

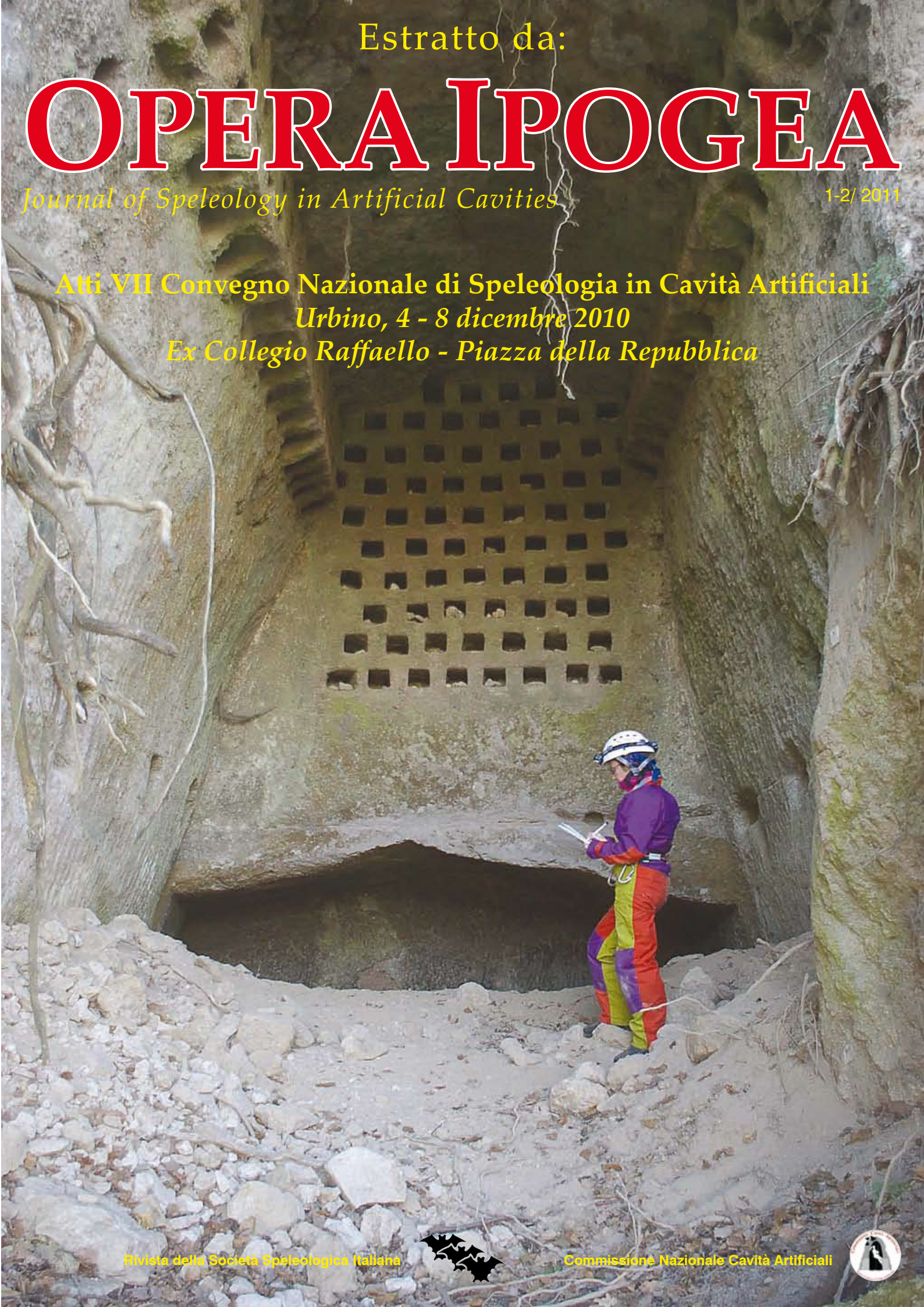
Estratto da:

OPERA IPOGEA

Journal of Speleology in Artificial Cavities

1-2/2011

Atti VII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali
Urbino, 4 - 8 dicembre 2010
Ex Collegio Raffaello - Piazza della Repubblica



Operazioni di rilievo e analisi preliminare dello sprofondamento in località San Procopio (Barletta) del 2-3 maggio 2010

Alfredo De Giovanni ¹, Vincenzo Martimucci ^{2,3}, Michele Marzulli ^{2,4}, Mario Parise ^{2,5}, Nunzia Pentimone ^{2,3}, Daniele Sportelli ^{2,6}

Riassunto

Tra la sera del 2 maggio e le prime ore del 3 maggio 2010 si è aperto uno sprofondamento in zona rurale del comune di Barletta, in località San Procopio. La voragine, di forma all'incirca circolare, di diametro pari a circa 32 m e superficie netta di 800 m² circa, ha interessato svariati alberi d'ulivo, un traliccio Enel, e interrotto una strada comunale. Ai margini dello sprofondamento, profondo dai 5 ai 12 m, si intravedevano strutture cunicolari di chiara origine antropica riconducibili a gallerie sotterranee per l'estrazione della calcarenite quale materiale da costruzione (localmente detta "tufo" calcareo), dall'interno delle quali i dissesti si erano propagati alla superficie, determinando la formazione della voragine.

Le cave sotterranee sono state interamente rilevate nell'arco di 4 giornate di lavoro, utilizzando tecniche di rilievo ormai collaudate dalla Federazione Speleologica Pugliese, che hanno consentito di abbinare a una notevole accuratezza e precisione dei rilievi un'altrettanto importante rapidità nella restituzione dei dati. Sulla base del rilievo piano-altimetrico così eseguito, sono poi state eseguite analisi dello stato di fratturazione all'interno della rete caveale, cartografando nel dettaglio i distacchi osservati ed esaminando le condizioni di stabilità dei singoli pilastri. I dati così raccolti sono stati utilizzati al fine di redigere una zonazione preliminare della suscettibilità da crolli nell'area in esame. Allo stesso tempo, indagini geofisiche e rilievi in aree limitrofe sono state svolte per individuare eventuali ulteriori prosecuzioni degli ambienti ipogei, o altre cave sotterranee. In questo lavoro si descrivono le principali attività eseguite, che hanno visto la collaborazione fattiva di tecnici, ricercatori e speleologi, costituendo un significativo esempio di cooperazione tra differenti professionalità e competenze.

PAROLA CHIAVE: cavità artificiali, cave sotterranee, pericolosità, rilievo, Puglia.

Abstract

SURVEY AND PRELIMINARY ANALYSIS OF THE SINKHOLE IN LOCALITY SAN PROCOPIO (BARLETTA, APULIA), 2-3 MAY 2010.

A sinkhole opened between the evening of May 2nd and the early morning of May 3rd, 2010, in locality San Procopio, a rural area within the territory of Barletta (Apulia, southern Italy). The sinkhole, about circular in shape and covering an area of some 800 m², affected several olive trees, a utility pole and a municipal road. At the lower margins of the sinkhole, at least two accesses to underground quarries were visible. The quarries were entirely explored and surveyed in 4 days of work by using technologically-advanced survey methodologies by the Apulian Speleological Federation (FSP): these allowed to obtain, at the same time, a great accuracy in the survey, and a high rapidity in the data elaboration and cartographic representation. The plan of the underground quarries was, then, the base map for analyzing the fracture network within the underground system, the falls and rock failures already occurred, and for examining the stability conditions of the pillars. All these data were used for a preliminary zonation of the susceptibility of the study

¹ Geologo, libero professionista Ordine dei Geologi della Puglia n. 334, Barletta

² Federazione Speleologica Pugliese

³ Centro Altamurano di Ricerche Speleologiche, Altamura

⁴ Gruppo CAI Vespertilio, Bari

⁵ CNR-IRPI, Bari; m.parise@ba.irpi.cnr.it

⁶ Gruppo Puglia Grotte, Castellana-Grotte

area. At the same time, geophysical prospections and speleological surveys were carried out in nearby areas to ascertain the likely continuation of the subterranean systems, and to verify the presence of other quarries in the subsurface.

This paper describes the main activities performed, thanks to the co-operation among technicians, scientists and cavers, thus representing a significant example of joint work putting together different expertises and professionals.

KEY WORDS: artificial caves, underground quarry, hazard, survey, Apulia.

INTRODUZIONE

Nella notte tra il 2 e il 3 maggio 2010, in località San Procopio (poco meno di 5 km a SSW dalla periferia della città di Barletta), si è aperta in zona rurale una voragine di forma sub-circolare con diametro pari a circa 32 m, superficie netta di 800 m² circa e profondità comprese fra 5 ÷ 9 m dal p.c. (fig. 1). Sin dalle prime ore del mattino successivo, lo spettacolo che si è presentato ai primi testimoni è stato davvero impressionante, con l'evidente ribassamento di una notevole porzione di terreno, comprendente numerosi alberi d'ulivo, un traliccio dell'Enel (rimasto in posizione verticale nonostante lo spostamento subito) ed un tratto di circa 10 metri di una strada comunale. Dai margini dello sprofondamento, in almeno due punti era possibile individuare gli accessi a gallerie scavate dall'uomo, e pertanto è stato da subito possibile imputare il dissesto a presenza di antiche cave sotterranee.

È d'altra parte ben noto come il territorio regionale della Puglia sia fortemente interessato da presenza di cave sotterranee (TONI, 1990; FIORITO & ONORATO, 2004; PARISE et al., 2008; PARISE, 2010, 2011), e come queste siano all'origine di numerosi eventi di dissesto, con formazione di sprofondamenti (*sinkhole*), la cui frequenza è andata aumentando negli ultimi anni (DELLE ROSE, 2007; BARNABA et al., 2010; DE PASCALIS et al., 2010; LOLLINO & PARISE, 2010).

A seguito dell'evento di San Procopio, il primo autore del presente articolo ebbe un incarico da parte dell'Amministrazione Comunale, e immediatamente coinvolse il CNR-IRPI e la Federazione Speleologica Pugliese, al fine di eseguire il rilievo plano-altimetrico delle cavi-

tà sotterranee e valutare in prima approssimazione le condizioni di stabilità del sito. Lo studio dell'area è stato effettuato secondo l'"Atto di indirizzo per la messa in sicurezza dei territori a rischio cavità sotterranee", approvato dall'Autorità di Bacino della Puglia, e in base al quale, attesa la presenza in Puglia di diversi casi, più o meno gravi, di dissesto idrogeologico legato al possibile sprofondamento di cavità naturali ed antropiche presenti nel sottosuolo, si definiscono gli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia e la sistemazione delle aree instabili o potenzialmente instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture (CAGGIANO et al., 2007; FIORE, 2007).

In particolare, sono stati effettuati i seguenti rilievi ed indagini:

- rilievo topografico di dettaglio a mezzo stazione totale - GPS del perimetro del *sinkhole* e delle aree contermini;
- rilievo topografico in sottoterraneo della rete caveale al di sotto del *sinkhole* e delle aree contermini con evidenza di accessi diretti in superficie;
- rilievo geo-strutturale speditivo delle cavità, in particolare delle volte, dei setti e dei pilastri presenti;
- esecuzione di profili georadar con antenne da 50 ÷ 100 Mhz nelle aree contermini al *sinkhole* per un totale di 1950 m circa;
- esecuzione di profili elettrici con restituzione tomografica per un totale di 708 m;
- esecuzione di profili sismici in onde P ed S, con misure di Vs30 e restituzione tomografica, per un totale di 288 m;
- esecuzione di n.10 perforazioni a distruzione di nucleo per un totale di 134 m.



Fig. 1 - Vedute parziali del sinkhole.

Fig. 1 - Partial view of the sinkhole.

Nel presente contributo si descrivono in particolare i rilievi geologici e speleologici, mettendo in evidenza, da un lato, la difficoltà nell'operare in situazioni di emergenza di dissesti idrogeologici e, dall'altro, l'estrema rapidità di esecuzione e professionalità fornita dagli speleologi in questa occasione.

ASSETTO GEOLOGICO-MORFOLOGICO

L'area del dissesto è localizzata in una zona da tempo interessata da numerose cave a cielo aperto in calcarenite ("tufare"), a cavallo fra le località San Procopio e Tufarelle. La quota topografica media dell'area in studio è pari a 74 m s.l.m., mentre la quota media di fondo della cava a cielo aperto (ormai parzialmente riempita) prossima all'area del dissesto (circa 60 m ad E) risulta essere pari a 67 m s.l.m.

L'area di Barletta è geologicamente una zona di transizione fra i due importanti domini paleogeografici e strutturali dell'Avampese Apulo (Piattaforma Carbonatica Apula p.p.) a SSE e dell'Avanfossa Appenninica (Fossa Bradanica s.s.) a NNW e SSW. Per tali ragioni l'area in esame è stata interessata da sedimentazione sia terrigena che carbonatica con movimenti tettonici recenti (CALDARA et al., 1996, 2005).

Nel sottosuolo di Barletta, sulle unità più antiche della piattaforma carbonatica apula (Calcere di Bari, del Valanginiano-Hauteriviano), poggiano i depositi del primo ciclo trasgressivo della Fossa Bradanica, in zona riferibili al Pleistocene inferiore, rappresentati dalla Calcarenite di Gravina e dalle Argille Subappennine. Al di sopra di questi si rinvengono, sia in affioramento che in perforazioni profonde, sedimenti appartenenti a più cicli sedimentari marini che rappresentano il risultato combinato dei movimenti tettonici verticali cominciati all'inizio del Pleistocene Medio e delle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino. Tali sedimenti appartengono alle numerose unità litostratigrafiche riferibili ai Depositi Marini Terrazzati (SALVEMINI, 1984; CIARANFI et al., 1988; CALDARA et al., 1996) costituiti da sabbie fini, calcareniti, silts ed argille in facies di spiaggia e di barra litorale spesso in eteropia con facies di transizione tipicamente lagunari, palustri e continentali (dune e depositi alluvionali).

L'origine dei Depositi Marini Terrazzati e delle conseguenti paleo-linee di costa è da porre in relazione con il sollevamento regionale polifasico avvenuto a partire dall'inizio del Pleistocene Medio e tutt'ora in atto. Il tasso medio di sollevamento in un intervallo di 780.000 anni sarebbe compreso, per l'area in esame tra $0,1 \div 0,5$ mm/anno (CIARANFI et al., 1994; DOGLIONI et al., 1996; MASTRONUZZI & SANSÒ, 2002; LAMBECK et al., 2004), pertanto inferiore alla velocità dei moti glacio-eustatici responsabili delle variazioni relative del livello del mare; in definitiva, questi ultimi, combinati alla tendenza generale al sollevamento, avrebbero permesso la formazione dei terrazzi marini.

Nell'entroterra di Barletta, in particolare, SALVEMINI (1984) riconosce 5 ordini di terrazzi con i relativi depositi; il terrazzo più elevato (I ordine) viene collocato a $115 \div 110$ m s.l.m., quello più basso (V ordine) a $25 \div 5$

m di altitudine. Successivamente CIARANFI et al. (1994) segnalano, nella stessa zona, una serie di 7 linee di riva ubicate a differenti quote, mentre CALDARA et al. (1996) ne riportano 6 appartenenti a tre differenti cicli sedimentari post-bradanici, con scarpate riferibili a ripe di abrasione marina.

L'area interessata dal presente studio interessa il terrazzo di quota $75 \div 90$ m, la cui genesi, al pari di quella degli altri menzionati, è imputabile essenzialmente alle fasi tettoniche di sollevamento subite dalla regione a partire dal Pleistocene inferiore. I depositi di questo terrazzo sono osservabili, per uno spessore di circa 4 m, in corrispondenza di una cava a cielo aperto in località Tufarelle, circa 900 m a N dell'area del dissesto. Sulla parete N di tale cava si nota chiaramente la trasgressione discordante tra la Calcarenite di Gravina e i sovrastanti Depositi Marini Terrazzati del terrazzo in questione. Tali depositi sembrano ricoprire a luoghi le bancate calcarenitiche nelle aree del dissesto costituendo di fatto il "cappellaccio" di cava, ovvero lo spessore di materiale lapideo di scarsa qualità. In particolare, nella zona del *sinkhole* essi sono costituiti da calcareniti grossolane e sabbioni calcarei con macrofossili, di colore avana-giallastro da poco a mediamente cementati con struttura massiva e caotica, stratificazione indistinta o sottilmente isoclinali. Lo spessore di tali depositi risulta nella zona del dissesto alquanto variabile, non inferiore a 4 m e con una media complessiva di circa 6 m.

L'unità geologica della Calcarenite di Gravina, assieme alle Argille Subappennine individua l'inizio della sedimentazione marina nelle zone marginali della Fossa Bradanica, riferibile al Pleistocene Medio - Pleistocene Inferiore. Si tratta essenzialmente di calcareniti (localmente denominate "tufi calcarei") in trasgressione sul substrato carbonatico mesozoico con spessori che raggiungono anche i $50 \div 60$ m. In genere nell'ambito di tale formazione, dal basso verso l'alto si succedono calcareniti bio-litoclastiche piuttosto fini, calcareniti a grana media e infine, calcareniti grossolane e calciruditi, queste ultime clinostatificate.

La varietà più grossolana, alla scala del campione, è di colore biancastro, a volte tendente al giallino, e mostra un aspetto laminare per effetto dell'azione di alghe incrostanti. La varietà a grana media è di colore giallo e mostra un aspetto macroscopico omogeneo con piccole plaghe a maggiore cementazione (ANDRIANI et al., 2006). La varietà a grana fine è di colore bianco-giallino e mostra aspetto omogeneo; a luoghi, si rinvengono macrofossili isolati o in nidi (Ostreidi e Pectinidi) che ne interrompono l'omogeneità. Lo spessore delle calcareniti in quest'area non è inferiore a $30 \div 35$ m.

Dal punto di vista strutturale, nelle porzioni superiori e mediane dell'affioramento calcarenitico è chiaramente visibile una laminazione incrociata, ovvero una clinostatificazione con direzione compresa fra $50^\circ \div 60^\circ$, immersione costante verso NNW ed inclinazione variabile fra $28^\circ \div 35^\circ$. Tale stratificazione sembra testimoniare dell'originaria posizione delle superfici di sedimentazione a margine della piattaforma carbonatica nel corso del Plio-Pleistocene.

In aggiunta al principale carattere morfologico del-

l'area, ovvero la serie di ripiani corrispondenti a terrazzi marini formati durante il Plio-Pleistocene, l'aspetto più evidente dell'intera area è costituito dalla presenza delle numerose cave a fossa aperte nella formazione della Calcarene di Gravina: il luogo del dissesto ricade infatti al centro delle località Tufarelle, San Procopio e Grotte Stompagnate interessate da cave in buona parte abbandonate, colmate da rifiuti o riquaificate per scopi agricoli. Le cave attualmente visibili presentano pareti verticali in tufo calcareo di altezza anche superiore a 20 m. In talune, lungo le pareti, si nota la presenza di accessi orizzontali con pilastri isolati, come nella cava a E del dissesto. Tali accessi, per lo più localizzati nelle porzioni superiori dei fianchi delle cave, risultano attualmente profondi meno di 2÷3 m e quasi del tutto riempiti di materiale da crollo o scarti di lavorazioni. Alcuni servivano, presumibilmente, come ricovero di attrezzi o di animali, altri come accesso a cunicoli sotterranei per l'escavazione del *tufo calcareo*, come nel caso dei cunicoli di accesso alla rete caveale posta al di sotto della voragine e scoperti nel corso del rilievo speleologico.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, nell'area di Barletta indagini idrogeologiche hanno evidenziato la presenza nel sottosuolo di due falde idriche. La falda più superficiale, contenuta negli orizzonti sabbiosi è a tratti in pressione, per la presenza di uno strato argilloso sovrastante; essa si colloca a profondità variabile e comunque comprese tra 5÷14 m dal p.c. Nella zona oggetto di studio tale falda non risulta presente, per mancanza di orizzonti argillosi o limoso-argillosi impermeabili in seno ai Depositi Marini Terrazzati costituiti da biocalcareni e sabbioni calcarei.

La falda profonda, invece, coincide con la falda carsica, e in località Montaltino circola a profondità comprese tra 70÷80 m dal p.c. (LATTANZIO et al., 1992). Il livello piezometrico della falda profonda si attesta in località San Procopio e nella zona del dissesto a circa

+6 m s.l.m. (fig. 2) come si evince dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia, da notizie attinte sul pozzo irriguo presente a circa 70 m dal *sinkhole* e dai pozzi piezometrici realizzati nel Novembre 2005 per la progettazione di una discarica di tipo 2B in località San Procopio.

RILIEVO SPELEOLOGICO

Come accennato nell'introduzione, la prima operazione ritenuta prioritaria ai fini dell'accertamento della situazione nella zona del dissesto è stata l'esecuzione del rilievo speleologico delle cavità sotterranee, per verificarne innanzitutto l'estensione, avere contezza dell'area potenzialmente a pericolo da *sinkhole*, e quindi per valutare preliminarmente le condizioni di stabilità del sito. Il rilievo speleologico (fig. 3) iniziato il 13.05.2010, è stato svolto in 4 giornate complessive di lavoro da squadre di speleologi della Federazione Speleologica Pugliese, sotto la continua sorveglianza (per sicurezza e manovre di recupero) del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico (CNAS) - Servizio Regionale Pugliese.

Sono stati materializzati n. 96 capisaldi nel sottosuolo e rilevate superfici caveali in sottosuolo per circa 11.800 m², di cui solo 8500 m² al di sotto della voragine aperta in corrispondenza della Via Vecchia Minervino.

La segnalazione di accessi superficiali a cavità sotterranee di natura antropica, avvenuta a cura di contadini e proprietari delle terre finitime alla zona del dissesto, ha permesso l'esplorazione speditiva di ulteriori reti caveali rispettivamente a SE e a S del *sinkhole*. In particolare, è stata rilevata una rete caveale di 1800 m² circa, allungata in direzione SW-NE, la cui appendice meridionale passa al di sotto della strada comunale Vecchia Minervino e quindi un'ulteriore rete in sottosuolo di 1500 m² circa, ancora più a S, lontana da reti viarie ed infrastrutture pubbliche.

Tutti i rilievi speleologici sono stati effettuati con un grado di precisione delle poligoni pari a 5 (British Cave Research Association), con uso di bussola e inclinometro (Disto X - Nautiz X7) con approssimazioni angolari e spaziali rispettivamente pari a 1° e 5÷10 cm. Il rilievo ha permesso di investigare una rete caveale piuttosto complessa costituita da camere perfettamente squadrate sorrette da pilastri e setti interdistanti fra di loro mediamente 4 metri. Il giacimento di tufo veniva raggiunto presumibilmente per mezzo di cunicoli orizzontali aperti sul fianco della cava in calcarenite posta circa 60 m ad E della voragine; non sono stati rilevati pozzi verticali, "a campana", eccezion fatta per un piccolo lucernaio ubicato a S del *sinkhole*, ormai completamente ostruito da materiale di risulta.

Dopo aver eseguito lo scavo dei cunicoli orizzontali, la coltivazione, databile tra la seconda metà del 1800 e i primi decenni del 1900, è avvenuta su un unico livello e su ampie aree, con il metodo del "pilastro abbandonato". Non sono stati riconosciuti, infatti, livelli sovrapposti di cavità e le camere più profonde, poste a circa 22 m dal p.c. (zona settentrionale del *sinkhole*), sono collegate a quelle più superficiali da ampi corridoi.

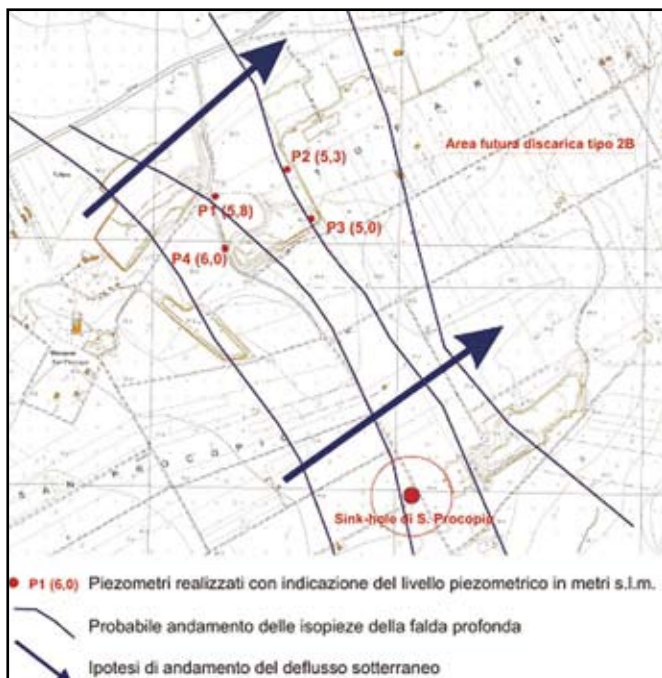


Fig. 2 - Caratteri idrogeologici dell'area di studio.
Fig. 2 - Hydrogeological features of the study area.



Fig. 3 - Cartografia della cava sotterranea, ottenuta dai rilievi speleologici.

Fig. 3 - Map of the underground quarry, as from the speleological surveys.

I setti e le volte delle cavità presentano a luoghi fratture da taglio, con segni di schiacciamento in corrispondenza dei pilastri prossimi al perimetro della voragine. Le fratture risultano aperte (> 5 mm) con evidenze di mobilitazione in corrispondenza delle superfici. In taluni punti, si notano crolli dalla volta e distacchi dalle pareti con accumulo di materiale "tufaceo" sul pavimento. Quest'ultimo risulta fortemente sconnesso e

presenta spesso una morfologia a gradoni a causa di blocchi di calcarenite che testimoniano scarti di lavorazione o crolli dalle pareti; ad ogni modo, il pavimento si mostra integro, privo di lesioni e totalmente ricoperto da "tufina" e materiale di risulta.

Nelle zone prossime agli accessi individuati sul fianco della cava confinante con il *sinkhole*, sono stati rilevati coni di rifiuti, per lo più inerti, proveniente da scavi edili e quattro carcasse di autovetture bruciate.

I rilievi topografici in superficie, correlati con i rilievi speleologici hanno consentito di verificare l'altezza o spessore delle calotte rispetto alla superficie topografica (fig. 4):

- lo spessore minimo delle calotte risulta pari a 4 m (caposaldo A37);
- lo spessore massimo risulta pari a 20 m (caposaldo A73);
- lo spessore medio risulta pari a 7,80 m circa;
- la zona a SE del *sinkhole*, lungo la strada Via Vecchia Minervino risulta avere lo spessore medio delle calotte più esiguo pari a 4,70 m;
- il ramo a W e SW del dissesto, lungo la strada privata interpodereale, risulta avere uno spessore medio pari a 6,85 m;
- la zona a E e NE, in direzione della cava a cielo aperto a E del *sinkhole*, risulta avere uno spessore medio delle calotte pari a 9,60 m.

La larghezza media dei pilastri/setti rilevati risulta pari a 3,25 m e la loro altezza media risulta pari a 4,35 m. In particolare si ha che:

- l'altezza media dei pilastri/setti nella zona S e SE è

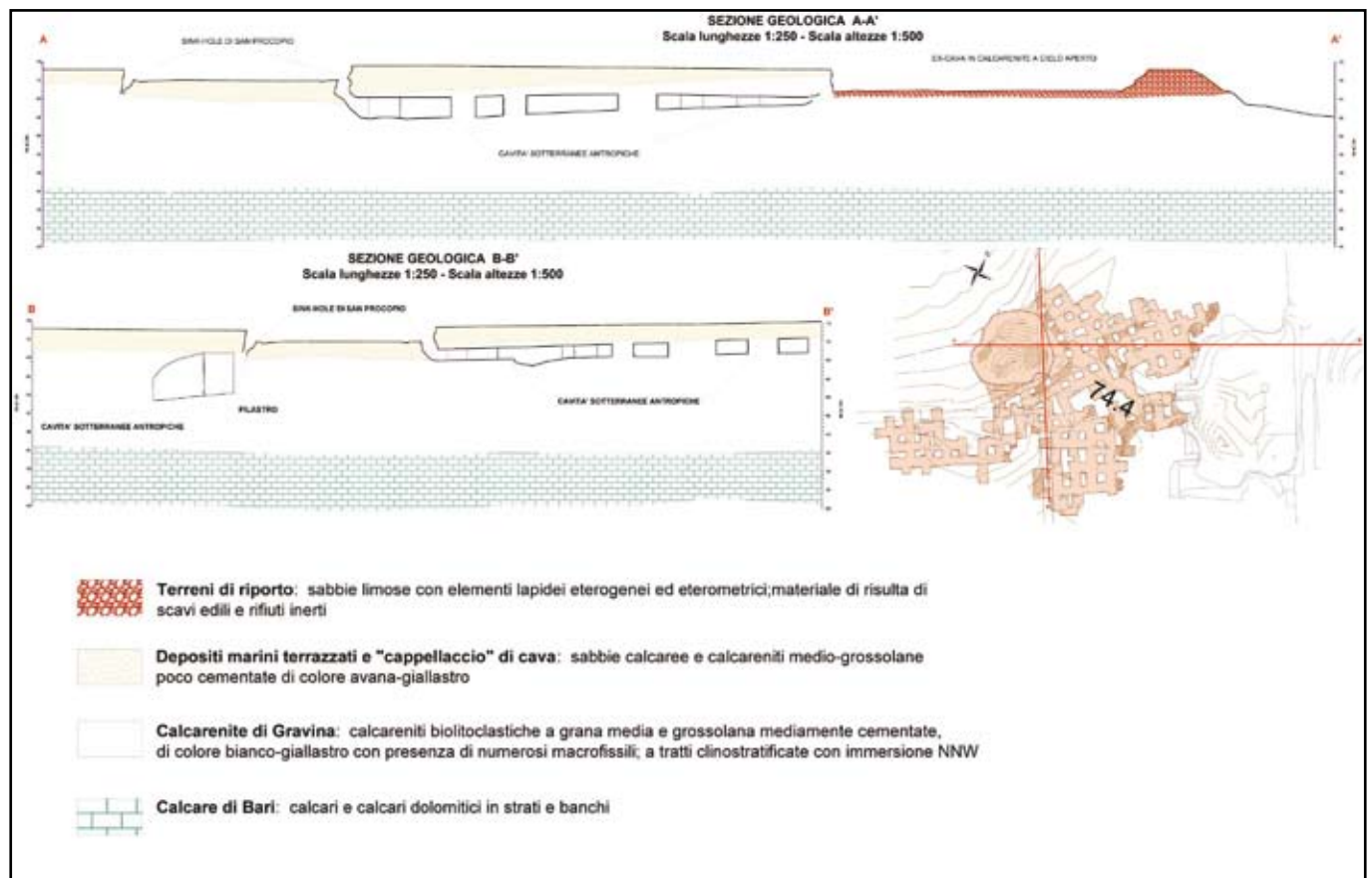


Fig. 4 - Sezioni della cava sotterranea, ottenute dai rilievi speleologici.

Fig. 4 - Profiles of the underground quarry, as from the speleological surveys.

- pari a 4,30 m;
- l'altezza media dei pilastri/setti nella zona W è pari a 4,60 m;
- l'altezza media dei pilastri/setti nella zona E è pari a 3,0 m;
- l'altezza media dei pilastri/setti nella zona N è pari a 7,1 m.

Ne deriva che il rapporto medio fra altezza e larghezza dei pilastri/setti risulta pari a 1,33.

Il rilievo speleologico ha consentito, altresì, di effettuare un rilievo geo-meccanico speditivo della rete caveale: dal punto di vista litologico si è verificata la natura di pareti, pilastri e setti delle cavità, rappresentata da calcareniti bio-litoclastiche a grana media e grossolana di colore biancastro, a luoghi tendenti al giallino, con un aspetto laminare per effetto dell'azione di alghe incrostanti; le calcareniti risultano mediamente cementate con una chiara clinostratificazione in direzione NE, in ogni caso sovrapposta ai segni di escavazione a maglie rettangolari tipiche dell'azione di attrezzi da taglio manuali (seghe).

Dal punto di vista geo-meccanico si nota la presenza di fratture e diaclasi (fig. 5) orientate coerentemente con la clinostratificazione, ovvero con direzione prevalente compresa fra $50^\circ \div 60^\circ$, immersione costante verso NNW ed inclinazione variabile fra $28^\circ \div 35^\circ$; le fratture sono continue, aperte $1 \div 3$ mm, con superfici rugose e interdistanza compresa fra $0,6 \div 2$ m.

BREVI CENNI ALLE ALTRE INDAGINI

Nell'area oggetto di studio sono state eseguite prospezioni sismiche, elettriche e radar. Le prospezioni sismiche sono state mirate principalmente alla caratterizzazione dinamica dei terreni, per eventuali programmi di bonifica e messa in sicurezza del sito. Le prospezioni elettriche e radar, invece, sono state indirizzate alla ricerca di eventuali altre cavità, non rilevate dall'indagine speleologica. In merito a quest'ultima, va detto che, in corrispondenza delle cavità evidenziate dal rilievo speleologico, si rilevano vistose anomalie radar iperbo-



Fig. 5 - Rilievo dei sistemi di fratture e dei crolli nella cava sotterranea.

Fig. 5 - Surveying the fractures and failures in the underground quarry.

liche e corpi molto resistivi. Le prime sono imputabili al complesso alternarsi di vuoti e pieni (pilastri); le seconde sono ascrivibili all'influenza dei vuoti (infinitamente resistivi).

Per i percorsi al di fuori dell'area con cavità accertate, sono state individuate e segnate sia la posizione di corpi resistivi, sia anomalie radar iperboliche, entrambe, in qualche modo, aventi caratteristiche simili a quelle rilevate in corrispondenza delle cavità esplorate. Sono stati quindi individuati i punti più sospetti per la presenza di eventuali vuoti sotterranei. L'esito delle verifiche dirette, a mezzo di perforazioni a distruzione di nucleo, ha dato esito negativo.

Al termine di tutta la campagna di rilievi speleologici e geofisici, sono state effettuate n. 10 perforazioni a distruzione di nucleo per complessivi 134 ml, in corrispondenza dei punti anomali segnalati dalle prospezioni radar ed elettriche al di fuori delle cavità rilevate.

CONDIZIONI DI STABILITÀ

Il rilievo di una rete caveale di circa 8500 m² al di sotto del *sinkhole*, nonché di ulteriori ipogei minori a S e SE del dissesto di ampiezza rispettivamente pari a 1800 m² e 1500 m², ha consentito l'osservazione di fenomeni di instabilità piuttosto diffusi in corrispondenza delle volte, dei piedritti e dei pilastri che costituiscono le cavità (fig. 6, 7). L'orientamento delle principali fratture, lo spessore delle calotte, la litologia e le caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura e dell'ammasso roccioso contenente le cavità, hanno permesso di valutare, sia pure qualitativamente, il grado di pericolosità dell'area posta attorno al *sinkhole*.

Oltre il 50% della rete caveale presenta forti situazioni di dissesto, con pilastri che mostrano chiari segni di schiacciamento e fratture di taglio, crolli dalle volte e distacchi dalle pareti (fig. 8). La presenza di cumuli di detriti e di rifiuti inerti introdotti dall'esterno mediante gli accessi individuati nella cava limitrofa e da lucernai verticali, di cui non è stato possibile rinvenire segni in superficie, complica ulteriormente le condizioni di stabilità dell'ammasso.

Difatti, il peso dei cumuli, di cui non è completamente nota l'origine, produce un'azione destabilizzante nei confronti di setti e pilastri, oltre a favorire una via d'accesso preferenziale per le acque meteoriche che, evidentemente, sono in grado di imbibire il *tuffo calcareo* alla base, inficiandone le caratteristiche di resistenza e deformabilità.

Ne deriva che gli indizi di instabilità della rete caveale risultano essere predominanti rispetto alle possibilità di conservazione della stessa e pertanto risulta difficile ipotizzare, ad esempio, la creazione di un "parco giacimentologico" che ne tuteli e salvaguardi l'esistenza, ai sensi della Legge della Regione Puglia n.33/2009 (tutela e valorizzazione di "geositi") se non per un piccola parte che resterebbe difficilmente accessibile (fig. 9).

Analoghe situazioni di ammaloramento presentano le altre reti caveali individuate a S e SE del dissesto, con evidenti segni di crolli testimoniati dal rinvenimento di grossi blocchi di calcarenite adagiati sul pavimento.

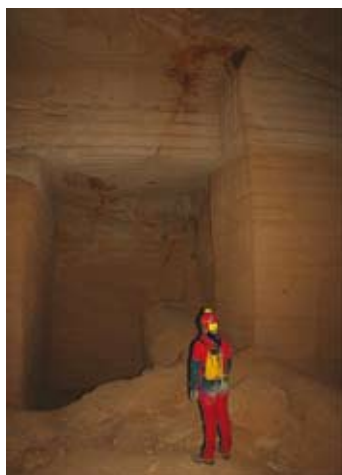


Fig. 6 - Esempi di dissesti osservati nella cava sotterranea, con presenza di fratture in volta e sui pilastri, distacchi circolari in volta, e crollo totale del tetto della cava.
 Fig. 6 - Examples of failures observed in the underground quarry, including fractures on the vault and the pillars, circular detachment from the vault, and massive breakdown of the quarry vault.

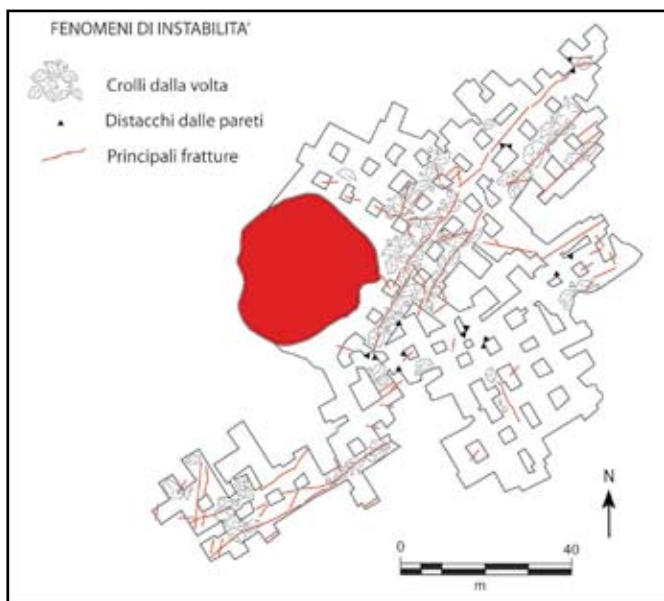
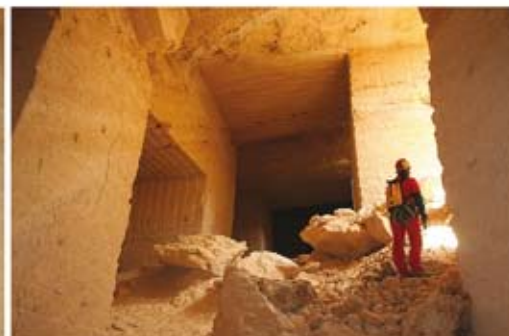


Fig. 7 - Cartografia dei fenomeni di instabilità riscontrati nella cava sotterranea.
 Fig. 7 - Map of the instability phenomena within the underground quarry.

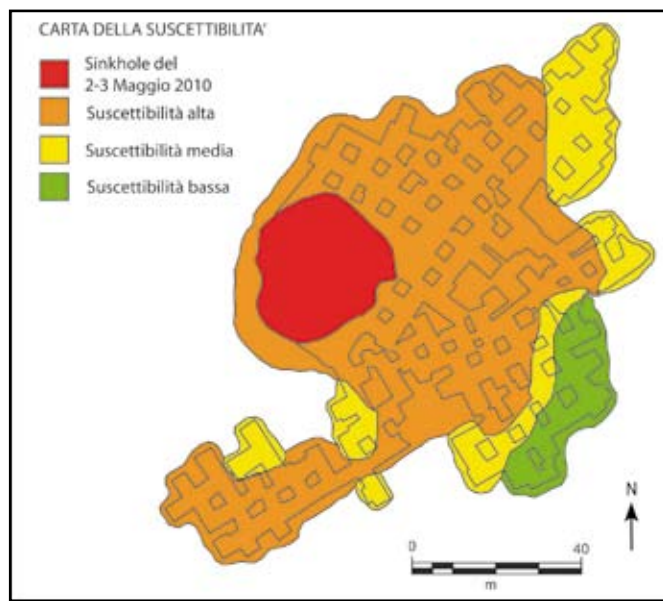


Fig. 9 - Zonazione preliminare della suscettibilità.
 Fig. 9 - Preliminary susceptibility zonation.

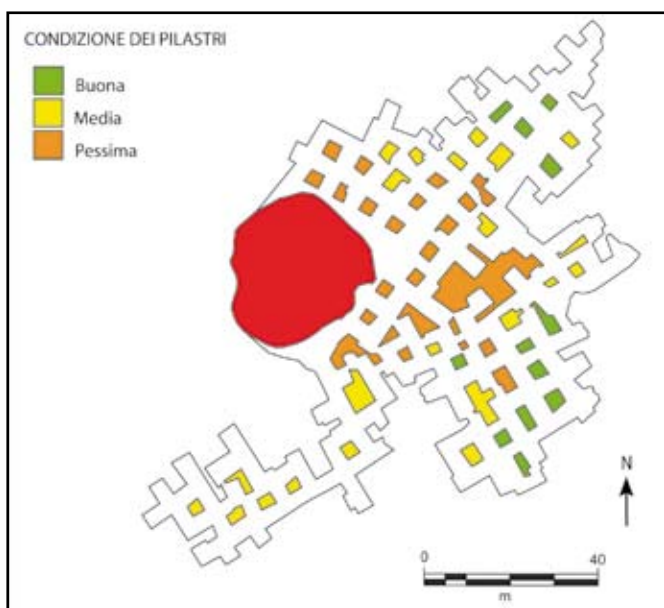


Fig. 8 - Cartografia delle condizioni dei pilastri nella cava sotterranea.
 Fig. 8 - Map of the conditions of pillars within the underground quarry.

CONCLUSIONI

Le sollecitazioni costanti di traffico veicolare pesante (tir a pieno carico di peso superiore a 40 ton) in corrispondenza di Via Vecchia Minervino, hanno sicuramente aggravato lo stato fessurativo presente su alcuni pilastri, probabilmente già poco spessi, provocando, di fatto, una rottura improvvisa di tipo fragile. È lecito immaginare che la rottura sia avvenuta lungo piani di taglio inclinati di almeno $30^\circ \div 35^\circ$, secondo quanto constatato nel corso dei rilievi geo-meccanici speditivi.

Ne consegue che la causa innescante il fenomeno di dissesto, va ricercata nelle vibrazioni da traffico pesante che si verificavano abitualmente lungo quel tratto di Via Vecchia Minervino. Un ruolo secondario, possono aver avuto le acque meteoriche infiltratesi dalla superficie attraverso vie preferenziali individuate sul fianco della ex-cava di calcarenite a margine della voragine. L'acqua, col tempo, può aver deteriorato alla base i pilastri, contribuendo alla diminuzione delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso calcarenitico.

Alla luce di quanto sopra, al fine di mitigare la pericolosità geomorfologica, sono state fornite all'Amministrazione Comunale di Barletta una serie di indicazioni, riassumibili nell'interdizione al traffico pesante

della viabilità e dell'area presente in un raggio di 350 m attorno al centro della voragine, nella limitazione del transito di mezzi agricoli, soprattutto nel corso di forti precipitazioni o condizioni meteorologiche avverse,

e nella vigilanza sullo scarico di qualsivoglia rifiuto o materiale di risulta. Allo stesso tempo, sarà poi necessario procedere alla redazione di idoneo progetto preliminare per la bonifica del sottosuolo.

Bibliografia

- ANDRIANI G.F., BALDASSARRE G., WALSH N., 2006, *Porosità e permeabilità delle calcareniti di Pietra Caduta*. Atti del Convegno "Le risorse lapidee dall'antichità ad oggi in area mediterranea" - Canosa di Puglia (Bari), 25-27 Settembre 2006, GEAM, pp. 113-116.
- 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, pp. 653-672.
- CAGGIANO T., DI SANTO A.R., FIORE A., PALUMBO N., 2007, *Attività dell'Autorità di Bacino della Puglia per l'individuazione, il censimento e la pianificazione degli interventi per la messa in sicurezza dei territori a rischio sprofondamento per la presenza di cavità sotterranee*. Geologi & Territorio, n. 4-2006/1-2007, pp. 32-34.
- CALDARA M., LOPEZ R., PENNETTA L., 1996, *L'entroterra di Barletta (Bari): considerazioni sui rapporti fra stratigrafia e morfologia*. Il Quaternario, vol. 9 (1), pp. 337-344.
- CALDARA M., CAROLI I., LOPEZ R., MUNTONI I., RADINA F., SICOLO M., SIMONE O., 2005, *I primi risultati sulle ricerche nel sito di Belvedere - Ariscianne (Barletta)*. Atti 25° Conv. sulla Preistoria - Protostoria e Storia della Daunia, San Severo, 2004, pp. 99-138.
- CIARANFI N., PIERI P., RICCHETTI G., 1988, *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia Centro Meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., vol. 41(1), pp. 449-460.
- CIARANFI N., PIERI P., RICCHETTI G., 1994, *Linee di costa e terrazzi marini pleistocenici nelle Murge e nel Salento: implicazioni neotettoniche*. Riassunti 77° Congr. Soc. Geol. It., vol. 41, pp. 449-460.
- DELLE ROSE M., 2007, *La voragine di Gallipoli e le attività di protezione civile dell'IRPI-CNR*. Geologi e Territorio, n. 4/2006-1/2007, pp. 3-12.
- DEL PRETE S., PARISE M., 2007, *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, n. 2, pp. 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, pp. 703-718.
- DOGLIONI C., TROPEANO M., MONGELLI F., PIERI P., 1996, *Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an "anomaly" in the appenninic foreland*. Mem. Soc. Geol. It., vol. 51(1), pp. 101-117.
- FIORE A., 2007, *Pericolosità geologica connessa alla presenza di cavità sotterranee*. Atto di indirizzo dell'Autorità di Bacino della Puglia. Geologi & Territorio, n. 1-2-3, pp. 3-11.
- FIORITO F., ONORATO R., 2004, *Le cave ipogee di Colle S. Lazzaro - Gallipoli. Primi studi*. Atti Spelaion 2004, Lecce, 10-12 dicembre 2004, pp. 125-136.
- LAMBECK K., ANTONIOLI F., PURCELL A., SILENZI S., 2004, *Sea-level change along the Italian coast for the past 10.000 yr*. Quaternary Science Reviews, vol. 23, pp. 1567-1598.
- LATTANZIO M., SALVEMINI A., VENTRELLA N.A., 1992, *Le falde idriche sotterranee nel territorio comunale di Barletta (Bari-Puglia): tipizzazione e connessioni con talune problematiche idrogeologiche ed ingegneristiche*. Geologica Romana, vol. 30, pp. 525-544.
- LOLLINO P., PARISE M., 2010, *Analisi numerica di processi di instabilità di cavità sotterranee e degli effetti indotti in superficie*. Atti 2° Workshop Int. "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, pp. 803-816.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P., 2002, *Pleistocene sea-level changes, sapping processes and development of valley networks in the Apulia region (southern Italy)*. Geomorphology, vol. 46, pp. 19-34.
- 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, pp. 441-447.
- PARISE M., 2011, *Alcune considerazioni sulle cave sotterranee in Puglia e sulle relative problematiche*. Questo volume.
- PARISE M., DE PASCALIS A., DE PASCALIS F., DONNO G., INGUSCIO S., 2008, *Cavità sotterranee a fini estrattivi, e loro connessione con fenomeni di sprofondamento e subsidenza in agro di Cutrofiano (Lecce)*. Atti "Spelaion 2006", Borgo Celano (FG), pp. 55-69.
- SALVEMINI A., 1984, *Osservazioni preliminari sui depositi quaternari affioranti nella tavoletta 176 I NO "Barletta"*. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. 19, pp. 17-41.
- TONI L., 1990, *Le cave in sotterraneo di Cutrofiano*. Edizioni Del Grifo, 125 pp.