



Graziano Cancian

PISOLITI NELLA GROTTA DI BORIANO 125/135 VG NEL CARSO TRIESTINO

Riassunto:

Nella Grotta di Borianò (Carso Triestino) sono stati studiati tre depositi di pisoliti tramite analisi granulometriche, morfometriche, mineralogiche ed osservazioni al microscopio binoculare.

Il primo, che si trova vicino all'ingresso principale, sembra il piú antico ed è formato dal riempimento completo di una piccola conca concrezionata, dove sono avvenuti anche successivi fenomeni di cementazione calcitica.

Gli altri due, invece, si trovano nella parte piú interna della grotta, entro vaschette spesso riempite d'acqua.

Tutte le pisoliti sono risultate costituite da calcite, però negli ultimi due depositi è presente anche della sostanza carboniosa nera, che in un caso costituisce spesso il nucleo e nell'altro è intercalata nelle bande concentriche di accrescimento.

Probabilmente il materiale carbonioso deriva da qualche antico incendio sul Carso o da fuochi accesi in prossimità delle imboccature.

La struttura interna delle pisoliti rappresenta dunque una sorta di memoria degli avvenimenti passati e delle variazioni chimico-fisiche ambientali.

Abstract:

In the "Grotta di Borianò" (Borianò cave, Karst of Trieste) we studied three deposits of pisolites (pearls cave) by granulometric, morphometric and mineralogical analyses and by observations through the binocular microscope.

The first, that is near the chief entrance, seems the most old and it is formed by entire filling of a concretionary little basin, where successive phenomena of calcitic cementation happened too.

The other two, instead, are in the most interior side of the cave, in shallow cave pools often filled of water.

All pisolites are constituted by calcite, but a dark carbonaceous substance is present in the last two deposits, that in one case often it formed the nucleus and in the other it is intercalated in the concentric bands of increase.

Probably the carbonaceous substance is the evidence of some ancient great fire on the Karst or fires alight near the entrances.

Then the inside structure of the pisolites is a kind of memory of the past events and of the chemical-physical environmental changes.





1. LE PISOLITI DI GROTTA

Le pisoliti, dette anche “perle di grotta” (ingl.: *cave pearls*), sono concrezioni ben note agli speleologi e sono formate da un nucleo centrale attorno al quale si sono sviluppate delle bande concentriche di accrescimento.

Fanno parte del gruppo di concrezioni che si sviluppano per sommersione in acqua, solitamente entro vaschette.

Il loro diametro è in relazione alle caratteristiche chimiche e all’energia cinetica dell’acqua. Inoltre, se l’energia supera un certo valore, le pisoliti possono essere asportate dalla vaschetta, mentre, al contrario, se l’energia è molto scarsa, possono saldarsi al pavimento.

Generalmente evolvono verso la forma sferica, però il loro aspetto finale è controllato anche da altri fattori come l’erosione, lo spazio a disposizione, l’impedimento sterico, la sommersione parziale ed i parametri chimico-fisici dell’acqua. Per questo motivo si possono avere anche forme cilindriche, irregolari, cubiche, ecc. Una buona descrizione di queste concrezioni è data da Hill e Forti 1997.



Fig. 1: rilievo della grotta con i tre punti di studio delle pisoliti.

2. PISOLITI NELLA GROTTA DI BORIANO. ASPETTI GENERALI

La grotta si apre nei calcari cretatici del Carso Triestino (*membro di M.te Coste*) ed è caratterizzata, nella sua parte più interna, da diverse vaschette concrezionate (gours) sul pavimento, descritte anche in altri due studi presenti in questo volume (D. Cancian & U. Stocker 2012 e E. Predebon 2012). L’acqua è molto abbondante nei periodi piovosi, però, durante la siccità, quasi tutte le vaschette possono asciugarsi, come verificato in un nostro sopralluogo del 1° giugno 2011. Ne consegue che le caratteristiche idrologiche sono molto variabili.

Durante le ricerche abbiamo esaminato preliminarmente diverse pisoliti, poi abbiamo scelto di soffermare la nostra attenzione su tre depositi ritenuti rappresentativi.

Si avverte che il termine “pisolite” è qui usato in senso ampio ed indica tutte le concrezioni a struttura concentrica trovate dentro conche e vasche.

Tipo 1: consiste nel riempimento di una bassa ed irregolare depressione sopra una roccia concrezionata a circa 25 m dall’ingresso. Non è facile trovarlo perché le dimensioni sono ridotte, inoltre la depressione è priva d’acqua. Le pisoliti sono di colore biancastro – grigio chiaro e ad una prima impressione è facile scambiare per ghiaietta, inoltre sono associate ad un limo calcareo chiaro o marrone oppure sono cementate, almeno in parte, da calcite o da calcite terrosa. Le forme “libere” sono quindi solo una frazione del totale.





In definitiva si tratta di un deposito atipico, non più “attivo”, considerato che ormai qui le pisoliti non si formano ed accrescono più, anzi ora tendono ad essere cementate o ricoperte dal concrezionamento. Altri piccoli depositi dello stesso tipo si trovano nelle immediate vicinanze, sempre tra l’ingresso principale e quello a pozzo, nel lato destro (Nord-Est) della caverna.

Tipo 2: sono state osservate in una vaschetta situata nel tratto interno ed orizzontale della grotta, oltre il pozzo di alcuni metri, che rappresenta la parte più profonda della caverna. Sono caratterizzate dalla superficie decisamente “ruvida” e dal colore marroncino chiaro (colore “fango”). Sotto le pisoliti si trova uno strato nero di sostanza vegetale carbonizzata. Durante le nostre osservazioni, la vaschetta era spesso priva d’acqua. Si riempie solo nei periodi particolarmente piovosi.

Tipo 3: si trovano in un’altra vasca concrezionata a breve distanza dalla precedente, dove, di norma sono completamente o parzialmente immerse nell’acqua, anche se in una visita l’acqua era assente. Sono più compatte e la loro superficie è più liscia rispetto al tipo 2, ma il colore è lo stesso. La forma, invece, spesso diverge dalla sferica. In diversi casi sono irregolari, leggermente appiattite oppure hanno un aspetto che ricorda i coralloidi. Molte sono abbastanza lisce sul fondo e presentano forme coralloidi sulla parte superiore e sui fianchi. A prima vista non sembrerebbero pisoliti, ma se si indaga sulla loro struttura si scopre che presentano ugualmente un nucleo e bande concentriche di accrescimento.



Fig. 2: *i tre tipi di pisoliti.*





Fig. 3:
deposito di pisoliti del tipo 1

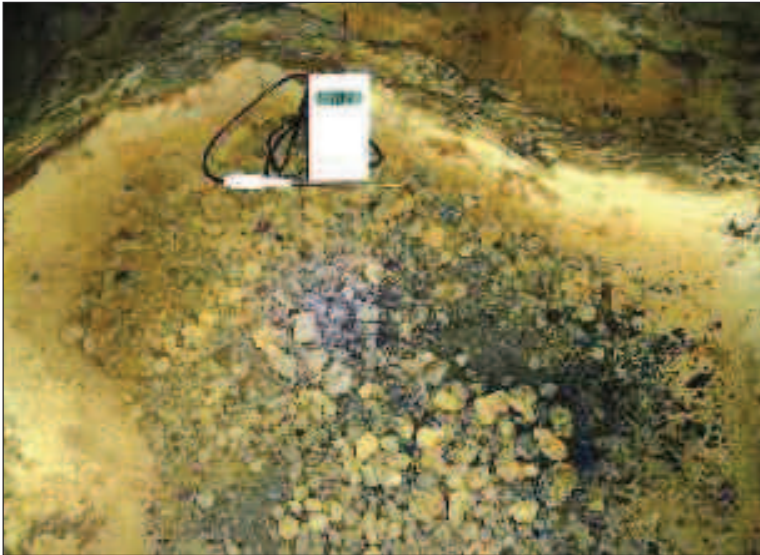


Fig. 4: *deposito 2.*
Sotto le pisoliti si trova uno strato di sostanza carboniosa nera.

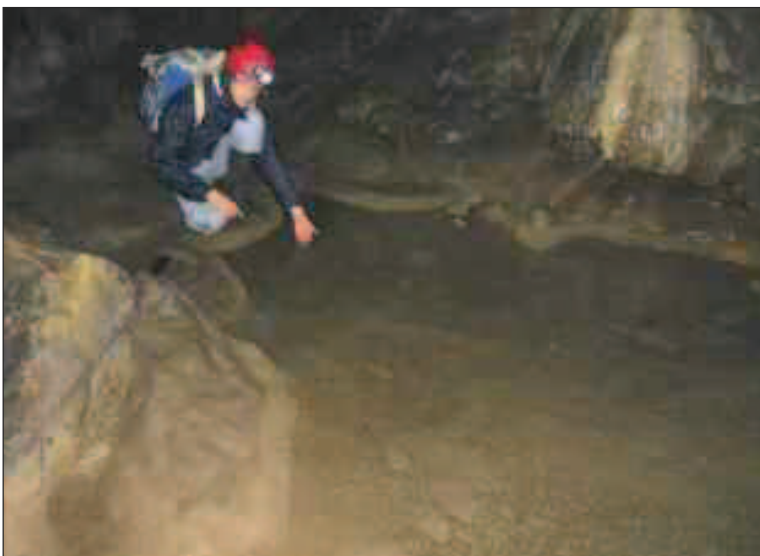


Fig. 5:
vasca con pisoliti del tipo 3.





3. ANALISI GRANULOMETRICHE, MORFOMETRICHE E PESI

Lo studio è stato effettuato assimilando i depositi pisolitici ad una ghiaia, pertanto sono state condotte analisi granulometriche e morfometriche.

Dai grafici delle analisi granulometriche (fig. 6) è stato possibile ricavare i seguenti parametri:

- mediana: (d₅₀)
- media: $(\varnothing_{16} + \varnothing_{50} + \varnothing_{84}) / 3$
- coefficiente di uniformità: d_{60} / d_{10}
- coefficiente di cernita di Trask: radice quadrata di d_{75} / d_{25}
- coefficiente di cernita (Folk e Ward): $(\varnothing_{84} - \varnothing_{16}) / 4 + (\varnothing_{95} \varnothing_5) / 6,6$

I dati ottenuti sono riportati in tab. 1:

	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3
mediana:	4,6 mm	8,5 mm	20,0
media	4,6 mm	9,1 mm	18,1
coefficiente di uniformità	2,17 (uniforme)	1,71 (uniforme)	1,49 (uniforme)
coefficiente di cernita di Trask:	1,25 (discret. classato)	1,45 (mediocr. classato)	1,49 (mediocr. classato)
coefficiente di cernita (Folk e Ward)	0,67 (discret. classato)	0,69 (discret. classato)	0,61 (discret. classato)

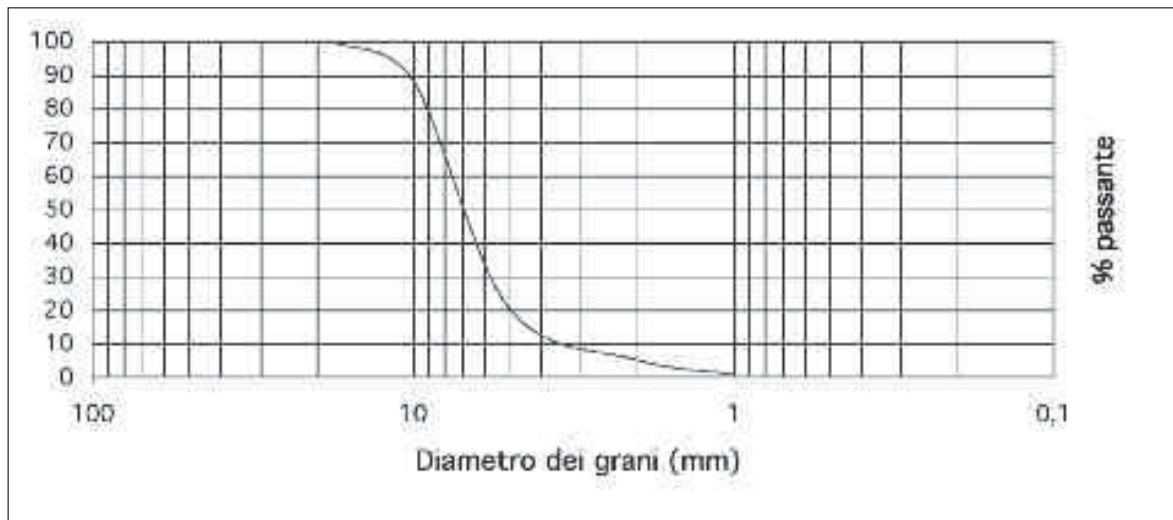
Tab. 1: caratteristiche granulometriche dei tre depositi di pisoliti.

Le dimensioni aumentano dal tipo 1 al tipo 3, inoltre, il sedimento è sempre uniforme e discretamente o mediocrementemente classato.

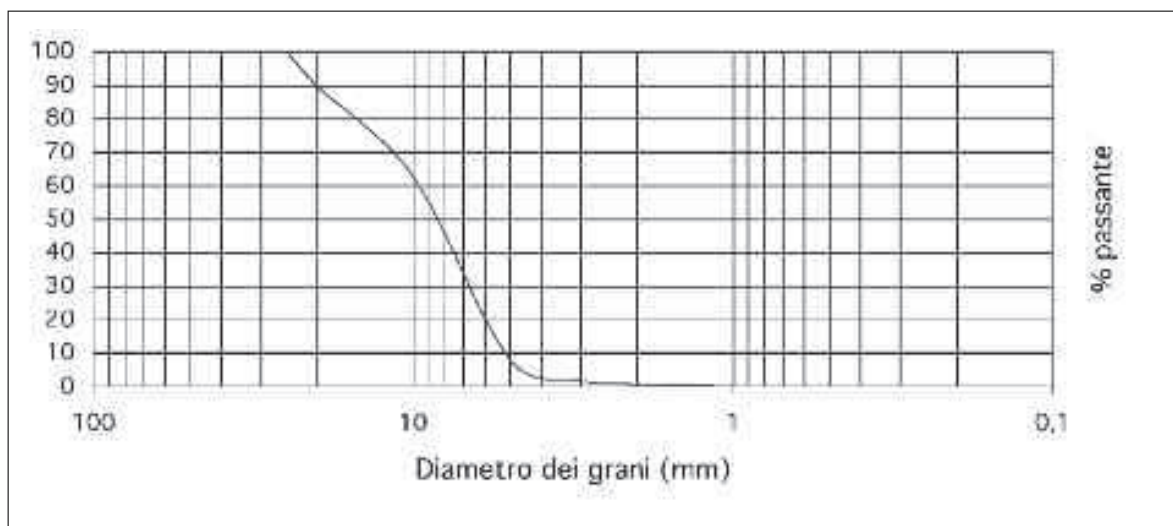




TIPO 1



TIPO 2



TIPO 3

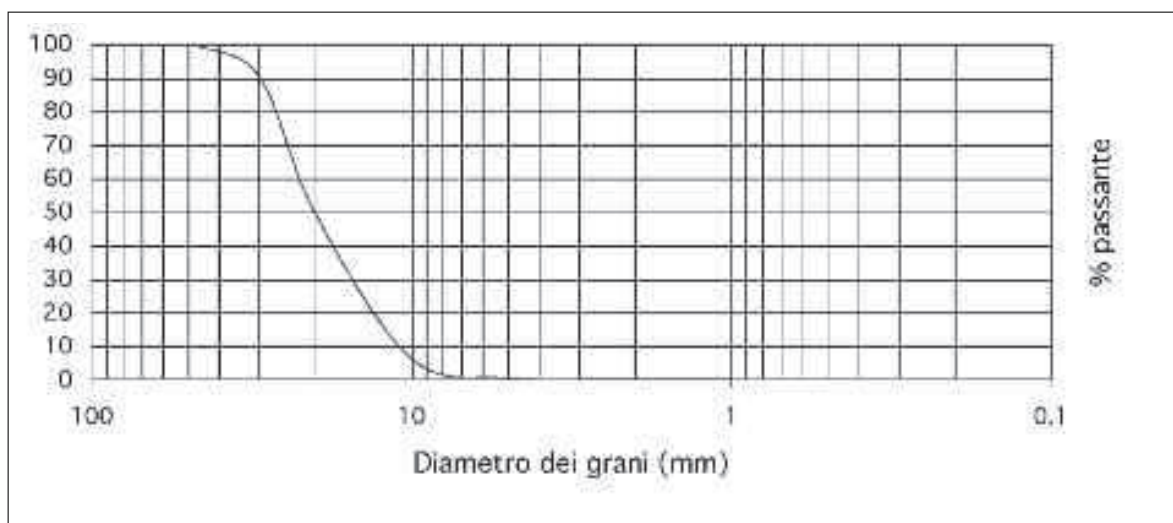


Fig. 6: curve granulometriche cumulative dei tre depositi di pisoliti.





Lo studio della forma è stato effettuato, poi, tramite la misura degli assi a, b, c delle singole pisoliti e mettendo i risultati nel diagramma ternario di Sneed e Folk.

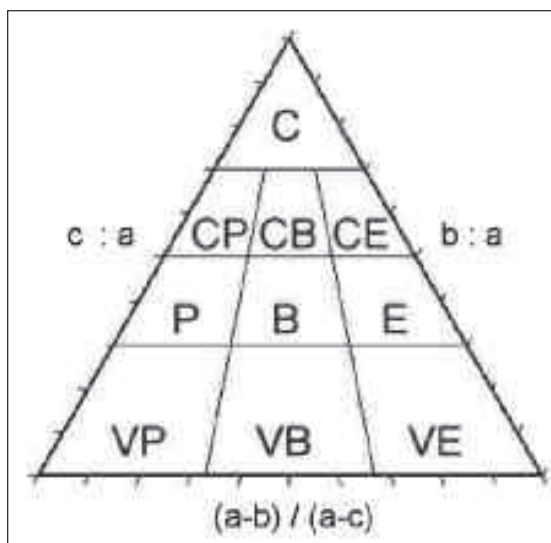


Fig 7: *diagramma di classificazione della forma di Sneed e Folk. C = compact (sferica) - CP = compact platy (sferica discoidale) - CB = compact bladed (sferica lamellare) - CE = compact elongated (sferica allungata) - P = platy (discoidale o appiattita) - B = bladed (lamellare) - E = elongated (allungata) - VP = very platy (molto appiattita) - VB = very bladed (molto lamellare) - VE = very elongate (molto allungata).*

I risultati ottenuti, come “distribuzioni percentuali” sono riassunti in tab. 2:

FORMA	TIPO 1 %	TIPO 2 %	TIPO 3 %
C	16	41	23
CP	21	11	14
CB	18	27	26
CE	2	16	18
P	9	0	5
B	18	0	7
E	9	5	7
VP	0	0	0
VB	5	0	0
VE	2	0	0

Tab. 2: *distribuzione percentuale delle classi di forma nei tre depositi.*





Le analisi indicano che le forme sferiche (C) e derivate (CP, CB, CE) sono le più frequenti. La sfericità maggiore si ha nel tipo 2, dove C è pari al 41 %.

La maggiore diversità di forme, invece, si ha nel tipo 1.

Come è stato detto in precedenza, lo sviluppo delle pisoliti è strettamente correlato all'energia dell'acqua, infatti, gli strati concentrici continuano a formarsi finché la concrezione può muoversi, anche con leggere vibrazioni. Se il loro peso aumenta oltre un certo limite, non si muovono più e si saldano al pavimento.

Per questo motivo si è ritenuto utile misurare il loro peso. I risultati sono riportati in tab. 3.

	Intervallo di pesi più frequenti (g)	Peso massimo (g)
Deposito 1	0,2 – 3,0	6,0
Deposito 2	1,0 – 7,2	29,5
Deposito 3	4,6 – 25,3	72,0

Tab. 3: *pesi delle pisoliti.*

E' interessante notare che per muovere – o almeno far vibrare - un elemento di 72 grammi (deposito 3) l'acqua deve avere un'energia non certo bassa.

4. OSSERVAZIONI AL MICROSCOPIO, STRUTTURA INTERNA E MINERALOGIA

Le analisi mineralogiche sono state effettuate tramite diffrazione a raggi X (metodo nelle polveri) nel Dipartimento di Geoscienze, Università di Trieste.

Tipo1 :

il nucleo è costituito spesso da un frammento di calcare nerastro (con tutta probabilità roccia del posto), talora subarrotondato e subordinatamente da piccoli grumi di sabbia calcarea cementata da calcite o da limo argilloso di colore grigio-verde chiaro.





Fig. 8: *struttura interna di due pisoliti del tipo 1. Nella superiore il nucleo è costituito da un grumo di limo argilloso e sabbia. Nella concrezione inferiore, invece, il nucleo è costituito da calcare nero.*

Il ricoprimento è dato da strati concentrici di calcite biancastra, microcristallina, per uno spessore generalmente di un paio di millimetri soltanto, anzi di solito lo spessore del ricoprimento è inferiore al diametro del nucleo. La superficie esterna è liscia.

L'analisi diffrattometrica ha dimostrato il minerale più abbondante, che costituisce queste pisoliti, è la calcite. Eventualmente solo nel nucleo si possono trovare anche i minerali delle argille.

La composizione di un fango calcareo che si trova assieme alle pisoliti, è stata così stimata: fillosilicati 56%, calcite 39%, quarzo 3%, gibbsite 2%.

Per potere caratterizzare meglio i fillosilicati, il campione è stato trattato con HCl allo scopo di eliminare tutta la calcite. Con sorpresa, si è visto che non sono costituiti dal solito "quartetto" che si trova nelle terre rosse del Carso (illite, clorite, caolinite, smectite) ma soltanto da illite.

La scoperta è stata interessante perché ora si pone un interrogativo sull'origine di questo materiale, argomento che richiede ulteriori indagini, che ora esulano da questo studio.





Tipo 2:

di solito il nucleo è costituito da un frammento carbonioso nero. Questo stesso materiale è abbondante anche nel fondo della vaschetta, al di sotto delle pisoliti. Subordinatamente il nucleo è formato da anche qualche frammento di concrezione calcitica. Le bande concentriche di accrescimento non sono bene evidenti ed i singoli cristalli sono visibili con una normale lente o apprezzabili già ad occhio nudo.

L'analisi diffrattometrica ha evidenziato la presenza di sola calcite.



Fig. 9: *struttura interna di due pisoliti del tipo 2. Il nucleo è costituito da un frammento di legno carbonizzato.*

Tipo 3:

Il nucleo è spesso costituito da frammenti appiattiti di calcite, però, in questo caso gli strati di rivestimento sono bene evidenti, submillimetrici e millimetrici e sono microcristallini. E' interessante sottolineare che alcuni sono neri a causa del contenuto carbonioso.

Inoltre, talvolta, in sezione, le bande di accrescimento hanno un andamento quasi rettangolare o ellittico.

Le pisoliti, comunque, si differenziano dalle precedenti anche perché sono più dure e più compatte. L'analisi diffrattometrica ha evidenziato solo la calcite, mentre la patina superficiale marrone è risultata costituita da abbondante calcite seguita da quarzo e fillosilicati.





Fig. 10: *struttura interna di pisoliti del tipo 3.*

5. FORME INTERMEDIE

Le nostre indagini hanno dimostrato, inoltre, che esistono pisoliti con caratteristiche morfologiche intermedie tra i tipi 2 e 3.



Fig. 11: *sezioni di pisoliti.*





Le dimensioni del nucleo, infatti, possono essere diverse e gli strati concentrici di rivestimento possono avere diversi gradi di regolarità, inoltre, la sostanza carboniosa può essere più o meno abbondante. Ad esempio, le pisoliti della prima fila (a, b, c, d) sono le più dure, con anelli di accrescimento abbastanza evidenti e scarsa sostanza carboniosa.

Al contrario, le pisoliti dell'ultima fila (i, l, m, n) sono meno dure, con bande di accrescimento meno regolari, cariate e con maggiore presenza di sostanza carboniosa.

La forma e la struttura interna dipendono molto anche dal livello dell'acqua, che può variare entro le due condizioni estreme, cioè dal completo riempimento della vaschetta al suo completo prosciugamento.

Queste oscillazioni possono avere influito, ad esempio, nelle pisoliti "e" ed "f", infatti, dopo una prima fase di rivestimenti concentrici, tipici della sommersione completa in acque sature, pare che si siano formati dei coralloidi nella superficie, esattamente come accade per il tipo 3 precedentemente descritto, quando si ha emersione parziale o totale. Poi, per un ritorno alle condizioni di sommersione totale, sopra la struttura coralloide si è depositato un altro strato calcitico di rivestimento. Sono state notate anche pisoliti con parete molto irregolare e carature, fenomeni dovuti con tutta probabilità ad alternanze di momenti incrostanti e corrosivi, per variazione degli equilibri chimici delle acque.

6. IPOTESI SULL'ORIGINE DEL MATERIALE CARBONIOSO

Poiché il materiale carbonioso nero ha condizionato lo sviluppo delle pisoliti dei depositi 2 e 3, ci si è posti l'interrogativo della sua origine.

Considerato che la grotta è di facile accesso e che è stata usata anche durante la prima guerra mondiale, è ovvio che si pensi subito a fuochi accesi più volte nell'interno. L'esperienza, però, ci insegna che in questi casi il fumo provoca l'annerimento delle pareti e della volta, cosa che qui non si nota. Inoltre sono stati trovati frustoli carboniosi del tutto simili a quelli presenti in certe vaschette, anche in altre parti della grotta e persino entro la terra rossa, al di sotto del crostone concrezionario del pavimento, il che indica che l'arrivo di questi materiali si è verificato in più riprese ed anche in tempi più antichi.

Vale la pena di aggiungere che – in qualche anfratto della galleria - sono stati osservati anche dei vecchi pezzi di legno, ma in questo caso stavano marcendo e non certo carbonizzando.

A nostro avviso, perciò, questi residui carbonizzati potrebbero rappresentare la testimonianza di qualche antico incendio, fatto non certo raro nelle superfici del Carso o, in seconda ipotesi, a fuochi accesi presso le imboccature. Il materiale carbonizzato, minuto e quindi leggero, potrebbe essere stato poi facilmente trasportato entro la grotta durante in periodi particolarmente piovosi, quando si hanno fenomeni di ruscellamento temporaneo in superficie. Nel caso della Grotta di Borianò ciò è facilitato dal fatto che essa si apre lungo un versante relativamente ripido.

Ovviamente queste sono solo delle ipotesi sulle quali, però, ci sembra che valga la pena indagare più a fondo.

Con lo scopo di approfondire le indagini è stata eseguita un'analisi al diffrattometro a raggi X della sostanza nerastra che si trova nel deposito 2. Si è ottenuto un grafico caratterizzato da riflessi molto poco pronunciati, il che significa che la maggior parte della sostanza è amorfa o quasi. I picchi più evidenti appartengono alla calcite, la cui presenza, però, è scarsa. Tra i rimanenti, invece, il più





chiaro è quello a 3,35 Å seguito da altri, molto ridotti a 2,13 – 2,02 – 1,68 Å. In questo caso, quattro soli riflessi, poco marcati, non sono certo sufficienti per classificare con sicurezza il materiale, comunque sono abbastanza simili a quelli della grafite (JCPDS 23-64), che è costituita appunto da carbonio.

Questi risultati sono compatibili con la composizione della cenere da legna.

7. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La nostra ricerca ha permesso di trarre diverse conclusioni.

Innanzitutto si è dimostrato che il primo deposito, situato abbastanza vicino all'ingresso principale, ha un'origine ed una storia completamente diverse dagli altri che si trovano nella parte più interna della grotta.

Sembra che questo deposito sia dovuto ad un leggero scorrimento di acque, forse provenienti anche dall'attuale ingresso principale della grotta, ma l'energia deve essere stata piuttosto bassa perché si sono depositati pure limi argillosi. Le condizioni ambientali, inoltre, sono state sicuramente tranquille perché gli strati concentrici che ricoprono il nucleo sono microcristallini, compatti, poco diversificati, senza impurità, imperfezioni e carature.

Successivamente, con l'evoluzione delle condizioni ambientali, si sono verificati fenomeni di cementazione e ricoprimenti parziali da parte di calcite concrezionaria, dovuta allo stillicidio.

Non si esclude, però, che anche le pisoliti, o almeno una parte di esse, abbiano subito un trasporto. Del resto, la curva granulometrica (fig. 6), con le due "code", è tipica di un sedimento ghiaioso che è stato soggetto ad un trasporto.

L'origine di questo materiale è tuttora incerta, anche perché la composizione mineralogica del fango, costituito prevalentemente da calcite e illite, senza gli altri fillosilicati (clorite, caolinite, smectite) è diversa da quella delle terre rosse del Carso.

In ogni caso, si tratta di un deposito antico dove le pisoliti non sono più in formazione e accrescimento.

Nelle immediate vicinanze sono state osservate pisoliti simili, sempre entro qualche piccola depressione della roccia, ma in questo caso sono interessate dall'acqua di stillicidio, che è abbondante solo in periodi limitati.

I depositi più interni, invece, si trovano entro le vaschette e le pisoliti si formano e si evolvono tuttora.

Le loro caratteristiche sono strettamente dipendenti dal livello dell'acqua che può variare notevolmente, ossia le può sommergere del tutto, solo parzialmente o lasciarle completamente allo scoperto.

Ad esempio, nel terzo deposito, la presenza di diverse forme con una certa tendenza all'appiattimento e strutture coralloidi in superficie, sembra dovuta appunto a condizioni di sommersione parziale prevalente.

Ovviamente, anche le caratteristiche chimiche possono mutare, spesso in concomitanza alle variazioni di livello idrico, perciò le acque possono essere incrostanti, ma anche in equilibrio e talora aggressive. In definitiva, il grado di soprassaturazione influenza la struttura interna.

A questo proposito è importante ricordare che in diverse vaschette si sono verificati arrivi di materiale carbonioso estraneo. Questo materiale, assimilabile a cenere di legna, ha la caratteristica di





avere inizialmente un pH basico, perciò, il suo arrivo entro alcune vasche, come nel deposito 2, può aver provocato una rapida precipitazione del carbonato di calcio ed i frammenti carbonizzati hanno svolto la funzione di nucleo di aggregazione. Si sono formate così delle pisoliti che si sono accresciute più rapidamente delle altre. Ciò spiega la minore evidenza delle bande di accrescimento, le maggiori dimensioni dei cristalli e la maggiore frequenza di forme sferiche.

Dove, invece, il materiale carbonioso è arrivato in maniera più scarsa, è stato inglobato solo parzialmente negli strati di accrescimento, come nel terzo deposito.

In conclusione, le variazioni di livello dell'acqua, le variazioni chimiche e l'arrivo di materiale estraneo ha dato luogo a vari momenti di sviluppo delle pisoliti: accrescimento normale, accrescimento parziale, sviluppo di strutture coralloidi, fenomeni di corrosione, ecc. Le pisoliti che noi oggi troviamo sono quindi il risultato della sommatoria di tutti questi processi.

La loro forma e soprattutto la loro struttura interna, perciò, rappresentano la "memoria" degli avvenimenti passati, come accade, per fare un paragone, con gli anelli di accrescimento dei tronchi degli alberi.

Ringraziamenti:

l'autore ringrazia il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste per aver permesso l'effettuazione delle analisi diffrattometriche ed Elisabetta Predebon per la collaborazione nelle ricerche in grotta.

BIBLIOGRAFIA

CANCIAN D., STOCKER U. (2012): *La Grotta di Boriano 125/135 VG nel Carso Triestino: alcune caratteristiche fisiche e chimiche delle acque contenute nelle "concrezioni a vasca" (gours)*. Studi e Ricerche, Soc. di St. Carsici Lindner, Ronchi dei Legionari.

HILL C., FORTI P. (1997): *Pearls Cave*. In: *Cave minerals of the world*, pp. 84-86, Nat. Spel. Society, Untsville, USA.

PREDEBON E. (2012): *La Grotta di Boriano*. Studi e Ricerche, Soc. di St. Carsici Lindner, Ronchi dei Legionari.

