, ha subito una modifica repentina della propria morfologia passando da 1 a 4 metri di diametro in soli tre giorni, per arrivare a 31 m tre anni dopo. Attualmente è sede di un laghetto di forma ellissoidale (fig. 6) con asse principale di circa 32 m, superficie di 720 mq circa e profondità massima di 33 m. Le sue acque presentano caratteristiche del tutto simili a quelle riportate per il Lago Sprofondo.



Fig. 6 - foto attuale del laghetto di Doganella

Il substrato carbonatico è situato a profondità superiori a 124 m come dimostrato dal sondaggio perforato fino a tale profondità nell'ambito degli studi condotti dalla REGIONE LAZIO (2002) in quest'area. In affioramento e per i primi 54 metri è presente un'alternanza di depositi vulcanici e vulcanoclastici cui seguono alternanze di travertini e vulcaniti fino a circa 100m di profondità e di travertini e orizzonti sabbiosi fino a fondo foro. Alla profondità di 124 m sono sopraggiunte difficoltà nella perforazione anche a causa della intercettazione di una falda idrica assai potente e veloce. Da BONO (1995) e DI FILIPPO et al. (2002) è stata invece ipotizzata la presenza di travertini a 30-40 m di profondità, al cui interno si sarebbe originata la cavità causa del collasso superficiale. Nelle vicinanze è presente la sorgente di Ninfa che ha portata superiore a 2000 l/sec.



2.1.3. La Valle del Tevere (comuni di Capena e Civitella S. Paolo – RM)  
 Nel settore nord-orientale dell'area vulcanica dei Monti Sabatini, in prossimità della valle del Tevere, a sud del Monte Soratte (fig. 7), sono presenti sorgenti minerali e forme di sprofondamento originatesi in epoca storica: Lago Vecchio (o Lago Sinibaldi), Lago Nuovo (o di Leprignano), Fontana Ciocci e Lago Puzzo. Solo quest'ultimo è ancora in parte riconoscibile come piccolo lago.

Le litologie affioranti nell'area sono rappresentate da terreni vulcanici appartenenti al Distretto Sabatino con intercalazioni di travertini e da depositi riferibili al ciclo marino plio-pleistocenico costituiti da alternanze di sabbie, argille e ghiaie. I depositi plio-pleistocenici poggiano su un substrato carbonatico meso-ceneozoico, la cui profondità si attesterebbe tra i 50 e i 100 m.

Il lago Puzzo è ubicato lungo la sponda sinistra del Fosso di S. MARTINO dove, è imposta una dislocazione tettonica a direzione meridiana che fa parte di un sistema di faglie che si seguono a nord fino al Monte Soratte (cfr. FACCENNA & FUNICELLO, 1993). Si è formato e ricolmato più volte in epoca storica almeno a partire dal 1856. Attualmente presenta una forma ellittica con asse maggiore orientato in direzione N-S, profondità molto scarsa (mezzo metro circa) rilevata negli anni '90 ma ad oggi è quasi del tutto interrto a causa degli apporti detritici (cfr. CARAMANNA et al., in questo volume). Erano presenti sul fondo sorgenti minerali ed emissioni gassose ad alto tenore di H<sub>2</sub>S; le emissioni gassose sono tuttora rilevabili nei fanghi.

#### 2.1.4. La Piana di Pozzo Grande (Marcellina - RM)

La Piana di Pozzo Grande, di origine tettonica, è situata nella fascia pedemontana dei M.ti Lucretili (settore orientale della Campagna Romana) caratterizzata da imponenti conoidi di deiezione di età olocenica che raccordano l'area di piana con la dorsale obliterando il sistema di faglie bordiere (ARGENTIERI et al., 2002). La piana è costituita, al di sotto dei depositi di conoide, da depositi vulcanici prevalentemente rimaneggiati e di provenienza albana e da detrito calcareo.

In data 24 gennaio 2001, in un terreno agricolo, nei pressi del paese di Marcellina (fig. 8) si è improvvisamente aperta una voragine con superficie di alcune centinaia di metri quadri. Lo sprofondamento è avvenuto in modo repentino senza se-

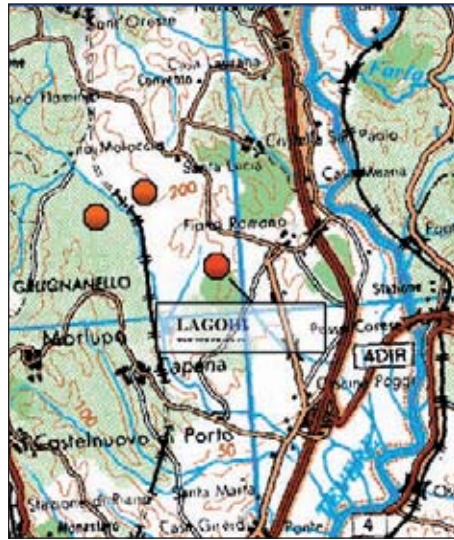


Fig. 7 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione dei sinkholes (singoli o a gruppi) nell'area di Capena (RM).



Fig. 8 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione del sinkhole di Marcellina



Fig. 9 - il sinkhole di Marcellina fotografato nel mese di luglio 2003.

gnali premonitori, originando una cavità subcircolare di circa 35 m di diametro con profondità prossima a 15 metri dal p.c., interessando sia i sedimenti continentali che quelli vulcanici. Le pareti della voragine risultano quasi perfettamente verticali. A partire dal mese di maggio 2001 nello specchio d'acqua si sono registrate emissioni gassose.

La effettiva profondità del substrato carbonatico al di sotto dell'area sprofondata resta da accertare. Un sondaggio effettuato dopo l'evento dalla Provincia di Roma e spinto fino

a 100 m dal p.c. non ha incontrato il bedrock. Indagini gravimetriche nella Piana di Pozzo Grande (ARGENTIERI et al., 2002) lo individuano a 170-180 m nell'area centrale della piana. Dal punto di vista idrogeologico l'area di Marcellina si trova al margine dell'Unità idrogeologica lucretile-carnicolana e costituisce una zona di transito di cospicui volumi di acque carsiche, miscelate ad emissioni gassose e termominerali, verso le aree di recapito di Acquoria e delle Acque Albule.

## 2.2. I sinkholes della Toscana

La fenomenologia da sinkholes nell'area Toscana è recentemente venuta drammaticamente alla ribalta in seguito allo sprofondamento nel centro abitato di Camaiore (1995) e all'apertura repentina della voragine in località Bottegone nella Piana di Grosseto (1999). Da allora numerosi studi sono stati condotti e un grande impulso è stato dato alle ricerche sull'argomento che rivestono oggi grande interesse per le Amministrazioni locali (REGIONE TOSCANA, 2000).

La nostra indagine è stata volta non solo all'esame dello stato di fatto dei due sinkholes recenti e allo studio delle loro condizioni al contorno ma anche all'individuazione di possibili aree suscettibili a sprofondamento, alcune delle quali potrebbero essere state interessate in passato da fenomeni analoghi di cui si è persa una chiara memoria storica.

### 2.2.1. Camaiore - località Le Funi

Il 15 ottobre del 1995 nell'abitato di Camaiore (Via Fratelli Cervi) (fig. 10), si è aperta una voragine con 30 m di diametro e 11 di profondità che ha provocato il crollo e il



Fig. 10 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione del sinkhole di Camaiore.

grave lesionamento di alcuni fabbricati adibiti a civile abitazione. Già alcuni giorni prima dell'evento si erano manifestati cedimenti differenziali nei terreni e, nella notte precedente, rigonfiamenti del suolo fino alla improvvisa apertura della voragine alle sette della mattina successiva. All'atto dello sprofondamento si è avuta la repentina risalita di una colonna d'acqua per alcuni metri al di sopra del piano di campagna. La cavità, di forma perfettamente circolare, si è andata



Fig. 11a - area del sinkhole di Camaiole (lato SW) a luglio 2003.



Fig. 11b – il lato N del sinkhole di Camaiole ricolmato (luglio 2003).

allargando progressivamente fino ad assumere un profilo di equilibrio delle sponde. L'acqua di falda è scesa repentinamente a 2-3 m al di sotto del p.c. e si è poi assestata, dopo qualche giorno, a 4-5 m da esso. L'area ove si è manifestato lo sprofondamento sorge in una conca intermontana pianeggiante, di origine tettonica. Il substrato è costituito da Calcare cavernoso ubicato ad una profondità compresa tra 94 e 140 m, variamente disarticolato da faglie attive che veicolano la risalita di gas profondi. La copertura alluvionale risulta costituita da alternanze di sabbie, ghiaie ed argille, queste ultime costituiscono intervalli abbastanza continui di spessore variabile. All'interno dei terreni di copertura è presente un potente acquifero in pressione (BUCHIGNANI & CHINES, 2002). Attualmente l'area è stata ricolmata ed è controllata attraverso un programma di monitoraggio (fig. 10a e 10b) . Sono tuttavia visibili fratture beanti sui muri di recinzione e/o perimetrali di alcune abitazioni adiacenti.

#### 2.2.2. La piana di Grosseto - località Bottegone

Il 29 gennaio 1999 presso la Fattoria Acquisti in località Bottegone (fig. 12) si è aperta una voragine di forma ellittica con asse maggiore di 180 m allungato in direzione NS, asse minore di 153 m e profondità massima di 17 m. La zona di maggiore approfondimento è stata il margine settentrionale dell'ellisse. Il sinkhole si è progressivamente riempito di acqua di falda fino a costituire un laghetto subcircolare.

La voragine si è formata in un'area agricola pianeggiante, nell'alta pianura grossetana, costituita prevalentemente da argille e limi argillosi. La profondità del substrato, rappresentato da Calcare cavernoso, è stato ipotizzata a circa 250 m sotto la copertura argilloso-limosa (BERTI et al., 2002).

La voragine si è aperta in prossimità di una faglia di importanza regionale, a direzione circa meridiana, che mette in contatto i termini inferiori della serie toscana con il Macigno ed alcune unità liguri. Tale faglia ha mostrato attività recente testimoniata da manifestazioni idrotermali ed evidenze morfologiche.

Attualmente l'area sprofondata è sede di un laghetto oggetto di rinaturalizzazione con insediamento di flora e fauna lacustre (fig. 13a e b). L'acqua viene utilizzata a scopo irriguo mediante un canale.



Figura 12 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione del sinkhole del Bottegone (GR).

### 2.2.3. I laghi di origine incerta

Sono stati effettuati rilievi e condotte ricerche storiche (CARAMANNA et al., in questo volume) su alcuni laghetti toscani (e del Lazio settentrionale) il cui contesto geologico-strutturale ne ha fatto ipotizzare un'origine da sprofonamento. Nel seguito è riportato solo un breve accenno alle loro caratteristiche e al contesto geologico, rimandando al lavoro citato per gli approfondimenti. È comunque in itinere un progetto per lo studio completo di due di questi siti che prevede tra l'altro l'esecuzione di indagini dirette e indirette volte a raccogliere dati per la formulazione del modello genetico.

Il lago dell'Accesa (Massa Marittima): una leggenda narra la sua origine a seguito di un evento catastrofico avvenuto il 26 luglio del 1218. L'area circostante il Lago dell'Accesa è caratterizzata da depressioni subcircolari attribuite a processi carsici: il bacino della Ghirlanda ad est di Massa marittima, quello delle Venelle ad ovest (dal quale si originano le sorgenti omonime), quello di Schiantapetto, quello dell'Aronna ed infine quello dell'Accesa. Nell'area sono presenti tre unità litostratigrafiche dal basso verso l'alto: Scisti sericitici del Triassico sui quali poggia la formazione del "Calcare Cavernoso" AA., molto permeabile ed erodibile e fortemente carsificata, al di sopra della quale si rinvengono Argilloscisti silicei ("Galestri" AA.) alternati a calcari silicei ("Palombini" AA.). Il Calcare

Cavernoso affiora diffusamente a N e a W del lago. Il Quaternario è rappresentato da depositi alluvionali antichi ed attuali che poggiano sui Galestri e Palombini AA. e costituiscono la fascia in affioramento intorno al Lago. L'area è interessata da due sistemi di faglie: un sistema NS e NNO-SSE e uno ortogonale ENE-OSO. I due sistemi si intersecano in corrispondenza del Lago dell'Accesa. I laghi di S. Antonio (Poggibonsi e Colle Val d'Elsa - SI): Nella parte settentrionale della Montagna Senese, sull'altopiano di S. Antonio tra i corsi d'acqua Elsa e Staggia, si rinvencono quattro cavità sub-circolari, allineate secondo una direttrice, che ospitano o hanno ospitato laghetti.

Il Lago di S. Antonio o Lago Chiaro attualmente ha un diametro di 60-70 m (fig. 16a); lungo le sponde affiorano sedimenti eluviali e colluviali di colore rosso mattone (fig. 16b) mentre alla base si rinvencono travertini alterati.

Il lago Scuro (fig. 17) è invece impostato in una bancata di travertini. A poca distanza dai primi due laghetti si rinviene una depressione subcircolare, una volta occupata da un altro lago. La situazione geologica mostra che i laghi si formano a contatto dei travertini antichi (Pleistocene sup.) e depositi sabbioso-ciottolosi stratificati pliocenici che poggiano trasgressivi su un substrato costituito da Calcere Cavernoso. I laghetti sono attualmente sfruttati a scopo irriguo.

I laghi presso Capalbio (GR): nell'entroterra dell'Argentario, all'altezza di Capalbio, vi sono una serie di laghi la cui origine può essere ricondotta a fenomenologie di collasso carsiche, più o meno profonde. Alcuni di essi potrebbero essere stati originati da fenomenologie di piping sinkhole.

Il Lago di S. Floriano, situato 5,5 km a SO di Capalbio e di forma sub-cir-



Fig. 13 – Il nuovo laghetto in località Bottegone (GR) a luglio 2003.



Figura 14 - stralcio topografico dal 250.000 IGM con ubicazione del Lago dell'Accesa.



Figura 15 – panoramica del Lago dell'Accesa e dei terreni di imposta a luglio 2003



Fig.16 – a) il Lago di S. Antonio (SI) a gennaio 2004; b) affioramento lungo le sponde



colare, si sarebbe formato alla fine del XIX secolo in seguito ad eventi improvvisi. La sponda nord-occidentale del Lago è vicina agli affioramenti della dorsale carbonatica mentre la restante parte presenta sponde paludose. Dal punto di vista geologico, poggia su sedimenti limosi palustri alla cui base affiora un substrato costituito da Calcarea Cavernosa. 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. Attualmente il lago presenta sponde parzialmente arginate artificialmente. Il regime delle acque è regolato da un sistema di chiuse.

Il Lago Acquato, ubicato 4-5 km a NE di Capalbio, presenta forma a quadrilatero con asse maggiore di circa 775 m e asse minore di circa 530 m. È impostato su sedimenti alluvionali-lacustri ai bordi di una dorsale carbonatica, ad andamento NW-SE, bordata da faglie, costituita da Calcarea Cavernosa. Il lago al di sotto di una coltre di scarsa potenza di sedimenti fluvio-lacustri poggia su di un contatto tra "Alberesi" AA., che si comportano come rocce impermeabili, e Calcarea Cavernosa estremamente permeabile e soggetto a fenomeni di dissoluzione carsica. La profondità è di circa 3 m.; l'alimentazione avviene mediante una sorgente subacquea. Nelle immediate vicinanze del lago si rinvencono inoltre altre due piccole cavità: la Pozza del lino e la Buca dei Pucci che ha dimensioni 210x180 m.

I Lagaccioli sono tre piccoli bacini contigui, allineati circa E-O, 750 m a sud del Lago Acquato. Occupano il fondo di una valle stretta e allungata in direzione trasversale, con quote che variano di circa 5 m s.l.m. l'uno dall'altro. Per questa ragione vengono definiti il Lago di Sopra il Lago di Mezzo e il Lago di Sotto. L'ultimo a quota 100 m s.l.m. presenta forma ellissoidale e dimensioni 240 x 90 m. Il Lago di sopra, con dimensioni degli assi rispettivamente di circa 155 m e 100 m, è collegato agli altri due tramite un fosso. I Lagaccioli sono impostati su conglomerati miocenici che poggiano sul Calcarea Cavernosa AA.

Il Lago del Cutignolo (fig. 18) è situato a ridosso del poggio Cutignolo, ad ovest di Capalbio, all'interno della piana alluvionale. Si tratta di un laghetto stagionale di forma

ovale con lunghezza massima di 225 m e larghezza di 128 m. La profondità è estremamente scarsa pari a circa 1 m. È ritenuto un laghetto di origine carsica per crollo del substrato carbonatico costituito dal Calcare Cavernoso.

Il Lago Scuro è una dolina di crollo delimitata a sud da una parete rocciosa verticale alta una trentina di metri impostata nel Calcare Cavernoso. Presenta forma sub-circolare con diametri di 88 m e 75 m circa (fig. 19). Le vecchie mappe del 1832 riportavano per questo lago dimensioni più elevate 140 m e 125 m rispettivamente, ciò fa pensare ad una riduzione progressiva dello specchio d'acqua. Il lago Scuro sembra essersi formato per collasso in un unico evento ed aver raggiunto la profondità massima di 6-7 m.

I laghi del Marruchetone sono due laghetti ubicati ad ovest del Lago del Cutignolo, presso Casale del Marruchetone. Il primo denominato del Marruchetone, ma che noi chiameremo del Bosco Schiapparello, sembra essersi formato circa una trentina di anni fa a seguito di uno sprofondamento improvviso. Si trova all'interno di un bosco di querce e poggia sulla unità dei Galestri e Palombini AA. a ridosso di un piccolo rilievo allungato. Il secondo lago, che chiameremo qui del Marruchetone Nuovo, si è formato circa quindici anni fa durante la stagione invernale a seguito di uno sprofondamento catastrofico con fuoriuscita istantanea di acque. L'area, precedentemente occupata dal bosco, era stata appena disboscata ed arata. Le dimensioni attuali sono di circa 60 m di diametro e la profondità riferita è di 3-4 m.

Lago Scuro presso Manciano: si trova in località La Campigliola a sud di Manciano; si tratta di un laghetto sub-circolare con diametro di circa 30-40 m e pareti ripide alte da 3 a 15 m. Le litologie in affioramento sono sabbioso-limose di colore ocreo-aranciato alternate a livelli grigio bruni di natura eluviale e colluviale. Si riconoscono all'interno dei materiali, minerali di natura vulcanica (biotiti) e pomici. A poca distanza dal lago è stato rinvenuto un affioramento di piroclastiti.



Figura 17 - il Lago Scuro (SI) a gennaio 2004



Fig. 18 – stralcio del foglio geologico al 100.000 n. 135 Orbetello con ubicazione del Lago Scuro e del Cutignolo.



Fig.19 – Il Lago Scuro presso Capalbio a gennaio 2004.

## Conclusioni

Al termine della prima fase del Progetto è stato possibile effettuare alcune considerazioni:

- Per quanto concerne l'Italia centrale si evince chiaramente che la concentrazione dei sinkholes interessa la fascia tirrenica, in particolare le regioni Lazio e Toscana. L'area adriatica non sembra invece interessata da tali fenomenologie.
- Si è potuto constatare che diversi fenomeni citati come sinkholes sono in realtà riconducibili agli effetti della dissoluzione carsica epigea ed ipogea di varia profondità oppure ad attività antropica di tipo minerario o caveale.
- Gli effetti del carsismo su rocce di precipitazione chimica quali gessi e salgemma, dovranno essere verificati nella seconda fase del progetto, poiché alcune regioni interessate da tali litologie hanno registrato il verificarsi di sprofondamenti parossistici nel loro territorio (ad esempio la Provincia Autonoma di Bolzano e la Regione Sicilia).
- È stato verificato che spesso la situazione geologico-strutturale, geomorfologica ed idrogeologica a contorno del fenomeno presenta caratteristiche ricorrenti, in particolare i fenomeni più peculiari si manifestano in pianure alluvionali di origine tettonica, con potenti spessori di depositi continentali, comprese tra dorsali carbonatiche, intensa circolazione idrica relativa a imponenti acquiferi all'interno delle dorsali, sovrapposizione di acquiferi di diversa natura (imprigionati e/o liberi) nelle aree di pianura, presenza di lineamenti tettonici di importanza regionale, strutture sismogenetiche attive, risalite di fluidi termo-mineralizzati.
- Il censimento dei sinkholes verrà completato sull'intero territorio nazionale per avere un quadro generale della distribuzione e tipologia di tali fenomeni. In particolare verranno individuati alcuni siti di particolare interesse tecnico-scientifico ove condurre campagne di indagine dirette ed indirette anche avvalendosi anche della consulenza di professionalità specifiche nel campo della ingegneria idraulica, della geofisica, ecc. È l'intenzione del gruppo di lavoro, infatti, definire delle metodologie tecniche di indagine, standardizzare le operazioni di studio e addivenire alla definizione e redazione di Linee Guida per la individuazione della pericolosità da sinkholes e la delimitazione delle aree a rischio.

## BIBLIOGRAFIA

- ARGENTIERI A., CAPELLI G., DI FILIPPO M., LORETELLI S., SALVATI R., TORO B. & VECCHIA P. (2002) – Il sinkhole di Marcellina (Roma) del 25/1/2001: primi dati stratigrafici, idrogeologici e geofisici. Atti del Convegno "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive – Roma 5 giugno 2001. Atti dei Convegni Lincei, 181: 243-255.
- 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". Atti Convegno del 31 marzo 2000, Grosseto. Edizioni Regione Toscana, 242-256.
- BONI C., CAPELLI G. & PETITTA M. (1995) – Carta idrogeologica dell'alta e media valle del F. Velino. System cart. Roma.
- BONO P. (1995)- The sinkhole of Doganella (Pontina, Plain, Central Italy). Environmental Geology, 26, 48-52.
- BUCHIGNANI V. & CHINES C. (2002) - Indagini relative al fenomeno di crollo verificatosi nell'ottobre 1995 in località "le Funi" - Camaione capuologo. In: "Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana". Atti Convegno del 31 marzo 2000 a Grosseto. Edizioni Regione Toscana, 176-201.
- CAPELLI G., PETITTA M. & SALVATI R. (2000) – Relationships between catastrophic subsidence hazards and groundwater in the Velino Valley (Central Italy) – Proceedings Sixth



- International Symposium on Land Subsidence SISOLS 2000, Ravenna, Italy. 1, 123-136.
- CARAMANNA G., NISIO S. & VITA L. (2004) - Fenomeni di annegamento dei sinkholes: casi di studio su alcuni laghetti di origine incerta. In questo volume.
- CENTAMORE, E. & NISIO S. (2003) – The effects of uplift and tilting in the Central Apennine. *Quaternary international*, 101-102, 93-101.
- 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.
- 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.
- DRAMIS F. & NISIO S. (in stampa) – Cenni di Geomorfologia. In: "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F° 358 – Pescorocchiano". Servizio Geologico d'Italia.
- FACCENNA C. FLORINDO F., FUNICELLO R., & LOMBARDI S. (1993) – Tectonic setting and Sinkhole Features: case histories from western Central Italy. *Quaternary Proceeding* n. 3, 47-56.
- FACCENNA C. & FUNICELLO R. (1993) – Tettonica pleistocenica tra il Monte Soratte e i Monti Carnicolani (Lazio). *Il Quaternario*, 6(1): 103-118.
- NISIO S. (2003) – I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia centrale. *Il Quaternario*, 16(1), 121-132.
- NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L. (2004) - I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte. In questo volume
- NOLASCO F. (1998) – La piana di S. Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi dei rischi e della prevenzione. Regione Lazio- Acea.
- REGIONE LAZIO (2002) – Progetto Sinkhole del Lazio. Relazione finale. Dipartimento Scienze geologiche dell'Università di Roma 3, Roma.
- REGIONE TOSCANA (2002) – Le voragini catastrofiche: un nuovo problema per la Toscana. Atti del Convegno svoltosi a Grosseto il 31 marzo 2000. Edizioni Regione Toscana.