

# I FENOMENI DI SINKHOLE IN ITALIA: TERMINOLOGIA, MECCANISMI GENETICI E PROBLEMATICHE APERTE

**NISIO STEFANIA, GRACIOTTI ROBERTO, VITA LETIZIA**

Apat - Dipartimento Difesa del Suolo - Roma

---

## 1.1 FENOMENI DI SPROFONDAMENTO: PROBLEMI TERMINOLOGICI

Recentemente per indicare fenomeni di sprofondamento di qualsivoglia genere viene sempre più spesso utilizzato, da esperti del settore e non, il termine sinkhole, che ha quasi del tutto sostituito altri termini più specifici, (dolina, cammino di collasso, sprofondamento, limesink, cenotes, pozzo carsico, loess karst, voragine) generando una notevole confusione terminologica.

Il termine sinkhole (che tradotto letteralmente significa “buco sprofondato”) è stato introdotto per la prima volta da FAIRBRIDGE (1968) per indicare una depressione di forma sub-circolare dovuta al crollo di piccole cavità carsiche sotterranee, sinonimo dunque di dolina (doline).

Successivamente il termine è stato ripreso da alcuni Autori (MONROE 1970; JENNINGS 1985; WHITE 1988 ed altri) ed affiancato da un attributo che ne chiariva la genesi: sono stati distinti così tra i fenomeni carsici fenomeni di solution sinkhole, collapse sinkhole e subsidence sinkhole (coincidenti con i termini di solution doline, collapse doline, subsidence doline introdotti da CRAMER, 1941 e successivamente utilizzati anche da CASTIGLIONI nel 1986 in Italia e da molti altri Autori, dolina di soluzione normale, dolina di crollo, dolina alluvionale, dolina di subsidenza in roccia).

Attualmente negli Stati Uniti e in Gran Bretagna il termine sinkhole viene usato frequentemente e definisce una qualunque cavità nel terreno di forma non più necessariamente sub-circolare, apertasi nel terreno per cause antropiche o per motivi diversi (BECK 1984, 1988, 1989; BECK & WILSON 1985, 1987).

In Italia il termine sinkhole è stato introdotto, a partire dagli anni novanta, (FACCENNA et alii, 1993; BRUNAMONTE et alii, 1994; NOLASCO, 1998; CIOTOLI et alii, 1998, 2000 e molti altri) per indicare un tipo particolare di sprofondamento, con forma sub-circolare, ma di genesi incerta.

Successivamente anche in Italia il termine è stato usato secondo l’accezione anglosassone, sinonimo dunque di sprofondamento s.l., di dolina, di sprofondamento antropico, e di camino di collasso.

Il termine sinkhole nella letteratura italiana indicava, in principio, ampie e profonde depressioni di forma sub-circolare con diametro e profondità variabili da pochi metri a centinaia di metri, a pareti sub-verticali che si aprono rapidamente in terreni a granulometria variabile.

Questi tipi di sprofondamenti sono spesso colmati da acque, a volte mineralizzate, assumendo la fisionomia di laghetti e specchi d’acqua; sono caratterizzati da subsidenza che può localmente essere dovuta a presenza di sorgenti.

Tali fenomeni sono localizzati in genere su allineamenti tettonici lungo i quali spesso si evidenziano anomalie di fluidi; la continua erosione delle pareti del camino provoca il progressivo colmamento della voragine, un aumento del diametro e nello stesso tempo una diminuzione della profondità dello specchio d’acqua.

La formazione di questi fenomeni è improvvisa, può essere realizzata in un evento unico o in più eventi con progressivo cedimento delle pareti.

Si è constatato che la maggior parte di tali fenomeni è dovuta ad una serie di cause, di cui si parlerà in seguito, ma ruolo importante assumono i processi di risalita, sifona-

mento e erosione dal basso (DERBYSHIRE & MELLORS, 1988; DERBYSHIRE et alii, 1991; BILLIARD et alii, 1992, 1993; MUXART et alii, 1994; NISIO, 2003).

I meccanismi di erosione dal basso potrebbero essere assimilati a processi di suffosione profonda, definiti da CASTIGLIONI (1986), come effetti meccanici dello scorrimento sub-superficiale (in questo caso però il movimento sarebbe profondo) dell'acqua nel terreno (con dimensioni granulometriche dalle argille alle ghiaie) che si realizza quando quest'ultimo è crepacciato o poroso e quando l'acqua abbondante e con pressione elevata, riesce a trovare vie di scorrimento in cui passare con velocità abbastanza sostenuta. Il passaggio dell'acqua provoca l'erosione di materiale e la formazione di canalicoli e di condotti tubolari lungo le linee idrauliche di flusso. Quest'ultimo fenomeno viene indicato nella letteratura anglosassone con il termine piping.

Sprofondamenti in cui è stata accertata la presenza di meccanismi di questo tipo possono venire definiti, aggiungendo un attributo al termine per specificarne la genesi, piping sinkhole (Nisio, 2003).

## 2. LE AREE A RISCHIO

I sinkholes si originano su piane alluvionali, pianure costiere, conche intermontane, su strette valli fluviali generalmente di origine tettonica in corrispondenza di successioni carbonatiche massicce carsificate o di altre litologie comunque solubili, sedi di falde acquifere di grande potenza, a cui si sovrappongono depositi fluvio-lacustri, lagunari, vulcanici o marini di potenza variabile.

Le aree caratterizzate da questi fenomeni, fortemente a rischio di sprofondamento, vengono definite sinkhole prone areas. Esempi di aree si riscontrano principalmente nelle conche intramontane e nelle pianure costiere dell'Appennino Centrale e Settentrionale, Lazio e Toscana sono le regioni a più alta pericolosità da sinkhole (CAPELLI & PETITTA, 1998; CENTAMORE et alii, 1999; CENTAMORE & NISIO, 2002, 2003; CAPELLI et alii, 2000, 2001; COLOMBI et alii, 2001; BERSANI & CASTELLANO, 2002; BERTI, 2002a, b; BUCHIGNANI, 2002; BUCHIGNANI & CHINES, 2002; CENSINI & COSTANTINI, 2002), dove sono ricorrenti tutte le condizioni al contorno.



Foto 1 - Una delle principali aree a rischio sinkhole dell'Appennino centrale, La Piana di S. Vittorino (RI): è possibile vedere alcuni laghetti di forma circolare (Lago Rotondo nel centro della foto).

### 3. LE CAUSE

I piping sinkhole si formano per cause predisponenti ed innescanti. Si originano in contesti di complesse situazioni geologico-strutturali ed idrogeologiche del territorio che ne costituiscono le condizioni essenziali. Vengono innescati per motivi di diversa natura quali un sisma, un periodo di siccità, una alluvione (ciò che può provocare una variazione rapida del livello piezometrico), l'emungimento di grandi quantitativi di acqua dal sottosuolo.

Definire quale sia la causa principale è difficile poiché esse sono molteplici e generalmente concomitanti; queste possono essere distinte in predisponenti ed innescanti e così riassunte:

Cause predisponenti

- 1) Un substrato carbonatico o costituito da roccia solubile (calcari, dolomie, evaporiti o rocce solfatiche) sottoposto a fenomeni carsici; la presenza di una morfologia del bedrock accidentata, sia a piccola scala che a grande scala, con macroforme carsiche (doline, uvala, crepacci e grotte) e con cavità carsiche presenti al tetto del substrato (interfaccia suolo/roccia) risultato di processi corrosivi e pedogenetici;
- 2) La presenza di un pacco di sedimenti impermeabili o semi-permeabili al tetto del substrato, di spessore anche elevato (fino a 200 m) costituito da limi, argille, sabbie a differente granulometria, omogenee o eterogenee;
- 3) Scadenti caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali costituenti la copertura (consolidazione, addensamento, resistenza);
- 4) Presenza di un reticolo di fratture o faglie che permettano una maggiore circolazione idrica e una notevole erosione meccanica;
- 5) Presenza di abbondanti acque di circolazione sotterranea;
- 6) Presenza di gas nel sottosuolo, generalmente  $CO_2$  e  $H_2S$ , che consentano la dissoluzione dei materiali di copertura e la risalita delle acque (FACCENNA et alii, 1993; CIOTOLI et alii, 1998, 2001);
- 7) La scarsa presenza di un manto vegetale che possa esercitare un effetto limitante nei confronti della mobilitazione dei terreni.



Foto 2 - La Piana di Grosseto in cui si formato il sinkhole del Bottegone (foto fornita da L. Micheli)

Cause innescanti

- 1) Intensità elevata delle precipitazioni piovose e alternanza di periodi secchi e piovosi, risultano particolarmente favorevoli alla formazione delle oscillazioni della tavola d'acqua;
- 2) Scosse sismiche;
- 3) Attività antropiche (estrattive, emungimenti di acqua etc.) Il forte emungimento per uso irriguo ed idropotabile fa sì che si sviluppino, in prossimità dei pozzi, coni di depressione tali da far aumentare notevolmente la velocità dei flussi idrici e quindi l'asportazione delle particelle dei sedimenti e la subsidenza delle coperture alluvionali.

#### 4. I PIPING SINKHOLES: IL PROCESSO GENETICO

Il modello geologico concettuale affinché si verifichi un sinkhole di questo tipo prevede la presenza al di sopra del bedrock carsificato di un potente pacco di depositi di copertura. Le dimensioni granulometriche degli elementi della copertura possono essere variabili ma generalmente si tratta di argille-sabbiose, limi, sabbie, con intercalazioni di ghiaie.

Associazioni sedimentarie di questo tipo determinano nell'intero pacco un certo grado di coesione e una portanza naturale.

Appare molto improbabile un risentimento in superficie, per il consistente spessore dei materiali di copertura, in molti dei casi verificatisi in Italia (fino a 200 m), di un fenomeno di crollo a partire da una cavità profonda, mediante processi di raveling (scorrimento di materiale verso il basso), soprattutto per la presenza di orizzonti argillosi impermeabili. Inoltre, nei casi di sinkholes di questo tipo studiati in Italia, si osserva l'assenza di movimenti di infiltrazione verso il basso delle acque di circolazione idrica sotterranea in grado di drenare il materiale di copertura.

Il fenomeno è poi facilitato se all'interno del pacco di sedimenti sono presenti lenti di terreni carsificabili (quali travertini, o ghiaie di natura prevalentemente carbonatica). Non risultano tuttora casi di piping sinkhole formati su argille dotate da elevata coesione (ad esempio argille azzurre, marine particolarmente coesive, di età pliocenica).

I modelli concettuali esistenti (THARP, 1997, 1999) per spiegare tali tipi di cavità si adattano poco alla complessità della situazione geologico-strutturale ed idrogeologica delle condizioni al contorno.

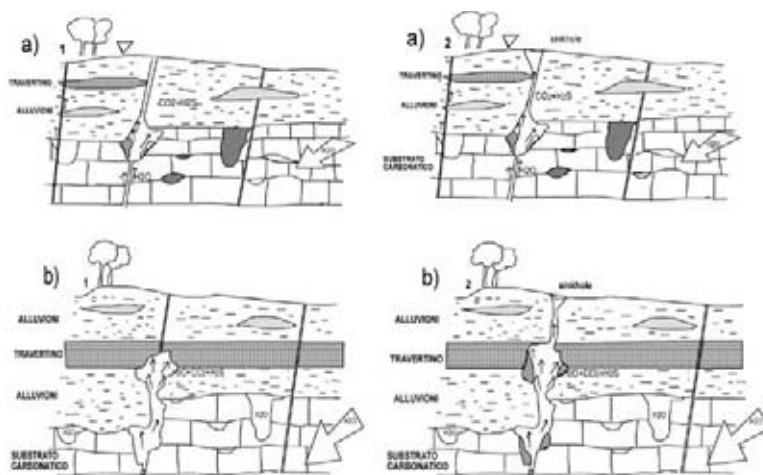


Fig. 1 - Schema dei meccanismi di risalita da Nisio (2003)

La spiegazione che sembra più plausibile per questi fenomeni è riconducibile a processi di piping. Questi avvengono solitamente in materiali che presentano una classe granulometrica corrispondente alle sabbie, mentre le argille coesive in genere non possono essere soggette a piping. Tuttavia studi recenti (MASSARI et alii, 2001) ammettono che in presenza di una coltre, costituita da alternanze di terreni a differente granulometria, non si può escludere che il fenomeno avvenga in alcuni intervalli del pacco alluvionale. Per effetto del piping si ha la propagazione di una cavità, all'interno del materiale di copertura, a partire dal tetto del bedrock verso l'alto, il fenomeno procede verso l'alto fino a quando il terreno di copertura, non sopportando più gli sforzi di taglio, crolla dando luogo ad una voragine che si forma nell'arco di 6-24 ore. La profondità a cui solitamente può avvenire il collasso finale è pari a una trentina di metri, la cavità perciò risale verso l'alto fino a 30m dal p.c. dopo di che si ha il crollo.

Il meccanismo di formazione sarebbe dunque legato anche all'azione erosiva dalle acque, ricche di gas, in pressione e in risalita. La risalita di acque profonde tramite processi di upwelling risulta poi essere controllata da discontinuità presenti nel bedrock, che vanno a rappresentare delle vere e proprie vie di fuga, oltre che per i gas, per le acque in pressione dell'acquifero profondo (CIOTOLI, 1998, 2000; CAPELLI et alii, 2001; SALVATI & SASOWSKY, 2002; NISIO 2003).

Un possibile innesco dei fenomeni di piping è rappresentato da eventi sismici che determinano la rottura di un equilibrio metastabile. Infatti il passaggio di onde sismiche provoca, unitamente al cambiamento dell'assetto dei granuli, un incremento della pressione di poro che, se raggiunge i valori della pressione litostatica determinata dal carico dei materiali soprastanti, porta alla liquefazione dei terreni.

La caratteristica morfologica che contraddistingue i piping sinkhole è data dalle pareti delle cavità che risultano perfettamente verticali, il diametro e le profondità raggiungono le decine di metri.

## 5. L'EVOLUZIONE DEI SINKHOLES

### 5.1. L'annegamento

Uno degli effetti più evidenti dopo la formazione di un sinkhole è il processo di "annegamento". Accade spesso infatti che, al verificarsi di uno sprofondamento catastrofico, in un'area dove il tetto della falda dell'acquifero più superficiale è prossima al piano campagna, l'acqua di falda si riversi all'interno della depressione dando a questa la fisionomia di un piccolo lago.

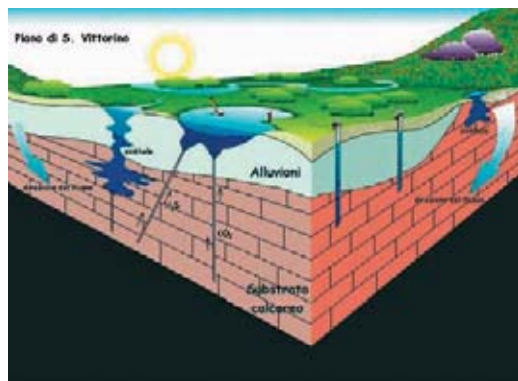


Fig.2 - Rappresentazione schematica della formazione di fenomeni di sinkhole in un'area tipo: la Piana di S. Vittorino (RI).

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 altri casi si osserva, invece, che il piccolo lago ormai formato non subisce nessuna variazione stagionale di livello inoltre, spesso, è possibile osservare alla superficie del lago bolle di gas che risalgono in superficie da piccole emergenze che si trovano al fondo. Alcune volte è possibile che si formi un piccolo emissario dal laghetto.

In molti fenomeni studiati si è riscontrato che il chimismo delle acque di alimentazione non è attribuibile alle falde superficiali ma è confrontabile con quello della falda dell'acquifero profondo.

In questi casi si può ipotizzare 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), all'interno dei sedimenti di copertura, operino in maniera diretta sull'evoluzione di sprofondamenti catastrofici in superficie.

La risalita di acque profonde tramite processi di upwelling risulta essere controllata da discontinuità (faglie, fratture) presenti nel bedrock e nella copertura sedimentaria, quest'ultima può raggiungere spessori anche notevoli (100-200 m). Tale processo è stato dimostrato, in alcuni casi di sinkholes annegati, dalle analisi sui gas disciolti in acqua e sui gas del suolo che hanno origine profonda (Cioroi et alii, 1998, 2000).

Il condotto così realizzato mette in contatto un acquifero profondo carbonatico con il piano campagna ed ha le stesse caratteristiche di un pozzo artesiano che capta in profondità di un acquifero imprigionato, il risultato tangibile è la formazione di un emergenza a fondo sinkhole.



Foto 3a, 3b - Il sinkhole del Bottegone (Grosseto) a pochi giorni dalla sua formazione, avvenuta il 29 gennaio 1999 (con asse maggiore di 180 m e asse minore di 153 m e 17 m di profondità; foto di L. Micheli), e dopo 4 anni (luglio 2003) divenuto ormai un lago.

## 5.2. L'estinzione

Il secondo fenomeno a cui può essere sottoposto un sinkhole dopo un certo numero di anni dalla sua formazione è l'estinzione; la cavità può, infatti, con il passare del tempo, prosciugarsi e ricolmarsi fino ad estinguersi.

Sono molti i casi di colmamento di sinkholes in Italia: si possono menzionare alcune segnalazioni di cavità ricolmate nella Piana di S. Vittorino e il caso dell'area del Fosso di S. Martino, Capena (Roma), dove erano presenti sei cavità ospitanti laghetti, di cui solamente una è attiva ancora oggi, ma sembra anche essa ormai in via di estinzione (il Lago Puzzo). La prima segnalazione storica della formazione del Lago Puzzo risale al 1856 (28 ottobre), quando si aprì improvvisamente una voragine che subito si riempì d'acqua (RATTI, 1857) per la presenza di sorgenti minerali fredde; essa venne attribuita inizialmente a un fenomeno postvulcanico o al crollo di cavità carsiche. Prevalse la seconda ipotesi con cui si spiegò anche la formazione di una seconda cavità, il Lago di Leprignano o Lago Nuovo, che si formò nel 1895 (BRUNIALTI, 1895; FOLGHRAITER, 1896; MELI, 1896; MODERNI, 1896) ed un piccolo sprofondamento in località Pian della Casa nel 1897, ma che non diede luogo ad un vero e proprio crollo.

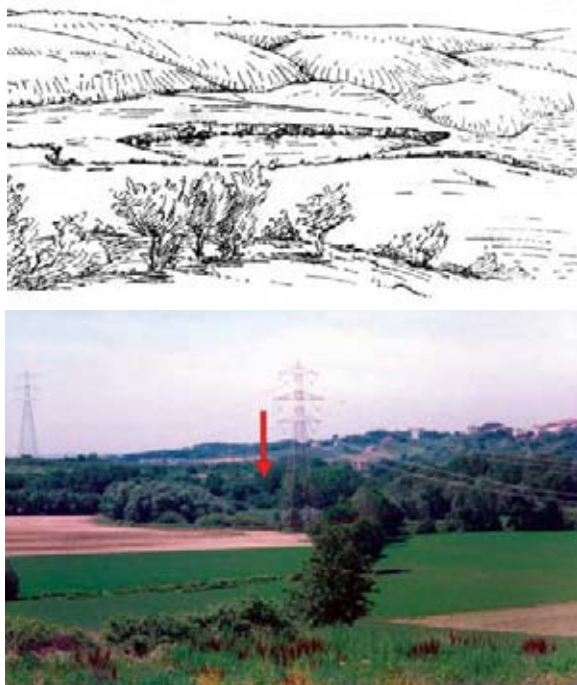


Fig.3 e Foto 4 - Il Lago Puzzo a) come si presentava nel giugno 1946 (da SEGRE, 1948); b) il Lago Puzzo 55 anni dopo, nel giugno 2003.

Nel corso del tempo i vari laghetti si estinsero; il Lago Puzzo in particolare è stato colmato nei primi anni del 1900, si è estinto e si è riaperto nella medesima posizione in tempi più recenti, nel 1930 (il Messaggero, 1930; SEGRE, 1948; PATRIZI, 1967; DE RISO & NICOTERA, 1969; DI LORETO et alii; 1999).

Attualmente il Lago Puzzo è di nuovo in via di interrimento, presenta oggi profondità molto scarsa (mezzo metro) rispetto ad alcuni metri di profondità che aveva sino ad una decina di anni fa.

Altri esempi di estinzioni sono riportate in letteratura, in Toscana presso Poggibonsi (Siena), nel gruppo di laghetti che prendono il nome di laghi di S. Antonio si parla di un quarto lago ormai estinto.

Nella piana di Camaiore (Lucca), in alcuni scritti del '700 presenti nell'Archivio comunale, si narra di "scoppiar di polle" e di strade poderali sprofondate, di cedimenti avvenuti presso la Chiesa Collegiata che farebbero pensare ad altre cavità paragonabili al sinkhole del 1995 ormai estinte.

Le cause dell'estinzione dei sinkholes sono tutt'ora da chiarire ma si possono fare alcune ipotesi.

Una prima causa è un eventuale apporto detritico da vicini torrenti o alvei (così viene spiegata l'estinzione del Lago Puzzo, suffragata dalla presenza di conoide all'interno del lago segnalato in alcune mappe), o da materiale detritico e colluvi di vicini versanti.

Il franamento delle sponde della cavità può determinare il progressivo aumento del diametro della stessa a la diminuzione della profondità fino al livellamento progressivo delle pendenze.

Ulteriore possibilità è che non sussistano più con il tempo le condizioni per le quali il sinkhole si è generato, quindi vengano a mancare l'apporto di acque sorgive al fondo e di fluidi gassosi (a causa della migrazione di sorgenti o per la variazione della circolazione idrica sotterranea o del livello piezometrico). Il sinkhole tenderebbe quindi a prosciugarsi fino ad estinguersi; tali condizioni possono variare anche in un evento unico come per esempio un sisma. Il sisma infatti può essere sia la causa di innesco che della scomparsa di un fenomeno di sinkhole.

E' evidente che differenti condizioni possano sussistere nello stesso tempo e sovrapporsi.



Foto 5a, 5b - a) Il Lago Vecchio o Lago Sinibaldi, al cui interno erano segnalate delle sorgenti, attualmente estinto adibito a maneggio; b) area dove era situato il Lago di Leprignano o Lago Nuovo



L'attività antropica è ovviamente un'ulteriore causa; è pratica comune nei campi l'interrimento delle voragini per non provocare il deprezzamento del terreno o per poter coltivare e edificare. Ciò è accaduto nella Pianura Pontina dove due dei cinque Sprofondi sono stati interrati, ritenuti dagli abitanti cavità residue di bombardamenti durante la seconda guerra mondiale.

Nella piana di Rieti una voragine di genesi incerta è stata ricolmata per potervi edificare una villetta.



Foto 6a, 6b - Piana di Rieti: un sinkhole formatosi nel novembre del 2000 e l'immagine scattata a gennaio 2004 dello stesso terreno (foto a cura di Martarelli L e. Silvi A.)



Foto 7a, 7b - Il sinkhole di Camaione il 16 ottobre 1995 (foto di L. Micheli) e l'area ricolmata nel 2003

### 5.3. La riattivazione

I sinkholes estinti possono riaprirsi nella medesima posizione, oppure essere sottoposti ad altri episodi di crollo repentino che possano variane la morfometria (aumento di diametro e/o aumento della profondità).

Il Lago Puzzo, di cui si detto sopra, si è poi riformato nel 1930 con piccole esplosioni freatiche accompagnate da boati ed emissioni di gas (il Messaggero, 1930; SEGRE, 1948; PATRIZI, 1967) ma con diametro maggiore.

Il Lago Nuovo nella piana di S. Vittorino, formatosi nel 1891, sembra essersi riattivato nel 1902 per poi estinguersi e riaprirsi nel 1930.

Il Lago Pra di Lama, vicino Pieve Fosciana, a pochi Km da Castelnuovo Garfagnana, si è riaperto nella medesima posizione dopo l'estinzione. Il lago si formò nel 1828 a seguito, sembra, di una scossa sismica con sprofondamento repentino del terreno; precedentemente (nel 1826) al posto del lago era presente nella piana una sorgente termale, utilizzata a scopi terapeutici. Alcuni cedimenti nello stesso anno distrussero le costruzioni termali.

Il 15 agosto del 1828 alle 11 del mattino una serie di boati precedettero uno sprofondamento, con emissioni di gas e fuoriuscite di fango; si formò così un laghetto con diametro di 40 m, profondità 11 m, che fu quasi del tutto ricolmato nel 1842.

Tra il febbraio e marzo 1843 altri sprofondamenti portarono all'allargamento del lago con la formazione di altre 10 sorgenti: l'afflusso di fango all'interno del Fiume Serchio fu visibile per 25 km circa. Il lago è alimentato da sorgenti subacquee, che hanno portata di circa 120 l/sec e temperatura di 30 °C.

Alla fine della seconda guerra mondiale il lago Pra di Lama era ridotto ad un piccolo stagno che doveva essere bonificato dal comune, invece ulteriori sprofondamenti ripristinarono la cavità.

Ha subito in seguito varie vicissitudini, quasi sempre collegate all'attività sismica della Garfagnana, fino ad una riduzione di quota nel 1996 ed ad una successiva riduzione e allargamento.

Attualmente il lago ha diametro di alcune centinaia di metri, il livello del lago risulta soggetto a repentini abbassamenti, crolli recenti hanno interessato le sponde e, spesso, nei campi coltivati nelle immediate vicinanze del lago si assiste a fenomeni di liquefazione delle sabbie.

La spiegazione al fenomeno di riattivazione è il probabile ripristino, dopo una fase di stasi, delle condizioni che hanno portato alla formazione (eventi sismici, attività antropiche, eventi alluvionali, etc).



Foto 8 - Il lago Pra di Lama

#### **5.4. La migrazione**

In altri casi invece le riattivazioni dei fenomeni non avvengono nella medesima posizione ma ad una certa distanza, in tal caso si parla di migrazione del sinkhole. Sapere se c'è un preciso disegno o se c'è una direzione preferenziale della migrazione è ancora oggetto di studio così come oggetto di studi sono le cause della migrazione dei fenomeni.

Nell'esempio del Fosso S. Martino (Capena) i fenomeni ormai estinti si allineano tutti secondo una dislocazione tettonica ad andamento N-S; l'estinzione sembra aver proceduto da N verso S: (Lago Vecchio o Lago Sinibaldi, con diametro di 500 m, Fontana Ciocci (250 m), Lago Nuovo o di Lepignano (260 m), Pian della casa, Lago Puzzo, quello sopravvissuto ancora oggi si trova infatti in posizione più meridionale rispetto agli altri.

Nella Pianura Pontina, nei pressi di Sermoneta, si allineano, lungo una direttrice circa NNW quattro cavità, note con il nome di Sprofondi, la quinta presente nei pressi della stazione è stata completamente obliterata; le voragini si sono aperte a partire dal 1756, la più meridionale, e via via le altre, lungo un piano di faglia, con migrazione verso N, fino agli inizi del novecento.

Anche nell'area di S. Vittorino (Rieti) sembra essersi verificata, nel corso degli anni, una lenta migrazione dei fenomeni attivi di sprofondamento.

Le prime cavità erano ubicate nei pressi della dorsale di monte Paterno (Lago di Paterno, Lago di Mezzo, Pozzo burino, etc.) e verso la parte orientale della piana, successivamente, si è assistito all'innescò di sinkholes verso il centro e verso la porzione occidentale della piana.

Si potrebbe ipotizzare una lenta migrazione verso S e verso W; stabilire se si tratta di casualità o di un fenomeno reale rimane un problema ancora in corso di studio (BOBEAUX et alii, 2003; ANNUNZIATELLIS et alii, questo volume) .

La migrazione dei sinkholes tuttavia potrebbe essere spiegata con una variazione dei percorsi di risalita dei fluidi in seguito ad eventi sismici e alla conseguente attività delle principali faglie. I movimenti tettonici attivi infatti portano ad un sollevamento del settore settentrionale e della porzione orientale, quest'ultima separata dalla faglia di Fiamignano-Micciani che solleva il blocco di destra. A questi movimenti ne consegue una sia pur modesta migrazione dei fluidi verso sud e verso sinistra e un conseguente innescò di sinkhole verso i settori ribassati.

## CONCLUSIONI

Il termine sinkhole viene utilizzato in Italia e all'estero per definire forme di sprofondamento, spesso omologhe, ma sviluppatasi attraverso processi genetici differenti; così tale termine risulta piuttosto semplificato e generico.

Si propone in questo lavoro, per ovviare ai problemi terminologici, derivanti soprattutto dal confronto con la letteratura straniera, di aggiungere al termine un attributo che ne definisca e chiarisca la genesi (NISIO 2003).

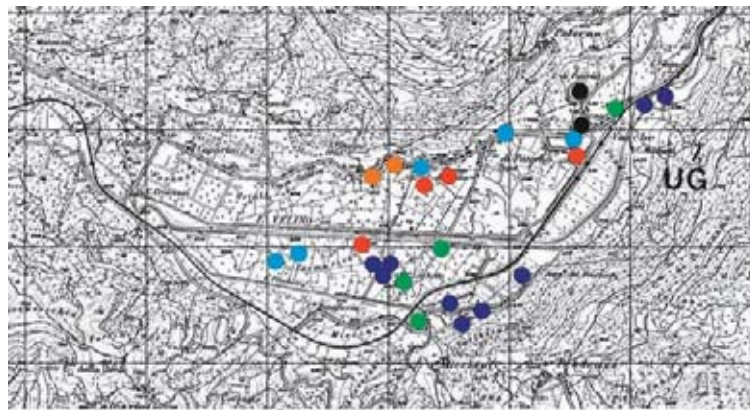
In tal senso verranno definiti piping sinkhole quei fenomeni di sprofondamento naturale in cui i processi di erosione profonda dal basso sono i principali meccanismi genetici di innescò (NISIO 2003).

I piping sinkhole in Italia risultano concentrati nelle piane alluvionali, nelle immediate vicinanze di dorsali carbonatiche, in contesti geologico-strutturali ed idrogeologici complessi innescati da cause di diversa natura (sismi, siccità, alluvioni, emungimenti di acque, etc.). La presenza di un pacco di sedimenti impermeabili o semi-permeabili al tetto di un substrato carbonatico carsificato, un reticolo di faglie e diaclasi che mettano in comunicazione i due mezzi, sono fattori predisponenti essenziali. Inoltre la presenza di fluidi liquidi e gassosi nel sottosuolo, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S, che consentano la dissoluzione e di conseguenza il sifonamento dei materiali di copertura è stata riscontrata nella maggioranza dei casi.

Le cause naturali, predisponenti ed innescanti, sono generalmente preponderanti mentre le cause antropiche sono concause per l'innescò dei fenomeni, anche se nell'ultimo ventennio si è registrato un aumento dei casi in tutto il mondo in seguito probabilmente proprio all'espansione urbanistica e al forte emungimento dai pozzi nelle aree di pianura (SINCLAIR, 1982; NEWTON, 1987; TIHANSKY & GALLOWAY, 2000).

I piping sinkhole sono principalmente concentrati nell'Appennino centro-settentrionale, in Toscana e Lazio, dove sussistono tutte le condizioni al contorno per la loro formazione.

Sono stati pertanto analizzati e confrontati molti casi noti in letteratura per migliorare la comprensione delle cause d'innescò dei fenomeni di sinkhole e per definire i possibili meccanismi genetici.



- Sinkhole secolare
- Sinkhole 1893-1915
- Sinkhole 1962
- Sinkhole 1986-1995
- Sinkhole di data incerta
- Sinkhole ricolmato



Figg. 4a, 4b - a) Attivazioni di Sinkholes nella Piana di S. Vittorino; b) Ubicazione dei fenomeni nell'area del Fosso di S. Martino (Capena-Roma) da DI LORITO et alii (1999) modificato.

Dalle analisi svolte è emerso che i piping sinkhole si formano in un lasso di tempo molto breve, che va dalle 6 alle 24 ore, nella maggior parte dei casi le voragini vengono in poco tempo colmate dall'acqua. Tale fenomeno è noto come annegamento dei sinkholes. I sinkhole possono essere sottoposti ad una evoluzione che porta a volte all'estinzione e la riattivazione della cavità. In alcuni casi studiati si osserva invece un possibile fenomeno di migrazione dei sinkhole lungo una direttrice.

I casi di migrazione di sinkholes sono stati studiati in alcune piane (S. Vittorino, Valle del Fosso S. Martino, Pianura Pontina), da tali studi si può ipotizzare che una possibile causa sia l'attività tettonica che piloterebbe la migrazione dei fluidi aggressivi attraverso i piani di faglia e di frattura.

I fenomeni di migrazione sono problematiche ancora aperte ed in corso di studio.

## BIBLIOGRAFIA

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"

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.

BECK, B.F. (1984) - Sinkholes: Their Geology, Engineering and Environmental Impact: Proceedings of the First. Multidisciplinary Conference on Sinkholes, Orlando, Fl.,: Rotterdam, Netherlands, A.A. Balkema, Publisher, 429 pp.

BECK, B.F. (1988) - Environmental and Engineering Effects of Sinkholes-the Processes Behind the Problems. 21 st Meeting of the International Association of Hydrogeologists in Guilin, China, October, 1988. 8 pp.

BECK, B.F. (1989) - Engineering and Environmental Impacts of Sinkholes and Karst. Proceedings of the Third Multidisciplinary Conference, St. Petersburg Beach, FL, October 2-4, 1989, 392 pp.

BECK, B.F. & JENKINS, D.T. (1985) - Geotechnical Considerations of Sinkhole Development in Florida. International Symposium of Environmental Geotechnology, April 21-23, 1986, Allentown, PA, 8 p.

BECK, B.F., & WILSON, W.L. (1987) - Karst Hydrogeology: Engineering and Environmental Applications. Proceedings of the Second Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impacts of Karst, Orlando, FL, Rotterdam, Netherlands, A.A. Balkema, Publisher, 429 pp.

BERSANI P. & CASTELLANO F. (2002) - 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.

BERTI G., CANUTI P., & CASAGLI N. (2002 a) - 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.

BERTI G., CANUTI P., CASAGLI N., MICHELI L., PRANZINI G. (2002 b). 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.

BILLIARD A., MUXART T., DERBYSHIRE E., WANG J.T. & DIJKSTRA, T.A. (1992) – Les glissements de terrain induits par les loess de la province de Gansou, Chine. Annales de Géographie, 566, 495-515.

BILLIARD A., MUXART T., DERBYSHIRE E., WANG J.T. & DIJKSTRA, T.A. (1993) – Landsliding and land use the loess of Gansu Province, Chine. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplement Band 87, 117-131.

BRUNAMONTE F., PRESTININZI A. & ROMAGNOLI C. (1994) - Geomorfologia e caratteri geotecnici dei depositi di terre rosse nelle aree carsiche degli Aurunci orientali (Lazio meridionale, Italia). Geol. Rom., 30, 465-478.

- BRUNIALTI A. (1895) - Il nuovo Lago di Leprignano. *L'illustrazione italiana*, 22: 339-340.
- BUCHIGNANI V. (2002) - Indagini relative al fenomeno di crollo verificatosi nell'ottobre 1995 in località "le Funi" Camaioere 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" Camaioere capuologo. In: *Le voragini catastrofiche, un nuovo problema per la Toscana*. Att. Conv. 31 marzo 2000, GR. Regione Toscana, 176-201.
- CAPELLI G. & PETITTA M. (1998) - La Piana di S. Vittorino: rischi geologici e idrogeologici. *Tevere rivista dell'Autorità di Bacino del Tevere*, in stampa.
- 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.
- CAPELLI G., COLOMBI A. & SALVATI R. (2001) - Catastrophic subsidence risk assessment. A conceptual matrix for sinkhole genesis: in *Geotechnical and Environmental applications of karst geology and hydrology*. Beck B.F. and Gayle Herring J. Eds., Balkema, The Netherlands
- CASTIGLIONI G.B. (1986)- *Geomorfologia. Opere UTET di geografia e discipline affini*; 436 pp.
- 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.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2002) - Quaternary Morfodinamic between the Velino and Salto Valleys. *Studi Geol. Camerti Vol Spec.* (1999), 37-44.
- CENTAMORE E. & NISIO S. (2003) - The effects of uplift and tilting in the Central Apennine. *Quaternary international* 101-102 (2003), 93-101
- CENTAMORE E., NISIO S. & SABATINELLI A. (1999) - Nuovi dati sull'assetto geologico-strutturale e morfotettonico della Piana di S. Vittorino ("zona d'incontro tra Umbria-Marche e Lazio-Abruzzi, Lazio nord-orientale- Rieti). *Boll. Serv. Geol. Naz.* (in stampa).
- 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. (2000) - La Piana di S. Vittorino: dati preliminari sugli studi geologici, strutturali, geomorfologici, geofisici e geochimici. *Mem. Soc. Geol. It.*, 56, 297-308.
- COLOMBI A., SALVATI R. & CAPELLI G. (2001) - Sinkhole in Latium Region (Central Italy). *Purposes of the Main Project: in Geotechnical and Environmental applications of karst geology and hydrology*. Beck B.F. and Gayle Herring J. Eds., Balkema, The Netherlands
- CRAMER H. (1941) - Die Systematik der karstdolinen. *Neues Jb. Miner. Geol Paläont.*, 85, 293-382.
- DE RISO R. & NICOTERA P. (1969) - I fenomeni di subsidenza del Fosso S. Martino, Capena-Roma, in relazione alla Ferrovia Settebagni-Orte. *Mem. Soc. Nat. Napoli*, 1, 165-180.
- DERBYSHIRE E. & MELLORS T. W. (1988) - Geological and Geotechnical characteristic of some loess and loessic soil from China and Britain: a comparison. *Engineering Geology*, 25, 135-175.
- DERBYSHIRE E., WANG J., JIN Z., BILLARD A., EGELS Y., KASSER M., JONES D.K. C. MUXART T. & OWEN L. (1991) - Landslide in the Gansu loess of China. *Catena Supplement*, 20, 119-145.
- DI LORETO E., LIPERI L., & PIRO M. (1999) - Riqualficazione ambientale del Geotopo di Lago Puzzo, Comune di Fiano Romano Roma. *Mem descr. Carta geol. D'It.*, LIV, 339-346.

- 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.
- FAIRBRIDGE (1968) – *The Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. Reinhold, New York, 1968, 1295 pp.
- FOLGHERAITER G. (1896) – Sopra il nuovo Lago di Leprignano. Frammenti concernenti la geofisica dei pressi di Roma, 3, 1-17, Roma.
- JENNINGS J.N. (1985) – *Karst geomorphology*- Kateprint Co. Ltd, Oxford, 293 pp..
- MASSARI F., GHIBAUDO G., D'ALESSANDRO A., DAVAUD E. (2001). Water-Upwelling pipes and soft-sedimentary deformation structures in lower Pleistocene calcarenites (Salento, southern Italy). *Geological Society of America Bulletin*. vol. 113, pp. 545-560.
- MEU R. (1896) – Breve relazione delle escursioni geologiche eseguite all'isola del Giglio e al Lago nuovo di Leprignano. *Ann. Scuola Applicaz Ingegneri*, 12-16. Roma.
- MODERNI P. (1896) – Il nuovo lago e gli avvallamenti del suolo nei dintorni di Leprignano. *Boll. Regio Comit. Geol.*, 27, 46-57, Roma.
- MONROE W.H. (1970) - A glossary of karst terminology. *U.S. Geol. Surv. Water Sup* (1970).
- MUXART T., BILLARD A., & DERBYSHIRE E. & WANG J. (1994) – Variation in Runoff on steep unstable loess slopes near Lanzhou, China: Initial results using rainfall simulation. In: M. J. Kirby – *Process models and theoretical geomorphology* (1994), 337-355.
- NEWTON J.C. (1987)- Development of sinkholes resulting from man's activities in the eastern United States. *USGS C-968*, 54 pp.
- NISIO S. (2003) – I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale. *Il Quaternario*, 16 (1) 2003, 121-132.
- NOLASCO F. (1998) – La piana di S. Vittorino. Contributo allo studio dei processi evolutivi dei rischi e della prevenzione. Regione Lazio- Acea.
- PATRIZI (1967) - Sullo stato attuale del Lago Puzzo (Fiano Romano Lazio) *Atti de XX Congr. Geograf. It.* Marzo-aprile, 1967. *Soc. Geogr. It.*: 3-7, Roma.
- RATTI F. (1857) – Sul laghetto di recente formazione nelle vicinanze di Leprignano. In *Corrsp. Scient. di Roma, Scienze*, 5, 65-69.
- SALVATI R. & SASOWSKY I.D. (2002) - Development of collapse sinkhole in areas of groundwater discharge: in *Journal of Hydrology* Vol. 264, no. 1-4. Amsterdam: Elsevier, Jul., 30, 2002.
- SEGRE A.G. (1948) - I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio. *Ist. Geogr. Dell'Unv, XI*, 239 pp., Roma
- SINCLAIR W.C. & STEWART, J.W. (1985)- Sinkhole type, development and distribution in Florida. *USGS MS-110*, 1 plate
- THARP T.M. (1997) - Mechanism of formation of cover collapse sinkhole. *Proc. 6<sup>th</sup> Multidisciplinary conference of sinkhole and the engineering and Environmental Impact of Karst*: 29 –36, Balkema, Rotterdam.
- THARP T.M. (1999) - Mechanism of upward propagation of cover collapse sinkhole. *Engineering Geology*, 52: 23-33.
- TIHANSKY A.B. & GALLOWAY D.L. (2000) – Land and water-resource development activities increase sinkhole frequency in the mantled karst region of Florida. *USA. Proceedings Sixth International Symposium on Land Subsidence SISOLS 2000*, Ravenna, Italy. 1, 77-90.
- WHITE W.B. (1988) – *Geomorphology and Hydrology of carbonate terrains*. University Press, Oxford, 464 pp.

