

I sinkholes in Puglia

The sinkholes in the Puglia region

PARISE M. (*)

1. - INTRODUZIONE

Il territorio della Regione Puglia è caratterizzato dalla presenza di potenti successioni carbonatiche che coprono cronologicamente un arco temporale che si estende dal Mesozoico al Quaternario. La natura carbonatica delle rocce affioranti ha fatto sì che i processi carsici abbiano svolto un ruolo primario nella genesi ed evoluzione del paesaggio pugliese (PALMENTOLA, 2002; PARISE, 2008). Ciò sia nelle aree dove i calcari mesozoici (prevalentemente cretacei) sono estesamente affioranti, che in quelle in cui essi risultano coperti da spessori variabili di depositi più recenti.

Date queste caratteristiche geologiche, i fenomeni di sprofondamento (*sinkholes*) sono diffusi in tutta la regione, e localmente costituiscono i principali elementi del paesaggio. Le depressioni così formate, estremamente variabili per dimensioni e profondità, sono indicate in Puglia con una grande varietà di termini che riflettono i differenti ceppi dialettali diffusi sul territorio (ANELLI, 1957-58): da pulo, gurgio e grave nell'area foggiana e nel barese, sino ad áviso e vora nella Penisola Salentina, tutti questi termini presentano un'etimologia che li pone in stretta connessione al concetto di profondità, in contrasto con altri termini con i quali si indicano invece forme carsiche a carattere eminentemente superficiale (PARISE *et alii*, 2003).

Il termine vora, in particolare, risulta estrema-

mente diffuso nell'area salentina dove è utilizzato per indicare voragini più o meno profonde, generalmente determinate dal crollo del diaframma roccioso sovrastante cavità naturali. Etimologicamente, esso potrebbe derivare dalla stessa radice di gurgio, utilizzato nell'area geografica delle murge baresi per indicare le depressioni carsiche, oppure, secondo una interpretazione alternativa, dal latino vorare, che significa inghiottire, divorare (ROHLFS, 1976; PARISE *et alii*, 2003). In alcuni settori del Salento, il termine dialettale di spunnulate, dal verbo spunnulare (che significa rompere, sfondare), indica i frequenti sprofondamenti tipici delle zone costiere dell'estremo meridione pugliese.

Vengono di seguito descritti alcuni casi di *sinkholes* in aree di pianura della regione Puglia (fig. 1), dove il substrato calcareo cretaceo risulta sottoposto a depositi di età più recente. I casi analizzati coinvolgono quindi sia la copertura che la roccia direttamente interessata da processi di natura carsica. In particolare, vengono analizzate alcune situazioni in aree costiere (Marina di Lesina, Torre Castiglione, Cesine) ed alcune nelle piane interne (Supersano, Barbarano). Per la su richiamata configurazione geologica del territorio pugliese, la zona in cui i calcari del Cretaceo risultano maggiormente coperti da depositi miocenici, pliocenici e pleistocenici è il settore meridionale della regione, corrispondente al Salento, ed è in tale ambito che si concentra pertanto la maggior parte dei casi qui analizzati.

(*) CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Bari; m.parise@ba.irpi.cnr.it

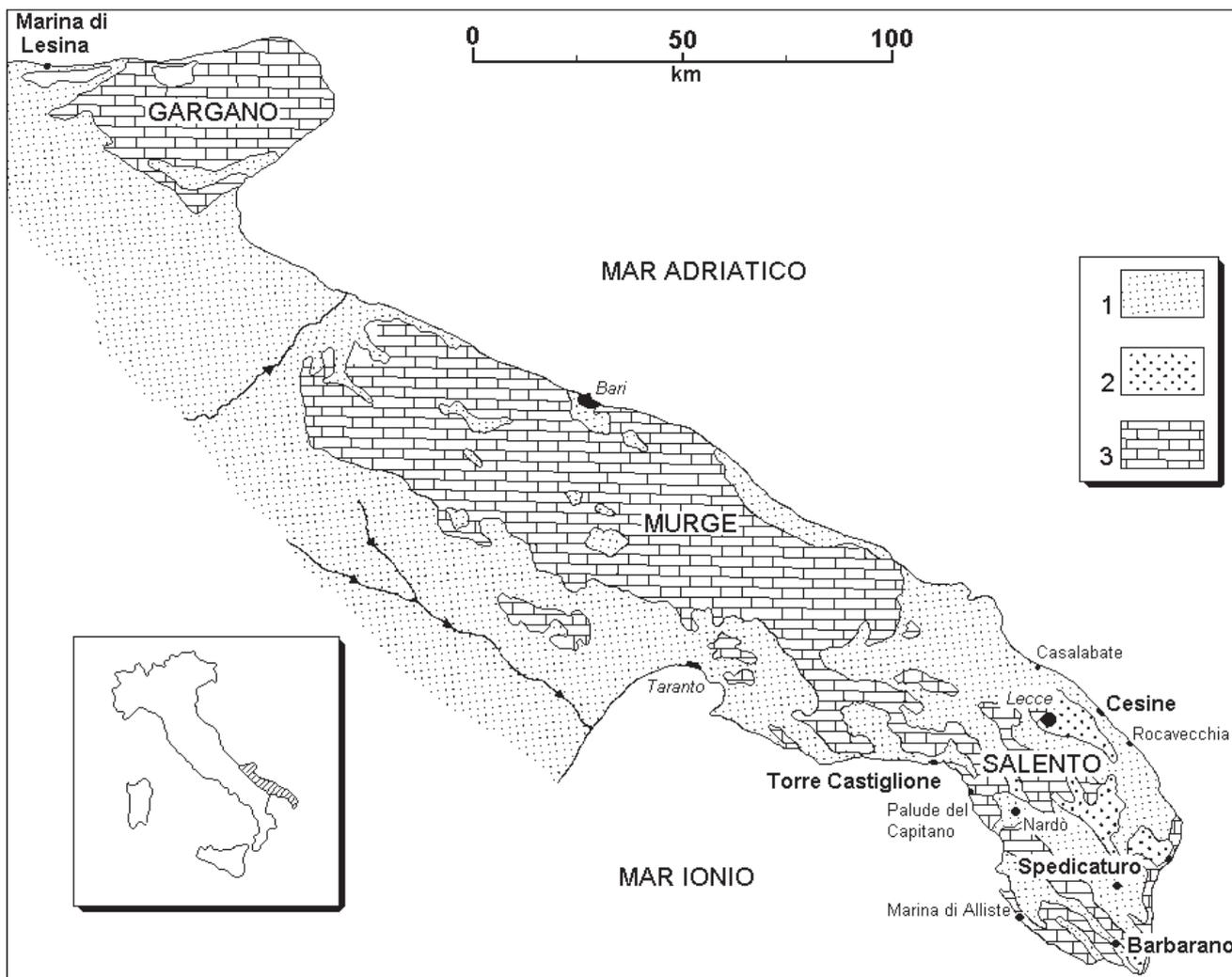


Fig. 1 - Carta geologica schematica della regione Puglia, con ubicazione dei casi di studio; sono anche riportate le altre principali località citate nel testo. Legenda: 1) depositi alluvionali, argille e calcareniti (Pliocene-Pleistocene); 2) rocce carbonatiche bioclastiche (Paleogene) e calcareniti (Miocene); 3) rocce di piattaforma carbonatica (Cretaceo).

- Geological sketch map of Apulia, showing location of the case studies, and the localities cited in the text as well. Legend: 1) alluvial deposits, clays and calcarenites (Pliocene-Pleistocene); 2) bioclastic carbonate rocks (Paleogene) and calcarenites (Miocene); 3) platform carbonate rocks (Cretaceous).

2. - MARINA DI LESINA

L'insediamento di Marina di Lesina è sito a NW del Lago di Lesina, nell'area di affioramento delle evaporiti del Gargano, associate a calcari e rocce magmatiche, in località Punta delle Pietre Nere (fig. 2). Queste ultime sono ricche in minerali mafici con chimismo alcalino, e risultano inglobate nei gessi in diversi corpi (BIGAZZI *et alii*, 1996). I calcari, di colore nero, sono intercalati a marne bituminose e a calcari marnosi (POSENATO *et alii*, 1994), mentre i gessi sono di colore grigio-nero, a struttura fanero- e cripto-cristallina, o in cristalli di maggiori dimensioni a ferro di lancia (COTECCHIA & CANITANO, 1954). Essi presentano un notevole disturbo a causa di deformazioni tettoniche, ben evidenti in affioramento lungo la sponda del cana-

le artificiale di Acquarotta. All'interno dei gessi si osservano frammenti eterometrici di calcari scuri, di marne a sottile stratificazione e di rocce ignee; inoltre, nell'ambito della successione evaporitica, è da segnalare la presenza di cavità, dislocate a profondità variabile.

Le evaporiti triassiche sono state rinvenute anche in sondaggi profondi eseguiti per ricerca di idrocarburi nel Mare Adriatico, al largo di Vieste ed al margine della piattaforma apula (DE DOMINICIS & MAZZOLDI, 1987): esse risultano costituite essenzialmente da anidriti con intercalazioni di dolomie e salgemma, il cui spessore non risulta costante. Tra le varie ipotesi riportate in letteratura sulle modalità di risalita e la messa in posto delle evaporiti, la più accreditata sembra essere il meccanismo per diapirismo-fagliamento



Fig. 2 - La foce del Fiume Fortore e Marina di Lesina, con indicazione delle modifiche del reticolo idrografico derivanti dallo scavo del canale artificiale (da MELIDORO & PANARO, 2000, modificata). L'area in grigio indica l'attuale estensione dell'antropizzato.

- The mouth of the Fortore River and Marina di Lesina, showing the changes in the hydrographic network deriving from realization of the artificial channel (after MELIDORO & PANARO, 2000, modified). The horizontal lines mark the extension of the built-up area.

(DE DOMINICIS & MAZZOLDI, 1987), che sarebbe supportato anche dai risultati di prospezioni geofisiche e da profonde perforazioni *off-shore*.

A Marina di Lesina (fig. 3) i gessi sono ricoperti da sabbie fini giallastre, passanti nella parte bassa a sabbie fini con limo, localmente con argille, di colorazione dall'ocra al grigio (MELIDORO & PANARO, 2000). A luoghi i depositi sabbiosi risultano frammisti a clasti calcarei, ignei e a materiali di riporto. Lo spessore della copertura è variabile da sito a sito, come ben evidenziato dai numerosi sondaggi geognostici riportati da MELIDORO & PANARO (2000): ciò deriva dalla complessa articolazione del tetto delle evaporiti, a sua volta causata dall'azione congiunta dei fenomeni di alterazione e dallo sviluppo dei processi carsici. Le sabbie hanno quindi colmato le depressioni e sacche carsiche delle evaporiti, che in alcuni casi si trovano pertanto a profondità superiori ai 30 metri. Circa l'origine dei depositi sabbiosi, va distinta la porzione più superficiale (in genere fino a circa 5 metri), con depositi monogranulari e derivanti da processi eolici (fasi di crescita della piana del Fortore e dei cordoni dunari di Lesina; MASTRONUZZI & SANSÒ, 2002), da quella presente a maggiore profondità, di origine fluvio-lacustre.

Nel 1927 viene eseguito lo scavo del canale artificiale di Acquarotta (figg. 2, 4), che collega il Lago di Lesina alla Punta delle Pietre Nere con andamento NNW-SSE, ad eccezione del tratto terminale, che devia verso NE-SW. Il canale, di lunghezza pari a 2 km, e largo da 6 a 10 m, fu completato nel 1929, ma già nel 1932 divenne necessario eseguire i primi interventi a causa di franamenti delle sponde. Fu quindi messo in opera un rivestimento in calcestruzzo armato con aggiunta di pozzolana. A causa di alcuni gravi dis-

sesti e del degrado del calcestruzzo dei muri di sponda, il Comune di Lesina nel 1993 ha approvato i lavori di sistemazione del canale e della foce, consistenti nella regolarizzazione del profilo longitudinale del fondo, nell'allargamento della sezione idraulica da m 9 a m 10,80 e nella sostituzione dei muri di sponda in calcestruzzo con gabbionate (MELIDORO & PANARO, 2000).

Proprio a partire dal 1993 sono stati però registrati i primi casi di *sinkholes*, ripetutisi poi più volte nel corso degli anni successivi. Gli sprofondamenti sono generalmente di forma circolare, tranne nei casi in cui la coalescenza di due o più fenomeni produce forme più complesse e di maggiori dimensioni. Essi si estendono fino a una distanza massima di poco più di 60 m dal canale artificiale. Il diametro è nell'ordine di alcuni metri, la profondità in genere non superiore ai 4-5 m.

I *sinkholes* sono principalmente concentrati nei pressi della sponda sinistra del canale. Alcuni di essi hanno interessato il viale laterale al canale stesso, distruggendolo in più punti (fig. 5). In almeno un paio di casi, la prosecuzione dei *sinkholes* verso il canale è marcata da evidenti distac-

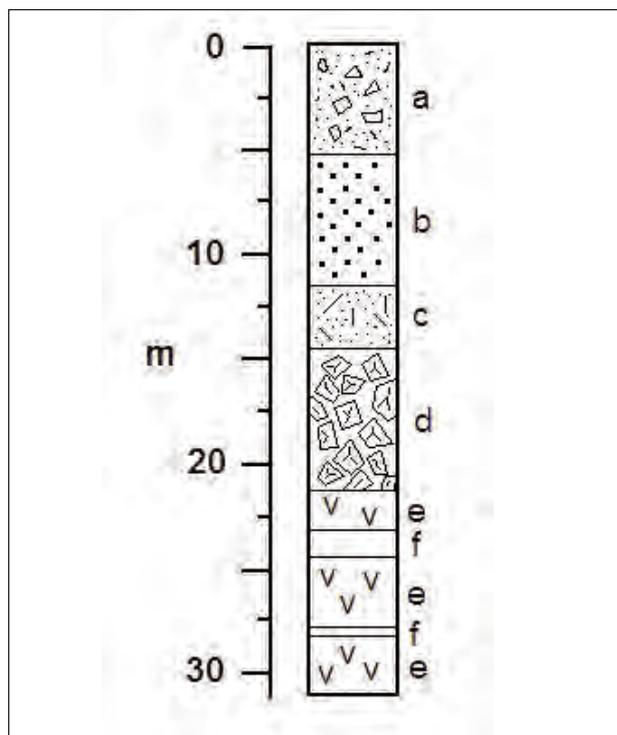


Fig. 3 - Colonna litostratigrafica tipo della zona interessata dagli sprofondamenti a Marina di Lesina (semplificata da MELIDORO & PANARO, 2000). Legenda: a) materiale di riporto; b) sabbie fini, sabbie limose, limi sabbiosi; c) argille nerastre, localmente con sabbie; d) clasti di gesso in matrice argillosa; e) gessi; f) cavità nei gessi.

- Stratigraphy of the area affected by sinkholes at Marina di Lesina (simplified after MELIDORO & PANARO, 2000). Legend: a) filling deposits; b) fine sands, silty sands, sandy silts; c) blackish clays, locally with sands; d) gypsum blocks in clayey matrix; e) gypsum; f) cavity within the gypsum.



Fig. 4 - Il canale artificiale di Acquarotta, che collega la porzione occidentale del Lago di Lesina al Mare Adriatico (vedi figura 2).
- The Acquarotta artificial channel, connecting the western side of the Lesina Lake to the Adriatic Sea (see figure 2).

chi di grossi blocchi rocciosi, favoriti dalla diffusa fratturazione e dalla giacitura dei gessi (fig. 6). Alcune di queste frane sono certamente recenti, avvenute nel corso degli ultimi anni. A testimonianza di ciò, si confronti la figura 8 di SELLERI & MASTRONUZZI (2003) con la fotografia riportata come figura 6 del presente lavoro. Data la presenza di fratture beanti, nonché il notevole allargamento in più punti osservato lungo varie superfici di discontinuità nei gessi, si ritiene che ulteriori distacchi siano più che probabili, in questo come in altri siti dislocati su entrambe le sponde del canale artificiale.

Spostandosi in direzione della foce, sempre in sponda sinistra i dissesti si sviluppano al bordo del canale. Numerosi *sinkholes* di dimensioni medio-piccole, frequentemente collegati l'uno all'altro mediante trincee della profondità di un paio di metri, caratterizzano un tratto del canale di una lunghezza di almeno 200 metri. Le stesse gabionate risultano fortemente deformate e ribassate in più punti, a causa degli spostamenti connessi ai limitrofi *sinkholes* (fig. 7).

La zona maggiormente interessata da *sinkholes* è quella nei pressi della foce, sulla sponda destra, dove sono presenti circa una quindicina di eventi (fig. 8), parzialmente coalescenti, con profondità variabile da 1 a 4 metri. I *sinkholes* giungono a interessare la sponda del canale, i cui argini sono in più punti distrutti da frane in roccia coinvolgenti significative volumetrie (fig. 9). Da segnalare l'allineamento di alcuni *sinkholes* lungo direzioni preferenziali, e la loro connessione secondo tali direttrici ai distacchi rocciosi verificatisi sulla sponda destra del canale artificiale.

L'approfondito studio geologico, geofisico ed idrogeologico eseguito da MELIDORO & PANARO (2000) ha evidenziato le principali caratteristiche locali della successione evaporitica a Marina di Lesina; come precedentemente accennato, i sondaggi hanno documentato, nell'ambito dei gessi, la presenza di cavità. La profondità di rinvenimento delle stesse, nonché le loro dimensioni e la loro concentrazione all'interno delle singole verticali sono risultate estremamente variabili. La cavità di maggiori dimensioni presenta un'altezza superiore ai 10 metri. A seguito dei risultati di tale studio, i suddetti Autori attribuiscono la genesi dei *sinkholes* a migrazione verso l'alto delle cavità presenti nei gessi, a causa di rifluimenti e crolli successivi della sovrastante copertura sabbiosa. Essi inoltre ritengono che, per lo sviluppo dei *sinkholes*, l'elemento chiave sia stato costituito dall'apertura del canale artificiale di Acquarotta, il cui scavo avrebbe richiamato verso l'interno dell'ammasso evaporitico i deflussi delle acque sotterranee, così innescando processi di dissoluzione e erosione (MELIDORO & PANARO, 2000). Precedentemente all'apertura dello scavo, era presente uno sbarramento impermeabile che veniva aggirato dai deflussi sotterranei; a riprova di ciò, MELIDORO & PANARO mettono in evidenza l'antico reticolo idrografico superficiale, di cui resta traccia nell'asta terminale del vecchio fiume Fortore (riportato come Fiume Morto sulla cartografia dell'Istituto Geografico Militare) e del Canale Acquarotta (fig. 2). I meccanismi di sviluppo dei *sinkholes* avverrebbero quindi secondo le modalità riportate in figura 10, come sprofondamenti per collasso della copertura o per suffosione, in base alla classificazione dei *sinkholes* di WALTHAM *et alii* (2005).

3. - TORRE CASTIGLIONE

Torre Castiglione è ubicata lungo la costa ionica pugliese, al limite tra le province di Lecce e Taranto (fig. 1). Si tratta di un'area di indubbio interesse turistico (fig. 11), data la bellezza naturale dei luoghi, che ha però subito notevole degrado



Fig. 5 - *Sinkhole* lungo il viale laterale, in sinistra del canale artificiale, nell'ambito del settore in cui lo sviluppo degli sprofondamenti ha maggiormente minacciato le abitazioni.

- *Sinkhole along the road to the west of the artificial channel, in the sector where the development of sinkholes greatly affected the buildings.*



Fig. 6 - Crolli nei gessi sulla sponda occidentale del canale artificiale, a poca distanza dai sovrastanti *sinkholes*. Un'analoga situazione (*sinkholes* in superficie, e frane sulla sponda) si osserva presso la foce, sulla sponda orientale (vedi figure 8 e 9b).

- *Falls involving the evaporites at the western side of the artificial channel, nearby the area of development of the sinkholes above. A similar situation (sinkholes at the surface, and landslides at the channel bank) occurs near the outlet, at the eastern side (see figures. 8 and 9b).*

e alterazioni a causa di cattiva gestione del territorio (MAINARDI, 1988). Ciò nonostante, essa conserva ancora attrattive naturali in grado di far confluire in questo settore della Puglia migliaia di turisti durante la stagione estiva.

Si tratta di un territorio che, al pari di altre vaste zone del litorale pugliese, è stato interessato in passato da ingenti opere di bonifica, volte all'eliminazione delle aree impaludate, e a debellare le malattie ad esse connesse, in primis la malaria. Nel caso specifico qui trattato, la bonifica ebbe inizio tra gli anni venti e trenta del novecento: nell'aprile 1927, infatti, viene costituito il Consorzio Speciale per la Bonifica dell'Arnò, che abbraccia un territorio che si estende tra Manduria e Nardò lungo il litorale ionico salentino. Le opere di bonifica, proseguite sino allo svilupparsi dei lavori della Riforma Fondiaria (dal 1952 al 1960), hanno consentito di eliminare le diffuse aree paludose, mediante prosciugamenti, canalizzazioni, costruzioni di bacini a marea e strade (MAINARDI, 1992).

La fascia costiera è diffusamente interessata dalla presenza di *sinkholes* che sono localmente

denominati *spunnulate*, con un termine dialettale derivante dal verbo *spunnulare*, ampliamento intensivo di *spunnare* (= rompere, sfondare; NOVEMBRE, 1961; ROHLFS, 1976; PARISE *et alii*, 2003). Alcuni degli sprofondamenti sono stati riadattati e modificati dall'uomo, a fini turistici (area di ricreazione) o per altri scopi (fig. 12). Gran parte degli sprofondamenti presenta al fondo specchi d'acqua permanenti (fig. 13), a causa della vicinanza alla costa e della scarsa elevazione sul livello del mare; l'acqua, salmastra, mostra salinità estremamente variabile.

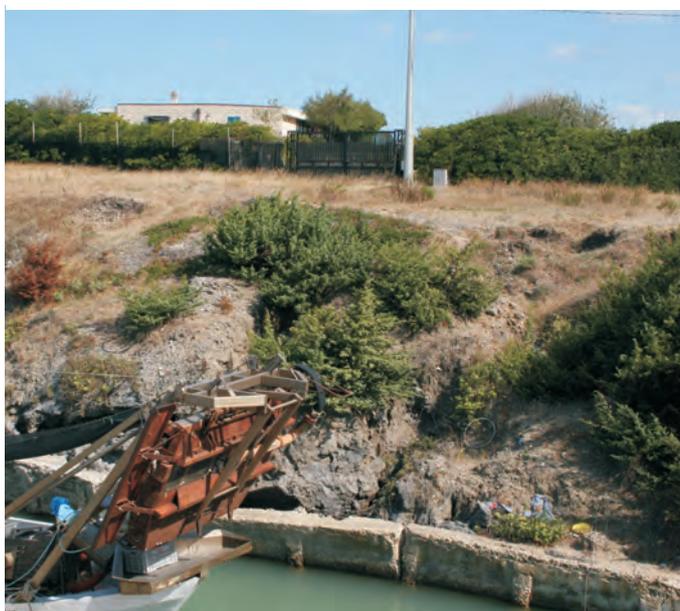
Vegetazione palustre è diffusa ai bordi e all'interno delle aree sprofondate, creando un ambiente fitogeograficamente raro, e quindi da tutelare ai fini della conservazione. La vegetazione è costituita da prati a neofite e terofite xerofile, e da garriga più o meno rada, derivata dalla macchia originaria (CURTI & LORENZONI, 1969; BECCARISI *et alii*, 2006). Il fondo risulta anche occupato da ammassi caotici di blocchi rocciosi, che costituivano l'originaria superficie del terreno, crollata a causa dello sviluppo di una sottostante cavità e



Fig. 7 – Vista di un lungo tratto del canale artificiale: sono ben evidenti le deformazioni delle gabbionate, connesse a recenti fenomeni di *sinkholes*. In primo piano, sulla sinistra dell'immagine, si intravede tra la vegetazione una delle numerose trincee di origine gravitativa che interessano la sponda.
- View of the artificial channel, showing deformations of the retaining walls, related to recent *sinkholes*. In the foreground, to the left of the image, a trench produced by gravity-related movement in the bank is visible among the vegetation.



Fig. 8 – Gruppo di sprofondamenti nei pressi della foce del canale artificiale, sulla sponda orientale.
- Group of sinkholes near the outlet, at the eastern side of the artificial channel.



a

Fig. 9 – Sponda orientale del canale artificiale, nei pressi della foce: a) dissesti nei gessi, con rottura dell'argine in calcstruzzo in più punti; b) alcuni dei dissesti sono direttamente collegati ai sinkholes avvenuti sul sovrastante pianoro, al pari di quanto osservato sulla sponda opposta (vedi fig. 6).
- Eastern side of the artificial channel, near the outlet: a) slope movements in the evaporites, breaking the concrete bank walls; b) some of the slope movements are directly linked to the sinkholes occurring on the plain above, as already observed on the opposite bank (see fig. 6).



b

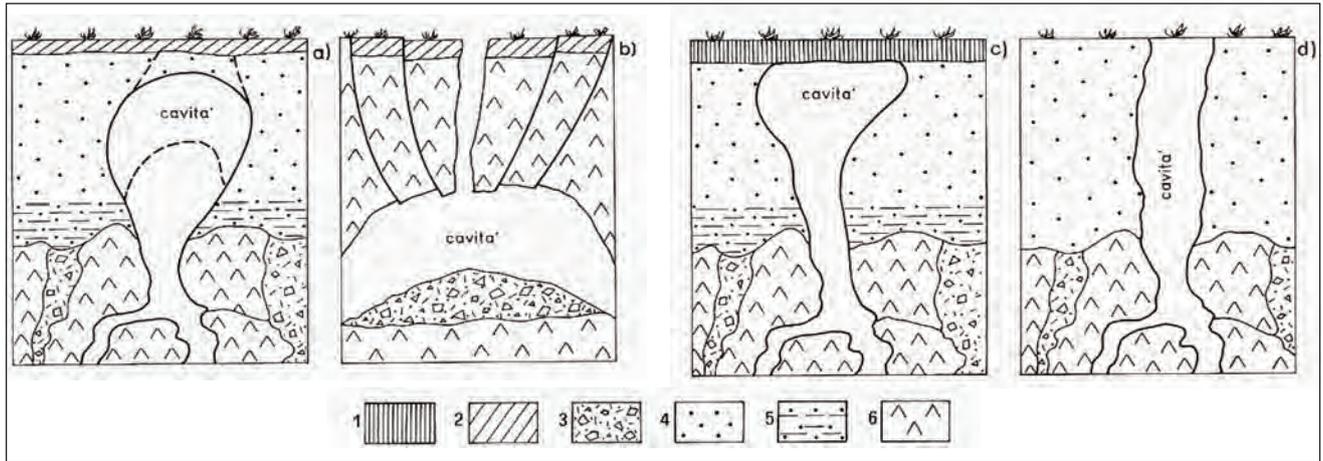


Fig. 10 - Schema dei meccanismi di formazione dei *sinkholes* secondo MELIDORO & PANARO (2000). Legenda: 1) pavimentazione stradale; 2) strato di terreno superficiale più resistente; 3) detriti nelle cavità nei gessi; 4) sabbie poco addensate; 5) sabbie addensate e limi; 6) gessi carsificati.
 - Sketch of the mechanisms of formation of the *sinkholes*, according to MELIDORO & PANARO (2000). Legend: 1) paving; 2) surficial hard soil; 3) debris into the cavities; 4) low density sands; 5) sands and silts; 6) karstified evaporites.



Fig. 11 - Ortofoto della zona di Torre Castiglione.
 - Ortofoto of the Torre Castiglione area.



Fig. 12 - Adattamento turistico di una delle spinnulate.
- Tourist modification of a spinnulata.

della progressiva riduzione del diaframma roccioso, mediante il meccanismo di *collapse sinkhole* proposto da WALTHAM *et alii* (2005). In alcuni casi, il crollo del tetto della cavità è stato solo parziale, senza ulteriore disgregazione della roccia.

L'accesso agli ambienti sotterranei risulta in questo caso più difficoltoso e meno sicuro, data la precarietà dei blocchi stessi.

Le spinnulate caratterizzano l'intera fascia costiera che si estende dal comune di Nardò a quello di Porto Cesareo (BECCARISI *et alii*, 2006), ma il settore a maggiore concentrazione è quello compreso tra Torre Lapillo e Torre Castiglione (fig. 14). Tra l'altro, quest'area rientra quasi interamente nei Siti di Importanza Comunitaria (SIC) della Rete Natura 2000. Ciò nonostante, un notevole degrado caratterizza il territorio, sia per la vicinanza di fabbricati e manufatti antropici (chiaramente connessi a fenomeni di abusivismo edilizio) a numerose spinnulate, che per la presenza diffusa di rifiuti solidi e inerti all'interno e nei dintorni delle aree sprofondate. Già in passato sono più volte risultate vane le denunce e segnalazioni di degrado del territorio rivolte alle competenti autorità, a cominciare da quelle avviate alcuni decenni orsono dal Prof. PARENZAN (PARENZAN, 1983).

Torre Castiglione è un piccolo promontorio collegato alla terra ferma mediante uno stretto istmo. Alla sommità del promontorio sono localizzati i resti di un insediamento risalente all'Età del Bronzo (XIII-XII sec. a.C.; BIANCO, 1978). Esso infatti, data la sua configurazione, rappresentava un ottimo sito strategico dal quale esercitare controllo sulle principali rotte commerciali.

Il substrato cretaceo è costituito nell'area da calcari e calcari dolomitici, su cui poggiano in discontinuità stratigrafica calcareniti del Pliocene e calcareniti e calcari del Pleistocene (DAI PRA, 1982). In

quest'ultima unità, a partire dalla zona di Torre Lapillo, si sviluppa la zona maggiormente interessata da *sinkholes*. L'assetto geologico è completato dalla presenza di depositi di spiaggia e dune recenti.

Tettonicamente, un sistema pervasivo di faglie normali e fratture a orientazione NNW-SSE caratterizza la zona, con un subordinato sistema E-W nell'area più interna, di transizione tra Murge e Salento. La configurazione strutturale differenzia tettonicamente la Penisola Salentina dall'altopiano murgiano, dove il sistema tettonico principale è orientato NW-SE. Tale differenza tra i due settori è stata interpretata come dovuta a rotazione in senso orario della porzione più meridionale della Puglia (TOZZI *et alii*, 1988).

L'area è morfologicamente costituita da una costa bassa che raggiunge le massime quote, corrispondenti ad elevazioni di 60-70 m s.l.m., a distanza di 4-5 km dalla linea di costa, dove si osserva l'affioramento dei calcari cretacei. Le antiche linee di costa sono marcate da piccole scarpate che si seguono con buona continuità, grossomodo orientate parallelamente alla costa attuale.

È possibile individuare sprofondamenti a diverso grado di freschezza, corrispondenti a diversi stadi evolutivi: da forme nette e ben definite (a testimonianza di una recente formazione), ad altre più addolcite (per successivi processi erosionali), sino a forme appena accennate (presumibilmente derivanti da fenomeni fossili, e di cui resta solo qualche traccia in superficie). Come osservato anche in altre analoghe situazioni del litorale pugliese, l'evoluzione degli sprofondamenti attraverso crolli successivi dai margini degli originari *sinkholes* porta all'ampliamento degli stessi, alla coalescenza di più forme e alla formazione di *sinkholes* composti. La derivante forma com-



Fig. 13 - Sinkhole con affioramento della falda nei pressi del litorale di Torre Castiglione.

- Sinkhole with presence of the water table near the Torre Castiglione coast.

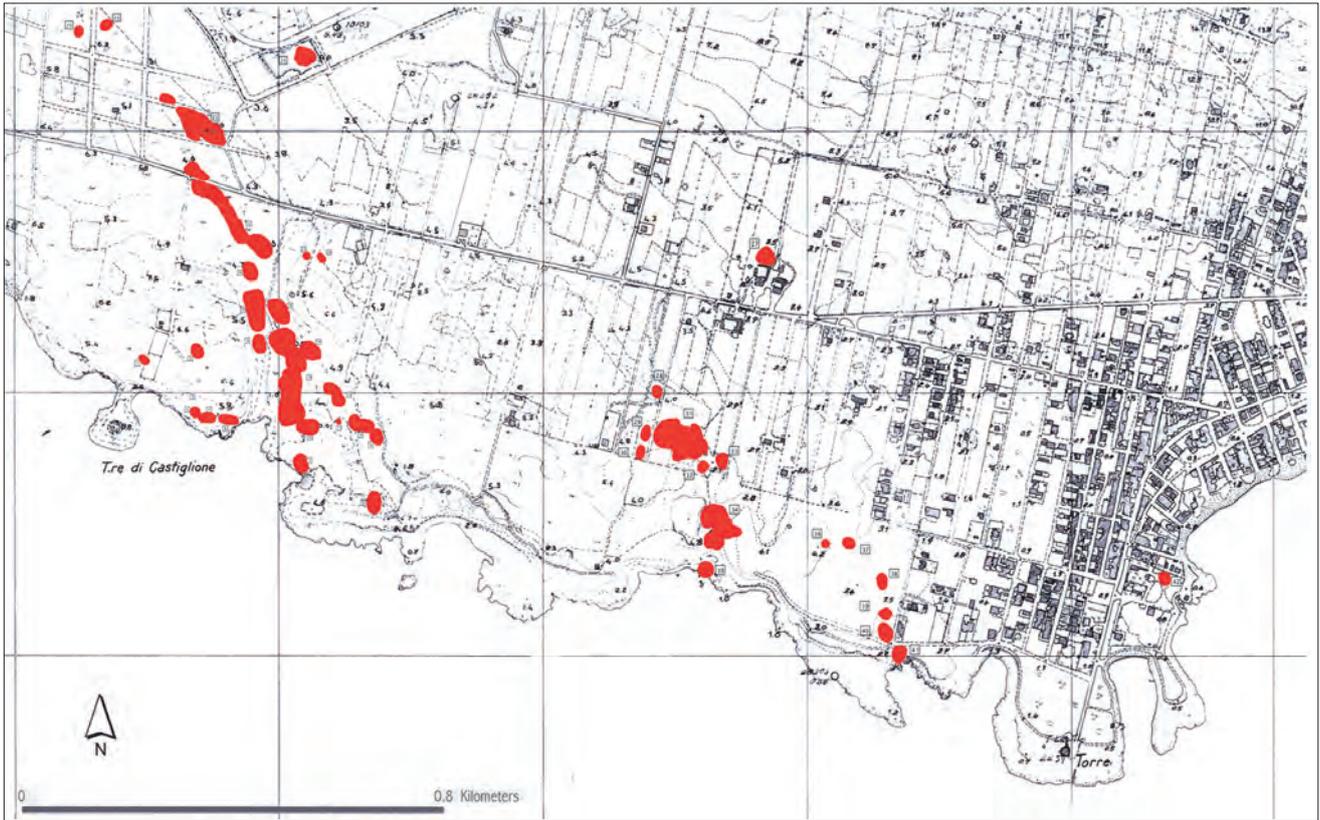


Fig. 14 - Distribuzione spaziale delle spinnulate (da BRUNO *et alii*, 2008).
- Spatial distribution of the spinnulate (after BRUNO *et alii*, 2008).

plessiva risulta spesso irregolare, discostandosi dall'originaria circolarità e mostra frequentemente una direzione prevalente di allineamento, controllata dai maggiori lineamenti tettonici locali. Allorquando tale evoluzione si verifica nei siti maggiormente prossimi alla costa si può determinare una rottura della barriera rocciosa di separazione dal mare, e la genesi di baie e insenature costiere, come osservato in più punti della costa pugliese (DELLE ROSE & PARISE, 2003). In quest'ultimo processo, va ricordato anche il ruolo dell'erosione marina, che contribuisce in maniera significativa alla evoluzione del litorale.

L'analisi morfometrica degli sprofondamenti che insistono su un'areale di 6 km², su un numero complessivo di circa 60 *sinkholes* censiti indica una profondità di almeno 4 m, con la maggior parte degli sprofondamenti che coinvolgono aree tra i 200 e i 400 m². Una significativa percentuale (corrispondente al 17.2 %) interessa areali maggiori di 10.000 m² (BRUNO, 2006).

Uno tra i parametri maggiormente utilizzati in letteratura per la descrizione morfometrica dei *sinkholes* è il rapporto di elongazione, definito dal rapporto tra asse maggiore e asse minore dello sprofondamento. Tale parametro, oltre a fornire un'indicazione della forma della struttura (al pari

di altri parametri, quali ad esempio l'indice di circolarità; BRINKMANN *et alii*, in stampa), consente anche in prima approssimazione di valutare l'influenza dei locali lineamenti tettonici sulla genesi del *sinkhole*. Come illustrato nella figura 15, a Torre Castiglione su un campione di 40 sprofondamenti di forma non circolare, non si osserva alcuna correlazione lineare, ottenendo un coefficiente di correlazione alquanto basso. Il dato è abbastanza difforme da quanto osservato da BERTI *et alii* (2004) su un campione di *sinkholes* da

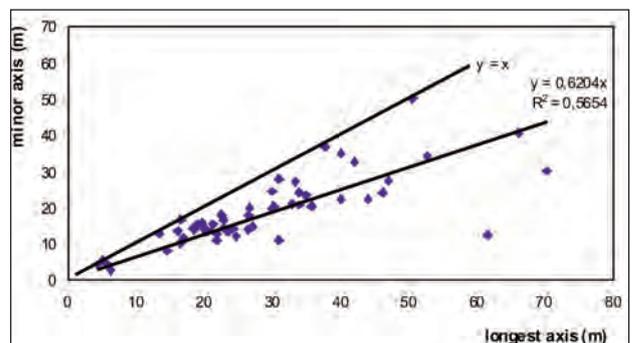


Fig.15 - Relazione tra asse maggiore e asse minore dei *sinkholes* (campione di 40 spinnulate).
- Relationship between maximum and minimum axes of the *sinkholes* (sample of 40 spinnulate).

aree diverse degli Appennini, che mostrava invece una perfetta correlazione (vedi figura 6 in BERTI *et alii*, 2004). È presumibile ipotizzare che su vasti areali la selezione dei casi di maggiore interesse (spesso corrispondenti a fenomeni isolati e di grandi dimensioni) svolga un ruolo non secondario nella individuazione della suddetta correlazione. Studi di maggior dettaglio, che comprendono nella popolazione esaminata tutte le tipologie di *sinkholes* presenti in una zona specifica, senza che vi sia alcuna selezione da parte degli operatori, quasi inevitabilmente conducono a relazioni meno nette.

Non va inoltre trascurato il ruolo svolto dall'attività antropica, tanto nel modificare i limiti dei *sinkholes*, quanto, nei casi più eclatanti, nel cancellarne le tracce, tramite colmamenti o lavori di sistemazione e addolcimento dei margini. L'attività turistica nell'area di Torre Castiglione ha indotto infatti la costruzione di un gran numero di abitazioni a poca distanza dalla costa: in molti casi le abitazioni, i muri perimetrali dei giardini e le strade di collegamento interpodereale risultano al margine degli sprofondamenti, o direttamente interessate dagli stessi. La strada litoranea Taranto – Porto Cesareo, principale arteria di collegamento della zona e frequentemente utilizzata nel corso della stagione estiva, corre in più punti al di sopra di *sinkholes*.

BRUNO *et alii* (2008) hanno di recente utilizzato la popolazione di *sinkholes* censita tra Torre Lapillo e Torre Castiglione per svolgere un'analisi finalizzata alla redazione di una carta della suscettibilità da sprofondamenti. Utilizzando un modello ad albero decisionale, tipico dei processi di inferenza induttiva, adattato all'area di studio sulla base della procedura sviluppata da GAO & ALEXANDER (2003), e con l'utilizzo del software C4.5 di QUINLAN (1993), essi hanno prodotto una

cartografia che mostra senza ombra di dubbio che ampi settori della fascia costiera in esame sono potenzialmente interessati dallo sviluppo ed evoluzione di sprofondamenti (BRUNO *et alii*, 2008). In termini di vulnerabilità, ciò si traduce nella necessità di approfondire le ricerche su tali tematiche, per pervenire a modelli che consentano di giungere ad una mitigazione del rischio.

4. - CESINE

Le Cesine sono ubicate lungo la costa Adriatica, pochi chilometri a E di Lecce (fig. 1). Estese circa 8 km², con oltre 1 km² occupato da acqua, costituiscono un ambiente palustre costiero di notevole importanza naturalistica (fig. 16), tanto da essere stato dichiarato nel 1977 “zona umida d'importanza internazionale”, e nel 1980 “Riserva naturale di ripopolamento animale”. Posta a quota di pochi metri sul livello del mare, verso l'interno la piana costiera si sviluppa per alcune centinaia di metri mantenendo pendenze molto basse. Il locale substrato è costituito da calcareniti del Pleistocene inferiore (fig. 17), che mostrano spessori di qualche decina di metri, in discontinuità stratigrafica su calcareniti e calcilutiti del Pliocene. L'intera successione è dislocata da sistemi di fratture subverticali. Lungo la fascia costiera si sviluppano depositi di spiaggia, frequentemente bordati da cordoni di dune, e con isole di roccia calcarenitica affiorante in maniera discontinua. Il substrato è invece, verso l'interno, ricoperto da argille e limi palustri e depositi residuali. L'analisi delle morfologie costiere e delle aree di palude evidenzia un chiaro controllo della tettonica nell'orientamento delle principali forme del paesaggio.



Fig. 16 - Ortofoto e stralcio topografico dell'area delle Cesine, sul litorale adriatico ad est di Lecce.
- Ortophoto and topographic extract of the Cesine area, along the Adriatic coastline east from Lecce.

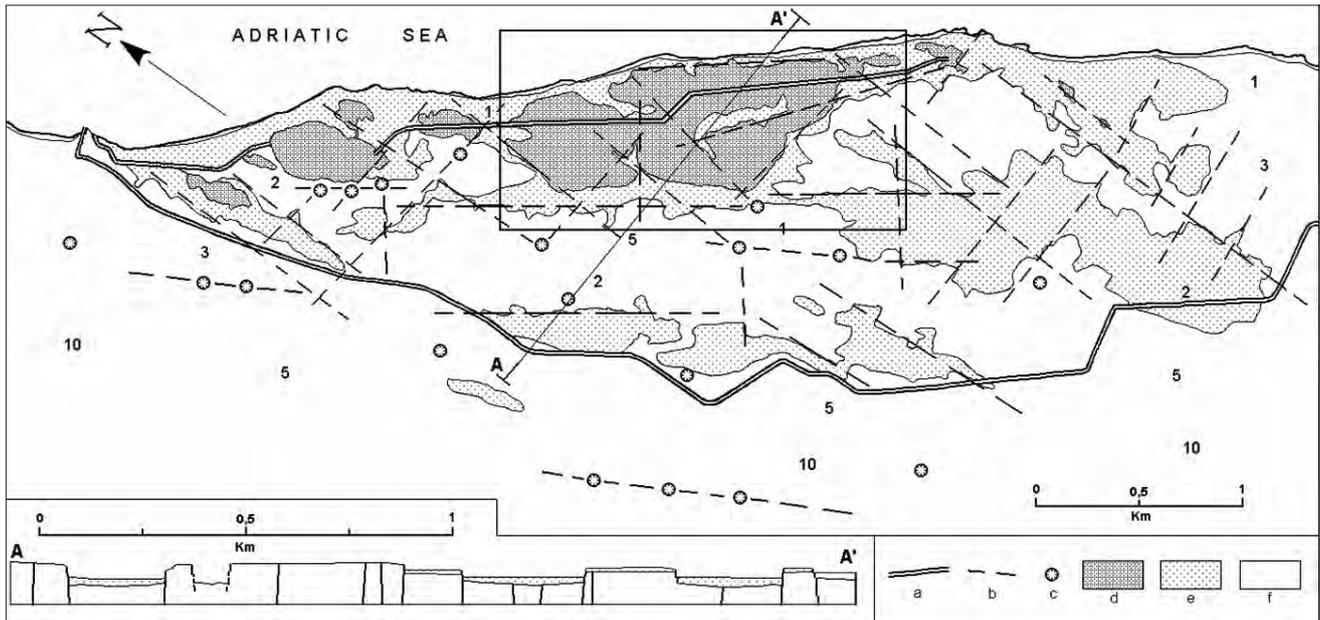


Fig. 17 - Schema geologico e morfologico delle Cesine (da DELLE ROSE & PARISE, 2002). Legenda: a) canale di bonifica; b) fratture; c) doline; d) palude; e) depositi palustri; f) calcareniti del Pleistocene inferiore. I numeri indicano le quote sul livello del mare (in metri). Scala verticale esagerata nella sezione. Il riquadro si riferisce al settore utilizzato per il modello evolutivo mostrato in figura 19.

- Geological and morphological sketch of Cesine (after DELLE ROSE & PARISE, 2002). Explanation: a) reclamation channel; b) fracture; c) doline; d) swamp; e) palustrine deposits; f) Lower Pleistocene calcarenites. Numbers mark the elevations above sea level (in meters). Vertical scale exaggerated in the section. The inset is the sector shown in the model of figure 19.

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 (FORTI, 1991). Il paesaggio è caratterizzato da numerosi *sinkholes* di crollo, allineati lungo le principali direttrici tettoniche, sovente colmate da suoli, detriti e sabbie eoliche o, con falda emergente, ospitanti paludi ed acquitrini (fig. 18). La palude delle Cesine è quasi interamente coperta da vegetazione, per cui risulta pressochè 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.

Sulla base di rilievi geologici, morfologici e di analisi idrogeologiche, DELLE ROSE & PARISE (2002) hanno proposto un modello di evoluzione per l'area delle Cesine (fig. 19): il modello parte dall'individuazione dei singoli *sinkholes*, la cui distribuzione appare controllata dall'andamento dei principali lineamenti tettonici nell'ammasso roccioso calcarenitico (fig. 19a). Crolli e ribaltamenti avvengono ai margini dei *sinkholes*, ampliandoli e riducendo i ponti di roccia esistenti tra uno sprofondamento e l'altro (fig. 19b). Tali distacchi, favoriti dallo sviluppo di processi ipercarsici connessi al miscelamento tra acque dolci e acque salate e, almeno localmente, da processi di carattere

biocarsico, risultano ancora controllati dalle discontinuità tettoniche. La forma dei *sinkholes* tende così a cambiare, da circolare (che caratterizza i fenomeni singoli) ad ellittica o allungata lungo le direzioni dei principali assi tettonici. L'ulteriore allargamento dei *sinkholes*, mediante distacchi progressivi, produce la formazione di *sinkholes* composti e di ampie aree allagate, che si estendono per qualche migliaio di metri quadri (fig. 19c).

I *sinkholes* composti sono separati dal mare da sottili barriere di roccia intensamente carsificata ed instabile (fig. 19d), la rottura delle quali può determinare la formazione di canali costieri e di insenature di collegamento con la retrostante area



Fig. 18 - Esempio di *sinkhole* allagato nelle Cesine.
- Flooded sinkhole in the Cesine.

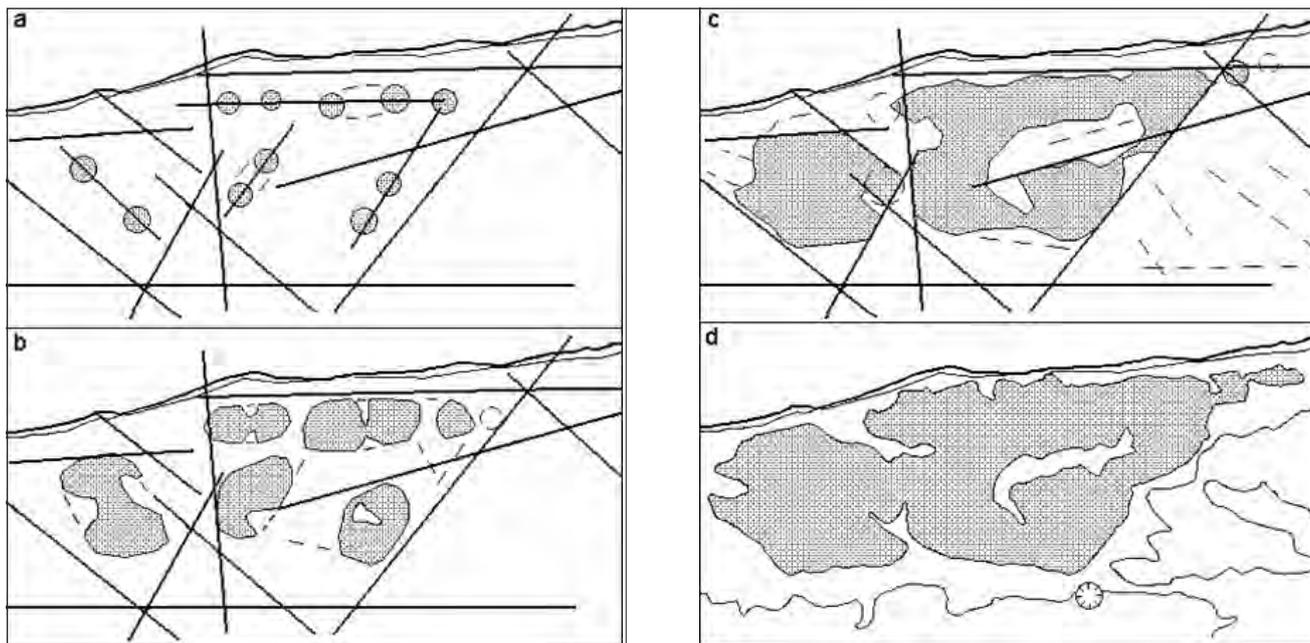


Fig. 19 - Modello evolutivo delle Cesine (da DELLE ROSE & PARISE, 2002): a) sviluppo di singole depressioni; b) ampliamento delle depressioni; c) coalescenza delle forme singole, con formazione di *sinkholes* composti; d) situazione attuale (vedi anche figura 17).

- Model of evolution of Cesine (after DELLE ROSE & PARISE, 2002): a) development of individual depressions; b) widening of the depressions; c) coalescence of individual landforms, and formation of compound sinkholes; d) present situation (see also figure 17).

palustre, secondo modalità riscontrate anche in altri contesti geografici e geologici (i.e. NORRIS & BACK, 1990). L'evoluzione appare rapida, e pone seri problemi di gestione della fascia costiera, come evidenziato anche alla scala temporale umana dai frequenti casi osservati (si veda a tal proposito la tabella 1 in DELLE ROSE *et alii*, 2004b). Laddove l'ambiente antropizzato si spinge in prossimità della costa, la formazione di *sinkholes* può coinvolgere direttamente le infrastrutture antropiche con ingenti danni economici, come avvenuto pochi chilometri a nord delle Cesine, nell'abitato di Casalabate (DELLE ROSE & PARISE, 2002).

5. - SPEDICATURO

Nel basso Salento (fig. 1), all'interno di un'ampia depressione orientata in senso circa N-S compresa tra blandi dorsali che si elevano di qualche decina di metri, si sviluppa il sistema Spedicaturo. Esso è costituito da vari *sinkholes* da crollo, di diverse dimensioni e profondità, che risultano allineati lungo lo stesso asse di sviluppo della suddetta depressione. La zona in cui si aprono gli sprofondamenti, subito ad ovest della Strada Statale 274, era in passato interessata da impaludamenti, che non consentivano l'utilizzo dei terreni a fini agricoli. Lo studioso salentino COSIMO

DE GIORGI osserva che "...vaste aree del territorio che si estende da Maglie fino alla traversa Cutrofiano-Supersano ... presentano terreno ondulato e solcato da molti canali che hanno scavato il loro letto fra le argille ed i sabbioni, e conducono le acque pluviali ad alcuni pozzi assorbenti che spesso s'incontrano in questa contrada. Ma non pertanto le cause degli impaludamenti non sono tolte, poiché l'uomo ... si affatica a ripristinare gli stagni e la malaria col feroce e vandalico diboscamento praticato su terreni poco o nulla permeabili alle acque..." (DE GIORGI, 1882). La presenza di stagni e paludi è testimoniata ancora per lungo tempo (vedi fig. 20),



Fig. 20 - In quest'immagine, risalente all'autunno del 1957 (tratta da ANELLI, 1964), si vede l'ampia depressione allagata dopo un evento di pioggia, le cui acque si riversano in una delle vore del sistema Spedicaturo.
- This photograph dates back to the fall of 1957 (after ANELLI, 1964), and shows the wide flooded depression after a rainfall event, with the waters entering one of the sinkhole in the Spedicaturo system.

e solo in tempi a noi più vicini si provvede a eseguire lavori di bonifica mediante la realizzazione di una serie di canali.

Il locale assetto geologico (fig. 21) è costituito da calcareniti medio-grossolane, stratificate, del Pleistocene inferiore, appartenenti alla formazione delle Calcareniti del Salento. Esse presentano spessore di circa 25 m e poggiano su depositi della formazione delle Calcareniti di Andrano, formati da calcari, calcareniti medio-fini e marne.

L'assetto è sub-orizzontale, con strati inclinati di non più di 20° verso sud-ovest. Più a ovest, affiorano depositi sabbioso-limosi, passanti nella parte bassa a marne argillose.

L'area in esame è il recapito finale di un sistema idrografico proveniente da ovest e da sud, e che ha origine nei depositi sabbioso-limosi, conferendo quindi ai corsi d'acqua un carattere allo-genico. Il Canale del Ponte, che più avanti assume la denominazione di Canale Fontanelle, scorre in direzione NW-SE, e si congiunge quindi a un altro corso d'acqua proveniente da sud, che risulta privo di denominazione sulla cartografia I.G.M.

Dalla confluenza dei due rami, il corso d'acqua derivante scorre in direzione NE e quindi devia bruscamente a N, sino a raggiungere la parte topograficamente più bassa di un pianoro allungato circa N-S, dove appunto si aprono le vore. Un altro ramo minore, isolato, è presente a poca distanza, verso ovest (fig. 21).

Studi precedenti sull'area (BECCARISI *et alii*, 1999; SELLERI *et alii*, 2003) hanno evidenziato una faglia NW-SE, poco ad est delle vore, che ne controllerebbe lo sviluppo evolutivo, influenzandone l'allineamento. In realtà, le discontinuità tettoniche sono individuabili con difficoltà in superficie, a causa della morfologia pianeggiante, con copertura vegetale e di suolo. Nelle porzioni in cui la roccia è esposta, le fratture sono evidenziate in rilievo da riempimenti carbonatici, come di frequente si osserva nei depositi calcarenitici salentini.

Le differenze litologiche tra i materiali appartenenti alla formazione delle Calcareniti del Salento e quelli della formazione delle Calcareniti di Andrano determinano la presenza di una falda superficiale, sostenuta dai livelli idrogeologica-

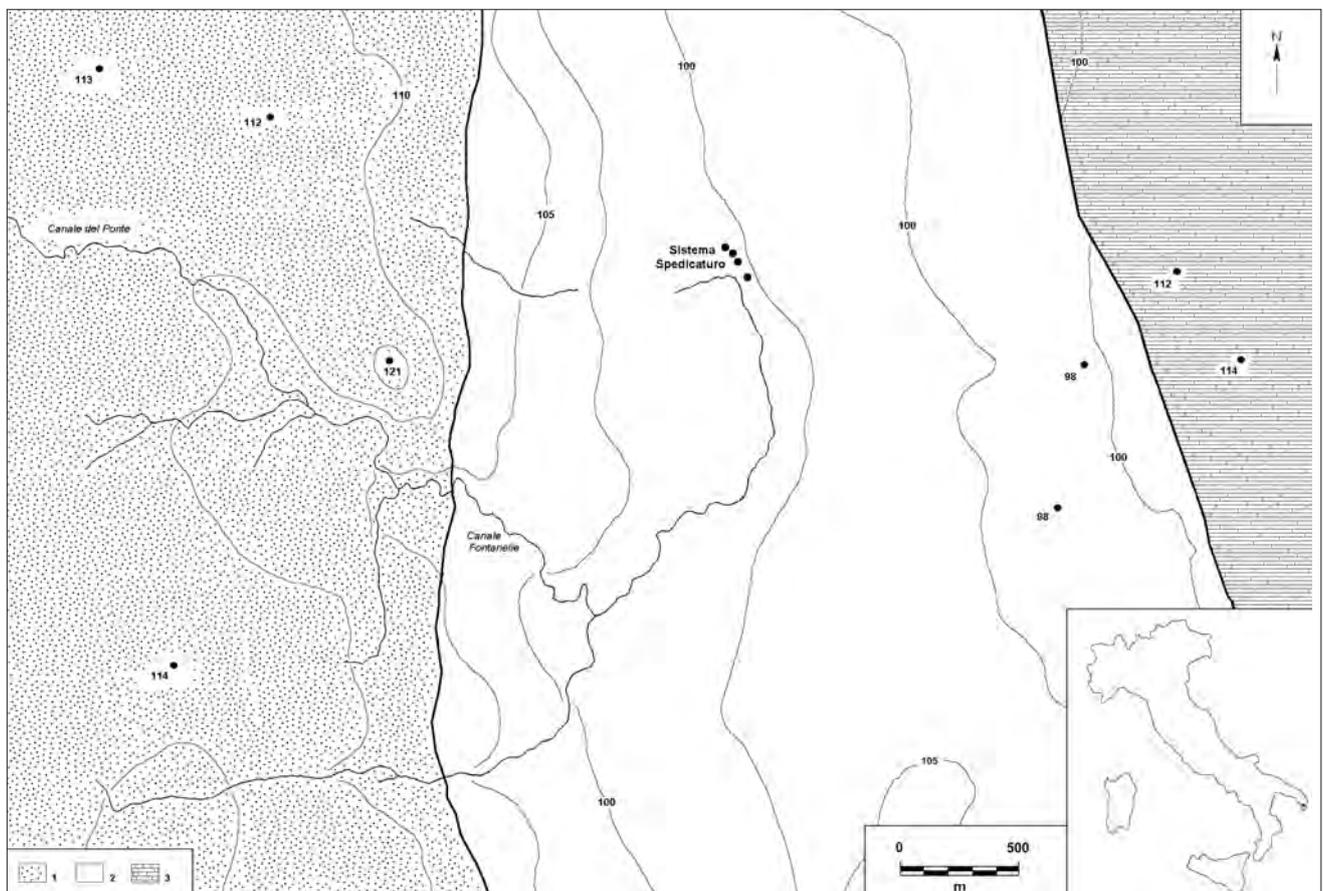


Fig. 21 - Schema geologico e idrografico dell'area del sistema Spedicaturo. Legenda: 1) sabbie limose, marne argillose; 2) calcareniti medio-grossolane; 3) calcareniti, calcari, marne.

- Geological and hydrographical scheme of the Spedicaturo area. Legend: 1) silty sands, clayey marls; 2) middle-coarse calcarenites; 3) calcarenites, limestones, marls.

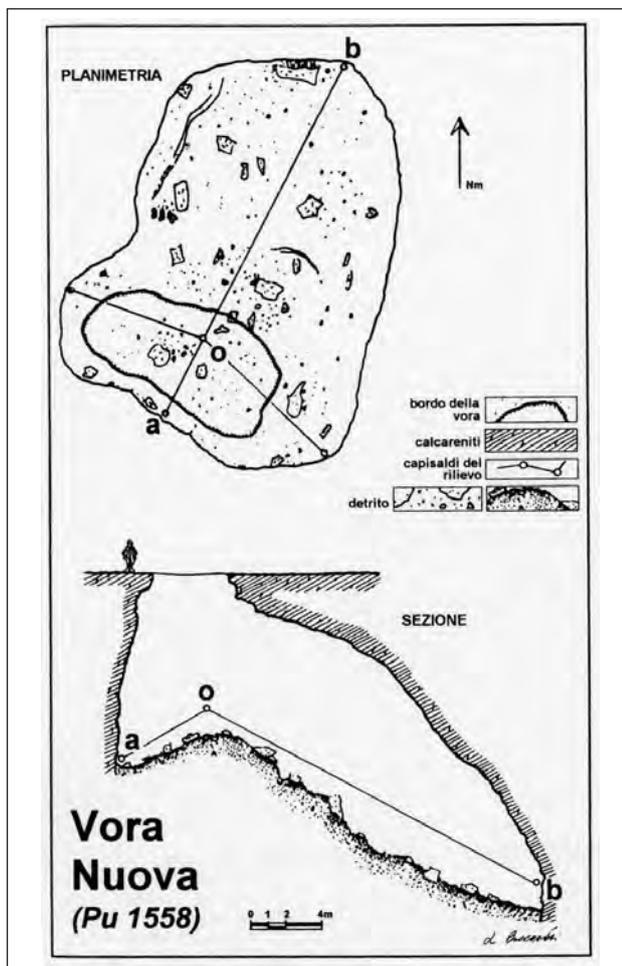


Fig. 22 - Planimetria e sezione di Vora Nuova (da BECCARISI *et alii*, 1999).
- Plan and section of Vora Nuova (after BECCARISI *et alii*, 1999).

mente impermeabili della Calcarenite di Andrano, che ha presumibilmente costituito l'elemento fondamentale per la formazione dei *sinkholes*.

Le principali voragini sono indicate con i nomi di Vora Grande di Surano (o Vora di Spedicaturu) e Vora Piccola. Il sistema carsico è completato dall'Inghiottitoio Leptospira, al quale pervengono le acque provenienti dal Canale Fontanelle (BECCARISI *et alii*, 1999). Nel marzo 1996, subito a N della Vora Piccola, si è poi aperta un'ulteriore voragine dell'ampiezza di 20 metri, denominata Vora Nuova, e prontamente esplorata e messa a catasto dal Gruppo Speleologico Neretino (BECCARISI *et alii*, 1999). Vora Nuova (fig. 22) è profonda circa 20 metri, e presenta pareti verticali, con grosse porzioni dell'ammasso calcarenitico in posizione instabile (fig. 23), che lasciano presagire nuovi possibili distacchi e probabile allargamento della voragine.

L'attività del sistema è anche testimoniato da un altro piccolo sprofondamento, dell'ampiezza di

un metro, avvenuto più di recente nei pressi di Vora Grande (fig. 24). La recente attività evidenzia come l'intero sistema Spedicaturu sia caratterizzato da evoluzione che procede essenzialmente attraverso crolli successivi dalla volta e dalle pareti, che determinano il progressivo assottigliamento del diaframma roccioso; il crollo di quest'ultimo provoca l'apertura di nuovi accessi, anche di grandi dimensioni (è il caso di Vora Nuova) e pone serie problematiche in termini di vulnerabilità dell'area (fig. 25), data la vicinanza ad alcune arterie stradali (Strada Provinciale 127 e Strada Statale 274), e di gestione territoriale. A tal proposito, va segnalato che il sistema carsico in esame è riportato in maniera non corretta in un recente studio della PROVINCIA DI LECCE (2004), che mostra notevoli incongruenze con quanto realmente si osserva al sito: il confronto tra i rilievi del suddetto lavoro e quelli del Catasto Regionale delle Grotte, a cura della Federazione Speleologica Pugliese, evidenzia chiaramente alcune difformità di non poco conto. Il rilievo e la rappresentazione di ambienti ipogei è, invece, di estrema importanza, in quanto esso dovrebbe trasmettere a coloro che non visitano direttamente il sito sotterraneo, la percezione di ciò che è realmente presente nel sottosuolo. Sarebbe quindi necessario descrivere correttamente le morfologie e la distribuzione spaziale degli ambienti sotterranei, dato che questi costituiscono elemento fondamentale ai fini della redazione di un qualsiasi piano di intervento o di sistemazione dei luoghi.

6. - BARBARANO

Le Vore di Barbarano (fig. 26) sono ubicate nella porzione più meridionale del Salento, alla periferia orientale di Barbarano, piccola frazione di Morciano di Leuca. Esse si trovano lungo la via di pellegrinaggio mariano che fu particolarmente diffuso nell'area del Capo di Leuca tra '500 e '600 (CHIURI, 2000). Attraverso una fitta rete di percorsi di pietra, e raggiungendo tappe intermedie dove potevano trovare riposo e assistenza, masse di devoti partivano da comunità più o meno lontane per raggiungere a piedi, a dorso d'asino o su carro, la meta del pellegrinaggio: il grande Santuario mariano di S. Maria di Leuca. Lungo tale percorso, ed a poche centinaia di metri dalle voragini qui trattate, si trova il Santuario della Madonna del Belvedere di Leuca Piccola, che ospita tra l'altro un ipogeo scavato nelle calcareniti (SAMMARCO & PARISE, 2008).

Denominati Vora Grande e Vora Piccola per le rispettive dimensioni, i due sprofondamenti dista-



Fig. 23 - Vora Nuova, apertasi nel marzo 1996. Da notare le porzioni calcarenitiche in evidente stato di instabilità.
- *Vora Nuova, that opened in March, 1996. Note the calcarenitic rocks in clear state of instability.*

no poche centinaia di metri (DE GIORGI, 1896). Vora Grande è attualmente recintata in tutta la sua estensione (fig. 27), ed è il *sinkhole* ubicato più a sud, mentre Vora Piccola si trova a qualche decina di metri dalla stradina che conduce al Santuario della Madonna del Belvedere di Leuca Piccola, a poca distanza dalla ferrovia (fig. 28).

Le due Vore hanno profondità, rispettivamente, di 35 m e 25 m, e assi di maggiore lunghezza pari a 30 m in direzione N-S (Vora Grande) e 15 m in direzione NW-SE (Vora Piccola). Vora Grande presenta forma ellittica in pianta, con asse maggiore orientato N-S; l'analisi del rilievo della voragine mostra invece, in profondità, un allungamento preferenziale in senso NW-SE (BECCARISI *et alii*, 2003). Vora Piccola ha forma ellittica meno marcata, tendente in direzione NW-SE.

Morfologicamente, le Vore si aprono su un pianoro allungato in direzione NW-SE, delimitato ai bordi da pendii che conducono al rilievo di Serre Falitte sul versante sud-occidentale e a quello su cui si sviluppa l'abitato di Montesardo sul versante nord-orientale. Il dislivello tra fondovalle e dorsali risulta compreso tra i 20 e i 30 metri; sep-



Fig. 24 - Sprofondamento di piccole dimensioni, nell'ambito del sistema Spedicaturo.
- *Small size sinkhole within the Spedicaturo system.*



Fig. 25 - Vista generale, ripresa da NNW, di Vora Nuova (in primo piano) e di Vora Piccola (sullo sfondo, evidenziata dalla vegetazione).
 - Overall view, from the NNW, of Vora Nuova (in the foreground) and Vora Piccola (in the background, marked by the vegetation).



Fig. 26 - Ortofotografia della zona di Barbarano: la Vora Grande è visibile al centro dell'immagine, mentre la Vora Piccola è nei pressi dell'angolo in alto a sinistra.
 - Orthophoto of the Barbarano area: Vora Grande is visible to the center of the image, whilst Vora Piccola is about at the upper left corner.

pur non marcata, tale differenza altimetrica determina, in territori a scarsa energia di rilievo quali le porzioni interne del Salento (PALMENTOLA, 1987), una certa variabilità morfologica.



Fig. 27 - Veduta generale della Vora Grande.
- Overall view of Vora Grande.



Fig. 28 - Vista della Vora Piccola, ripresa da nord-est. Da notare, sul lato opposto, le tracce di attività estrattiva al margine della voragine.
- Vora Piccola, seen from the north-east. Note, on the opposite side, the evidence of quarrying at the sinkhole edge.



Fig. 29 - Carraie di epoca romana nei pressi della Vora Piccola di Barbarano.
- Roman roads near Vora Piccola at Barbarano.

Oltre agli aspetti storico-religiosi su richiamati, la presenza dell'uomo in epoche passate nella zona delle vore è testimoniata da ben conservate carraie di epoca romana (fig. 29) scavate nella roccia calcarenitica, osservabili nei pressi di Vora Piccola e a ridosso del percorso della ferrovia. Altro elemento di interesse è rappresentato dalla diffusa presenza di cave (fig. 30) che, come si vedrà più avanti, potrebbero anche avere svolto un ruolo non secondario nella formazione degli sprofondamenti. La locale calcarenite è stata infatti estratta e cavata su ampi settori del piano-



Fig. 30 - Cave nelle calcareniti, nei pressi delle vore.
- Quarries in the calcarenites near the sinkholes.



Fig. 31 - Pareti interne di Vora Piccola, con in evidenza gli effetti dell'erosione selettiva nelle sabbie calcaree, e il condotto carsico in corrispondenza della cengia..

- Inner walls of Vora Piccola, showing the erosion in the calcareous sands, and the karst conduit along the horizontal passage.

ro, e alcune cave sono a diretto contatto con le vore (fig. 28). Le formazioni calcarenitiche, biancastre o giallastre a grana variabile, hanno costituito, per la facilità di lavorazione e l'immediatezza di reperimento, il materiale più diffuso nell'edilizia dell'antichità.

Senza entrare nel complesso dettaglio geologico, ancora non del tutto definito in questo settore del Salento (BOSSIO *et alii* 1987; 1998) si riassume qui la litostratigrafia osservabile sulle pareti delle due vore, che è riconducibile a tre livelli principali. Il primo, sommitale, è rappresentato da una calcarenite ben cementata, di spessore di 4,5-5 metri. Al di sotto, fino a circa 20 metri di profondità, sono presenti sabbie calcaree di colore giallastro, molto uniformi nella parte bassa, mentre nei primi 4-5 metri a partire dall'alto esse si intercalano a livelli irregolari con maggiore grado di litificazione. Lo spessore di tali livelli è generalmente centimetrico. Al di sotto delle sabbie si rinviene una calcarenite giallastra, a luoghi calciruditica, in banchi decimetrici.

Le pareti delle vore presentano nella parte più alta una evidente erosione selettiva nell'ambito dei livelli meno litificati delle sabbie calcaree. A tali fenomeni si associa inoltre la presenza di condotte carsiche e piccole cavità interstrato (fig. 31). L'erosione congiunta, carsica e meccanica, ha determinato la formazione di cengie che si affacciano all'interno della voragine, raggiungibili grazie a passaggi artificiali scavati nella roccia calcarenitica (fig. 32).



Fig. 32 - Passaggio artificiale nella Vora Piccola.
- Man-made gallery at Vora Piccola.

Ampi coni detritici occupano la parte bassa delle voragini, e hanno occluso ogni eventuale possibilità di prosecuzione.

Supponendo che il livello carsico di base fosse posto a profondità comprese tra i 10 e i 20 metri dall'attuale fondo delle vore, BECCARISI *et alii* (2003) ipotizzano una evoluzione degli sprofondamenti che parte dalla formazione di una protogrotta, dal suo ampliamento per processi chimici ed erosionali, e dalle prime fasi di crollo, con aumento nell'altezza della cavità (fig. 33a). La progressiva migrazione della cavità verso l'alto portò quindi ad intercettare i livelli di sabbie meno litificate (fig. 33b), il che determinò un'accelerazione dei processi, sia in termini di crolli successivi che di ampliamento e migrazione verso l'alto. È opinione di chi scrive che tale fase sia rapidamente progredita, sino a raggiungere il livello superficiale di calcarenite (fig. 33c), senza dover necessariamente invocare fenomeni di condensazione di vapori che avrebbero ulteriormente favorito la dissoluzione dell'ammasso carbonatico (BECCARISI

et alii, 2003); non si hanno infatti evidenze di morfologie ipogee connesse a questo tipo di dissoluzione. Infine, il livello calcarenitico sommitale, interessato da sistemi di discontinuità e indebolito dalla presenza del vuoto sottostante, sarebbe crollato, determinando l'apertura degli sprofondamenti (fig. 33d).

Resta l'interrogativo legato alla presenza delle cave, ed in particolare a quegli elementi connessi all'attività estrattiva che risultano troncati al margine delle vore (si vedano, ad esempio, figura 28 e 34). Sembra logico ipotizzare che all'epoca dell'attività delle cave le vore non dovessero esistere; anche la presenza di aperture di minori dimensioni rispetto a quelle attuali sarebbe da escludere, visto che queste avrebbero rappresentato evidenti segnali d'allarme per la realizzanda attività estrattiva. Purtroppo, la mancanza di elementi utili a porre un limite cronologico a tale attività antropica non consente allo stato attuale di formulare alcuna ipotesi sull'epoca di occorrenza degli sprofondamenti.

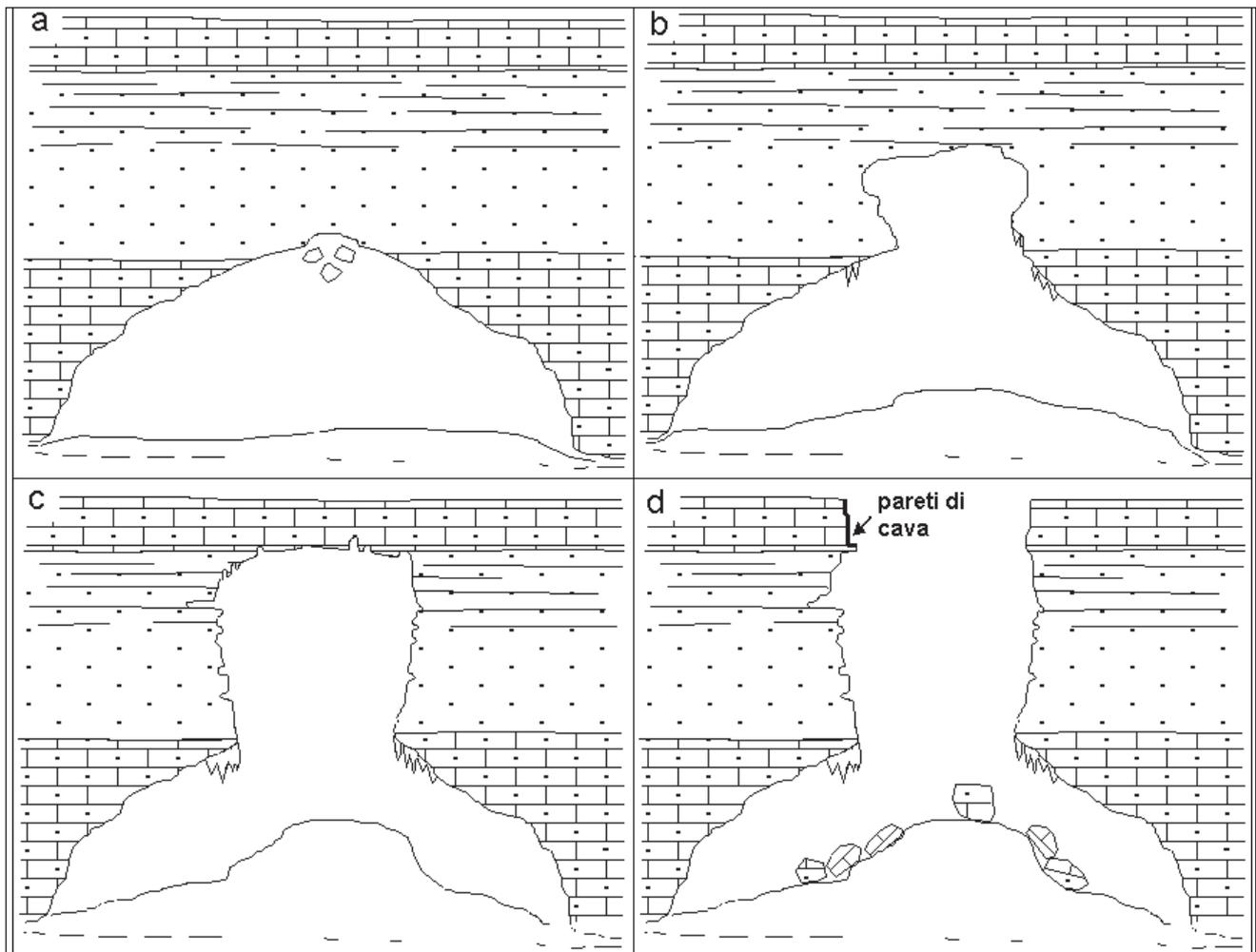


Fig. 33 - Schema evolutivo di Vora Grande a Barbarano (da DELLE ROSE *et alii*, 2004a).
- Evolution of Vora Grande at Barbarano (after DELLE ROSE *et alii*, 2004a).



Fig. 34 – Particolare delle evidenze di attività estrattiva al margine sud-occidentale di Vora Piccola.
- Evidence of quarrying activity at the south-western margin of Vora Piccola.

7. - CONCLUSIONI

Nel presente contributo sono state brevemente descritte alcune situazioni di sprofondamenti in aree di pianura interna e costiera della Puglia. Lo sviluppo di *sinkholes* in questa regione risulta estremamente diffuso, principalmente a causa dell'assetto geologico, costituito da rocce carbonatiche intensamente affette da processi carsici, e quindi dalla presenza di cavità sotterranee naturali (PARISE *et alii*, 2008). A ciò si aggiunge un'intensa attività antropica che, nel corso dei secoli, per vari motivi (cave sotterranee, luoghi di abitazione, depositi per derrate alimentari, frantoi ipogei, luoghi di culto, ecc.) ha prodotto ulteriori cavità, di molte delle quali si è persa la memoria storica. Sono recenti alcuni casi eclatanti di sprofondamenti connessi a tali situazioni, che fortunatamente non hanno determinato vittime (il caso di Gallipoli del marzo; DELLE ROSE, 2007) ma che evidenziano chiaramente la necessità di una migliore conoscenza delle cavità sotterranee che insistono sul territorio pugliese. Già in passato, d'altra parte, le cavità ipogee di natura antropica

hanno causato notevoli problemi in Puglia, come ad esempio dimostra la diffusione dei *sinkholes* nel territorio di Cutrofiano (fig. 35), in provincia di Lecce, una delle aree maggiormente interessate dalla presenza di cave sotterranee (TONI, 1986; BRUNO & CHERUBINI, 2005; PARISE *et alii*, 2007).

Escludendo, date le finalità del presente volume, i *sinkholes* connessi a cavità artificiali, al pari dei numerosissimi casi direttamente legati al carsismo nei calcari cretacei che costituiscono il substrato regionale (tipo quelli trattati in CASTIGLIONI & SAURO, 2000), ci si è qui concentrati su situazioni in cui gli sprofondamenti hanno interessato i materiali di copertura più recente.

Anche queste ultime risultano estremamente frequenti in Puglia, per la conformazione geografica e l'assetto geologico della regione. In particolare, l'analisi dei fenomeni lungo le fasce costiere richiederebbe senz'altro una maggiore attenzione, ai fini dell'individuazione di ulteriori casi (avvenuti o potenziali), e per considerazioni di protezione civile (CORAZZA, 2004), data la diffusa presenza di infrastrutture e abitazioni lungo le coste. Il caso, precedentemente illustrato, di Torre Castiglione è



Fig. 35 – *Sinkhole* nei depositi argillosi di una cava abbandonata in territorio di Cutrofiano. L'intera zona è interessata da presenza (a profondità variabili da 7 a oltre 50 m) di cave sotterranee in calcarenite.
- *Sinkhole* in the clayey deposits within an abandoned quarry in the territory of Cutrofiano. The whole area is characterized by presence of underground quarries in the calcarenites, at depth ranging from 7 to over 50 m.



Fig. 36 – Lo sprofondamento della Marina di Alliste (avvenuto a febbraio del 2004), tra i più recenti casi di sinkholes nel Salento.
- The Marina di Alliste sinkhole (occurred in February, 2004), one among the most recent sinkholes in Salento.

certamente tra i più significativi in tal senso. Situazioni analoghe si riscontrano su ampi settori del litorale pugliese. Più a sud di Torre Castiglione, sempre sul litorale ionico, la zona della Palude del Capitano, in territorio di Nardò, presenta molte caratteristiche in comune ed un'analoga evoluzione (DENITTO *et alii*, 2006). Negli ultimi anni, numerosi sprofondamenti sono avvenuti nell'area. In altri ambiti, laddove le case sono state realizzate ancora a maggiore vicinanza dalla costa, si producono periodicamente casi di dissesti che coinvolgono direttamente sia la rete stradale che gli edifici, con gravi danni economici per la società. Emblematico in tal senso il caso della Marina di Alliste (fig. 36), dove uno sprofondamento connesso alla presenza di cavità sotterranee è avvenuto nel febbraio 2004 (DELLE ROSE *et alii*, 2004a).

La presenza di *sinkholes* lungo la fascia costiera mostra inoltre un altro aspetto di indubbio interesse, vale a dire l'interazione di tali forme del paesaggio con i siti archeologici che, nel corso delle varie epoche storiche, insistevano sulle coste pugliesi. Ad Egnazia, ad esempio, nel tratto di costa adriatica tra Monopoli e Fasano, DELLE ROSE *et alii* (2002) hanno ipotizzato un'origine per *sinkholes* per alcune strutture (fig. 37) ubicate all'interno dell'area archeologica, che in epoca romana divenne un importante centro di collegamento lungo la Via Traiana (VLORA, 1975; DICEGLIE, 1981; DONVITO, 1988); tra queste, il cosiddetto "anfiteatro" (fig. 38).

Come si vede, quindi, lo studio dei *sinkholes* nella regione Puglia costituisce un argomento di indubbio interesse, sotto vari punti di vista, ivi



Fig. 38 - Egnazia: il cosiddetto "anfiteatro", all'interno dell'area archeologica, che, in base all'ipotesi di DELLE ROSE *et alii* (2002) potrebbe essere un antico *sinkhole* da collasso.
- Egnazia: the so-called "anfiteatro", within the archaeological area, which, according to DELLE ROSE *et alii* (2002), might have been produced by an ancient collapse sinkhole.

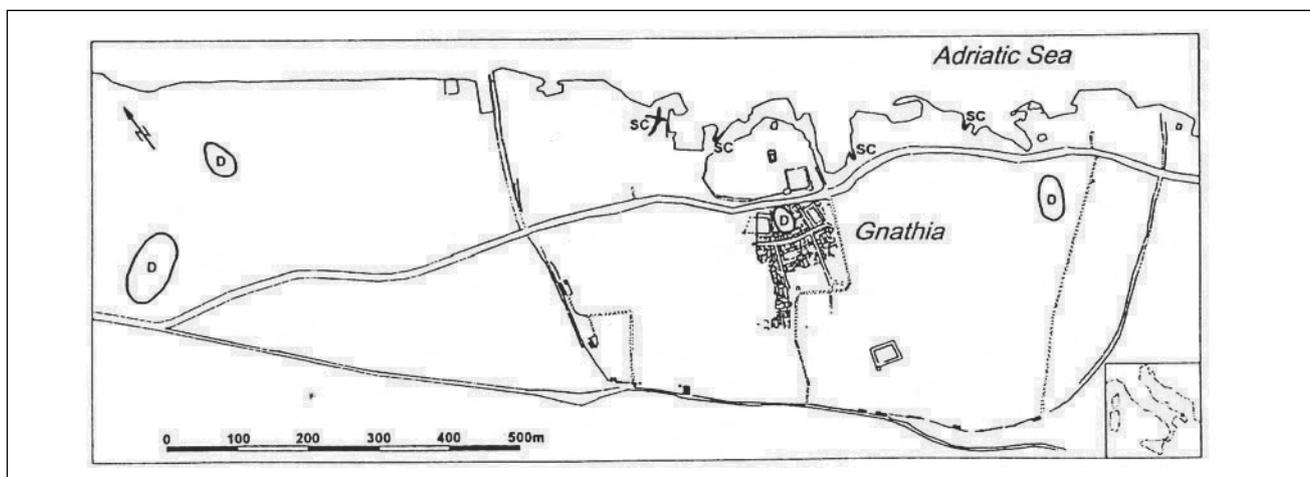


Fig. 37 - Principali strutture carsiche individuate nell'area archeologica di Egnazia, sulla costa adriatica (da DELLE ROSE *et alii*, 2002).
Le lettere D indicano possibili *sinkholes*, incluso il cosiddetto "anfiteatro" (vedi figura 38).
- Main karst structures identified in the archaeological area at Egnazia, along the Adriatic coast (after DELLE ROSE *et alii*, 2002). D indicate possible sinkholes, including the so-called "anfiteatro" (see figure 38).

comprese la protezione e tutela dell'ambiente naturale, e la salvaguardia del territorio da dissesti di natura idrogeologica. Purtroppo, ben poco è stato fatto sinora per consentire rigorosi studi di ricerca scientifica sul tema, che permettessero una migliore comprensione dei fenomeni e, soprattutto, fornissero un contributo alla conoscenza reale della loro distribuzione sul territorio. Come notato in altra parte del testo, i documenti disponibili sono alquanto carenti, spesso con informazioni inesatte, e certamente non contribuiscono ad apportare un fattivo miglioramento delle conoscenze a coloro che sono istituzionalmente preposti alla gestione del territorio. È auspicabile che nel prossimo futuro vengano avviati, magari a livello regionale, approfonditi studi e ricerche su una tematica che è certamente di grande interesse per la Puglia nel campo del dissesto idrogeologico.