

MARCO DELLE ROSE<sup>1,2</sup>, ISIDORO MATTIOLI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Consiglio Nazionale delle Ricerche, IRPI, via G. Amendola 122/I, Bari

<sup>2</sup>Gruppo Speleologico Neretino, piazza Mercato 13, Nardò

<sup>3</sup>Gruppo Speleologico Salentino, piazza C. Colombo 26, Castro Marina

## EVOLUZIONE RECENTE DEL SISTEMA CARSICO DI BADISCO

### RIASSUNTO

Indagini geologiche hanno permesso di individuare i fattori litostratigrafici, tettonico-strutturali e geoambientali determinanti l'evoluzione del sistema carsico di Badisco. Lo studio di forme, depositi e fenomeni attivi ha consentito di stabilire la cronologia delle fasi di sviluppo delle grotte che, inquadrata nella storia geologica del Salento, ha restituito riferimenti temporali. La speleogenesi è riferibile a fasi freatiche pre-quadernarie, mentre l'ampliamento a una recente fase di dissoluzione per condensazione di correnti d'aria. Ascrivibile al Pleistocene medio - superiore è il riempimento con clasti provenienti dal Vulture. Favorevoli condizioni idrogeologiche possono aver determinato le presenze umane durante periodi aridi del Pleistocene superiore e dell'Olocene.

### SUMMARY

Eight caves of the Badisco zone (Otranto, Lecce province) have entered on the Cave Register of Puglia (GIULIANI, 2000). They form one of the largest karst system of the region.

The Grotta dei Cervi contains one of the most complex and remarkable rupestrian decorations of the European Prehistory (GRAZIOSI, 1980; BELMONTE, 2001). About this cave, two Late Pleistocene evolutionary hypothesis have been proposed. According to MAGALDI (1977) and CIPRIANI and MAGALDI (1979) a phase of clastic cave infilling occurred, whereas according to ZEZZA (2003) during the Tyrrhenian stage the karst systems genesis started. Another cave of the Badisco system, the Grotta del Corvo, has recently considered within a regional study concerning the sinkhole phenomena (DELLE ROSE *et al.*, 2004), that have pointed out an high degree of hazard.

A geological survey of the Badisco zone, also regarding unknown elements of the karst system as the Grotta del Serpente, has carried out the hydrological setting and

the control factors of the development of the caves. Taking into account the regional geological history (MARTINIS, 1967; ROSSI, 1969; RICCHETTI *et al.*, 1988; BOSSIO *et al.*, 1991), the evolution of the local karst system has defined as follows:

- a) Genesis under phreatic conditions before the Quaternary age (DELLE ROSE and REINA, 2002);
- b) Enlargement of the karst gallery by means of air flow caused by convection and clastic cave infilling during the middle-upper Pleistocene;
- c) Chemically precipitated cave deposition, ipogean rock falls and sinkhole events during the upper Pleistocene and Olocene.

The survey has also pointed out some inside about the relationships between climate history and human presences at the Badisco zone during the Prehistory.

## INTRODUZIONE

Nella zona di Badisco (Otranto, provincia di Lecce) sono ubicate otto grotte iscritte al Catasto Regionale della Puglia che, complessivamente, formano uno dei più estesi sistemi carsici della regione (GIULIANI, 2000).

Uno degli ipogei, la Grotta dei Cervi, è celebre per le raffigurazioni parietali post-paleolitiche (GRAZIOSI, 1980; BELMONTE, 2001). L'importanza archeologica di questa cavità ha fatalmente comportato poca attenzione su altri aspetti della ricerca, quali la speleogenesi e l'evoluzione geologica degli ipogei. In letteratura sono state comunque avanzate due ipotesi relative a fasi del Tirreniano (Pleistocene superiore): una indica la formazione di depositi di riempimento di provenienza esterna trasportati da flussi idrici (MAGALDI, 1977; CIPRIANI and MAGALDI, 1979); l'altra la genesi e l'ampliamento in regime freatico a quote dipendenti dalle variazioni del livello del mare (ZEZZA, 2003). Ne segue una sostanziale diversità di valutazione delle fasi di sviluppo degli ipogei, la prima ipotesi implicando una maggiore maturità, la seconda invece una formazione recente.

Con tali premesse, è stato condotto uno studio geologico finalizzato a verificare l'assetto idrologico, stabilire i fattori di controllo della speleogenesi e dell'evoluzione del sistema carsico, e individuare elementi utili per la ricostruzione dell'evoluzione recente delle grotte di Badisco.

### Inquadramento geologico

La zona di Badisco è ubicata lungo la costa SE del Salento che, tra Otranto e Leuca (Fig. 1), coincide con una delle principali discontinuità tettoniche della Piattaforma Carbonatica Apula (RICCHETTI *et al.*, 1988). Essa, in particolare, ricade entro una depressione strutturale (*graben*) dislocata rispetto ai blocchi adiacenti in rilievo (*horst*) di Monte Ferrari e di Monte Cavallo (MARTINIS, 1967; ROSSI, 1969). Il ripetersi nel Cenozoico di trasgressioni e regressioni, e quindi l'alternarsi

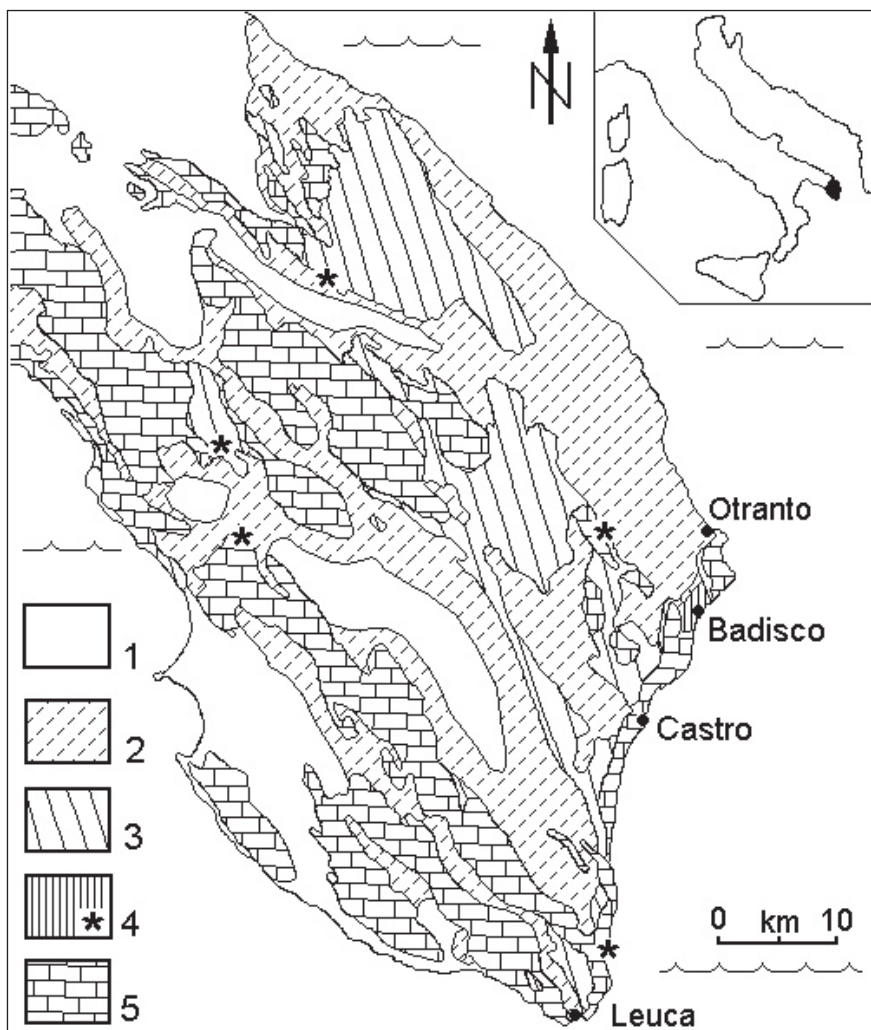


Fig. 1 - Schema geologico della Penisola salentina; 1, depositi pleistocenici (Siciliano-Crotoniano); 2, depositi plio-pleistocenici (Zancleano-Santerniano); 3, depositi miocenici (Aquitaniiano(?)-Messiniano); 4, depositi oligocenici (Cattiano superiore); 5, depositi cretaceo-oligocenici.

di sommersioni ed emersioni, ha determinato la formazione di successioni di unità marine separate da superfici di erosione (Tab. 1).

Le grotte del sistema carsico analizzato si sviluppano nella formazione delle Calcareniti di Porto Badisco del Cattiano superiore (ALVINO, 1964; MATTEUCCI and PARENTE, 1993). Si tratta di calcareniti e calciruditi bioclastiche alternate con calcari organogeni biocostruiti contenenti coralli e rodoliti a melobesie. I depositi salentini dell'Oligocene superiore sono ancora oggetto di revisioni stratigra-

fiche (BOSSIO *et al.*, 1998; BOSELLINI *et al.*, 1999), tuttavia le Calcareniti di Porto Badisco appaiono, per caratteristiche litologiche e di facies sedimentologica, essere quasi esclusive della località-tipo.

**Tab. 1** - Schema litostratigrafico delle unità post-eoceniche (compilato da MARTINIS, 1967; ROSSI, 1969; BOSSIO *et al.*, 1991; 1998; DELLE ROSE, 2001).

Formazioni	Unità locali (zona Badisco)	Età
Depositi marini terrazzati	-	Pleistocene medio-sup.
Sabbie a Brachiopodi	-	Pleistocene inf.-medio
Calcareniti del Salento (p. p.) Sabbie di Uggiano	Sabbie di Uggiano	Pliocene sup.-Pleistocene inf.
Formazione di Leuca	Depositi caotici	Pliocene inf.-medio
Calcareniti di Andrano	Successione condensata	Miocene sup.
Pietra Leccese		Miocene inf.-sup.
Formazione di Galatone e altri depositi coevi	Calcareniti di Porto Badisco	Oligocene (Cattiano sup.)
Calcari Castro		Oligocene (Cattiano inf.)

Lungo la costa dell'insenatura di Porto Badisco, tra le omonime calcareniti ed il substrato cretaceo, è interposta un'unità stratigrafica costituita da calcari e coralli a lepidocline riferite da MATTEUCCI and PARENTE (1993) ai Calcari di Castro. Le calcareniti di Badisco, sono interessate da otto famiglie di fratture subverticali, (DELLE ROSE and REINA, 2002), che possono essere raggruppate in due sistemi (NNW-SSE, WNW-ESE, WSW-ENE e SSW-NNE; N-S, NW-SE, W-E e SW-NE) riferibili almeno ad altrettante fasi di deformazione tettonica. Gli ipogei del sistema carsico considerato si sono sviluppati a partire da tali superfici di discontinuità (DELLE ROSE and REINA, 2002).

Il primo ipogeo del sistema inserito nel Catasto Regionale (Tab. 2) è stato il Cunicolo dei Diavoli (o Grotta Funeraria), noto per la presenza di industrie neolitiche e resti scheletrici umani (STASI, 1906). La grotta dei Cervi (o di Enea), rappresenta l'ipogeo planimetricamente più esteso con i suoi 1550 m (OROFINO, 1970) suddivisi in tre rami principali ad orientazione prevalente NNW-SSE. Osservazioni di tipo geologico sono state condotte in passato nell'ambito delle ricerche relative alle rappresentazioni parietali. In particolare sono segnalati spessi ed estesi depositi di riempimento argilloso-sabbiosi di provenienza esterna, intercalati con frammenti e blocchi litici e frammisti con guano per rimaneggiamento di flussi idrici (CIPRIANI and MAGALDI, 1979). Un deposito alla base di livelli antropici del Neolitico contiene clasti di provenienza vulcanica (MAGALDI, 1977) e resti di fauna pleistocenica (*Equus hydruntinus* e *Bos primigenius*), mentre il substrato litico presenta cavità verticali interpretate come marmitte di erosione (GRAZIOSI, 1980). La Grotta del Corvo (o dei Briganti), scoperta all'inizio degli anni '70, è stata recentemente analizzata nell'ambito di uno studio a carattere regionale sui dissesti idrogeologici di crollo e sprofondamento degli ipogei carsici, che ne ha

**Tab. 2** - Grotte del Sistema di Badisco.

Nome della Grotta	n° catasto	Quota accesso/i (m s.l.m.)	Sviluppo planimetrico (m)
Cunicolo dei Diavoli	(Pu 101)	2	240
Grotta dei Cervi	(Pu 902)	15/20	1550
Grotta del Corvo	(Pu 903)	25	120
Grotta della Legna	(Pu 904)	20	10
Grotta del Mammino	(Pu 905)	12	20
Antro di Porto Badisco	(Pu 906)	2,5	15
Buco delle Donne	(Pu 1545)	20	25
Grotta del Leone	(Pu 1613)	1,5	30
Grotta del Serpente	-	27	65

messo in risalto l'elevata instabilità (DELLE ROSE *et al.*, 2004). L'ultimo ipogeo iscritto al Catasto Regionale è stato la Grotta del Leone, caratterizzata da emergenze di acque di falda contenenti specie stigobie (*Spelaeomysis bottazii* e *Typhlocaris salentina*; PESCE *et al.*, 2004). Gli Autori hanno osservato il livello della falda idrica anche all'interno della Grotta dei Cervi e nel Cunicolo dei Diavoli.

Oltre alle grotte regolarmente catastrate, le calcareniti oligoceniche di Badisco ospitano altri ipogei, alcuni tuttora in fase di esplorazione, altri non accessibili ma individuati mediante indagini geofisiche (CARROZZO *et al.*, 1997). Infine, la Grotta del Serpente, scoperta ed esplorata nel 1975 e rilevata negli anni '80, è attualmente in fase di accatastamento (Fig. 2).



Fig. 2 - Dolina di crollo, oggi ostruita, che consentiva l'accesso alla Grotta del Serpente.

### Osservazioni idrogeologiche

I rilievi geologici eseguiti nella zona di Badisco hanno permesso di definire il locale assetto idrogeologico e di individuare i fattori litostratigrafici, tettonico-strutturali e geoambientali determinanti genesi ed evoluzione del sistema carsico sinteticamente elencati in Tab. 3.

**Tab. 3** - Fattori influenzanti la genesi e l'evoluzione del sistema carsico.

Litologici e stratigrafici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- differenza di permeabilità</li> <li>- presenza di un livello terroso</li> <li>- erodibilità del livello a rodoliti</li> <li>- andamento del limite stratigrafico inferiore</li> </ul>
Tettono-strutturali	<ul style="list-style-type: none"> <li>- assetto tettonico del graben di Badisco</li> <li>- presenza di sistemi di fratture</li> </ul>
Geo-ambientali	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variazioni del livello del mare</li> <li>- presenza di una falda idrica superficiale</li> <li>- connessioni con l'idrografia superficiale</li> <li>- cambiamenti climatici</li> </ul>

È stato osservato che le calcareniti di Porto Badisco giacciono sulle unità anteriori al Cattiano superiore mediante un contatto erosivo e discordante, il cui andamento planimetrico segue grosso modo l'attuale linea di costa (Fig. 3). Lo spessore della formazione è risultato variabile da un massimo di circa 40 m, nella parte tettonicamente più depressa del graben, a pochi m in corrispondenza degli horst adiacenti, ciò suggerendo la definizione dell'assetto strutturale generale della zona precedente alla sedimentazione.

In corrispondenza dell'insenatura di Porto Badisco, si osserva il contatto con

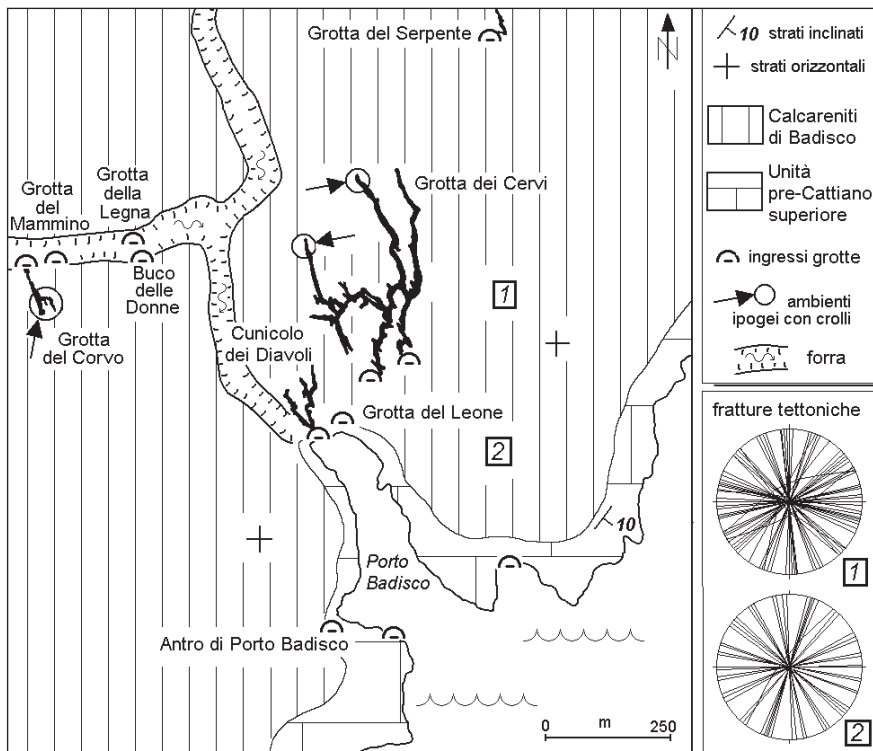


Fig. 3 - Carta geomorfologica di Badisco con ubicazioni delle grotte. 1-2, stazioni strutturali.

i Calcari di Castro mediante l'interposizione di un sottile (pochi dm) e discontinuo livello di terre argillose policrome contenenti sabbie e ghiaie. Alla base delle calcareniti è presente, per uno spessore di circa 1,5 m, un livello a rodoliti (noduli algali di Corallinaceae), le cui caratteristiche litostratigrafiche sono già note in letteratura (MATTEUCCI and PARENTE, 1993). È stato osservato che i noduli sono immersi in matrice calcarenitica meno cementata e compatta di quella degli strati soprastanti e sottostanti, proprietà che implica maggiore erodibilità e predisposizione ai processi di dissoluzione carsica.

Una particolare funzione idrogeologica nell'ambito del sistema carsico dell'intervallo stratigrafico compreso tra il tetto dei Calcari di Castro e quello del livello a rodoliti, è confermata dall'ubicazione, lungo tale intervallo, degli ingressi alla Grotta del Leone e al Cunicolo dei Diavoli. A esaltare la valenza di fattore determinante la speleogenesi del livello stratigrafico in questione, deve aver contribuito anche la differenza di permeabilità a grande scala tra le calcareniti, fratturate e dotate di elevata porosità primaria, e le sottostanti unità calcaree, permeabili principalmente per fratturazione.

Le implicazioni dell'assetto tettono-stratigrafico della zona sono evidenti anche per ciò che attiene al deflusso superficiale. Porto Badisco rappresenta la naturale confluenza delle acque meteoriche che insistono su un bacino imbrifero ampio circa 15 km<sup>2</sup> (Fig. 4) esteso verso W sino alla Serra di Poggiardo, propaggine occidentale dell'alto strutturale di Monte Ferrari.

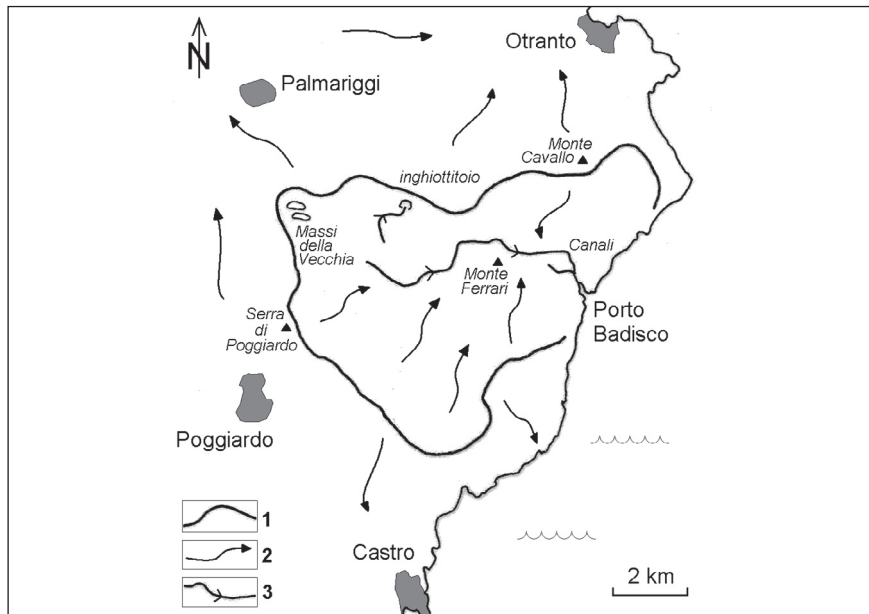


Fig. 4 - Schema idrologico del bacino imbrifero di Badisco. 1, linea di spartiacque; 2, senso del dilavamento superficiale; 3, impluvio principale.

L'idrografia superficiale è costituita da forre fluviali relativamente strette e profonde, dette Canali, organizzate a formare un reticolo che convoglia le acque superficiali in direzione dell'insenatura di Porto Badisco. A W di Monte Ferrari, dove gli impluvi naturali risultano poco incisi nel substrato, opere di regimazione agevolano il deflusso delle acque verso i Canali.

Il territorio presenta tracce di fenomeni di intenso dilavamento non riferibili alle attuali condizioni climatiche e idrologiche. È questo il caso dei cosiddetti Massi della Vecchia (Fig. 5), monoliti di Pietra Leccese di molte decine di m<sup>3</sup>, ubicati a S dell'abitato di Palmariggi e a ridosso del limite del bacino imbrifero tributario di Badisco. Essi possono costituire il residuo di un substrato quasi del tutto eroso da fenomeni di dilavamento e ruscellamento superficiale.

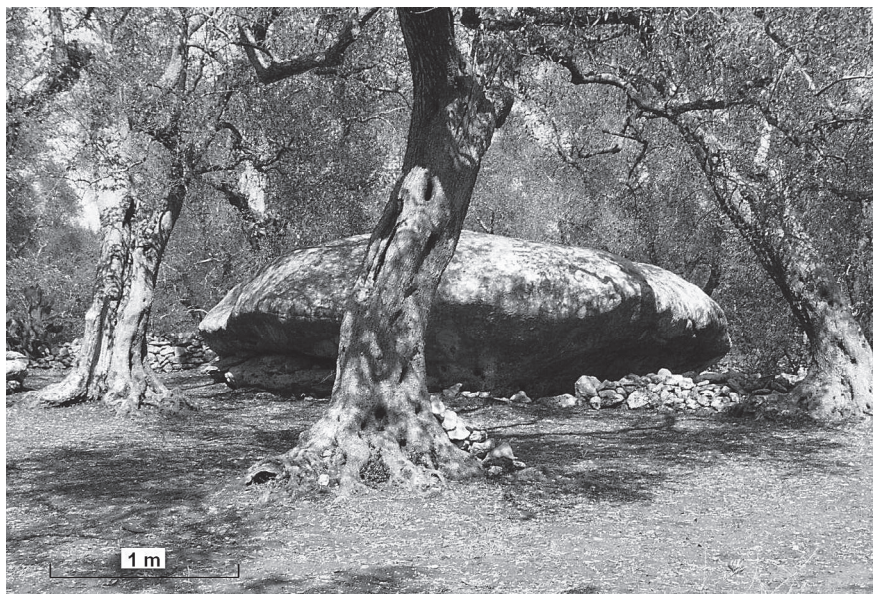


Fig. 5 - Uno degli imponenti monoliti denominati Massi della Vecchia.

Altre forme da riferire ad azioni chimiche e fisiche operate dalle acque sono costituite da solchi sub-orizzontali, alti in genere 1-2 m e osservabili anche per molte decine di m, intagliati a varie quote su pareti di roccia, specie lungo le sponde dei Canali. Le stesse pareti dei Canali presentano, specie nel settore mediano, frequenti evidenze di frane per distacco, ribaltamento e rotolamento di blocchi di roccia, nonché livelli sub-paralleli alle superfici di strato interessati una fitta trama di canalicoli intersecati, generalmente non percorribili (carsificazione diffusa), prodotti da azioni meccaniche di acque fluenti dall'esterno verso il sottosuolo. Tale relazione idrogeologica tra idrografia superficiale e vie d'acqua sotterranee costituisce uno dei fattori geoambientali dell'evoluzione del sistema carsico (Tab. 3).



## Osservazioni speleologiche

L'unitarietà delle caratteristiche delle grotte di Badisco è stata riscontrata attraverso le osservazioni condotte negli ipogei del Corvo, del Serpente e dei Cervi, rispettivamente la più occidentale, la più orientale e la più grande del sistema carsico. Le prime due grotte, di cui sono stati effettuati i relativi rilievi, vengono di seguito descritte più in dettaglio. Le osservazioni sono state condotte al fine di individuare i meccanismi di sviluppo delle grotte, stabilendone anche la relativa successione cronologica (Tab. 4).

**Tab. 4** - Cronologia relativa dei meccanismi genetici ed evolutivi.

Fasi	Condizioni ambientali e meccanismi
Speleogenesi e evoluzione delle cavità	ampliamenti freatici ampliamenti endoatmosferici
Formazione dei depositi di grotta	riempimenti clastici concrezionamenti
Dissesti idrogeologici (fase di senescenza)	crolli

L'ingresso della Grotta del Corvo si apre a 25 m s.l.m., a mezza costa lungo la sponda idrografica destra dei Canali e permette l'accesso ad un primo ambiente, con piano di calpestio in pendenza verso l'interno, caratterizzato da cupole di corrosione sulla volta e depositi di riempimento sul fondo. Esso sembra essere stato creato dall'erosione regressiva della sponda che ha intercettato una preesistente cavità. Superato uno stretto ed angusto cunicolo e un scivolo di alcuni m, si accede alla prima ampia sala, al termine della quale, un secondo scivolo introduce nell'ambiente di maggiori dimensioni, variamente interessato da crolli di blocchi litici. Sulle volte si osservano forme di erosione inversa prodotte da processi di dissoluzione chimica e sottili stalattiti, mentre la direzione principale di sviluppo è orientata NNW-SSE (Fig. 6). Proseguendo secondo tale direzione e superata una facile strettoia, si giunge ad un'ampia sala di crollo. Qui il dissesto idrogeologico si presenta nella sua massima espressione in quanto l'ulteriore progressione nella grotta avviene principalmente nei vuoti compresi tra i blocchi costituenti un grande corpo franoso ipogeo. Percorrendo il ramo laterale che si sviluppa inizialmente in direzione SW-NE, si accede alla parte della grotta costituita da ambienti più piccoli disposti su più livelli, alcuni dei quali solo in parte percorribili. Questo tratto è caratterizzato da depositi terrosi di riempimento e nel punto più basso raggiunto durante l'esplorazione presenta una quota di circa 8 m s.l.m.

L'accesso alla Grotta del Serpente, ubicato a circa 27 m s.l.m., è attualmente ostruito da materiale di riporto. Originariamente, esso era formato da una dolina di crollo collegata con uno stresso passaggio e, quindi con un primo ambiente completamente ipogeo. La grotta prosegue in direzione NNW attraverso due ambienti paralleli, separati da un setto di roccia. Dopo circa 13 m, un diverticolo diretto a

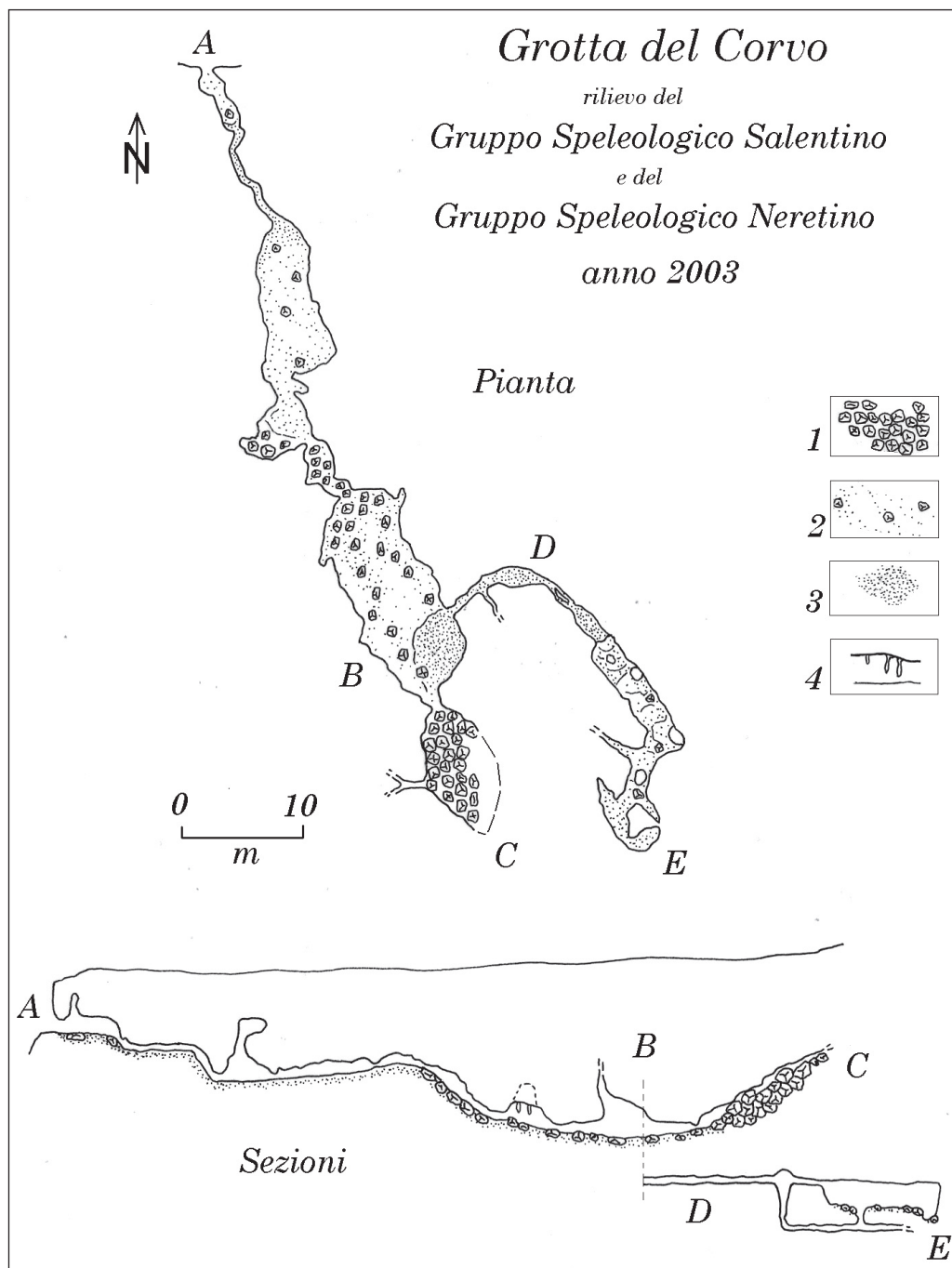


Fig. 6 - Pianta e sezioni topografiche della Grotta del Corvo. 1, depositi di crollo; 2, terre e blocchi sparsi; 3, depositi terrosi, 4, concrezioni.

E, dal quale si dirama anche un cunicolo percorribile per pochi m, permette l'accesso in un'ulteriore galleria. Possibili prosecuzioni, in guisa di anguste strette, sono poste nella zona settentrionale dell'ipogeo. Concrezioni stalatto-stalagmitiche, marcatamente allineate secondo la direzione di sviluppo della grotta, corrispondente a quella generale dell'intero sistema di Badisco, costituiscono il più recente deposito di grotta. Nei 65 m esplorati e rilevati, la grotta presenta dislivelli di pochi metri e, pertanto, le volte sono ubicate a pochi m al di sotto del piano campagna (Fig. 7).

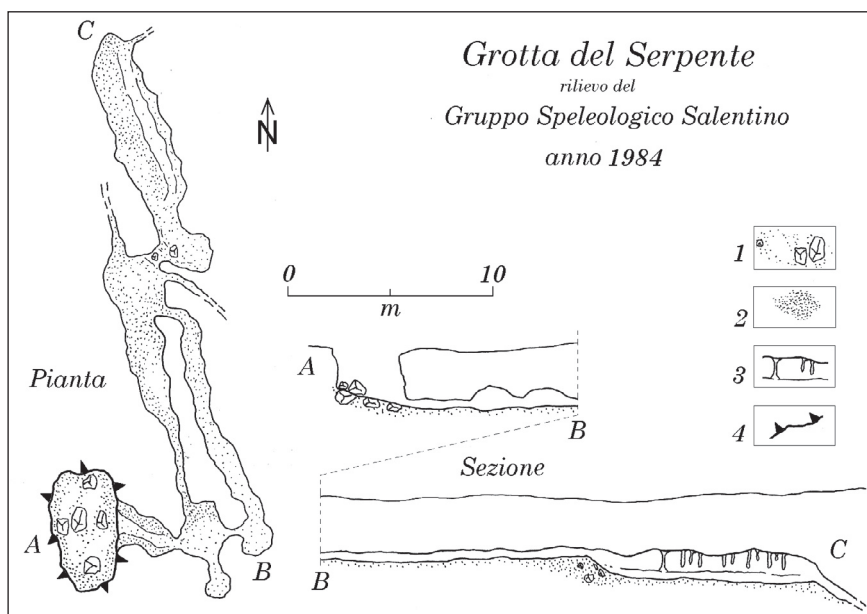


Fig. 7 - Pianta e sezione topografica della Grotta del Serpente. 1, terre e depositi di crollo; 2, depositi terrosi, 3, concrezioni; 4, bordo della dolina di crollo.

La Grotta dei Cervi si sviluppa invece mediamente a 20 m di profondità dal piano campagna. L'accesso orientale presenta alcune analogie morfologiche con l'ingresso della Grotta del Corvo, mentre le aperture relative all'accesso occidentale immettono in quello che appare un ampio salone di crollo, in parte colmato da depositi clastici studiati da MAGALDI (1977). Caratteristiche di questa grotta sono le ampie gallerie in cui spicca la cospicua presenza, specie lungo i rami centrale e orientale, di cupole di corrosione. Tali forme sono il risultato di processi endoatmosferici che generavano flussi convettivi d'aria umida e condensazione di veli d'acqua sulle pareti rocciose. La persistenza del fenomeno determinava poi la coalescenza delle stesse cupole di corrosione sino alla profonda incisione di ampi canali di volta come osservabile, ad esempio, alcune decine di m a N del cosiddetto "laghetto". Nondimeno, spessi ed estesi sono i depositi di riempimento di provenienza esterna, a luoghi

interstratificati con quelli di crollo e sovente sigillati da concrezioni stalatto-stalagmitiche. Queste ultime spesso adornano anche cupole di corrosione.

La sintesi delle osservazioni di forme, depositi e fenomeni attivi condotti nelle grotte ha permesso di definire i meccanismi genetici ed evolutivi che si sono succeduti nel determinare l'attuale conformazione del sistema carsico (Tab. 4).

## DISCUSSIONE

Riferimenti temporali sull'evoluzione recente del sistema carsico di Badisco possono essere stabiliti inquadrando nella storia geologica del Salento la cronologia delle fasi di sviluppo delle grotte.

Occorre anzitutto premettere che le Calcareni di Porto Badisco sono state più volte interessate da fenomeni carsici in concomitanza con le emersioni neogeniche e quaternarie della Penisola Salentina, i cui intervalli di tempo sono compresi nelle lacune stratigrafiche delle successioni marine (Tab. 1). Il periodo di continentalità compreso tra il Cattiano superiore e il Burdigaliano superiore potrebbe aver coinciso con la prima fase di carsificazione della base delle Calcareni di Badisco (Tab. 5). Tuttavia considerando che le grotte del sistema si sviluppano secondo almeno due famiglie di fratture tettoniche, l'individuazione vera e propria delle protogrotte (*sensu* Ford, 1988) avvenne probabilmente dopo la fine del ciclo sedimentario della Pietra Leccese, e quindi non prima del Messiniano inferiore (DELLE ROSE and REINA, 2002).

Tra gli eventi di emersione, quello che si verificò con la Crisi di Salinità del Mediterraneo nel Messiniano superiore, comportò una intensa fase erosiva che nel Salento ha lasciato importanti testimonianze sedimentologiche nei depositi

**Tab. 5** - Cronologia delle fasi di sviluppo del sistema carsico di Badisco.

anni da oggi	età	fasi/eventi geologici	sistema carsico di Badisco
~ 10.000	Olocene		EVOLUZIONE RECENTE
	Tirreniano		
~ 780.000	Pleistocene medio	Emersione	
	Pliocene inf.-Pleistocene inf.	Prevalenti condizioni marine	Episodi di ampliamento (?)
~ 5,3 M	Messiniano	Crisi di salinità del Mediterraneo	Ampliamenti
		sedimentazione della Pietra Leccese	
~ 17 M	Burdigaliano sup.	Sommersione del Salento	
		Emersione	Speleogenesi (?)
~ 25 M	Cattiano sup.	sedimentazione delle calcareniti di P. Badisco	

alla base della serie pliocenica (DELLE ROSE, 2006). Tali condizioni ambientali potrebbero aver favorito l'ampliamento e l'evoluzione delle cavità carsiche di Badisco in condizioni freatiche per mezzo di acque di falda sorrette dai depositi argillosi alla base delle calcareniti oligoceniche. Pur non conoscendo la locale estensione di tali depositi, questa ipotesi appare alquanto probabile se si considerano frequenza e spessori con cui sono stati rinvenuti nel Salento depositi continentali della medesima età (ROSSI, 1969; BOSSIO *et al.*, 1991; 1998).

Tra il Pliocene inferiore e il Pleistocene inferiore la Penisola Salentina fu sommersa dal mare sino a profondità riferibili alla zona batiale superiore. Possibili periodi di emersione possono essere ricondotti alle lacune stratigrafiche tra Formazione di Leuca e Sabbie di Uggiano (BOSSIO *et al.*, 1991) e tra Calcareniti del Salento e Sabbie a brachiopodi (D'ALESSANDRO *et al.*, 2004) rispettivamente nel Pliocene medio e nel Pleistocene inferiore. Lo stato attuale delle conoscenze geologiche non permette però di valutare gli eventuali effetti geomorfologici di tali presunte emersioni.

Al termine del Pleistocene inferiore, gli eventi geodinamici che coinvolsero l'intero sistema catena sud-appenninica – avanfossa – avampaese apulo, causarono l'ultimo sollevamento tettonico della Penisola Salentina (DOGLIONI *et al.*, 1996). Successive attività vulcaniche, principalmente del Vulture, disseminarono prodotti eruttivi che vennero trasportati e deposti in prossimità delle coste della Puglia a partire dal Pleistocene medio e a quote differenti in funzione delle variazioni del livello del mare (DE MARCO *et al.*, 1981; DELLE ROSE and PARISE, 2005).

L'emersione della Penisola Salentina non avvenne in modo uniforme (RICCHETTI *et al.*, 1988), e ciò specie lungo la dorsale Otranto – Leuca, come indicato da faglie che hanno dislocato depositi di età Siciliana, come quella magnificamente esposta a Castro (BOSSIO *et al.*, 1987). La zona di Badisco emerse nel Pleistocene medio, probabilmente durante una fase regressiva connessa, secondo la cronologia alpina, con la glaciazione Mindel o, al più tardi, con quella Riss. In seguito Badisco subì ulteriori cambiamenti di elevazione rispetto al livello del mare, in funzione della combinazione tra movimenti tettonici e oscillazioni glacio-eustatiche. Nella zona si avvicendarono, quindi, ambienti costieri emersi e sommersi che probabilmente portarono alla formazione di superfici e scarpate di abrasione marina (terrazzamento marino), sul numero delle quali e sulle relative quote esistono tuttavia differenti interpretazioni (CENTENARO *et al.*, 1998; ZEZZA, 2003). All'azione demolitrice del mare vengono ricondotti anche i solchi orizzontali osservati lungo i Canali di Badisco, e quindi interpretati come solchi di battente (ZEZZA, 2003). Tuttavia, almeno una parte di queste forme può essere attribuita a erosione fluviale e dissoluzione carsica.

Contestualmente al sollevamento tettonico, il sistema idrografico si approfondì e si estese sino a ricevere tributi da un ampio bacino imbrifero, mentre il sistema carsico venne a trovarsi a fasi alterne in condizioni freatiche e vadose (Fig. 8), nelle ultime delle quali possono essere state generate le marmite di erosione indicate da GRAZIOSI (1980). Cambiamenti geo-ambientali quali variazioni del livello

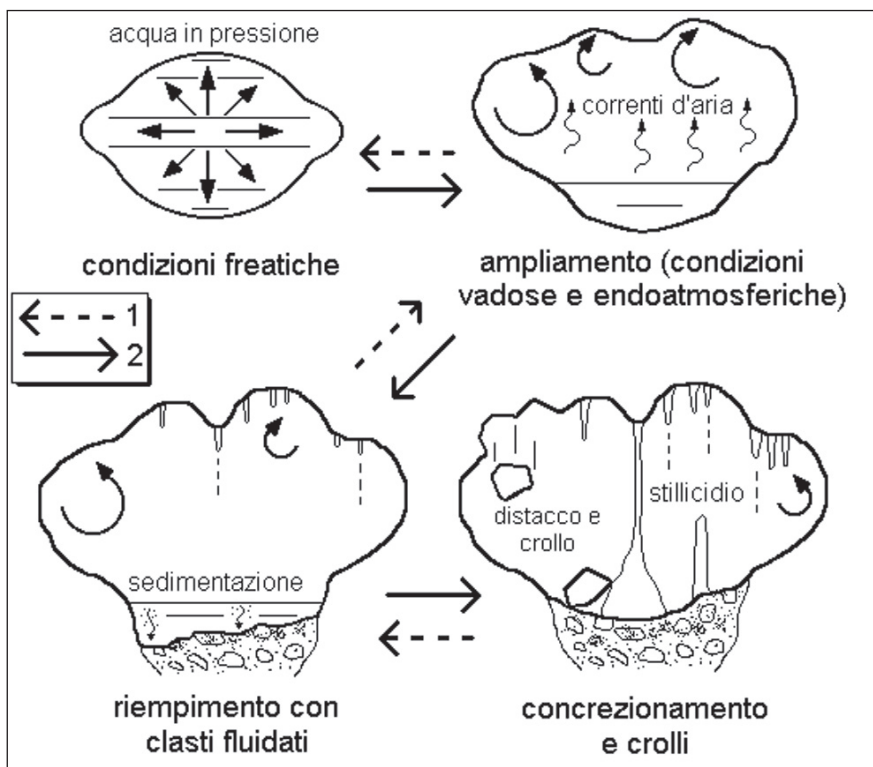


Fig. 8 - Schema dell'evoluzione recente del sistema carsico di Badisco. 1, processi connessi con innalzamenti eustatici e aumenti delle precipitazioni; 2, processi connessi con abbassamenti eustatici e inaridimenti climatici.

del mare o modificazioni del clima, determinavano durata e avvicendamenti dei meccanismi evolutivi delle grotte.

Gli effetti della trasgressione del Tirreniano (Pleistocene superiore) durante l'interglaciale Riss-Würm sono ben documentati lungo le coste salentine dove affiorano depositi a strombi sino a 30 m sul livello attuale del mare (DAI PRA and HEARTY, 1988). Pertanto, la zona di Badisco venne nuovamente sommersa dal mare durante la massima trasgressione tirreniana.

La fine dell'ultimo interglaciale e l'inizio del Würm determinarono l'ennesima regressione e l'inizio della fase evolutiva finale del sistema carsico di Badisco a cui si potrebbe riferire lo sviluppo delle cupole di corrosione. Il loro elevato numero e la loro frequente coalescenza implicano un importante ruolo dei processi endoatmosferici (CIGNA and FORTI, 1986; BADINO, 1995) nell'ampliamento degli ipogei di Badisco. L'incidenza di questa dinamica speleogenetica deve essere stata di fondamentale importanza nel determinare la morfologia delle grotte e specie l'alternarsi di ambienti di varie dimensioni, dagli stretti ed angusti cunicoli,

alle ampie gallerie aventi sezioni trasversali di decine di m<sup>2</sup>. Tali variazioni di sezione appaiono poco compatibili con un'evoluzione in regime freatico. Il corridoio orientale della Grotta dei Cervi ben si presta, ad esempio, a questo tipo di considerazioni, passando da un'ampia galleria larga 10 e alta 8 m ad uno stretto budello non più percorribile, senza significative variazioni della quota topografica del fondo (OROFINO, 1970). Occorre altresì rilevare che la dissoluzione chimica delle rocce conseguente a processi endoatmosferici rappresenta un processo tuttora attivo (DELLE ROSE and REINA, 2002).

Se le forme di corrosione inversa forniscono elementi utili alla ricostruzione di meccanismi evolutivi, i depositi di riempimento di provenienza esterna possono indicare importanti elementi cronologici (Fig. 9). È infatti nota la mineralogia della componente sabbiosa costituita da quarzo, feldspati, granati, epidoti, augite e tormalina (MAGALDI, 1977; CIPRIANI and MAGALDI, 1979) che in parte

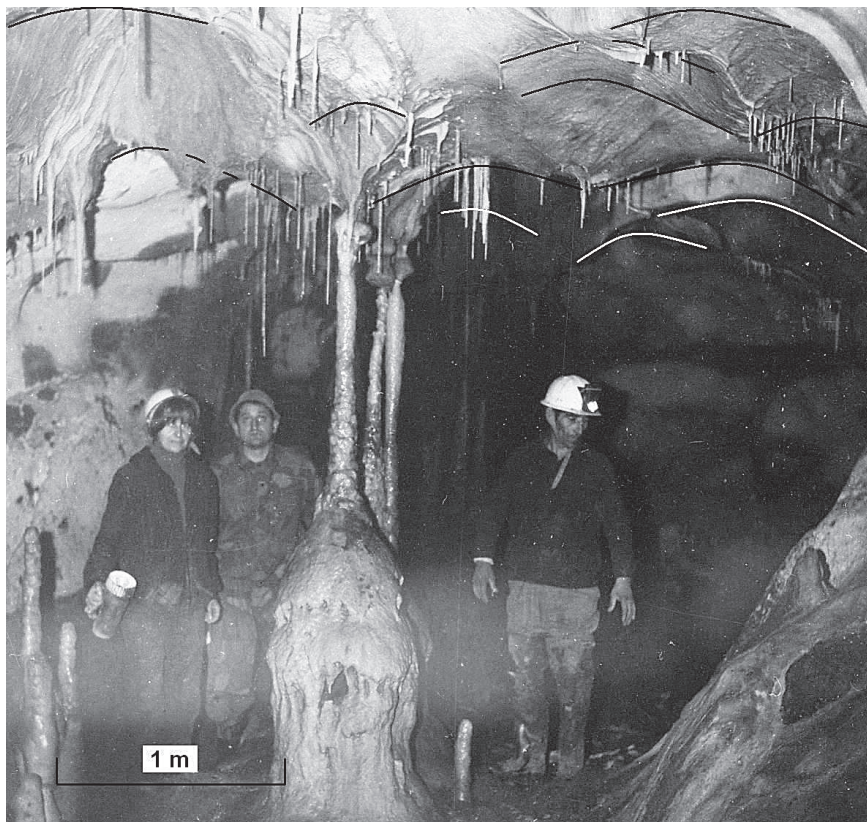


Fig. 9 - Grotta dei Cervi (corridoio centrale in prossimità del Laghetto); esempio di volta interessata da numerose cupole di corrosione inversa (evidenziate da segmenti curvi). Alla base, depositi clastici sormontati da stalagmiti.

costituiscono apporti di provenienza dal Vulture. Se si considera che, nella Grotta dei Cervi, tale materiale detritico, mescolato con guano, presenta evidenze di trasporto e modellamento da parte di flussi idrici diretti da N verso S (GRAZIOSI, 1980), si può dedurre una provenienza da depositi costieri, quali dune o spiagge. Queste forme di accumulo temporaneo erano poste, nel tardo Pleistocene medio o nel Tirreniano, a quote maggiori di quelle di inghiottitoi, a loro volta ubicati probabilmente lungo la forra Canali, in corrispondenza dei livelli interessati da carsificazione diffusa.

L'acqua immessa nella rete ipogea, si accumulava alla base delle Calcareniti di Porto Badisco, formando una falda la cui superficie freatica poteva affiorare all'interno delle grotte a costituire specchi d'acqua analoghi a quelli attualmente esistenti (PESCE *et al.*, 2004). La relazione tributaria tra il sistema idrografico esterno e il sistema carsico ipogeo potrebbe aver costituito una singolare attrattiva per l'uomo, specie nei periodi aridi del Würm, come quello compreso tra 18000 e 15000 anni fa, in coincidenza del quale si ebbe un'ampia diffusione di vegetazione di steppa aperta ad *Artemisia*, *Chenopodiaceae* ed *Ephedra* (ZONNEVELD, 1996). Si può infatti ipotizzare che dopo le piogge, mentre la forra Canali restava a secco in tempi relativamente brevi, le grotte consentivano la fruizione della fondamentale risorsa per tempi più lunghi. Le grotte avrebbero quindi costituito una sorta di volano idrico capace di fornire le riserve d'acqua necessarie a fronteggiare periodi di siccità. A tali circostanze può quindi essere legata la presenza dell'uomo nell'Epigravettiano e quindi alla parte finale del Pleistocene superiore (MOSCAR-DINO, 1971; GUERRI, 1984; 1986).

Con l'Olocene iniziò una relativamente rapida risalita del mare che si concluse circa 6000 anni fa, ossia in concomitanza del cosiddetto Optimum climatico, periodo caratterizzato da una fase climatica particolarmente arida (CAPOTONDI and MORIGI, 1996; ALLOCCA *et al.*, 2000), che ha trovato concrete testimonianze anche nel Salento, in particolare nella zona dei Laghi Alimini (HARDING, 1999). Lungo le coste salentine, il livello del mare poteva essere a 6-7 m al di sotto di quello attuale (LAMBEEK *et al.*, 2004).

Questa fase dovrebbe coincidere con il principale periodo di realizzazione delle pitture nella Grotta dei Cervi, ipotesi suffragata da datazioni radiometriche (età di  $3900 \pm 55$  a.C.) eseguite su più antichi resti di focolari rinvenuti sul pavimento della grotta (ALESSIO, in GRAZIOSI, 1980).

La crisi di aridità medio-olecenica rappresentò per gli uomini che popolavano il Salento un periodo nel quale sorgenti e riserve d'acqua divennero un bene particolarmente prezioso. La persistenza di specchi d'acqua fruibili nelle grotte, in stridente contrasto con l'aridità del suolo, contribuì a determinare la valenza culturale assegnata agli ambienti ipogei (BERNABEI and GRIFONI CREMONESI, 1997). Nella Grotta dei Cervi, in particolare, il ramo occidentale poteva costituire quello idrologicamente più attivo. In questa ottica, particolare significato assume l'interpretazione di alcuni pittogrammi di Badisco (Fig. 10), come punteggiature, chevron verticali, Y inverse, catene di lasanghe, segni a S, quali simboli d'acqua





Fig. 10 - Pittogrammi post-paleolitici della Grotta dei Cervi.

(BELMONTE, 2001). Occorre tuttavia considerare che ancora “ben poco sappiamo dei fatti culturali “minori” che costituiscono in un certo senso il tessuto connettivo tra le pitture, più vistosamente spettacolari, e la sfera religiosa con le sue concrete forme rituali di cui sono espressione” (CREMONESI, 1979). L’Autore tuttavia segnala “vasi che richiamano la cultura campana del Gaudio, probabilmente simili a quelli trovati nel laghetto la Conca della Grotta Zinzulusa, connessi evidentemente al culto delle acque”.

L’avvento di una fase umida e piovosa successiva all’Optimum climatico e lo sviluppo di nuove forme di vita sociale ridussero progressivamente l’importanza per l’approvvigionamento idrico del sistema carsico di Badisco, nel quale sono stati comunque rinvenute reperti sino alla prima età dei metalli (MOSCARDINO, 1971; LO PORTO, 1975). In seguito materiali terrosi e detritici ostruirono gli accessi delle grotte, mentre concrezioni calcitiche sigillarono i depositi di riempimento.

Attualmente la fase di riempimento da parte di materiali esterni appare esaurita e il detrito negli ipogei risulta formarsi principalmente per distacco di frammenti litici dalle volte (Fig. 11). La grotta maggiormente investita da dissesti idrogeologici appare quella del Corvo, alcune sale della quale presentano infatti volte fittamente fessurate, con blocchi in condizioni di precario equilibrio, mentre, sul fondo, spessi accumuli di crollo si formano in intervalli di tempo di pochi anni, come stabilito da osservazioni speleologiche (DELLE ROSE *et al.*, 2004). In al-

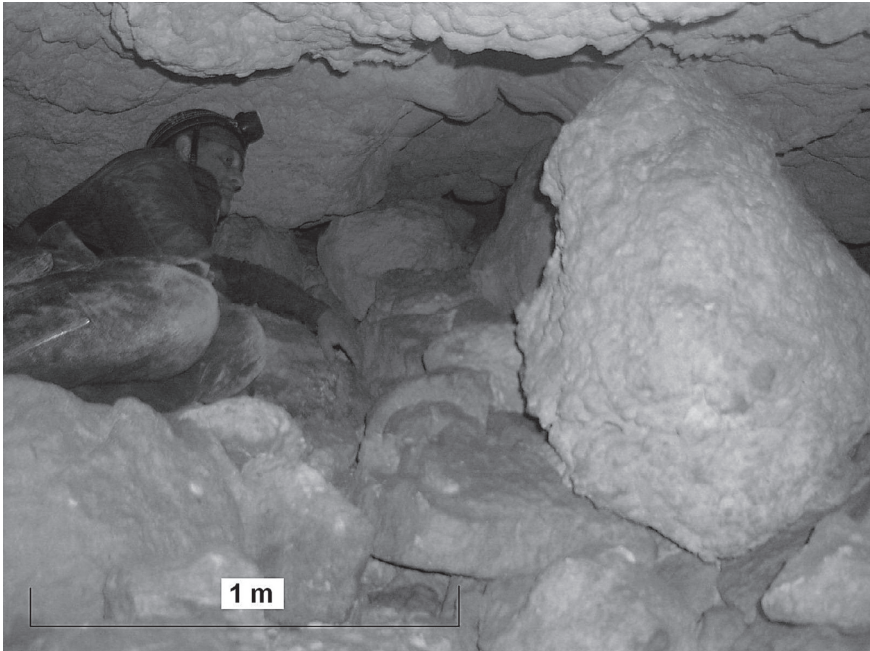


Fig. 11 - Grotta del Corvo. Ambiente caratterizzato da notevoli accumuli di crollo.

cuni ambienti della Grotta dei Cervi sono state osservate fessurazioni nelle volte determinanti crolli incipienti (ZEZZA, 2003), mentre il crollo effettivo di maggiori dimensioni (“un grosso blocco di alcuni quintali”), dovrebbe essere quello segnalato da GRAZIOSI (1980) nella Sala delle Manine, benché anche il corridoio occidentale delle grotte presenta evidenti e diffuse tracce di dissesti gravitativi. Ad un recente evento di sprofondamento del suolo può essere inoltre riferita la formazione della dolina di accesso alla Grotta del Serpente.

Le grotte sono tuttora interessate, in misura diversa, da circolazione di correnti d’aria umida, la cui condensazione sulle pareti può provocare dissoluzione del carbonato. L’azione chimica, specie negli ipogei più prossimi alla costa, viene esaltata dagli ioni cloro veicolati dalle piogge o dall’aerosol marino (DELLE ROSE and REINA, 2002).

## CONCLUSIONI

Le osservazioni idrogeologiche e speleologiche eseguite, stabilendo una cronologia relativa delle fasi evolutive degli ipogei permettono, in base alle attuali conoscenze geologiche, di ipotizzare le seguenti principali tappe di sviluppo del sistema carsico di Badisco:

- a) speleogenesi in condizioni freatiche (in tempi precedenti al Quaternario);

- b) ampliamento per condensazione di correnti di aria umida e deposizione dei materiali di riempimento (Pleistocene medio-superiore);
- c) concrezionamenti, crolli ipogei e formazione di doline, emergenze nelle grotte di acque di falda (Pleistocene superiore - Olocene).

Alla presenza prolungata o permanente di specchi idrici negli ipogei del sistema carsico, potrebbero essere ricondotte alcune espressioni culturali.

## **RINGRAZIAMENTI**

Alessandro Albertini, Claudio Calasso, Bruno Capilungo, Diego De Pandis, Damiano Perrone per i contributi nelle fasi di esplorazione speleologica. Paolo Giuliani per la cortese concessione di dati archiviati presso il Catasto delle Grotte della Puglia.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALLOCCA F., AMATO V., COPPOLA D., GIACCIO B., ORTOLANI F., PAGLIUCA S., 2000 - Cyclical Climatic-Environmental Variations during the Holocene in Campania and Apulia: Geoarcheological and Paleoethnological Evidence. *Mem. Soc. Geol. It.*, 55: 345-352.
- ALVINO L., 1964 - I Calcari di Torre Minervino e le Calcareniti di Porto Badisco. *La Zaggia*, 6: 1-24.
- BADINO G., 1995 - Fisica del clima sotterraneo. *Mem. Ist. It. Speleol.*, 7: 137 pp.
- BELMONTE A., 2001 - Dalle figure schematiche d'Isma al simbolismo di Porto Badisco. *Studi per l'Ecologia del Quaternario*, 23: 99-153.
- BERNABEI M., GRIFONI CREMONESI R., 1997 - I culti delle acque nella preistoria Italiana. *Riv. Sc. Preist.*, 47: 331-338.
- BOSELLINI A., BOSELLINI F.R., COLALONGO M.L., PARENTE M., RUSSO A., VESCOGNI A., 1999 - Stratigraphic Architecture of the Salento Coast from Capo d'Otranto to S. Maria di Leuca (Apulia, Southern Italy). *Riv. it. Paleontologia e Stratigrafia*, 105: 397-416.
- BOSSIO A., ESU D., FORESI L.M., GIROTTI O., IANNONE A., LUPERTO E., MARGIOTTA S., MAZZEI R., MONTEFORTI B., RICCHETTI G., SALVATORINI G., 1998 - Formazione di Galatone, nuovo nome per un'unità litostratigrafia del Salento (Puglia, Italia meridionale). *Atti Soc. Tosc. di Scienze Naturali, Mem.*, 105: 151-156.
- BOSSIO A., GUELFI F., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G., 1987 - Studi sul Neogene e Quaternario della Penisola Salentina. V - Note geologiche sulla zona di Castro, *Atti del "Convegno sulle conoscenze geologiche del territorio salentino, Lecce*: 127-145.
- BOSSIO A., GUELFI F., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G., 1991 - Note geologiche e stratigrafiche sull'area di Palmariggi (Lecce, Puglia). *Riv. It. Paleont. Strat.*, 97: 175-234.
- CAPOTONDI L., MORIGI C., 1996 - The last deglaciation in the south Adriatic Sea: biostratigraphy and paleoceanography. *Il Quaternario*, 9: 679-686.
- CARROZZO M.T., ARCUTI S., BASILE V., MARGIOTTA C., PIRO S., NEGRI S., QUARTA T., ROSSO F., 1997 - Metodi geofisici per lo studio del carsismo: indagini nella zona di Porto Badisco,

- Otranto (Le). Atti del 1° incontro di studi “Il carsismo nell’area mediterranea” Castro (Le). *Thalassia Salentina*, 23 (suppl.): 21-34.
- CENTENARO E., MASTRONUZZI G., SANSÒ P., 1998 – Morfologia della fascia Costiera fra Otranto e Castro (Puglia). Atti del 79 Congresso della SGI, Palermo: 296-299.
- CIGNA A.A., FORTI P., 1986 - The speleogenetic role of the air flow caused by convection. 1st Contribution. *Int. Journ. Speleol.*, 15: 41-52
- CIPRIANI N., MAGALDI D., 1979 - Composizione mineralogica delle pitture della Grotta di Porto Badisco. *Riv. Sc. Preist.*, 34: 263-267.
- CREMONESI G., 1979 - Il Neolitico e l’inizio dell’età dei metalli nel Salento. In: AA.VV., *La Puglia dal Paleolitico al tardo romano*, Electa Ed., Milano: 94-121.
- DAI PRA G., HEARTY P.J., 1988 - I livelli marini pleistocenici del Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41: 637-644.
- D’ALESSANDRO A., MASSARI F., DAVAUD E., GHIBAUDO G., 2004 – Pliocene-Pleistocene sequences bounded by subaerial unconformities within foramol ramp calcarenites and mixed deposits (Salento, SE Italy). *Sedimentary geology*, 166: 89-144.
- DELLE ROSE M., 2001 - Salento Miocene: a preliminary paleoenvironmental reconstruction. *Thalassia Salentina*, 25: 41-66.
- DELLE ROSE M., 2006 - Mediterranean Pliocene events in the Salento geological record. *Thalassia salentina*, 29: 77-99.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., PARISE M., 2004 - Problematiche connesse a fenomeni di subsidenza carsica e sinkholes in Puglia. Atti del Convegno “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., 2005 - Pleistocene mixed volcanoclastic-carbonate deposits at the western margin of the Apulia Foreland (Ostuni, Southern Italy), and their palaeoenvironmental significance. *Geophysical Research Abstract*, 7: 00557.
- DELLE ROSE M., REINA A., 2002 - La Grotta dei Cervi: speleogenesi e microclima. *Grotte e dintorni*, 4: 27-36.
- DE MARCO A., NUOVO G., RICCHETTI G., 1981 - Ricerche mineralogiche sui depositi marini terrazzati di Montemesola (Taranto) e Villa Castelli (Brindisi). *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrografia*, 37: 133-146.
- DOGLIONI C., TROPEANO M., MONGELLI F., PIERI P., 1996 - Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: an “anomaly” in the Apenninic Foreland. *Mem. Soc. Geol. It.*, 51: 101-117.
- FORD D.C., 1988 - Characteristics of dissolutional cave system in carbonate rock. In: James N.P., Choquette P.W. (Eds.), *Paleokarst*. Springer-Verlag, Wien: 25-27.
- GIULIANI P., 2000 - Elenco delle Grotte Pugliesi catastate al 31 ottobre 1999. *Itinerari Speleologici*, 9: 5-42.
- GRAZIOSI P., 1980 - Le pitture preistoriche della grotta di Porto Badisco. Giunti Martello, Firenze: 196 pp.
- GUERRI M., 1984 - Porto Badisco (Otranto, Prov. di Lecce). *Riv. Sc. Preist.*, 39: 349-351
- GUERRI M., 1986 - Porto Badisco (Otranto, Prov. di Lecce) *Riv. Sc. Preist.*, 40: 385-386.
- HARDING J.L., 1999 – Environmental change during the Holocene in south-east Italy. An integrated geomorphological and palynological investigation. Larix books, Sheffield: 137 pp.
- LAMBK K., ANTONIOLI F., PURCELL A., SILENZI S., 2004 - Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr. *Quaternary Science Reviews*, 23: 1567-1598.
- LO PORTO F.G., 1975 - L’attività archeologica in Puglia. Atti XV Convegno di Studi sulla Magna Grecia, Taranto: 635-645.

- MAGALDI D., 1977 - Osservazioni sedimentologiche sul deposito della Grotta di Porto Badisco. Riv. Sc. Preist., 32: 297-304.
- MARTINIS B., 1967 - Note geologiche sui dintorni di Casarano e Castro (Lecce). Riv. It. Paleont Strat., 73: 1297-1380.
- MATTEUCCI R., PARENTE M., 1993 - Stop 5 - Le Calcareniti di Porto Badisco. Guida alle escursioni del XII Convegno della S.P.I.. Conte ed., Lecce: 39-43.
- MOSCARDINO M., 1971 - L'arte preistorica dopo le scoperte salentine di Porto Badisco. Soc. Naz. Dante Aligheri, Urbani: 77 pp.
- OROFINO F., 1970 - Grotta di Porto Badisco n. 902 Pu.. Speleologia Emiliana, 7: 81-91.
- PESCE G.L., CICCARESE N., ONORATO R., 2004 - Ricerche biologiche nell'acquifero del complesso carsico di Badisco (Otranto). Thalassia Salentina, 27: 91-97.
- RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO E., MONGELLI F., PIERI P., 1988 - Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampese Apulo. Mem. Soc. Geol. It., 41: 57-82.
- ROSSI D., 1969 - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia - Foglio 215 "Otranto". Serv. Geol. It., Ercolano: 64 pp.
- STASI P.E., 1906 - Grotta funeraria a Badisco (Terra d'Otranto). Archivio per l'Antropologia e l'Etnologia, 36: 17-25.
- ZEZZA F., 2003 - La Grotta dei Cervi sul Canale d'Otranto. Capone Ed., Manduria: 102 pp.
- ZONNEVELD K.A.F., 1996 - Paleoclimatic reconstruction of the last deglaciation (18-8 ka B.P.) in the Adriatic Sea region; a land-sea correlation based on palynological evidence. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 122: 89-106.