

30



**ISPRA**  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



CONSIGLIO NAZIONALE  
DEI GEOLOGI



ORDINE DEI GEOLOGI DELLA LAZIO

# Voragini in Italia.

I sinkholes e le cavità sotterranee:  
ricerca storica, tecniche di studio e d'intervento



## Raccolta degli abstract

# **3° WORKSHOP INTERNAZIONALE SUI SINKHOLES**

## **Voragini in Italia**

### **I sinkholes e le cavità sotterranee: ricerca storica, metodi di studio e d'intervento**

**Roma 8 maggio 2014 - Sala Convegni CNR - Piazzale Aldo Moro, 5**

#### **Raccolta degli abstract**

**Coordinamento Scientifico: Stefania Nisio**

**Comitato Tecnico Scientifico:**

Amanti Marco, ISPRA – Servizio Geologico D'Italia  
Antolini Paride, CNG Consiglio Nazionale Geologi  
Corazza Angelo, Dipartimento di Protezione Civile Roma  
Ciotoli Giancarlo, CNR, IGAG Roma  
Cucchi Franco, Università di Trieste  
D'Oriano Vittorio, CNG Consiglio Nazionale Geologi  
De Angelis Orazio, ASI – Agenzia Spaziale Italiana  
Di Loreto Eugenio, Regione Lazio – CNG Consiglio Nazionale Geologi  
Dramis Francesco, Università di Roma 3  
Meloni Fabio, Regione Lazio  
Messina Paolo, CNR, IGAG, Roma  
Campobasso Claudio, ISPRA – Servizio Geologico D'Italia  
Nisio Stefania, ISPRA – Servizio Geologico D'Italia  
Parise Mario, CNR, IRPI Bari  
Santo Antonio, Università Federico II Napoli  
Troncarelli Roberto, Ordine dei Geologi del Lazio

Comitato organizzativo

Per il Servizio Geologico d'Italia: Marco Amanti, Stefania Nisio, Nicola Alfredo Pantaleone, Roberto Serafini

Per ISPRA DIR-COM: Rossella Sisti, Paola Giambanco, Michelina Porcarelli.

## Osservazioni preliminari sul sinkhole di Montelanico (provincia di Roma)

Aquilino, A.<sup>(1)</sup>, De Ritis, R.<sup>(2)</sup>, Fabiani, M.<sup>(1)</sup>, Gizzi, A.<sup>(1)</sup>, Liggio F.<sup>(1)</sup>, Perniola, B.<sup>(1)</sup>, Piro, M.<sup>(1)</sup>, Rotella, G.<sup>(1)</sup>

(1) Provincia di Roma- Dipartimento IV “Servizi di Tutela e Valorizzazione dell’Ambiente”- Servizio 1 Difesa del Suolo, Viale di Villa Pamphili 84 00152 ROMA, e-mail: difesasuolo@provincia.roma.it

(2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata, 605, 00143 ROMA, e-mail: riccardo.deritis@ingv.it

Nel febbraio del 2010 tra gli abitati di Montelanico e Carpineto Romano, a poche decine di metri dalla Strada Provinciale Carpinetana (km 11+500), si è aperto un sinkhole nella piana intermontana sita nel settore settentrionale della dorsale carbonatica dei Monti Lepini, sulla sponda destra del torrente “Il Rio”. Le rilevazioni effettuate subito dopo l’evento, hanno individuato una cavità di forma circolare del diametro di 6 metri ed una profondità presunta di 28. Data la natura improvvisa del fenomeno e la prossimità dell’infrastruttura provinciale e di diverse abitazioni a poche decine di metri, il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Roma e l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), nell’ambito di un protocollo d’intesa finalizzato alla caratterizzazione geologico-tecnica e geofisica di siti interessati da “Sinkholes” e da eventi franosi, hanno iniziato una campagna di indagini geofisiche con lo scopo di ricostruire genesi e dinamica dell’evento. Il sinkhole si è impostato su materiali alluvionali che ricoprono il substrato carbonatico costituito da calcari, calcari dolomitici e dolomie del Cretacico. Dal punto di vista strutturale la valle nella quale è avvenuto il fenomeno è caratterizzata dal passaggio di un lineamento strutturale a carattere regionale (circa 25 km) con orientazione NW-SE ed interpretata come un retroscorrimento (Parotto *et al.*, 2013). Il monitoraggio periodico del sito ha messo in evidenza il progressivo allargamento della voragine, la cui profondità appare invece essere invariata nel corso del tempo, con presenza costante di un flusso idrico. Le indagini di tomografia elettrica mostrano uno spessore della coltre di riempimento che aumenta in direzione del sinkhole e verso il centro della valle. Dalla parte opposta, in prossimità della strada provinciale, l’andamento degli elettrostrati evidenzia un substrato carbonatico superficiale e irregolare con *feature* che potrebbero essere ricondotte a fenomeni di carsismo.

Dato che il sinkhole in studio mostra di essere ancora in evoluzione e considerato il rischio di accadimento di nuovi eventi (sinkhole *prone area*) in presenza di abitazioni e infrastrutture viarie, il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Roma e l’INGV hanno pianificato un approfondimento delle di indagini geofisiche con tecniche multiparametriche.



## Sprofondamenti in area urbana: il caso del parco Ytzhak Rabin (Via Panama, Roma)

Argentieri, A.<sup>(1)</sup>, Cecchini, F.<sup>(3)</sup>, Chiappini, M.<sup>(2)</sup>, De Bellis, S.<sup>(1)</sup>, De Ritis R.<sup>(2)</sup>, Di Filippo, M.<sup>(3)</sup>, Di Nezza, M.<sup>(3)</sup>, Ferri, G.<sup>(4)</sup>, Margottini, S.<sup>(3)</sup>, Materni, V.<sup>(2)</sup>, Miozzi, M.<sup>(1)</sup>, Nardi, A.<sup>(2)</sup>, Piro, M.<sup>(1)</sup>, Rotella, G.<sup>(1)</sup>, Skrame, K.<sup>(3)</sup>, Vallorosi, M.<sup>(4)</sup>, Vitali, P.<sup>(1)</sup>

(1) Provincia di Roma- Dipartimento IV “Servizi di Tutela e Valorizzazione dell’Ambiente”- Servizio 1 Difesa del Suolo, Viale di Villa Pamphili 84 00152 ROMA, e-mail: difesasuolo@provincia.roma.it

(2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata, 605, 00143 ROMA, e-mail: riccardo.deritis@ingv.it

(3) Sapienza- Università di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra, Piazzale Aldo Moro, 5 00185 ROMA, e-mail: michele.difilippo@uniroma1.it

(4) Roma Capitale- Direzione Protezione Civile, Piazzale di Porta Metronia 2, 00183 ROMA e-mail: gianluca.ferri@comune.roma.it

Il Servizio Difesa del Suolo- Provincia di Roma e l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, nell’ambito di un protocollo d’intesa finalizzato alla “Caratterizzazione geologico-tecnica e geofisica di siti interessati da Sinkholes e da eventi franosi nell’ambito del territorio della Provincia di Roma” hanno avviato congiuntamente al Dipartimento di Scienze della Terra- Sapienza- Università di Roma una campagna di indagini multidisciplinari in siti soggetti a sprofondamenti sia naturali, sia di origine antropica. Un caso di particolare rilevanza è quello del parco Ytzhak Rabin, nell’area urbana di Roma, dove nel Settembre 2012 è stata rilevata la prima evidenza di due sprofondamenti, sino ad allora non censiti nell’area. Il parco Ytzhak Rabin si trova nel Municipio II, tra via Panama e via Salaria, ed è contiguo a Villa Ada. Il fenomeno, segnalato tempestivamente alle autorità competenti, merita particolare attenzione in quanto la villa è intensamente frequentata e gli sprofondamenti sono ubicati a breve distanza da un’area giochi attrezzata. Nei mesi successivi è stata osservata l’evoluzione tramite sopralluoghi periodici, constatando l’ampliamento delle prime voragini di forma allungata e la formazione di nuove lungo un allineamento circa WNW-ESE, censendone ad oggi 15, di cui almeno 5 con oltre 2 m diametro.

La geologia dell’area è caratterizzata dalla presenza dei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano (Pleistocene medio p.p.,  $488 \pm 2$  Ka, KARNER & RENNE, 1998), estesamente rappresentati in quasi tutto l’areale del Foglio 374 “Roma” della Carta Geologica d’Italia scala 1 : 50.000. La successione locale, visibile in un vicino scavo, è composta da un’alternanza di depositi piroclastici di lapilli e cineriti, livelli vulcanoclastici rimaneggiati, e in affioramento livelli decimetrici di pomici intercalati nei paleosuoli.

In letteratura sono menzionati sondaggi, effettuati ad alcune centinaia di metri dal sito lungo via Panama, che hanno intercettato vuoti sotterranei di grandi dimensioni, interpretati come antiche cave di pozzolana, a profondità tra 5 e 12 m, nonché la presenza di una catacomba detta “di Trasone” in via Salaria angolo via Taro (VENTRIGLIA U., 2002). All’interno di Villa Ada, presso l’ingresso carrabile all’altezza della omonima Via, è presente una voragine, da noi osservata per la prima volta nell’anno 2000, oggi divenuta di notevoli dimensioni e adeguatamente recintata.

A seguito delle precipitazioni intense del Febbraio 2014 i fenomeni hanno mostrato una significativa accelerazione, evidenziando la necessità di indagini esplorative del sottosuolo. Si è pertanto avviata una campagna di indagini geofisiche (metodi geoelettrici, gravimetrici e georadar), di concerto con la Direzione Protezione Civile di Roma Capitale, che ha contestualmente posto in essere le misure di sicurezza, apponendo una recinzione dell’area con apposita segnaletica.

Il presente studio illustra i risultati preliminari delle prospezioni geofisiche, ancora in corso di svolgimento, finalizzate a ricostruire geometria, natura e genesi delle cavità sotterranee che hanno dato origine alle voragini; su tali basi si procederà ad una successiva fase di esplorazione diretta della rete caveale, che permetterà di definirne stato di conservazione e grado di pericolosità e quindi di individuare i possibili interventi di messa in sicurezza dell'area.

## Osservazioni geofisiche e geochimiche di un possibile sinkhole in formazione nel bacino delle Acque Albule nel Comune di Guidonia (Roma)

Argentieri, A.<sup>(1)</sup>, Carluccio, R.<sup>(3)</sup>, Cecchini, F.<sup>(4)</sup>, Chiappini, M.<sup>(3)</sup>, Ciotoli, G.<sup>(5)</sup>, De Ritis, R.<sup>(3)</sup>, Di Filippo, M.<sup>(4)</sup>, Di Nezza, M.<sup>(3)</sup>, Fabiani, M.<sup>(1)</sup>, Gizzi, A.<sup>(1)</sup>, Marchetti, M.<sup>(3)</sup>, Margottini, S.<sup>(4)</sup>, Materni, V.<sup>(3)</sup>, Meloni, F.<sup>(2)</sup>, Nardi, A.<sup>(3)</sup>, Rotella, G.<sup>(1)</sup>, Sapia, V.<sup>(3)</sup>, Venuti, A.<sup>(3)</sup>

(1) Provincia di Roma- Dipartimento IV “Servizi di Tutela e Valorizzazione dell’Ambiente”- Servizio 1 Difesa del Suolo, Viale di Villa Pamphili 84 00152 ROMA, e-mail: difesasuolo@provincia.roma.it

(2) Regione Lazio- Area Difesa del Suolo- Servizio Geologico, viale del Tintoretto, 432, 00142 ROMA, e-mail: fmeloni@regione.lazio.it

(3) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via di Vigna Murata, 605, 00143 ROMA, e-mail: riccardo.deritis@ingv.it

(4) Sapienza- Università di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra, Piazzale Aldo Moro 5 00185 ROMA, e-mail: michele.difilippo@uniroma1.it

(5) C.N.R.- Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG), Area della Ricerca di Roma1 - Montelibretti, Via Salaria Km 29,300, Monterotondo (RM)

Il bacino delle Acque Albule, interpretato come un bacino di *pull a part* Plio-Quaternario, è una *Sinkhole prone area* interessata da fenomeni di sprofondamento. Presso l’abitato di Guidonia, in prossimità dell’aeroporto militare, è stato individuato un sito in cui è in atto un fenomeno di subsidenza che recentemente ha mostrato un’accelerazione del suo processo evolutivo. Il sito è ubicato all’interno di un terreno agricolo la cui morfologia inizialmente pianeggiante si è modificata con la creazione di una vasta depressione. Il rilievo GPS in configurazione differenziale ha permesso di individuare una zona ribassata di geometria ellittica con asse maggiore di 220 m, orientato NNE-SSW e asse minore di 110 m. Lateralmente sono state individuate due depressioni minori di forma circolare e diametro approssimativo di 80 m. Nella primavera del 2013 nel margine più acclive della depressione (orientale), sono stati rilevati due pozzi sub verticali di neoformazione la cui forma e profondità sono in rapida evoluzione. In seguito alla segnalazione da parte del proprietario del terreno il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Roma e l’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, nell’ambito di un protocollo d’intesa finalizzato alla “Caratterizzazione geologico-tecnica e geofisica di siti interessati da “Sinkholes” e da eventi franosi, il “Servizio Geologico Area Difesa del Suolo”, della Regione Lazio, il dipartimento di Scienze della Terra dell’Università “Sapienza” di Roma e l’Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR hanno avviato una campagna di indagini geofisiche e geochimiche. I primi risultati dei rilievi hanno consentito una caratterizzazione geologica e strutturale preliminare fornendo elementi utili per la comprensione della genesi del fenomeno in atto e della sua evoluzione. L’indagine geoletrica, gravimetrica e la sismica attiva e passiva evidenziano la presenza di terreni a bassa densità, resistività e  $v_p$  con geometria stratificata almeno fino a 50 metri di profondità, all’interno di un’area caratterizzata dalla presenza di travertino ad alta  $v_p$ . La prosecuzione degli studi geofisici, geotecnici e geochimici in atto potrà fornire una chiave interpretativa sulla genesi del fenomeno, permettendo di prevedere le fasi evolutive e gli scenari di rischio in questa area altamente antropizzata.

## Acque mineralizzate e sacre, emissioni gassose, sprofondamenti, vulcanismo e sismicità nell'area romana: dati storici e ulteriori contributi

\*Bersani P., \*\* Nisio S, \*\*Pizzino L.\*\*\*

\* *Libero Professionista*; \*\**Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA*; \*\*\**Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia, INGV, Roma*

E' stata effettuata una ricerca storico-archeologica riguardo i fenomeni naturali avvenuti in passato nell'area di Roma, analizzando il territorio urbano fino al litorale di Anzio.

Sono stati presi in considerazione i seguenti elementi: presenza di acque mineralizzate, sorgenti ritenute sacre, emissioni gassose, sinkholes naturali, dati di sismicità storica e attuale, stratigrafie di sondaggio.

Dal lavoro svolto è emerso che molte delle manifestazioni considerate (sorgenti mineralizzate, emissioni di gas etc., sinkholes) si allineano lungo una direzione NNW-SSE (N 165°) che potrebbe corrispondere ad un disturbo tettonico con direzione appenninica, già riconosciuto da altri Autori sia a nord che a sud della città di Roma.

Tale direzione incrocia il Tevere nell'area urbana all'altezza del Campo Marzio e del quartiere Ostiense.

L'ipotesi sembra confermata anche dall'allineamento dei crateri eccentrici del Vulcano Laziale.

Lungo questa direzione, inoltre, sembrano allinearsi sia gli epicentri dei maggiori terremoti storici romani, sia gli epicentri di eventi sismici più recenti di bassa magnitudo (come il terremoto del maggio 2009 con M=2,1 con epicentro nell'isola Tiberina a Roma). I primi sono i terremoti romani del 1812 (VI-VII MCS), del 1895 (VI-VII MCS) e del 1909 (VI MCS) e il terremoto di Anzio del 1919 (VI-VII MCS). In particolare, le isosisme dei terremoti del 1895 e del 1909 risultano orientate proprio lungo questa direzione NNW – SSE. Se l'ipotesi fosse confermata la direzione NNW-SSE (N 165°) potrebbe configurarsi come una *master fault* della città di Roma; tale elemento potrebbe essere un unico elemento tettonico o, più probabilmente, un insieme di segmenti, appartenenti allo stesso sistema di deformazione.

A supporto di questa ipotesi vi è, inoltre, la ricostruzione dell'assetto stratigrafico-strutturale dei Monti della Farnesina di recente pubblicazione: da nuovi dati, emersi dalla recente realizzazione della Galleria Giovanni XXIII, è stata evidenziata la presenza di sistemi faglie che ribassano il substrato sedimentario pliocenico-quadernario dell'area (con una fascia di deformazione ampia circa 50 m, con orientazione N340°-60°).

Tali dislocazioni, a carattere estensionale, con immersione verso NE e con un rigetto di oltre 30 m, risultano coincidere con la direzione N165° proposta.

Questa, possibile, linea tettonica è molto vicina alla Basiliche di San Pietro, a nord della città, e di San Paolo a sud della città; essa, una volta accertata, potrebbe prendere il nome di “faglia di San Pietro e San Paolo” (santi Patroni di Roma).

## **Sinkhole a clessidra ed altri processi carsico-gravitativi nella Pianura Pontina: cantiere aperto e laboratorio naturale unico**

Billi A. \*, Doglioni C. \*\* e Nisio S. \*\*\*

*Consiglio Nazionale delle Ricerche, IGAG, Roma; \*\* Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma; \*\*\* Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA, Roma*

Studi pluridecennali hanno individuato nella Pianura Pontina numerosi sinkhole, alcuni attivi e di recente formazione, altri ormai ricoperti e noti solo da fonti storiche. Malgrado i numerosi studi, la comprensione di tali strutture è ancora incerta e di conseguenza anche la valutazione del rischio che le stesse comportano. Alcune evidenze geologiche di carattere regionale o locale aiutano a capire la causa o le cause dello sviluppo dei sinkhole nella Pianura Pontina. (1) La maggior parte dei sinkhole si sviluppa nei pressi della dorsale Lepina, lungo il sistema di faglie normali che ribassa i carbonati Mesozoici Lepini verso SW al di sotto della Pianura Pontina. Altri sinkhole si sviluppano a ridosso del Monte Circeo. (2) Sia i Monti Lepini sia il Monte Circeo sono caratterizzati da numerose forme carsiche ipogee ed epigee tra cui ampie e profonde doline. (3) Le aree marginali del Vulcano dei Colli Albani, tra cui la Pianura Pontina, sono caratterizzate, a luoghi, da manifestazioni idrotermali acide ed aggressive. La presenza di depositi travertinosi nel sottosuolo della Pianura Pontina è coerente con tale circolazione. (4) Il sottosuolo della Pianura Pontina è caratterizzato da grandi spessori di depositi Plio-Pleistocenici caratterizzati da litologie e granulometrie differenti. Il tetto dei carbonati Mesozoici Lepini tende ad approfondirsi verso il Mar Tirreno. (5) La presenza di litologie, granulometrie e permeabilità differenti nel sottosuolo Pontino è all'origine della presenza di un sistema di falde in pressione a vari livelli. (6) Dopo la bonifica pontina dello scorso secolo e il conseguente insediamento umano, le falde acquifere si sono progressivamente depauperate e depresse.

Queste evidenze geologiche ed altre ancora lasciano pensare che i meccanismi che hanno portato allo sviluppo dei sinkhole pontini siano molteplici. In questo lavoro presentiamo un possibile meccanismo di formazione a clessidra (raveling) dove le forme carsiche ereditate giocano un ruolo predominante. Il modello prevederebbe la formazione in condizioni subaeree la formazione di una dolina nei carbonati mesozoici della dorsale lepina in età miocene superiore-pliocene inferiore(?), successivamente ribassata dalla faglia bordiera a sudovest e ricoperta dai sedimenti della pianura pontina. Oscillazioni della falda e il raveling della parte fina del contenuto clastico della dolina, eroso dal basso negli inghiottitoi alla base della dolina (effetto clessidra) avrebbe portato gradualmente alla formazione di una vacuità dei sedimenti che avevano riempito la dolina nel Pliocene-Pleistocene. Lo svuotamento della morfologia carsica avrebbe ovviamente portato ad un indebolimento della volta della dolina che alla fine cade per il suo stesso peso quando questo supera la frizione interna. La morfologia del sinkhole in sostanza rappresenterebbe quella della dolina svuotata sepolta sottostante. Per la molteplicità e varietà degli aspetti geologici, la Pianura Pontina costituisce un laboratorio naturale per lo studio dei sinkhole davvero unico al mondo.



## La genesi del sinkhole del Monte Ornaro (Rieti)

Blumetti A. M., Di Manna P., Guerrieri L., Vittori E.

ISPRA – Servizio Geologico d'Italia

Il *sinkhole* del Monte Ornaro (localmente noto come Pozzo dell'Arnaro) è una profonda cavità situata a quota 800 m s.l.m lungo la sommità della dorsale che congiunge l'abitato di Sigillo (Rieti) alla frazione di Laculo. Si presenta come una profonda voragine di forma ellittica lunga circa 90 m e larga 50, allungata in direzione NNE-SSW, quindi trasversale rispetto all'andamento della cresta.

La sua origine viene riferita dal Professor Parozzani, nella sua nota del 1887, al terremoto aquilano del 2 Febbraio 1703. Egli scrive: *“Nella montagna di Ornaro fra la villa di Laculo e Sigillo, ..., alla sommità della montagna in cui è quel piano circondato da rocce quasi a foggia di muraglie, si aprì una voragine, larga venti canne lunga venticinque e profonda più di trecento, e ne uscì fuoco e poi gran fumo, e di tanto in tanto replicò l'eruttazione per tre giorni. Vi si sono osservate nell'interiore tre bocche, e gettando in esse qualunque mediocre sasso cagiona rimbombo con tremore, come fosse cannonata. Si vuole che il fondo misurato con funi, dalle quali pendeva all'estremità palla di molto peso, avesse oltrepassato il livello del fiume, che scorre a piè della montagna.”*

Tale effetto secondario cosismico è uno tra i più notevoli tra quelli riportati in seguito alla scossa del 2 febbraio. La sua localizzazione già evidente sulla base della descrizione di Parozzani è resa ancor più facile da un disegno ripreso dal Baratta nel suo trattato sui terremoti d'Italia del 1901.

La dorsale su cui è impostata la voragine costituisce la spalla meridionale di una imponente DGPV, anch'essa riattivata durante il terremoto del 1703, nota come frana di Villa Camponeschi.

L'origine del *sinkhole* è verosimilmente di tipo misto. Sicuramente la sua forma attuale è il risultato di più attivazioni cosismiche, quindi anche durante eventi precedenti al terremoto del 1703. Al suo interno i calcari sottilmente stratificati, appartenenti alla formazione della Scaglia Rossa, non mostrano alcun segno di processi di dissoluzione. Inoltre, circa 1,8 km ad est di questo *sinkhole* ne esiste un altro impostato sulle Marne con Cerrognana, materiale ancor meno soggetto a fenomeni di dissoluzione carsica. E' logico pensare a un'importante cavità sotterranea, la cui volta sia, almeno in parte, crollata per effetto dello scuotimento sismico, che tende ad essere particolarmente amplificato sulle zone di cresta. Inoltre, la contiguità con la frana di Villa Camponeschi e la posizione lungo la cresta possono anche suggerire un ruolo da parte di movimenti gravitativi.

Va comunque notato che i due *sinkhole* sono allineati lungo un'importante faglia nota come Laculo – Vallemare, la cui possibile attività potrebbe aver contribuito al loro sviluppo.

Studi sono perciò in corso per meglio documentare la genesi di questi fenomeni, in particolare la loro relazione con l'attività tettonica e sismica lungo tale faglia e con i fenomeni gravitativi legati alla frana di Villa Camponeschi.

## Sinkhole: l'originalità del ruolo del geologo

Brancaleoni R.\*, Garbin F.\*\*

*\*Geoplanning servizi per il territorio s.r.l., roberto.brancaleoni@geoplanning.it;*

*\*\* Consiglio dei Geologi del Lazio, fabiogarbin@geologilazio.it*

Il Geologo di fronte a differenti casi di sinkhole è chiamato a riconoscere la tipologia, le dimensioni e l'impatto che lo stesso può avere sul territorio, in modo da riuscire a quantificarne il rischio. Tutto questo spesso senza disporre di risorse economiche e tecniche adeguate.

In aiuto al professionista vengono diverse tipologie di indagine sia indirette (es. indagini geofisiche), che dirette (es. indagini geognostiche, videoendoscopie): le prime si impiegano soprattutto su aree estese e permettono di stimare il fenomeno, mentre le indagini dirette servono a quantificare nel dettaglio le caratteristiche peculiari di ciascun sinkhole.

Sono di seguito riportati alcuni casi reali studiati con differenti approcci di indagine. Innanzitutto il sinkhole "Pettinicchio" a Tor Tre Ponti Km 67+300 S.S. n. 7 Appia, poi la realizzazione a Roma di un parcheggio interrato in zona Marranella, uno sprofondamento in area urbana ad Allumiere, lo studio di cavità antropiche nel parco pubblico romano di Villa Lazzaroni e, per ultimo, un sinkhole di ridotte dimensioni a Grotta Marozza nelle campagne della Sabina Romana.

## Eventi naturali che cambiano la storia: il caso di Grotta Marozza

Brancaleoni R.\* Fratini P. \*\* Garbin F. \*\*\* Nisio S. \*\*\*\*

\* *Geoplanning servizi per il territorio s.r.l. roberto.brancaleoni@geoplanning.it;*

\*\* *libero professionista fratini.p@gmail.com; \*\*\* Consiglio dei Geologi del Lazio fabiogarbin@geologilazio.it;*

\*\*\*\* *ISPRA stefania.nisio@isprambiente.it*

Grotta Marozza è una vasta zona agricola del comune di Monterotondo, corrispondente ad un centro medievale abbandonato alla fine del XIV secolo.

In epoca romana le carte archeologiche della zona segnalano la presenza di un gran numero di strutture edilizie: ville, fattorie, opere idrauliche e magazzini agricoli.

Fino al Cinquecento l'area vide un continuo sviluppo, attraendo un buon numero di abitanti e incrementando le attività agro-pastorali: il massimo sviluppo fu nel XIII e XIV secolo, sotto il dominio delle casate nobili dei Capocci (dal 1207) e dei Colonna (dal 1305).

La ricchezza di acque, la fertilità e la buona posizione delle campagne (tra Nomentum ed Eretum, e tra la via Salaria e la via Nomentana) svilupparono l'economia dei prodotti agroalimentari (vino, olio, frutta, ortaggi e prodotti caseari) che i carri portavano ai mercati di Roma, spesso con navi sul Tevere dal vicino porto di Eretum.

La scelta del luogo dove era ubicato il castello fu dovuta anche alla presenza di una sorgente posta sul lato sud del castello stesso, in corrispondenza del muro di cinta. Oggi essa è esaurita: al suo posto rimangono evidenti tracce di travertinizzazione.

Poche centinaia di metri a sud-est del castello è presente la nota sorgente di acqua solfurea detta dal popolo l' "Acqua Sorfa", ove i romani duemila anni fa realizzarono la rinomata stazione termale delle Acque Labane, citate dallo storico greco Strabone; essa ancora negli anni Sessanta era frequentata dagli abitanti di Monterotondo e di Mentana per fare i bagni nell'acqua solfurea.

Alla fine del XV secolo il centro abitato di Crypta Marozza fu repentinamente abbandonato a causa di differenti concause, naturali e politiche (La peste, le lotte tra casate nobili l'acqua).

Il principale motivo dell'abbandono è legato all'esaurimento di alcune sorgenti d'acqua limitrofe al castello ed al borgo e la scomparsa del corso d'acqua, che limitò sia gli insediamenti umani sia le attività agricole: ciò fu l'apice di un fenomeno carsico che manifestò i suoi effetti modificando in modo definitivo il regime idraulico locale. A conferma di questa non trascurabile evoluzione carsica che interessa i calcari liassici del basamento carbonatico della zona, nel marzo 2010 un sinkhole si è aperto nelle campagne di Grotta Marozza. Tale sprofondamento è stato colmato e ricoperto dopo un mese dai contadini. In aggiunta, a conferma della vocazione carsica dell'intero settore, non lontano dalla nostra area si localizzano importanti indizi di carsismo come il Pozzo del Merro (a circa 3,5 km), Pozzo Sventatore, la buca di san Francesco e le doline di Bosco Nardi - Grotte Cerqueta.

## Tecniche avanzate di monitoraggio e previsione delle voragini mediante interferometria radar da terra e da satellite

Casagli N., Intrieri E., Gigli G. I., Lombardi L., Mugnai F., Nocentini M., Dotta G., Fidolini F.

*Università degli Studi di Firenze*

Le tecniche interferometriche da terra e da satellite sono state pionieristicamente impiegate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze per il monitoraggio di versanti instabili fin dai primi anni 2000 ed hanno portato più volte alla previsione precisa dell'istante di collasso di frane in vari contesti geologici, con importanti risvolti in attività di protezione civile. Dal 2013 le stesse tecniche sono state applicate al monitoraggio ed allertamento rapido di *sinkhole*.

Il monitoraggio di fenomeni di sprofondamento mirato alla previsione temporale e spaziale dell'apertura di una voragine presenta numerose difficoltà. La prima consiste nella limitata conoscenza dei segnali precursori di tali eventi; infatti, a seconda di una serie di variabili, tra cui il tipo di fenomeno ed il contesto geologico, i *sinkhole* spesso si verificano in maniera apparentemente improvvisa. Individuare deformazioni, anche di modesta entità, che possano precedere l'apertura di una voragine rappresenta una delle maggiori difficoltà di questo tipo di monitoraggio. Un'altra criticità risiede nell'impossibilità di conoscere a priori il punto esatto in cui si potrà formare un *sinkhole*; infatti, sebbene le aree suscettibili siano identificabili mediante opportuni studi geologici, la conoscenza del luogo esatto, necessaria per una vera previsione, è possibile solo mediante l'identificazione di segnali precursori localizzati e quindi il monitoraggio esteso a tutta l'area suscettibile. Infine le dimensioni solitamente ridotte di un *sinkhole* (rispetto, ad esempio, ad una frana) rendono inadatti molti degli strumenti tipicamente utilizzati per il monitoraggio dei versanti.

Queste limitazioni possono essere controbilanciate integrando le caratteristiche dei radar interferometrici da terra e da satellite. Entrambi infatti consentono un monitoraggio areale ad alta precisione; in più i primi permettono un'elevata frequenza di acquisizione, tale da rendere possibile l'allertamento rapido anche in caso di precursori immediatamente precedenti l'istante del collasso; il secondo, oltre ad osservare generalmente il fenomeno con un migliore allineamento rispetto alla direzione di movimento, permette la ricostruzione delle deformazioni nei mesi pregressi.

L'applicazione di questa tecnica ha consentito di prevedere con una settimana di anticipo l'apertura di una voragine presso la località Il Piano, tra i Comuni di Rio Marina e Rio nell'Elba (isola d'Elba). Ciò ha permesso la chiusura preventiva della strada interessata dal fenomeno e quindi di evitare conseguenze potenzialmente disastrose. Oltre ad applicazioni nel campo della protezione civile, tale metodologia può risultare efficace anche nell'ambito della pianificazione urbanistica e della viabilità, oltre ad avere una rilevanza scientifica dal punto di vista della ricerca su questo genere di fenomeni.

## **Le cavità sotterranee e i resti di una struttura templare del VI secolo a.C. nell'ex Regio Ufficio Geologico, Largo S. Susanna, Roma**

Chiocchini U. \* Bagnetti G. \*\* Basili A. \*\*\* Nini R. \*\*\*\* Savarese G. \*\*\*\*\* Piccoli A. \*\*\*\*\*

*\*Già Servizio Geologico d'Italia - Università della Tuscia, Viterbo; \*\*libero professionista e speleologo, G.S. UTEC, Narni; \*\*\*Speleologa, Società Geologica Italiana G.S. UTEC, Narni; \*\*\*\*Libero professionista; Geo Indagini*

La città di Roma si è sviluppata in circa 2700 anni, durante i quali la geomorfologia dell'area urbana, sottoposta a moltissimi grandiosi interventi antropici, è stata completamente trasformata. In questo contesto hanno assunto particolare importanza numerose gallerie, cave sotterranee, cunicoli e catacombe scavate in diverse zone della città. La progettazione per la ristrutturazione dell'edificio dell'ex Regio Ufficio Geologico in Largo S. Susanna, che è stato costruito nel 1885, inaugurato nel 1901 e ha ospitato il Servizio Geologico Nazionale per oltre 100 anni, ha consentito di individuare e descrivere nel sottosuolo una rete di gallerie fino ad oggi non ufficialmente riconosciute. L'indagine geognostica al primo piano dell'edificio (quota 57 m s.l.m.) ha evidenziato una successione stratigrafica, comprendente, dall'alto, terreno di riporto con spessore di 5 m, i depositi piroclastici dei Tufi Stratificati Varicolori di La Storta (Pleistocene medio) con spessore di 15 m e le sabbie limose costituite da carbonato di calcio della Formazione di Valle Giulia (Pleistocene medio). Questa successione fornisce un nuovo dato utile a migliorare la stratigrafia dell'area di Roma. I depositi piroclastici ospitano due corpi idrici a quota 39 m e 45 m s.l.m. e le gallerie, che vi si sviluppano tra 45 m e 47 m s.l.m. mediante due rami con direzione ovest per circa 39 m e con direzione est per circa 49 m, mostrano diverse zone soggette a franamenti per crollo, connessi essenzialmente alle discontinuità variamente orientate nell'ammasso roccioso, alcune opere di sostegno delle pareti, alcuni pilastri di fondazione dell'edificio e acque sotterranee. Inoltre al primo piano dell'edificio sono emersi i resti di mura costruite con conci di tufo grigio ed attribuite dalla Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma ad una struttura templare del VI secolo a. C. Pertanto una singolare coincidenza ha consentito che nell'edificio dell'ex Regio Ufficio Geologico avvenisse l'incontro ravvicinato tra le Scienze della Terra e l'Archeologia. Questo incontro conferma che le due discipline sono collegate essenzialmente tramite la geomorfologia dei siti, la stratigrafia e il riconoscimento, la descrizione, la provenienza e la datazione dei materiali rinvenuti negli scavi. L'incremento della sinergia tra le due discipline produrrà sicuramente un ulteriore progresso della ricerca scientifica.



## Le voragini connesse all'attività estrattiva nella valle del Fosso Almone, Roma

\* Chiocchini U., \*\* Savarese G.

\* *Già Servizio Geologico d'Italia - Università della Tuscia, Viterbo;* \*\* *Libero professionista, Roma*

La valle del Fosso Almone è ubicata nella parte centro - meridionale del territorio comunale di Roma, si sviluppa in direzione NO - SE tra Via Appia Antica, Via Latina e Via dell'Almone nel Parco Regionale dell'Appia Antica ed ha un particolare notevole valore ambientale e storico - archeologico. Questa area è caratterizzata da tre formazioni piroclastiche, connesse all'attività del vulcano dei Colli Albani, che è stato attivo dal Pleistocene medio p.p. all'Olocene, da una estesa copertura di depositi eluvio - colluviali con spessore fino a oltre 4 m, dai depositi alluvionali del Fosso Almone e da diversi accumuli di materiali eterogenei dovuti a deposito antropico. La successione delle formazioni piroclastiche, studiata in 21 affioramenti, comprende alla base l'Unità del Palatino, cui seguono le Pozzolane Rosse, che sono la formazione più estesa, e le Pozzolanelle. Le Pozzolane Rosse, oggetto della coltivazione per l'estrazione della pozzolana, comprendono alla base un tufo massivo caotico coerente e semicoerente di colore grigio mediamente scuro con abbondanti scorie di colore grigio scuro fino a nero, più raramente rossastro, fino a 9 cm, rara leucite analcimizzata, litici di lava grigia e matrice cineritica. Al di sopra si riconoscono due livelli, a quote 30 m e 40 m s.l.m., composti da paleosuolo sabbioso da poco coerente a coerente di colore moderatamente marrone con spessore di 2 - 3 m. La successione è chiusa da un tufo massivo caotico coerente e semicoerente di colore moderatamente marrone, rossastro, viola pallido, grigio scuro medio con leucite analcimizzata, pirosseni, biotite, litici di lava grigia e di tufo di colore giallastro, matrice cineritica. Lo spessore delle Pozzolane Rosse arriva a 25 m. L'area in esame è stata utilizzata sino da epoca romana per lo sfruttamento intensivo del sottosuolo mediante lo scavo di cave in sotterraneo per l'estrazione della pozzolana. Alcune gallerie si sono sviluppate anche su più livelli e sono state trasformate in luoghi di culto o sepoltura (catacombe e ipogei della Via Appia Antica e di Via Latina). Questa attività, continuata fino agli anni 60 del '900, è documentata da 7 zone di escavazione in superficie, riconoscibili per la tipica geometria a semicerchio più o meno stretto, e da 12 cavità e gallerie connesse alla escavazione in sotterraneo. Le precarie condizioni di stabilità di tali cavità hanno determinato crolli, i cui effetti, manifestati in superficie, sono evidenziati nella cartografia topografica. Questo fenomeno è ben riconoscibile nei rilievi collinari ed è documentato da depressioni, che hanno forma spesso ovoidale o irregolare e morfologia simile alle forme carsiche, e che rappresentano l'espressione superficiale dei movimenti di sprofondamento dovuti ai crolli nelle cavità sotterranee sede di escavazione per l'estrazione della pozzolana. Di queste depressioni, coperte da una vegetazione arbustiva molto densa, e meno frequentemente arborea, ne sono state riconosciute 23 in destra del Fosso Almone nel rilievo collinare a SE della Vaccheria Caffarella, 21 in sinistra del Fosso Almone nel rilievo collinare tra il Tempio del Dio Redicolo e il Ninfeo di Egeria. Molte depressioni sono state utilizzate in passato come discariche di rifiuti solidi urbani, tra i quali anche due automobili.

## Studi di sintesi e analisi geospaziale applicata alla valutazione della suscettibilità ai sinkholes naturali nella piana delle Acque Albule (Tivoli, Roma)

\*Ciotoli G., Meloni F.\*\*, Nisio S. \*\*\*

*\*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR; \*\* Regione Lazio;*

*\*\*\*Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA, Via Curtatone*

Il bacino delle Acque Albule è ubicato nelle media Valle dell'Aniene (Lazio, Roma), in un contesto geologico - strutturale caratterizzato dalla presenza di linee tettoniche attive e di sorgenti termo-minerali che hanno dato origine a vasti depositi di travertino. Il travertino ha generalmente spessore di alcune decine di metri fino a valori massimi di 85 m per ridursi (10 m in sondaggio) verso i bordi di una placca quadrilatera che occupa la porzione centrale del bacino. L'orizzonte più profondo del travertino si presenta litoide e può essere interessato da cavità carsiche più o meno estese che, per crolli successivi della volta, costituita prevalentemente dal tartaro, evolvono arrivando fino alla superficie.

Nel bacino delle Acque Albule sono presenti molte sorgenti termo-minerali già note e sfruttate in epoca romana e pre-romana, con portate di oltre due metri cubi al secondo, (alcune alimentano piccoli laghi) è stato possibile in questa sede svolgere ulteriori ricerche storiche che hanno portato ad una più approfondita conoscenza dell'evoluzione dell'intera piana.

In tale area sono da tempo noti e studiati da molti Autori i fenomeni di subsidenza generalizzata e di sprofondamento (sinkhole), oltre ai fenomeni carsici di superficie, di cui è stato già realizzato in passato un approfondito censimento. In particolare nell'area è possibile individuare diversi tipi di fenomenologie da sinkhole; una tipologia è presente nella porzione centrale del bacino dove sono noti i tre *sinkhole ponds* dei laghi Colonnelle, Regina e S. Giovanni, originatisi con meccanismi di sprofondamento in epoca pre-romana (almeno i primi due).

Nell'area dell'intero bacino sono stati condotti nuovi studi di carattere geologico-strutturale, geomorfologico stratigrafico, storico, geofisico, geognostico e geo-meccanico. Ciò ha permesso di realizzare un modello di suscettibilità ai sinkholes naturali mediante una metodologia geostatistica.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati di abbassamento al suolo proveniente dall'interferometria InSar..

## Carta dei Sinkhole Naturali del Lazio 2012 e sviluppo futuro del Progetto Sinkholes Regione Lazio

\* Ciotoli G., \*\* Di Loreto E., \*\*Liperi L., \*\*Meloni F., \*\*\* Nisio S. & \*\* Sericola A.

*\*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR; \*\* Regione Lazio -Dipartimento Difesa del Suolo; \*\*Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA, Via Curtatone*

Il territorio della Regione Lazio è rappresentato, ad oriente, da vaste estensioni di rocce prevalentemente carbonatiche sottoposte a diffusi processi carsici attualmente attivi; ad occidente, presso la costa tirrenica, e in alcune porzioni interne dell'Appennino, è costituito da aree pianeggianti quali pianure costiere, ampie valli fluviali, conche in tramontane, nonché da vaste aree collinari, in cui si assiste, spesso, alla presenza di acquiferi imprigionati e circuiti di acque mineralizzate nonché di sorgenti di acque dolci caratterizzate da portate elevate.

Tali condizioni territoriali sono predisponenti la formazione di sinkholes naturali. Nel Lazio i sinkholes di pianura sono ben noti e studiati da alcuni decenni.

A partire dagli anni '90, sono stati effettuati diversi censimenti degli episodi di sprofondamento, la cui formazione si fa risalire sia all'epoca storica che all'attuale.

Nella presente nota viene presentato il catalogo unificato dei sinkholes che ha messo insieme i dati raccolti nel tempo dall'Università degli Studi di Roma III, dalla Regione Lazio e dall'ISPRA, nonché la cartografia di suscettibilità ai sinkholes aggiornata.

La raccolta complessiva dei dati (cartografici, di letteratura e inediti) ha permesso di individuare ben 33 aree a rischio, con un totale di 393 sinkholes censiti, attivi, ricolmati o estinti. I meccanismi di formazione possono essere ricondotti a processi profondi di erosione dal basso e di dissoluzione facilitata da fluidi in pressione all'interno di un reticolo di faglie e fratture attive che attraversano la copertura.

Obiettivo di tale studio è stata la zonizzazione del territorio del Lazio, sulla base della sua suscettibilità al fenomeno sinkhole. La valutazione della suscettibilità ai sinkholes è stata effettuata utilizzando alcuni parametri ambientali (variabili) che si ritiene possano entrare in gioco nel processo di formazione di un sinkhole e attraverso l'assegnazione di un peso ad ogni elemento. Il calcolo dei pesi da assegnare a ciascuno dei fattori predisponenti è basato sull'applicazione di una tecnica statistica multivariata: la regressione logistica. I risultati sono espressi in termini di probabilità che il fenomeno si manifesti nello spazio (considerando un tempo infinito). La carta finale della suscettibilità del territorio del Lazio mostra la presenza di zone dove il grado di suscettibilità è elevato ma non sono stati individuati eventi di sprofondamento.

La normativa in vigore nella Regione Lazio (DGR 1152/2002) non prevede restrizioni ed adempimenti da seguire in tutte le 33 aree oggi individuate, essendo stata predisposta sulla base dello studio eseguito nel 2002. Inoltre la stessa non prevede distinzioni di indagini in base alla tipologia di sinkhole (*cover collapse sinkhole* e *piping sinkhole*).

Sulla base di tali nuovi dati e dal confronto con le altre normative ed interventi sul territorio si sta predisponendo una nuova normativa più rispondente alla reale situazione del territorio e più efficace anche in termini di prevenzione del fenomeno e di monitoraggio.

Nel 2013, in base alla DGR della Regione Lazio n° A02782/2013, è stata costituita, in collaborazione con l'I.S.P.R.A. e gli Enti Locali, una Commissione tecnico scientifica sui Sinkholes che dovrà sviluppare Normative di tutela e predisporre linee guida di pianificazione del territorio.

Nello stesso anno si sono avviati lo studio ed il censimento dei sinkhole “antropogenici”, legati ad attività umane ed iniziate alcune collaborazioni mediante l'istituzione di alcuni gruppi di lavoro per lo studio in dettaglio di aree interessate dai sinkhole riguardanti un'area del comune di Guidonia Montecelio (RM), di Vallecorsa (FR) e della Pianura Pontina.

## **Analisi della suscettibilità ai sinkholes antropogenici nel centro urbano di Roma**

\*Ciotoli G., \*\*Finoia M. G., \*\*Nisio S., Serafini R.\*\*

*\*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR;*

*\*\*Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA*

I sinkholes antropogenici nel territorio urbano di Roma sono strettamente connessi alla rete di cavità sotterranee prodotta dalle attività umane (reti idrauliche, cave, catacombe etc. ) in più di duemila anni di storia della città.

La presenza di tali cavità sotterranee produce il collasso degli strati più superficiali del terreno, a causa di crolli delle volte, con la formazione di voragini di dimensioni metriche in superficie. Ulteriore causa della formazione di voragini è connessa a perdite d'acqua in sottterraneo e alla disfunzione in genere della rete idraulica dei sottoservizi.

Negli ultimi quindici anni si è registrato un incremento dei fenomeni di sprofondamento antropogenico che determina un rischio sempre maggiore per la popolazione e per le infrastrutture con danni alle strade e ai sottoservizi stessi.

Tale fenomeno, per la città di Roma, costituisce un serio problema per gli eventuali danni al patrimonio archeologico e per la preservazione dello stesso.

Nello scenario romano la valutazione del rischio indotto dal verificarsi di un sinkhole antropogenico è davvero difficoltoso, ma più facilmente può essere determinata la suscettibilità ai sinkholes, calcolata come la probabilità che un evento di sprofondamento si verifichi in un determinato spazio, con caratteristiche geologiche-morfologiche note al contorno, in un tempo infinito.

In tal modo è stata realizzata una carta, aggiornata al 2014, di suscettibilità ai sinkholes antropogenici per il territorio di Roma, sino al raccordo Anulare.

Essa è stata ottenuta considerando i fattori geologici, morfologici, idrogeologici predisponenti e le caratteristiche antropogeniche (presenza di cavità nel sottosuolo, distribuzione della rete dei sottoservizi etc.) dell'area in oggetto.

Sono stati censiti più di 2500 sinkholes antropogenici nel territorio di Roma, (dal 1875 al 2014) ed è stata proposta una metodologia di analisi geo-spaziale, utilizzando la regressione logistica, per lo studio della suscettibilità.

È stato realizzato un modello di suscettibilità basato sulla probabilità che l'evento di sprofondamento si verifichi indipendentemente dal tempo mediante un sistema geo-statistico tale modello è stato di seguito confrontato con i dati di abbassamento del suolo (InSar) per ottenere un modello previsionale.



## **Regione Sardegna. Attività di ricerca ed elaborazione dati propedeutica alla stesura della Carta dei Sinkholes del territorio Regionale, su base geologica in scala in scala 1:250.0000**

Mureddu A.

*Provincia di Carbonia Iglesias*

Le attività di studio e ricerca dei fenomeni di sprofondamento nella Regione Sardegna, sono stati protati avanti da parte del Tavolo Tecnico Rischio Sinkhole attivato dalla Provincia di Carbonia Iglesias in collaborazione con l'Arpa Sardegna e l'Assessorato Regionale dell'Industria nel 2010, al fine di supportare le attività di pianificazione e progettazione degli interventi del Servizio Viabilità della Provincia. In seguito ai risultati di indagine perpetrati nel tempo, le attività di studio sono state estese a zone sempre più ampie fino a coinvolgere buona parte del territorio regionale. lavori portati avanti sono consistiti in una approfondita ricerca bibliografica a cui è seguita una raccolta di dati in situ.

Il contesto delle fenomenologie rilevate è riferito sia a vasti territori di età paleozoica del Sulcis Iglesiente, colpiti da fenomeni di sprofondamento naturale su coperture detritiche alluvionali (Piana del Cixerri, Piana di Narcao-Nuxis, Piana di S. Anna Arresi), sia a territori minerari dismessi, sede di imponenti fenomeni franosi di tipologia Sinkholes, generatisi dal crollo di volte e solette su roccia a causa della riduzione delle proprietà geomeccaniche in corrispondenza dei fianchi di vuoti minerari profondi.

La grande quantità di dati ottenuti sui principali fenomeni di sprofondamento del suolo, sia di origine naturale che antropico - mineraria, ha portato ad ottenere un quadro sinottico ed omogeneo sulla distribuzione dei fenomeni, (tipologia sinkholes), nel territorio Regionale. Un tale bagaglio di conoscenze sarà utile come strumento di pianificazione territoriale, per la programmazione degli interventi di messa in sicurezza e monitoraggio delle aree più vulnerabili quali: vie di comunicazione, aree urbane, periferie e nuove zone da urbanizzare. Altresì ha consentito di segnalare l'inserimento delle aree coinvolte a dissesti fra quelle da assoggettare al P.A.I.

Alla data del 30 aprile 2013 sono stati censiti/catalogati complessivamente 247 sprofondamenti del suolo, dei quali:

- 166 creatisi dall'instabilità dei vuoti minerari insistenti prevalentemente nei territori minerari dismessi;
- - 81 associati a eventi naturali per carsismo, formatisi nelle piane alluvionali interne e costiere dell'Iglesiente.

Attualmente sono in corso di classificazione nel territorio regionale ulteriori 80 siti a rischio sinkhole.

Per quanto riguarda alcuni risultati di questo censimento, da un confronto con il Piano Stralcio di Assetto idrogeologico (P.A.I.) della regione Sardegna , è emerso che su 247 fenomeni franosi finora censiti, 214 (pari al 85%) sono risultati in aree non ricadenti in aree a rischio ed in tal senso classificate a rischio frana dal PAI. Da notare inoltre che 175 siti censiti risultano non essere stati inventariati dal progetto IFFI.

Le località a rischio sinkholes individuate finora nel territorio della Sardegna sono 45 di cui 27 localizzate nelle aree minerarie metallifere e lignitifere del Sulcis-Iglesiente. La stima totale delle aree a rischio di frana per tipologia sinkholes individua al 31.04.2013 una superficie complessiva stimata in 18 Km<sup>2</sup>.

Di particolare rilevanza saranno le attività da porre in essere per l'interfacciamento con il Progetto nazionale "sinkhole", Il Progetto "sprofondamenti nei centri urbani" ed il Rapporto sulla qualità dell'ambiente urbano". Al riguardo saranno da portare avanti ed implementare:

- rapporti tecnici di supporto alle: "schede di censimento e geoferenzazione dei dissesti ;
- compilazione e collaudo delle schede censimento sinkhole;
- costruzione di un Sistema Informativo Sinkhole Sardegna (SISS), inerente la banca dati dei sinkhole della Regione Sardegna." – Restituzione Cartografica su base geologica in scala 1:250.000.

## **Applicazione di analisi statistica multivariata, rete neurale artificiale e metodo euristico per la valutazione della suscettibilità da sinkhole nella Piana di San Vittorino (RI)**

D'Angella A.<sup>1</sup>, Nisio S.<sup>2</sup>, Ciotoli G.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Department of Sciences, University of Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italy, annachiaradangella@gmail.com*

<sup>2</sup> *ISPRA, Servizio Geologico Nazionale, Roma*

<sup>3</sup> *CNR, IGAG, Roma*

La piana di S. Vittorino, localizzata ai confini tra il Lazio e l'Abruzzo in provincia di Rieti, è probabilmente l'area del Lazio con la maggiore densità di sinkhole e anche quella che presenta i rischi maggiori a causa di importanti strutture ed infrastrutture. L'area studiata è caratterizzata largamente da formazioni carbonatiche, con sviluppati processi carsici, e ricade nella zona di convergenza di quattro unità tettoniche, caratterizzate da una differente evoluzione paleogeografica, da un diverso stile deformativo e separate tra loro da elementi strutturali di importanza regionale. La valutazione della suscettibilità da sinkhole nella piana è stata effettuata attraverso l'applicazione di un'analisi statistica multivariata, un metodo euristico e una procedura ANN. Le peculiarità degli sprofondamenti nella piana di S. Vittorino sono principalmente relativi ai processi di *deep piping*, che si sviluppano per risalita delle acque attraverso le faglie e le fratture che dissecano il substrato carbonatico, provocando la mobilizzazione e l'erosione dal basso dei depositi continentali sovrastanti, cui si aggiungono gli effetti dei processi di dissoluzione legati alla risalita di H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> attraverso tali dislocazioni. Questi processi vengono intensificati da eventi sismici o da eventi meteorici di notevole intensità. L'applicazione dei modelli e le rispettive prestazioni sono state valutate attraverso parametri di performance specifici e curve ROC. I risultati mostrano che l'applicazione della procedura basata sulle reti neurali fornisce in termini previsionali un'accuratezza maggiore rispetto al metodo euristico bivariato e all'analisi statistica multivariata.

## Valutazione della suscettibilità da sinkhole nell'area di Lesina Marina (FG)

D'Angella A.<sup>1</sup>, Canora F.<sup>2</sup>, SpilotroG.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Department of Sciences, University of Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italy, annachiaradangella@gmail.com*

<sup>2</sup> *School of Engineering, University of Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza, Italy, filomena.canora@unibas.it*

<sup>3</sup> *Department of European and Mediterranean Cultures, University of Basilicata, Via Lazazzera, 75100 Matera, Italy, giuseppe.spilotro@unibas.it*

La valutazione della suscettibilità da sinkhole è stata effettuata in "Lesina Marina" un'area carsica evaporitica, situata nella parte nord-est della regione Puglia (Italia meridionale), in prossimità della costa adriatica. L'instabilità del territorio, causata dalla diffusa presenza di sinkhole soprattutto nei pressi del centro abitato, costituisce un sistema complesso dinamico, strutturato da una serie di componenti che interagiscono, controllato da diversi fattori naturali e antropici, formando un insieme integrato, in cui i processi dinamici fisici evolvono. Un metodo euristico, un'analisi statistica multivariata e la procedura ANN sono stati eseguiti per valutare la suscettibilità da sinkhole. Nell'area di studio, il fenomeno dei sinkhole è strettamente legato alla struttura e stratigrafia delle rocce evaporitiche, le acque freatiche condizionate dall'interazioni acque superficiali e sotterranee indotte dalla marea e dalla presenza del sistema complesso mare-canale-laguna. L'analisi effettuata con diverse procedure spiega la relazione tra dataset e capacità dei modelli di predire il comportamento del fenomeno. Le prestazioni dei modelli di previsione sono state valutate utilizzando le curve ROC. I risultati mostrano che il modello statistico multivariato produce una precisione più affidabile.

# Using of Electrical Resistivity Tomography to detect underground cavities: an overview of most recurrent outcomes in sinkhole prone areas of Campania (Italy)

D'Errico A.<sup>(1)</sup>, Guarino P.M.<sup>(2)</sup> and Santo A.<sup>(3)</sup>

1. *G.G.I. sas (Casagiove, Italy)*

2. *Institute for Environmental Protection and Research (Rome, Italy)*

3. *Department of Civil, Constr. and Environmental Engineering "Federico II" University (Naples, Italy)*

In areas affected by sinkhole phenomena due to the collapse of underground cavities, achieving an adequate knowledge of the location, extent and stability conditions of cavities is a key step in defining sinkhole hazard.

In the frame of the various survey methods, geophysical exploration and, in particular, the Electrical Resistivity Tomography is very useful, as allows to integrate over relatively large areas and cost effectively, the information acquired through direct geological surveys, and to implement 2D models of the subsurface. Furthermore, by means the defining of a detailed picture of the apparent resistivity distribution, it's possible to determine the existence of cavities with a good level of approximation.

The territory of Naples' Province is one of the Italian areas most affected by anthropogenic sinkholes due to the collapse of cavity's vaults or accesses, and so is potentially very appropriate for analyses on large scale about the efficacy and the limitations of ERT use.

Within the framework of the structuring of a GIS storing data concerning subsoil setting, underground cavities and sinkholes censed, ERT data have been collected.

To date, about 200 ERT have been acquired, conducted in areas where: (i) the collapse of a cavity already caused a sinkhole; (ii) the existence of a cavity was only hypothesized; (iii) no knowledge of the subsoil was available.

Analyzing ERT outcomes and integrating them with stratigraphic data, an abacus of electrostratigraphic models of most recurrent geological settings affected by the presence of cavities was performed.

Main results are discussed in order to contribute to the perfecting the ability of interpretation of ERT surveys in similar geological settings.



## Genesi dei Sinkhole nel Bacino delle Acque Albule mediante studio gravimetrico

Di Nezza M.<sup>1,2</sup> & Di Filippo M.<sup>2</sup>

1. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 2, Via Vigna Murata, 605, 00143 Roma, maria.dinezza@ingv.it

2. Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi "Sapienza" di Roma, Piazzale Aldo Moro, 5, 00185 Roma. Michele.difilippo@uniroma1.it

Precedenti studi geologici, strutturali e geognostici hanno caratterizzato il Bacino delle Acque Albule (BAA) nella parte più superficiale (base dei travertini). Studi gravimetrici eseguiti dagli anni 70 hanno invece evidenziato la presenza della *Dorsale Tiberina* in riferimento ai rilievi del Monte Soratte e dei Monti Cornicolani a nord del BAA. Studi gravimetrici di dettaglio eseguiti negli ultimi anni hanno identificato la *Dorsale gravimetrica Tiberina (DGT)* in maniera più chiara; tale dorsale si estende dai margini occidentali del BAA verso nord con i Monti Cornicolani, il Monte Soratte, la zona di Orte, fino ai rilievi dei Monti di Amelia ed è marcata sia dagli affioramenti carbonatici meso-cenozoici sia dagli affioramenti di travertini.

L'asse morfologico della *DGT* ha un andamento NNW-SSE e, le evidenze delle discontinuità gravimetriche più importanti individuate, sono quelle ad andamento N-S: queste non solo bordano e tagliano l'intera struttura, ma lungo esse si sono impostati anche i depositi travertinosi di Orte, Civita Castellana, Fiano Romano, Monterotondo e Tivoli.

I nuovi dati gravimetrici hanno permesso di caratterizzare il BAA dal punto di vista geologico-strutturale nella porzione più profonda definendo la geometria del bacino e stimando la profondità dei depositi carbonatici Meso-Cenozoici nonché gli spessori dei depositi Plio-Quaternari che li ricoprono. Sia il carsismo ipogeo del Monte Soratte che dei Cornicolani è correlato con risalite di fluidi profondi ricchi in H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> lungo tutta la *DGT* e analogamente lo è per la sua parte terminale nel BAA (Laghi Regina e Colonnelle, Lago di S. Giovanni e Lago delle Tartare).

I travertini della *DGT* presentano analogie isotopiche e risultano diversi dagli altri travertini del Lazio. Ciò potrebbe giustificare anche l'intenso processo di carsificazione che si osserva sui Monti Cornicolani e sul Monte Soratte che si differenzia da quello dei Monti Lucretili. La causa dell'origine dei travertini e del carsismo lungo la *DGT* è la stessa: la risalita di flussi fortemente arricchiti di gas, è probabilmente connessa, in un primo momento, all'attività dei vicini vulcani.

## Analisi geospaziale applicata alla valutazione della suscettibilità agli sprofondamenti nella piana del Fucino (Italia centrale)

\*Giustini F., \*Ciotoli G., \*\*Finoia M.G. \*\*Nisio S.

\*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR;

\*\*Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA, Via Curtatone

Il Fucino è una conca intramontana (circa 200 km<sup>2</sup>) situata nell'Appennino centrale, ad una quota compresa tra 650 e 680 m s.l.m. La sua origine è legata alla tettonica estensionale che, nel corso del tardo Pliocene, ha interessato il settore centro-occidentale dell'Appennino e che ha provocato lo sprofondamento di diversi bacini appenninici (Rieti, Leonessa, ecc.). Questa depressione tettonica è stata colmata, nel tardo Pleistocene-Olocene, da sedimenti fluviali e lacustri. La piana è inoltre bordata ed attraversata da un complesso ma ben noto reticolo di faglie e fratture, caratterizzate da attività sismica. Concentrazioni anomale di alcune specie gassose (anidride carbonica, elio e radon) nel suolo sono state misurate in corrispondenza dei maggiori elementi tettonici dell'area, e potrebbe costituire uno dei più importanti fattori per l'innescio dei fenomeni di sprofondamento (*sinkholes*) che interessano la piana. I *sinkholes* più antichi sono posteriori al 1876 (anno in cui è stato prosciugato il lago che occupava la piana), tuttavia gli sprofondamenti sono ancora in atto (l'evento più recente risale all'aprile del 2009) e determinano condizioni di pericolo per i suoi abitanti e danni alle infrastrutture.

La piana del Fucino è stata quindi oggetto di questo studio volto a valutare la suscettibilità agli sprofondamenti: attraverso l'analisi geospaziale si è tentato di identificare i fattori che concorrono alla formazione dei *sinkholes* e comprendere quindi i processi che li generano; allo stesso tempo, è stata prodotta una mappa di suscettibilità, in cui il territorio della piana è stato diviso in classi di pericolosità legate alla probabilità che si verifichi il fenomeno.

L'individuazione delle aree a maggiore suscettibilità è avvenuta attraverso la costruzione di un modello probabilistico basato sulla valutazione delle relazioni statistiche tra la presenza dei *sinkholes* e una serie di fattori condizionanti, applicando la regressione logistica. I fattori geologici/geochimici considerati sono stati: la concentrazione dei gas del suolo (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, He, Rn), l'idrogeochimica (la concentrazione dei solfati in acqua, la conducibilità elettrica, l'indice di solubilità per la calcite e il gesso), lo spessore dei depositi quaternari fluviali e lacustri, la presenza di faglie. Come fattore antropico si è considerata la densità dei pozzi per emungere acqua.

I parametri che hanno un peso maggiore nella formazione dei *sinkholes*, individuati statisticamente attraverso la regressione logistica, sono l'alta concentrazione dell'anidride carbonica e dell'elio nel suolo, la bassa concentrazione dei solfati in acqua, lo spessore della copertura alluvionale inferiore a 100 m. Particolarmente importante sembra essere il fattore antropico, ossia l'elevata densità dei pozzi per uso privato che può determinare forti oscillazioni del livello piezometrico della falda.

Le aree a maggiore suscettibilità sono state individuate lungo il bordo settentrionale del bacino (località Avezzano-Le Mole, Pozzone) e nel settore sud-occidentale, nell'area compresa tra il Canale Collettore e gli abitati di Luco dei Marsi e Trasacco.

## Formazione sinkhole da collasso di cave a Verona - Indagini e messa in sicurezza

Gradizzi A. (\*), Menotti M. (\*\*)

(\*) *Libero Professionista*

*Circonv. Bran 828 – 37013 Caprino (Vr) – Tel: 0456245901 – Email: Geologo.Gradizzi@Gmail.Com*

(\*\*) *Libero Professionista*

*Via Chiesa 12 – 35030 Cinto Euganeo (Pd) – Tel: 042994810 – Email: Studio@Menottimario.191.It*

In corrispondenza del versante di destra idrografica della Valpantena, nei Lessini Orientali (VR), sono storicamente presenti delle cave in sottterraneo di calcari per la formazione di granulati per edilizia e industria. Le cave sono state coltivate con il metodo delle camere e pilastri, le altezze delle camere sono variabili da 6 m fino a 11.5 m. La profondità delle cave rispetto alla superficie topografica varia da minimo 6 m fino a massimo 130 m. Gli strati commercialmente utilizzati appartengono al Biancone (Cretaceo) e al Rosso Ammonitico Superiore (Giurassico superiore).

Nell'Ottobre 2011 si sono verificati degli estesi crolli in sottterraneo che hanno coinvolto un'area pari a circa 90.000 mq e che in superficie si sono manifestati con la formazione di due sinkhole del diametro di circa 20 m e con profondità variabile pari a 15-20 m. Il fenomeno di dissesto in sottterraneo è avanzato fino ad agosto 2012 ed ha determinato la formazione di un ulteriore sinkhole di dimensioni minori, con diametro di 6 m e profondità visibile di circa 10-15 m oltre alla creazione di una vasta area soggetta a subsidenza (subsidenza massima registrata pari a circa 1 m). I dissesti dell'ottobre 2011 hanno coinvolto una porzione della cava posta a profondità significative, interessata da coperture di 70-120 m.

Nell'Ottobre 2013 è collassata un'ulteriore e vasta area in sottterraneo, dove la cava era prossima alla superficie topografica, il collasso ha determinato in superficie la formazione di ulteriori 6 sinkhole, di diametro variabile e mediamente pari a 15 m e con profondità variabili e mediamente pari a 15-20 m. I collassi dell'ottobre 2013 hanno generato in superficie, oltre ai sinkholes, anche due frane di scivolamento in terra ed una frana rototraslazionale in roccia.

Nel corso degli anni 2012 e 2013, l'area di cava in sottterraneo e la relativa superficie topografica sono stati interessati da diversi studi. In particolare sono stati realizzati approfonditi studi e rilievi di carattere geomeccanico in corrispondenza della cava in sottterraneo, sono state realizzate due campagne di sismica profonda e una campagna di sismica medio-superficiale, sono stati realizzati rilievi e monitoraggi topografici di dettaglio per valutare la subsidenza, è stato realizzato un rilievo fotoaerometrico con drone dell'area interessata dai dissesti, sono stati installati fessurimetri in continuo e manuali in corrispondenza delle principali discontinuità in sottterraneo.

Gli studi e le indagini condotte hanno permesso di individuare la causa geologica scatenante i fenomeni di collasso in sottterraneo e legata alla presenza e all'attraversamento da parte delle attività estrattive di un fascio di discontinuità-faglie alla mesoscala, individuate sia dal rilievo geomeccanico, sia dalla sismica profonda.

In sottterraneo, ove possibile, sono stati realizzati degli interventi di messa in sicurezza attiva principalmente costituiti da cerchiature di pilastri, chiodatura delle volte, risanamento e rinforzo di pilastri, e interventi di messa in sicurezza passivi quali riempimenti, creazione di argini di confinamento. Il sottterraneo è stato inoltre interessato da monitoraggi tramite rilievi e controlli geomeccanici e posizionamento di fessurimetri.

In superficie il monitoraggio è stato realizzato tramite rilievi topografici di dettaglio e rilievi fotoaerometrici realizzati con droni. La messa in sicurezza e la sistemazione delle zone franate superficialmente è ancora in corso di realizzazione ed in particolare sono previsti i riempimenti dei sinkhole, la realizzazione di drenaggi e la riprofilatura del versante.

Le attività di cava in sottterraneo sono proseguite adottando un nuovo schema di coltivazione a setti interconnessi e gallerie, sostenuta ulteriormente da monitoraggi e controlli.

Le indagini svolte hanno permesso di evidenziare come unico segnale di preavviso affidabile dei collassi in sotterraneo, il monitoraggio geomeccanico e lo svilupparsi di indicatori di instabilità di carattere geomeccanico.

In superficie i collassi hanno coinvolto strade, aree agricole, un capannone ad uso agricolo.

## **Sinkholes due to the collapse of underground cavities in the metropolitan area northeast of Naples (Southern Italy)**

Guarino P.M.<sup>1</sup>, Santo A.<sup>2</sup>

*1. Institute for Environmental Protection and Research (Rome, Italy); 2. Department of Civil, Constr. and Env. Engineering “Federico II” University (Naples, Italy)*

This work shows recent advances in understanding of sinkholes phenomena in the metropolitan area northeast of Naples (Southern Italy), where sinkholes often result in huge economic losses and human casualties.

In this area, now almost entirely urbanized with a population density locally higher than 15,000 inhabitants per kilometer square, sinkholes are very frequent because of the widespread presence of artificial caves dug in pyroclastic rocks, whose collapse brings about the formation of sinkholes.

Firstly, a GIS with associated database, referring to data and informations relative to stratigraphic logs, presence and distribution of cavities and sinkholes phenomena has been performed.

Thereafter, in-depth studies of several cases have been carried out, in order to recognize different characteristics and genesis of sinkholes.

Subsequently, by means of the processing of contour maps of tuff top surface and caves' depth, as well as fully detailed cross sections, the role of geological setting has been analyzed.

Identifying and analyzing natural and anthropogenic predisposing and triggering factors are essential steps for evaluating susceptibility to sinkholes; nevertheless, the susceptibility zoning must be considered the starting point towards further detailed studies.

*So, referring to high susceptibility areas, a list of possible geological surveys and monitoring systems as well as early warning activities are suggested in order to mitigate the risk.*

## **Modellazione numerica 3D agli elementi finiti per la valutazione delle condizioni di stabilità di cavità antropiche del territorio pugliese**

Luisi M.\*, Di Santo A.\*, Fiore A.\*, Lepore D.\*, Lollino P.\*\*\*, Miccoli M. N.\*, Parise M.\*\*\*, Spalluto L.\*

*\*Autorità di Bacino della Puglia, c/o Innovapuglia (Ex Tecnopolis CSATA) - Str. Prov. per Casamassima, Km 3 - 70010 Valenzano (Ba). E-mail: michele.luisi@adb.puglia.it*

*\*\*Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del CNR, U.O.S. di Bari, via Amendola 122I – 70126 Bari.*

Gran parte del territorio pugliese è costituito da una potente successione carbonatica mesozoica autoctona su cui poggiano in discordanza sedimenti neogenici costituiti in prevalenza da calcareniti spesse da pochi metri ad alcune decine di metri.

Le caratteristiche fisiche e meccaniche delle calcareniti sono quelle tipiche delle rocce tenere, e molto spesso tali materiali sono stati utilizzati come materiale da costruzione nel settore dell'edilizia tradizionale. Per tale ragione a partire dai primi anni del 1800 si è diffusa una florida attività estrattiva che, al fine di conservare il suolo in superficie per attività agricole, si è sviluppata prevalentemente in sotterraneo.

Le estrazioni generalmente avvenivano mediante il sistema di coltivazione sotterranea “a camere e pilastri” il cui dimensionamento avveniva in maniera empirica rispondendo più a esigenze di sfruttamento del giacimento che a criteri di salvaguardia della stabilità degli ambienti nel tempo. Per tale ragione, alcune delle cave hanno registrato fenomeni di dissesto incipiente o fenomeni di collasso generalizzato con formazione di sprofondamenti in superficie.

Questa situazione costituisce una delle principali pericolosità geomorfologiche del territorio pugliese poiché minaccia direttamente tutte le attività che si svolgono in superficie.

Nel presente lavoro si analizzano i fattori che hanno prodotto lo sprofondamento di una porzione della cava in sotterraneo in località San Procopio (Barletta). Lo sprofondamento, avvenuto la notte tra il 2 e il 3 maggio 2010, ha interessato un'area della superficie di circa 580 mq, in cui si era del tutto persa la memoria dell'esistenza di cave nel sottosuolo. Lo studio ha consentito di ricavare informazioni sullo “stato di salute” dei pilastri e delle volte non ancora interessati da dissesti, e di poter pertanto valutare in via preliminare il relativo rischio residuo.

Per il caso in esame si è fatto uso di un software agli elementi finiti tridimensionali (MIDAS GTS) con cui sono state condotte analisi non lineari incrementali al passo (“path-following”). Tali analisi sono necessarie per ricostruire l'evoluzione dello stato tenso-deformativo della struttura nelle fasi precedenti e successive al crollo.

Per la definizione del modello numerico è stata utilizzata la geometria ricostruita da un rilievo speleologico fornito dalla Federazione Speleologica Pugliese, mentre per quanto riguarda i parametri meccanici delle calcareniti, si è fatto uso della vasta e consolidata letteratura disponibile.

Il risultato più evidente della modellazione è stato quello di riconoscere il mutamento dello stato tenso-deformativo per i pilastri più prossimi alla zona del dissesto. Tali pilastri, nella fase precedente al collasso, si trovavano, data la regolarità delle spazature dei corridoi, in condizioni di carico pressoché centrato. Nella fase successiva alla rottura e conseguente sprofondamento, a causa di una maggiore eccentricità del carico venutasi a creare per lo squilibrio indotto dal crollo stesso, tali pilastri risultano essere sollecitati oltre che da sforzi normali anche da importanti componenti flessionali e di taglio.

Tale incremento in alcuni casi potrebbe non essere trascurabile dato che un decadimento naturale delle caratteristiche meccaniche delle rocce, spesso accelerato da fattori legati all'uso del suolo, potrebbe determinare nel corso del tempo una eccessiva riduzione delle condizioni di sicurezza.

Questo studio evidenzia come la costruzione di un modello numerico tridimensionale del sottosuolo sia un approccio imprescindibile per lo studio dei fenomeni di instabilità di cavità nel sottosuolo. I risultati ottenuti permettono di fornire gli elementi di valutazione necessari per pianificare interventi di risanamento strutturale delle cavità o per progettare interventi di bonifica laddove la situazione dovesse presentarsi compromessa.

## I Sinkholes di Rio Marina (Elba): Studio delle cause

Liali G., Algeri G., Afferi A., Barletta R., Benucci C., Bigio T., Bonciani F., Brogna F. N. A., Carmignani L., Colonna T., Guastaldi E., Massa G., Muti A., Pieruccioni D., Trotta M., Tufarolo E.

Il presente lavoro riguarda lo studio multidisciplinare e la concettualizzazione idrogeologica della valle dei mulini nei Comuni di Rio Elba e Rio Marina (Isola d'Elba), interessata da anni da fenomeni di sprofondamento. La questione riveste una notevole rilevanza sia perché questi hanno coinvolto più volte il rilevato della Strada Provinciale, unica via di collegamento per i mezzi pesanti tra il Porto di Rio Marina ed il resto dell'isola, sia per la destinazione edilizia, commerciale e residenziale dell'area.

Particolare attenzione è stata rivolta al rilevamento geologico strutturale di dettaglio (scala 1:1000) ed a quello geomorfologico tramite foto interpretazione e rilevamento di campo da cui è stato possibile elaborare un modello geologico di riferimento ed interpretare le forme del paesaggio sotto il profilo morfodinamico definendo l'esistenza di processi di subsidenza generalizzata che hanno caratterizzato l'area di studio generando un'ampia zona depressa circoscritta sulla base di evidenze geomorfologiche che illustrano un richiamo del reticolo idrografico ed un conseguente apporto sedimentario verso il centro di tale depressione.

La geometria del sottosuolo è stata indagata con tecniche geofisiche: sono stati realizzati 14 stendimenti di resistività elettrica 2D con passo interelettrodico variabile da 2 a 10 metri e 56 indagini sismiche passive a stazione singola tramite tomografo digitale.

Contestualmente è stato effettuato un rilevamento dei parametri chimici e chimico-fisici delle acque ed uno studio idrogeologico atto a definire tutti i termini del bilancio idrogeologico dell'area, concettualizzando l'evoluzione idrodinamica delle falde.

Dagli studi effettuati è stato possibile ricostruire la seguente successione degli eventi:

- nel Pleistocene medio/sup. si è formata una dolina sul Calcere Cavernoso, con probabili ristagni di acqua e deposizione di argille: il livello di falda in questo periodo è posizionabile circa 20 metri sotto l'attuale piano di campagna.
- nell'Olocene si verifica un importante cambiamento climatico e ambientale per cui si innescano processi di ruscellamento superficiale e fenomeni di debris flow che ricoprono i piani di Rio invadendo parzialmente la valle fino a Rio Marina. Dunque l'attuale successione stratigrafica e conformazione morfologica della valle sono assai recenti.

Questa successione ed il conseguente assetto stratigrafico determinano la formazione di due acquiferi:

- superficiale (freatico), sfruttato dai numerosi pozzi romani, che ha sede nei conglomerati olocenici e che nei periodi piovosi raggiunge il piano di campagna;
- profondo (carsico) sfruttato da numerosi pozzi e che ha sede dentro al Calcere Cavernoso con livello dinamico misurato a circa 40 m di profondità del p.c.

Durante le indagini effettuate è stato possibile tenere spenti i pompaggi nell'area per monitorare il livello dinamico all'interno dell'acquifero carsico, consentendo di rilevare la presenza di uno strato di calcare insaturo spesso circa una decina di metri. Si può affermare così che le oscillazioni del livello dell'acquifero profondo non interferiscono con i depositi quaternari. Tali oscillazioni non sono all'origine degli sprofondamenti avvenuti nell'area, le cui cause appaiono legate piuttosto a fenomeni di filtrazione dall'acquifero superficiale, con conseguente trasporto di materiale ed innesco di fenomeni descritti in letteratura come Dropout sinkhole (Walthman et al., 2005) o Cover collapse sinkhole (White, W.B. 1988) o Subsidence sinkhole (Jennings, J.N. 1985).



## Catalogo dei Sinkhole Antropogenici del Lazio 2013 ed organizzazione delle attività future

\* Meloni F. & \*\* Nisio S.

\* Regione Lazio - Dipartimento Difesa del Suolo; \*\* Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ISPRA

Sprofondamenti e voragini provocati dal crollo di cavità antropiche o carsiche presenti nel sottosuolo di molte aree urbane del Lazio provocano e hanno da sempre provocato danni alle infrastrutture e al patrimonio edilizio. Negli ultimi dieci anni si è assistito inoltre ad un aumento della frequenza dei casi di sprofondamento nei capoluoghi di provincia (Roma, Viterbo, Rieti), ma anche in piccoli centri dove sono stati avvertiti dalla popolazione rumori e boati in sotterraneo (Posta Fibreno, Sermoneta, Cassino etc.).

Le tipologie di cavità artificiali presenti Lazio sono molte, alcune di esse sono caratteristiche e tipiche delle particolari realtà regionali laziali.

I vuoti sotterranei sono stati realizzati principalmente per ricavare materiali da costruzione. L'estrazione di rocce piroclastiche come materiali per l'edilizia è stata diffusa nel Lazio soprattutto a Roma o a Viterbo; l'estrazione di inerti per i calcestruzzi, di sabbie e ghiaie per vari usi, ha prevalso nel Lazio costiero; rocce calcaree sono state estratte sin da tempi preistorici da cave in sotterraneo nelle zone centrali dell'Appennino calcareo.

Inoltre intricata rete caveale è stata realizzata al di sotto delle aree di capoluogo (Roma, Rieti) e piccoli centri per la realizzazione di cisterne, serbatoi e cunicoli idraulici e per la costruzione di luoghi di culto sotterranei.

Non meno diffusa risulta la pratica antica di realizzare nelle aree interne della Regione grotte utilizzate dapprima come rifugi di pastori e bestiame e, successivamente, nelle vicinanze o sopra a tali luoghi sono stati realizzati edifici ed abitazioni civili e le grotte utilizzate come cantine e depositi.

Di tali cavità singole naturali o antropiche o reti caveali, si è sempre conosciuto poco o si è persa memoria, ovvero non sono adeguatamente riportate su cartografia specifica; tuttavia esse sono ancora attive o sepolte da terreni di riporto facilmente asportabili per dilavamento che provocano i collassi in superficie.

La presenza di tali vuoti antropici ovviamente facilita l'insorgere di sprofondamenti di superficie che si perpetua in molti centri urbani laziali. A tali episodi si aggiungono sprofondamenti connessi a fenomeni naturali di dissoluzione carsica particolarmente spinti in formazioni litologiche carbonatiche nelle aree della provincia di Frosinone.

I database realizzati a livello nazionale sinora in Italia risultano oggi inadeguati e poco aggiornati sulle effettive realtà del fenomeno, soprattutto per quanto riguarda i piccoli centri urbani. Risulta inoltre necessario suddividere e classificare le tipologie di sprofondamento, dando risalto agli eventi antropogenici.

Pertanto è stato avviato un Progetto Regione Lazio – ISPRA di integrazione, censimento di tali fenomeni al fine di realizzare zonizzazioni di suscettibilità per i centri urbani laziali in cui si registra tale fenomeno.

## Lo sprofondamento catastrofico di Rocchette del 22 ottobre 1940 (monti Sabini settentrionali – Rieti)

\* Menotti R. M. & \*\* Serafini R.

\**Istituto di Fisica Applicata “Nello Carrara” IFAC – CNR, Sesto Fiorentino FI [r.m.menotti@ifac.cnr.it](mailto:r.m.menotti@ifac.cnr.it)*

\*\**ISPRA, Servizio Geologico d’Italia*

La ricerca storica, avviata da alcuni anni e finalizzata ad approfondire le conoscenze dei fenomeni naturali che hanno interessato il territorio della Provincia di Rieti, ha consentito l’identificazione della voragine di Rocchette (Comune di Torri in Sabina – Rieti). I documenti, conservati presso l’Archivio di Stato di Rieti, hanno indirizzato l’analisi della sequenza delle foto aeree e satellitari (1956, 1980, 1994, 2000, 2006, 2008) e i rilievi di campagna (2010-2013).

Archivio di Stato di Rieti (Elenco Inventari n.44, Archivio Provincia Rieti-Inventario, sezione 6, Lavori Pubblici, faldone n. 1478): “Il giorno 22 ottobre 1940 XVIII° si produceva improvvisamente, senza che si verificasse precedentemente alcun sintomo, un movimento di sottosuolo nei pressi dell’abitato di Rocchette, frazione del Comune di Torri in sabina. Tale fenomeno causava, immediatamente a valle della Provinciale Magliansabina, l’apertura di una voragine di circa m.30 di diametro e m.15 di profondità, lo sconvolgimento del terreno circostante ed il distacco ed abbassamento di circa m.200 della sovrastante strada provinciale con la formazione in essa di profonde fessurazioni.” (Amministrazione Provinciale di Rieti – Ufficio Tecnico – Progetto, 17 giugno 1941) “Il 22 ottobre 1940-XVIII- alla distanza di trecento metri dall’abitato di Rocchette, i naturali videro avvallarsi il terreno e formarsi un grosso inghiottitoio, nel piano di campagna, leggermente in pendio, compreso tra la strada provinciale Magliansabina e un costone, a parete quasi verticale, alto circa venti metri sul piano di una mulattiera la quale, a sua volta, trovasi otto metri più alta del torrente Imella (Aia). Detto inghiottitoio, interessante una zona di terreno estesa circa tre ettari, veniva caratterizzato dalla formazione di un grosso cratere centrale, distante quaranta metri dalla provinciale, profondo venti metri e del diametro, in corrispondenza del piano di campagna, di circa sessanta metri.” (Corpo Reale del Genio Civile-Ufficio di Rieti, 31 luglio 1941).

Dai documenti e dalle testimonianze si evince che il fenomeno, preceduto da una sequenza sismica durata alcuni mesi, è stato improvviso e non ha indotto significativi movimenti al contorno. La voragine presentava la forma di un cono rovesciato, la cui base intercettava il piano di campagna con un cerchio regolare di circa m 60 di diametro, le pareti sub-verticali dell’ordine di qualche metro degradavano con pendenze meno accentuate fino a raccordarsi nel punto più depresso a circa 20 m dal p.d.c. Le fotografie aeree del Volo Base 1956 confermano tale quadro morfologico. Attualmente non è facile sul terreno distinguere il perimetro circolare della voragine, che è stata colmata e livellata a partire dagli inizi del 1980; nella sequenza delle fotografie aeree e satellitari dal 1980 al 2008 la vegetazione e la diversa tipologia del terreno evidenziano la forma circolare e l’estensione superficiale dello sprofondamento.

La voragine interessa un’estesa copertura piroclastica, almeno 15.000 m<sup>2</sup> con spessore di circa 30 m, che localmente poggia sui calcari giurassico-cretacici (Formazione della Maiolica). Tale affioramento non è segnalato in letteratura e nella cartografia ufficiale.

## L'uso della termocamera a infrarossi per l'individuazione di cavità carsiche nel Salento

Nilla Miccoli M. \*, Fiore A. \*, Lepore D. \*, Luisi M. \*, Spalluto L. \*, Viva M. \*\*

*\*Autorità di Bacino della Puglia, c/o Innovapuglia (Ex Tecnopolis CSATA) - Str. Prov. per Casamassima, Km 3 - 70010 Valenzano (Ba). E-mail: maria.miccoli@adb.puglia.it.*

*\*\* Dipartimento di Fisica Naturale, Università La Sapienza Roma. E-mail: viva.marco@libero.it*

Le variazioni di temperatura nel corso delle stagioni si propagano nel sottosuolo in relazione alle peculiari proprietà termiche delle rocce. Sebbene la composizione geologica del sottosuolo sia il fattore preponderante nel determinare l'entità degli scambi termici tra sottosuolo e atmosfera, in via del tutto generale, è possibile affermare che la roccia è un mezzo a bassa conducibilità termica ed è, quindi, influenzata dai fenomeni termici a breve scala temporale e per uno strato superficiale quantificabile in alcuni metri. Per tale ragione, le cavità carsiche risentono in minima parte degli sbalzi stagionali di temperatura mantenendo, di conseguenza, dei valori di temperatura interna piuttosto costanti durante tutto l'anno (circa 14°-15° C). Durante i mesi invernali, la differenza di densità tra l'aria relativamente più calda nel sottosuolo e quella più fredda esterna genera una corrente d'aria ascensionale che risale attraverso gli inghiottitoi fino in superficie. Questi flussi termici sono continui finché esiste un gradiente termico tra la temperatura dell'aria nella cavità e la temperatura dell'atmosfera. In tal modo, la temperatura delle rocce prossima alla corrente d'aria ne è condizionata.

Ne consegue che è possibile misurare in superficie un'anomalia termica positiva in corrispondenza dell'imbocco degli inghiottitoi. Il presente studio si basa sull'utilizzo di una termocamera ad infrarossi per stimare l'entità dell'anomalia termica di alcuni inghiottitoi già noti della Penisola Salentina, in particolare, nella fascia di territorio comprendente i comuni di Avetrana, Veglie, Leverano, Nardò e Galatone. I requisiti discriminanti per la selezione degli inghiottitoi sono stati: la tipologia e la grandezza dell'ingresso, lo sviluppo plano-altimetrico, la tipologia del territorio naturale o urbanizzato e il suo utilizzo (coltivato, uliveto, pascolo, boschivo, ecc.).

La termocamera rileva la radiazione infrarossa emessa dalla roccia che è funzione della temperatura della superficie e della emissività dell'oggetto (nel caso delle rocce tipiche della formazione salentina oscilla, a 36°C, tra 0,94 e 0,98). I dati acquisiti durante una campagna di osservazioni invernale e notturna, con temperatura atmosferica di circa +4°- +5°C, hanno evidenziato significative variazioni termiche tra le rocce prossime agli inghiottitoi e quelle circostanti. Nei casi presi in esame, tali differenze di temperatura registrate sono comprese tra un minimo di 3°C e un massimo di 7°C. Le variazioni maggiori sono state registrate in corrispondenza degli inghiottitoi più stretti.

L'esperienza con la termocamera ha fornito i primi dati per effettuare una ricerca sul campo mirata al riconoscimento delle anomalie termiche collegate alla presenza di cavità nel sottosuolo.

Tale studio permetterà l'individuazione sul territorio di inghiottitoi ed altre emergenze carsiche non censite in aree, come il Salento, in cui la loro individuazione assume una notevole rilevanza per la valutazione della pericolosità legata a fenomeni di sprofondamento di cavità nel sottosuolo. Inoltre, poiché la ricarica della falda avviene anche attraverso gli inghiottitoi, una maggiore conoscenza del sistema superficie-sottosuolo potrà essere utilizzata negli strumenti consentirà di pianificazione al fine di risanamento e protezione delle risorse idriche sotterranee.

## **Il “Fosso di Fabio”, un esempio di morfologia da sprofondamento catastrofico in roccia. Relazioni tra geomorfologia, dinamica del processo evolutivo e pattern strutturale del corpo roccioso**

Miele P.

*Libero Professionista*

Uno studio condotto a seguito del rilevamento geo-strutturale e geomorfologico eseguito sia in superficie sia in ambiente ipogeo, su una cavità da sprofondamento catastrofico, situata sull’altipiano delle Mesole – M.ti Aurunci (Lazio - Italia), ha consentito di mettere in relazione la morfologia della stessa con il pattern strutturale del corpo roccioso, e di ricostruirne il modello morfoevolutivo.

“Fosso di Fabio”, an example of catastrophic rock collapsing morphology. Relationship between geomorphology, evolutionary process dynamics and structural patterns of the Rocky body.

The research, conducted as a result of structural and geomorphological study, performed in both surface and underground environment, has as its object a sinkhole, located on the plateau of Mesole – Aurunci Mt. (Lazio - Italy). The study has allowed to relate the morphology of the cave with the structural patterns of the Rocky body, and to recognize the evolutionary process.

## I sinkhole in Italia: gli studi storici, geologici la suscettibilità al dissesto

Nisio S.

*ISPRA - Servizio Geologico d'Italia*

I sinkholes costituiscono elevato fattore di rischio per la scarsa prevedibilità e la rapida evoluzione che caratterizza i fenomeni; coinvolgono aree urbane, infrastrutture, aree agricole.

In Italia soltanto da pochi decenni i sinkholes sono oggetto di studi e presentano, pertanto, aspetti ancora poco conosciuti.

Dal punto di vista normativo, quasi tutti i Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottati dalle Autorità di Bacino non prendono in considerazione, accanto alla pericolosità da frana e da alluvione, la pericolosità da sprofondamento, e solo poche Regioni italiane e alcune Autorità di bacino hanno emanato norme specifiche che impongono studi e indagini nelle aree suscettibili a sprofondamenti.

Il "progetto sinkhole" ISPRA è nato, nel 2000, per l'esigenza di individuare, nell'intero territorio italiano, le aree suscettibili ai sinkholes naturali e studiarne le cause. A tal fine è stato avviato un censimento partendo dai casi naturali sino a prevedere un censimento anche dei fenomeni antropogenici che interessano le grandi aree metropolitane e i centri abitati in genere.

La ricerca sui *sinkholes* naturali in Italia ha permesso di censire migliaia di casi distribuiti in centinaia di aree suscettibili, localizzate in varie regioni, con maggiore diffusione nell'Appennino centrale.

Nonostante ciò rimangono aperti molti problemi legati alla presenza e allo sviluppo di eventuali cavità poste in profondità. La genesi dei vuoti o delle liquefazioni profonde rimane ancora controversa; in alcuni casi, i ricercatori tendono ad attribuire la formazione dei *sinkhole* alla risalita di fluidi dal substrato, lungo faglie attive. In altri casi, si tende, invece, ad escludere questa possibilità per la notevole profondità del substrato, pur ammettendo la possibilità di fenomeni di liquefazione da imputare a scosse sismiche o alla variazione del carico idraulico della falda.

L'ISPRA ha avviato molti studi geologici di dettaglio, partendo da un'analisi geo-storica e dei siti suscettibili agli sprofondamenti e arrivando ad analisi geostatistiche multivariate per arrivare a valutare e a prevedere la probabilità di sprofondamento.

Verranno presentati gli studi compiuti negli ultimi cinque anni di studi su casi di sprofondamento naturale che antropogenico in alcune città metropolitane.

## **Sinkhole precursors along the Dead Sea, Israel, revealed by SAR interferometry**

Nof R. N.<sup>1,2,3</sup>, Baer G.<sup>2</sup>, Ziv A.<sup>3</sup>, Raz E.<sup>4</sup>, Atzori S.<sup>5</sup>, Salvi S.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Department of Geological and Environmental Sciences, Ben-Gurion University of the Negev, Mailbox 653, Beer-Sheva 84105, Israel*

<sup>2</sup>*Geological Survey of Israel, 30 Malkhe Israel Street, Jerusalem 95501, Israel*

<sup>3</sup>*Department of Geophysics and Planetary Sciences, Tel-Aviv University, Ramat-Aviv, Tel-Aviv 69978, Israel*

<sup>4</sup>*Dead Sea and Arava Science Center, Tamar Regional Council, Dead-Sea mobile post 86910, Israel*

<sup>5</sup>*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti (CNT-INGV), Via di Vigna Murata 605, 00143 Rome, Italy*

The water level in the Dead Sea (Israel and Jordan) has been dropping at an increasing rate since the 1960s, exceeding one meter per year during the last decade. This drop has triggered the formation of sinkholes and widespread land subsidence along the Dead Sea shoreline, resulting in severe economic loss and infrastructural damage. In this study, the spatiotemporal evolution of sinkhole-related subsidence and the effect of human activities and land perturbation on sinkhole development are examined through interferometric synthetic aperture radar measurements and field surveys conducted in Israel during 2012. Interferograms are generated using COSMO-SkyMed satellite images and a high-resolution (0.5 m/pixel) elevation model obtained from LiDAR measurements. As a result of this unique combination of high-resolution data sets, millimeter-scale subsidence has been resolved in both natural and human-disturbed environments. Precursory subsidence over a period of a few months occurred before the collapse of all three sinkhole sites reported in this study. The centers of the subsiding areas migrated, possibly due to progressive dissolution and widening of the underlying cavities. Filling of newly formed sinkholes with gravel, and mud injections into drill holes, seem to enhance land subsidence, enlarge existing sinkholes, and form new sinkholes. Apart from shedding light on the mechanical process, the results of this study may pave the way for the implementation of an operational sinkhole early-warning system.

## Problematiche di dissesto idrogeologico connesse a cavità di origine naturale e antropica in Puglia

Parise M.

CNR-IRPI, Via Amendola 122-I, 70126, Bari – [m.parise@ba.irpi.cnr.it](mailto:m.parise@ba.irpi.cnr.it)

La notevole diffusione di cavità, sia di origine naturale che antropica, sul territorio pugliese è all'origine dell'elevata frequenza di situazioni di dissesto idrogeologico derivanti da fenomeni di instabilità nel sottosuolo, la cui propagazione verso l'alto può eventualmente arrivare a produrre la formazione di veri e propri sprofondamenti (*sinkholes*). Date le caratteristiche geologiche della regione (in gran parte caratterizzata da affioramenti di rocce solubili) il carsismo costituisce uno dei principali agenti di modellamento del paesaggio, sia in superficie che nel sottosuolo. A ciò si aggiungono le cavità scavate nel corso dei secoli dall'attività antropica, per scopi e funzioni variabili, da opere idrauliche a insediamenti abitativi, cave sotterranee per l'estrazione di materiali, luoghi di culto, ecc.

Il panorama complessivo appare pertanto notevolmente complesso, e la valutazione della suscettibilità del territorio pugliese a fenomeni di sprofondamento non può prescindere da una attenta analisi della distribuzione e tipologia delle cavità presenti. Partendo da tali considerazioni, da numerosi anni il CNR-IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) ha avviato programmi di ricerca finalizzati alla valutazione della pericolosità naturale e antropica in ambiente carsico. Le analisi relative a numerosi casi di studio, congiuntamente a ricognizioni sull'intero territorio regionale, al fine di individuare le situazioni maggiormente a rischio, hanno consentito di raggiungere una notevole conoscenza dei fenomeni di sprofondamento, e di avviare ricerche di tipo geologico-geotecnico volte alla modellazione dei processi in atto, ed alla valutazione della loro possibile evoluzione e degli effetti sull'antropizzato sovrastante.

Queste tematiche risultano di interesse anche ai fini di Protezione Civile, come ripetutamente dimostrato da molti episodi avvenuti nel corso degli ultimi 15 anni, sino al caso più recente, verificatosi a Ginosola nel gennaio 2014. Nella gran parte dei casi, le situazioni di maggior pericolo sono connesse a cave abbandonate, ma problematica appare anche la gestione di centri abitati caratterizzati da elevata presenza di cavità sotterranee, in condizioni frequenti di notevole degrado ed abbandono.

Nel contributo, oltre a fornire un quadro generale della situazione sul territorio pugliese, inclusa una cronologia dei fenomeni di sprofondamento per i quali è stato possibile raccogliere documentazione, si presentano i risultati delle ricerche in corso presso il CNR-IRPI, a partire dai dati pugliesi del database cronologico dei fenomeni di *sinkholes* alla scala nazionale.



## Analisi numerica dei processi di instabilità in cave sotterranee

Parise M.<sup>1</sup>, Lollino P.<sup>1</sup>, Bonamini M.<sup>2</sup>, Di Maggio C.<sup>3</sup>, Madonia G.<sup>3</sup> & Vattano M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNR-IRPI, Via Amendola 122-I, 70126, Bari – [m.parise@ba.irpi.cnr.it](mailto:m.parise@ba.irpi.cnr.it)

<sup>2</sup> Ingegnere – libero professionista, Via Trinacria 8, 90144 Palermo - [bonamini@neomedia.it](mailto:bonamini@neomedia.it)

<sup>3</sup> Dip. Scienze della Terra e del Mare, Univ. di Palermo, Via Archirafi 22, 90123 Palermo - [marco.vattano@unipa.it](mailto:marco.vattano@unipa.it)

La presenza di estesi sistemi caveali in sottterraneo, utilizzati nel secolo scorso per l'estrazione di materiale da costruzione in diversi contesti del territorio italiano, di frequente determina situazioni di pericolo per l'ambiente antropizzato, a causa dello sviluppo di processi di instabilità, che possono propagarsi verso l'alto, sino a raggiungere la superficie. Specialmente nei casi in cui la memoria storica della presenza ed estensione delle cave sotterranee è andata persa, lo sviluppo urbanistico dei centri abitati nel corso degli ultimi decenni può avere determinato la realizzazione di abitazioni ed infrastrutture al di sopra, o nelle immediate vicinanze, di zone interessate da complessi sistemi ipogei.

Il territorio di Marsala, in Sicilia occidentale, è caratterizzato da numerose cave per l'estrazione della locale roccia calcarenitica, realizzate a profondità variabili da pochi metri a circa 15 m, su livello singolo o su due livelli, seguendo la tecnica di scavo a gallerie e pilastri. Dopo la cessazione dell'attività estrattiva, le cave sono state abbandonate e si è inevitabilmente avviato un processo di decadimento delle proprietà fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso, che spesso ha determinato l'occorrenza di fenomeni di instabilità in sottterraneo. Tali fenomeni, documentati per la zona in esame a partire dagli anni 1960, consistono essenzialmente in collasso e deformazioni delle volte e dei pilastri degli ambienti ipogei. In più situazioni, essi si sono propagati verso l'alto sino a raggiungere la superficie topografica, con formazione di sprofondamenti che hanno coinvolto anche aree urbanizzate, producendo significativi danni. L'ultimo evento è avvenuto nel mese di novembre 2013, ed è presentato nel dettaglio in un altro contributo di questo congresso.

Il presente lavoro descrive le analisi numeriche 2D e 3D agli elementi finiti, eseguite su un interessante caso di studio avvenuto nel giugno 2011 nella zona orientale della città di Marsala, prodotto dall'instabilità all'interno di una cava sotterranea, e che ha provocato danni ad un edificio scolastico. La disponibilità del rilievo completo della cava sotterranea, eseguito alcuni anni prima dello sprofondamento, congiuntamente a specifici rilievi geologico-strutturali all'interno degli ambienti ipogei, hanno permesso l'esecuzione di analisi a ritroso per la comprensione dei meccanismi di rottura e l'individuazione dei fattori responsabili dei meccanismi genetici dello sprofondamento. In particolare, verranno evidenziate e discusse le principali differenze riscontrate nel corso dell'esecuzione di analisi bi- e tri-dimensionali.

## **Analisi numerica dei processi di instabilità in cave sotterranee a Marsala (Sicilia occidentale)**

Parise M. <sup>1</sup>, Lollino P. <sup>1</sup>, Bonamini M. <sup>2</sup>, Di Maggio C. <sup>3</sup>, Madonia G. <sup>3</sup> & Vattano M. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNR-IRPI, Via Amendola 122-I, 70126, Bari – [m.parise@ba.irpi.cnr.it](mailto:m.parise@ba.irpi.cnr.it)

<sup>2</sup> Ingegnere – libero professionista, Via Trinacria 8, 90144 Palermo - [bonamini@neomedia.it](mailto:bonamini@neomedia.it)

<sup>3</sup> Dip. Scienze della Terra e del Mare, Univ. di Palermo, Via Archirafi 22, 90123 Palermo - [marco.vattano@unipa.it](mailto:marco.vattano@unipa.it)

La presenza di estesi sistemi caveali in sottterraneo, utilizzati nel secolo scorso per l'estrazione di materiale da costruzione in diversi contesti del territorio italiano, di frequente determina situazioni di pericolo per l'ambiente antropizzato, a causa dello sviluppo di processi di instabilità, che possono propagarsi verso l'alto, sino a raggiungere la superficie. Specialmente nei casi in cui la memoria storica della presenza ed estensione delle cave sotterranee è andata persa, lo sviluppo urbanistico dei centri abitati nel corso degli ultimi decenni può avere determinato la realizzazione di abitazioni ed infrastrutture al di sopra, o nelle immediate vicinanze, di zone interessate da complessi sistemi ipogei.

Il territorio di Marsala, in Sicilia occidentale, è caratterizzato da numerose cave per l'estrazione della locale roccia calcarenitica, realizzate a profondità variabili da pochi metri a circa 15 m, su livello singolo o su due livelli, seguendo la tecnica di scavo a gallerie e pilastri. Dopo la cessazione dell'attività estrattiva, le cave sono state abbandonate e si è inevitabilmente avviato un processo di decadimento delle proprietà fisiche e meccaniche dell'ammasso roccioso, che spesso ha determinato l'occorrenza di fenomeni di instabilità in sottterraneo. Tali fenomeni, documentati per la zona in esame a partire dagli anni 1960, consistono essenzialmente in collasso e deformazioni delle volte e dei pilastri degli ambienti ipogei. In più situazioni, essi si sono propagati verso l'alto sino a raggiungere la superficie topografica, con formazione di sprofondamenti che hanno coinvolto anche aree urbanizzate, producendo significativi danni. L'ultimo evento è avvenuto nel mese di novembre 2013, ed è presentato nel dettaglio in un altro contributo di questo congresso.

Il presente lavoro descrive le analisi numeriche 2D e 3D agli elementi finiti, eseguite su un interessante caso di studio avvenuto nel giugno 2011 nella zona orientale della città di Marsala, prodotto dall'instabilità all'interno di una cava sotterranea, e che ha provocato danni ad un edificio scolastico. La disponibilità del rilievo completo della cava sotterranea, eseguito alcuni anni prima dello sprofondamento, congiuntamente a specifici rilievi geologico-strutturali all'interno degli ambienti ipogei, hanno permesso l'esecuzione di analisi a ritroso per la comprensione dei meccanismi di rottura e l'individuazione dei fattori responsabili dei meccanismi genetici dello sprofondamento. In particolare, verranno evidenziate e discusse le principali differenze riscontrate nel corso dell'esecuzione di analisi bi- e tri-dimensionali.

## **Un fenomeno di sinkhole nella “duna rossa antica” di Priverno (Lazio centro-meridionale)**

R. Picozza

*Libero professionista GEORES Studio Tecnico Associato E-mail: info@geores.it*

Nel Lazio centro-meridionale affiorano depositi costituiti da sabbie, attribuiti ad un Pleistocene medio (*Siciliano*) e facenti parte, impropriamente, della cosiddetta “Duna Rossa Antica”.

Indubbiamente, l’affioramento più importante, per via della sua estensione e per il fatto che le sabbie si trovano fino a rilevanti quote s.l.m., con un massimo di 180 m., è quello presente nel territorio del Comune di Priverno, nel Lazio centro-meridionale. Esse ricoprono il substrato costituito dai calcari del Cretacico superiore e in una delle cave di sabbia silicea, aperta nella “Duna Rossa Antica”, nel mese di maggio 2011, al centro dell’ex piazzale di cava, si è verificato uno sprofondamento generale dell’area con la venuta a giorno sia dei calcari di base ma soprattutto di un sinkhole s.s..

È stato, pertanto, osservato e studiato l’evoluzione di tale sinkhole negli ultimi 3 anni, attraverso osservazioni: sul terreno, fotografiche e, soprattutto, nel mese di aprile 2014 con l’applicazione di indagini geofisiche, nella fattispecie tomografia elettrica, che si è dimostrata efficace nella individuazione in profondità delle aree potenzialmente in evoluzione.

La tomografia elettrica eseguita nel sito ha individuato, nel settore centrale, un’area fortemente resistiva di natura calcarea, probabilmente, caratterizzata da un grado di fratturazione e areazione molto elevato. Sono, inoltre, evidenti nella porzione di terreno superficiale alcune anomalie resistive che si propagano verso l’alto imputabili alle zone svuotate della sabbia (processi gravitativi di raveling), ormai in comunicazione con l’area fratturata sottostante.

Classificare in modo esaustivo il sinkhole, da un punto di vista genetico-evolutivo, non è risultato di facile analisi poiché lo sviluppo di tali fenomeni è spesso legato alla coesistenza di più variabili.

I fattori che partecipano alla evoluzione di uno sprofondamento catastrofico sono complessi e vari, soprattutto se si tiene presente che le aree italiane in cui si verificano tali fenomeni, seppur geologicamente diverse, presentano un fattore raggruppante rappresentato dall’essere sempre aree di pianura e di risorgenza delle acque sotterranee che circolano in circuiti profondi all’interno del bedrock.

Il sito in studio presenta, purtroppo, una forte e rapida evoluzione del fenomeno carsico in quanto la morfologia dell’ambiente di cava non consente alle acque meteoriche di defluire all’esterno ma di essere per la quasi totalità incanalate negli inghiottitoi ormai sviluppatisi nel sito stesso.

Lo studio geologico e le indagini geofisiche effettuate hanno consentito di individuare l’andamento delle aree fortemente interessate dal carsismo e soprattutto lo sviluppo in profondità del sinkhole. Si è cercato, inoltre, di stabilire il rischio di sprofondamento del suolo quale ipotesi per tracciare un programma di tutela dei precari equilibri idrogeologici esistenti nell’area della “Duna Rossa Antica”.

## **Le cavità sotterranee a Roma. Un patrimonio storico-archeologico da tutelare e valorizzare**

Placidi M. & Paolucci R.

*Sotterranei di Roma*

Il patrimonio sotterraneo della città di Roma è estremamente variegato e diffuso sia in termini di numerosità di ipogei che delle loro caratteristiche.

Spesso se ne parla in occasione di dissesti e criticità con un'eccezione negativa, mentre proprio per le caratteristiche che esso riveste, potrebbe essere riqualificato e valorizzato in un'ottica di sviluppo e di risorsa sicuramente originale e preziosa.

Nel presente lavoro verranno esaminati i diversi tipi di ipogei antropogenici presenti al di sotto del tessuto urbano romano, il loro sviluppo altimetrico e planimetrico, nonché la loro funzione nell'arco dei secoli.

Verrà messa in risalto la diffusione delle cavità ipogee che presentano un valore archeologico e la pericolosità connessa allo stato di abbandono del reticolo sotterraneo.

La rete di cunicoli costituisce un pericolo ma anche un valore archeologico per la città di Roma che potrebbe bonificata e successivamente essere sfruttata.

Si mostrano a tal fine esempi di valorizzazione e di opportunità di crescita culturale.

## **Tecnica di acquisizione del laser scanner da foro: applicazione al rilievo di cavità ipogee nell'abitato di cutrofiano (LE)**

Spalluto L. \*, Fiore A. \*, Lepore D. \*, Luisi M. \*, Miccoli M. N. \*

*Autorità di Bacino della Puglia, c/o Innovapuglia (Ex Tecnopolis CSATA) - Str. Prov. per Casamassima, Km 3 - 70010 Valenzano (Ba). E-mail: luigi.spalluto@adb.puglia.it*

Il rilievo di cavità ipogee è comunemente effettuato da personale specializzato attraverso le tradizionali tecniche del rilevamento topografico e speleologico. Questa attività è fondamentale per realizzare rilievi di dettaglio e per portare personale qualificato ad acquisire elementi per la valutazione tecnica nei luoghi da monitorare e dove nel tempo potrebbero verificarsi fenomeni di dissesto. Tuttavia, tali rilievi non possono essere effettuati nel caso in cui gli ingressi delle cavità ipogee siano state completamente ostruite o nei casi in cui la presenza di un dissesto in atto impedisce l'accesso in sicurezza del personale sul posto. Per ovviare a questi inconvenienti, e per acquisire in tempi rapidi un rilievo geometrico tridimensionale delle cavità, l'Autorità di bacino della Puglia si è dotata di un laser scanner da poter impiegare in fori di sondaggio rivestiti con diametro minimo di 6 cm o in cavità con accesso sia verticale che orizzontale. La sonda laser scanner impiega tecniche basate sulla misura del "tempo di volo" del laser e misura la distanza dalla sonda alle pareti rocciose senza la necessità di piazzare dei riflettori sui bersagli. La sonda ruota su 2 assi e permette di fare delle scansioni sia verticali che orizzontali assicurando in tal modo una copertura completa della cavità a 360° fino ad una distanza di 150 m e con un'accuratezza di +/- 5 cm. Lo strumento inoltre incorpora dei sensori di inclinazione e di rotazione che permettono sempre di acquisire la posizione e l'orientazione nello spazio della sonda assicurando la restituzione di una nuvola di punti che può essere georeferenziata.

La tecnica di acquisizione con laser scanner da foro è stata impiegata per rilevare due cave in sotterraneo nel comune di Cutrofiano. Entrambe le cavità sono state realizzate nella Formazione della Calcarenite di Gravina e si sviluppano orizzontalmente a profondità dal piano campagna rispettivamente di 9 e 17 metri. Le cave sono state realizzate all'inizio del secolo scorso, conclusasi l'attività estrattiva gli imbocchi sono stati tombati rendendo inaccessibili gli ambienti ipogei. La chiusura degli imbocchi ha fatto perdere la memoria storica delle due cavità, di conseguenza l'espansione urbanistica degli ultimi 20-30 anni ha fatto sì che le due cave siano adesso inglobate nel tessuto urbano di Cutrofiano.

La sonda è stata inserita in due fori di sondaggio rivestiti realizzati dal Comune di Cutrofiano. Il rilievo è stato realizzato effettuando per ogni cava più scansioni sia orizzontali che verticali imponendo risoluzioni corrispondenti a intervalli di acquisizione di 1° e di 5° tra scansioni successive.

Sono stati raggiunti i seguenti obiettivi:

- rilievo 3D delle caratteristiche geometriche della cavità;
- mappa con la distribuzione in pianta delle cave nel centro abitato;
- ricostruzione di un modello geometrico del sottosuolo in un sistema georeferenziato (UTM WGS 84 33 N) da implementare con i dati stratigrafici desunti dai sondaggi geognostici;
- rilievo delle forme geometriche dell'intradosso e del pavimento al fine di individuare fenomeni di crollo con accumulo di blocchi sul pavimento;
- individuazione delle aree in cui è necessario approfondire le indagini geognostiche per la presenza di ostruzioni o di gallerie laterali situate fuori del raggio di azione del laser;
- esportazione della nuvola dei punti in formato .dxf per l'implementazione del modello geometrico in un software di analisi di stabilità agli elementi finiti (F.E.M.).

## Analisi e mappatura della suscettibilità per fenomeni di dissesto della rete caveale sotterranea di Altamura (BA) mediante procedure statistiche

Spilotro G.<sup>1</sup>, Pellicani R.<sup>1</sup>, Leandro G.<sup>2</sup>, Pizzo V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università della Basilicata, DICEM, Matera

<sup>2</sup> Geo Tecnologie s.r.l. Bari

L'abitato di Altamura (BA) dal 2007 è interessato da fenomeni di sprofondamento, dovuti alla presenza di un antico ed esteso sistema di cave sotterranee realizzate a Nord - Est del centro urbano, per attività di estrazione di calcarenite da utilizzare come materiale da costruzione.

Si tratta quindi una rete di gallerie sotterranee con sviluppo lineare di circa 20 Km scavate secondo direzioni molto irregolari ad una profondità variabile da 5 a 25 metri dal piano campagna. Le altezze e larghezze medie sono di circa 4-5 metri con punti che raggiungono sia in altezza che in larghezza i 10 metri. Oggi queste cavità si trovano in un pericoloso stato di completo abbandono e degrado, di cui i dissesti verificatisi nell'ultimo decennio costituiscono la naturale evoluzione. Le cause di tali dissesti sono di origine naturale e antropica. In primo luogo, si segnala il progressivo deperimento della resistenza della calcarenite associato alle variazioni diagenetiche della stessa, determinata dalle condizioni di saturazione dell'umidità relativa ambientale e la conseguente saturazione della roccia; il tutto è aggravato dalla presenza di giunti stratigrafici o tettonici o di neo-formazione, ed accelerato da infiltrazioni delle acque meteoriche o superficiali. L'intensa urbanizzazione dell'area, iniziata negli anni settanta, ma caratterizzata dal massimo sviluppo a partire dagli anni novanta, ha di fatto accelerato l'evoluzione altrimenti naturale dei processi. L'ostruzione progressiva di quasi tutti gli accessi alle cave sotterranee, dovuta a riempimenti con materiali edili o crolli naturali degli stessi accessi a causa dell'esiguo spessore di copertura, determinando il blocco della ventilazione nelle cavità sotterranee, costituisce il principale fattore innescante i processi di alterazione sopra descritti. L'attività edilizia di superficie ha inoltre favorito o scatenato l'insorgere di fratture e crolli all'interno del banco calcarenitico.

L'analisi e la mappatura della suscettibilità connessa a tali fenomeni di dissesto è stata condotta, in corrispondenza di Via Barcellona e Via Amendola, mediante l'utilizzo di due metodi statistici multivariati, l'analisi discriminante e la regressione logistica. Tali metodologie hanno consentito di valutare la suscettibilità in funzione dei fenomeni di dissesto esistenti e dei fattori esterni (ambientali e/o antropici) che si presume incidano sull'instabilità, ovvero:

- fattori geometrici quali la larghezza significativa, estensione ed altezza;
- fattori litostratigrafici, rappresentati dallo spessore dei termini litologici sovrastanti la cavità, ossia della calcarenite residua, delle argille e del terreno vegetale;
- fattore strutturale e di carico della cavità;
- presenza di edifici.

La modellazione è stata eseguita su un determinato numero di sezioni della rete caveale (*training set*) e poi estesa alle restanti parti (*test set*). Ciò ha consentito di ricavare i coefficienti di correlazione, rappresentativi dell'influenza di ciascun fattore predisponente sul fenomeno di dissesto, e quindi la distribuzione spaziale della suscettibilità. Dall'analisi delle performance dei due modelli, attraverso la costruzione delle curve ROC, è emerso che i risultati ottenuti possono essere considerati paragonabili, in termini di affidabilità.

Il buon funzionamento dei modelli proposti evidenzia la possibilità di analisi della pericolosità spaziale su ampie aree in termini di convenienza economica e di velocità di analisi, altrimenti demandate a metodologie di modellazione deterministica puntuale, basate tuttavia su complicate e costose caratterizzazioni geomeccaniche dei materiali coinvolti.

## **Instabilità in area urbana per sprofondamento Studio in ambiente urbano in sedimenti piroclastici soggetti a sprofondamento localizzato mediante impiego di prospezioni geofisiche di tipo geo-elettrico - Comune di Mentana - Roma**

Stragapede F. <sup>(1)</sup>, Leonasi G. <sup>(2)</sup>, Sanacori C. <sup>(3)</sup>

*(1) Libero professionista – Via Catavoli n.124 - 51034 Casalguidi (PT); (2) Libero professionista – Piazza de' Pitti n.10 – 50125 Firenze; (3) Libero professionista – Via Mameli n.42/D – 00015 Monterotondo (RM)*

Il caso di studio illustra attività professionale sviluppata per un cedimento in area urbanizzata su Via Moscatelli in Mentana (RM), per verificare le condizioni di rischio.

L'area interessata dal cedimento del terreno e dall'apertura di una cavità, presentava pericolosità per il transito e la stabilità dei fabbricati. L'estensione della cavità, non rilevata nelle concitate fasi di primo intervento di colmamento, necessitava di una sua definizione areale.

La tecnica di investigazione è individuata in relazione alla natura dei terreni, costituiti da tufi stratificati ed argillificati con paleosuoli intensamente alterati ed interessati da una permanente circolazione idrica.

La singolarità dell'evento deriva dall'assenza, nella zona e nel contesto geologico locale, di altri eventi simili, in assenza di perdite da sottoservizi specifici, di attività estrattive sotterranee o di cavità antropiche, che avrebbero potuto costituire indizi sulle cause dello sprofondamento del terreno.

La campagna geognostica programmata tiene conto della disponibilità economica e della efficienza nella valutazione della effettiva entità ed estensione dello sprofondamento ed è condotta mediante rilievo geoelettrico con analisi tomografica dei dati.

Tale tecnica di indagine, permette di descrivere con il sufficiente dettaglio le zone che presentano condizioni predisponenti o in essere di instabilità, in quanto è individuato nella resistività elettrica la grandezza di misurazione utile a discriminare le porzioni del sottosuolo soggette a sprofondamento e quelle che, potevano essere interessate ad una progressione delle instabilità.

La tipologia di investigazione supera i limiti di agibilità e di operatività strumentale dei luoghi, che in ambito urbano costituivano un primo fattore di limitazione, e forniscono indicazioni dove concentrare l'attenzione con più onerose e/o invasive tecniche di indagine.

La lettura delle informazioni su sezioni individuali è stata restituita interpolando sezioni di resistività a quota differente dal piano campagna e restituendo mappe di resistività. Le mappe di resistività descrivono l'andamento areale del parametro misurato e forniscono informazioni sull'estensione e sull'andamento planimetrico delle aree caratterizzate da maggiore criticità, qualificate per l'area di studio da quelle con maggiore resistività rispetto ai terreni circostanti.

La definizione delle problematiche puntuali sono state risolte con indagini penetrometriche, che hanno validato i dati di indagine: in assenza di ulteriori cavità, nelle aree di criticità geo-elettrica è stata verificata la presenza di volumetrie con scarso grado di addensamento.

La circolazione idrica nel sottosuolo conferma la presenza di deflussi idrici che, canalizzandosi allontanano i materiali più fini e producono un effetto di "svuotamento" dello scheletro del suolo.

Nella profondità di criticità di m 4 tale processo di degrado produce cedimenti e densificazione del suolo con sprofondamento ed apertura di voragini, pur in assenza di fenomeni antropici o naturali nel sottosuolo.

Saggi di scavo accertano condizioni di sicurezza degli edifici, con quota di fondazione a profondità superiore a quella di criticità.



## The last sinkhole at Marsala: the 21 November, 2013, event

Vattano M.<sup>1</sup>, Parise M.<sup>2</sup>, Bonamini M.<sup>3</sup>, Di Maggio C.<sup>1</sup> & Madonia G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, University of Palermo, Via Archirafi 22 – 90123 Palermo, Italy (marco.vattano@unipa.it)*

<sup>2</sup> *CNR IRPI, Via Amendola, 122/I, 70126 Bari, Italy (m.parise@ba.irpi.cnr.it)*

<sup>3</sup> *Engineer, Via Trinacria 8, 90144 Palermo, Italy (bonamini@neomedia.it)*

Marsala area, in the western end of Sicily, has been historically interested by quarry activities, both at surface and underground. The carved rocks are Lower Pleistocene calcarenites, defined as “Calcarenite di Marsala” and referred to the Marsala syntheme. These calcarenites are composed of three main lithofacies with vertical and lateral passages: a) coarse to fine yellow bio- and lithoclastic calcarenites, rich in macrofossils; b) sands; and c) gray sandy clays. According to previous authors, the calcarenitic lithofacies can be divided into three lithotypes: i) coarse calcarenites and calcirudites strata, from 10 to 100 cm thick; ii) fine to coarse calcarenites with thickened grains; iii) medium to coarse calcarenites in irregular strata with intercalations of thin silt beds.

The subterranean quarries, now abandoned, show increasing instability signs becoming in time a risk factor for several causes, among which: a) breakdowns due to poor (weak) strength of rock and to large size of voids; b) progressive weathering of rock; c) relationship between the horst rock discontinuities and pillars and/or walls of the underground quarries. These factors contributed to enlargement of the subterranean voids and to their upward propagation, thus triggering several sinkholes.

The fast urbanization of the city masked many subterranean quarries causing the loss of memory of their location. In the last decades, numerous sinkholes occurred both in urban areas and in areas designated for agricultural use, creating extensive damage to buildings and infrastructures.

The latest sinkhole episode occurred in the Amabilina area, at the eastern suburbs of Marsala. Here, in the late afternoon of November 21<sup>st</sup>, 2013 a sinkhole of impressive dimensions formed affecting an agricultural area, where until a few minutes before the owner was working. The area is located in the neighborhood of small rural buildings, housing and factories. The depression shows an elliptical perimeter (100×70 m) and a depth of at least 15 m. At the bottom, some rooms up to 5 m high of an underground quarry, are visible.

Since the first investigation, it was clear that the sinkhole was caused by pillars failure and the upward propagation of the voids. This last factor increased as soon as the void reached the portion of the calcarenitic lithofacies rich in fossils.

From the evidences collected a few days after the event, it was possible to reconstruct the time sequence in the formation of the sinkhole. The collapse started due to the propagation of voids and a first failure of some pillars, and was subsequently followed by a second event, which caused a widening of the depression, due to the redistribution of the stress resulting after early failures.

## Fenomeni di sprofondamento nella piana di Enemonzo (UD)

Zini L.<sup>1</sup>, Calligaris C.<sup>1</sup>, Devoto S.<sup>1</sup>, Zavagno E.<sup>1</sup>, Forte E.<sup>1</sup>, Petronio L.<sup>2</sup>, Boccali C.<sup>1</sup> & Cucchi F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Matematica e Geoscienze – University of Trieste*

<sup>2</sup>*Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – OGS Trieste*

In the 7,858 square kilometers composing the Friuli Venezia Giulia Region, limestones and dolostones represent approximately 24% of the area, whereas evaporates does not exceed 1%. Most part of these rocks are widely karstified and display several sinkhole phenomena. In all those areas where permotriassic evaporitic rocks are present or are capped by soils or other rock formations, sinkholes are widespread and can cause damages to the infrastructures. Conversely, sinkholes rarely affect carbonatic rocks.

Since the early nineties hundreds of the above-mentioned phenomena have been recognized in the Tagliamento Valley, where evaporitic rocks widely outcrop or are capped by alluvial deposits. In particular one of the most hazardous situation is represented by sinkholes located in Enemonzo municipality, where in the last century several phenomena occurred causing severe damages and the dismantling of various buildings.

In this framework, a multidisciplinary approach was used and different techniques were tested and applied on Quinis Village, a hamlet of Enemonzo, where some of the main buildings have been damaged or destroyed within the years. The study area have been investigated by means of a multi-technical approach which envisaged geomorphological activities, hydrogeological and geophysical analyses, recognized worldwide as a valid approach to study this type of phenomena. Geological and geomorphological surveys jointly with the stratigraphic data and geophysical outputs, derived by seismic, ERT and GPR techniques, permitted to deeply investigate the site and to reconstruct the bedrock and the overlying quaternary deposits. Hydrogeological investigations, proved to be a powerful tool in the study of ground-water table variation, helped in understanding the genesis of the phenomena. The results of the in-depth knowledge can be adopted to other areas affected by similar phenomena. The present paper illustrates the results so far achieved thanks to geomorphological mapping, hydrogeological monitoring activities and GPR investigations.