

PROBLEMATICHE CONNESSE A FENOMENI DI SUBSIDENZA CARSICA E SINKHOLES IN PUGLIA

DELLE ROSE MARCO*, **FEDERICO ANTONIO****
& **PARISE MARIO***

*CNR-IRPI, sezione di Bari

**Il Facoltà di Ingegneria (Taranto) - Politecnico di Bari

INTRODUZIONE

La regione Puglia presenta distinti contesti geologici con differenti condizioni di propensione al dissesto idrogeologico e di vulnerabilità ambientale. Tra queste, data la natura prevalentemente carbonatica delle rocce affioranti, i fenomeni di subsidenza carsica e di sprofondamento (sinkholes) hanno un ruolo notevole. Negli ultimi decenni sono stati, infatti, registrati numerosi eventi, alcuni dei quali hanno arrecato danni a strutture antropiche presenti sul territorio. Il presente contributo intende esaminare, dopo una introduzione agli aspetti generali del carsismo del territorio pugliese, le principali problematiche relative a questo tipo di fenomeni sulla base di alcuni casi di studio.

1. ASSETTO GEOLOGICO E FENOMENI DI SINKHOLES

I territori carsici sono caratterizzati da peculiari aspetti geologici, morfologici e idrogeologici, che li rendono particolarmente inclini allo sviluppo di fenomeni di subsidenza e di sinkholes (NICOD, 1972; WHITE, 1988). La solubilità delle rocce carbonatiche, e il conseguente sviluppo ed evoluzione di processi carsici e speleogenetici (FORD, 1988) si combinano in tali ambienti all'azione antropica, di frequente producendo situazioni di rischio.

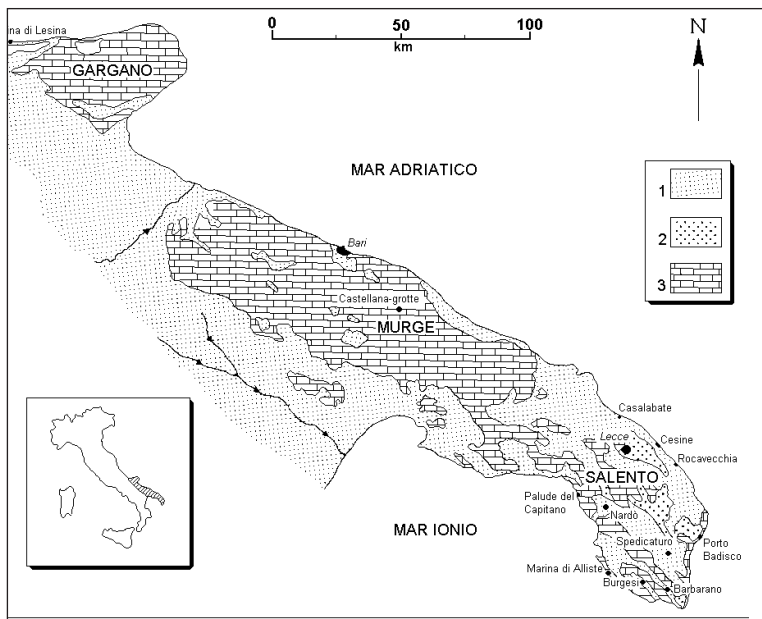


Fig. 1 - Schema geologico della Puglia, con indicazione dei casi citati nel testo. Legenda: 1) depositi alluvionali, argille e calcareniti (Pliocene - Pleistocene); 2) rocce carbonatiche bioclastiche (Paleogene) e calcareniti (Miocene); 3) rocce di piattaforma carbonatica (Cretaceo).

La Regione Puglia è prevalentemente caratterizzata dall'affioramento di rocce carbonatiche, per cui i processi carsici risultano di estrema rilevanza praticamente sull'intero territorio. In ambito regionale, è possibile individuare tre macro-aree carsiche: il Gargano, le Murge ed il Salento (Fig. 1). Esse sono costituite da successioni carbonatiche mesozoiche spesse alcune migliaia di metri, di età Triassico – Cretaceo superiore (RICCHETTI et alii, 1988). Il basamento carbonatico, coinvolto nella collisione Africa – Europa e poi nelle tetto-genesi appenninica e dinarico-ellenica, assunse il ruolo di avampese sino al Pleistocene inferiore. Durante queste fasi la sedimentazione, sempre prevalentemente carbonatica, interessò principalmente il Salento e la parte orientale del Gargano. Dal Pleistocene inferiore all'Olocene, la regione subì un generale sollevamento sino a raggiungere l'attuale conformazione (DOGLIONI et alii, 1994). In conseguenza dei suddetti eventi geodinamici, le successioni carbonatiche pugliesi mesozoiche, ma anche quelle cenozoiche e quaternarie, sono state interessate da fenomeni carsici a più riprese e per lunghi periodi (PALMENTOLA, 1987).

Il Gargano corrisponde ad un pronunciato rilievo, delimitato da ripide ed alte scarpate, che si eleva bruscamente dal territorio circostante e dal mare. Esso risulta caratterizzato in superficie da una notevole densità di doline (BABOCI et alii, 1991), e dalla presenza di morfologie tra le più estese dell'intero territorio regionale, come nel caso della Dolina Pozzatina (BISSANTI, 1966; CASTIGLIONI & SAURO, 2000). Per quanto riguarda invece il carsismo ipogeo, sono presenti sul Promontorio Garganico alcune delle cavità carsiche più profonde dell'intera regione, tra cui si ricordano la Grava di Campolato (FUSILLI, 1988) e la Grava di Zazzano (CAIAZZO, 1990). Il lato più settentrionale del Promontorio del Gargano, dove affiorano sedimenti evaporatici triassici, è stato di recente interessato da fenomeni di sprofondamento nella zona di Marina di Lesina (MELIDORO & PANARO, 2000).

località	data	fenomeno	danni	tipo di evento
Nardò	1991	sprofondamenti del piano stradale	ingenti danni a vari edifici del centro storico	erosione sotterranea in terreni sciolti
Palude del Capitano (Nardò)	1992	formazione di una dolina di crollo	distruzione completa di un tratto di strada	ipercarsismo costiero
Casalabate (Lecce)	1993	formazione di una dolina di crollo	edifici in parte inghiottiti e numerosi altri danneggiati ed in seguito demoliti	ipercarsismo costiero
Casalabate (Lecce)	1993	formazione di una dolina di crollo	sprofondamento di parte della spiaggia - nessun danno	ipercarsismo costiero
Spedicaturo (Nociglia)	1996	formazione di una dolina di crollo	nessun danno diretto - una strada posta ad alcune decine di metri venne chiusa e poi rinforzata con sottofondazioni	collasso repentino della volta di una grotta preesistente
Casalabate (Lecce)	1997	abbassamento del fondale marino	interdizione alla balneazione per un tratto di costa	sifonamento di una condotta carsica occlusa da sedimenti
Vore di Barbarano (Morciano di Leuca)	2000	distacco di un blocco roccioso della volta	nessuno	evento di un lento processo di crolli graduali
Casalabate (Lecce)	2000	formazione di una dolina di crollo	sprofondamento di parte della spiaggia - nessun danno	ipercarsismo costiero
Doline di Burgesi (Ugento)	2001	sprofondamenti del piano di calpestio	zona agricola - perdita di alcune centinaia di mq di suolo	cedimento dei terreni di riempimento

Grotta della Fica Lupara (Nardò)	2001 2002	lento abbassamento del piano stradale	danni alla sede stradale	fase di preparazione del collasso della volta
Grotta della Poesia Piccola (Rocavecchia - Melendugno)	2003	distacco di un blocco roccioso della volta	grotta di interesse archeologico	evento di un lento processo di crolli graduali
Nardò	2003 2004	spfondamenti del piano stradale	danni alla sede stradale	erosione sotterranea in terreni sciolti
Marina di Alliste	2004	formazione di una dolina di crollo	una strada ed alcuni edifici danneggiati	ipercarsismo costiero

Tabella 1 - Elenco dei principali casi di subsidenza e sinkholes verificatisi nel Salento dal 1991.

Le Murge individuano un vasto altopiano carbonatico degradante verso est e delimitato sul versante opposto da una scarpata con dislivelli e pendenze variabili. L'area murgiana presenta alcune delle doline più note della regione, tipicamente designate con vari termini locali, quali pulo e gurgo (PARISE et alii, 2003): tra queste, il Pulo di Altamura, il Pulo di Molfetta (MAGGIORE & QUARTO, 1987), e il Gurgo di Andria (AUTORI VARI, s.d.). Il Pulo di Altamura è la dolina che presenta le dimensioni massime, con diametro superiore ai 500 metri e profondità nell'ordine di circa 90 metri. Va segnalato che, ad eccezione delle prime segnalazioni, ad opera del geografo CARMELO COLAMONICO nei primi decenni del secolo scorso (COLAMONICO, 1917, 1919a, 1919b), pochi altri approfondimenti sono stati pubblicati in merito alla genesi di queste importanti morfologie del carsismo pugliese.

Il Salento, pur costituendo il settore topograficamente meno elevato della regione, risulta caratterizzato dall'alternanza di alti e bassi strutturali: ai primi, corrispondono esili dorsali denominate "serre". Particolarmente interessate a fenomeni di dissoluzione delle rocce sono le zone costiere, dove le acque di falda, rese salmastre per mescolamenti con acque marine di ingressione, sono molto aggressive e danno luogo a processi "ipercarsici" (CIGNA & FORTI, 1986). Il Salento inoltre appare il settore più interessato negli ultimi anni da casi di sprofondamento del suolo, i principali dei quali sono riassunti in Tabella 1.

I fenomeni di subsidenza e di sinkholes legati all'evoluzione di forme carsiche avvengono essenzialmente a causa di tre tipi di fenomeni: collassi della volta di grotte preesistenti; crolli graduali delle pareti di doline in evoluzione morfologica; cedimenti dei depositi di riempimento delle doline. Tali fenomeni si manifestano in altrettante fasi di evoluzione dei sistemi carsici, successive allo sviluppo delle cavità per dissoluzione delle rocce ad opera di acque sotterranee (Fig. 2a). L'ulteriore ampliamento degli ambienti ipogei avviene, infatti, principalmente a causa di fenomeni gravitativi (crolli dalle pareti e dalle volte). Tali processi si manifestano sino al raggiungimento di una configurazione stabile dell'ipogeo, oppure sino al collasso - in genere parziale - della volta in corrispondenza della superficie topografica, con relativa formazione di dolina (Fig. 2c). Quest'ultima, in genere, non possiede pareti stabili ed evolve ulteriormente, per mezzo di progressivi crolli lungo i margini. Infine, essa viene riempita da terre rosse residuali e da altri depositi continentali che, a loro volta, possono dar luogo a cedimenti per erosione sotterranea e fenomeni di costipamento (Fig. 2f).

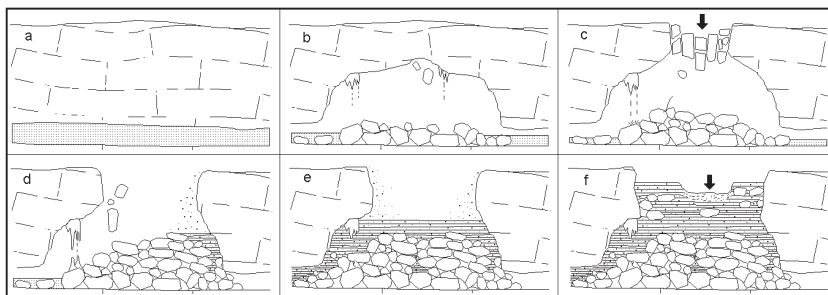


Fig.2 - Evoluzione dei sistemi carsici e fenomeni di sinkholes: a) fase freatica di individuazione della cavità carsica; b) ampliamento della cavità per fenomeni gravitativi; c) collasso della volta e formazione del sinkhole; d) ampliamento del sinkhole a causa di crolli perimetrali; e) riempimento con terre rosse e depositi continentali; f) nuovi sprofondamenti per cedimento dei depositi di riempimento.

Locali condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche possono determinare peculiari sviluppi dei sistemi carsici. E' il caso di molte piane costiere della Puglia centro-meridionale, dove i processi speleogenetici di dissoluzione dei carbonati sono particolarmente rapidi per processi di ipercarsismo, e si sviluppano poco al di sotto della superficie topografica. Ciò determina la formazione di cavità ampie e relativamente poco sviluppate in altezza, le cui volte collassano repentinamente, senza un sostanziale contributo di fenomeni gravitativi ipogei. Questi collassi repentini appaiono veri e propri "sfondamenti" della superficie topografica, come è ben evidenziato dal nome locale di spundulate (PARISE et alii, 2003).

La tabella 1 permette anche di evidenziare il manifestarsi di fenomeni di erosione e asportazione sotterranea (piping) di depositi fini sciolti, o poco cementati, a causa delle forze di filtrazione innescate da incrementi di carichi idraulici (SOWERS, 1996). E' l'abitato di Nardò che risulta particolarmente interessato a causa di perdite da condotte idriche e di filtrazione nel sottosuolo di acque piovane (DELLE ROSE et alii, 2000). Qui il piping riguarda sedimenti di origine marina, in un contesto differente da quello carsico. L'erosione sotterranea si può manifestare anche all'interno dei depositi di riempimento delle doline o in seno a sedimenti carbonatici clastici poco cementati, e in sovrapposizione ai processi di dissoluzione chimica, come probabilmente nel caso della formazione della dolina in località Spedicaturo, nel 1996 (Tab. 1).

Fenomeni di subsidenza nel territorio pugliese sono anche riconducibili ad attività antropiche: varie zone dell'ampia pianura alluvionale del Tavoliere sono ad esempio interessate da fenomeni di abbassamento del suolo causato dall'estrazione di gas o dall'emungimento della falda superficiale (CALCAGNI et alii, 1996; MELIDORO et alii, 1996). Altre aree della regione, caratterizzate nel passato da intensa attività estrattiva sotterranea (CHERUBINI & SGOBBA, 1997), mostrano invece attualmente abbassamenti del suolo di entità variabile da alcuni centimetri ad alcuni decimetri all'anno: nel circondario di Cutrofiano (provincia di Lecce), ad esempio, l'esteso territorio un tempo oggetto di attività estrattiva è segnato da effetti indotti da crolli di gallerie d'estrazione dei conchi calcarenitici o da fenomeni di plasticizzazione delle coperture argillose, in guisa di avvallamenti doliniformi. Si tratterebbe di fenomeni complessivamente lenti e potenzialmente latenti.

Altro aspetto delle forme carsiche generate da sinkholes è quello relativo al loro utilizzo come inghiottitoi per il drenaggio nel sottosuolo di acque superficiali (DELLE ROSE et alii, 2001; CARROZZO et alii, 2003). Da tempi remoti le genti pugliesi hanno utilizzato le forme carsiche, e principalmente le doline di crollo, come inghiottitoi per disperdere nel sottosuolo le acque. L'uso di tali cavità si è dimostrato in genere funzionale agli scopi antropici permettendo di bonificare aree che diversamente sarebbero state soggette

ad allagamenti ed impantanamenti. Si può ad esempio ricordare la dolina denominata Cupa presso l'insediamento arcaico di Cavallino (VI sec. a.C.), che probabilmente svolgeva anche la funzione di invaso (D'ANDRIA, 1996). Questi interventi di ingegnerizzazione delle doline hanno attraversato i millenni sino a divenire, nel secolo scorso, ricorrenti opere dei Consorzi di Bonifica.

1. CASI DI STUDIO

1.1. Castellana-Grotte

La cittadina di Castellana-Grotte, nelle Murge del sud-est barese, è nota per il notevole patrimonio carsico costituito dal sistema delle Grotte di Castellana (ANELLI, 1954). Il centro storico di Castellana-Grotte è sito nella parte più bassa di una valle carsica (PACE & SAVINO, 1995; PARISE, 1999), i cui elementi morfologici principali sono rappresentati dalle lame (PARISE et alii, 2003), blande depressioni vallive a fondo piatto, colmate da depositi alluvionali e terre rosse. Le lame, che costituiscono l'eredità di un antico reticolo idrografico, sono dirette verso la parte più bassa del paese, Largo Porta Grande, dove spesso in passato si sono verificati fenomeni di subsidenza. Un evento di particolare gravità avvenne ad esempio il 15 settembre 1968, e produsse danni ingenti a un edificio (Fig. 3).



Fig. 3 - Danni ad edifici siti a Largo Porta Grande, nella zona topograficamente più bassa di Castellana-Grotte (foto del 1999). L'area è stata successivamente bonificata.

Al di sotto dell'edificio venne individuata una cavità carsica, profonda ben 55 metri (ZEZZA, 1976), riempita di detriti, terra rossa, blocchi di breccia carbonatica, depositi vulcanoclastici e materiali di riporto. L'evento fu caratterizzato da cedimenti differenziali dovuti alla consolidazione dei depositi di riempimento della cavità ed alle condizioni di differente rigidità in corrispondenza delle strutture di fondazione. Altri dissesti si verificarono successivamente finché, nel 1972, l'edificio fu evacuato e abbandonato.

Castellana-Grotte, e in particolare il settore di Largo Porta Grande, è stata anche interessata più volte, a seguito di piogge particolarmente intense e prolungate, da eventi di allagamento, derivanti dalla combinazione della peculiarità idrologica e carsica dell'ambiente castellanese e di poco felici opere antropiche. Dopo l'evento del 9 novembre 1896,

nel corso del quale si registrarono alcune vittime (SGOBBA, 1896), vennero intrapresi lavori di ingegneria idraulica (utilizzando le morfologie carsiche e gli inghiottitoi naturali presenti in zona) al fine di facilitare l'assorbimento delle acque piovane nel sottosuolo e il relativo smaltimento (VITERBO, 1913; OROFINO, 1990; PARISE, 2002). I lavori così realizzati hanno significativamente contribuito alla mitigazione del rischio da allagamenti, riducendo la vulnerabilità della parte più topograficamente depressa del centro abitato.

1.2. Cesine-Casalabate

La fascia costiera tra Casalabate e Cesine, sul litorale adriatico della provincia di Lecce (Fig. 1), è costituita da un pianoro elevato pochi metri sul mare ed esteso verso l'entroterra per alcune centinaia di metri. Le calcareniti e calcilutiti del Pliocene e del Pleistocene costituiscono un acquifero costiero con diffuse manifestazioni sorgentizie; esso è inoltre sede di accentuati fenomeni ipercarsici (CIGNA & FORTI, 1986; NORRIS & BACK, 1990). Il paesaggio è caratterizzato da numerose doline di crollo, allineate lungo le principali direttrici tettoniche, sovente colmate da suoli, detriti e sabbie eoliche o, con falda emergente, ospitanti paludi ed acquitrini. La palude delle Cesine è l'area maggiormente interessata dai sinkholes benché, essendo quasi interamente coperta da vegetazione, risulta pressoché impossibile monitorarne gli sprofondamenti. Infatti l'effetto di questi (formazione di aree prive di vegetazione con forma circolare o ellittica) è visibile per brevi periodi prima che la ricrescita delle piante, a cominciare da quelle idrofile, ne mascheri rapidamente la presenza.

Dalla coalescenza di più doline (Fig. 4a-b) si formano depressioni estese sino a migliaia di metri quadri (DELLE ROSE & PARISE, 2004); queste sono separate dal mare da diaframmi di roccia calcarea instabile e intensamente carsificata (Fig. 4c), il cui collasso (Fig. 4d) può provocare la formazione di veri e propri canali costieri (Fig. 5). Laddove la coalescenza delle doline avvenga secondo sistemi di fratture trasversali alla costa, tali fenomeni determineranno la formazione di insenature (DELLE ROSE & FEDERICO, 2002).

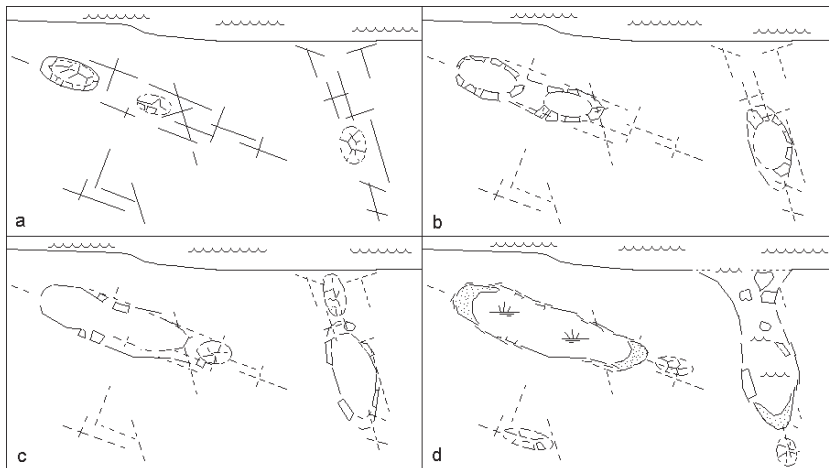


Fig. 4 - Modello evolutivo degli sprofondamenti in area costiera: a) formazione di doline singole; b) ampliamento delle doline; c) coalescenza delle doline, con formazione di sprofondamenti composti; d) formazione di canali costieri e insenature.



Fig. 5 - Canali costieri all'interno dell'area paludosa delle Cesine.

Casalabate rappresenta l'area antropizzata maggiormente vulnerata da ripetuti eventi di sinkholes (Tab.1). Il primo dei due eventi del 1993 è stato quello con maggiori conseguenze sul patrimonio edilizio: la formazione di una dolina ha dapprima determinato la distruzione di due edifici; in seguito le lesioni si sono propagate a numerosi edifici contigui, peraltro realizzati con scarsa attenzione rispetto alle interazioni con il sottosuolo. Nell'arco di alcuni mesi sono stati dichiarati pericolanti decine di abitazioni, poi completamente demolite. L'ultimo evento noto in quest'area risale al 2000, con la formazione di una dolina in prossimità della battigia, in breve colmata dalle sabbie litorali.

1.3. Rocavecchia-Porto Badisco

Il tratto di costa tra Rocavecchia e Porto Badisco (Fig. 1) è costituito, ad eccezione dell'area di Otranto, da calcareniti e calcari organogeno-detritici di età compresa tra l'Oligocene ed il Pliocene, che formano tavolati blandamente inclinati verso mare e delimitati da falesie alte sino ad alcune decine di metri. Nel sottosuolo si sviluppano estesi sistemi carsici, alcuni dei quali oggetto di frequentazioni antropiche sin da tempi preistorici. Le Grotte della Poesia (numerate come Pu 127 e Pu 128 nel Catasto delle Grotte della Regione Puglia; GIULIANI, 2000) sono ubicate a circa 200 metri di distanza dall'area archeologica di Rocavecchia; al loro interno è stato individuato il più importante complesso epigrafico messapico e latino del Salento (PAGLIARA, 1987). Il sistema carsico è costituito da tre vani a pianta ellittica, collegati tra loro e con il mare da ampie gallerie. Due dei tre ambienti presentano volte in gran parte crollate e appaiono, quindi, come doline non ancora morfologicamente stabili. La loro evoluzione attuale procede tramite il distacco di volumi più o meno ingenti di roccia dai margini, l'ultimo dei quali avvenuto nel dicembre 2003 (Fig. 6).

E' ben nota l'importanza che l'assetto geologico-strutturale, con particolare riguardo ai sistemi di discontinuità all'interno degli ammassi rocciosi carbonatici, riveste nell'influenzare la speleogenesi (LIN HUA, 1986). Nella zona di Rocavecchia, i principali fattori condizionanti lo sviluppo delle cavità carsiche, gli sprofondamenti, e la loro evoluzione, sono appunto individuabili nelle caratteristiche geologico-strutturali delle rocce affioranti (alternanza di calcareniti fini e calcilutiti), e nella circolazione idrogeologica. Il condizionamento geologico-strutturale è evidenziato dall'orientazione degli assi maggiori delle cavità, e delle gallerie tra esse comprese, lungo i principali sistemi di fratturazione dell'ammasso roccioso (DELLE ROSE & PARISE, 2003).

All'estremo sud del settore costiero considerato, il sistema carsico di Porto Badisco (Fig. 7) annovera almeno una decina di grotte, tra cui la Grotta dei Cervi (Pu 902), che ospita sulle pareti le rinomate pitture neolitiche (OROFINO, 1970; GRAZIOSI, 1980). Vari ambienti ipogei di questa zona presentano precarie condizioni di stabilità che possono preludere ad eventi di sinkhole.

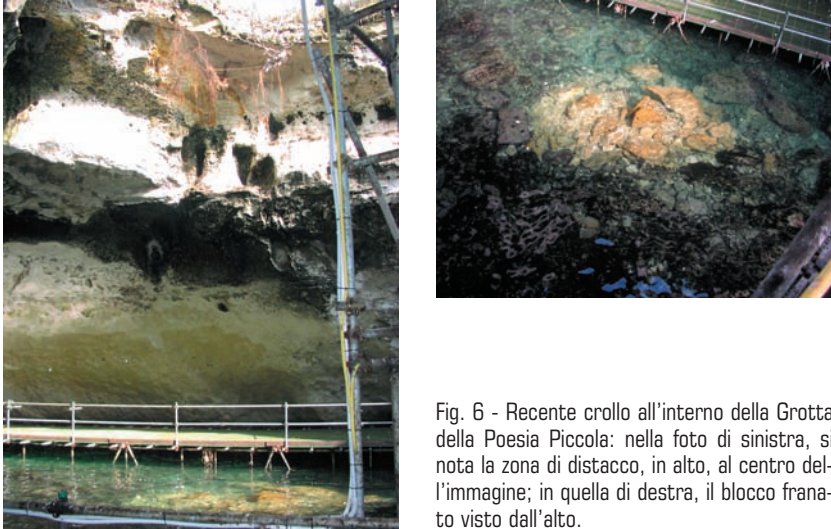


Fig. 6 - Recente crollo all'interno della Grotta della Poesia Piccola: nella foto di sinistra, si nota la zona di distacco, in alto, al centro dell'immagine; in quella di destra, il blocco franato visto dall'alto.

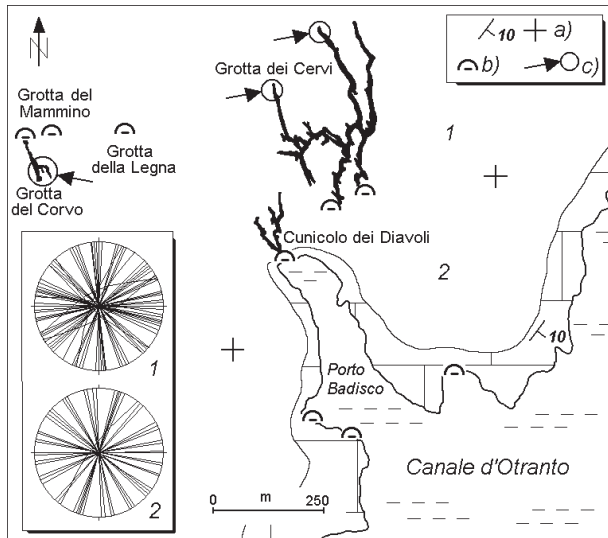


Fig. 7 - Sistema carsico di Porto Badisco. Legenda: a) giaciture degli strati; b) accessi delle grotte; c) settori a maggiore rischio di sprofondamenti. Il riquadro in basso a sinistra mostra, in diagrammi equiareali di Schmidt, i principali sistemi di discontinuità tettonica.

La grotta che al momento appare maggiormente investita da questi problemi è quella denominata del Corvo (o dei Briganti; Pu 903), esplorata per complessivi 150 m. Alcune delle sale della grotta presentano volte fittamente fessurate, con blocchi in condizioni di precario equilibrio, mentre il fondo è sovente costituito da recenti depositi di crollo (Fig. 8). Gli speleologi hanno osservato crolli occorsi anche in tempi recenti. Sulla base delle condizioni strutturali e del tipo di accumuli presenti sul fondo delle gallerie (DELLE ROSE & REINA, 2002) si può dedurre che tali fenomeni potrebbero interessare in futuro anche alcuni tratti della Grotta dei Cervi, con possibili gravi ripercussioni sul patrimonio archeologico in essa contenuto.



Fig. 8 - Particolare di uno degli ambienti della Grotta del Corvo maggiormente interessati da crolli della volta.

CONCLUSIONI

Come evidenziato da studi condotti in altri paesi dell'area Mediterranea (si vedano, ad esempio, i casi di studio in Spagna descritti da GUTIERREZ & COOPER, 2002, e da SORIANO & SIMON, 2002, o in Albania descritti da PARISE et alii, 2004), la pericolosità connessa ai fenomeni di subsidenza carsica risulta di valutazione complessa, il che si traduce in serie difficoltà nella gestione e pianificazione dei territori interessati.

La peculiarità dell'ambiente carsico, e le particolari condizioni geologiche, morfologiche, idrogeologiche richiedono necessariamente un approccio interdisciplinare nell'analisi, in tutti i possibili aspetti, dei meccanismi genetici ed evolutivi degli sprofondamenti (FORTH et alii, 1999). I dati di carattere geologico e carsico devono in particolare essere integrati da analisi geotecniche, specie in quelle zone dove il substrato calcareo risulta coperto da depositi argillosi (THARP, 1999; COOLEY, 2002). Qualunque intervento progettuale e ingegneristico sui territori carsici andrebbe quindi preceduto da un'analisi delle caratteristiche geologiche e geotecniche, in funzione dei processi carsici e speleogenetici del sito (LAMONT-BLACK et alii, 2002), per limitare così la possibilità di incorrere in onerosi danni economico-sociali nel caso di verificarsi di fenomeni di sprofondamento (CALEMBERT, 1975; LISZKOWSKI, 1975). Fenomeni di subsidenza e sprofondamenti di origine carsica risultano molto diffusi e frequenti sul territorio pugliese. Una serie di problematiche si presentano a quanti vogliono approfondire le conoscenze in questo settore.

Nell'ambito della pianificazione territoriale, al fine di pervenire ad una mitigazione del

rischio derivante da questo tipo di fenomeni, occorrerebbe definire innanzitutto le aree esposte ai vari tipi di subsidenza e di sinkholes connessi a processi carsici.

In campo applicativo, è necessario intraprendere ricerche finalizzate alla risoluzione di eventuali problemi per le strutture antropiche; nel caso di progettazione di nuove strutture, ciò dovrebbe avvenire nel rispetto dell'evoluzione morfologica dei territori carsici e del relativo assetto idrogeologico.

Di grande importanza sono le problematiche relative alla conservazione dei beni monumentali: la presenza, sul territorio pugliese, di ipogei di rilevante valore archeologico, soggetti, come nel caso delle Grotte della Poesia, o potenzialmente soggetti, come la Grotta dei Cervi, a fenomeni di instabilità, risalta ulteriormente la necessità di svolgere ricerche sulle possibili evoluzioni dei fenomeni, al fine della salvaguardia e della tutela del patrimonio storico ed archeologico della regione.

Altre problematiche riguardano poi l'eventuale utilizzo delle doline di crollo per il drenaggio delle acque superficiali e, più in generale, le opere di sistemazione idraulica dei territori carsici. Queste costituivano in passato pratiche millenarie, reiterate con successo sino al secolo scorso (come nel caso descritto a Castellana-Grotte), ma poi abbandonate negli ultimi decenni di frenetica urbanizzazione del territorio. Le sempre più frequenti manifestazioni di eventi di allagamento in aree urbane, anche in occasione di piogge non eccezionali, ripropongono con forza la necessità di tornare a pensare alla realizzazione di opere idrauliche adatte alla peculiarità dell'ambiente carsico.

Un ultimo, ma non in ordine di importanza, argomento di studio riguarda infine l'origine e l'evoluzione delle doline di maggiori dimensioni, quali i cosiddetti puli delle Murge. Si consideri ad esempio che la rapidità della fase terminale di formazione del sinkhole, insieme alla estensione dei fenomeni, sono tali da risultare di estrema pericolosità, nel caso coinvolgessero aree antropizzate.

BIBLIOGRAFIA

ANELLI F. (1954) – Castellana. Arcano mondo sotterraneo in Terra di Bari. Comune di Castellana-Grotte, ristampa del 1992, 11^a ed., 176 pp.

AUTORI VARI (s.d.) – Il Gurgo di Andria. Comune di Andria, 73 pp.

BABOCI K., PALMENTOLA G. & SANSÒ P. (1991) – Primi risultati dello studio quantitativo delle forme carsiche epigee dei dintorni di S. Marco in Lamis. *Itinerari Speleologici*, s. II, **5**, 87-95.

BISSANTI A. (1966) – La dolina Pozzatina nel Gargano. *Riv. Geogr. It.*, anno 73, 312-321.

CAIAZZO D. (1990) – S. Marco in Lamis: la Grava di Zazzano. *Itinerari Speleologici*, s. II, **4**, 79-84.

CALCAGNI G., MAGGIORE M., PAGLIARULO P. & WALSH N. (1996) - Fenomeni di subsidenza causati dall'estrazione di gas nei dintorni di Lucera (Fg). *Mem. Soc. Geol. It.*, **51**, 643-658.

CALEMBERT L. (1975) - Problemes de geologie de l'ingenieur en regions karstiques. *Bull. Int. Ass. Eng. Geology*, **12**, 93-132.

CARROZZO M.T., DELLE ROSE M., DE MARCO M., FEDERICO A., FORTE F., MARGIOTTA S., NEGRI S., PENNETTA L. & SIMEONE V. (2003) - Pericolosità ambientale di allagamento nel Salento leccese. *Quaderni di Geologia Applicata, serie Aiga*, **2** (1), 77-85.

CASTIGLIONI B. & SAURO U. (2000) – Large collapse dolines in Puglia (southern Italy): the cases of "Dolina Pozzatina" in the Gargano plateau and of "Puli" in the Murge. *Acta Carsologica*, **29/2**, 83-93.

CHERUBINI C. & SGOBBA D. (1997) - Le cave sotterranee di tufo pugliesi: descrizione degli ipogei e valutazione di stabilità. *Atti IV Conv. Naz. sulle Cavità Artificiali*, 30/05 – 01/06/1997, Osoppo, 51-68.

CIGNA A.A. & FORTI P. (1986) - The speleogenetic role of the air flow caused by convection. 1st contribution. *Int. J. Speleol.*, **15**, 41-52.

- COLAMONICO C. (1917) – Il Pulo di Altamura. Mondo Sotterraneo, Udine, 3-14.
- COLAMONICO C. (1919a) – Il “Gurgo” di Andria. Boll. Reale Soc. Geogr. It., Roma, fasc. III-IV, 225-229.
- COLAMONICO C. (1919b) – Il Pulicchio di Toritto e la genesi dei puli nel barese. Boll. Reale Soc. Geogr. It., Roma, fasc. IX-XII, 578-595.
- COOLEY T. (2002) - Geological and geotechnical context of cover collapse and subsidence in mid-continent US clay-mantled karst. *Environmental Geology*, **42**, 469-475.
- D'ANDRIA F. (1996) - Gnatia Lymphis iratis extracta. L'acqua negli insediamenti della Messapia. Uomo acqua e paesaggio. Atti Incontro di Studio “Irreggimentazione delle acque e trasformazione del paesaggio antico”, S. Maria Capua Vetere, 269- 279.
- DELLE ROSE M. & FEDERICO A. (2002) - Karstic phenomena and environmental hazard in Salento coastal plains. Proc. IAEG Congress, Durban (South Africa), 1297-1305.
- DELLE ROSE M. & PARISE M. (2003) - Il condizionamento di fattori geologico-strutturali e idrogeologici nella speleogenesi di grotte costiere del Salento. Atti XIX Congresso Nazionale di Speleologia, Bologna, 27-31 agosto 2003, 27-36.
- DELLE ROSE M. & PARISE M. (2004) - Karst subsidence in south-central Apulia Italy. *Int. J. Speleol.*, **30 B** (1/4), 179-197.
- DELLE ROSE M. & REINA A. (2002) – La Grotta dei Cervi: speleogenesi e microclima. *Grotte e dintorni*, **4**, 27-36.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A. & FIORITO F. (2000) - Valutazione preliminare dei fattori di rischio del centro antico di Nardò. Atti Convegno “GeoBen 2000”, Torino, 7-9 giugno 2000, 461-468.
- DELLE ROSE M., PARISE M., PROIETTO G. & TARTARELLI M. (2001) – L’Aviso Neviera (Pu 196) a Sogliano Cavour (provincia di Lecce). *Puglia Grotte*, bollettino del Gruppo Puglia Grotte, Castellana-Grotte, 35-42.
- DOGLIONI C., MONGELLI F. & PIERI P. (1994) – The Puglia uplift (SE Italy): an anomaly in the foreland of the apenninic subduction due to buckling of thick continental lithosphere. *Tectonics*, **13** (V), 1309-1321.
- FORD D.C. (1988) - Characteristics of dissolutional cave system in carbonate rocks. In: N.P. JAMES & P.W. CHOQUETTE (Eds.) – *Paleokarst*. Springer-Verlag, 25-27.
- FORTH R.A., BUTCHER D. & SENIOR R. (1999) - Hazard mapping of karst along the coast of the Algarve, Portugal. *Engineering Geology*, **52** (1-2), 67-74.
- FUSILLI C. (1988) – La Grava di Campolato. *Itinerari Speleologici*, s. II, **3**, 27-32.
- GIULIANI P. (2000) - Elenco delle grotte pugliesi catastate al 31 ottobre 1999. *Itinerari Speleologici*, s. II, **9**, 5-41.
- GRAZIOSI P. (1980) – Le pitture preistoriche della grotta di Porto Badisco. *Origines*, Giunti Martello, Firenze, 196 pp.
- GUTIERREZ F. & COOPER A.H. (2002) - Evaporite dissolution subsidence in the historical city of Calatayud, Spain: damage appraisal and prevention. *Natural Hazards*, **25** (3), 259-288.
- LAMONT-BLACK J., YOUNGER P.L., FORTH R.A., COOPER A.H. & BONNIFACE J.P. (2002) - A decision-logic framework for investigating subsidence problems potentially attributable to gypsum karstification. *Engineering Geology*, **65** (2-3), 205-215.
- LIN HUA S. (1986) - Geological structure: an important factor controlling karst development. Proc. of the Anglo-French Symp. “New directions in karst”, september 1983, 165-174.
- LISZKOWSKI J. (1975) - The influence of karst on geological environment in regional and urban planning. *Bull. Int. Ass. Eng. Geology*, **12**, 49-51.
- MAGGIORE M. & QUARTO R. (1987) – Caratteri morfologici e strutturali del Pulo di Molfetta (Puglia). *Studio geologico e geofisico. Atti XV Congr. Naz. Speleologia, Castellana-Grotte*, 10-13 settembre 1987, 707-729.
- MELIDORO G. & PANARO V. (2000) - Sprofondamenti carsici nei gessi costieri di Marina di Lesina (Gargano) e mitigazione del rischio. *Geologia Tecnica ed Ambientale*, **3**, 13-24.

- MELIDORO A., MELIDORO N.L. & SIMEONE V. (1996) - Primi casi di subsidenza in Puglia prodotta da emungimento d'acqua da pozzi. *Mem. Soc. Geol. It.*, **51**, 49-62.
- NICOD J. (1972) - Pays et paysages du calcaire. Presses Universitaires de France, Paris, 242 pp.
- NORRIS R.M. & BACK W. (1990) - Erosion of seacliffs by groundwater. In: C.G. HIGGINS & D.R. COATES (Eds.): "Groundwater geomorphology: the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms". *Geol. Soc. Am.*, spec. paper 252, 283-290.
- OROFINO F. (1970) - Grotta di Porto Badisco n. 902 Pu. *Speleologia Emiliana*, ser. II, **7**, 81-91.
- OROFINO F. (1990) - Castellana-Grotte: le vicende storiche di Largo Porta Grande. *Itinerari Speleologici*, s. II, **4**, 39-46.
- PACE P. & SAVINO G. (1995) - Largo Porta Grande e la conca carsica di Castellana-Grotte. *Umanesimo della Pietra-Verde*, **10**, 35-44.
- PAGLIARA C. (1987) - La Grotta Poesia di Roca (Melendugno - Lecce). Note preliminari. *Annali Scuola Normale di Pisa*, **17**, 267-328.
- PALMENTOLA G. (1987) - Lineamenti geologici e morfologici del Salento leccese. *Quad. Ric. Centro Studi Geot. Ing.*, Lecce, **11**, 7-30.
- PARISE M. (1999) - Morfologia carsica epigea nel territorio di Castellana-Grotte. *Itinerari Speleologici*, s. II, **8**, 53-68.
- PARISE M. (2002) - Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **3** (6), 593-604.
- PARISE M., FEDERICO A., DELLE ROSE M. & SAMMARCO M. (2003) - Karst terminology in Apulia (southern Italy). *Acta Carsologica*, **32** (2), 65-82.
- PARISE M., QIRIAZI P. & SALA S. (2004) - Some notes on natural and anthropogenic hazards in karst areas of Albania. [abstract] *Geophysical Research Abstracts*, **6**.
- RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F. & PIERI P. (1988) - Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo. *Mem. Soc. Geol. It.*, **41**, 57-82.
- SGOBBA A., 1896, Della inondazione avvenuta in Castellana il 9 novembre 1896. *Stab. Tip. N. Grezzi, Monopoli*, 15 pp.
- SORIANO M.A. & SIMON J.L. (2002) - Subsidence rates and urban damages in alluvial dolines of the Central Ebro basin (NE Spain). *Environmental Geology*, **42** (5), 476-484.
- SOWERS G.F. (1996) - Building on sinkholes. ASCE Press, New York.
- THARP T.M. (1999) - Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes. *Engineering Geology*, **52** (1-2), 23-33.
- VITERBO M. (1913) - Castellana e le alluvioni attraverso i secoli. *Rassegna Pugliese*, **28** (10), 1-23.
- WHITE W.B. (1988) - Geomorphology and hydrology of karst terrains. Oxford University Press, 464 pp.
- ZEZZA F. (1976) - Significance of the subsidence collapse phenomena in the carbonatic areas of southern Italy. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, **11** (1), 123-132.

RINGRAZIAMENTI

Pubblicazione effettuata con fondi GNDICI, U.O. n. 2.36, Progetto "Sinkholes". Si ringrazia lo speleologo Isidoro Mattioli per l'aiuto nei rilievi eseguiti nella Grotta del Corvo.