

Estratto da:

# OPERA IPOGEA

*Journal of Speleology in Artificial Cavities*

1-2 / 2020



## IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali (Palermo) - 20 Marzo 2020

*A cura di C. Galeazzi & P. Madonia*



Rivista della Società Speleologica Italiana

Commissione Nazionale Cavità Artificiali



ISSN 1970-9692



# IX CONVEGNO NAZIONALE SPELEOLOGIA IN CAVITÀ ARTIFICIALI

*(Palermo) - 20 Marzo 2020*



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA  
Sezione di Palermo

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO



Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare



Federazione  
Speleologica  
Regionale Siciliana

**HYPOGEA**



# IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali

(Palermo) 20 Marzo 2020

SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA (SSI)  
COMMISSIONE NAZIONALE CAVITÀ ARTIFICIALI (CNCA)

## Comitato organizzatore

---

*Paolo Madonia (Presidente)*

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Palermo; CNCA SSI

*Carla Galeazzi*

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

*Michele Betti*

Commissione Nazionale Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana

*Marcello Panzica La Manna*

Società Speleologica Italiana

*Elena Alma Volpini*

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

## Enti Promotori

---

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Università degli Studi di Palermo, Dip. di Scienze della Terra e del Mare

Società Italiana di Geologia Ambientale

Hypogea Ricerca e Valorizzazione Cavità Artificiali

## Patrocini istituzionali

---

Federazione Speleologica Regionale Siciliana

## Comitato Scientifico

---

*Michele Betti*

CNCA SSI

*Roberto Bixio*

Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

*Vittoria Caloi*

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; CNCA SSI

*Marianna Cangemi*

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

*Andrea De Pascale*

Direttore Editoriale Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

*Sossio Del Prete*

CNCA SSI

*Carla Galeazzi*

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

*Carlo Germani*

Egeria Centro Ricerche Sotterranee, Roma; Hypogea; CNCA SSI

*Giuliana Madonia*

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

*Massimo Mancini*

Università degli Studi del Molise, Campobasso; CNCA SSI

*Mario Parise*

Università Aldo Moro, Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Bari

*Stefano Saj*

Direttore Responsabile Opera Ipogea; Centro Studi Sotterranei, Genova; CNCA SSI

*Pietro Todaro*

Società Italiana di Geologia Ambientale

*Marco Vattano*

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare

- pag. 9 **Prefazione**  
*Carla Galeazzi, Paolo Madonia*

## OMAGGIO ALLA CITTÀ DI PALERMO E A SANTA ROSALIA SUA PATRONA

- pag. 13 **Le più antiche mappe geografiche del sottosuolo. Le incisioni dei rilievi delle grotte di Santa Rosalia a Palermo e a Santo Stefano Quisquina (Agrigento)**

The oldest underground geographical maps. The engravings of the maps of the caves of Santa Rosalia in Palermo and in Santo Stefano Quisquina (Agrigento province, Sicily, Italy)

*Massimo Mancini, Paolo Forti*

## ANTICHE OPERE IDRAULICHE, SISTEMI DI RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

- pag. 29 **Attualità dei sistemi idrici ipogei di raccolta delle acque piovane**

Modernity of rain harvesting underground systems

*Paolo Madonia, Marianna Cangemi, Ygor Oliveri*

- pag. 35 **La pratica dei sistemi d'acqua sotterranei "ingruttati" nella Piana di Palermo e analisi della terminologia di riferimento**

The practice of the underground water systems *ingruttati* of the Piana di Palermo (Sicily, Italy) and analysis of reference terminology

*Pietro Todaro*

- pag. 45 **Il *qanat* di Villa Riso (Palermo, Sicilia)**

The Villa Riso *qanat* (Palermo, Sicily, Italy)

*Giuseppe Avellone, Marco Vattano, Giuliana Madonia, Cipriano Di Maggio*

- pag. 53 **Indagini preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico nell'area dell'*Insula I* di Capo Boeo (Marsala, Sicilia occidentale)**

Preliminary investigations on water supply systems in the *Insula I* area of Capo Boeo (Marsala, Western Sicily, Italy)

*Laura Schepis, Pietro Valenti, Marco Vattano*

- pag. 59 **Paolazzo: un acquedotto a tre strati (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa)**

Paolazzo: a three layers aqueduct (Noto - Canicattini Bagni, Siracusa province, Italy)

*Paolo Cultrera, Luciano Arena*

- pag. 67 **Antiche strutture di trasporto idrico nel sottosuolo etneo (Catania, Sicilia)**

Ancient water pipes in Etna's underground (Catania province, Sicily, Italy)

*Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola*

- pag. 75 **Indagini speleologiche preliminari sui sistemi di approvvigionamento idrico di acque meteoriche nell'area dell'ex ospedale psichiatrico di Agrigento (Sicilia)**  
Preliminary speleological investigations on the water supply systems of rainwater in the area of the former psychiatric hospital in Agrigento (Sicily, Italy)  
*Giuseppe Lombardo, Giovanni Noto, Marco Interlandi, Elisabetta Agnello, Eugenio Vecchio, Giovanni Buscaglia*
- pag. 83 **Roma: la valle del Velabro, il Tevere e il canale idraulico dei Tarquini prima della Cloaca Massima**  
Rome: the Velabrum valley, the Tiber and the Tarquini's hydraulic canal before the Cloaca Maxima  
*Elisabetta Bianchi, Piero Bellotti*
- pag. 91 **Sedici ponti-acquedotto romani appartenenti ai quattro acquedotti anienesi siti tra Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola e San Vittorino di Roma (Roma, Lazio)**  
Sixteen Roman aqueduct-bridges belonging to the four Anienesi aqueducts located between Galliciano nel Lazio, San Gregorio da Sassola and San Vittorino di Roma (Roma province, Latium, Italy)  
*Luigi Casciotti*
- pag. 101 **Sistema di drenaggio artificiale dei bacini vulcanici Albano e Turno (Lazio): analisi delle modificazioni nel corso dei secoli**  
Artificial drainage system of the volcanic basin of Albano and Turno (Latium, Italy): analysis of the modifications of the hydraulic environment over the centuries  
*Carlo Germani, Carla Galeazzi, Vittoria Caloi, Sandro Galeazzi*
- pag. 109 **Anagni (Frosinone, Lazio): antichi sistemi di captazione delle vene d'acqua sotterranee, loro canalizzazione e immagazzinamento**  
Anagni (Frosinone province, Latium, Italy): ancient collection systems of underground water veins, their ducting and storage  
*Mara Abbate, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Andreas Schatzmann, Elena Alma Volpini*
- pag. 119 **L'approvvigionamento idrico nelle aree vulcaniche dei Monti Cimini (Viterbo, Lazio) nell'antichità: nuove acquisizioni**  
Water supply in volcanic areas of Cimini Mountains (Viterbo province, Latium, Italy) during ancient times: new data  
*Andrea Sasso, Gabriele Trevi*
- pag. 129 **Nuovi ritrovamenti e studio del tracciato dell'Acquedotto Augusteo che costeggia il versante occidentale della collina di Posillipo (Napoli, Campania)**  
New discoveries and research of the route of the Augustan aqueduct that follows the western slopes of the Posillipo hill (Naples, Campania, Italy)  
*Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Luigi De Santo, Marco Ruocco*
- pag. 137 **Aqua Augusta Campaniae: il doppio speco di via Olivetti (Pozzuoli, Napoli)**  
*Aqua Augusta Campaniae: the twin channels in Olivetti road (Pozzuoli, Naples province, Italy)*  
*Graziano Ferrari, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni*
-

- pag. 145 Parco delle terme di Baia (Bacoli, Napoli): le cisterne del settore dell' *Ambulatio***  
Baia baths archaeological Park (Bacoli, Naples province, Italy): the water tanks in the *Ambulatio* sector  
*Graziano Ferrari, Daniele De Simone, Raffaella Lamagna, Elena Rognoni*
- pag. 153 Le monumentali neviere del Materano (Basilicata)**  
The majestic ice-houses in the Matera area (Basilicata, Italy)  
*Raffaele Paolicelli, Francesco Foschino, Angelo Fontana*
- pag. 159 Il censimento degli antichi acquedotti della provincia di Bologna**  
Ancient aqueducts in the Bologna province (Italy): preliminary list  
*Danilo Demaria*
- pag. 169 Il sistema di intercettazione e accumulo delle acque meteoriche nell'abitato rupestre della morgia di Pietravalle a Salcito (Campobasso, Molise)**  
The system of interception and accumulation of rainwater in the cave settlement of the morgia of Pietravalle in Salcito (Campobasso province, Molise, Italy)  
*Carlo Ebanista, Andrea Capozzi, Andrea Rivellino, Fernando Nobile, Massimo Mancini*
- pag. 179 Opere idrauliche a scopo di bonifica nel territorio Salentino (Puglia)**  
Hydraulic works for land reclamation in Salento (southern Apulia, Italy)  
*Marcello Lentini, Mario Parise, Francesco De Salve*
- pag. 187 Acquedotti romani in Sardegna, sintesi delle conoscenze e prospettive esplorative**  
Roman aqueducts in Sardinia (Italy), synthesis of knowledge and exploration perspectives  
*Pier Paolo Dore, Marco Mattana*
- pag. 197 L'antico acquedotto della seicentesca Fonte Cesia in Todi**  
The ancient aqueduct of the 1600's Fonte Cesia in Todi (Perugia province, Italy)  
*Maurizio Todini*

## MONITORAGGIO E PREVENZIONE, CENSIMENTI E CATALOGAZIONE

- pag. 207 Strumentazione geofisica in cavità artificiali per il monitoraggio sismico e per lo studio di precursori sismici**  
Geophysics instrumentation in artificial cavities for seismic monitoring and for the study of seismic precursors  
*Paolo Casale, Adriano Nardi, Alessandro Pignatelli, Elena Spagnuolo, Gaetano De Luca, Giuseppe Di Carlo, Marco Tallini, Sandro Rao*
- pag. 215 Individuazione di cavità attraverso tomografie elettriche e sismiche**  
Cavity detection using seismic refraction and electrical resistivity tomographies  
*Alessandra Carollo, Patrizia Capizzi, Raffaele Martorana, Marco Vattano*
- pag. 221 Applicazione di una procedura per la valutazione della suscettibilità a crolli di cavità artificiali**  
Implementing a procedure for the assessment of the susceptibility to collapse in artificial cavities  
*Antonio Gioia, Mario Parise*

- pag. 229 Modello geologico tridimensionale del sottosuolo e dello sviluppo delle cavità in un'area fortemente urbanizzata della Campania settentrionale**  
3D geological underground model and artificial caves development in a northern Campania highly urbanized area (Italy)  
*Daniela Ruberti, Paolo Maria Guarino, Salvatore Losco, Marco Vigliotti*
- pag. 237 Le cavità nel sottosuolo del territorio di Sant'Arpino (Caserta, Campania): catalogazione in ambiente GIS**  
The underground cavities in the territory of Sant'Arpino (Caserta province, Campania, Italy): a GIS-based register  
*Marco Vigliotti, Luca Dell'Aversana, Daniela Ruberti*
- pag. 245 Cavità artificiali nel centro storico di Ginosa (Taranto, Puglia) e relative problematiche di dissesto geo-idrologico**  
Artificial cavities in the historical center of Ginosa (Taranto province, Apulia, Italy) and related geo-hazard issues  
*Mario Parise*
- pag. 253 Cavità artificiali nel Parco di Portofino (Genova, Liguria): censimento e classificazione**  
Artificial cavities in Portofino Park (Metropolitan City of Genoa, Liguria, Italy): inventory and classification  
*Francesco Faccini, Lara Fiorentini, Martino Terrone, Luigi Perasso, Stefano Saj*
- pag. 263 Le cavità antropiche di Gravina in Puglia (Bari, Puglia): aspetti storici e geotecnici**  
Historical and geotechnical aspects of the artificial caves in the urban settlement of Gravina in Puglia (Bari province, Apulia, Italy)  
*Alessandro Parisi, M. Dolores Fidelibus, Valeria Monno, Michele Parisi, Natale Parisi, Vito Specchio, Giuseppe Spilotro*

## OPERE INSEDIATIVE CIVILI, ESTRATTIVE, BELLICHE E DI TRANSITO

- pag. 275 Il complesso rupestre della Théotokos Kilise (Göreme, Cappadocia, Turchia)**  
The Théotokos Kilise rupestrian complex (Göreme province, Cappadocia, Turkey)  
*Carmela Crescenzi*
- pag. 285 Riscoperta di alcuni ipogei artificiali nel Comune di Sutera (Caltanissetta, Sicilia centrale)**  
Re-discovery of some man-made cavities in the Sutera Municipality (Caltanissetta province, central Sicily, Italy)  
*Marco Vattano, Nino Pardi, Antonio Domante, Pietro Valenti, Giuliana Madonna*
- pag. 293 Sistemi ipogei di Massa Martana (Perugia) in Umbria. Indagini preliminari**  
Hypogeal systems at Massa Martana in Umbria (Perugia province, Italy). Preliminary investigations  
*Giulio Foschi, Gianluigi Guerriero Monaldi, Virgilio Pendola*

- pag. 303 Insedimenti rupestri dell'Alto Crotonese (Calabria)**  
Cave settlements in the "Alto Crotonese" (Crotona province, Calabria, Italy)  
*Felice Larocca, Francesco Breglia, Katia Rizzo*
- pag. 311 Molarice, la miniera dimenticata (Schilpario, Bergamo)**  
Molarice, the forgotten mine (Schilpario, Bergamo province, Italy)  
*Giovanni Belvederi, Maria Luisa Garberi, Guglielmo Sarigu*
- pag. 321 Le latomie ipogee del Plemmirio (Siracusa, Sicilia sud-orientale)**  
The hypogean Quarries of *Plemmirio*, (Siracusa, South-eastern Sicily, Italy)  
*Luciano Arena, Corrado Marziano*
- pag. 329 Le cave di "ghiara" nella provincia di Catania: aggiornamenti su recenti rinvenimenti (Catania e Pedara, Sicilia)**  
"Ghiara" quarries in Catania province: news on recent discoveries (Sicily, Italy)  
*Gaetano Giudice, Francesco Politano, Alfio Cariola*
- pag. 337 Le gallerie della ferrovia dimenticata che collegava Sasso Marconi a Lagaro (Bologna) e il più importante sito strategico italiano della Seconda Guerra Mondiale**  
The tunnels of the forgotten railway Sasso Marconi-Lagaro (Bologna province, Italy) and the most important Italian strategic site in the Second World War  
*Danilo Demaria*
- pag. 347 The underground shelters of Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turkey)**  
I rifugi sotterranei di Kanlısivri Mevkii in Göreme (Cappadocia, Turchia)  
*Pierre Lucas, Roberto Bixio*
- pag. 357 Ritrovamento di un ricovero antiaereo dell'isola di Malta. Quadro comparativo con i ricoveri antiaerei di Napoli (Campania)**  
New discovery and research of an air-raid shelter in Malta island. Comparison with the air-raid shelters of Naples (Campania, Italy)  
*Mauro Palumbo, Mario Cristiano, Serena Russo, Marco Ruocco*
- pag. 365 I rifugi antiaerei di Porto Torres (Sassari, Sardegna)**  
The Porto Torres air-raid shelters (Sassari province, Sardinia, Italy)  
*Pier Paolo Dore, Eleonora Dallochio*
- pag. 373 Indice per autori**
-

# OPERA IPOGEA

*Memorie della Commissione Nazionale Cavità Artificiali*  
*www.operaipogea.it*

**Semestrale della Società Speleologica Italiana**

**Anno 22 - Numero 1/2 - Gennaio/Dicembre 2020**

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 7702 dell'11 ottobre 2006

**Proprietario:**

*Società Speleologica Italiana*

**Direttore Responsabile:**

*Stefano Saj*

**Direttore Editoriale:**

*Andrea De Pascale*

**Comitato di Redazione:**

*Michele Betti, Vittoria Caloi, Sossio Del Prete,  
Carla Galeazzi, Carlo Germani, Mario Parise*

**Sede della Redazione:**

*c/o Andrea De Pascale - Corso Magenta, 29/2 - 16125 Genova*  
*andreadepascale@libero.it*

**Comitato Scientifico:**

*Roberto Bixio, Elena Calandra, Franco Dell'Aquila, Carlo Ebanista,  
Angelo Ferrari, Nakiş Karamağarali (TR), Aldo Messina, Roberto Nini, Mario Parise,  
Mark Pearce (UK), Fabio Redi, Stefano Saj, Jérôme Triôlet (FR), Laurent Triôlet (FR)*

**Recensioni:**

*Roberto Bixio - Via Avio, 6/7 - 16151 Genova*  
*roberto\_bixio@yahoo.it*

**Composizione e impaginazione:**

*Fausto Bianchi, Enrico Maria Sacchi*

**Foto di copertina:**

*Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista*

**Foto quarta di copertina:**

*Immagini tratte dagli articoli del presente numero doppio della rivista*

**La rivista viene inviata in omaggio ai soci sostenitori e ai gruppi associati alla SSI**

**Prezzo di copertina:**

Euro 40,00

**Tipografia:**

A.G.E. s.r.l.

Via della Stazione, 41

61029 Urbino (PU)

Tel. 0722 328756

**Il contenuto e la forma degli articoli pubblicati impegnano esclusivamente gli autori.  
Nessuna parte della presente pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo  
senza il consenso scritto degli autori.**

# Applicazione di una procedura per la valutazione della suscettibilità a crolli di cavità artificiali

## Implementing a procedure for the assessment of the susceptibility to collapse in artificial cavities

Antonio Gioia<sup>1</sup>, Mario Parise<sup>1, 2, 3</sup>

### Riassunto

Il presente lavoro consiste nella applicazione di una procedura definita per la valutazione della suscettibilità da crolli, e del possibile sviluppo di sprofondamenti, a seguito della presenza di vuoti sotterranei. Visto l'argomento del presente convegno, ci si atterrà a casi relativi a cavità artificiali, anche se la procedura può essere utilizzata alla stessa maniera per cavità carsiche di origine naturale. A partire dalla disponibilità del rilievo speleologico delle cavità in questione, mediante osservazioni dirette sul campo, misure in sito e valutazioni qualitative sui caratteri delle discontinuità osservate, si procede a valutare la suscettibilità preliminare, indicando le possibili situazioni di instabilità che potrebbero riguardare i siti in esame. Particolare attenzione viene prestata alla possibile interazione delle cavità in esame con altre limitrofe, e/o poste a livelli sottostanti o sovrastanti.

*Parole chiave: cavità artificiali, sprofondamento, procedura, suscettibilità.*

### Abstract

The present contribution consists in the implementation of a procedure established for assessing the susceptibility to collapse, and the possible development of sinkholes at the surface, linked to presence of underground voids. Given the theme of this conference, the work will deal exclusively with artificial cavities, even though the procedure can be applied to natural karst caves, too. Starting from availability of the speleological survey of the studied cavities, through direct observation in the field, measurements, and qualitative evaluations on the characters of the main discontinuity systems, the preliminary susceptibility is evaluated, and the possible instability situations identified and described. A particular attention is given to the likely interaction of the examined cavities with others nearby, and/or located at lower or upper levels.

*Keywords: artificial cavities, sinkhole, procedure, susceptibility.*

## Stabilità di cavità artificiali

Le cavità artificiali caratterizzano diffusamente ampi settori del territorio pugliese, e in particolare il settore delle gravine dell'arco ionico tarantino, uno dei luoghi di massimo sviluppo della cosiddetta "civiltà rupestre" in Italia (Fonseca, 1980; Parise, 2012a; Polimeni *et al.*, 2019). Pur essendo siti di grande fascino e interesse storico-culturale, molte cavità sono in stato di abbandono e degrado, di frequente interessate da scarico illegale di rifiuti e coinvolte da eventi di dissesto, che talora giungono a interessare la superficie, producendo

casi di sprofondamento (Parise, 2007). Risulta pertanto necessario valutare attentamente le condizioni di stabilità delle cavità sotterranee, soprattutto laddove queste costituiscono intricate reti ipogee, posizionate immediatamente al di sotto di aree urbanizzate, potenzialmente interessate da propagazione dei dissesti. I metodi per la valutazione della stabilità di cavità sotterranee disponibili in letteratura comprendono in genere approcci empirici o empirico-statistici e approcci analitici, fino ad arrivare a modellazioni numeriche e metodologie statistiche multivariate (Lollino & Parise, 2014). Qualunque sia l'approccio implementato,

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università Aldo Moro, Bari

<sup>2</sup> Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, CNR, Bari

<sup>3</sup> Commissione Nazionale Cavità Artificiali, Società Speleologica Italiana

Autore di riferimento: Mario Parise - mario.parise@uniba.it

risulta fondamentale il modello geologico-geotecnico di riferimento, che deve essere basato su parametri geomeccanici accurati, e soprattutto appropriati allo specifico contesto geologico ed ambientale. Nel caso di siti ipogei, siano essi di origine naturale (carsica) o artificiale, la stabilità può essere valutata combinando la parametrizzazione morfometrica con elementi di conoscenza sul comportamento deformativo dell'ammasso roccioso nelle particolari condizioni di stato tensionale che lo caratterizzano (Barla, 2005; Andriani, 2015). In genere, l'analisi di stabilità di cavità sotterranee viene eseguita mediante il ricorso a metodi di calcolo semplificato basati sull'analisi limite per materiali a comportamento elasto-plastico ideale. I meccanismi di collasso osservati sono riconducibili a tre tipologie principali:

- 1) collasso per formazione di blocchi cinematicamente instabili che possono scivolare e/o ribaltare lungo le pareti laterali dell'ipogeo;
- 2) collasso per formazione di cunei cinematicamente instabili che possono staccarsi dalla volta o scivolare dalle pareti;
- 3) collasso della volta per ribaltamento o flessione orizzontale.

Le cavità artificiali, nel tempo, possono tendere a rappresentare un pericolo per il territorio sovrastante.

Sin dall'antichità l'uomo ha usato scavare le rocce tenere per costruire varie tipologie di cavità: insediamenti, vie idrauliche per l'approvvigionamento di acqua e per l'estrazione di materiale da costruzione, ecc. Il progressivo abbandono delle cavità è spesso all'origine dello sviluppo di processi di degradazione che tendono progressivamente a peggiorare le caratteristiche fisiche degli ammassi rocciosi. L'espansione crescente delle aree urbane concorre all'aumento del rischio per la società, un processo ulteriormente favorito dalla perdita di memoria delle cavità stesse, a seguito della chiusura degli ingressi e della perdita di informazioni sulla effettiva distribuzione spaziale degli ambienti ipogei.

Tutto ciò è all'origine della maggior parte degli eventi di sprofondamento (*sinkholes*) che periodicamente avvengono in Puglia, sia nelle aree urbanizzate che nelle periferie dei grandi centri abitati. I *sinkholes* sono eventi tipici dei territori carsici (Waltham *et al.*, 2005; Parise, 2008, 2012b, 2015a,b,c; Gutiérrez *et al.*, 2008, 2014; De Waele *et al.*, 2011), ma in questo caso essi risultano associati alla presenza di cavità artificiali. Sono causati da processi sotterranei, indotti da particolari condizioni microclimatiche dei siti, che portano alla progressiva alterazione e degradazione dell'ammasso roccioso, e una volta raggiunta la superficie comportano il collasso della stessa, specialmente quando le cavità sono localizzate a bassa profondità (entro i primi 10 m dalla superficie).

L'evoluzione dei processi di instabilità nelle cavità sotterranee dipende da fattori interni ed esterni. I primi consistono nella bassa resistenza meccanica delle rocce tenere (Andriani e Walsh, 2006, 2010) mentre i secondi sono quelli antropici. Alcuni dei più comuni processi di evoluzione derivano dal continuo crollo del tetto delle cavità fino a raggiungere la superficie del suolo e generare gli sprofondamenti (Tharp, 1995;

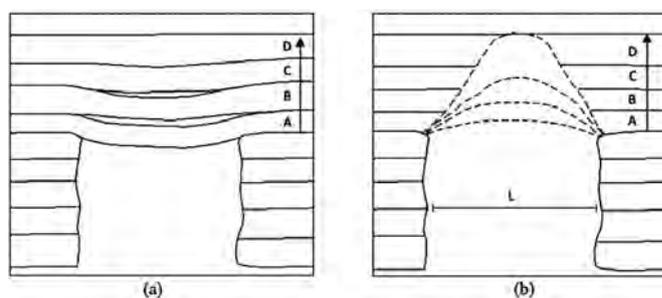


Fig. 1 – Evoluzione di grotte in ammassi rocciosi stratificati: inflessione elastica degli strati (a) e formazione di arco ogivale per crolli successivi (b; da Andriani, 2015).

Fig. 1 – Evolution of caves in stratified rock masses: elastic sagging of the layers (a) and development of an arch due to successive falls (b; after Andriani, 2015).

Klimchouk e Andrejchuk, 2002; Waltham e Fookes, 2003; Delle Rose *et al.*, 2004; Canakci, 2007; Parise e Gunn, 2007; Parise *et al.*, 2019).

Un altro elemento che può portare ad una potenziale situazione di pericolo è legato alla presenza di ammassi rocciosi stratificati che sono soggetti ad una flessione orizzontale della volta. Gli archi ogivali che si originano dal crollo, propagandosi verso l'alto, causano i *sinkholes* (fig. 1). A seguito della formazione di un arco ogivale, le tensioni delle rocce soprastanti vengono trasferite alle pareti laterali della cavità sovraccaricando i pilastri che sono soggetti ad un rigonfiamento.

## Valutazione preliminare della suscettibilità a crolli: applicazione a due casi di studio

Il territorio di Ginosa è stato interessato negli ultimi anni da numerosi eventi alluvionali e di dissesto, legati alla forte presenza di sistemi di cavità a più livelli sui fianchi della omonima gravina. Come evidenziato in un altro contributo pubblicato su questo volume (Parise, 2020), a seguito di tali eventi sono state censite ed ispezionate oltre 200 cavità artificiali che insistono al di sotto o ai margini del centro storico di Ginosa (fig. 2).

Nel presente contributo si prendono in esame due cavità ritenute particolarmente rappresentative delle condizioni di molti ambienti ipogei di questo territorio (nn. 76 e 94, cerchiato in rosso in fig. 2). Su tali cavità è stata applicata una procedura (Parise, 2015a, 2017) per la valutazione della suscettibilità a crolli connessi alla presenza di cavità artificiali, che si concretizza nei seguenti interventi:

1. individuazione delle cavità sotterranee, mediante le varie fonti possibili (sopralluoghi, ricerca storica, informazioni dai residenti, ecc.);
2. identificazione della tipologia di cavità secondo la codifica della CNCA SSI;
3. indagine speleologico-topografica;
4. indagine sulle strutture costruttive e architettoniche e sul loro stato;

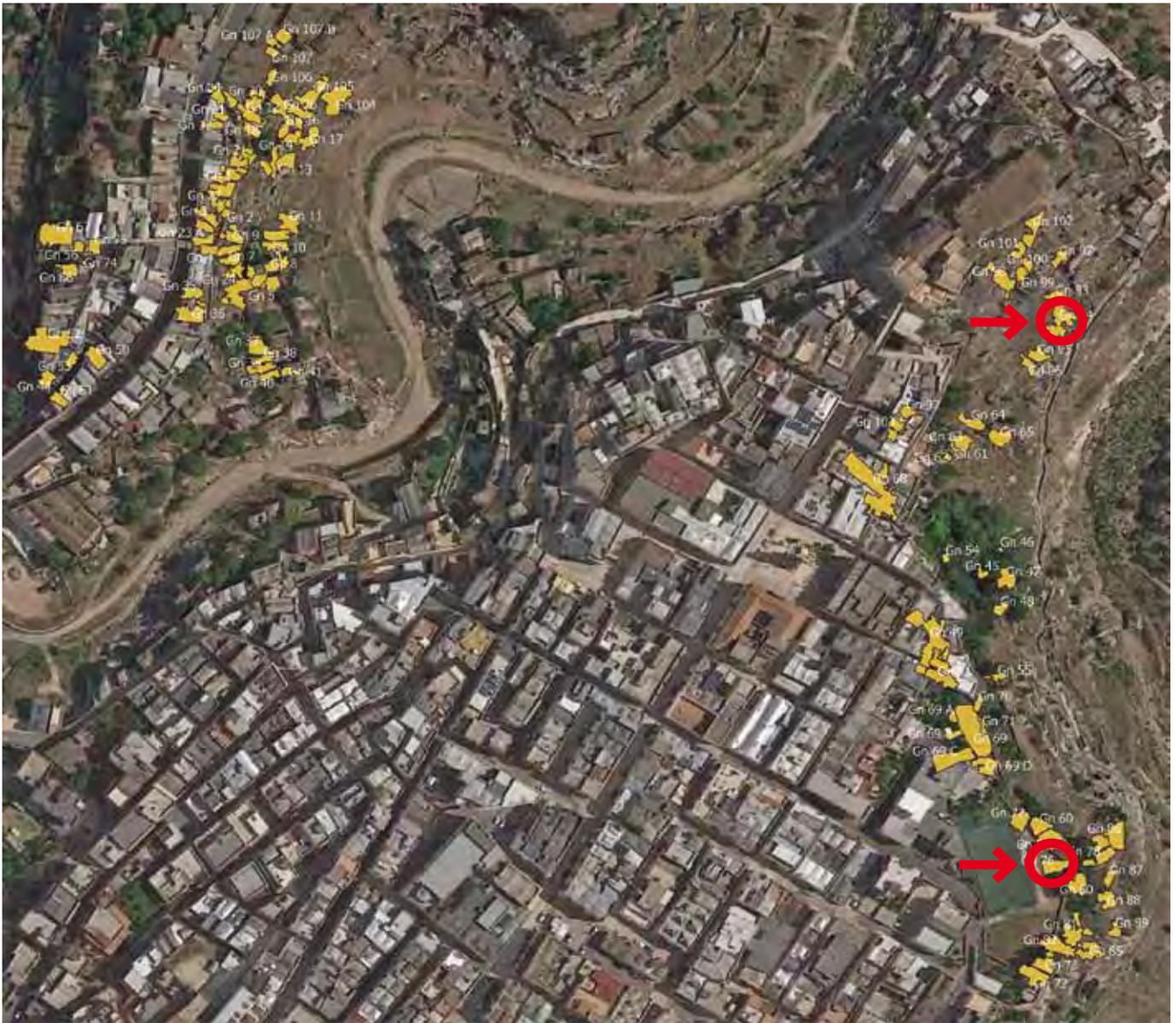


Fig. 2 – Distribuzione spaziale delle cavità artificiali ispezionate nel corso della campagna 2018-19. Le due cavità oggetto del presente studio sono cerchiare in rosso (base fotografica: Google Earth; elaborazione grafica M. Parise).

*Fig. 2 – Spatial distribution of the artificial cavities that have been surveyed during the 2018-19 campaign. The two cavities examined in this study are circled in red (photo after Google Earth; graphic elaboration M. Parise).*

5. identificazione degli elementi di instabilità;
6. verifica eventuale presenza di infiltrazioni di acqua;
7. zonazione preliminare;
8. analisi della stabilità;
9. analisi geotecniche di laboratorio e/o monitoraggio;
10. analisi della stabilità (2D o 3D).

Nel dettaglio, viene data grande importanza al rilievo delle discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso in cui sono scavate le cavità (figg. 3 e 4), e che condizionano fortemente i possibili meccanismi e cinematismi di distacco di porzioni di roccia. Allo stesso tempo, non devono essere trascurati gli aspetti litologici e stratigrafici, con passaggi tra litotipi diversi, e le opere e strutture di sostegno, eventualmente realizzate dall'uomo in epoche diverse all'interno delle cavità (fig. 5). Idealmente, tutte le fasi su elencate dovreb-

bero essere eseguite in ordine per giungere a una corretta e completa valutazione della possibilità di crolli; tuttavia, poiché alcune delle operazioni non sono di facile esecuzione, oltre ad essere costose e fortemente condizionate da vincoli logistici, il modo più rapido di procedere consiste nel considerare i primi 7 punti, fino ad ottenere almeno una zonazione preliminare delle aree più probabili interessate da crolli parziali o da rottura generale.

### Cavità 76

La cavità ha un unico ingresso rivolto ad est, che si apre sul versante sud della gravina (coordinate 40°34'46.55" N 16°45'41.71" E; fig. 6). Secondo la co-



Fig. 3 – Discontinuità nell'ammasso calcarenitico, con presenza di un livello di conglomerati al contatto con il sottostante calcare (foto M. Parise).

*Fig. 3 – Discontinuities in the calcarenite rock mass, with presence of a layer of conglomerate marking the stratigraphic passage to the underlying limestone bedrock (photo M. Parise).*



Fig. 4 – Sistemi di discontinuità nell'ammasso calcarenitico in parete (foto e grafica A. Gioia).

*Fig. 4 – Discontinuity systems in the calcarenite rock mass on the cavity wall (photo and graphic A. Gioia).*

difica tipologica della Commissione Nazionale Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana, la cavità è classificabile come cavità artificiale di tipo E: opere estrattive, in questo caso riutilizzata come riparo e mangiatoia per gli animali da pascolo, attualmente in stato di abbandono. La cavità si sviluppa orizzontalmente per circa 11 m con una larghezza massima di 6.5 m, e un dislivello di 50-70 cm rispetto al livello di ingresso. Nella parte più interna sono presenti strutture per l'abbeveraggio del bestiame. L'ambiente è contaminato da rifiuti solidi (plastica). Il quadro fessurativo all'interno della cavità mostra lesioni di notevole lunghezza, che la interessano per tutta la sua estensione: si vedano ad esempio le fratture 8 e 9 in fig. 6, con altre posizionate all'incirca perpendicolari a queste, o concentrate lungo alcuni punti delle pareti (fig. 7). Sebbene la spaziatura delle discontinuità non sia particolarmente elevata, esse presentano elevata apertura e indicano un livello di pericolosità medio-alto. La situazione complessiva tende ulteriormente a peggiorare allorquando si prendono in esame le cavità limitrofe e sovrastanti. In contesti complessi come quello di Ginosa, caratterizzati da cavità disposte su



Fig. 5 – Cavit  94: in alto, strutture di sostegno e muri divisorii addossati alla cavit ; in basso, particolare del contatto tra calcarenite e calcare (foto M. Parise).

Fig. 5 – Cavity no. 94: top, sustaining walls in the outer sector of the cavity; down, detail of the contact between calcarenite and limestone (photos M. Parise).

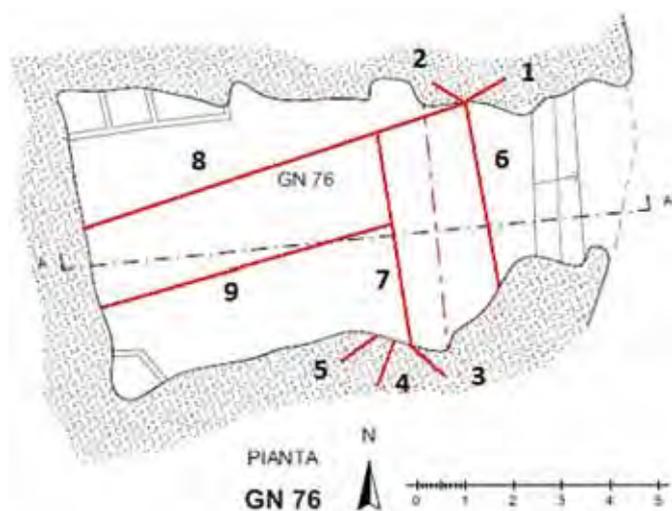


Fig. 6 – Cavità n. 76: planimetria e quadro fessurativo (rilievo della cavità a cura della Federazione Speleologica Pugliese. Grafica e rilievo strutturale a cura degli Autori).

Fig. 6 – Cavity no. 76: plan map, showing the discontinuity network (cave survey by Apulian Speleological Federation. Graphics and structural survey by the Authors).



Fig. 7 – Dettaglio di una parete all'interno della cavità n. 76, con in evidenza alcuni dei sistemi di discontinuità individuati (foto e grafica A. Gioia).

Fig. 7 – Details of a wall within the cavity no. 76, showing some of the identified discontinuities (photo and graphic A. Gioia).

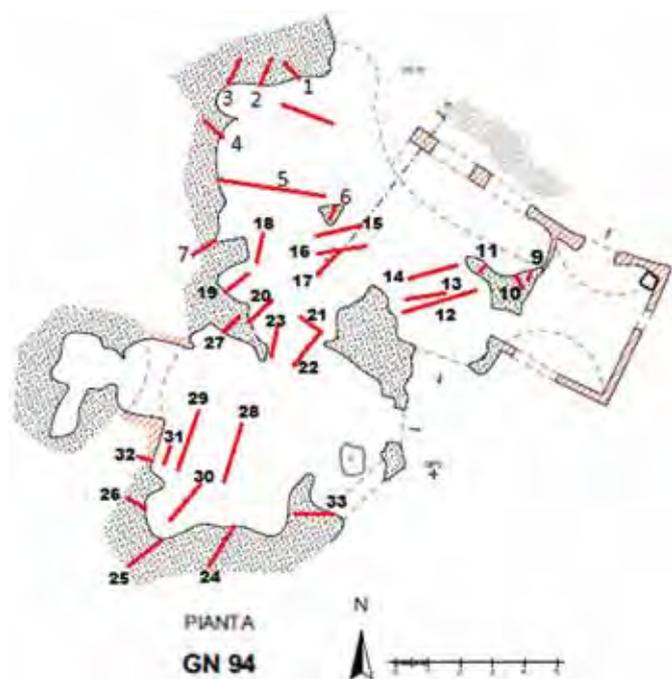


Fig. 8 – Cavità n. 94: planimetria e quadro fessurativo (rilievo della cavità a cura della Federazione Speleologica Pugliese. Grafica e rilievo strutturale a cura degli Autori).

Fig. 8 – Cavity no. 94: plan map, showing the discontinuity network (Cave survey by Apulian Speleological Federation. Graphics and structural survey by the Authors).

più livelli sovrapposti, la stabilità di un sito può essere direttamente influenzata anche dalle condizioni delle cavità limitrofe e non può essere estrapolata dal contesto generale. In conclusione, l'insieme dei fattori esaminati nella cavità 76 concorre a determinare un grado elevato di suscettibilità a crolli.

### Cavità 94

L'ingresso della cavità 94 si apre sul versante sud della gravina (coordinate 40°34'53.63" N 16°45'41.70" E). La tipologia è riconducibile alle cavità artificiali di tipo B: opere insediative civili e più precisamente alla tipologia B1 (insediamenti stabili abitativi). È scavata nella calcarenite, attualmente non è utilizzata e presenta al suo interno rifiuti solidi urbani e ingenti quantitativi di plastica. La cavità si estende per lo più orizzontalmente (fig. 8), risultando articolata e con presenza di strutture di sostegno e divisori creati in epoca recente per suddividere gli ambienti. Le discontinuità sono per lo più chiuse, di tipo capillare e non continue, con solo alcune di esse aperte, in parte riempite da calcite. Sono presenti vari sistemi di fratture che spesso si intersecano, contribuendo ulteriormente al generale indebolimento dell'ammasso roccioso; il quadro fessurativo complessivo è riportato in figura 8. All'interno della cavità, si osserva in più punti il contatto tra substrato calcareo del Cretaceo e calcarenite plio-pleistocenica (fig. 4). Al passaggio tra le due litologie, talora si individua un livello conglomeratico dello spessore pari a 10-15 cm (fig. 3).

Il generale il quadro fessurativo appare in questo caso certamente più diffuso rispetto alla cavità precedente, con sviluppo di discontinuità variabili da semi-aperte ad aperte, sia in volta che su pareti e pilastri. Particolarmente preoccupanti appaiono inoltre le condizioni di alcune porzioni più esterne della cavità, laddove le fratture da rilascio tensionale risultano beanti e isolano blocchi dell'ammasso roccioso potenzialmente instabili. Gli elementi rilevati, in termini di giacitura delle discontinuità, sono stati rappresentati mediante diagrammi stereonet (fig. 9).

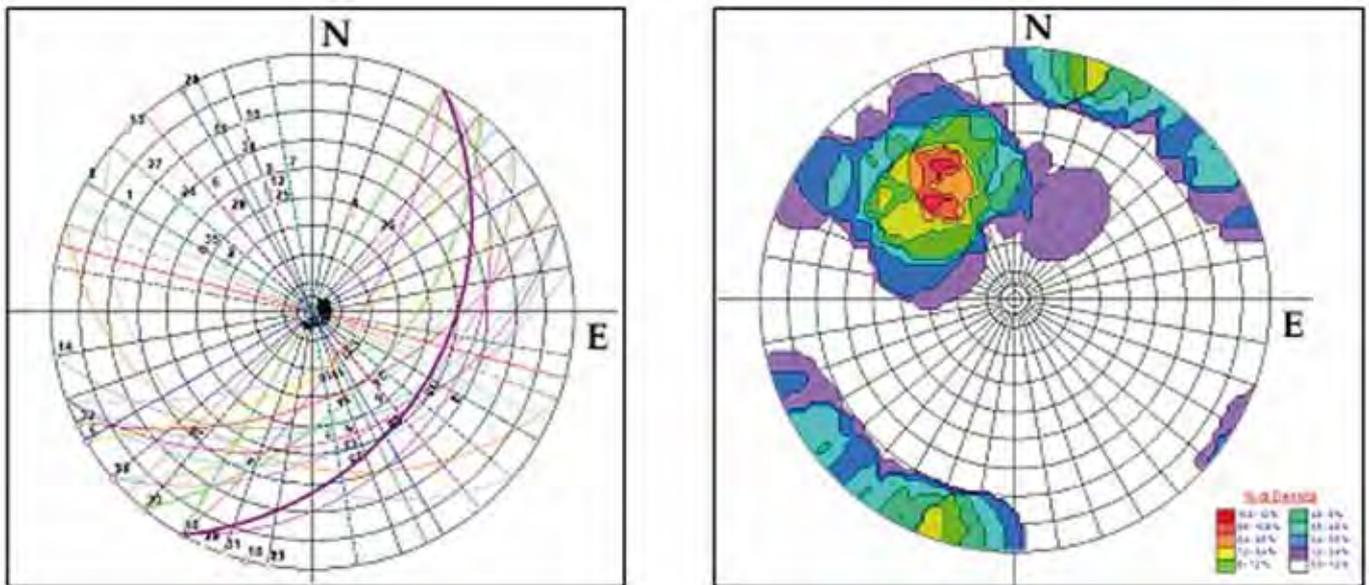


Fig. 9 – Rappresentazione mediante stereonet dei sistemi di discontinuità rilevati nella cavità n. 94. Percentuali di densità: rosso 10,8-12%, marrone 9,6-10,8%, arancio 8,4-9,6%, giallo 7,2-8,4%, verde acido 6-7,2%, verde 4,8-6%, celeste 3,6-4,8%, turchese 2,4-3,6%, viola 1,2-2,4%, bianco 0,0-1,2% (elaborazione grafica A. Gioia).

Fig. 9 – Stereonet representation of the discontinuity systems surveyed in the calcarenite rock mass at cavity no. 94. Density percentages: red 10.8-12%, brown 9.6-10.8%, orange 8.4-9.6%, yellow 7.2-8.4%, acid green 6-7.2%, green 4.8-6%, light blue 3.6-4.8%, turquoise 2.4-3.6%, purple 1.2-2.4%, white 0.0-1.2% (graphic elaboration A. Gioia).

Anche nel caso della cavità n. 94, la prossimità ad ulteriori ipogei, specialmente a NE, costituisce un elemen-

to aggiuntivo di pericolosità, vista la successione delle discontinuità rilevabile nelle varie cavità artificiali.

## Conclusioni

Lo studio vuole fornire una prima valutazione sul grado di suscettibilità a crolli delle cavità artificiali, e costituire la base per successive analisi di stabilità, anche allo scopo di salvaguardare il patrimonio storico-culturale della Gravina di Ginosa.

I risultati ottenuti al termine delle indagini condotte hanno permesso di definire un alto grado di suscettibilità a crolli di entrambe le cavità, per la presenza di molte fratture, sia in parete che in volta, dove alcune si intersecano tra loro: chiaro indizio di criticità molto elevata. Come sottolineato nel contributo, un ulteriore elemento che incide in termini fortemente negativi sulla stabilità è rappresentato dalla struttura della cavità, articolata su più livelli, il che contribuisce ad aumentare il fattore di suscettibilità ed il rischio di crolli parziali o totali sia dei settori maggiormente fessurati che di quelli caratterizzati da infiltrazioni di acqua.

## Bibliografia

- Andriani G.F., 2015, *Sulla valutazione della stabilità di cavità sotterranee in ammassi rocciosi stratificati*. Geologi e Territorio, n. 1, pp. 23-32.
- Andriani G.F. & Walsh N., 2006, *Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: qualitative and quantitative evaluations*. Engineering Geology, vol. 67, pp. 5-15.
- Andriani G.F. & Walsh N., 2010, *Petrophysical and mechanical properties of soft and porous building rocks used in Apulian monuments (south Italy)*. Geological Society, London, special publication n. 333, pp. 129-141.
- Barla G., 2005, *Sviluppi nell'analisi progettuale delle opere in sotterraneo*. Rivista Italiana di Geotecnica, n. 3, pp. 11-67.
- Canakci H., 2007, *Collapse of caves at shallow depth in Gaziantep city center, Turkey: a case study*. Engineering Geology, vol. 53, pp. 915-922.
- Delle Rose M., Federico A. & Parise M., 2004, *Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. Natural Hazards and Earth System Science, vol. 4, pp. 747-755.

- De Waele J., Gutiérrez F., Parise M. & Plan L., 2011, *Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review*. *Geomorphology*, vol. 134 (1–2), pp. 1–8.
- Fonseca C. D., 1980, *La civiltà rupestre in Puglia*. In: AA.VV, *La Puglia fra Bisanzio e l'Occidente*. Editrice Electa, Milano, 429 pp.
- Gutiérrez F., Guerrero J. & Lucha P., 2008, *A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain*. *Environmental Geology*, vol. 53, pp. 993–1006.
- Gutiérrez F., Parise M., De Waele J. & Jourde H., 2014, *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. *Earth-Science Reviews*, vol. 138, pp. 61–88.
- Klimchouk A. & Andrejchuk V., 2002, *Karst breakdown mechanisms from observation in the gypsum caves of the Western Ukraine: implications for subsidence hazard assessment*. *International Journal of Speleology*, vol. 31 (1/4), pp. 55–88.
- Lollino P. & Parise M., 2014, *La valutazione della stabilità di cavità sotterranee: approcci semplificati e metodi avanzati di calcolo*. *Geologia dell'Ambiente*, SIGEA, supplemento al n. 2, pp. 74-81.
- Parise M., 2007, *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico: le gravine dell'arco ionico tarantino*. *Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan"*, vol. 41, pp. 81-93.
- Parise M., 2008, *Rock failures in karst*. In: Cheng Z., Zhang J., Li Z., Wu F. & Ho K. (Eds.), *Landslides and Engineered Slopes*. Proc. 10<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Xi'an (China), June 30 – July 4, 2008, vol. 1, pp. 275-280.
- Parise M., 2012a, *Lo sviluppo degli insediamenti rupestri in funzione delle caratteristiche fisiografiche del territorio*. In *Atti Seminario Internazionale CRHIMA "Rupestrian settlements in the Mediterranean region"*, Massafra, Aprile-Maggio 2011, ISBN 978-88-96080-06-1, pp. 133-138.
- Parise M., 2012b, *A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries*. *Carbonates and Evaporites*, vol. 27 (2), pp. 109-118.
- Parise M., 2015a, *A procedure for evaluating the susceptibility to natural and anthropogenic sinkholes*. *Georisk*, vol. 9 (4), pp. 272-285.
- Parise M., 2015b, *Problematiche di dissesto idrogeologico connesse a cavità di origine naturale e antropica in Puglia*. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, vol. 99, pp. 411-418.
- Parise M., 2015c, *A huge cultural and historical heritage at risk: the underground settlements of southern Italy*. Proc. International Congress in Artificial Cavities "Hypogea 2015", Rome, March 11-17, pp. 53-60.
- Parise M., 2020, *Cavità artificiali nel centro storico di Ginosa (Taranto, Puglia) e relative problematiche di dissesto geo-idrologico*. *Atti IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali (Palermo)*, 20 marzo 2020, Opera Ipogea, in stampa.
- Parise M. & Gunn J. (Eds.), 2007, *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society of London, Special Publication 279, 202 pp.
- Parise M., 2017, *Il caso di Ginosa nel lavoro dell'IRPI*. In: Parisi N. (Ed.), *Il Parco delle eccellenze artigiane di Puglia. Un progetto per Ginosa*. Adda editore, ISBN9788867173181, pp. 24-35.
- Parise M., Derazza A., Garziano G., Gentile M., Lagna F., Sannicola G., Santancargelo S. & Viva M., 2019, *Knowing the underground, as the first step for hazard management: an experience in southern Italy, in the aftermath of a catastrophic collapse*. In: Zhalov A., Gyorev V. & Delchev P. (Eds.), *Hypogea 2019, Proceedings International Congress of Speleology in Artificial Caves*, Dobrich (Bulgaria), 20-25 May 2019, pp. 59-64.
- Polimeni B., Bixio R., Galeazzi C., Germani C., Parise M., Saj S., Sammarco M., 2019, *Creating a Map of the Underground Heritage in the Mediterranean Area: A Visual Representation for a Comprehensive Research*. In G. Amoroso and R. Salerno (eds.), *Cultural Landscape in Practice, Lecture Notes in Civil Engineering* 26, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11422-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11422-0_8), Springer Nature Switzerland.
- Tharp T. M., 1995, *Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes*. *Engineering Geology*, vol. 52, pp. 23–33.
- Waltham A. C. & Fookes P. G., 2003, *Engineering classification of karst ground conditions*. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 36, pp. 101–118.
- Waltham T., Bell F. & Culshaw M., 2005, *Sinkholes and subsidence. Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction*. Springer Praxis.

