



**SOCIETÀ
SPELEOLOGICA
ITALIANA**

**COMMISSIONE
NAZIONALE
CAVITÀ
ARTIFICIALI**

OPERA IPOGEA

Alla scoperta delle antiche opere sotterranee



1999

3

ITALIA: le concrezioni degli ipogei artificiali
LAZIO: gli ipogei minori della Caffarella
EMILIA: gli acquedotti romani di Bologna
MARCHE: i cunicoli del Palazzo Ducale di Urbino
CAMPANIA: una cava di tufo a Lusciano
PUGLIA: gli ipogei artificiali di Grottaglie

Le concrezioni e le mineralizzazioni secondarie degli ipogei artificiali italiani

Paolo Forti

Istituto Italiano di Speleologia



Riassunto

L'interesse attorno agli ipogei artificiali è molto cresciuto in Italia negli ultimi dieci anni, sia da parte degli speleologi che da parte degli Enti predisposti alla pianificazione territoriale. Le esplorazioni di questi particolari ambienti sotterranei ha messo in evidenza che essi contengono una quantità di depositi chimici secondari molto minore di quelli ospitati dalle grotte naturali, ma non per questo sono meno interessanti.

Sino ad oggi, comunque, mancava un quadro d'insieme sulle concrezioni e le mineralizzazioni secondarie scoperte negli ipogei artificiali d'Italia: questo lavoro si prefigge lo scopo di colmare questa lacuna.

Parole chiave: *cavità artificiali, concrezionamento, mineralizzazioni secondarie, Italia*

Abstract

In Italy in the last 10 years speleologist and local authorities have become more interested in exploring and studying artificial caves. These caves normally host far less secondary chemical deposits (speleothems and minerals) than the natural caves, but cannot be regarded as less interesting. Until the present time no general overview existed on this topic: the aim of this article is to overcome this lack.

Keywords: *artificial cave, formations, diagenetic minerals, Italy*

Introduzione

In Italia, negli ultimi dieci anni, si è assistito ad un notevole aumento di interesse ver-

so gli ipogei artificiali sia da parte degli speleologi sia, anche e soprattutto, da parte degli Enti preposti allo studio, salvaguardia e pianificazione del territorio, sempre più pronti a supportare anche finanziariamente le esplorazioni e gli studi in questo ambito. Sotterranei di castelli, acquedotti, gallerie minerarie e ferroviarie sono quindi divenuti sempre più oggetto di esplorazioni e ricerche sistematiche da parte di speleologi che, in alcuni casi, hanno quasi completamente abbandonato le grotte per esercitare la loro attività nelle cavità artificiali. La nascita, recentissima, di questa rivista ne è stata certamente la conseguenza più evidente.

La frequentazione delle cavità artificiali ha evidenziato che anch'esse, seppur in misura certamente molto minore rispetto alle grotte naturali, contengono speleotemi e mineralizzazioni secondarie, che, in alcuni casi, possono essere addirittura uniche e peculiari dell'ambiente ipogeo artificiale.

In ambito internazionale una breve sintesi su questo tema è apparsa su "*Cave Minerals of the World*" nel 1997 (Hill & Forti, 1997), mentre in Italia a tutt'oggi non esiste un lavoro generale sulle formazioni secondarie degli ipogei artificiali, anche se il nostro paese è certamente all'avanguardia per questo tipo di studi e di ricerche.

La prima pubblicazione, infatti, in cui si descrivono esplicitamente concrezioni sviluppatesi in un ambiente artificiale del nostro paese risale alla fine del XVII secolo (Fabretti, 1690) ed è relativa ad una grande colata calcitica di colore marron-rossiccio che si era sviluppata lungo l'emissario sotterra-

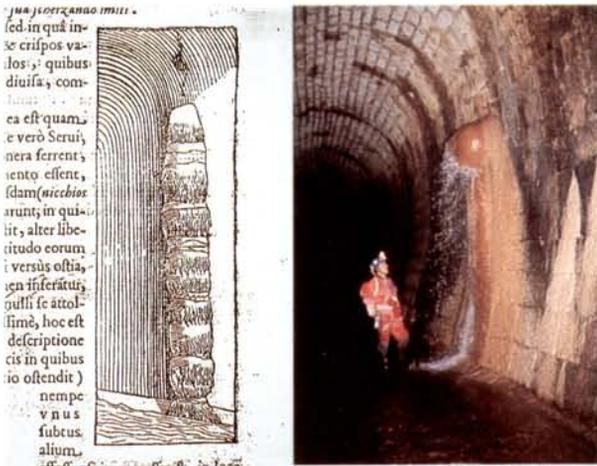


Fig. 1a/b - La grande concrezione lungo l'emissario del Fucino: nella incisione del libro di Fabretti (a) e come appare oggi (b) (foto P. Forti).

neo del lago del Fucino (Fig. 1,a,b).

Dopo questa prima pubblicazione, in Italia, soprattutto in questi ultimi decenni, sono apparse un certo numero di pubblicazioni sull'argomento, che comunque sono ancora del tutto insufficienti a descrivere compiutamente i fenomeni del concrezionamento e delle mineralizzazioni in ambiente artificiale: tali articoli, inoltre, sono apparsi spesso su riviste non specifiche, spesso con circolazione molto limitata, e pertanto di difficile reperimento da parte di uno che desidera documentarsi compiutamente sull'argomento. Lo scopo di questo articolo è proprio quello di riempire questa lacuna presentando una breve sintesi delle conoscenze attuali sulle concrezioni e mineralizzazioni secondarie degli ipogei artificiali italiani che, permettendo di avere una visione generale di quanto è stato fatto sinora, faciliti la ricerca prima e lo studio poi di nuovi speleotemi e/o mineralizzazioni secondarie negli ipogei artificiali, che, sempre in maggior numero, vengono esplorati in Italia.

Per facilità di esposizione si è suddiviso l'argomento in due parti: la prima tratta solamente delle concrezioni di carbonato di calcio, della loro genesi e della loro morfologia esterna, mentre la seconda è dedicata alle varie mineralizzazioni secondarie che sono

state osservate soprattutto all'interno di vecchie gallerie minerarie.

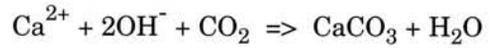
Le concrezioni di carbonato di calcio

Le concrezioni di carbonato di calcio sono i depositi secondari di gran lunga più comuni negli ipogei artificiali: comunque bisogna dire subito che in questi ambienti le concrezioni sono di norma molto rare e più piccole di quelle che si rinvencono all'interno delle grotte naturali. Ciò deriva direttamente dal fatto che di norma nelle cavità artificiali le concrezioni hanno avuto a disposizione solo poche decine o poche centinaia di anni per svilupparsi, mentre nelle grotte gli speleotemi possono essersi sviluppati su un arco di tempo enormemente maggiore (centinaia di migliaia di anni).

In alcuni casi, però, come quello della galleria di drenaggio del lago del Fucino (Forti, 1994) la situazione è completamente diversa, con il concrezionamento che ha, in molte parti, completamente coperto ed obliterato le strutture del manufatto artificiale. Questo è avvenuto per una concomitanza favorevole di fattori: innanzitutto il tempo, dato che le prime gallerie di drenaggio sono state scavate ad opera degli antichi Romani e quindi la roccia, calcarea, che ha permesso alle gallerie stesse di trasformarsi in vere e proprie "grotte naturali" in cui i processi di concrezionamento seguivano modi e tempi assolutamente uguali a quelli delle grotte. La deposizione del carbonato di calcio negli ipogei artificiali può derivare sia dai normali processi che caratterizzano lo sviluppo delle concrezioni nelle cavità naturali (sovrasaturazione per diffusione della CO_2 nell'atmosfera della grotta ed evaporazione), ma, soprattutto nel periodo immediatamente successivo alla realizzazione dell'ipogeo, vi è un terzo meccanismo, molto efficiente, che causa la formazione rapida di speleotemi di carbonato di calcio. Tale meccanismo diviene attivo ogniqualvolta vi siano opere murarie che utilizzano leganti quali la calce o il cemento: in questi casi, infatti, l'idrossido di calcio, che sempre si trova in eccesso nella malta, è l'agente concrezionante.

Questo composto, infatti, è estremamente solubile (circa 200 volte più della calcite, Sefton, 1988) e quindi viene portato facilmente in soluzione dalle acque di percolazione: quando riaffiora all'interno dell'ipogeo l'idrossido di calcio assorbe l'anidride carbonica dall'atmosfera trasformandosi in

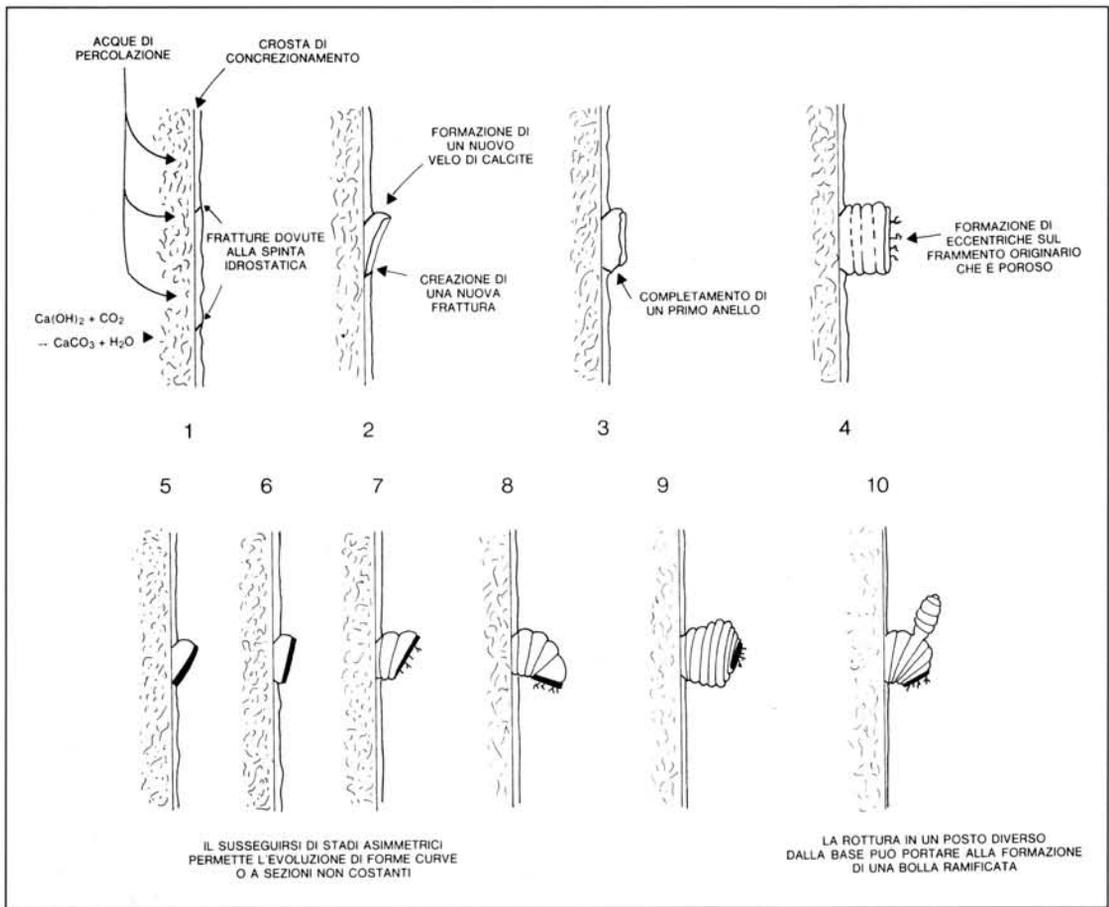
carbonato di calcio che precipita secondo la reazione:



Questa reazione procede molto più rapidamente rispetto a quelle che portano alla formazione degli speleotemi nelle grotte naturali e pertanto lo sviluppo, soprattutto di cannule, ma anche di vere e proprie stalattiti, stalagmiti e colate avviene molto più velocemente all'interno dei manufatti artificia-

Foto 1 - Acquedotto romano di Val di Setta: una bolla parietale parzialmente rotta, che permette di evidenziare lo spessore minimo delle pareti laterali e gli anelli successivi di concrezionamento (foto P. Forti).





li, come testimoniano le piccole concrezioni che in pochi mesi o anni si formano sotto i viadotti delle autostrade o nei garage.

Una caratteristica peculiare delle cannule che si sviluppano mediante questo meccanismo è quello di presentare spesso, alla sommità, piccolissime eccentriche che si protendono verso l'ambiente aereato (foto 2): esse sono la conseguenza diretta della precipitazione rapida del carbonato di calcio a seguito dell'adsorbimento dell'anidride carbonica. Questo tipo di crescita rapida, comunque, si esaurisce molto presto, dato che il dilavamento dell'idrossido di calcio in eccesso nella malta cementizia è molto rapido. Non appena quindi questo composto non è più disponibile, la reazione di assorbimento dell'anidride carbonica dall'atmosfera cessa e conseguentemente anche lo sviluppo delle concrezioni di carbonato di calcio si arresta. Da questo momento in poi, la crescita può

Fig. 2 - Schema genetico per le bolle parietali dell'acquedotto romano di Val di Setta (da Forti 1988).

proseguire solamente se ci sono le condizioni idonee perché il meccanismo classico di deposizione naturale (sovrasaturazione per diffusione della CO₂ nell'atmosfera) si possa instaurare.

In alcuni casi la struttura artificiale, affiancata dal particolare meccanismo dell'adsorbimento dell'anidride carbonica, può anche permettere l'evoluzione di speleotemi del tutto peculiari, quali quelli osservati nell'acquedotto romano di Val di Setta a Bologna (Forti, 1988): le "bolle parietali".

Queste particolari concrezioni di calcite sono state osservate infatti solamente sulle parti intonacate del condotto: si tratta di piccole concrezioni (1-3 cm di altezza e 1-2 cm di diametro) completamente cave, costituite da un

involucro di calcite a bande molto sottile (2-3 decimi di millimetro) (foto 1) all'interno del quale, se è ancora attivo, è contenuta acqua. La loro forma può variare da cilindrica a conica a bipiramidale, mentre la sezione è sempre subcircolare: raramente le bolle possono presentare sdoppiamenti laterali. La superficie sommitale è di norma piana, spessa 5-10 decimi di millimetro e ricoperta esternamente da minuscole eccentriche, la cui genesi è analoga a quella delle eccentriche che si sviluppano alla sommità della cannule, descritte poco addietro.

Lo sviluppo di questi speleotemi avviene per stadi successivi di cui il primo (Fig. 2, 1) è condizionato dalla presenza dell'intonaco, che permette all'acqua di capillarità di raggiungere la superficie esterna ove avviene la reazione tra l'idrossido di calcio in soluzione e la CO_2 dell'atmosfera con formazione di un sottile "pavimento concrezionario", che a volte ricopre ampi tratti della parete.

Quando il pavimento è completato i successivi stadi di sviluppo sono dovuti alla presenza di una sufficientemente forte pressione idrostatica che favorisce l'evoluzione di fratturazioni nel "pavimento concrezionario", e permette quindi che la reazione tra acqua

Foto 2 - Acquedotto romano di Val di Setta: particolare della sommità di una cannula con ben sviluppate eccentriche (foto P. Forti).

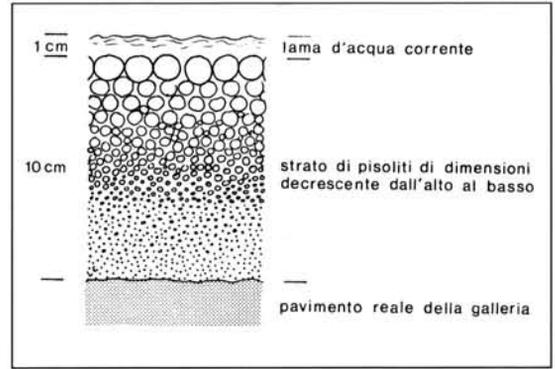


Fig. 3 - Miniera di S. Giovanni: disposizione delle pisoliti di aragonite sul pavimento della galleria di -155 (da Forti & Perna 1988).

di capillarità e aria della galleria continui (Fig. 2, 2) che potrà esser completato con il distacco completo del frammento dello stesso e formazione di un primo anello di concrezionamento (Fig. 2, 3).

Durante questo stadio e anche durante quelli successivi, la porosità residua del pezzetto di "pavimento concrezionario" permetterà l'evoluzione delle minuscole eccentriche sommitali (Fig. 2, 4).

Dato che l'anello che si forma al di sotto del "pavimento concrezionario" è di norma più sottile dello stesso, sarà quest'ultimo a distaccarsi dalla parete e dare origine ad un altro anello e così di seguito sino all'evoluzione di una bolla parietale, che potrà quindi avere forme differenti anche ramificate (Fig. 2,5-10, foto 6).

In altri casi, sono le particolari condizioni microclimatiche che si instaurano all'interno dell'ipogeo che permettono lo sviluppo di concrezioni assolutamente peculiari: tra queste certo le più curiose sono le eccentriche a zig-zag dei sotterranei del Palazzo Ducale di Urbino (vedi foto 3 a pag. 43).

Durante lo studio di dettaglio degli ambienti ipogei che si sviluppano al di sotto del famoso palazzo (Fabbri *et al.*, 1987) sono state infatti studiate delle strane stalattiti di calcite che si sviluppavano alla base di uno stretto camino ascendente, alto oltre 35 metri, che metteva in comunicazione diretta i sotterranei con il tetto.

La caratteristiche peculiari di queste concre-

zioni erano quelle di avere innanzitutto una dimensione e una struttura interna intermedia tra le cannule e le eccentriche (diametro esterno 2.5-3 mm e diametro del canalicolo interno 1-2 mm) e di presentare quindi tutta una serie regolare di brusche deviazioni dalla verticalità, con inversione della direzione di crescita ad angoli costanti ed equidistanti l'una dall'altra.

Più che ad una vera e propria "erraticità", le brusche e costanti deviazioni nella direzione di accrescimento sono state attribuite alle forti correnti d'aria che stagionalmente si invertono all'interno del camino e che permettono anche il mantenimento di dimensioni non stazionarie (come accennato sopra, intermedie tra quelle delle cannule e quelle delle eccentriche).

Anche se normalmente le concrezioni negli ipogei artificiali sono di calcite, in alcuni casi particolari sono state osservate e descritte concrezioni di aragonite di notevole interesse sia estetico che scientifico.

Tali rinvenimenti sono in genere limitati ad ambienti di miniera, dato che all'interno di manufatti in mattoni o cemento ben difficilmente possono instaurarsi le condizioni idonee per lo sviluppo di concrezioni di questo

Foto 3 - Miniera di S. Giovanni, livello -155: particolare del letto di pisoliti di aragonite che ricopre il pavimento della galleria di -155 (da Forti & Perna, 1988).



minerale.

Non sono comunque molte le pubblicazioni che trattano di concrezioni di aragonite. In due casi particolari sono state segnalati speleotemi assolutamente eccezionali.

Nel primo caso (Forti & Perna, 1983) all'interno della Miniera di San Giovanni a Iglesias, a -155 m rispetto al livello del mare, una intera galleria lunga una quindicina di metri e larga circa un metro risultava essere completamente occupata da un tappeto di pisoliti di aragonite, che raggiungeva uno spessore di quasi 10 cm (foto 3).

Le pisoliti risultavano classate con gli elementi maggiori (oltre un centimetro di diametro) in superficie e quelli minori (sino a meno di 50 micron di diametro) via via sul fondo (fig. 3).

La galleria era parzialmente allagata dall'acqua salmastra che con violenza scaturiva da una frattura che si apriva sul fondo della stessa a livello del pavimento. Al momento della fuoriuscita l'acqua ribolliva violentemente a seguito della rapida diffusione della CO₂ nell'atmosfera della grotta, indotta dal fatto che all'interno della frattura stessa l'acqua era sottoposta ad un carico idrostatico di oltre 15 atmosfere.

La genesi di questa assolutamente inusuale quantità di perle di grotta di aragonite era appunto da mettere in relazione con la particolarmente alta sovrassaturazione rispetto al carbonato di calcio che veniva simultaneamente ad instaurarsi all'interno delle acque che fluivano nella galleria: in queste condizioni infatti si forma preferibilmente la vaterite (minerale polimorfo della calcite e dell'aragonite), che però essendo metastabile, decade rapidamente in aragonite.

Tra i più importanti ritrovamenti di speleotemi di aragonite in ipogei artificiali dobbiamo poi ricordare, per l'eccezionale valore estetico del loro cromatismo, le concrezioni sviluppatesi all'interno della Miniera Regina nel bresciano (Forti & Marchesi, 1996).

Nelle gallerie di questa miniera, abbandonata dall'inizio del secolo, infatti, hanno avuto modo di svilupparsi diffuse e ben svilup-



Foto 4 - Una concrezione di aragonite azzurra della Miniera Regina di Brescia (foto P. Forti).

pate concrezioni di aragonite, essenzialmente colate, ma anche stalattiti, cannule e pisoliti, che, grazie alla presenza di ioni metallici (rame e ferro essenzialmente) hanno assunto colorazioni intense dal blu scuro (foto 4) al verde al rosato. La genesi e lo sviluppo delle concrezioni policrome di aragonite della Grotta Regina è sempre da ricondursi alla presenza di ioni metallici che hanno inibito la nucleazione prima e lo sviluppo poi dei germi cristallini della calcite, permettendo così a quelli dell'aragonite di svilupparsi e dare luogo alle formazioni presenti diffusamente in molte delle gallerie di questa miniera.

Le mineralizzazioni secondarie

Gli ipogei artificiali possono esistere in ogni tipo di roccia e pertanto è logico attendersi che al loro interno si sviluppino tutta una serie di mineralizzazioni secondarie che a rigor di logica dovrebbero sopravanzare di gran lunga, per numero e varietà quelle presenti nelle grotte naturali.

Attualmente, però, in Italia sono davvero scarsi gli studi specifici condotti su questo argomento e quasi tutti sono relativi a miniere abbandonate o ancora in attività: in effetti la presenza di giacimenti minerali,

soprattutto a solfuri misti (del tipo MVT, come per esempio quelli dell'Iglesiente), può fornire all'ambiente tutta una varietà di ioni metallici, disponibili per la formazione di un gran numero di mineralizzazioni secondarie. In questo contesto sono comuni le concrezioni di aragonite spesso policrome, come già accennato nel paragrafo precedente, e quindi le infiorescenze ed anche i grandi cristalli di gesso, che derivano dalla reazione dell'acido solforico, prodotto dall'ossidazione dei solfuri con la roccia spesso carbonatica delle pareti delle gallerie minerarie: particolarmente belli sono quelli sviluppatasi nella miniera di Montevocchio (Bini *et al.*, 1986) (foto 5). Ma il contesto a solfuri misti può portare all'evoluzione anche di grandi concrezionamenti di smithsonite, emimorfite, cerussite, anglesite, idrozincite, melanterite (Di Colbertardo & Feruglio, 1963; Perna, 1972;

Foto 5 - Le infiorescenze di gesso della miniera di Montevocchio (foto P. Forti).



Bini *et al.*, 1986). A volte poi si sono osservate mineralizzazioni ancora più rare come la gaspeite, la copiapite o la monteponite (Cadoni *et al.*, 1986; Forti & Perna, 1988). È impossibile, in questa breve carrellata descrivere tutti i differenti minerali secondari che sono stati osservati all'interno di gallerie minerarie italiane sia attive che abbandonate: è qui sufficiente far notare come lo studio di questi minerali può aiutarci a meglio comprendere i meccanismi che portano alla formazione degli omologhi minerali di grotta.

Da questo punto di vista sono di particolare interesse le "grotte di miniera", cavità naturali prive di uno sbocco all'esterno che vengono spesso intersecate dai lavori minerari in ambiente carbonatico.

Particolarmente importanti, per i concrezionamenti e le mineralizzazioni ospitate, si sono rivelate le "Grotte di Miniera" del bacino dell'Iglesiente. Tra queste merita certamente una citazione, quella che a buon diritto può esser ritenuta la prima "grotta di miniera": la Grotta di Santa Barbara all'interno della miniera di San Giovanni (Iglesias) con le sue incredibili cristallizzazioni di barite (Rossetti & Zucchini, 1956).

In questi ultimi anni, poi, con la chiusura di quasi tutte le miniere del distretto iglesiente e le esplorazioni sistematiche condotte soprattutto dallo Speleoclub Domusnovas, sono state scoperte una grande quantità di grotte di miniera, di dimensioni a volte anche molto grandi, al cui interno si sono rinvenuti mineralizzazioni e concrezionamenti molto importanti. Per citarne uno tra tutti, nelle gallerie pisane della grotta di San Giovanni ad Iglesias è stata esplorata una grande cavità di miniera al cui interno si trova la più grande colata di emimorfite del mondo (Forti, comunicazione personale).

Seppure ancora del tutto preliminari e disorganici, i risultati della esplorazione delle grotte di miniera sono risultati così promettenti che, nell'ambito del costituendo "Parco Minerario della Sardegna, è prevista la creazione di un apposito gruppo di studio misto, cui parteciperanno la Federazione Speleolo-

gica Sarda ed i suoi Gruppi Speleologici, l'Istituto Italiano di Speleologia assieme a ricercatori delle Università della Sardegna e del Continente, che si occuperà specificatamente della esplorazione prima e dello studio poi di questi particolari ambienti ipogei di "contatto" tra quelli naturali e quelli artificiali (De Waele *et al.*, 1999).

Conclusioni

Questa breve carrellata sulle concrezioni e mineralizzazioni presenti negli ipogei artificiali d'Italia, pur essendo necessariamente limitata e schematica, ha messo in evidenza il grande interesse che tali depositi secondari possono avere non solo per il ristretto ambito a cui si riferiscono ma anche per tutta la speleologia in generale.

In particolare lo studio sistematico dei depositi chimici secondari delle gallerie minerarie abbandonate, e soprattutto quello delle "Grotte di Miniera", potrà sicuramente portare nuove conoscenze non solo nel campo del concrezionamento e della minerogenesi secondaria di grotta, ma anche dare nuovi elementi per lo studio delle reazioni a bassa entalpia, che sono di fondamentale importanza per la genesi prima e la diagenesi poi dei giacimenti minerari carsici e non.

Nel prossimo futuro c'è quindi da augurarsi che innanzitutto in Italia, ma anche nel resto del mondo, le esplorazioni procedano non solo e non tanto per il solo rilevamento e la semplice descrizione morfologica degli ipogei artificiali, ma anche e soprattutto allo scopo di analizzare e studiare le concrezioni e le mineralizzazioni in essi ospitate, ricerche che sicuramente daranno notevoli soddisfazioni a coloro che vi si dedicheranno.

Bibliografia

- Bini A., Cadoni E., Forti P., Perna G., 1986, *La melanterite della grotta di Montevecchio (Sardegna Sud Occidentale)*; in Not. Min.Paleont. 48, p.7-13.
 Cadoni E., Forti P., Perna G., 1986, *La gaspeite magnesifera della miniera di San Giovanni*; in Riv. It. Minerl. 2, p.62-67.
 De Waele J., Forti P., Naseddu A., 1999, *Le grotte*

di miniera: un patrimonio scientifico e turistico; in Atti Conv. Minerario Sardegna, Cagliari, in stampa.

Di Colbertaldo P., Feruglio G., 1963, *I minerali tubolari di Raibl*; in Atti Soc. It. Sc. Nat. 102(1), p.53-73.

Fabbri M., Forti P., Moretti E., Wezel C., 1987, *Esplorazione e rilevamento dei cunicoli drenanti e di alcuni sotterranei del Palazzo Ducale di Urbino*; in Atti 2° Conv. Naz. Spel. Urbana, Napoli, p.29-40.

Fabretti R. G., 1690, *Emissarii Lacus Fucini Descriptio*; Roma , p.385-420.

Forti P., 1988, *A proposito di alcune particolari concrezioni parietali rinvenute nell'acquedotto romano della Val di Setta*; in Sottoterra n.79, p.21-28.

Forti P., 1994, *Il concrezionamento nel sistema di gallerie drenanti il bacino fucense*; in Burri E., "Il bacino del Fucino", Carsia Ed., Pescara, p.282-290.

Forti P., Marchesi G., 1996, *I concrezionamenti della Grotta Regina*; in Natura Bresciana 30, p.5-16.

Forti P., Perna G., 1983, *Studio morfologico e genetico delle pisoliti di aragonite rinvenute in due gallerie minerarie presso Iglesias (Sardegna Sud-occidentale)*; in Atti 14° Congr. Naz. Speleologia, 1982 , p.407-419.

Forti P., Perna G., 1988, *Genesi della Monteponite di Monteponi*; in Riv. It. Miner. 1, p.45-51.

Hill C.A., Forti P., 1997, *Cave Minerals of the World*; in Nat. Sel. Soc. , Huntsville, 464 pp.

Perna G., 1959, *Perle di grotta poliedriche della galleria ferroviaria di Bergeggi (Savona)*; in R.S.I. 11(1), p.18-20.

Rossetti V., Zucchini A., 1956, *Baritina della Grotta di Santa Barbara*; in Rend Sem. Fac. Sci. Univ. Cagliari, 3-4, p.240-255.

Sefton M., 1988, *"Manmade" speleothems*; in South African Spel. Ass. ull. 28, p.5-7.

Foto 6 - Acquedotto romano di Val di Setta: una bolla parietale ramificata (foto P. Forti).

