

MARIO PARISE<sup>1</sup>, PINO PALMISANO<sup>2</sup>, RAFFAELE ONORATO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Università Aldo Moro, Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Bari  
mario.parise@uniba.it

<sup>2</sup>Centro di Speleologia Sottomarina Apogon, Nardò (Lecce)  
apogon@virgilio.it

## CONTRIBUTO ALLA CONOSCENZA DEI FENOMENI CARSICI DI COLLASSO IN ZONE COSTIERE DEL SALENTO JONICO (PUGLIA): LA *SPUNNULATA DELLA PAJARA*

### RIASSUNTO

*Spunnulata*, inteso nel significato di rottura di una superficie topografica, è un termine dialettale usato nella Penisola Salentina (Nardò, Sud Italia) per descrivere un elemento geomorfologico del paesaggio costiero che si manifesta come uno sprofondamento in genere ampio, ma non particolarmente profondo. Le “*spunnulate*”, che hanno dimensioni variabili da poche a diverse decine di metri, sono forme che possono essere ascritte alla categoria delle doline di crollo. Molte di esse non raggiungono il livello di falda, altre creano bacini e laghetti salmastri, poche sono direttamente collegate col mare aperto attraverso gallerie sommerse.

L'area in esame è circoscritta a una piccola striscia allungata della costa di Sant'Isidoro (Nardò), dove la piana costiera è interpretabile come il risultato morfologico di un'azione combinata di fattori carsico-marini.

La struttura geologica dell'area in esame è rappresentata alla base da calcari e da dolomie del Cretaceo superiore, ricoperti da sottili depositi trasgressivi di calcareniti del Pleistocene inferiore. Nella depressione morfologica della “Palude del Capitano”, la sequenza geologica è chiusa in cima da depositi colluviali recenti dell'Olocene, quali argille, limi, sabbie e “terre rosse”. L'esame dei macro-elementi morfologici di questa porzione di territorio rivela essenzialmente che le forme carsiche profonde devono essere interpretate geneticamente nella relazione di contatto delle due unità litologiche con l'azione combinata esercitata dall'acquifero carsico che fluisce verso il mare e da quella d'ingressione marina continentale nel basamento roccioso fratturato. Il processo carsico nelle rocce carbonatiche di un ambiente costiero produce un'esaltazione della dis-

soluzione a causa delle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque salmastre che sviluppano le condizioni di un processo ipercarsico.

La *Spunnulata della Pajara* è una cavità sommersa di collasso che è stata esplorata recentemente. Essa si apre in superficie nelle calcareniti e si sviluppa in profondità nei sottostanti calcari. L'ambiente subacqueo è ingombro nella sua parte occidentale dai resti del collasso della superficie topografica. La parte orientale è composta da una bassa caverna articolata da stretti passaggi di difficile percorrenza. Le pareti e la volta mostrano forme erosive di flusso e alveoli e canalicoli carsici che evidenziano un esteso sistema, dall'aspetto spugnoso, creato dall'azione ipercarsica della miscela delle acque di base con quelle di ingressione marina continentale. In diversi punti della volta si conservano tasche di terre gialle che inglobano frammenti calcarei a spigoli vivi.

Le immersioni subacquee in questa cavità presentano un'alta pericolosità a causa del facile distacco di detriti dalle tasche terrose della volta, che rendono nulla la visibilità alla progressione.

## SUMMARY

A *Spunnulata* – meaning a break in a surface - is a dialectal word used in the Salento Peninsula (Apulia, South Italy) to describe a coastal landform. Typically, a *spunnulata* is a wide sinkhole, not particularly deep, varying in size from a few to several meters, and may be classified as a collapse doline. Many of these sinkholes do not reach the water table, others form small brackish pools, while a few others are connected directly to the open sea through submerged tunnels.

The area studied refers to a stretch of the Ionian coast south of Sant'Isidoro (Nardò, Lecce province) where the coastal plain is the morphological result of the combined action of karst and marine processes.

The geological bedrock is represented by Upper Cretaceous limestone and dolomites, overlaid by thin transgressive Lower Pleistocene calcarenites. In the *Palude del Capitano* swamp land, the geological sequence is closed at the top by recent Holocene deposits of clays, silts, sands and "terre rosse". A study of the morphological macro-elements in this area reveals that the deep karstic forms should genetically be linked to the contact of two lithological units with the combined action of the karst aquifer downflowing to the sea and marine water intrusion in the fractured bedrock. Karst processes in coastal carbonate rocks enhance dissolution because of the chemical and physical characteristics of the brackish water fostering the conditions for a hyperkarstic process.

The *Spunnulata della Pajara* is a submerged collapse cave that has been

recently explored. It opens up at the surface in calcarenites and continues down into the underlying limestones. The underwater room is cluttered by collapse blocks in the western side, while on the opposite a complex large and low room makes difficult the exploration, due to narrow section of the passages. Along the walls and the ceiling are widespread erosive forms (scallops), as well as a large distribution of cells and fine channels (sponge-works) testifying the hyperkarstic action of the mixing waters. In various points of the ceiling are preserved pockets of yellow soils which include sharp-edged limestone debris.

The scuba diving in this cave has a hazardous profile due to the frequent detachment of debris from the ceiling pockets containing yellow soils.

## INTRODUZIONE

Il Salento è uno dei settori carsici della Puglia che da sempre è stato oggetto di particolari indagini speleologiche in ragione dei suoi affioramenti litologici, delle vicissitudini paleogeografiche dell'intero territorio, dell'alta distribuzione di forme carsiche superficiali e profonde e dove la genesi e lo sviluppo di particolari fenomeni di sprofondamento e subsidenza (*sinkholes* nel termine anglosassone; WALTHAM *et al.*, 2005; GUTIERREZ *et al.*, 2014) hanno ultimamente stimolato l'interesse di molti ricercatori.

La porzione di territorio costiero del versante neretino compreso tra Torre Sant'Isidoro e Torre dell'Inserraglio è stata materia di numerose indagini di carattere speleologico (ONORATO *et al.*, 2006; DENITTO *et al.*, 2006; BELMONTE *et al.*, 2011), geomorfologico (DELLE ROSE, 2000; DELLE ROSE e FEDERICO, 2002; DELLE ROSE *et al.*, 2004a, b), relative all'habitat naturale (CURTI e LORENZONI, 1969; BECCARISI *et al.*, 2002; ONORATO *et al.*, 2006; BELMONTE *et al.*, 2011) ed anche terminologico, per l'influenza di etimi dialettali nella definizione di alcune tipiche morfologie carsiche locali (PARISE *et al.*, 2003).

Le *spunnulate* ("sfondate", nell'accezione di "sprofondate") sono una delle più evidenti manifestazioni carsiche di tale paesaggio costiero, inquadrabili nel novero delle varie tipologie delle doline di crollo. Le loro dimensioni variano dal metro, fino al diametro massimo di diverse decine di metri (Fig. 1 e 2).

Localizzate ben oltre lo stretto ambito di retroscogliera, esse si rinven-  
gono verso N, fino alla zona di Torre Castiglione (BRUNO *et al.*, 2008; BASSO *et al.*, 2013), verso S, fino al limite degli affioramenti calcarenitici di Torre Inserraglio e nell'entroterra, fino a una distanza di oltre un Km dall'attuale linea di costa, giungendo al limite del contatto geologico tra le calcareniti ed i calcari Mesozoici.

I fenomeni generali di sprofondamento di superfici topografiche di terreni

carbonatici, siano essi di origine naturale o indotti da processi di tipo antropico, sono stati oggetto di molti importanti studi sia su scala internazionale (NICOD 1972; WHITE 1988; CASTIGLIONI and SAURO, 2000; FORD and WILLIAMS, 2007; PARISE e GUNN, 2007; DE GIOVANNI *et al.*, 2011; PARISE e LOLLINO, 2011; PARISE, 2015), sia su scala regionale, con questi ultimi non circoscritti al solo stretto ambito geografico preso in esame in questa nota (MAGGIORE e QUARTO, 1987; PACE e SAVINO, 1995; SELLERI *et al.* 2003a, 2003b; DELLE ROSE *et al.* 2004b; TAVIANI *et al.*, 2012; MARGIOTTA *et al.*, 2012, 2016). In particolare, il notevole aumento nella frequenza di eventi di sprofondamento in Puglia nell'ultimo ventennio (FIORE e PARISE, 2013; PARISE e VENNARI, 2017) ha posto



Fig. 1. La Palude del Capitano è geneticamente il risultato della coalescenza di crolli impostati lungo direttrici di allineamento tettonico. È orientata NW-SE, di forma ellittica, con il diametro maggiore di 140 m e quello minore di 40.

Fig. 1. *Genetically, the "Palude del Capitano" derives from the coalescence result of collapses set up along tectonics lineations. It is NW-SE oriented, with an elliptical form and measures 140 m by 40 m.*

Fig. 2. Piccolo sprofondamento della superficie topografica posto 50 m a NW del bacino maggiore della Palude del Capitano.

Fig. 2. *Small sinkhole as a break of the topographic surface located 50 m NW of the Palude del Capitano main basin.*



all'attenzione della comunità scientifica e, più in generale, dell'intera popolazione, l'esistenza di tale rischio idrogeologico.

Un'interessante ricerca di dettaglio, svolta alcuni anni orsono, lungo una fascia costiera del litorale neretino, ha censito ben 95 elementi morfologici riconducibili a genesi di crollo per azione carsica, quali doline, grotte, *spun-nulate* e fori carsici (BECCARISI *et al.*, 2009).

L'aspetto descrittivo di questa nota si appunta su una nuova cavità sommersa, esplorata recentemente (ONORATO *et al.*, 2017), e sulla relazione della tipologia litologica in cui è scavata, con la circolazione idrica della falda di base e l'influenza delle acque marine d'ingressione continentale che hanno determinato la condizione di una dissoluzione di tipo ipercarsico.

La *Spunnulata della Pajara* (Pu 1809) era sfuggita alle precedenti indagini speleologiche in ragione del suo mascheramento determinato dai materiali di risulta accumulati in una depressione naturale, in conseguenza di un'antropizzazione legata all'uso agricolo dell'area. L'accurato lavoro di bonifica e la rimozione del riempimento, eseguito nel corso di un risanamento edilizio per la valorizzazione del vecchio rustico agricolo, ha ripristinato lo stato originale dei luoghi, mettendo in luce una delle forme più intatte di *sinkhole* di contatto geo-litologico (GAMS, 1994; SELLERI *et al.*, 2002). Questa *spun-nulata* è la più meridionale e la più arretrata dal mare di tutte le depressioni da collasso conosciute nell'area oggetto di questa indagine. Essa si apre 420 m a S-E della *Palude del Capitano* e 950 m dal punto di costa più vicino.

Si annota comunque, che ancora più a sud, è localizzata anche la *Spun-nulata presso Serra Cicora* (Pu 1572). Questa si apre negli affioramenti calcarenitici ed è localizzata a una ventina di metri dalla linea di costa, poco a sud del piccolo lembo dei calcari Cretacei dell'Inserraglio.

## QUADRO GEOGRAFICO

L'area d'indagine è circoscritta al territorio del Comune di Nardò che si estende per alcuni Km tra le località di Sant'Isidoro a N e la Masseria Bellimento a S (Fig. 3). L'intera zona rientra nell'area protetta del Parco Naturale Regionale di "Porto Selvaggio e Palude del Capitano". Quattro emergenze naturali sono iscritte nell'elenco dei territori regionali sottoposti a tutela e classificati come Siti di Interesse Comunitario: "Palude del Capitano" (codice SIC IT9150013 e SIC MARE IT9150013); "Torre Inserraglio" (SIC IT9150024) e "Torre Uluzzo" (SIC IT9150007). Queste ultime due aree sono poste più a meridione e fuori dal contesto geografico preso in esame in questa nota.

L'area oggetto di salvaguardia inoltre, comprende anche i tratti di mare che costituiscono l'Area Marina Protetta che da Porto Cesareo giunge a Torre Inserraglio e la parte esterna della Riserva Naturale Regionale "Porto Selvaggio".

gio e Palude del Capitano”, che raggiunge gli spalti di Torre dell’Alto, a N di Santa Caterina (Fig. 4).

Le manifestazioni carsiche segnalate come grotte e voragini naturali sono censite al patrimonio speleologico della Regione Puglia (L.R. 33/2009) e inserite nel Catasto Nazionale delle Grotte d’Italia della Società Speleologica Italiana (SSI) (OROFINO, 1986; GIULIANI, 2000).

Le depressioni da collasso conosciute come *spunnulate* sono altresì oggetto di tutela idrogeologica (D.lgs. 152/99) e rappresentano habitat naturali riconosciuti dalla Comunità Europea (Direttiva “Habitat” 92/43/CEE).

L’insieme di tutte queste evidenze naturali, che associano non solo gli aspetti paesaggistici del territorio, mette in risalto l’importante valenza geomorfologica, botanica, biologica e archeologica dell’intera zona.

## QUADRO MORFOLOGICO

Le osservazioni di questa nota si limitano ad un tratto costiero roccioso elevato pochi metri sul livello del mare, definito da alcuni Autori a “microfalesia” (DELLE ROSE, 2000). I macro-elementi morfologici dell’area mettono in risalto la relazione genetica di un carsismo che si è sviluppato al contatto litologico di due unità entrambe carbonatiche e l’azione esercitata dalle acque di falda in combinazione con quelle marine di ingressione continentale. Il modellamento costiero della piana a sud di Sant’Isidoro pertanto, deve essere inquadrato morfologicamente come il risultato dell’azione di fattori carsico-marini.

Nella parte più settentrionale del tratto litorale si individuano diverse tipologie di spiagge in diretta relazione con i caratteri fisiografici della zona. Una piccola baia a contorno tondeggiante, localmente chiamata Frascione, mostra corpi rocciosi semisommersi interpretabili come resti di una fase evolutiva finale di una *spunnulata*. Da notare che lo sviluppo di questa insenatura, ad andamento NW-SE, è perfettamente allineato alla retrostante *Palude del Capitano* e, più all’interno, alla *Spunnulata della Pajara*. (Fig. 5). Tale elemento trova riscontro anche nella zona di Porto Cesareo, dove le baie che caratterizzano il litorale compreso tra Torre Lapillo e Torre Castiglione sono allineate secondo i principali elementi tettonici che caratterizzano le circa 60 *spunnulate* censite e documentate nei lavori di BRUNO *et al.* (2008) e di BASSO *et al.* (2013).

Anche una stretta insenatura marina lunga circa 200 m, denominata Cala di San Nicola, disposta ortogonalmente alle direttrici tettoniche prevalenti, potrebbe avere una relazione evolutiva con un’altra antica forma di collasso. L’accumulo sabbioso di spiaggia, trasportato dai processi di deriva marina, che si conserva nel tratto litorale più interno, è protetto da una diga naturale composta da uno sbarramento roccioso semisommerso, posto quasi a metà del suo sviluppo. L’allineamento di questi blocchi potrebbe confortare

l'ipotesi di una forma relitta di uno sprofondamento ormai notevolmente degradato, in pratica divenuto una baia costiera (Fig. 5). La sua relazione morfologica con un blando solco fluviale, ormai poco riconoscibile a causa dell'intensa antropizzazione, è anche da assumere nel novero dei fattori genetici della baia e di quanto l'antica idrografia superficiale abbia avuto un ruolo nella costruzione del paesaggio attuale (MASTRONUZZI *et al.*, 2002).

Fig. 3. Quadro d'unione dell'area d'indagine: Localizzazione delle due "spunnulate" maggiori, dei fenomeni di subsidenza minore, dei punti di risorgenza delle acque di falda e dell'area dove si rinvergono i blocchi costieri di maggior dimensione scalzati dal mare.

Fig. 3. Areal survey: Position of the two major "spunnulate"; area of other minor sinkholes forms; position of the groundwater springs along the coast, and of the area where the waves' impact has emplaced large boulders far from the coastline.

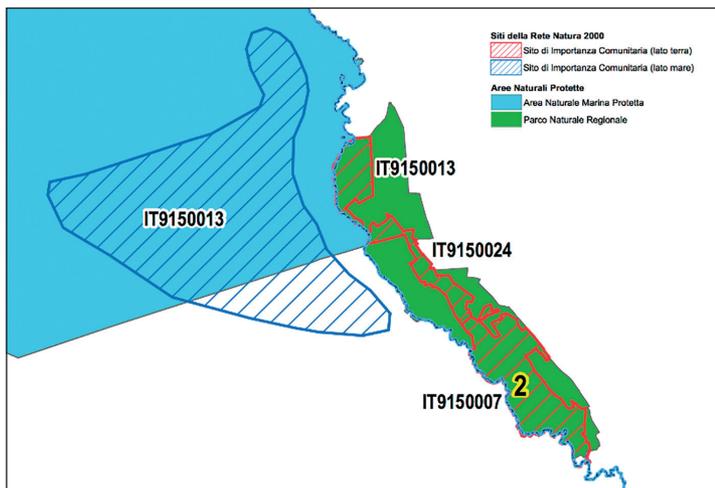
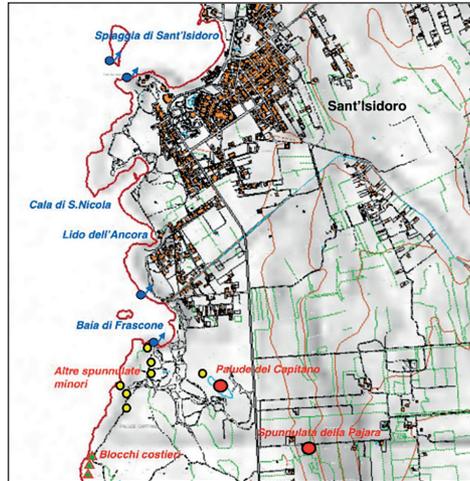


Fig. 4. Delimitazione delle aree costiere e marine protette (Estratto della Carta delle Aree Naturali Protette e dei Siti della Rete Natura 2000).

Fig. 4. Boundaries of the protected marine and coastal areas (extract from the Map of the Protected Natural Areas and the Natura 2000 Sites).



Fig. 5. Località Frascione: Resti di una spunnulata ormai quasi completamente smantellata dall'azione marina.

Fig. 5. Frascione site: remains of a spunnulata now almost fully dismantled by the marine action.



Fig. 6. La lunga insenatura costiera della Cala di San Nicola che potrebbe essere la probabile forma relitta di una spunnulata. L'orientamento della baia è posto ortogonalmente alla linea di costa.

Fig. 6. Cala di San Nicola: The long coastal inlet might likely be the relict form of a "spunnulata". The bay orientation is orthogonal to the coastline.

Infine, anche se non rientra tra gli aspetti d'interesse di questa ricerca, si segnala l'ampia spiaggia sabbiosa di Sant'Isidoro che borda verso l'interno un cordone dunare molto degradato (DAI PRA, 1982).

Il paesaggio, nel suo aspetto generale, forma una piana costiera che si sviluppa dal centro balneare di Sant'Isidoro e si spinge a sud-est verso il rilievo di Serra Cicora, dove le quote maggiori raggiungono l'altezza di 44 m s.l.m. La morfologia attuale della piana va assunta, pertanto, come il risultato della successione temporale dell'abrasione marina prima, e dell'azione erosiva esogena degli agenti climatici poi (NEBOIT, 1985; PALMENTOLA, 1987).

L'alto morfologico di questo tratto costiero, arretrato un paio di chilometri dalla linea del mare, marca un sistema di faglie orientate prevalentemente NW-SE, in accordo con l'assetto tettonico generale del Salento (GAMBINI e TOZZI, 1996; BECCARISI *et al.*, 2002; PEPE e PARISE, 2014).

La stretta fascia prospiciente la linea di riva è il luogo dove si concentrano i fenomeni maggiori di subsidenza, con una diffusa distribuzione di *spunnu-*

late, alcune di limitata profondità che non raggiungono le acque di base, ed altre che formano pozze di collasso con evidenza di acque marine. Altre, ancora, risultano in diretta comunicazione sommersa con il mare (Fig. 7, 8 e 9).

L'evidenza del dinamismo evolutivo delle morfologie superficiali posto in relazione con l'analisi della distribuzione cartografica delle depressioni, mostra che lo sviluppo preferenziale delle *spunnulate* è in accordo con la configurazione spaziale delle insenature della costa (principalmente NW-SE e subordinatamente SW-NE). Ancora una volta, si evidenzia pertanto, che le *spunnulate* costituiscono in pratica uno stadio evolutivo preliminare alla genesi delle insenature, come anche riscontrato per analoghe situazioni costiere sul lato Adriatico (DELLE ROSE e FEDERICO, 2002; DELLE ROSE e PARISE, 2002); inoltre, le forme del paesaggio risultano in diretta relazione con i sistemi di fratture tettoniche, a conferma di quanto la circolazione idrica dell'acquifero costiero risenta delle discontinuità del corpo roccioso di base (COTECCHIA, 1956; COTECCHIA *et al.*, 1975).

Le prime superfici della spianata al di sopra della microfalesia presentano una zonazione di microambienti con i caratteri tipici di un carso marino privo di copertura di suolo. Le forme erosive più evidenti di prevalente natura meccanica sono i solchi di battente, a cui si associano quelle manifestazioni di dissoluzione chimica che risentono dell'effetto della progressiva concentrazione salina delle acque di frangente. Marmitte, vasche e vaschette, variamente lobate per effetto di coalescenza, sono distribuite uniformemente lungo una fascia costiera profonda fin quasi 100 m dalla linea del mare e si presentano a diverso grado di senilità in funzione della distanza dai flutti marini (SAURO, 1994) (Fig. 10). Le forme a spuntoni e guglie che occupano l'orlo della linea di costa legano la loro genesi anche all'azione biocarsica di



Fig. 7. Due tipologie di sprofondamenti con affioramento di acque di ingressione marina. La dimensione dei vuoti carsici sotterranei ha definito le forme delle coalescenze e la profondità dei bacini.

Fig. 7. Two types of sinkholes with marine water intrusion. The coalescence shapes and depth are dependent from the collapsed karstic underground voids.



Fig. 8. Rottura nell'ammasso roccioso calcarenitico con formazione di una depressione evidenziata dal gradino morfologico.

Fig. 8. *Sinkhole marked by the steep escarpment in the calcarenite rocky basement.*



Fig. 9. Piccola spunnulata localizzata a breve distanza dalla linea di costa con stretti passaggi sommersi in comunicazione con il mare aperto.

Fig. 9. *Small sinkhole near the coastline, with narrow submerged passages communicating with the open sea.*

alghe endolitiche (CARROZZO *et al.*, 2003) (Fig. 11). Laddove l'azione del mare è salinaria e la porosità della roccia calcarenitica lo consente, si formano piccoli alveoli dalla geometria emisferica che in fase senile fanno assumere al corpo roccioso un aspetto particolarmente cariato (Fig. 12).

Nella parte più meridionale dell'area, sono sparsi dei grossi blocchi rocciosi, scalzati dal loro basamento e spinti alla deriva da mareggiate particolarmente forti. Tali massi possono superare anche i 10 m<sup>3</sup> di volume e posizionarsi fino a una distanza di 20-30 m dalla linea del mare (MASTRONUZZI e SANSÒ, 2000).

L'intera zona costituisce pertanto, una complessa unità morfodinamica di forme policicliche che dimostrano l'evoluzione del litorale in relazione alla litologia degli affioramenti e allo sviluppo di processi carsici.



Fig. 10. Vasche e marmitte marine: Forme variamente lobate e coalescenti con frequenti solchi di troppo-pieno; Le forme giovanili attive presentano fianchi sottosca- vati; Le stesse forme localizzate a maggiore distanza dai flutti si presentano spianate per effetto di fossilizzazione; In alcune si rinven- gono piccole croste carbonatiche formatesi in ambiente pedogenetico.

Fig. 10. *Littoral pans and solution basins: Lobate and coalescent forms frequently having overflow grooves; The juvenile forms show steep walls produced by undercut- ting; The solution pans located out from the sea-waves area are dormant forms, with flattened surface; Carbonate crusts along the pans perimeter indicate the origin in a pedogenetic environment.*

## QUADRO GEOLOGICO

L'area di Sant'Isidoro e delle *spunnulate* rispecchia i principali elementi geologici dell'intero Salento. La serie litologica in affioramento è costituita alla base da calcari e calcari dolomitici del Cretaceo superiore (Calcarea di Altamura) su cui poggiano in trasgressione, a giacitura massiva, coperture carbonatiche del Pleistocene inferiore (Calcareniti di Gravina). Nella parte retrocostiera, nell'area altimetricamente più depressa, le residue coperture recenti Oloceniche sono costituite da argille, limi palustri, sabbie dunari e terre rosse di dilavamento, provenienti dai suoli posti a quote più elevate. Queste ultime formazioni chiudono la serie stratigrafica dell'area (CIARANFI *et al.*, 1988; RICCHETTI *et al.*, 1988) (Fig. 13).

Lo spessore della successione calcarea di base, secondo la letteratura geologica, è di oltre 5000 m, mentre l'unità calcarenitica, in affioramento nel tratto costiero, varia in funzione della morfologia dello strato su cui poggia e va dal metro nella zona della *Spunnulata della Pajara*, fino a una quindicina di metri nel tratto prospiciente la linea di mare (DELLE ROSE e ELIA, 2008). I depositi palustri, conservati nella depressione della *Palude del Capitano*, hanno uno spessore molto limitato e mai superiore al metro.

Il reticolo idrografico è caratterizzato da brevi incisioni poco gerarchiz- zate che si presentano in forma relitta. L'andamento topografico di queste

blande incisioni è condizionato dalla tettonica e lo sviluppo prevalente del deflusso è parallelo alla linea di costa, con brusche deviazioni trasversali in prossimità dello sbocco al mare (DELLE ROSE e PARISE, 2002). Questo reticolo, sebbene poco accentuato, difficilmente potrebbe essere riattivato in occasioni di forti precipitazioni, anche a causa dell'intensa fratturazione dei corpi rocciosi che sono all'origine dell'orientazione delle morfologie.

L'interesse particolare di questo paesaggio deve essere analizzato, per quanto riguarda il carsismo profondo, anche nella sua condizione di contatto stratigrafico tra le calcareniti Pleistoceniche e i sottostanti calcari Cretacei, entrambi a giacitura sub-orizzontale. In tale corpo roccioso lo sviluppo di una rete di drenaggio delle acque di falda ha dato luogo alla formazione di vuoti carsici sotterranei lungo piani sub-verticali, a maggiore conducibilità idraulica, generalmente corrispondenti con la fratturazione principale allineata alle direttrici di faglia (DELLE ROSE e PARISE, 2002; SELLERI *et al.*, 2002). Va aggiunto che l'evoluzione delle cavità carsiche sotterranee è stata senza dubbio controllata anche dall'attività tettonica più recente e da fasi climatiche glaciali che hanno influito sulla posizione del livello marino (DAI PRA e HEARTY, 1989).

L'ampliamento dei vuoti, le diverse proprietà meccaniche delle rocce e il grado di discontinuità creato dall'intersezione dei piani di strato e della fratturazione sono i fattori predisponenti i fenomeni di crollo delle volte delle grotte e, di conseguenza, la formazione di depressioni nelle superfici topografiche.

Negli affioramenti calcarenitici, che ricoprono quasi interamente l'area campione, pertanto, sono evidenti i fenomeni carsici maggiori, che nel solo caso della *Spunnulata della Pajara* raggiungono i calcari Cretacei sottostanti. Le esplorazioni subacquee effettuate nelle condotte sommerse della *Palude del Capitano*, che topograficamente è più vicina alla linea di riva e configura uno spessore maggiore delle coperture calcarenitiche, non hanno mostrato invece il raggiungimento del substrato calcareo.



Fig. 11. Guglie a spuntoni in combinazione con vasche e marmite marine in situazione di forte incidenza biocarsica.

Fig. 11. Combination of pinnacles and spikes with pans and basins close to the sea coastline in a phytokarst environment.



Fig. 12. Alveoli carsici a forma emisferica (a sinistra), evolvendosi in fase matura (a destra) in fori carsici a sviluppo sub-verticale, che fanno assumere alla roccia un aspetto fortemente cariato.

Fig. 12. Karstic alveoli hemispherically shaped at a juvenile stage (left); Notches, holes and sub-vertical cavities showing a strongly corroded aspect (right).

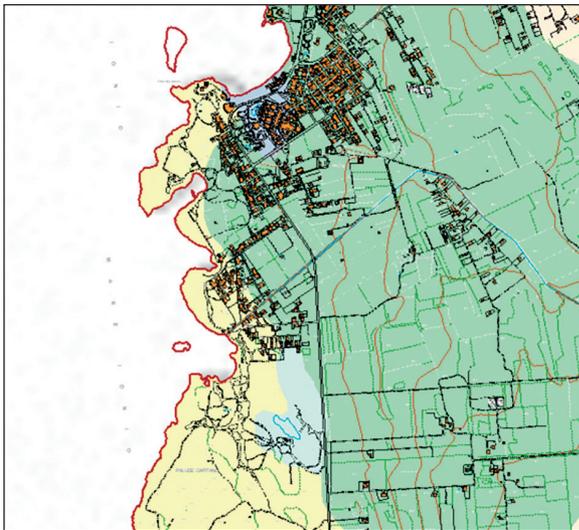


Fig. 13. Carta degli affioramenti litologici: Calcari del Cretaceo superiore nell'entroterra; Calcareniti trasgressive del Pleistocene inferiore lungo il tratto costiero; limi palustri Olocenici e terre rosse localizzati nella depressione della Palude del Capitano; e sabbie dunali a nord-ovest dell'abitato di Sant'Isidoro (Estratto elaborato della Cartografia PPR della Regione Puglia, Carta Idrogeologica delle Cartografie Tecniche e Tematiche).

Fig. 13. Lithological map: Upper Cretaceous limestones inland; Lower Pleistocene transgressive calcarenites along the coastal area; Holocene deposits of clay, silts and "terre rosse" at the "Palude del Capitano" swamp land; and, sands dunes NW of Sant'Isidoro village (extract from the Regione Puglia PPR, Technical and Thematic Cartography, Hydrogeological Map).

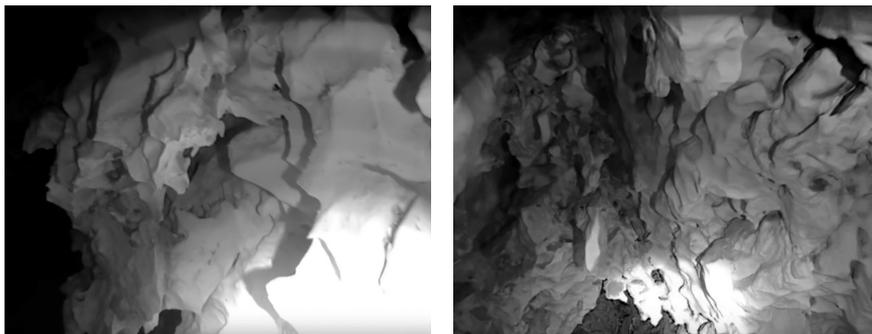


Fig. 14. Morfologie carsiche freatiche nei calcari di base dell'ambiente sommerso. L'associazione di forme di flusso (*scallops*) alternate ad alveoli di corrosione (*spongeworks*) formate per azione di acque stagnanti indicano l'influenza di diverse condizioni di regime idrico.

Fig. 14. *Phreatic sculptures in the underwater limestone. The influence of different water regime is pointed out by the combination of forms due to flowing water (scallops) and corrosional alveoli (spongeworks) generated by the action of stagnant water.*

## IPERCARSISMO IN SITUAZIONE DI CONTATTO LITOLOGICO

Il fenomeno della dissoluzione delle rocce carbonatiche in ambiente costiero va considerato come un processo chimico particolarmente aggressivo, in ragione del mescolamento delle acque di falda con quelle di ingressione marina, che nell'insieme sviluppano le condizioni di un processo ipercarsico (CIGNA and FORTI, 1986; FORTI, 1993; 1994). L'esaltazione del fenomeno, a causa della variazione della forza ionica della soluzione (FORTI e PERNA, 1985), produce un aumento progressivo della solubilità della roccia carbonatica per effetto di un ringiovanimento della miscela delle acque sotterranee (BÖGLI, 1975). La dissoluzione ipercarsica può manifestarsi anche su larga scala ed è funzione dell'estensione della zona di contatto tra le acque correnti di infiltrazione superficiale e quelle marine di infiltrazione continentale. All'iniziale ampliamento della porosità, segue la formazione di alveoli carsici e canalicoli embrionali che portano alla formazione di una "spugna" carsica che evolve in condotti che si intersecano fino alla formazione di cavità freatiche, soprattutto laddove, alla semplice corrosione per miscelazione di acque, si associa anche il contributo di uno scorrimento idrico drenato dai condotti carsici preesistenti (Fig. 14).

I fenomeni di sprofondamento sono in relazione genetica talvolta con il crollo puntuale e circoscritto della volta di una cavità sotterranea, come nel caso della *Pajara*, oppure per crolli gradualmente e coalescenze, come nel caso della *Palude del Capitano*, o come documentato alle Cesine, sul litorale Adriatico (DELLE ROSE e PARISE, 2002). La depressione della *Palude del Capi-*

tano comunque, potrebbe anche essere interpretata come una morfologia legata all'azione di un processo relativamente rapido di soluzione normale (SAURO, 2003).

L'azione gravitativa dei crolli delle volte e delle pareti delle cavità sotterranee rappresenta perciò la successione di un unico processo geomorfologico che si manifesta a diversi stadi evolutivi.

La planimetria esterna della dolina della *Spunnulata della Pajara* è asimmetrica in ragione sia della configurazione dimensionale dei vuoti sotterranei, sia della sequenza temporale dei crolli che hanno interessato le sue zone perimetrali. La *Palude del Capitano* invece, tiene aperta una discussione che riguarda la sua estensione che è da 5 a 20 volte maggiore quella delle altre *spunnulate*, senza considerare le situazioni di alcuni fori carsici che hanno una dimensione dell'accesso nell'ordine del metro di diametro.

Se la dimensione della *Palude del Capitano* è giustificata dall'azione ipercarsica delle acque di miscelazione in un contesto locale di fratturazione accentuata e di una condizione litologica particolarmente solubile, andrebbe anche considerata l'osservazione fatta alcuni anni orsono dagli speleosub di Apogon per l'analisi di un ulteriore fattore di esaltazione del processo ipercarsico. Sul fondo di questa cavità, nella parte centrale del bacino costituito da limi incoerenti, furono localizzate delle polle di risorgenza sottomarina che si mostravano come piccole "fumarole" di aspetto lattiginoso, come fossero composte da colloidali filamentososi del tipo degli agglomerati batterici solfo-riduttori (DENITTO *et al.*, 2006; D'ANGELI *et al.*, 2017). Le indagini chimico-fisiche effettuate sulle acque del bacino nel corso di diverse immersioni (2001-2002) segnarono una temperatura delle "polle" fino a 21°C, anche in periodi invernali, quando la temperatura media dell'acqua marina si attesta intorno ai valori di 12°C. Anche il valore della salinità in profondità si rivelò essere quasi doppio di quella di superficie dello specchio di acque libere (15,12% vs. 8,16%).

L'ipotesi di sorgenti ipotermali di acque di tipo sulfureo non è stata mai confermata in ragione del fatto che le "polle" hanno una presenza incostante e che l'esiguità delle portate possa essere influenzata sia dal regime di marea, che dal regime idraulico della falda carsica.

## **LA SPUNNULATA DELLA PAJARA**

La *Spunnulata della Pajara* si presenta in superficie come una depressione asimmetrica, orientata Nord-Sud, prodotta dalla coalescenza di due sprofondamenti (Fig. 15). Evidenti sono le fratturazioni superficiali che marciano piccoli gradini di collasso che marginano i settori topograficamente più depressi.

Le acque di base affiorano in tre punti. Due piccole pozze, allungate nel senso dello sviluppo maggiore della depressione più grande, non danno alcun accesso in profondità, a causa dell'ingombro dei grandi blocchi di crollo. Il bacino maggiore invece, posto nella porzione più settentrionale della depressione, ha due bassi portali che permettono l'ingresso alla cavità sommersa. Le acque sono debolmente salmastre e non hanno mostrato, al momento dell'esplorazione, alcun segno di flusso idrico.

Tutto il fondo del bacino è costituito da blocchi di crollo e i due punti di accesso praticabili all'immersione si aprono sotto la piccola parete orientale (Fig. 16).

Altri due piccoli laghetti che funzionano da lucernai laterali si aprono lungo il margine settentrionale ed orientale della pozza idrica.

L'esame dei differenti piani rocciosi delle superfici esterne, che sono stati oggetto di vari ribassamenti, marcano differenti livelli topografici e inducono a ritenere che il meccanismo genetico di questa *spunnulata* non sia in relazione al collasso della volta di una grande caverna sotterranea, bensì possa derivare dal cedimento multiplo di un sistema di vuoti, nell'ambito di un diffuso ed esteso processo carsico (DELLE ROSE *et al.*, 2004a).

I due avvallamenti hanno un contorno sub-circolare con diametro maggiore di circa 40 metri, e diametro minore di 25 m. L'elevazione topografica del pianoro antistante la *spunnulata* ha un'altitudine di appena 2 m s.l.m.

La litologia affiorante è costituita da calcareniti grossolane, tranne una piccola emersione di un blocco di calcare Cretaceo posto nel punto di sella delle due depressioni (Fig. 17). L'osservazione della sua sezione mostra il basamento carbonatico seguito da una lente di terre gialle, che inglobano detriti calcarei a spigoli vivi, a cui segue in cima la trasgressione calcarenitica. In diversi punti della parte sommersa della *spunnulata* si osservano altre tasche di terre gialle ancorate alle volte degli ambienti, fino alla profondità di circa 4 m.

L'accesso alla parte sommersa è possibile da entrambi i varchi sopravvisuti allo sprofondamento del piano topografico. L'approfondimento è progressivo con il fondo costituito da ciottoli e terre gialle che riempiono i vuoti tra i massi di crollo di base. Un piccolo gradino morfologico del fondo segna il passaggio dalle calcareniti ai sottostanti calcari. L'ambiente si amplia e si approfondisce in direzione nord e tutte le pareti sono articolate da forme erosive di un ambiente freatico composto da sculture di flusso (*scallops*) e da canalicoli carsici che si dirigono in tutte le direzioni (*sponge-works*).

La caverna si presenta nella sua parte centrale come un'ampia sala di circa 36 m totali di sviluppo (ONORATO *et al.*, 2017). L'ambiente, che subito dopo l'ingresso si apre e si approfondisce con un salto fino ad una batimetrica di -4,20 m, non presenta bolle d'aria, ad eccezione di una, piccolissima, nella quale è impossibile emergere e che corrisponde ad un piccolo accesso esterno verticale.

La parete occidentale, nel senso della progressione, è costituita da grossi massi di crollo, da cui filtra la luce esterna, e la parete orientale forma un anello poco praticabile che aggira una colonna rocciosa.

Il fondo si mantiene in piano, la volta degrada progressivamente e la condotta terminale si restringe al punto che la prosecuzione con le bombole diventa difficile per gli spuntoni rocciosi che rendono disagiata i movimenti (ONORATO *et al.*, 2017). La probabile prosecuzione non percorribile si dirige verso ENE.

In questo tratto sommerso una pioggia di detriti che si staccano dalla volta per l'azione turbolenta delle bolle d'aria emesse dall'autorespiratore annulla completamente la visibilità e il pericolo di frana di massi più consistenti invita a fermarsi in questo punto per ragioni di sicurezza. Lo scorrimento di acque di falda non è percepibile ed è probabile che il regime idrico dell'acquifero mancasse di ricarica in considerazione della lunghissima siccità estiva.

La temperatura dell'acqua rilevata durante l'esplorazione è stata di 19°C.

La cavità ha uno sviluppo planimetrico totale di 40 metri e la profondità massima è di 4,20 metri.



Fig. 15. Vista area della Spunnulata della Pajara con i punti di emersione delle acque di base.

Fig. 15. Spunnulata della Pajara aerial view, showing the groundwater emergence points.



Fig. 16. L'ingresso subacqueo di minore dimensione posto nella parte meridionale del bacino.

Fig. 16. The smaller submerged entrance, located in the southern portion of the basin.



Fig. 17. Particolare della sequenza litologica affiorante nei pressi dell'ingresso della Spunnulata: Calcari Cretacei alla base, passanti a Calcareniti Pleistoceniche in alto, con terre gialle al contatto delle due formazioni.

Fig. 17. View of the lithological sequence outcropping near the "spunnulata" entrance: Upper Cretaceous limestone at the base, passing to the Lower Pleistocene calcarenites at the top, with yellow soils in the middle.



Fig. 18. L'ambiente esterno dello specchio d'acqua maggiore che dà accesso alla parte sommersa.

Fig. 18. The larger pond's external environment, providing access to the submerged cave.

## CONCLUSIONI

La esplorazione delle *spunnulate* consente spesso di ricavare utili elementi per una migliore comprensione delle fasi di genesi ed evoluzione delle cavità carsiche, sia all'interno del substrato carbonatico Cretaceo che nelle sovrastanti calcareniti Pleistoceniche. La *Spunnulata della Pajara*, una tra le più distanti dalla attuale linea di costa, ha consentito, al pari di altre *spunnulate* già esplorate in zone limitrofe (INGUSCIO *et al.*, 2011; MARGIOTTA *et al.*, 2013), di evidenziare la complessità dei sistemi carsici sotterranei di questo tratto di costa salentino, con cavità che spesso interessano la zona di contatto tra le due diverse litologie, e con forme ipogee indicative di regimi idrici differenti, evidentemente sviluppatasi in diverse fasi evolutive dei sistemi (Fig. 18).

La notevole diffusione di cavità carsiche in questa zona, solo una piccola parte delle quali mostra evidenze in superficie, con l'apertura di vere e proprie *spunnulate*, dovrebbe far riflettere con estrema attenzione le amministrazioni locali in merito ad operazioni di pianificazione territoriale. La possibilità di eventi di crollo, connessi alla presenza di complessi sistemi di cavità a più livelli, non è assolutamente da escludere, e andrebbe opportunamente considerata. Allo stesso tempo, l'habitat delle *spunnulate* costituisce, oltre che un peculiare elemento geomorfologico del paesaggio costiero, un ecosistema di assoluto valore, protetto dalle su richiamate normative e vincoli. Tale aspetto dovrebbe costituire elemento prioritario ed essenziale, al quale dedicare la dovuta attenzione, nella fase preliminare di qualsiasi intervento, al fine della protezione dell'ambiente naturale.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per le informazioni fornite e i materiali fotografici resi disponibili Fabio Fiorito, Erica Lisi, Michele Onorato e Marco Poto del C.S.S. Apogon, Sergio Orsini, dell'Unione Speleologica Bolognese e Antonio Danieli del Team La Salle.

Un grazie particolare a Roberta Mitchell che ha reso più rispondente alla lingua scritta l'abstract inglese.

## BIBLIOGRAFIA

- BASSO A., BRUNO E., PARISE M., PEPE M., 2013 - Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). *Environmental Earth Sciences*, **70** (6): 2545-2559.
- BECCARISI L., CACCIATORE G., CHIRIACÒ L., DELLE ROSE M., GIURI F., LISI G., MARRAS V., QUARTA G., 2002 - Il Carsismo di Serra Cicora (Nardò, Prov. di Lecce). *Grotte e Dintorni*, **4**: 287-295.

- BECCARISI L., DELLE ROSE M., ERNANDES P., NAPOLETANO S., ZUCCARELLO V., 2009 – Distribuzione geografica e stato di conservazione delle doline di crollo della costa ionica salentina (Puglia meridionale). 2° Workshop Int. “*I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell’ambiente naturale ed in quello antropizzato*”, ISPRA, Roma: 165-179.
- BECCARISI L., ERNANDES P., DELLE ROSE M., ZUCCARELLO V., 2006 – Valutazione dello stato di conservazione delle “spunnulate” della costa di Porto Cesareo e Nardò (provincia di Lecce) con un approccio vegetazionale. *Thalassia Salentina*, **29**: 215-236.
- BELMONTE G., COSTANTINI A., SORRENTINO F., LICCHELLI C., POTO M., ONORATO R., 2011 - Le grotte sommerse dell’Area Marina Protetta “Porto Cesareo”. *Thalassia Salentina*, **33**: 15-38.
- BÖGLI A., 1975 – La corrosione per miscela di acque. *Grotte d’Italia*, **4** (4): 333-352.
- BRUNO E., CALCATERRA D., PARISE M., 2008 - Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment. *Engineering Geology*, **99**: 198-209.
- CARROZZO M.T., DELLE ROSE, FEDERICO A., LEUCCI G., MARRAS V., NEGRI S., NUZZO L., 2003 - Osservazioni geologiche e indagini geofisiche sul carsismo della costa neretina. *Thalassia Salentina*, **26**: 111-119.
- CASTIGLIONI B., SAURO U., 2000 – Large doline collapse in Puglia (Southern Italy): The case of Dolina Pozzatina in the Gargano plateau and of “Puli” in the Murge. *Acta Carsologica*, **29/2**: 83-93.
- CIARANFI N., PIERI P., RICCHETTI G., 1988 – Note alla Carta Geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). *Memorie della Società Geologica Italiana*, **41**: 449-460.
- COTECCHIA V., 1956 – Sulle caratteristiche delle sorgenti e delle modalità di ringiovanimento della falda profonda nella Penisola Salentina in rapporto alla struttura dei calcari cretacei della regione. *Annali della Facoltà di Ingegneria*, **2**: 1:19.
- COTECCHIA V., TAZIOLI G.S., TITTOZZI P., 1975 – Geochimica delle acque della penisola salentina in relazione ai rapporti tra le acque di falda, le acque marine sotterranee e il mare. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, vol. **X**, parte I: 205-224.
- CIGNA A., FORTI P., 1986 – The speleogenetic role of air flow caused by convection. 1<sup>st</sup> contribution. *International Journal of Speleology*, **15**: 41-52.
- CURTI L., LORENZONI G.G., 1969 - Considerazioni sulla vegetazione delle Spunnulate di Castiglione (Lecce). *Thalassia Salentina*, **3**: 47-66.
- DAI PRA G., 1982 – The late Pleistocene marine deposits of Torre Castiglione (southern Italy). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **5**: 515-519.
- DAI PRA G., HEARTY P.J., 1989 - Variazioni del livello del mare sulla costa ionica salentina durante l’Olocene. Epimerizzazione dell’isoleucina in *Helix sp.* *Memorie Società Geologica Italiana*, **42**: 311-320.
- D’ANGELI I.M., VATTANO M., PARISE M., DE WAELE J., 2017 – The coastal sulfuric acid cave system of Santa Cesarea Terme (Southern Italy). In: KLIMCHOUK A., PALMER A.N., DE WAELE J., AULER A.S., AUDRA P., (Eds.) *Hypogene Karst Regions and Cave of the World. Cave and Karst Systems of the World*, Springer, ISBN 978-3-319-53347- **6**: 161-168.
- DE GIOVANNI A., MARTIMUCCI V., MARZULLI M., PARISE M., PENTIMONE N., SPORTELLI D., 2011 – Operazioni di rilievo e analisi preliminare dello sprofondamento in località San Procopio (Barletta) del 2-3 maggio 2010. *Opera Ipogea*, **1/2**: 151-158.

- DELLE ROSE M., 2000 – Influenza dell'ipercarsismo sull'evoluzione delle coste rocciose basse del Salento. *Atti Spelaion Altamura*: 156-162.
- DELLE ROSE M., ELIA T., 2008 – Aspetti geologici della conservazione delle spiagge del Salento. *Geologi e Territorio*, **1/2**: 3-19.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., 2002 – Karstic phenomena and environmental hazard in Salento coastal plains. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Congress of IAEG, Durban (South Africa): 1297-1305.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., PARISE M., 2004a – Sinkhole genesis and evolution in Apulia and their interrelations with anthropogenic environment. *Nat. Hazards and Earth System Science*, **4** (5/6): 747-755.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., PARISE M., 2004b – Problematiche connesse a fenomeni di subsidenza carsica e sinkholes in Puglia. 1° sem. APAT, Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio, Roma: 377-388.
- DELLE ROSE M., PARISE M., 2002 – Karst subsidence in South-Central Apulia, Southern Italy. *International Journal of Speleology*, **31** 1/4: 181-199.
- DENITTO F., MOSCATELLO S., PALMISANO P., POTO M. & ONORATO R., 2006 – Novità speleologiche, idrologiche e naturalistiche dalla Palude del Capitano (pSIC IT9150013), Costa Neretina (Lecce). *Thalassia Salentina*, **29** (suppl.): 99-116.
- FIGLIANO A., PARISE M., 2013 - Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l'ambiente antropizzato. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, **93**: 239-252.
- FORD D.C., WILLIAMS P., 2007 - Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, Chichester: 576 pp.
- FORTI P., 1993 – Meccanismi genetici ed evolutivi delle grotte marine. *Speleologia*, **28**: 63-67.
- FORTI P., 1994 – Cenni speleogenetici. In: Favale F.F. (Ed.), *Le grotte di Polignano*, Fed. Spel. Pugliese: 43-52.
- FORTI P., PERNA G., 1985 – L'ipercarsismo con particolare riguardo all'Iglesiente (Sardegna sud occidentale). *Natura Alpina*, **20** (2-3): 85-100.
- GAMBINI R., TOZZI M., 1996 - Tertiary geodynamic evolution of the Southern Adria microplate. *Terra Nova*, **8**: 593-602.
- GAMS I., 1994 – Types of contact karst. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, **17**: 37-46.
- GIULIANI P., 2000 – Elenco delle grotte pugliesi catastate al 31 ottobre 1989. *Itinerari Speleologici*, **II**, **9**: pp. 72.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J., JOURDE H., 2014 - A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, **138**: 61–88.
- INGUSCIO S., ROSSI E., PARISE M., 2011 - La grotta o spundurata di S. Isidoro (Nardò - LE) PU 507. *Atti XVI Incontro di Speleologia Regionale Spelaion 2011 "Alabastri e contrasti"*, Castellana-Grotte, 9-11 dicembre 2011: 117-126.
- MAGGIORE M., QUARTO R., 1987 – Caratteri morfologici e strutturali del Pulo di Molfetta (Puglia). Studio geologico e geofisico. *Atti XV Congr. Naz. di Speleologia*, Castellana Grotte: 707-729.
- MARGIOTTA S., NEGRI S., PAGLIARA A., PARISE M., QUARTA T.A.M., 2013 - Combining geological and geophysical surveys with cave explorations for the assessment of the sinkhole susceptibility in coastal areas. *Geophysical Research Abstracts*, **15**: 8185.

- MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., QUARTA T.A.M., 2016 - Karst geosites at risk of collapse: the sinkholes at Nociglia (Apulia, SE Italy). *Environmental Earth Sciences*, **75** (1): 1-10.
- MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., VALLONI R., 2012 - Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics. *Natural Hazards*, **62** (2): 657-676.
- MASTRONUZZI G., PALMENTOLA G., SANSÒ P., 2002 - Lineamenti e dinamica della costa pugliese. *Studi costieri*, **5**: 9-22.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P., 2000 - Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (southern Italy). *Marine Geology*, **170** 1-2: 93-103.
- NEBOIT R., 1985 - Le role dell'abrasion marine dans les faconnement des bas plateaux calcaire des Poullies. *Mémoire et Document de Géographie*, C.N.R.S., 1985: 101-111.
- NICOD J., 1972 - Pays et paysages du calcaire. Presses Universitaire de France, Paris: 242 pp.
- ONORATO R., BELMONTE G., COSTANTINI A., 2006 - Le grotte sommerse della costa nerecina (Salento, SE Italia). *Thalassia Salentina*, **29** Suppl.: 39-54.
- ONORATO M., ONORATO R., POSI M.E., POTO M., 2017 - La *Spunnulata della Pajara*. Esplorazione e prime osservazioni. *Thalassia Salentina*, **39**: 73-82.
- OROFINO F., 1986 - Elenco delle grotte pugliesi catastate fino al 31 dicembre 1985. *Itinerari Speleologici*, **II**, 1: pp. 60.
- PACE P., SAVINO G., 1995 - Largo Porta Grande e la conca carsica di Castellana Grotte. *Umanesimo della Pietra Verde*, **10**: 35-44.
- PALMENTOLA G., 1987 - Lineamenti geologici e morfologici del Salento leccese. *Quaderni Ricerche Centro Studi Geotecnica e di Ingegneria*, Lecce, **11**: 7-30.
- PARISE M., 2015 - A procedure for evaluating the susceptibility to natural and anthropogenic sinkholes. *Georisk*, **9** (4): 272-285.
- PARISE M., FEDERICO A., DELLE ROSE M., SAMMARCO M., 2003 - Karst terminology in Apulia (Southern Italy). *Acta Carsologica*, **32** (2): 65-82.
- PARISE M., GUNN J. (eds), 2007 - Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis and mitigation. *Geological Society of London*, sp. publ., **279**: 202 pp.
- PARISE M., LOLLINO P., 2011 - A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy. *Geomorphology*, **134** (1-2): 132-143.
- PARISE M., VENNARI C., 2017 - Distribution and features of natural and anthropogenic sinkholes in Apulia. In: RENARD P., BERTRAND C. (Eds.), *EuroKarst 2016, Neuchatel. Advances in the hydrogeology of karst and carbonate reservoirs*. Springer, ISBN 978-3-319-45464-1: 27-34.
- PEPE M., PARISE M., 2014 - Structural control on development of karst landscape in the Salento Peninsula (Apulia, SE Italy). *Acta Carsologica*, **43** (1): 101-114.
- RICCHETTI G., CIARANI N., LUPERTO SINNI E., MONGELLI F., PIERI P., 1988 - Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo. *Memorie della Società Geologica Italiana*, **41**: 57-82.
- SAURO U., 1994 - Il carsismo marino della costa. In: Favale F.F. (ed.), *Le grotte di Polignano*, Fed. Spel. Pugliese: 53-72.
- SAURO U., 2003 - Dolines and sinkholes: Aspects of evolution and problems of classification. *Acta Carsologica*, **32** (2): 41-52.

- SELLERI G., SALVATI R., SANSÒ P., 2003b – Doline di crollo (cave-collapse sinkholes) in località Spedicaturo (Salento centro-meridionale). *Thalassia Salentina*, suppl. **26**: 175-181.
- SELLERI G., SANSÒ P., WALSH N., 2002 – The contact karst landscape of Salento peninsula (Apulia, Southern Italy). In: F. GABROVŠEK (ed.), *Evolution of Karst: from Prekarst to Cessation*: 275-282.
- SELLERI G., SANSÒ P., WALSH N., 2003a – The karst of Salento Region (Apulia, southern Italy): Constraints for management. *Acta Carsologica*, **32** (1): 19-28.
- TAVIANI M., ANGELETTI L., CAMPANI E., CEREĞATO A., FOGLINI F., MASELLI V., MORSILLI M., PARISE M., TRINCARDI F., 2012 - Drowned karst landscapes offshore the Apulian Margin (Southern Adriatic Sea, Italy). *Journal Cave Karst Studies*, **74** (2): 197-212.
- WALTHAM, T., BELL, F., CULSHAW, M., 2005 - Sinkholes and subsidence. In: *Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction*. Springer Praxis: 382 pp.
- WHITE W.B., 1988 – *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press: 464 pp.

