

ALESSIO ARGENTIERI¹, PIERLUIGI VECCHIA¹,
ROBERTO SALVATI²,
GIUSEPPE CAPELLI², SANDRO LORETELLI¹

¹ Provincia di Roma- Dip. I Serv.2 “Servizio Geologico, Difesa del Suolo”-
Viale di Villa Pamphili, 84 - 00152 Roma (e-mail: aargentieri@tiscali.it)

² Università degli Studi Roma TRE - Dipart. di Scienze Geologiche -
Largo S. Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

LA PERICOLOSITÀ DA SINKHOLE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI ROMA: IL CASO DI MARCELLINA

SUMMARY

Sinkhole occurrence in the perityrrhenian areas of Central Italy seems to be strongly related to a peculiar geological and hydrogeological framework, characterized by the co-existence and interaction of different issues considered to trigger the sinkhole genesis. Several sinkholes prone areas have been recognized in the Latium region, a few of them being located in the surrounding areas of Rome. The most recent of such catastrophic phenomena occurred on January 2001 about 30 Km east of Rome, close to the Marcellina village, on a small plain at the foothills of the Lucretili Mts. carbonatic ridge. In this paper preliminary geological and hydrogeological data concerning the Marcellina area are discussed, in order to analyze the role of each issue characterizing it as a “sinkhole prone area”. A possible conceptual model for cover collapse sinkhole genesis in groundwater discharge areas is then briefly outlined, focusing on the Campagna Romana peculiar geological and hydrogeological framework. The multidisciplinary approach and evolutionary model proposed here could represent useful tools for sinkhole hazard assessment, supporting land planning and management in similar geological settings.

INTRODUZIONE

Nel versante tirrenico dell’Appennino centrale sono stati rilevati, negli ultimi decenni, numerosi fenomeni di sprofondamento catastrofico (*sinkhole*) ubicati in corrispondenza di conche intermontane, pianure o fasce costiere poste a ridosso di dorsali carbonatiche (FACCENNA *et al.*, 1993; CAPELLI *et al.*, 2000; SALVATI *et al.*, 2001). Nella casistica mondiale, i *sinkhole* del settore peritirrenico presentano caratteristiche di unicità rispetto a quanto sinora accertato su contesto geologico, cause predisponenti e meccanismi genetici di tali fenomeni. In tal senso un interessante contributo può provenire dall’analisi di un caso di recente formazione, verificatosi all’inizio del 2001 nel territorio di Marcellina, circa 30 Km ad est di Roma, la cui evoluzione è tuttora sotto osservazione. In questo lavoro, che sintetizza lo stato di avanzamento della campagna di studio multidisciplinare avviata, vengono trattati gli aspetti geologici ed idrogeologici funzionali alla caratterizzazione della zona come “*sinkhole prone area*” nel quadro dell’evoluzione quaternaria del preappennino laziale.

I SINKHOLE NEL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI ROMA

Nel territorio della Provincia di Roma si annoverano molti eventi conclamati di sprofondamento catastrofico, sia storici che recenti. Essi si concentrano nel settore della Campagna Romana

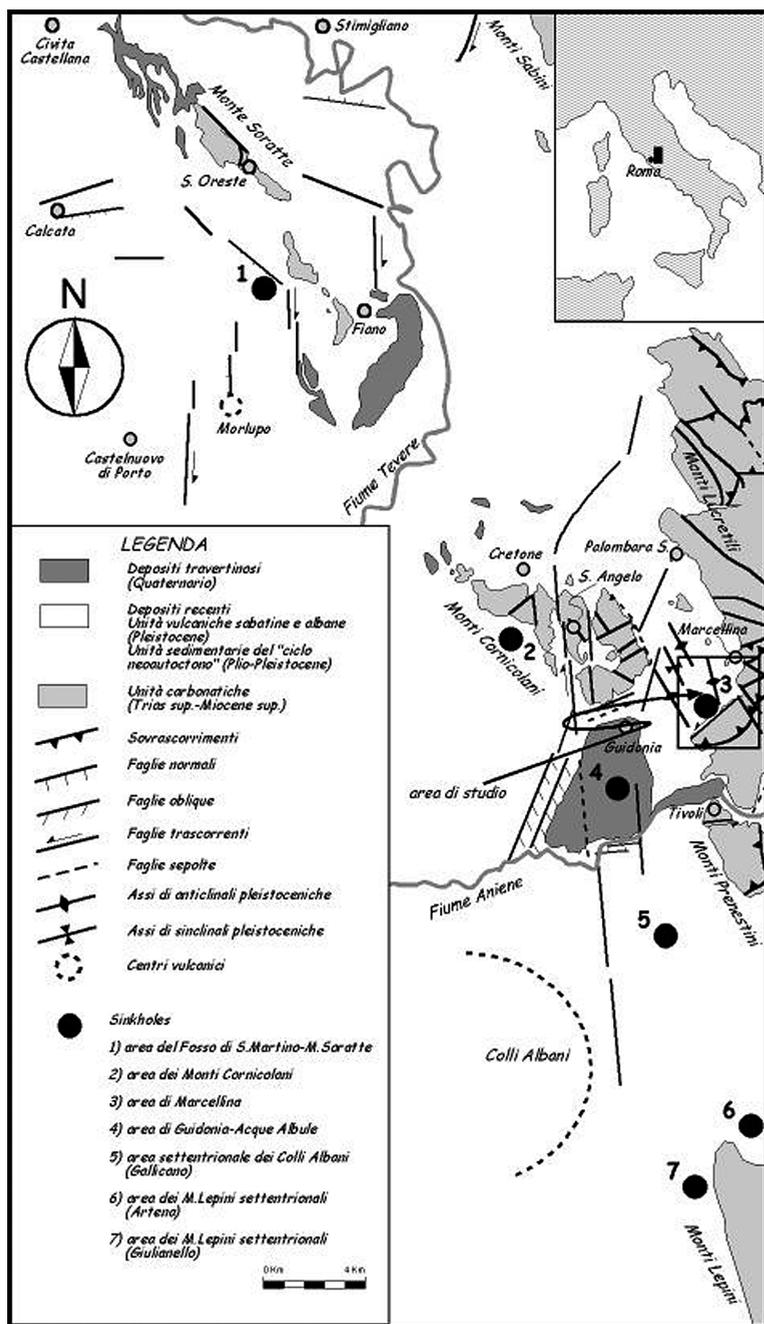


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale dei settori settentrionale ed orientale della Campagna Romana (modificato da FACCENNA *et al.*, 1994).

compreso tra i Complessi vulcanici sabatino ed albano ed i rilievi carbonatici preappenninici, laddove si realizza una peculiare concomitanza di fattori geologici ed idrogeologici la cui interazione esercita un controllo primario su genesi e localizzazione dei *sinkhole*. Gli sprofondamenti sono ubicati in aree pedemontane o di pianura adiacenti i rilievi carbonatici, le quali coincidono in gran parte dei casi con le porzioni di territorio a maggior grado di antropizzazione ed urbanizzazione. Pertanto, laddove alla pericolosità geologica si sovrappongono situazioni di notevole vulnerabilità ed esposizione, è possibile individuare condizioni di rischio ambientale elevato. Le aree del territorio provinciale di Roma contraddistinte dalla presenza di *sinkhole* risultano distribuite lungo una fascia che attraversa la Campagna Romana in direzione circa NW-SE, dalla struttura carbonatica del Monte Soratte al margine settentrionale dei Monti Lepini (Fig. 1). Le località individuate sono le seguenti:

- area del Fosso di S. Martino (SEGRE, 1948; FACCENNA *et al.*, 1993);
- area dei Monti Cornicolani (CREMA, 1915; MAXIA, 1954);
- area di Guidonia- Acque Albule (MAXIA, 1950);
- settore periferico settentrionale del Complesso vulcanico dei Colli Albani (ALMAGIÀ, 1906; MAXIA, 1950; FACCENNA *et al.*, 1993);



Fig. 2 - Il sinkhole di Marcellina.

- fascia pedemontana dei Monti Lepini settentrionali (ALMAGIÀ, 1906; MAXIA, 1950; FACCENNA *et al.*, 1993);

Ai settori citati si aggiunge infine la fascia pedemontana occidentale dei Monti Lucretili, in cui si colloca il territorio di Marcellina, ove non risultavano segnalati fenomeni di sprofondamento precedentemente all'evento del Gennaio 2001.

IL SINKHOLE DI MARCELLINA

La notte tra il 24 e il 25/1/2001 nella piana di Pozzo Grande, circa 1,5 km a SW del centro abitato di Marcellina, si è originata, probabilmente senza alcun preavviso, una voragine di forma subcircolare (Fig. 2). Lo sprofondamento, che misura circa 40 m di diametro e 15 m di profondità, ha interessato almeno 18.000 m³ di terreno. Sul fondo della cavità si è formato un laghetto, il cui livello rispetto al piano campagna si è portato a circa -8 m nel giro di qualche giorno, stabilizzandosi a circa -4 m due mesi dopo l'evento. A partire dal maggio 2001 all'interno dello specchio d'acqua sono state osservate manifestazioni gassose. Nonostante la voragine sia situata in un fondo agricolo al di fuori dell'area urbana, il fenomeno si inserisce in

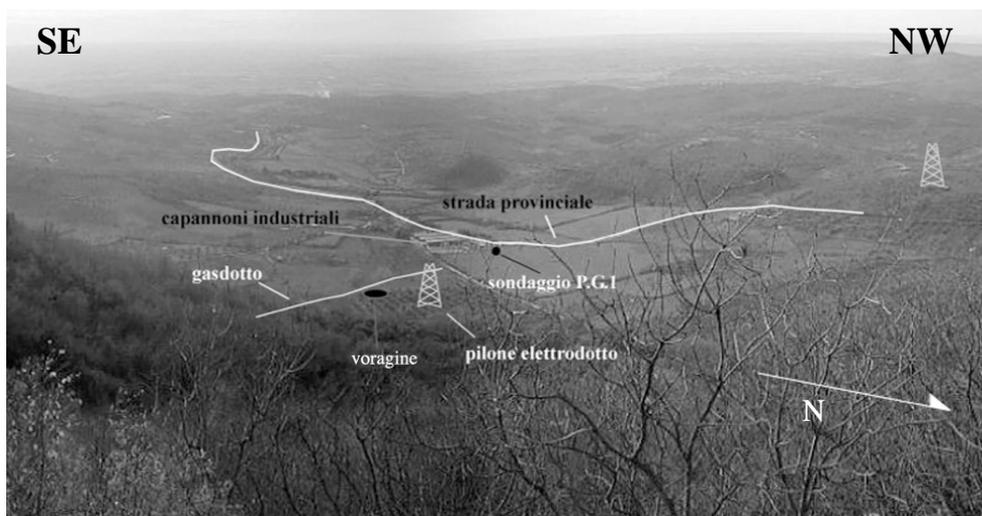


Fig. 3 - L'apertura della voragine nella Piana di Pozzo Grande ha interessato marginalmente uno dei rami del gasdotto della rete di trasporto della società SNAM e ha sfiorato un sostegno dell'elettrodotto ENEL, situato a circa 20 metri dal margine della voragine. La piana è inoltre attraversata dalla S.P. Marcellina", la cui distanza minima dalla voragine è dell'ordine di 300 m. Nelle adiacenze della strada sono infine presenti alcuni insediamenti produttivi.

un'area caratterizzata comunque da una notevole vulnerabilità connessa ai valori esposti: il dissesto ha infatti lambito diverse infrastrutture di importanza primaria (Fig. 3).

I soggetti pubblici e privati coinvolti hanno avviato, ciascuno per le proprie competenze, indagini specialistiche di tipo diretto (geologico-strutturali, idrogeologiche, geognostiche, geotecniche) ed indiretto (prospezioni microgravimetrica, geoelettrica, sismica a rifrazione), concentrate nell'area circostante la voragine; i risultati degli studi sono stati oggetto di discussioni e riflessioni congiunte nell'ambito delle riunioni tenutesi periodicamente presso il Comune di Marcellina a partire dal giorno stesso dell'evento catastrofico. Il confronto tra i dati ottenuti ha pertanto chiarito alcuni importanti aspetti in merito all'assetto geologico-strutturale del sottosuolo della piana ed alle dinamiche della circolazione superficiale e sotterranea, consentendo di formulare alcune ipotesi preliminari sulla possibile evoluzione del fenomeno e conseguentemente di valutare la stabilità delle diverse infrastrutture (ARGENTIERI *et al.*, 2002).

CARATTERI GEOLOGICO-STRUTTURALI DELL'AREA DI MARCELLINA

Il territorio di Marcellina è situato al margine orientale della Campagna Romana, in corrispondenza della fascia pedemontana dei Monti Lucretili (Fig. 1). Tali rilievi, appartenenti al dominio Sabino meridionale, sono formati da più unità strutturali accavallate con vergenza nord-orientale, costituite da una successione calcareo- marnoso- silicea in facies di transizione di età meso-cenozoica (COSENTINO e PAROTTO, 1986; 1991). La dorsale è bordata da un sistema di faglie dirette, a decorso NNW-SSE, che ribassano verso occidente le strutture carbonatiche con rigetti dell'ordine del migliaio di metri (COSENTINO e PAROTTO, 1991). Il settore depresso compreso tra i Monti Lucretili ad E e l'*horst* carbonatico dei Monti Cornicolani ad W ospita sequenze plio-pleistoceniche spesse alcune centinaia di metri, con facies evolventi da marine a salmastre. Il sistema di faglie bordiere è in gran parte mascherato

da un imponente sistema di conoidi di deiezione di età olocenica; al di sotto del detrito di falda è inoltre presente, lungo tutta la fascia pedemontana, una coltre di depositi cineritici alterati e di vulcaniti rimaneggiate frammiste a detrito calcareo, di probabile età pleistocenica (SERV. GEOL. D'IT., 1970).

Nel Pleistocene la Campagna Romana è interessata da un'intensa attività tettonica connessa ad un sistema di zone di taglio subverticali, ad andamento N-S e cinematica trascorrente destra, cui si associano faglie oblique e dirette orientate rispettivamente NNE-SSW e NE-SW (FACCENNA, 1994; FACCENNA *et al.*, 1994). Il carattere regionale della *shear zone* è confermato da indagini geofisiche (DI FILIPPO *et al.*, 1991).

È da sottolineare come il settore in esame sia contraddistinto da una certa sismicità. L'analisi dei dati strumentali recenti denota infatti un'attività nella fascia pedemontana dei Monti Lucretili, in prossimità della zona in studio (PIRRO e GASPARINI, 2002). Sono inoltre da segnalare due recenti eventi ad alta frequenza, verificatisi il 10/01/03 ed il 05/02/03, percepiti come boati dalla popolazione nel centro abitato di Marcellina.

Un fenomeno analogo ha interessato il 27/06/99 il centro storico di Montecalio, con intensità pari al IV-V grado MCS, anche in questo caso non rilevato dalla Rete Sismica INGV (GASPARINI *et al.*, 2002).

Nel territorio di Guidonia, pochi km a SW di Marcellina, si sono registrati due periodi sismici rispettivamente nel 1989 (MELONI e PIRRO, 1989) e tra Maggio e Settembre 2001 (magnitudo massima 2.7; GASPARINI *et al.*, 2001). Dai cataloghi storici risulta infine un terremoto verificatosi il 24/4/1901 nel territorio di Palombara Sabina, con area epicentrale tra le frazioni di Stazzano e Cretone ed intensità stimata pari al VII grado MCS (GASPARINI *et al.*, 2001; 2002).

La piana di Pozzo Grande, in cui si è originato il *sinkhole*, è una depressione di circa 1 km² di superficie; essa si colloca al margine meridionale della "Valle Palombara-Marcellina" *Auct.*, nel tratto in cui il sistema bordiero dei Monti Lucretili viene dislocato da lineamenti trasversali, di trasferimento, ad andamento antiappenninico. La stratigrafia dei terreni che costituiscono il substrato della piana è stata ricostruita grazie al sondaggio a carotaggio integrale realizzato dall'Amministrazione Provinciale di Roma circa 300 m ad Ovest della voragine (ARGENTIERI *et al.*, 2002). La perforazione, spinta a 100 m di profondità dal piano di campagna, ha attraversato una copertura di circa 25 m di limi sabbioso-argillosi, al di sotto della quale è presente una sequenza tufaceo-pozzolanacea, almeno in parte rimaneggiata, spessa oltre 70 m. A fondo foro sono state intercettate circa 4 m di argille marnose compatte, fossilifere, con residui carboniosi e concrezioni carbonatiche. In corrispondenza delle pareti della voragine i limi argilloso-sabbiosi di copertura presentano invece abbondanti intercalazioni lentiformi di ghiaie e ciottoli.

Dall'integrazione dei dati di carattere diretto ed indiretto si deduce che il tetto delle unità carbonatiche si trova a profondità ben maggiori di 100 m dal piano di campagna e che i depositi di riempimento della depressione presentano, nelle prime decine di metri, una complessa eterogeneità laterale e verticale (ARGENTIERI *et al.*, 2002). Inoltre appare probabile che l'evoluzione recente della piana di Pozzo Grande, di limitata estensione areale ma capace di ospitare uno spessore di depositi continentali e vulcaniti di gran lunga superiore a quelli riscontrabili nelle aree circostanti (DE RITA *et al.*, 1992), sia stata controllata dalla tettonica (ARGENTIERI *et al.*, 2002).

IDROLOGIA SOTTERRANEA E DI SUPERFICIE DELL'AREA DI MARCELLINA

Dal punto di vista della circolazione idrica sotterranea, l'area di Marcellina si colloca al margine S-W del Sistema Idrogeologico Sabino, ed in particolare nell'ambito dell'Unità idrogeologica lucretile- cornicolana, sostanzialmente coincidente con l'omologa unità strutturale, che viene tamponata dalle sequenze plio-pleistoceniche a minore permeabilità complessiva. Nell'ambito dell'acquifero carbonatico transitano volumi idrici notevoli, stimabili attorno a 5 m³/s (CAPELLI *et al.*, 1987). Al di sotto del settore orientale della Campagna Romana, tra i rilievi cornicolani e lucretili ed il margine N-E del Complesso Vulcanico dei Colli Albani, le acque del circuito carsico si miscelano con convogli gassosi e termominerali risalenti attraverso i sistemi di faglie subverticali che hanno condizionato l'evoluzione tettonica recente dell'intera area. Tale dinamica della circolazione sotterranea dà luogo, nell'area delle Acque Albule, al più imponente gruppo di sorgenti termominerali di tutto il territorio italiano (Laghi Colonnelle- Regina), con portate puntuali cumulate variabili tra 2 e 3,5 m³/s (VENTRIGLIA, 1990). Le manifestazioni idrotermali costituiscono un aspetto peculiare anche del settore compreso tra i Monti Lucretili occidentali ed i Monti Cornicolani, dove si osservano sia fenomeni geotermici che evidenze di attività recente (MAXIA, 1954; TROVATO, 1983; FACCENNA *et al.*, 1993; CARAMANNA, 2001). Nell'area di Marcellina sono pertanto presenti due acquiferi sovrapposti: uno superficiale, caratterizzato da una bassa potenzialità, che ha sede nel complesso plio-quadernario; uno basale, ospitato nei carbonati mesozoici, che contribuisce ad alimentare le manifestazioni sorgive di Guidonia- Acque Albule. Le emissioni gassose osservate nel *sinkhole* testimoniano l'interazione tra il circuito profondo e la falda superficiale.

Per quanto concerne l'idrologia di superficie, è importante evidenziare che il confronto tra basi topografiche risalenti a periodi diversi ha messo in luce come il reticolo idrografico della piana sia stato in gran parte obliterato nel corso degli ultimi decenni. Inoltre la comparazione tra i dati microgravimetrici e l'analisi di reticolo di drenaggio e assetto morfostrutturale consentono di riconoscere il carattere di bacino chiuso della piana di Pozzo Grande, attualmente drenata dal Fosso Castello (ARGENTIERI *et al.*, 2002). L'originaria natura endoreica è stata già ipotizzata, in base ai caratteri morfologici, da MAXIA (1954), che la definisce "conca carsica".

I COVER COLLAPSE SINKHOLE

Con il termine "*Cover-Collapse Sinkhole*" si indicano i fenomeni di sprofondamento catastrofico che avvengono in condizioni di "*thickly mantled karst*", ovvero laddove il substrato carbonatico è soggiacente di diverse decine di metri al di sotto di una copertura recente (TIHANSKY, 1999). Tali fenomeni sono molto ben studiati in diversi settori del pianeta (Stati Uniti, Inghilterra, Cina, ecc.), con una casistica ormai nota e sufficientemente ben compresa.

I modelli concettuali genetico-evolutivi proposti (ARRINGTON e LINQUIST, 1987; KAUFMANN e QUINIF, 1995; ABDULLA e GOODINGS, 1996; THARP, 1999; TIHANSKY, 1999) prevedono la presenza di un *bedrock* carbonatico carsificato con circolazione idrica sotterranea in canali e condotte (Fig. 4). La presenza di fratture di dissoluzione permette al materiale della copertura, poco o affatto consolidato e/o coesivo, di fluire verso il basso. Questo innesca la genesi di una cavità all'interfaccia substrato carbonatico/copertura la quale, in funzione delle proprietà geomeccaniche dei terreni, inizia a propagarsi verso l'alto attraverso la copertura fino a raggiungere la superficie e a generarne il collasso (THARP, 1999). Condizioni necessarie perché questo avvenga sono: a) spessore della copertura inferiore ai

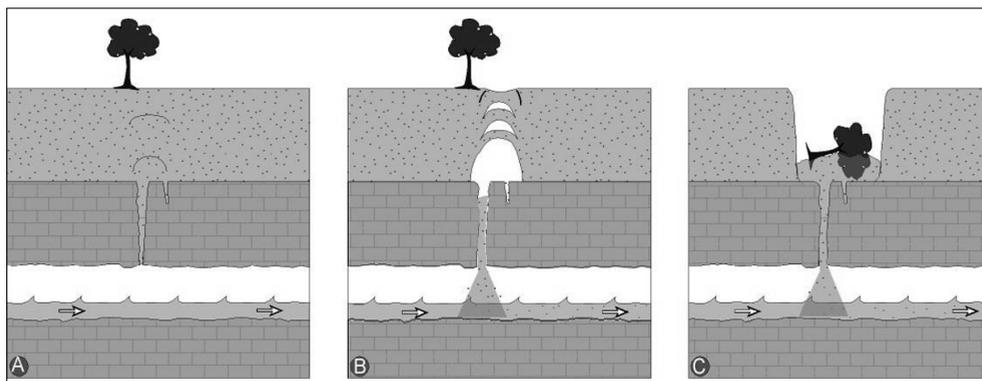


Fig. 4 - Modello genetico standard di sviluppo di *cover collapse sinkhole* (da TIHANSKY, 1999, modificato) in una situazione con *bedrock* carbonatico non troppo profondo (meno di 50 metri) e copertura omogenea. A) una cavità carsica con flusso di acqua è presente in profondità all'interno del *bedrock* carbonatico; B) il materiale della copertura, coesivo ma poco o non consolidato, è "risucchiato" verso il basso attraverso una frattura di dissoluzione e quindi preso in carico ed allontanato nel circuito carsico. Un arco di indebolimento inizia a propagarsi nella copertura stessa; C) l'arco raggiunge il limite di stabilità, dipendente dalla natura e proprietà dei depositi della copertura, e il collasso si manifesta in superficie.

50; b) omogeneità sia litologica che geomeccanica dei terreni; c) flusso idrico all'interno dell'acquifero carsico, in grado di prendere in carico e allontanare il materiale che fluisce verso il basso lungo le fratture di dissoluzione (WHITE, 1995).

DISCUSSIONE

I *sinkhole* che si verificano nella fascia tirrenica dell'Italia centrale presentano un complesso set di condizioni che rendono oltremodo difficile mutuare i modelli genetici e di sviluppo illustrati nel paragrafo precedente, elaborati per altri contesti geologici ed idrogeologici. Un corretto approccio alla modellizzazione concettuale deve tener conto del complesso quadro geodinamico che caratterizza tale settore di transizione tra la catena appenninica ed il bacino tirrenico. Gli elementi caratteristici, quali fattori predisponenti e/o scatenanti dei fenomeni di sprofondamento catastrofico, sono i seguenti:

- presenza, al di sopra del substrato carbonatico, di coltri di depositi plio-quadernari spesse fino ad alcune centinaia di metri;
- eterogeneità litologica e geomeccanica della copertura in senso sia verticale che orizzontale;
- disarticolazione del substrato carbonatico in alti e bassi strutturali;
- notevole sviluppo del carsismo ipogeo;
- prossimità a centri di emissione del vulcanismo pleistocenico;
- tettonica recente e sismicità.

Dal punto di vista idrogeologico, la localizzazione delle *sinkhole prone areas* peritirreniche in aree sorgive o, in termini più corretti e generali, in aree di recapito delle acque sotterranee (*groundwater discharge areas*) individua infatti due principali fattori di contrasto rispetto ai modelli proposti in letteratura (Fig. 5): a) non sono presenti significativi flussi idrici diretti verso il basso, in grado di farsi carico del trasporto all'interno del sistema di circolazione carsico del materiale incoerente della copertura; b) l'acqua di circolazione, poiché nei settori in esame si trova al termine del suo percorso sotterraneo, dovrebbe essere in condizioni di

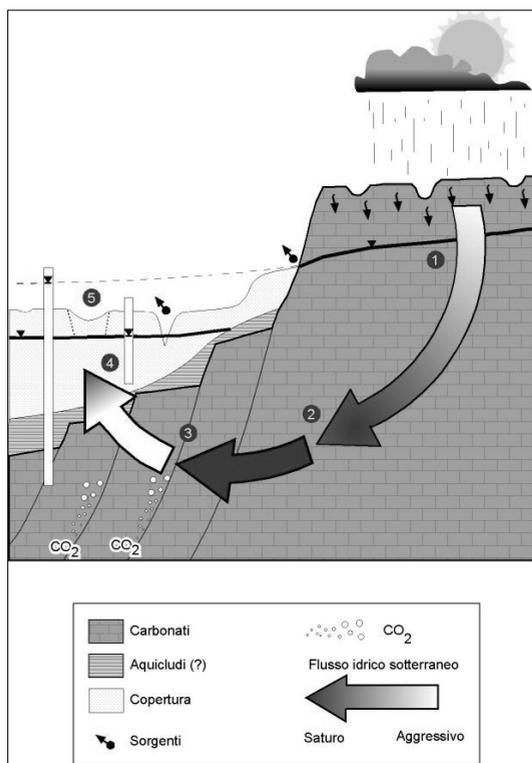


Fig. 5 - Modello concettuale di genesi dei *cover collapse sinkhole* in aree di recapito delle acque sotterranee (*discharge areas cover collapse sinkholes*) (da SALVATI *et al.*, 2001, modificato). I rilievi carbonatici rappresentano le aree di ricarica degli acquiferi. (1) Le acque ricche in CO_2 si attraversano il massiccio carbonatico e raggiungono la saturazione quasi totale rispetto al carbonato di calcio. (2) Raggiungendo la parte più profonda degli acquiferi (3) le acque di circolazione si mescolano con gas o altre acque mineralizzate che risalgono lungo linee di discontinuità del *bedrock* carbonatico. Le acque tornano quindi ad essere sottosature rispetto alla calcite. Flussi verso l'alto e fenomeni di travaso laterale hanno luogo nel passaggio tra il *bedrock* carbonatico e i depositi di riempimento delle incisioni vallive. La dissoluzione (4) delle frazioni calcaree presenti nella copertura (ghiaie, sabbie a cemento calcareo) possono dar luogo a locali carenze di massa con la creazione di vuoti e la genesi del collasso. (5) Le acque di risalita possono miscelarsi a quelle degli acquiferi più superficiali e sospesi o possono altresì dar luogo a emergenze dirette.

“*near saturation*” rispetto al carbonato di calcio, quindi con potere di aggressione nei confronti della roccia calcarea scarso o addirittura nullo.

La concomitanza delle suddette condizioni pone perciò dei severi limiti alla possibilità di creazione di vuoti all'interno del *bedrock* carbonatico (SALVATI *et al.*, 2001; SALVATI e SASOWSKY, 2002). Nella ricostruzione della genesi dei *sinkhole* del margine tirrenico è perciò importante valutare accuratamente il ruolo svolto dai processi di ipercarsismo termale (FORTI, 2002) in termini di “ringiovanimento” della capacità aggressiva dei fluidi sotterranei nei confronti dei litotipi calcarei.

CONCLUSIONI

Diversamente dalla maggior parte dei *sinkhole* riconosciuti nel versante tirrenico dell'Appennino laziale, che rappresentano forme relitte di fenomeni evolutisi in un passato più o meno remoto, il caso di Marcellina ha offerto ed offre tuttora la possibilità di osservare ed analizzare il fenomeno nel corso del suo sviluppo. Benché le indagini sinora condotte abbiano seguito degli approcci indipendenti in funzione delle finalità di ciascuno degli Enti pubblici e privati che le hanno promosse, la collaborazione ed il confronto tra i vari gruppi di lavoro nelle fasi di interpretazione dei dati ha reso possibile, nella sostanza, l'applicazione di una metodologia multidisciplinare assimilabile a quelle proposte in letteratura (COLOMBI *et al.*, 2001).

L'area di Marcellina è definibile come una zona di “*by-pass*” dei cospicui volumi defluenti dalle aree di ricarica, corrispondenti alle unità carbonatiche mesozoiche dei M. Lucretili, verso un settore di recapito coincidente con il tratto del Fiume Aniene compreso tra le sorgenti Acquoria ad Est ed Acque Albule ad Ovest. Benché la piana di Pozzo Grande non si configuri

quindi quale zona prettamente sorgiva, l'analisi dell'assetto geologico, strutturale, idrogeologico e geomorfologico permette di assimilarla alle altre “*sinkhole prone areas*” del versante tirrenico dell'Appennino laziale. I risultati delle indagini sinora effettuate suggeriscono che l'origine dello sprofondamento sia connessa a fenomeni di erosione e/o dissoluzione dei sedimenti di copertura del reticolo carsico, a loro volta imputabili alla circolazione di fluidi aggressivi lungo discontinuità tettoniche.

Nonostante l'evento di Marcellina non costituisca un elemento isolato né tantomeno anormale nel quadro regionale, esso ha rappresentato un fattore di sorpresa per quanto concerne la sua localizzazione; tale aspetto risulta tanto più significativo se si considera che a posteriori è stata invece verificata per l'area di studio la sussistenza delle condizioni che la caratterizzano come “*sinkhole prone*”. L'evento catastrofico apre quindi nuove prospettive di ricerca in un'area della Campagna Romana intensamente studiata dal punto di vista geologico, anche in ragione della rilevante influenza esercitata dal peculiare ambiente fisico, sin da epoche remote, sullo sviluppo delle attività antropiche e socio-economiche.

Dall'esperienza di Marcellina è possibile trarre nuovi elementi per perfezionare il modello concettuale di genesi e sviluppo di “*cover collapse sinkhole*” in aree di recapito delle acque sotterranee. Ciò può rappresentare un significativo passo verso un più moderno approccio alla pianificazione ed alla gestione del territorio, basato su metodologie di indagine quantitativa che consentano, una volta definita per macroaree la pericolosità geologica relativa ai fenomeni di sprofondamento catastrofico, la valutazione a scala di dettaglio dei rischi ambientali connessi. E' infine importante sottolineare come tale impostazione trovi riscontro nella normativa locale, in virtù della recente emanazione di linee guida per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio *sinkhole* (REGIONE LAZIO, 2002).

BIBLIOGRAFIA

- ABDULLA W.A., GOODINGS D.J., 1996 – Modeling of sinkholes in weakly cemented sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, 12: 998-1005.
- ALMAGIÀ R., 1906 – Cavità di sprofondamento nei tufi presso Galliciano (Lazio). *Boll. Soc. Geol. It.*, 25: 94-99.
- 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 dei Convegni Lincei*, 181 (XIX Giornata dell'Ambiente) “Il Dissesto idrogeologico: inventario e prospettive” (Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 5/6/ 2001): 243-255.
- ARRINGTON D.V., LINDQUIST R.C., 1987 – Thickly mantled karst of Interlachen, Florida area. *2nd Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Environmental Impact of Karst*, Orlando, Florida, 9-11 February 1987: 31-39.
- CAPELLI G., COSENTINO D., MESSINA P., RAFFI R., VENTURA G., 1987 – Modalità di ricarica ed assetto strutturale dell'acquifero delle sorgenti Capore- S. Angelo (Monti Lucretili- Sabina meridionale). *Geologica Romana*, 26: 419-447.
- CAPELLI G., SALVATI R., PETITTA M., 2000 – Relationships between catastrophic subsidence hazards and groundwater in the Velino valley (Central Italy). *Proceedings of the 6th International Symposium on Land Subsidence* (Ravenna, 24-29 Settembre 2000), I: 123-135.
- CARAMANNA G., 2001 – Scientific utilization of scuba diving and ROV techniques in an inland flooded sinkhole in the Latium region (Central Italy) for the hydrogeological and geochemical study of the karst water resource. *Volume dei riassunti “Geoitalia 2001- 3^o Forum italiano di Scienze della Terra”* (Chieti, 5-8 Settembre 2001): 302-303.

- COLOMBI A., DI LORETO E., NOLASCO F., CAPELLI G., SALVATI R., 2001 – The purposes of the main sinkhole project in the Latium region of Central Italy. *Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology* (Beck & Herring eds.): 73-76.
- COSENTINO D., PAROTTO M., 1986 – Assetto strutturale dei Monti Lucretili settentrionali (Sabina): nuovi dati e schema tettonico preliminare. *Geologica Romana*, 25: 73-90.
- COSENTINO D., PAROTTO M., 1991 – La struttura a falde della Sabina (Appennino centrale). *Studi Geologici Camerti*, Vol. Spec. 1991/2 – CROP11: 381- 387.
- CREMA G., 1915 – Improvvisa formazione di una dolina presso Montecelio in provincia di Roma. *Boll. Soc. Geol. It.*, vol. XXXV: 273-276.
- DE RITA D., FUNICIELLO R., ROSA C., 1992 – Volcanic activity and drainage network evolution of the Alban Hills area (Rome, Italy). *Acta Vulcanologica- Marinelli Volume- 2*: 185-198.
- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T., TORO B., 1991 – Evidenze di taglio N-S in Sabina meridionale. *Studi Geologici Camerti*, Vol. Spec. 1991/2– CROP11: 67-71.
- FACCENNA C., 1994 – Structural and hydrogeological features of Pleistocene shear zones in the area of Rome (Central Italy). *Annali di geofisica*, vol. XXXVII, N. 1: 121-133.
- FACCENNA C., FLORINDO F., FUNICIELLO R., LOMBARDI S., 1993 – Tectonic Setting and Sinkhole Features: Case Histories from Western Central Italy. *Quaternary Proceedings*, 3: 47-56.
- FACCENNA C., FUNICIELLO R., MATTEI M., 1994 – Late Pleistocene N-S shear zones along the Latium Tyrrhenian margin: structural characters and volcanological implications. *Boll. Geofis. Teorica ed Appl.*, Vol. XXXVI, N. 141-144: 507-522.
- FORTI P., 2002 – Evoluzione ipercarsica all'interno degli acquiferi termali e in rapporto a possibili problemi di suffosione. in “Le voragini catastrofiche. Un nuovo problema per la Toscana.” Edizioni Regione Toscana: 11-26.
- GASPARINI C., DI MAURO R., PAGLIUCA N. M., PIRRO M., MARCHETTI A., 2002 – Recent seismicity of the “Acque Albule” travertine basin. *Annals of Geophysics*, vol. 45, N. 3/4: 537-550.
- GASPARINI C., PIRRO M., MARCHETTI A., PAGLIUCA N., 2001 – Analisi preliminare del periodo sismico avvenuto nel territorio del Comune di Guidonia Montecelio (RM) tra Maggio e Settembre 2001. 20° Convegno Nazionale G.N.G.T.S. (Roma, 6-8 Novembre 2001), riassunti: 251-252.
- KAUFMANN O., QUINIF Y., 1999 – Cover-collapse sinkholes in the “Tournaisis” area, southern Belgium. *Engineering Geology*, 52: 15-22.
- MAXIA C., 1950 – Il Bacino delle Acque Albule (Lazio). *Contributi di Scienze Geologiche, Suppl. Ric. Sc.*, Univ. Roma: 27-44.
- MAXIA C., 1954 – La geologia dei Monti Cornicolani (Lazio). *Pubbl. Ist. Geol. e Paleont. Univ. Studi Roma*, 11: 1-98.
- MELONI F., PIRRO M., 1989 – Analisi preliminare del periodo sismico dal Gennaio 1989 in località Colle Fiorito di Guidonia (prov. di Roma) e aspetti neotettonici dell'area. *Atti dell'8° Convegno Nazionale G.N.G.T.S.*: 26.
- REGIONE LAZIO, 2002 – Deliberazione Giunta Regionale 2/8/2002, n. 1159. B.U.R. Lazio N°30, parte I: 18-25.
- SALVATI R., SASOWSKY I.D., 2002 – Development of cover collapse sinkholes in areas of groundwater discharge. *Journal of Hydrology* 264: 1-11.
- SALVATI R., SASOWSKY I.D., CAPELLI G., 2001 – Conceptual model for development of cover collapse sinkholes in areas of groundwater discharge, Central Italy. *Proceedings of the GSA Meeting 2000- Reno, Nevada, U.S.A.*: A355.
- SALVATI R., THARP T.M., CAPELLI G., 2001 – Conceptual model for geotechnical evaluation of

- sinkhole risk in the Latium region. *Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology* (Beck & Herring eds.): 163-167.
- SEGRE A.G., 1948 – I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio. *Pubbl. Ist. Geografia Univ. Roma, serie A n° 7*: 113-115.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1970 – Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000)- Foglio 144 Palombara Sabina.
- THARP T.M., 1999 – Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. *Engineering Geology*, 52. 23-33.
- TIHANSKY A.B., 1999 – Sinkholes in West Central Florida. USGS Circular n°1182 (Galloway D., Jones D.R. and Ingebritsen S.E. eds.) Denver, Colorado U.S.A.: 121-140.
- TROVATO G.A., 1983 – Cenni sulle principali cavità dei M. Lucretili. In “Monti Lucretili. Un Parco Naturale nel Lazio” a cura dell'Amministrazione Provinciale di Roma: 81-90.
- VENTRIGLIA U., 1990 – Idrogeologia della Provincia di Roma - Regione orientale. Vol. IV, a cura dell'Amministrazione Provinciale di Roma - Assessorato LL.PP., Viabilità e Trasporti, Roma: 547 pagg.
- WHITE W.B., WHITE E.L., 1995 – Threshold for soil transport and the long term stability of sinkholes. *Karst GeoHazard* (Beck ed.): 73-78.

