

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

Problems of Hydrogeological instability related to cavities of natural and anthropogenic origin in Apulia

PARISE M. (*)

RIASSUNTO - 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, incluso l'aggiornamento della crono-

logia dei fenomeni di sprofondamento documentati, 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.

PAROLE CHIAVE: cavità naturali, cavità antropiche, sprofondamenti, gestione, mitigazione del rischio

ABSTRACT - The widespread presence of natural and anthropogenic cavities in the territory of Apulia region (southern Italy) is at the origin of the high frequency of events of instability underground, which progression upward might eventually reach the surface, producing the formation of sinkholes. Given the geological features in the region (mostly characterized by outcrops of soluble rocks) karst is one of the main agents modelling the landscape, both at the surface and underground. Further, the cavities excavated by man for a number of different purposes, from hydraulic works to settlements, underground quarries, worship sites, etc., have also to be taken into consideration.

Overall, in Apulia evaluating the susceptibility of the territory to sinkholes requires a careful analysis of the distribution and typology of the cavities. Starting from these considerations, the Institute of Research for the Geo-Hydrological Protection (CNR IRPI) is carrying out research projects aimed at the evaluation of the natural and anthropogenic hazard in karst settings. Analyses on several case studies, integrated by surveys over the whole region to identify the main situations at risk, allowed to reach a deep knowledge about sinkholes, and to start geological-geotechnical researches aimed at modelling the processes and at evaluating their likely evolution, and the related effects on the built-up environment. These issues are also of interest for the Civil Defense Authorities, as repeatedly demonstrated on the occasion of many events occurred in the last 15 years, until the most recent one, at Ginosola in January 2014. In most of the cases, the situations at higher risk are related to abandoned quarries; at the same time, management of inhabited areas with a high number of underground cavities, often in condition of severe degradation or abandonment, is extremely

(*) Consiglio Nazionale Ricerche – IRPI, Bari

complex. In this contribution, beside providing a general overview of the situation in Apulia, that includes the updating of the chronology of the sinkhole phenomena, the results of researches in progress are presented, starting from the regional data included in the Italian chronological database managed by CNR IRPI.

KEY WORDS: natural caves, anthropogenic caves, sinkholes, management, risk mitigation

1. - INTRODUZIONE

La presenza di vuoti nel sottosuolo può costituire un serio elemento di preoccupazione per le condizioni di stabilità del territorio. L'occorrenza, all'interno di grotte carsiche naturali o di cavità scavate dall'uomo, di situazioni di dissesto connesse, da un lato, alla normale evoluzione delle cavità naturali e, dall'altro a fenomeni di degrado e di alterazione, in parte riconducibili ad attività antropiche, ha come possibile effetto la propagazione verso l'alto delle superfici di rottura. Allorquando queste raggiungono il piano campagna, si determina la formazione di sprofondamenti (*sinkholes*), con conseguenze dirette sull'ambiente antropizzato e sulle infrastrutture e reti di comunicazione (MANCINI *et alii*, 2008; PARISE, 2008; CASTANEDA *et alii*, 2009; BERSANI *et alii*, 2010; NISIO, 2010; GUTIERREZ *et alii*, 2014; CIOTOLI *et alii*, 2013, 2015). In un paese come l'Ita-

lia, notoriamente affetto da frequenti eventi di dissesto idrogeologico, essenzialmente del tipo frane o alluvioni, il verificarsi di sprofondamenti ha sempre avuto un ruolo secondario, sia sui mass-media che per quanto concerne l'interesse scientifico.

Nonostante ciò, vi sono aree del territorio italiano dove gli sprofondamenti costituiscono di gran lunga la più tipica emergenza di dissesto idrogeologico (NISIO & SCAPOLA, 2005; NISIO *et alii*, 2007; CARAMANNA *et alii*, 2008; NISIO, 2008; DEL PRETE *et alii*, 2010; MELONI *et alii*, 2013): per la loro natura "nascosta", e la velocità delle fasi catastrofiche di collasso, essi pongono seri problemi di gestione del territorio, specialmente laddove la frequenza di cavità sotterranee è molto elevata.

La regione Puglia è certamente tra i settori maggiormente interessati da questo particolare tipo di fenomeni, a causa della estesa presenza di rocce solubili (pertanto, interessate da processi carsici) in superficie e nel sottosuolo (CIARANFI *et alii*, 1988), e per la enorme quantità di cavità artificiali, prodotte in varie fasi storiche e con finalità estremamente varie dall'uomo (DEL PRETE & PARISE 2007; BARNABA *et alii*, 2010). Tanto di origine artificiale che naturale, le cavità pugliesi hanno negli ultimi anni indotto ripetutamente gravi situazioni di rischio, a causa della sempre crescente interazione con gli insediamenti antropici (fig. 1). Quest'ultima deriva dalla espansione che i centri abitati hanno



Fig. 1 - Effetti di uno sprofondamento su strutture antropiche nell'area di Marina di Lesina, nel settore nord del Promontorio del Gargano (prov. Foggia).
- Effects of a sinkhole on man-made structures in the area of Marina di Lesina, northern sector of the Gargano Promontory (Foggia province).

vissuto negli ultimi decenni, estendendosi a settori che una volta erano alla periferia o al di fuori dell'urbanizzato, e che ora ne sono divenuti parte integrante. Proprio in tali aree erano spesso concentrate cavità, prevalentemente del tipo cave sotterranee, che erano state utilizzate per la estrazione di materiale da costruzione, in gran parte costituito in regione dalle teneri calcareniti di età Plio-Pleistocenica (ANDRIANI & WALSH, 2003). La perdita di memoria o, in qualche caso, la volontà di non tener conto della presenza dei vuoti sotterranei, hanno portato ad una diretta connessione tra ciò che è stato costruito sul piano campagna ed il sottostante territorio.

2. - SPROFONDAMENTI IN PUGLIA: AGGIORNAMENTO SINTETICO

In ambito naturale, l'occorrenza di sprofondamenti costituisce in realtà una delle possibili modalità di evoluzione dei sistemi carsici sotterranei: il progressivo distacco di porzioni della volta di grotte carsiche determina l'assottigliamento del diaframma roccioso che separa il vuoto dalla superficie e, allorquando lo spessore risulta tale da non essere più in grado di sostenere il peso, si può verificare la apertura di uno sprofondamento (fig. 2). Sono numerosissimi in Puglia i casi di

grotte o sistemi carsici a cui si accede mediante un pozzo verticale, originato appunto da uno sprofondamento; uno dei casi più noti è certamente la Grave, imbocco principale del sistema turistico delle Grotte di Castellana. Situazioni analoghe si osservano nell'entroterra pugliese di tutti i settori carsici regionali: dal Promontorio del Gargano, ove si registrano sprofondamenti sia in rocce gessose (fig. 3; GABBIANELLI *et alii*, 2009; FIDELIBUS *et alii*, 2011) che carbonatiche, alle Murge, sino alla Penisola Salentina (FESTA *et alii*, 2012; GIL *et alii*, 2013; PEPE & PARISE, 2014). Molti altri sprofondamenti, di dimensione e profondità estremamente variabile, sono dislocati lungo i settori costieri, tanto su costa bassa (MARGIOTTA *et alii*, 2012; BASSO *et alii*, 2013) che nei pressi di falesie rocciose prossime alla verticalità (fig. 4). Di recente, morfologie di questo tipo sono state segnalate anche *offshore*, a testimonianza della importanza degli eventi di sprofondamento nella locale storia geologica regionale (TAVIANI *et alii*, 2012).

Per quanto riguarda le cavità artificiali, l'occorrenza di eventi di instabilità (fig. 5) può derivare da degrado dell'ammasso roccioso che ospita la cavità, in conseguenza di deterioramento nelle proprietà fisico-meccaniche a causa dell'imbibizione d'acqua, o per presenza di sovraccarichi dall'alto. Soprattutto nel caso in cui si trovino più sistemi di



Fig. 2 - Ingresso via terra della Grotta della Rondinella, sul litorale di Polignano a Mare.
- Inland access of Grotta della Rondinella, along the coastline of Polignano a Mare.

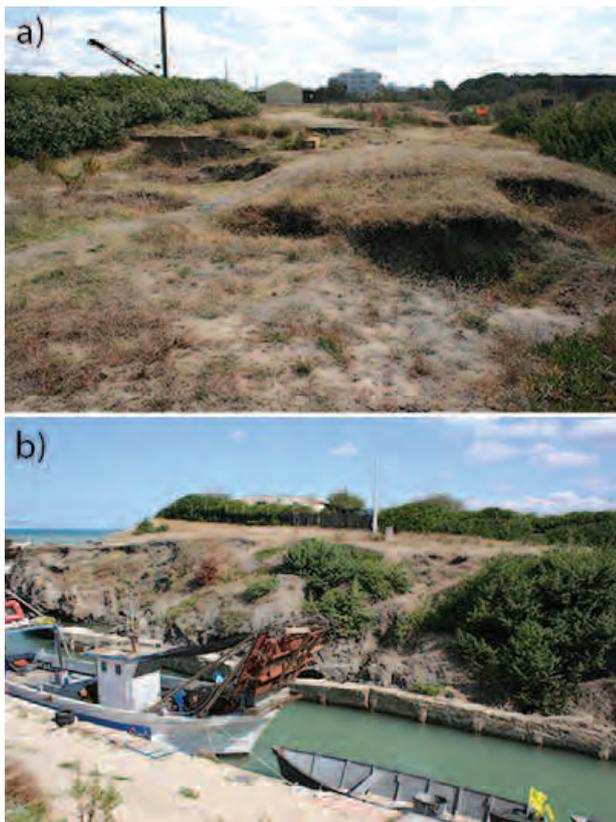


Fig. 3 - Sprofondamenti nei depositi evaporitici a Marina di Lesina, nel settore nord del Promontorio del Gargano (prov. Foggia): a) campo di sprofondamenti in corrispondenza della destra idrografica del Canale Acquarotta, presso il suo sbocco nel Mare Adriatico; b) vista dalla sinistra idrografica del Canale Acquarotta: in evidenza, nella parte alta del piano (ritratto nella foto precedente), uno degli sprofondamenti, a valle del quale si notano tracce di dissesto verso il lato del Canale e, al margine di questo, cavità nei depositi gessosi.

- Sinkholes in the evaporite deposits at Marina di Lesina, northern sector of the Gargano Promontory (Foggia province): a) sinkhole field on the right side of the Acquarotta Channel, near its mouth in the Adriatic Sea; b) view from the left side of the Acquarotta Channel: in the upper part of the plain (shown in the previous picture), one of the sinkholes is visible, with instability processes downslope, toward the channel, and cavities in the evaporites still further down.

cavità sovrapposte, l'interazione tra i vari livelli di vuoti sotterranei va tenuta debitamente in conto, ai fini di una reale valutazione della suscettibilità a sprofondamenti del territorio in esame (PARISE, 2015).

Territori come quello pugliese, con elevata frequenza e coesistenza di cavità sia naturali che antropiche, risultano pertanto fortemente soggetti alla possibilità di sviluppo di sprofondamenti. Ciò nonostante, solo negli anni più recenti, a seguito di alcuni eventi particolarmente eclatanti che hanno destato l'attenzione dell'opinione pubblica sul fenomeno in questione, l'argomento degli sprofondamenti è divenuto oggetto di specifiche ricerche.

L'elenco cronologico degli sprofondamenti riportato pochi anni orsono in FIORE & PARISE (2013) presentava per il territorio pugliese un numero totale di 71 eventi per i quali era stato possibile individuare una data di occorrenza. Le fonti considerate, oltre a rilievi e conoscenze dirette, erano di tipo cronachistico, e archivi e documenti



Fig. 4 - Veduta di un tratto di costa a nord di Otranto (da Google Earth), con all'interno dell'ellisse gialla la localizzazione della Grotta Sfondata, visibile nel dettaglio nella foto b).

- View of a stretch of coastline north from Otranto (image from Google Earth), showing within the yellow ellipse the location of Grotta Sfondata, visible in the picture of inset b).



Fig. 5 - Dissesto all'interno di una cavità artificiale nel centro storico di Ginosa.

- Instability within an artificial cavity in the historical center of Ginosa.

di enti locali, integrati dall'analisi critica di pubblicazioni scientifiche e note tecniche. Nel complesso, i 71 sprofondamenti erano riconducibili in 27 casi a eventi naturali e in 44 casi a situazioni connesse a cavità artificiali. Analizzando nello specifico queste ultime, risultava evidente come la maggioranza fosse da porre in relazione a cave sotterranee (PARISE, 2010, 2012), con un totale di ben 30 eventi. L'aggiornamento dei dati sul territorio pugliese, nell'ambito della più recente versione del database cronologico degli sprofondamenti in Italia, a cura del CNR-IRPI (PARISE & VENNARI, 2013), ulteriormente rafforza tali dati, documentando per la Puglia (alla data in cui si scrive, novembre 2014) un totale di 124 eventi, 38 dei quali riconducibili a cavità naturali e 86 a cavità artificiali. Circa il 30%

degli sprofondamenti per cavità artificiali derivano da cave sotterranee (BRUNO & CHERUBINI, 2005; BARNABA *et alii*, 2010; PARISE, 2012), che, d'altra parte, costituiscono la tipologia a maggior rischio anche a livello nazionale (DEL PRETE *et alii*, 2011; PARISE & VENNARI, 2013; PARISE *et alii*, 2013).

In Puglia, i casi più eclatanti di sprofondamento antropogenico hanno riguardato negli ultimi anni le zone rurali e/o di periferia urbana a Barletta (DE GIOVANNI *et alii*, 2011) e Cutrofiano (DE PASCALIS *et alii*, 2010; PARISE, 2010, 2012), ma anche settori localizzati all'interno di aree urbane, come a Gallipoli (FIORITO & ONORATO, 2004; PARISE, 2012; PARISE *et alii*, 2013), o in zone di nuova espansione edilizia, come ad Altamura (BERARDI *et alii*, 2010; MARTIMUCCI *et alii*, 2010; PEPE *et alii*, 2013a, b, c). Oltre a quelli su citati, sono comunque numerosi i comuni pugliesi minacciati dalla possibilità di sviluppo di sprofondamenti, per le elevate diffusione di cavità antropiche sotterranee, molte delle quali versano in stato di abbandono e di degrado. Laddove è risultato possibile svolgere sopralluoghi al fine di valutare l'esistenza di situazioni di rischio per la pubblica incolumità, sono state osservate in ambiente sotterraneo varie tipologie di instabilità, in diverse fasi evolutive: da presenza di lesioni più o meno aperte, in genere concentrate agli spigoli di pilastri in cave sotterranee, a deformazioni delle pareti, con estrusione di materiale sotto forma di cunei di piccole dimensioni, in corrispondenza della zona in cui si sviluppa la rottura. Crolli in parete, già avvenuti, coinvolgono frequentemente intere lastre di calcarenite che si distaccano lungo superfici di rottura sub-parallele alla galleria, talora isolando blocchi rettangolari, sino a diversi metri di altezza (con spessori massimi nell'ordine di 1,5 m). Altro elemento che indubbiamente può favorire il decadimento delle proprietà fisico-meccaniche dei materiali e, di conseguenza, l'insorgere di fenomeni di sprofondamento, è la presenza di ristagni d'acqua (PARISE & LOLLINO, 2011) dovuti a percolazione dall'alto o ad eventi di sommersione parziale o totale di alcune aree delle cavità dovuti all'ingresso copioso di acqua dai punti di accesso.

3. - RICERCHE IN CORSO

Le attività di ricerca sul tema degli sprofondamenti in Puglia non si limitano alla validazione dei dati raccolti nell'ambito della banca-dati cronologica degli eventi naturali e antropogenici di *sinkholes*, ma comprendono ulteriori aspetti, considerati di cruciale importanza per una piena comprensione dei fenomeni, e utili alla definizione di procedure per la valutazione della suscettibilità e della pericolosità da sprofondamenti.

I collassi che coinvolgono le volte e le pareti delle cavità sotterranee sono il risultato di vari fattori concomitanti, tra i quali i principali risultano le basse resistenze meccaniche degli ammassi rocciosi interessati (soprattutto nel caso delle cosiddette "*soft rocks*"; AYDAN *et alii*, 2005), nel cui ambito rientrano i depositi calcarenitici plio-pleistocenici, estremamente diffusi in Puglia e utilizzati come materiale da costruzione, i processi di scarico tensionale che determinano lo sviluppo di fratture di tensione ad andamento pressochè parallelo ai margini degli scavi, e la progressiva degradazione fisico-meccanica dell'ammasso roccioso per effetto di processi di imbibizione ed alterazione (DOBEREINER & DE FREITAS 1986; DYKE & DOBEREINER, 1991; JENG *et alii*, 2004). A tali fattori se ne aggiungono altri, direttamente connessi alle azioni antropiche, quali ad esempio i carichi indotti dalle strutture sovrastanti, le vibrazioni connesse al traffico, anche pesante, al di sopra di cavità, l'immissione di liquidi nel sottosuolo attraverso perdite idriche e fognarie o mediante scarichi illegali nel sottosuolo. Tutto ciò concorre a determinare processi di collasso generale, che conducono in alcuni casi allo sprofondamento della porzione di ammasso roccioso sovrastante le cavità (*sinkhole*).

Al fine di indagare l'influenza dei diversi fattori prima riportati sull'innescò dei processi di collasso locale e generale, sono state condotte, e sono tuttora in corso, analisi agli elementi finiti, sia bi- che tri-dimensionali (PARISE & LOLLINO, 2011; LOLLINO *et alii*, 2013; LOLLINO & PARISE, 2014), eseguendo (i) analisi parametriche per verificare l'influenza del valore della coesione dell'ammasso roccioso, (ii) simulando la degradazione progressiva dei materiali, o (iii) prevedendo un aumento nelle dimensioni del vuoto, in conseguenza di processi di instabilità locale che interessano volta e/o pareti, sino a verificare le condizioni di innescò di processi di collasso generale, e quindi la generazione di *sinkholes* (fig. 6). Congiuntamente alla caratterizzazione geotecnica dei materiali coinvolti, tali attività sono necessarie per definire la più corretta procedura per l'esecuzione di indagini e rilievi in sito, e per implementare modelli di calcolo numerico che consentano di ipotizzare i probabili limiti di estensione in superficie di potenziali sprofondamenti, al fine di mitigarne i relativi rischi. Sono previsti, in particolare, sviluppi futuri della ricerca finalizzati alla implementazione di modelli costitutivi maggiormente adatti a rappresentare la reale risposta meccanica degli ammassi rocciosi pugliesi, così come alla simulazione di condizioni al contorno maggiormente realistiche ed in accordo con ulteriori avanzamenti previsti nella comprensione dei processi in sito da un punto di vista fenomenologico.



Fig. 6 - Isolinee degli spostamenti verticali nel modello tridimensionale ricostruito per lo sprofondamento della cava nei pressi dello stadio comunale a Marsala (BONAMINI *et alii*, 2013; VATTANO *et alii*, 2014).
 - Contour lines of the vertical displacements in the 3D model, reconstructed for the sinkhole at the underground quarry near the Marsala stadium (after BONAMINI *et alii* 2013; VATTANO *et alii*, 2014).

4. - CONCLUSIONI

In molte aree della regione pugliese gli sprofondamenti costituiscono il principale fenomeno di dissesto idrogeologico che minaccia il territorio, a causa della combinazione tra presenza di rocce solubili in affioramento o nei pressi della superficie e della notevole diffusione di cavità artificiali. Le analisi svolte su numerosi casi di studio, congiuntamente a ricognizioni sull'intero territorio regionale, al fine di individuare le situazioni maggiormente a rischio, hanno consentito nel corso degli ultimi 15 anni di raggiungere una notevole conoscenza sui meccanismi dei fenomeni di sprofondamento, e di avviare ricerche di tipo geologico-geotecnico volte alla modellazione dei processi in atto, nonché alla valutazione della loro possibile evoluzione e degli effetti sull'antropizzato sovrastante. A parte l'interesse scientifico, va evidenziato che queste tematiche risultano di elevato interesse anche ai fini di Protezione Civile, come ripetutamente dimostrato da molti episodi avvenuti nel corso degli ultimi anni, sino al caso più recente, avvenuto a Ginosa, in provincia di Taranto, nel gennaio 2014.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRIANI G.F. & WALSH N. (2003) - *Fabric, porosity and water permeability of calcarenites from Apulia (SE Italy) used as building and ornamental stone*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, **62**, 77-84.
- AYDAN O., SAKAMOTO A., YAMADA N., SUGIURA K. & KAWAMOTO T. (2005) - *The characteristics of soft rocks and their effects on the long term stability of abandoned room and pillar lignite mines*. Post Mining 2005 Nancy GISOS.
- BARNABA F., CAGGIANO T., CASTORANI A., DELLE ROSE M., DI SANTO A.R., DRAGONE V., FIORE A., LIMONI P.P., PARISE M. & SANTALOAIA F. (2010) - *Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella regione Puglia*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 653-672.
- BASSO A., BRUNO E., PARISE M. & PEPE M. (2013) - *Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy)*. Environmental Earth Sciences, **70** (6), 2545-2559.
- BERARDI C., BUONAMASSA G., DENORA A., FIORE A., LORUSSO G., PEPE P., WALSH N. & ZACCARIA V. (2010) - *Attività di censimento per la pianificazione nelle aree interessate da cavità antropiche. Il Catasto delle Cavità Sotterranee (CCS) di Altamura (BA). Un modello litotecnico e di comportamento previsionale*. 2° Workshop Int.: "Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009, 673-683.
- BONAMINI M., DI MAGGIO C., LOLLINO P., MADONIA G., PARISE M. & VATTANO M. (2013) - *Sprofondamenti di origine antropica nell'area di Marsala (Sicilia occidentale) analizzati me-*

- diante rilievi in sito e analisi numerica dei processi di instabilità nelle cave sotterranee. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 105-120.
- BRUNO G. & CHERUBINI C. (2005) - *Subsidence induced by the instability of weak rock underground quarries in Apulia*. Giornale di Geologia Applicata, **1**, 33-39.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G. & NISIO S. (2008) - *A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas*. Journal of Natural Hazard, **45**, 145-172.
- CASTAÑEDA C., GUTIÉRREZ F., MANUNTA M. & GALVE J.P. (2009) - *DInSAR measurements of ground deformation by sinkholes, mining subsidence, and landslides, Ebro River, Spain*. Earth Surface Landforms and Processes, **34**, 1562-1574.
- CIARANFI N., PIERI P. & RICCHETTI G. (1988) - *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. Memorie Società Geologica Italiana, **41**, 449-460.
- CIOTOLI G., CORAZZA A., FINOIA M.G., NISIO S. & SUCCHIARELLI C. (2013) - *Gli sprofondamenti antropogenici nell'aria urbana di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 143-182.
- CIOTOLI G., FINOIA M.G., LIPERI L., MELONI F., NISIO S., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2015) - *Sinkhole susceptibility map of the Lazio Region, central Italy*. Journal of Maps, **1/2015**
- DE GIOVANNI A., MARTIMUCCI V., MARZULLI M., PARISE M., PENTIMONE N. & SPORTELLI D. (2011) - *Operazioni di rilievo e analisi preliminare dello sprofondamento in località San Procopio (Barletta, 2-3 maggio 2010)*. Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Urbino, 4-8 dicembre 2010, Opera Ipogea, n. 1/2.
- DEL PRETE S., GALEAZZI C., GERMANI C., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2011) - *Fenomeni di dissesto idrogeologico connessi a cavità sotterranee di origine antropica*. Atti Convegni Lincei: "Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo", X Giornata Mondiale dell'Acqua, Accademia dei Lincei, Roma, 22 marzo 2010, 262, 223-232.
- DEL PRETE S., IOVINE G., PARISE M. & SANTO A. (2010) - *Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy*. Geodinamica Acta, **23** (1/3), 113-127.
- DEL PRETE S. & PARISE M. (2007) - *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, **2**, 3-16.
- DE PASCALIS A., DE PASCALIS F. & PARISE M. (2010) - *Genesi ed evoluzione di un sinkhole connesso a cavità antropiche sotterranee nel distretto estrattivo di Cutrofiano (prov. Lecce, Puglia)*. Atti 2° Workshop Int.: "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 703-718.
- DOBEREINER L. & DE FREITAS M.H. (1986) - *Geotechnical properties of weak sandstones*. Géotechnique, **36**, 79-94.
- DYKE C.G. & DOBEREINER L. (1991) - *Evaluating the strength and deformability of sandstones*. Quart. J. Eng. Geol., **24**, 123-134.
- FESTA V., FIORE A., PARISE M. & SINISCALCHI A. (2012) - *Sinkhole evolution in the Apulian karst of southern Italy: a case study, with some considerations on sinkhole hazards*. Journal of Cave and Karst Studies, **74** (2), 137-147.
- FIDELIBUS M.D., GUTIÉRREZ F. & SPILOTRO G. (2011) - *Human-induced hydrogeological changes and sinkholes in the coastal gypsum karst of Lesina Marina area (Foggia Province, Italy)*. Eng. Geol., **118**, 1-19.
- FIORE A. & PARISE M. (2013) - *Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l'ambiente antropizzato*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 239-252.
- FIORITO F. & ONORATO R. (2004) - *Le cave ipogee di Colle S. Lazzaro - Gallipoli. Primi studi*. Atti Spelaion 2004, Lecce, 10-12 dicembre 2004, 125-136.
- GABBIANELLI G., ANTONELLINI M., MANCINI F., STECCHI F. & CASTELLARIN A. (2009) - *Sinkhole Geobazard in deformed sulphates at Marina di Lesina (Gargano promontory, Italy): a combination of anthropogenic, lithologic and structural causes*. Geophysical Research Abstract, **11**, 5934.
- GIL H., PEPE M., SORIANO M.A., PARISE M., POCOVÌ A., LUZON A., PEREZ A. & BASSO A. (2013) - *Sviluppo ed evoluzione di sprofondamenti in rocce solubili: un confronto tra il carso coperto del Bacino dell'Ebro (Spagna) e la Penisola Salentina (Italia)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 253-276.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J. & JOURDE H. (2014) - *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. Earth Science Reviews, **138**, 61-88.
- LOLLINO P. & PARISE M. (2014) - *La valutazione delle condizioni di stabilità di cavità sotterranee: approcci semplificati e metodi avanzati di calcolo*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 2/2014, 74-81.
- LOLLINO P., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2013) - *Geological survey and numerical modeling of the potential failure mechanisms of underground caves*. Geosystem Engineering, **16** (1), 100-112.
- MANCINI F., STECCHI F., ZANNI M. & GABBIANELLI G. (2008) - *Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia & Herzegovina)*. Environmental Geology, **58** (2), 381-389.
- MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M. & VALLONI R. (2012) - *Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics*. Natural Hazards, **62** (2), 657-676.
- MARTIMUCCI V., RAGONE G., DENORA A. & CRISTALLO F. (2010) - *Le cave di tufo di Altamura - Prime relazioni e notizie sulle esplorazioni*. Atti XII Incontro Reg. Speleol.: "Spelaion 07", Altamura, 7-9 dicembre 2007, 91-102.
- MELONI F., NISIO S., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2013) - *Il Catalogo unificato dei sinkholes della regione Lazio*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 321-354.
- NISIO S. (2008) (a cura di) - *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**, 475 pp.
- NISIO S. (2010) - *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*. Atti 2° Workshop internazionale: "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma 3-4 dicembre 2009, ISPRA, 845-864.
- NISIO S., CARAMANNA G. & CIOTOLI G. (2007) - *Sinkholes hazard in Italy: first results on the inventory and analysis of some case studies*. In: PARISE M. & GUNN J. (Eds.), *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society, London, Special Publications, **279**, 23-45.
- NISIO S. & SCAPOLA F. (2005) - *Individuazione di aree a rischio sinkhole: nuovi casi nel Lazio meridionale*. Il Quaternario, **18** (2), 223-239.
- PARISE M. (2008) - *Rock failures in karst*. In: CHENG Z., ZHANG J., LI Z., WU F. & HO K. (Eds.): *Landslides and Engineered Slopes*. Proc. 10th International Symposium on Landslides, Xi'an (China), June 30 - July 4, 2008, **1**, 275-280.
- PARISE M. (2010) - *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: CARRASCO F., LA MOREAUX J.W., DURAN VALSERO J.J. & ANDREO B. (Eds.): *Advances in research in karst media*. Springer, 441-447.
- PARISE M. (2012) - *A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries*. Carbonates and Evaporites, **27** (2), 109-118.
- PARISE M. (2015) - *A procedure for evaluating the susceptibility to natural and anthropogenic sinkholes*. Georisk, DOI:10.1080/17499518.2015.1045002.
- PARISE M. & LOLLINO P. (2011) - *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, **134** (1-2), 132-143.

- PARISE M. & VENNARI C. (2013) - *A chronological catalogue of sinkholes in Italy: the first step toward a real evaluation of the sinkhole hazard*. In: LAND L., DOCTOR D.H. & STEPHENSON B. (Eds.), Proc. 13th Multidisc. Conf. on Sinkholes and the Engineering and Environ. Impacts of Karst, Carlsbad (New Mexico, USA), 6-10 May 2013, Natl. Cave and Karst Res. Inst., 383-392.
- PARISE M., CALÒ F., FORNARO G. & ZENI G. (2013) - *L'utilizzo del monitoraggio satellitare e di superficie per la mitigazione del rischio derivante da sprofondamenti di origine naturale e antropica*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 355-364.
- PARISE M., VENNARI C., GUZZETTI F., MARCHESINI I. & SALVATI P. (2013) - *Preliminary outcomes from a catalogue of natural and anthropogenic sinkholes in Italy, and analysis of the related damage*. Rendiconti Online della Società Geologica Italiana, **24**, 225-227.
- PEPE M. & PARISE M. (2014) - *Structural control on development of karst landscape in the Salento Peninsula (Apulia, SE Italy)*. Acta Carsologica, **43** (1), 101-114.
- PEPE P., GARZIANO G. & PARISE M. (2013a) - *L'utilizzo delle tecniche GIS per la valutazione della suscettibilità a sprofondamenti: il caso di studio di Altamura (BA)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **93**, 365-380.
- PEPE P., PENTIMONE N., GARZIANO G., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2013b) - *Lessons learned from occurrence of sinkholes related to man-made cavities in a town of southern Italy*. In: LAND L., DOCTOR D.H. & STEPHENSON B. (Eds.), Proc. 13th Multidisc. Conf. on Sinkholes and the Engineering and Environ. Impacts of Karst, Carlsbad (New Mexico, USA), 6-10 May 2013, Natl. Cave and Karst Res. Inst., 393-401.
- PEPE P., PENTIMONE N., GARZIANO G., PARISE M., MARTIMUCCI V. & LORUSSO G. (2013c) - *Le cave sotterranee di Altamura. Fasi operative per la mappatura e per il supporto alle attività di bonifica*. Atti del Convegno: "Studi ed interventi per il risanamento delle cavità antropiche e naturali. Aspetti geologici, geotecnici e sismici?", Geologia dell'Ambiente, suppl. 2/2013, 33-40.
- TAVIANI M., ANGELETTI L., CAMPIONI E., CEREGATO A., FOGLINI F., MASELLI V., MORSILLI M., PARISE M. & TRINCARDI F. (2012) - *Drowned karst landscapes offshore the Apulian Margin (Southern Adriatic Sea, Italy)*. Journal of Cave and Karst Studies, **74** (2), 197-212.
- VATTANO M., BONAMINI M., PARISE M., LOLLINO P., DI MAGGIO C. & MADONIA G. (2014) - *Le cave sotterranee di Marsala (Sicilia occidentale) e i fenomeni di sprofondamento connessi*. Atti VIII Conv. Naz. Speleologia in Cavità Artificiali, Speleologia Iblea, **15**, 97-103.