

Fig. 13 - Le croste di colore nero e bruno di rancieite, minerale del manganese molto raro nelle grotte, sulla volta della Galleria Principale.

della iena compaiono aggregati di colore nero e bruno sotto forma di croste dure, poco estese sulla superficie ed a contorni irregolari che si stagliano nettamente sul supporto lapideo (Fig. 13). Il calcare al quale le croste nere aderiscono appare fratturato e visibilmente carsificato con inclusioni di terra rossa.

Le analisi chimico-mineralogiche e petrografiche, eseguite rispettivamente per determinare le fasi cristalline e per stabilire le caratteristiche morfologiche e strutturali delle superfici incrostate, sono state effettuate mediante diffrattometrie X e microscopia elettronica a scansione.

I risultati delle diffrattometrie X (Fig. 14) evidenziano che le polveri dei campioni analizzati presentano tre fasi mineralogiche costituite da *calcite*, *rancieite* e *goethite*. La prima è il minerale principale del substrato lapideo, la seconda è il minerale componente la crosta nera, la terza è uno dei minerali comunemente presenti nella terra rossa del calcare carsificato. La conferma che la crosta di colore nero sia costituita fondamentalmente da un composto del manganese è data dalla microanalisi X (Fig. 15) i cui risultati indicano la presenza di tale minerale associato ad elementi che entrano a far parte della composizione della roccia calcarea (Ca, Mg) e del suo residuo insolubile (Si, Al, K), formato da minerali detritici (quarzo e feldspati), oltre ad elementi (Fe, Ti) contenuti nella terra rossa. La morfologia della superficie della concrezione che aderisce alla roccia calcarea, esaminata al microscopio elettronico a scansione (SEM), appare distintamente formata da granuli calcitici e da pori intergranulari

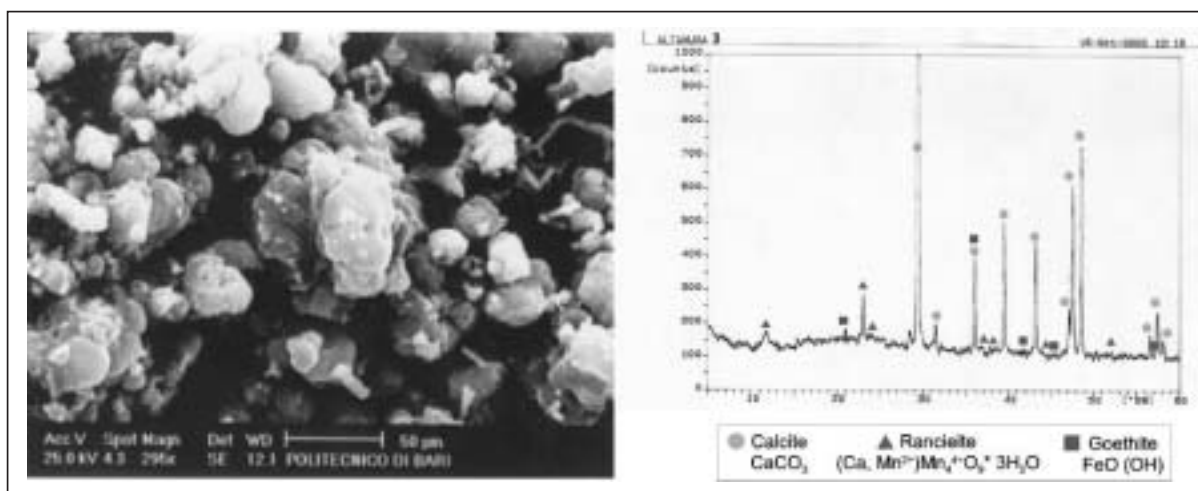


Fig. 14 - Diffrattometria X delle croste di rancieite. Al microscopio elettronico a scansione (SEM) la morfologia della crosta a contatto con il substrato lapideo evidenzia la presenza di granuli calcitici corrosi e di spazi intergranulari riempiti da rancieite.

riempiti da rancieite (Figg. 15-16). I granuli sono di dimensioni variabili, in genere comprese tra 25 e 100 μ , e corrosi; hanno una forma arrotondata e subarrotondata oppure si presentano sotto forma di frammenti subangolosi. Il sistema dimostra una porosità aperta di origine secondaria alla quale corrisponde una buona permeabilità. Gli spazi intergranulari riempiti da rancieite sono piuttosto irregolari per forma e dimensione e variano tra 50 e 200 μ .

La *rancieite* è stata identificata soltanto in poche grotte nel mondo. Hill e Forti (1997) riferiscono che Richmond et al. (1969) l'hanno trovata nella Mammoth Cave, Kentucky e nella Paxton's Cave, Virginia (USA); Bardossy e Brinkley (1978) l'hanno riconosciuta in una grotta presso Itea (Grecia) sotto forma di crosta scura tra un deposito di bauxite e la roccia calcarea sottostante.

In una grotta dello Yorkshire, in Inghilterra, tale minerale è stato anche trovato da Laverty e Crabtree (1978) in una colata calcitica nera. Rancieite associata a todorokite è stata, infine, segnalata da Modreski (1989) nella parte residuale di un calcare corrosivo della Grotta di Lechuguilla nel New Mexico dove appare di probabile origine detritica e non secondaria.

Per spiegare la presenza di rancieite nella Grotta di Lamalunga va ricordato che sulle superfici carsiche della Puglia il manganese è presente in vari minerali sotto forma di solfato idrato e silicato idrato, fra i quali prevale la pirolusite (F. Zezza 1974). Si ritrova sia in seno alle fratture delle rocce carbonatiche sia associato ai depositi di terre rosse, finemente disperso o in concentrazioni. La provenienza è vulcanica; per alcuni depositi della costa, tuttavia, la formazione delle concentrazioni appare favorita dalla presenza di microrganismi sotto la cui

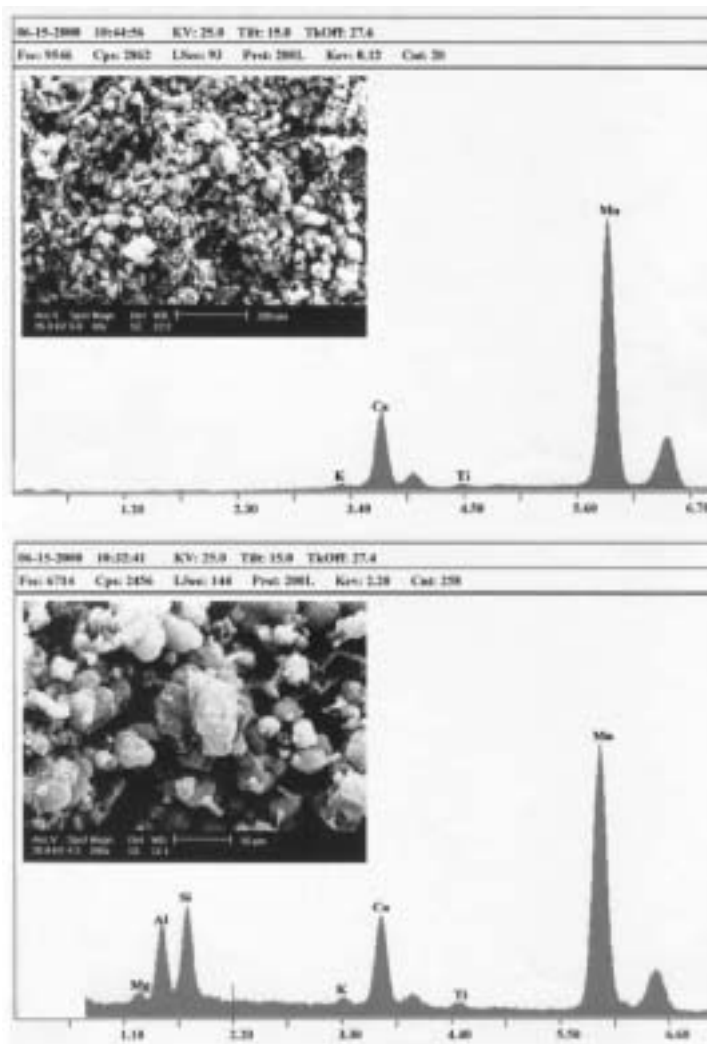


Fig. 15 - Microanalisi X (SEM-EDX) delle croste di rancieite indicanti che al minerale (Mn) componente le croste nere si associano elementi che entrano a far parte della composizione del supporto calcareo (Ca, Mg) e dei suoi minerali detritici, quarzo e feldspati (Si, Al, K), ed elementi contenuti nelle terre rosse (Fe, Ti).

azione il manganese precipita direttamente dalle acque del mare sotto forma di pseudo-ooliti (F. Zezza 1970). In ambiente di grotta, considerato il contesto geologico del V.ne di Lamalunga situato sull'altopiano delle Murge dove il supporto lapideo delle croste manganesifere è permeabile per fratturazione e per carsismo, è lecito supporre che il minerale sia giunto nella cavità dalla superficie trasportato dalle acque d'infiltrazione. Le soluzioni manganesifere percolando attraverso le fratture ed i pori della roccia carsificata hanno potuto formare sulla volta le croste di rancieite, $(Ca, Mn^{3+}) Mn^{4+} O_9 \cdot 3H_2O$, interagendo con il carbonato di calcio del supporto lapideo.

L'evoluzione morfologica

All'intenso fenomeno di concrezionamento si sostituisce nella parte superiore della grotta una evidente azione di corrosione chimica prodotta sulla roccia cal-

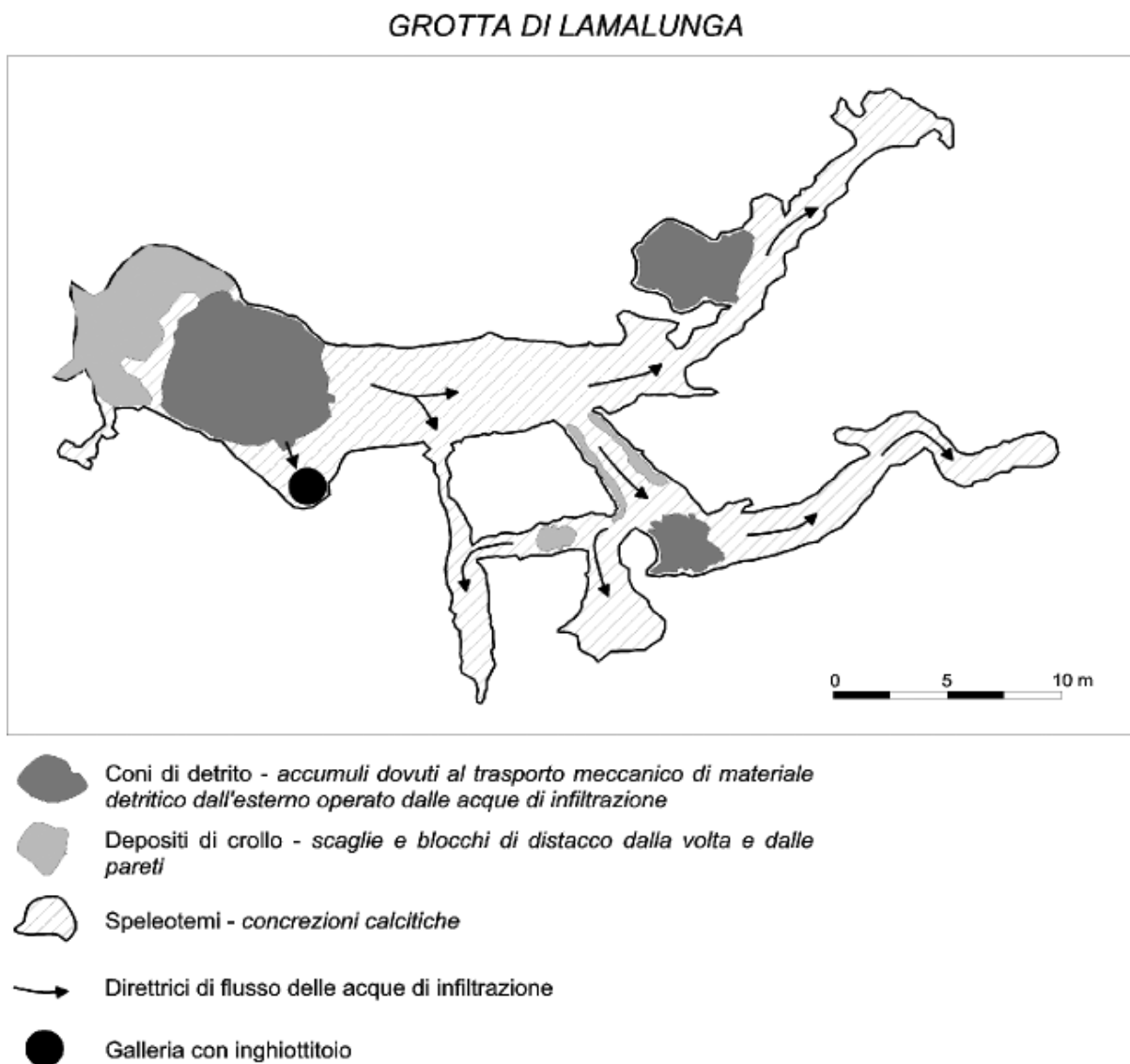


Fig. 16 - Schema dei processi dell'azione carsica nella Grotta di Lamalunga.

careca dall'umidità dell'ambiente contaminata da sostanze aggressive (SO_2). Tale azione, che ha inciso in modo determinante sull'evoluzione verso la morfologia attuale di parte di pareti e volta, non pare essere destinata ad arrestarsi.

Per comprendere la dimensione del fenomeno occorre far riferimento al quadro fessurativo legato alla tettonica (giunti di fatturazione) e all'ambiente deposizionale (giunti di stratificazione) della formazione calcarea che in grotta si arricchisce di ulteriori elementi (fratture di neoformazione). I giunti di neoformazione sono di diversa dimensione, da decimetrica a millimetrica, e derivano dal continuo flusso degli sforzi tangenziali attorno alla cavità scavata dalle acque che predispongono la volta e le pareti al distacco di lastre e di scaglie. Nelle parti della grotta con roccia minutamente fratturata, dove attualmente si manifestano i distacchi (Fig. 16), agisce l'umidità di condensa ed è presente un caratteristico speleotema (polvere di grotta) che imbianca le superfici e si insinua nelle microfrazture. Il deposito è incoerente e d'aspetto polverulento (Fig. 17).

La morfologia di alterazione, prodotta dai sali che compongono la polvere di grotta (powder cave), è stata osservata al microscopio elettronico a scansione (SEM)



Fig. 17 - Polvere di grotta (cave powder) nella Sala del grande conoide. Lo speleotema, incoerente e d'aspetto polverulento, imbianca le superfici e si insinua nelle microfrazture della volta e delle pareti in tutti gli ambienti medio-superiori della cavità dove agisce l'umidità di condensa.

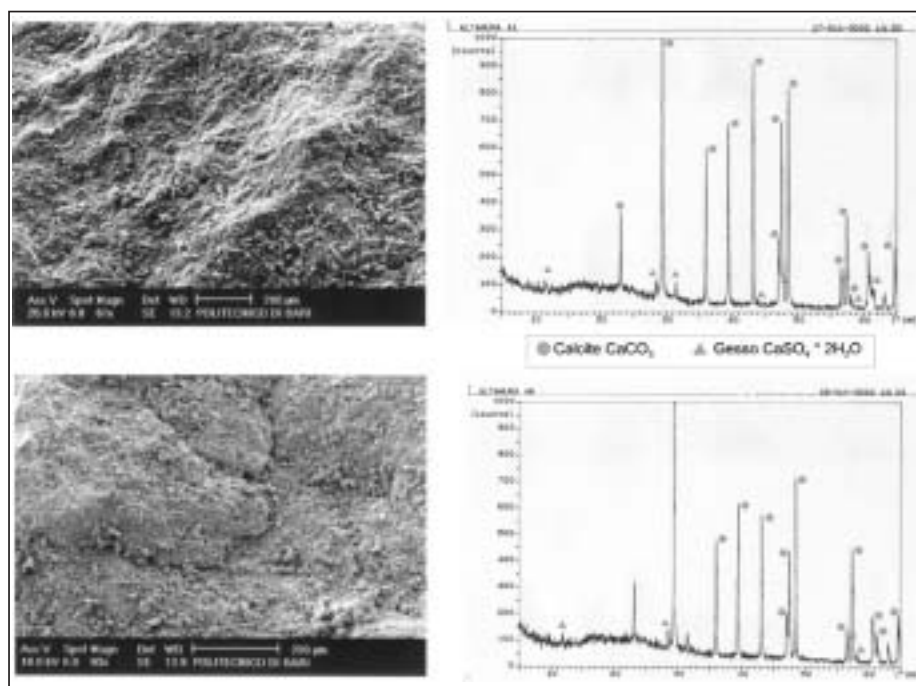


Fig. 18 - Diffraattometrie X della polvere di grotta, composta da piccoli cristalli di gesso con calcite.

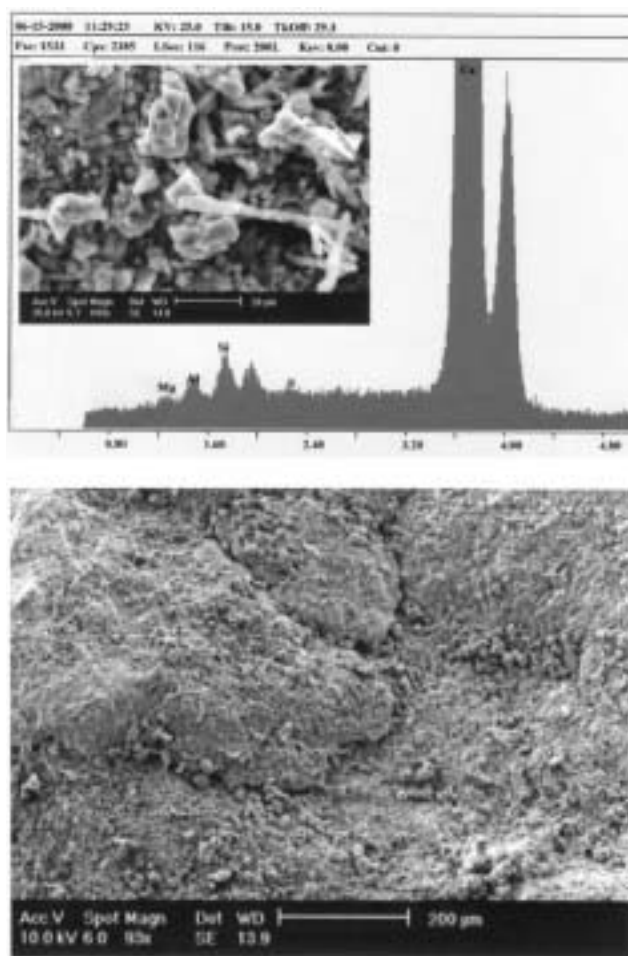


Fig. 19 - Microscopia elettronica e Microanalisi X (SEM-EDX) della polvere di grotta. I cristalli hanno dimensioni variabili da 5 a 50 microns; oltre agli elementi calcio e zolfo, la polvere di grotta contiene magnesio, silicio e alluminio che entrano a far parte, in qualità di elementi secondari, della composizione mineralogica del substrato lapideo sul quale aderisce lo speleotema.

superfici carbonatiche (Zendri et al., 2000) provano che l'interazione tra la condensa ed i supporti lapidei carbonatici può essere responsabile di diversi fenomeni di alterazione tra i quali la corrosione del carbonato di calcio ad opera dell'anidride



Fig. 20 - La polvere di grotta che imbianca le superfici della roccia calcarea e che si insinua nei giunti della volta e dalle pareti fessurate facilita il distacco di scaglie, lastre e blocchi in seguito al processo di alterazione provocato dall'interazione tra l'umidità di condensa e il supporto lapideo.

corredato da microanalisi (EDX) su campioni prelevati dalle superfici della volta (camp. A1) e delle pareti (camp. A6). Le Figg. 18 e 19 mostrano alcune indicative microfotografie le quali mettono in evidenza la presenza di cristalli di piccole dimensioni (5-50µ) composti da elementi quali Ca e S. Le polveri contengono altri elementi, quali Mg, Si e Al, che entrano a far parte della componente carbonatica del substrato lapideo (Mg) e dei suoi minerali detritici (Si, Al). I risultati delle diffrattometrie X (Fig. 18) sono strettamente correlabili con i dati forniti dalla microanalisi EDX: i cristalli che formano la polvere di grotta sono, infatti, composti da calcite e da gesso. Nelle grotte dove, in genere, questo speleotema è presente la genesi appare comune: dispersione di soluzioni per capillarità su ampie zone e formazione dei cristalli a seguito alla rapida evaporazione di tutta la componente liquida (Hill e Forti, 1997). Recenti ricerche sperimentali sugli effetti della condensa su

carbonica con formazione di carbonato di calcio e successiva ricristallizzazione di questo carbonato e reazioni tra le specie disciolte nella condensa e la calcite, con formazione di prodotti di degrado. La condensa, infatti, agisce da solvente per una serie di sostanze presenti nell'atmosfera circostante in forma gassosa (SO₂, CO₂, NO_x) o aerosol.

L'ambiente di grotta dove lo speleotema in esame (polvere di grotta) compare riguarda, in particolare, due zone tra loro non sempre nettamente separabili: a) la parte medio-inferiore della cavità con dissesti localizzati in atto, attestati dal quadro fessurativo esteso sulle pareti e determinato dal superamento delle tensioni ammissibili; b) la parte superiore, comprendente principalmente la volta, caratterizzata a luoghi da piani di distacco e lesioni ad andamento parabolico, talora intersecate da fratture radiali che nel loro insieme determinano la spinta fratturazione della roccia calcarea per l'esistenza di sovraccarichi non assorbiti da piedritti e pareti in cedimento. Nell'ambito del fenomeno fessurativo che evidenzia l'esistenza di stati di collasso potenziale in seno alla cavità, l'azione di degrado legata alla presenza della polvere di grotta si riflette negativamente, sotto l'azione della condensa e delle reazioni chimiche con il supporto lapideo, sulle condizioni di stabilità esaltando i fenomeni di distacco (Fig. 20). Il rimodellamento della volta e delle pareti si verifica, infatti, per la caduta di blocchi, lastre, scaglie e frammenti di varie dimensioni che hanno dato luogo alla formazione di un deposito clastico che ricopre a tratti i coni di detrito di apporto esterno o che si dispone sui lati dei corridoi alla base delle pareti.

Conclusioni

La genesi della grotta e l'analisi dei dati rilevati confermano l'interesse scientifico per il complesso carsico di Lamalunga che le evidenze di valore naturalistico e geologico suscitano. La ricostruzione degli eventi legati al processo carsico induce, d'altro canto, a valutare con la dovuta attenzione l'incidenza dell'evoluzione morfologica in atto delle cavità superiori che in prospettiva rischia di riflettersi negativamente sulle possibilità di accesso. In quest'ottica, anche le operazioni di controllo e di ricerca che si concentrano attorno al punto focale della grotta (l'Uomo di Altamura) subirebbero verosimilmente delle forzate limitazioni.

La Grotta di Lamalunga pone, per una serie di fattori ambientali, una problematica che non è comune a quella di altre grotte che contengono testimonianze archeologiche e paleontologiche. Tali grotte destano, in genere, motivate preoccupazioni per le condizioni di degrado nel quale versano i reperti. Si tratta in questi casi di conservare i reperti stessi difendendoli dai processi chimico-fisici e biologici svolti dagli agenti del degrado e di impostare un'azione di salvaguardia che va dalla conoscenza delle cause dell'alterazione alla scelta degli interventi idonei a scongiurare irreparabili perdite. Nella Grotta di Lamalunga, viceversa, i resti dell'Uomo di Altamura, ancorché coperti in parte da concrezioni coralloidi, si trovano in perfetto stato di conservazione e le condizioni dell'ambiente che li ospita sono praticamente rimaste inalterate dopo il processo di

fossilizzazione. La fruizione del bene esige, pertanto, un impegno concreto sulla individuazione dei criteri indispensabili per assicurare la stabilità degli ambienti interni affinché l'iniziativa intrapresa dopo la scoperta realizzi in modo completo la salvaguardia del patrimonio che la grotta racchiude.

Riferimenti bibliografici

1. Hill C., Forti P. (1997): *Cave Minerals of the World*. National Speleological Society. Huntsville, Alabama.
2. Zendri E., Biscontin G., Kosmidis P. (2000): Effetti della condensa su superfici carbonatiche in ambiente marino.
3. Proceedings V Intern. Symp. "Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin", Seville (Spain).
4. Zezza F. (1970): Sui depositi di Manganese del Capo S. Maria di Leuca (Puglia). *Geol. Appl. e Idrogeol.*, 6, Bari.
5. Zezza F. (1974): Le facies carbonatiche della Puglia e il fenomeno carsico ipogeo. *Geol. Appl. e Idrogeol.*, 10, Bari.
6. Zezza F. & T. (1999): *Il Carsismo in Puglia*. Adda Ed., Bari.