

SOMMARIO



In copertina
Il Canyon della Calindri
(foto D. Odorici - G.S.B.-U.S.B.)

Retro di copertina
**Stalattiti e infiorescenze gessose
nel ramo prima della Sala**
(foto P. Grimandi - G.S.B.-U.S.B.)

*Le foto pubblicate
in questo numero sono di:*

E. Altara: pag. 7
C. Busi: pag. 78, 80
G. Cipressi: pag. 44
D. Demaria: pag. 11
L. Fantini: pag. 13
P. Ferrieri: pag. 33, 34/b, 36, 37
P. Forti: pag. 31, 34/a, 35, 39, 88, 89
P. Grimandi: pag. 18, 21, 27, 29, 43, 45, 53
D. Odorici: pag. 17, 20, 22, 25/a, 42, 64, 73
J. Palumbo: pag. 67
P. Pontrandolfi: pag. 25/b
D. Postpischl: pag. 5
A. Rossi: pag. 48, 50
M. Tonelli: pag. 77, 79
M. Vianelli: pag. 23
Archivio GSB-USB: pag. 91
Museo Civico Arch. di Bologna: pag. 74
Museo L. Donini: pag. 69

110



INDICE

Abstract <i>a cura di Jeremy Palumbo</i>	pag. 2
Presentazione	pag. 3
Introduzione	pag. 4
1964: la scoperta e l'esplorazione della Grotta Serafino Calindri <i>di Giancarlo Zuffa</i>	pag. 5
Il Sistema carsico della Grotta Calindri <i>di Danilo Demaria e Paolo Grimandi</i>	pag. 7
I depositi chimici presenti nella Grotta Calindri <i>di Paolo Forti</i>	pag. 31
Androniscus dentiger	pag. 42
La circolazione dell'aria	pag. 44
Caratteri morfoscopici, petrografici e mineralogici dei riempimenti della Grotta Calindri <i>di Antonio Rossi e B.S.L. Mazzarella</i>	pag. 45
I reperti fossili würmiani <i>di Paolo Reggiani</i>	pag. 67
La frequentazione umana <i>di Fiamma Lenzi</i>	pag. 71
Indagini archeometriche sui manufatti in scagliola della Grotta Calindri <i>di Antonio Rossi e Danilo Demaria</i>	pag. 76
I Foraminiferi: un elemento alternativo di interpretazione nello studio delle grotte <i>di Giuliana Panieri</i>	pag. 82
1964 - 1987: la salvaguardia della Calindri <i>di Paolo Grimandi</i>	pag. 87
Bibliografia	pag. 94

Allegato il Rilievo della Grotta Calindri.

*Rivista di Speleologia del
GRUPPO SPELEOLOGICO BOLOGNESE
e dell'UNIONE SPELEOLOGICA BOLOGNESE
Anno XXXIX n° 110 - Gennaio-Giugno 2000*

Antonio Rossi*
& Bianca Serena Lucia Mazzarella



Caratteri morfoscopici, petrografici e mineralogici dei riempimenti della Grotta Calindri

Riassunto

Sulla Grotta Calindri sono stati condotti negli ultimi anni studi multidisciplinari (paleontologici, mineralogico-petrografici, geologici) che hanno evidenziato la peculiarità di questa cavità. La presente indagine, che rappresenta la prosecuzione di una precedente ricerca (Rossi & Mazzarella, 1998), ha lo scopo di apportare ulteriori dati, informazioni e considerazioni su uno degli aspetti geologici di maggior rilevanza presenti all'interno di questo e di altri sistemi carsici sotterranei, quali appunto sono i riempimenti fisici.

Premessa

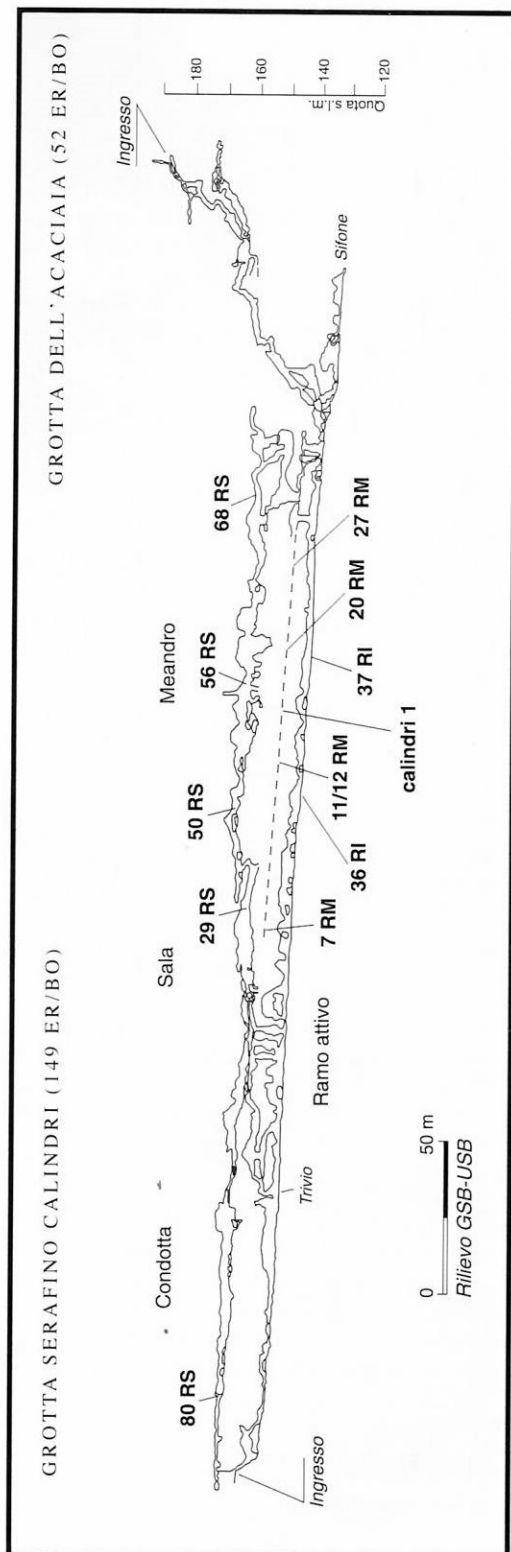
Lungo il fronte appenninico padano le rocce solfatiche di età messiniana si presentano in genere sotto forma di corpi lentiformi a sviluppo anche chilometrico che, con soluzione di continuità, si estendono dalla colline reggiane fino a quelle romagnole. Tali rocce appartenenti alla *Formazione Gessoso-solfifera*, sono caratterizzate dalla presenza di numerosi fenomeni carsici superficiali ed ipogei, talora anche di notevole sviluppo. All'interno di molti dei sistemi sotterranei si incontrano depositi clastici secondari, estremamente variabili soprattutto nella dimensione dei frammenti componenti. Queste presenze all'interno della Grotta Calindri, complesso ipogeo che si sviluppa su una serie di livelli collegati fra loro, rappresentano i relitti di antichi fenomeni di riempimento fisico ricollegabili a fasi climatiche eccezionalmente piovose e a situazioni geologiche e ambientali del tutto particolari.

Nel presente lavoro vengono esposti i risultati di indagini morfoscopiche, mineralogiche e petrografiche condotte su campioni prelevati da riempimenti dei tre livelli principali che contraddistinguono lo sviluppo di tale cavità (Fig. 1).

Metodologia d'indagine

Oltre a 16 campioni di riempimenti fisici, ne sono stati studiati anche alcuni di roccia del bancone gessoso entro cui si è sviluppato il sistema carsico, prelevati all'altezza dei 3 piani principali. Su di essi è stata effettuata, dapprima, una descrizione macroscopica completata da osservazioni con stereomicroscopio fino a 100 ingrandimenti; successivamente su provini specifici è stato effettuato un esame mediante microscopio polarizzante per riconoscere, oltre alle fasi mineralogiche componenti, anche i caratteri tessiturali della roccia stessa. Sugli stessi campioni sono state anche effettuate determinazioni diffrattometriche mediante raggi X per discriminare soprattutto i carbonati principali, talora di difficile distinzione al microscopio. Le stesse indagini analitiche sono state condotte anche su alcuni frammenti di un crostone calcareo (vedi Fig. 2a), di spessore decimetrico, presente nella parte inferiore del riempimento della Condotta.

Di ogni campione proveniente dai riempimenti fisici (generalmente del peso di alcuni chilogrammi), operando ad umido, si sono suddivisi i clasti componenti secondo le classi granulometriche di



Wentworth. Si sono così definiti:

1. Ciottoli:
 - a. Ciottoli grossolani, diametro 128-64 mm
 - b. Ciottoli medio-grossolani, diametro 64-32 mm
 - c. Ciottoli medi, diametro 32-16 mm
 - d. Ciottoli medio-fini, diametro 16-8 mm
 - e. Ciottoli fini, diametro 8-4 mm
2. Granuli: \varnothing 4-2 mm
3. Sabbia:
 - a. Sabbia molto grossolana, diametro 2-1 mm
 - b. Sabbia grossolana, diametro 1-0,5 mm
 - c. Sabbia media, diametro 0,5-0,25 mm
 - d. Sabbia fine, diametro 0,25-0,125 mm
 - e. Sabbia molto fine, diametro 0,125-0,0625 mm
4. Limo o Silt: diametro 0,0625-0,0039 mm
5. Argilla: diametro < 0,0039 mm

Per semplificare la presentazione dei dati, si è fatto riferimento ai 5 raggruppamenti principali (sopra riportati), ciascuno dei quali corrisponde alla somma delle singole classi granulometriche che lo compongono.

Fino alla frazione sabbiosa molto fine si è operato utilizzando normali setacci della serie DIN, mentre le classi inferiori (silt e argilla) sono state determinate con il metodo dei Levigatori di Appiani.

Tutti i clasti delle frazioni granulometriche di diametro > 1 mm sono state sottoposte a diagnostica petrografia mediante riconoscimento macroscopico affiancato da osservazioni con stereomicroscopio. I litotipi riconosciuti sono: *Gesso*, *Calcare*, *Arenarie*, *Concrezioni gessose*, *Concrezioni calcaree* e *Selci*.

Sono stati individuati anche frammenti osteologici e di organismi (probabilmente Bivalvi e Gasteropodi) che, date le loro ridotte dimensioni e la loro rara frequenza, non sono stati considerati significativi.

Sulle frazioni granulometriche di diametro < 1 mm sono state eseguite determinazioni della composizione mineralogica mediante diffrattometro a raggi X. In quest'ultimo caso, avendo operato in condizioni strumentali e con quantità di campione pressoché costanti, oltre al riconoscimento delle fasi mineralogiche presenti, sono state anche espresse soggettive valutazioni semiquantitative della loro variabile presenza nelle singole frazioni granulometriche.

Con i raggi X sono stati riconosciuti i seguenti minerali:

- tra gli ossidi: *Quarzo*

- tra i silicati: *Feldspato*, *Illite/Mica argillosa*, *Clorite*
- tra i carbonati: *Calcite* e *Dolomite*
- tra i solfati: *Gesso*
- *Sostanza amorfa*: solitamente costituita da materiale vegetale carbonizzato, ossidi vari e quant'altro privo di organizzazione cristallina e derivato dalla alterazione-distruzione di frammenti delle litologie riconosciute.

Va ricordato che, per quanto riguarda la *Sostanza amorfa*, le valutazioni semiquantitative soggettive della sua presenza si sono basate sulla particolare posizione assunta nel diagramma diffrattometrico da ogni singolo tracciato.

Nel presente studio non sono stati presi in considerazione, fra i minerali, la *Caolinite*, la *Montmorillonite* e l'*Ematite* dei quali erano state espresse valutazioni semiquantitative nello studio del campione Calindri 1 (ROSSI & MAZZARELLA, 1998). Ciò in quanto le analisi diffrattometriche, effettuate su tutte le frazioni medio-fini dei 16 campioni indagati, non hanno fornito picchi di interferenza indicativi di dette fasi cristalline.

La petrografia del bancone gessoso

Descrizione macroscopica dei campioni di roccia

Si tratta sempre di aggregati cristallini di colore grigio scuro in corrispondenza delle zone media ed inferiore della cavità, e di colore grigio-nocciola, nei livelli più alti. Da notare che lungo tutta la cavità non sono mai stati osservati interstrati argillosi in posto, anche se non è da escluderne la presenza, ma solo come piccole tasche o in sottili lenti. I cristalli di Gesso hanno dimensioni quasi decimetriche nelle zone inferiori e centimetriche nelle parti alte del bancone carsificato; si intrecciano fittamente fra di loro ed hanno una prevalente disposizione spaziale, che vede in particolare gli individui geminati "a ferro di lancia" secondo il pinacoide {101} disposti pressoché verticalmente all'andamento della stratificazione (regola di Mottura). In molti casi si tratta di cristalli tabulari, pressoché idiomorfi, originati dalla combinazione di un pinacoide laterale {010} con un prisma verticale {110} ed uno obliquo {111}. Le sfaldature più facili e perfette, avvengono secondo il piano (010) (BERTOLANI E ROSSI, 1988).

Alla percussione si avverte il tipico odore fetido emanato da rocce contenenti sostanza organica; appaiono poi molto limitate le zone in cui compaiono spalmature di ossidi di Fe.



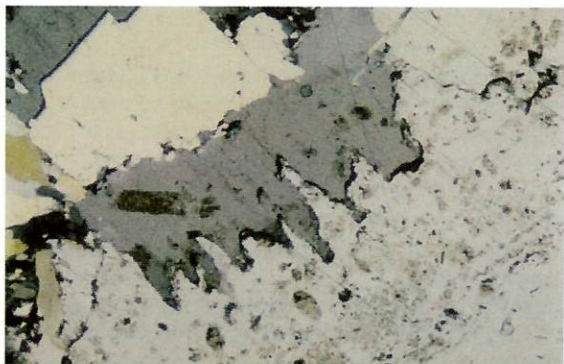


Foto 1. Livello inferiore: contatti indentati fra cristalli di Gesso (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).



Foto 4. Livello inferiore: intreccio di cristalli aciculari colorati di Anidrite immersi in un grande individuo di Gesso (Nicol X., dimensioni 1,2 x 0,8 mm).

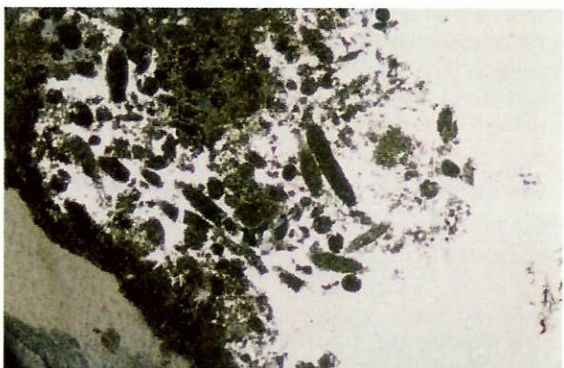


Foto 2. Livello inferiore: tracce stromatolitiche incluse nel Gesso (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).

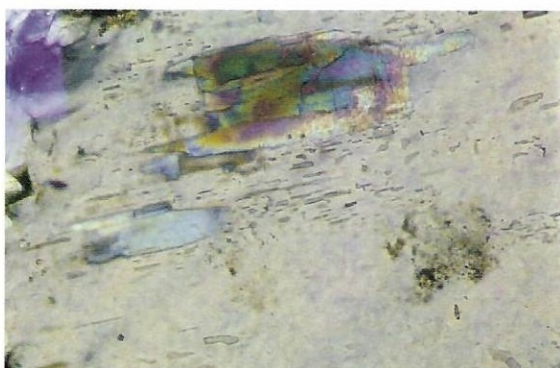


Foto 5. Livello inferiore: relitti colorati di Anidrite ed inclusioni fluido-gassose, immersi in un cristallo di Gesso (Nicol X., dimensioni 0,5 x 0,34 mm).

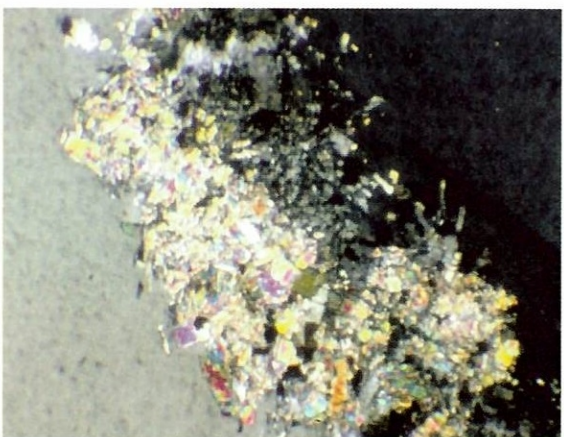


Foto 3. Livello inferiore: cristallo di Anidrite in fase di gessificazione (Nicol X., dimensioni 2,5 x 1,7 mm).

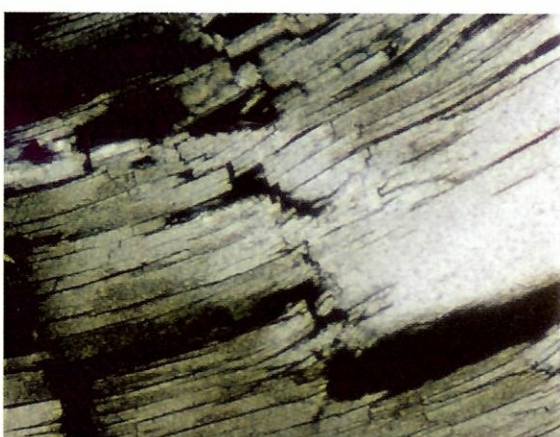


Foto 6. Livello intermedio: Cristallo di Gesso con deformazioni da stress (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).

Va inoltre ricordato che sulle pareti della cavità, a luoghi, è possibile osservare manifestazioni di Gesso secondario, sia fibroso (tipo "Sericolite") che in grandi individui limpidi e trasparenti detti "specchio d'asino".

Descrizione microscopica delle sezioni sottili

Campioni del livello inferiore

Si riconoscono plaghe di grandi individui geminati di Gesso idiotopico (CIARAPICA et AL., 1985) con contatti intercristallini, talora sinuosi o indentati (Foto 1), oppure bande di termini xenotopici ricristallizzati, che si associano formando una evidente tessitura a mosaico. Rari gli aggregati a "rosetta" e a "palizzata". Sia ai bordi dei cristalli (in modo concentrato) che all'interno (in forma dispersa) si riconoscono micriti carbonatiche talora associate a finissimo materiale argilloso. Dove le micriti sono maggiormente concentrate si riconoscono talora piccoli individui pressoché euedrali di *Quarzo*. Sempre in forma micritica sono presenti piccoli cristalli che l'indagine diffrattometrica ha indicato essere di *Calcite*, i quali hanno completamente sostituito corpi tondeggianti, allungati o schiacciati, interpretabili come originarie presenze algali (Foto 2) di natura stromatolitica (VAI E RICCI LUCCHI, 1977). Rari e solitamente localizzati in prossimità dei bordi degli individui di Gesso, sono presenti cristalli prismatici fratturati di *Anidrite* (CaSO_4) avvolti da sottili bande di materiale solfatico diverso, probabilmente di *Bassanite* ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), a conferma di un fenomeno progressivo di gessificazione del solfato anidro (Foto 3). L'*Anidrite* può anche presentarsi sotto forma di sottilissimi aghetti che, a luoghi, sembrano identificare una tessitura feltrosa (Foto 4). All'interno dei cristalli di Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), in corrispondenza dei loro piani di sfaldatura, a forti ingrandimenti, sono riconoscibili piccole inclusioni di forma diversa e, in parte, di probabile natura fluida o gassosa (Foto 5).

Campioni del livello intermedio

Dal punto di vista composizionale anche la zona intermedia dal bancone presenta forti analogie con quella inferiore. Va tuttavia notata una maggior presenza di Gesso secondario in bande a "palizzata" oppure in plaghe di individui xenotopici allungati e strettamente associati fra loro, probabili effetti di locali azioni deformative. Nei campioni

esaminati particolarmente evidenti sono i contatti indentati mentre all'interno di alcuni grandi cristalli di Gesso sono riconoscibili i tipici effetti legati ad azioni di stress (Foto 6). Meno abbondante che nella parte sottostante del bancone è la componente carbonatica micritica che tuttavia continua a localizzarsi soprattutto negli spazi infracristallini. Meno frequenti, ma ancora riconoscibili, sono le testimonianze della originaria presenza di stromatoliti. Molto rara è la componente anidritica, per lo più costituita da sottili prismi allungati che si concentrano in prossimità dei bordi dei cristalli di Gesso lungo i tratti terminali dei piani di sfaldatura. Non mancano, anche se rari, relitti di prismi anidritici dai contorni non ben definibili a causa dei fenomeni di progressiva idratazione. Infine nel Gesso, quando presente in grandi cristalli, sono numerose le sfaldature occluse da materiale argilloso bruno, intensamente pigmentato da ossidi.

Campioni del livello alto

Anche nella parte superiore del bancone la dominante componente gessosa presenta caratteristiche analoghe a quelle osservate nelle zone sottostanti. Va tuttavia rimarcato che qui numerosi grandi cristalli idiotopici di Gesso presentano, perifericamente, bande che testimoniano fasi di blastesi secondaria (Foto 7), rimarcate dalla presenza di pellicole di materiale micritico interposte fra i cristalli avvolti e le parti di neoformazione. Non mancano gli individui isolati o in aggregazioni di termini più piccoli, dalle perfette forme cristalline (Foto 8). Nei campioni di questa zona si rivela particolarmente abbondante la componente micritica, spesso anche concentrata in corpi torbidi di forma irregolare e di discrete dimensioni. All'interno di questa massa, che l'analisi diffrattometrica indica di *Dolomite* e in subordine di *Calcite*, talora compare Gesso sia in neomorfi perfettamente euedrali che in individui allotriomorfi, perifericamente aggrediti dalla componente carbonatica avvolgente. Sempre all'interno della massa micritica si possono osservare limitate plaghe di cristalli di Gesso xenotopico nuvoloso ameboide (Foto 9) oppure con tessitura granulare (Foto 10) o in sottili bande a "palizzata" (CIARAPICA et AL., 1985). I raggi X hanno inoltre indicato la presenza, non confermata al microscopio, di *Quarzo* probabilmente associato a impurezze argillose. Anche se non molto abbondante ma significativa è la presenza di *Anidrite*, confermata anche dai raggi X. Si tratta di frammenti isolati di



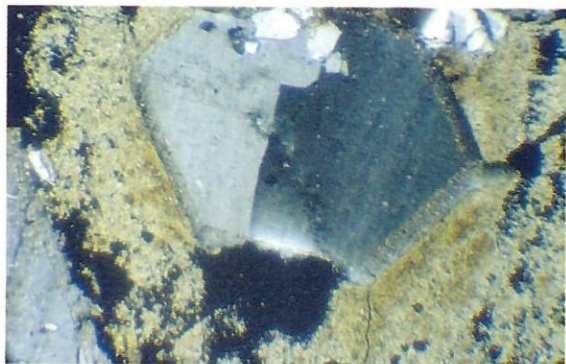


Foto 7. Livello alto: individui di Gesso geminato con bande grigio-scure di accrescimento ricche di inclusioni micritiche (Nicol X., dimensioni 2,5 x 1,7 mm).

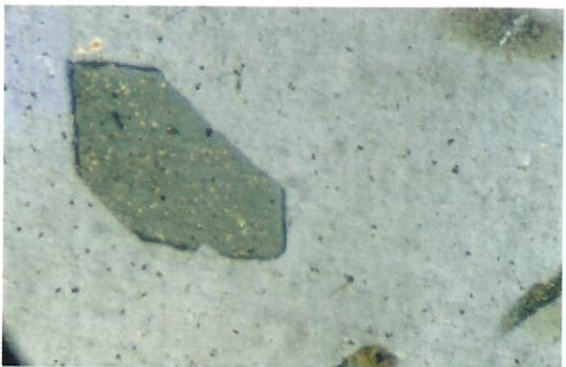


Foto 8. Livello alto: idiomorfo di Gesso con microinclusioni di Anidrite e Calcite (Nicol X., dimensioni 1,2 x 0,8 mm).



Foto 9. Livello alto: prismi relitti di Anidrite colorata a contatto con Gesso dalla tessitura xenotopica nuvoloso ameboide e microcristallina (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).

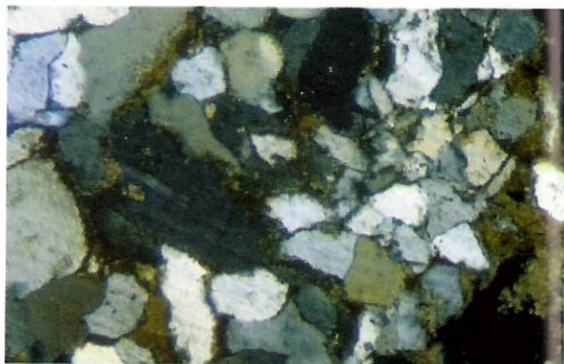


Foto 10. Livello alto: Gesso con tessitura Ipidiotopica granulare (Nicol X., dimensioni 1,2 x 0,8 mm).



Foto 11. Crostone calcareo: veli di accrescimento nella concrezione calcarea (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).

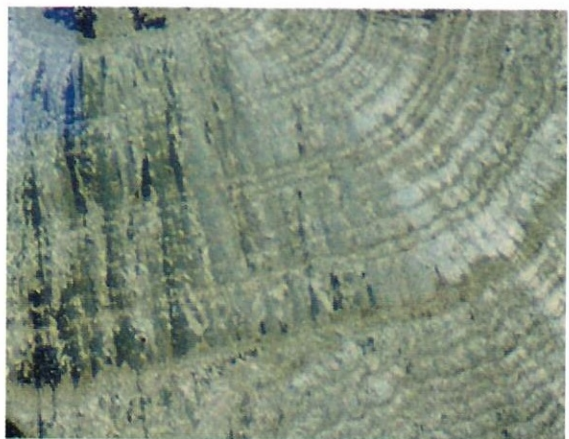


Foto 12. Crostone calcareo: estinzione a ventaglio nella concrezione calcarea (Nicol X., dimensioni 3 x 2 mm).

prismi spesso fratturati ma con ancora ben riconoscibile l'originaria connessione cristallina. Questo minerale può talora presentarsi anche in sottili aghetti, fra loro paralleli, localizzati soprattutto ai bordi degli individui di Gesso di maggiori dimensioni. Nei campioni di questa zona del bancone gessoso sono rare le tracce algali riconosciute nelle zone sottostanti.

La petrografia del crostone calcareo

Del crostone decimetrico di concrezione calcarea (campioni: 80 ERS e 80 RSF) che ricopre il materiale pelitico posto alla base del riempimento della Condotta (Fig. 2a), si sono ottenute, mediante osservazioni al microscopio polarizzatore, le seguenti informazioni composizionali e tessiturali. Si tratta di un deposito chimico, poroso ai margini e molto compatto nella parte centrale, costituito da innumerevoli veli di accrescimento (Foto 11) di spessore decimillimetrico, in genere subparalleli fra loro ma anche ondulati e deformati attorno a vacuoli o a microinclusioni cristalline. Ogni singola banda è esternamente delimitata da una sottile pellicola bruno-rossastra mentre nella parte interna sono allineati limpidi cristallini di calcite allungati perpendicolarmente rispetto ai bordi. Dove la concrezione è particolarmente compatta, si riconoscono ampie plaghe colonnari con estinzione a ventaglio o arborescente (Foto 12). Nella parte inferiore del crostone, oltre ad un bordo appena centimetrico ricco di vacuoli, si osserva una banda costituita da veli di accrescimento molto ravvicinati e pigmentati da ossidi di Fe o Mn oppure da materiale argilloso. I bordi interni di molti dei vuoti sono coronati da microscopici cristalli allungati di calcite le cui terminazioni apicali sono rivolte verso l'interno del vacuolo stesso.

Nella parte superiore della concrezione, in corrispondenza della superficie di molti veli di accrescimento, appaiono inglobate sottili lamelle di mica *Muscovite* e frammenti allungati di *Quarzo* e di *Feldspato* geminato, depositati dalle acque che fluivano sulle antiche superfici del crostone e inglobati dal carbonato che continuava a depositarsi.

Sempre inclusi nella concrezione si osservano anche individui sub-millimetrici di Gesso che, come precipitato secondario, può anche aver occluso alcuni dei vuoti presenti. E' in corrispondenza delle inclusioni che si riconoscono le maggiori deformazioni "a fungo" dei veli di accrescimento. Sono riconoscibili, anche se rari, neomorfi

sub-millimetrici di *Calcite* sempre occludenti vacuoli.

Ogni livello di concrezione è una evidente testimonianza della continua variabilità dei caratteri chimici delle acque che su di esso fluivano. Tali variazioni sono ricollegabili ad una ripetitività prolungata di micropulsazioni climatiche esterne legate a particolari fasi di piovosità, forse anche di tipo stagionale, che risultavano ognuna diversificata durante la formazione della parte interna o dell'orlo delle singole bande di concrezionamento. Queste condizioni si sono ripetute in modo costante durante tutto il meccanismo genetico di formazione della concrezione.

I riempimenti fisici

Caratteri macroscopici e ubicazione dei riempimenti studiati

I nuovi campioni studiati provengono da 11 diverse posizioni della grotta e sono rappresentativi dei depositi presenti nei tre principali livelli da cui è costituito il sistema carsico. L'appartenenza a detti livelli viene indicata con le sigle RS (ramo superiore), RM (ramo intermedio) e RI (ramo inferiore), rispettivamente posti circa alle seguenti quote: 160 m, 155-150 m e 145-140 m s.l.m. (Fig. 1). Alcuni materiali provengono da serie clastiche eterogenee indicative di cicli deposizionali completi, altri sono testimonianze relitto e isolate di fasi intermedie degli stessi eventi, senza escludere la possibilità che essi possano essere ricollegabili ad episodi di sedimentazione del tutto diversi.

I 5 campioni 80 (80RS, 80 RSA, 80 RSB, 80 RSC, 80 RSD), provenienti da un riempimento dello spessore di 170 cm ubicato nel tratto iniziale della Condotta, appartengono ad una successione di strati sovrapposti a granulometria prevalentemente fine (Fig. 2a).

Il campione 50 RS rappresenta il passaggio tra due diversi livelli, a granulometria da ciottolosa a sabbiosa-siltosa, di un riempimento esposto per circa 140 cm di altezza, caratterizzato da classazione diretta e con sottili intercalazioni di sedimenti fini nella parte alta, dove si riconoscono lenti di ciottoli (fig. 2b). Alla base di questa serie i clasti si dispongono in modo embriacato, sono poco arrotondati o, al massimo, debolmente smussati, e possono raggiungere dimensioni fino a 20 cm di diametro (Fig. 2b). Dallo stesso livello della grotta



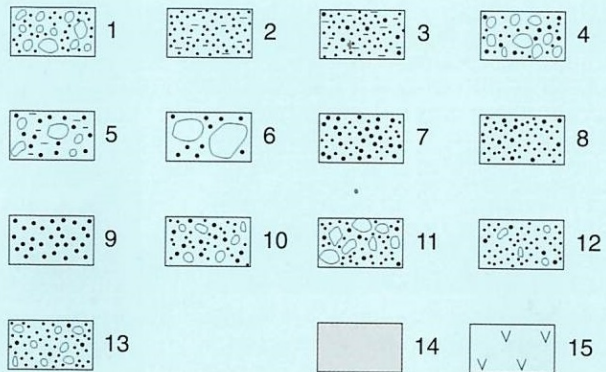
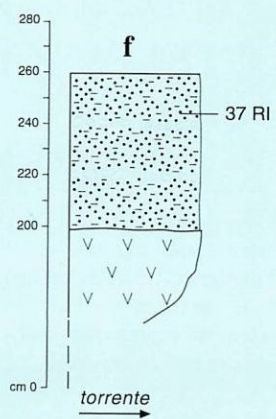
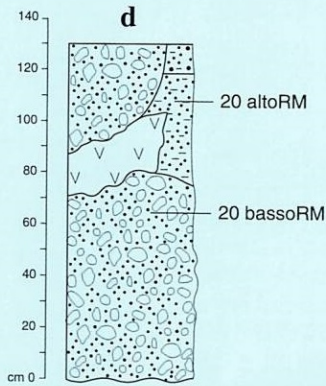
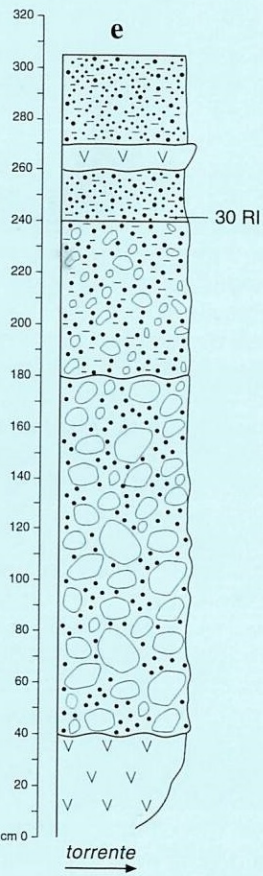
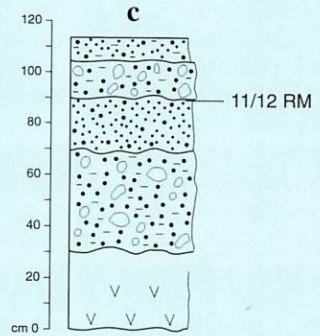
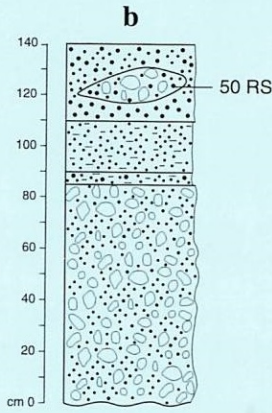
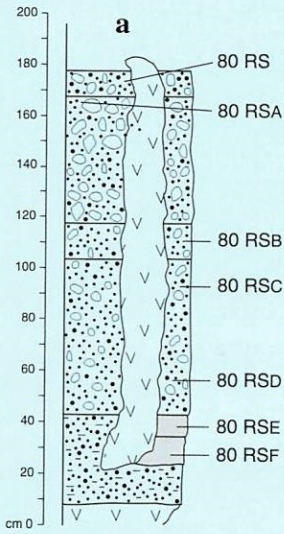




Foto 14. Il riempimento di provenienza del campione 30 RI

Fig. 2. (a fianco)

Sezioni stratigrafiche di alcuni dei riempimenti fisici indagati.

Principali composizioni granulometriche:

- 1 ciottolame con silt
- 2 silt debolmente argilloso
- 3 silt argilloso-sabbioso
- 4 ciottolame con sabbia e silt
- 5 ciottolame con sabbia ed argilla
- 6 ciottolame anche decimetrico con sabbia
- 7 sabbia siltosa
- 8 silt sabbioso
- 9 sabbia
- 10 silt ciottoloso-sabbioso
- 11 silt molto ciottoloso e sabbioso
- 12 silt con scarsa sabbia e pochi ciottoli
- 13 silt sabbioso-ciottoloso

Principali litologie in posto:

- 14 crostone calcareo
- 15 roccia gessosa

provengono anche: il campione 68 RS caratterizzato da eterogeneità dimensionale in prevalenza grossolana; il campione 29 RS costituito da quantità pressoché equivalenti di ciottolame e di sedimenti fini ed il campione 56 RS in cui alla prevalente frazione pelitica si associano ghiaie e sabbia. Dei riempimenti di appartenenza degli ultimi tre campioni non è stato possibile riconoscere i caratteri strutturali a causa degli scarsi spessori delle loro superfici esposte.

Dal livello intermedio provengono i campioni 20 basso RM e 20 alto RM appartenenti ad un deposito contraddistinto da clasti estremamente grossolani, con diametro fino a 15 cm nella sua parte inferiore, e da peliti siltose, in quella alta. Si tratta di un riempimento della potenza di 130 cm, con regolare ed evidente classazione diretta che, nella sua parte superiore, presenta testimonianze di una ripresa di episodi di sedimentazione molto grossolana con ciottoli centimetrici a spigoli vivi (Fig. 2d). A questo stesso livello della grotta appartiene il riempimento dello spessore di 80-85 cm da cui proviene il campione 11/12 RM. Si tratta, in particolare, del sedimento localizzato al passaggio tra due strati diversi, a componente fine e con spessore di 20 cm quello inferiore e più grossolano quello sovrastante che raggiunge i 15 cm di potenza. I caratteri granulometrici di detto riempimento sono chiaramente riferibili ad almeno due cicli deposizionali caratterizzati da notevoli variazioni dell'energia idraulica del paleotorrente sotterraneo a cui erano collegati (Fig. 2c).

Da questo stesso livello della cavità provengono il campione 27 RM, costituito in prevalenza da ciottolame assai grossolano frammisto a materiale soprattutto siltoso, ed il campione 7 RM, nel quale è assolutamente dominante la componente clastica fine. Entrambi questi materiali, per la limitata esposizione dei depositi di appartenenza, forniscono soltanto indicazioni sui meccanismi fisici della loro formazione e non su quelli, più complessi che, nello stesso livello, hanno invece portato alla sedimentazione dei più potenti riempimenti dai quali provengono i campioni 11/12 RM e i due del 20 RM.

Lungo il ramo inferiore sono stati prelevati i campioni 30 RI (Foto 14) e 37 RI, entrambi posti ad una altezza di oltre 2,4 m dall'alveo attuale del torrente ipogeo. Si tratta di sedimenti che probabilmente rappresentano le fasi terminali dei cicli deposizionali che occlusero un tempo questa parte della cavità. Il campione 30 RI, proveniente da un riempimento dello spessore di circa 265 cm, rappre-

senta il sedimento posto al passaggio tra clasti a media grossolanità nella parte inferiore e superiormente assai più fini. Alla base di questo riempimento sono numerosi i ciottoli di dimensioni anche decimetriche (Fig. 2e). Infine il campione 37 RI, posto su di una mensola naturale di roccia gessosa, appare in netta dominanza costituito da sedimento assai fine nel quale sono intercalati sottili livelli di piccoli ciottoli (Fig. 2f). Date le notevoli analogie macroscopiche e la vicinanza spaziale (circa 45 m) tra questi ultimi due campioni, non è da escludersi una loro coevità genetica.

Considerazioni suggerite dai dati granulometrici

La composizione granulometrica (Tab.1, Grafico 1), particolarmente indicativa in quanto ottenuta su campioni quantitativamente rappresentativi, porta alla seguente classificazione:

Campione:

80 RS	silt sabbioso-ciottoloso
80 A RS	silt con abbondanti ciottoli e sabbia
80 B RS	silt sabbioso con scarsi ciottoli
80 C RS	silt ciottoloso-sabbioso
80 D RS	silt sabbioso-ciottoloso
29 RS	silt con numerosi ciottoli e scarsa sabbia
50 RS	ciottolame siltoso-sabbioso
56 RS	silt ciottoloso-sabbioso
68 RS	ciottolame siltoso-sabbioso
7 RM	silt argilloso
11/12 RM	silt ciottoloso con scarsa sabbia
20 basso RM	ciottolame siltoso
20 alto RM	silt argilloso con scarsi ciottoli
27 RM	ciottolame siltoso con scarsa sabbia e argilla
30 RI	silt argilloso-sabbioso
37 RI	silt argilloso con scarsa sabbia

A questi materiali può essere affiancato un altro campione proveniente dal ramo intermedio (RM) della stessa grotta e già studiato in precedenza (ROSSI & MAZZARELLA, 1998), che per la sua composizione granulometrica (Tab. 2) può essere classificato come ciottolame siltoso con scarso contenuto di argilla e sabbia. Tale campione fu prelevato nel punto in cui si rinvennero i resti fossili di mammiferi (REGGIANI P., *ivi*).

Raffrontando in modo analitico i dati morfoscopici di sedimenti eterometrici provenienti da alcune delle principali cavità dei gessi emiliani tra cui quelli della Grotta Calindri, si può sicuramente incorrere in generalizzazioni interpretative. Tuttavia, in base ai dati della Tab. 1, è possibile proporre alcune considerazioni sui riempimenti indagati relative alla loro provenienza, alla loro natura petrografica, ai loro meccanismi genetici e alla eventuale ripetitività di tali meccanismi.

Dalla Tab. 1 appare evidente che nel ramo superiore (RS) esiste una netta differenza tra i cinque campioni 80 e gli altri prelevati dallo stesso livello. Anche l'esame macroscopico di ciottoli e granuli conferma questa differenza; infatti, mentre nei primi materiali la maggior parte dei clasti componenti indica chiaramente che essi sono stati interessati da scarso o nullo trasporto e che provengono soprattutto dalla frammentazione di concrezioni in prevalenza gessose, negli altri campioni risultano scarsamente rappresentati i depositi chimici e molto evidenti nei clasti presenti gli effetti

morfologici dovuti ad un trasporto meccanico da parte di un agente ad alta energia idraulica. Si può inoltre affermare che, diversamente da questi ultimi, i riempimenti della Condotta (campioni 80) sono ricollegabili a meccanismi fisici contraddistinti da energie deposizionali più tranquille e costanti, caratterizzate da una elevata torbidità dovuta ad un trasporto di sedimento fine, ed in grado di provocare soltanto limitati spostamenti spaziali dei frammenti clastici della roccia gessosa e dei crostoni calcarei e solfatici asportati dalle pareti della cavità.

A loro volta gli altri campioni del ramo superiore (29 RS, 50 RS, 56 RS e 68 RS) risultano essere il prodotto della sedimentazione di un agente fisico ad elevata energia idraulica che ha favorito la deposizione di grandi quantità di clasti di diametro superiore a 2 mm. In questi stessi materiali la contemporanea presenza, assieme ai ciot-

toli, di sabbia, silt e argilla porta ad ipotizzare che dette frazioni fini si siano depositate durante le fasi terminali, a più debole energia, del meccanismo fisico che ha originato detti depositi. E' durante tali stadi di chiusura deposizionale che ogni singolo riempimento avrebbe acquisito le sue definitive caratteristiche morfoscopiche. Maggiori differenze si rilevano fra i campioni del livello intermedio (RM) dove sono presenti sia

	Ciottoli %	Granuli %	Sabbie %	Silt %	Argilla %
80 RS	10,71	2,16	12,11	70,76	4,26
80 RSA	24,32	3,44	19,31	50,87	2,06
80 RSB	7,22	1,24	10,03	78,55	2,96
80 RSC	13,55	3,19	13,04	67,74	5,48
80 RSD	12,66	8,50	21,51	55,97	2,56
29 RS	39,98	0,83	2,31	45,61	11,27
50 RS	55,22	8,51	10,54	24,70	1,03
56 RS	21,68	3,54	23,52	47,17	4,09
68 RS	63,80	8,67	11,88	14,91	0,74
7 RM	0,00	0,02	3,94	77,28	18,76
11/12 RM	22,31	1,71	7,73	63,62	4,63
20 basso RM	69,54	1,70	2,89	21,85	4,02
20 alto RM	6,37	0,45	3,03	79,48	10,77
27 RM	47,06	0,53	4,95	43,97	3,49
30 RI	4,60	2,92	12,11	66,96	13,41
37 RI	0,03	0,06	4,58	84,38	10,95

Tabella 1. Dati granulometrici. Vengono indicati come: Ciottoli, i clasti con diametro > 4mm; Granuli, quelli con diametro 4-2 mm; Sabbia, quelli con diametro 2-0,0625; Silt, la frazione con diametro 0,0625-0,0039; Argille, la frazione con diametro < 0,0039.

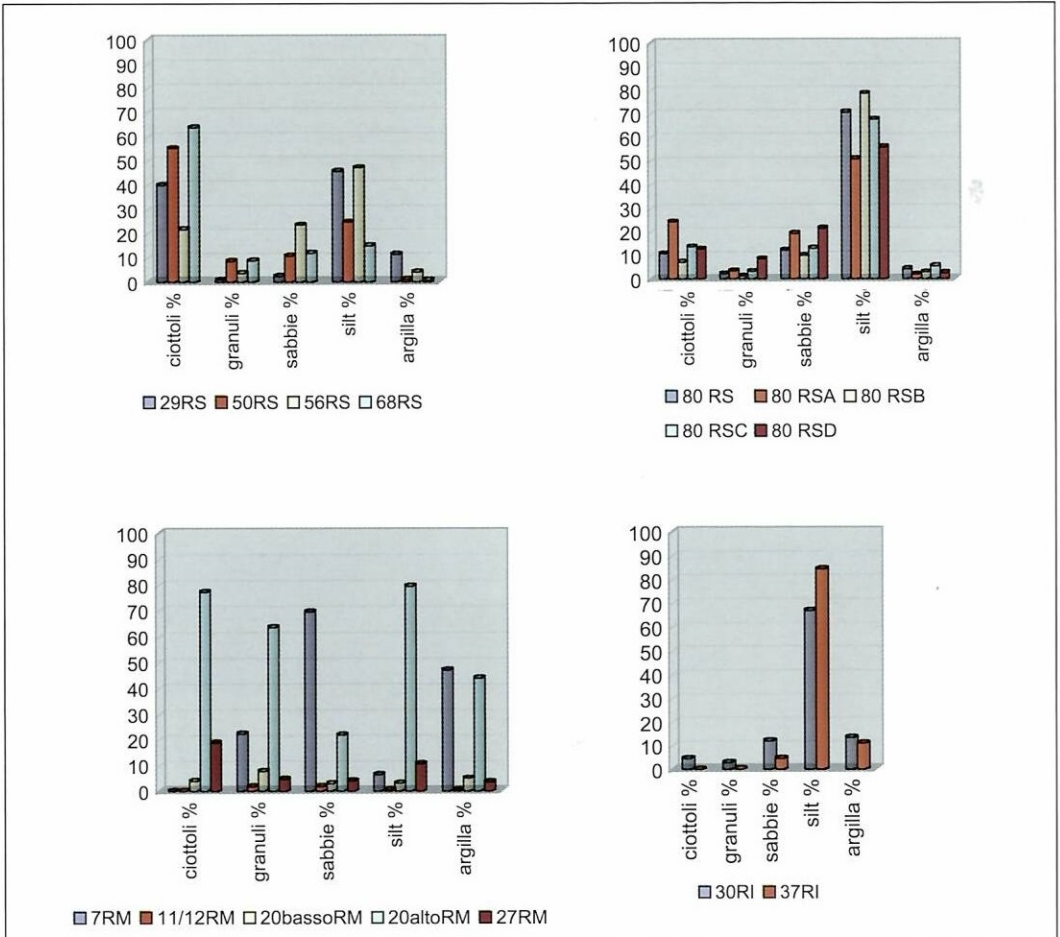


Grafico 1. Rappresentazione della distribuzione percentuale delle frazioni granulometriche riportate in Tabella 1.



serie sedimentate a prevalente composizione clastica fine che altre dove la frazione ciottolosa è dominante. E' difficile, se non impossibile, effettuare sicure correlazioni stratigrafiche e sedimentologiche fra questi depositi; tuttavia, attraverso l'esame visivo dei depositi fisici da cui provengono i campioni ora analizzati e di quello già studiato in precedenza (ROSSI & MAZZARELLA, 1998), è possibile avere una conferma dei meccanismi deposizionali ipotizzati per i riempimenti clastici del livello superiore della grotta. Si ha inoltre riscontro che durante le fasi finali di ogni evento deposizionale, oltre alla completa occlusione con sedimenti fini dei vuoti esistenti fra i ciottoli più grossolani, si è avuta anche la deposizione di strati decimetrici a quasi esclusiva componente clastica fine.

Osservando poi la parte più alta del riempimento 20 RM, dove ciottolame a pezzatura grossolana ricopre sedimenti siltosi-argillosi, è possibile ipotizzare una probabile ripetitività delle stesse condizioni e dei meccanismi sedimentari che avevano già permesso l'accumulo dell'abbondante componente ciottolosa presente nella parte inferiore dello stesso deposito.

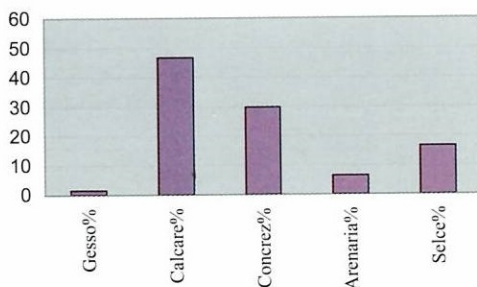
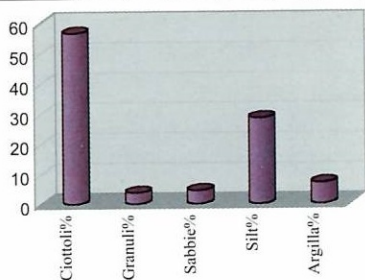
Per quanto riguarda i campioni provenienti dal ramo inferiore (RI), in base alla loro granulometria abbastanza omogenea (Tab. 1) e alle caratteristi-

che strutturali dei riempimenti di appartenenza, sembra plausibile l'idea di una loro formazione praticamente coeva. Pertanto, sebbene fra essi il solo campione 30 RI provenga da un consistente riempimento fisico con evidente classazione diretta (Foto 14), entrambi i materiali analizzati si sarebbero sedimentati durante le fasi terminali del medesimo evento deposizionale, iniziato con l'accumulo di ciottolame di dimensioni anche decimetriche da parte di un torrente ad elevatissima energia idraulica e proseguito con una graduale diminuzione della capacità di trasporto grossolano del corso d'acqua stesso a cui faceva diretto riscontro una progressiva riduzione dimensionale dei clasti depositati. Anche in questo livello della cavità l'evento deposizionale si sarebbe evoluto e concluso con la sedimentazione di materiale progressivamente più fine, dapprima occludente gli spazi fra i clasti, poi in accumulo diretto a formare strati poco più che decimetrici al tetto di riempimenti di spessore metrico.

Considerazioni litologiche sui clasti di diametro superiore ad 1 mm

In base a quanto anticipato nel paragrafo "metodologia d'indagine" sono stati identificati i seguenti litotipi:

Ciottoli%	Granuli%	Sabbie%	Silt%	Argilla%
56,6	3,7	4,4	28,4	6,9

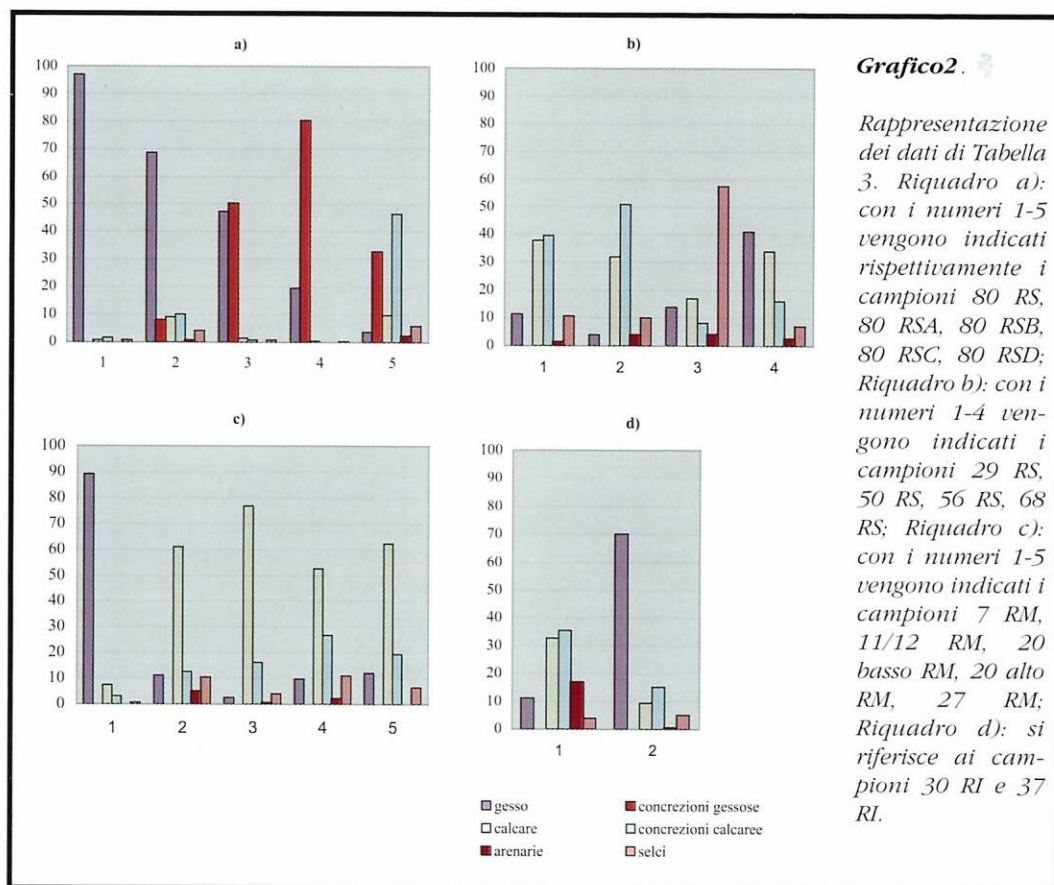


Gesso%	Calcarea%	Concrez%	Arenaria%	Selce%
1,33	46,62	29,74	6,3	16,28

Tabella 2. Dati granulometrici e litologici e loro rappresentazione grafica dei clasti del campione Calindri 1 (Rossi & Mazzarella, 1998).

	Gesso %	Conc.Gessose %	Calcarea %	Conc.Calcaree %	Arenarie %	Selci %
80 RS	96,91	0,00	0,75	1,59	0,04	0,71
80 RSA	68,61	7,89	8,84	9,93	0,72	4,01
80 RSB	47,12	50,25	1,32	0,68	0,00	0,63
80 RSC	19,28	80,25	0,30	0,00	0,00	0,17
80 RSD	3,53	32,74	9,63	46,28	2,17	5,65
29 RS	11,22	0,00	37,68	39,30	1,28	10,52
50 RS	3,88	0,00	31,76	50,70	3,84	9,82
56 RS	13,71	0,00	16,87	8,03	3,98	57,41
68 RS	40,85	0,00	33,76	15,97	2,59	6,83
7 RM	89,06	0,00	7,32	3,01	0,00	0,61
11/12 RM	11,15	0,00	60,99	12,51	5,00	10,35
20 BASSO RM	2,49	0,00	76,82	16,12	0,62	3,95
20 ALTO RM	9,66	0,00	52,67	26,61	2,20	10,86
27 RM	11,97	0,00	62,21	19,26	0,04	6,52
30 RI	11,17	0,00	32,62	35,50	16,82	3,89
37 RI	70,04	0,00	9,33	15,14	0,50	4,99

Tabella 3. Distribuzione percentuale delle litologie identificate nei 16 nuovi campioni studiati.



Gesso: si tratta di frammenti di cristalli o della roccia entro la quale si è sviluppato il sistema carsico della Grotta Calindri.

Calcare: rappresenta una testimonianza dei litotipi affioranti a monte della cavità oppure di quelli presenti nelle antiche alluvioni che ricoprivano la formazione messiniana.

Arenarie: come i calcari, questo litotipo è indicativo di litologie affioranti lungo la dorsale appenninica dell'area centro-emiliana oppure di litotipi, anch'essi presenti nelle coperture alluvionali quaternarie, i quali, convogliati all'interno della grotta, hanno rifornito la componente clastica trasportata dal torrente.

Concrezioni gessose: si tratta di frammenti di depositi chimici di natura solfata formati all'interno della cavità, che azioni di smantellamento e di trasporto da parte del corso d'acqua ipogeo hanno accumulato soprattutto in un cunicolo nella parte alta della grotta.

Concrezioni calcaree: anche in questo caso si ha conferma di fenomeni secondari di deposizione chimica, in questo caso però carbonatici, interni alla grotta; essi pure sottoposti ad azioni di smantellamento, frammentazione e trasporto sotto forma di clasti detritici, da parte del torrente sotterraneo.

Selci: si tratta di ciottoli di esclusiva provenienza esterna. Appartengono a questo gruppo sia frammenti di roccia silicea che frammenti di singoli cristalli di *Quarzo*.

Di notevole interesse e particolarmente indicativi risultano i dati percentuali relativi alla natura litologica dei clasti di diametro superiore ad 1 mm (Tab. 3, Grafico 2) e quelli sulla composizione mineralogica di tutte le frazioni granulometriche inferiori a tale valore dimensionale. Va inoltre ricordato che i valori numerici riportati nella Tab. 3 corrispondono alle medie complessive delle frazioni comprese fra 1 e 128 mm.

I dati litologici confermano, nonostante la loro variabilità distributiva, la particolarità dei campioni provenienti dal riempimento della Condotta. Si tratta, ad eccezione del campione 80 RSD, di sedimenti costituiti in netta prevalenza da materiale gessoso, sia come frammenti della roccia circostante, sia come clasti provenienti da concrezioni smantellate e, in base alle loro forme, assai poco trasportati. Oltre a questa le altre litologie riconosciute (calcari e concrezioni calcaree, arenarie e

selci) sono poco rappresentate, ad eccezione del campione 80 RSA dove esse assommano complessivamente a circa il 22%. Sembra chiaramente diverso il campione 80 RSD nel quale continuano ad essere presenti gli stessi litotipi ma con netta diminuzione di quelli gessosi; in esso è indicativa la presenza delle *concrezioni calcaree* (46,28%) e delle *selci* (5,65%).

Quanto sopra esposto conferma che i 5 campioni del riempimento della Condotta possono essere considerati il risultato di un evento deposizionale del tutto indipendente (o quasi) da quelli che hanno portato alla formazione degli altri depositi clastici presenti nella cavità. Forse solo nella fase di sedimentazione iniziale di questa serie si è avuto un parziale apporto di materiali detritici provenienti dall'esterno oppure dal rimaneggiamento di altri riempimenti presenti nello stesso ramo superiore della grotta e costituiti da clasti provenienti dalle coperture alluvionali esterne. È inoltre elemento certo che la Condotta costituisce un tratto di grotta estremamente ricco di concrezioni sia gessose che calcaree, il quale, in un determinato periodo della sua evoluzione carsica, è stato percorso da un corso d'acqua in grado di smantellare, asportandoli dalle pareti, tutti i depositi chimici presenti, ma non capace di trasportare per lunghi tratti e di usurare la componente detritica liberata. In pratica avveniva una frammentazione delle concrezioni ed una loro quasi immediata deposizione. Nella fase conclusiva di tale evento, quando ormai non esistevano più concrezioni da smantellare, le acque del torrente avrebbero asportato frammenti della roccia gessosa incassante o di singoli cristalli depositandoli dopo un breve percorso, come è testimoniato dalle loro scarse forme arrotondate o smussate.

Diversi, soprattutto nella distribuzione percentuale dei litotipi componenti, sono gli altri riempimenti fisici presenti nello stesso ramo della grotta. In essi la componente clastica, sia per la natura litologica che per le forme in essa presenti, è chiaramente riconducibile ad azioni di trasporto prolungate e ad una provenienza ricollegabile soprattutto a coperture alluvionali esterne. In detti campioni mancano, del tutto le concrezioni gessose, assenza che esclude i fenomeni di smantellamento di depositi chimici secondari di natura solfata, che avevano invece caratterizzato i riempimenti della Condotta. Nei campioni 29 RS, 50 RS, 56 RS e 68 RS sono invece ben rappresentate le concrezioni calcaree, testimonianza di un contributo detritico da parte di depositi chimici secondari



però di natura carbonatica; a loro volta i calcari, le arenarie e le selci, in quantità complessiva superiore al 40% e appartenenti a litologie estranee alla formazione evaporitica, confermano apporti detritici non solo dall'esterno della grotta ma anche da affioramenti sicuramente molto lontani dalle limitrofe aree appenniniche. Fra questi ultimi materiali va sottolineata la peculiarità del campione 56 RS, nel quale oltre il 57% dei suoi clasti di dimensioni superiori ad 1 mm è costituito da selci. Si tratta sicuramente di un episodio di deposizione nel quale l'abbondante presenza silicea era di provenienza diretta da coperture alluvionali esterne ricche di tale litologia, oppure rappresentava il risultato di un prolungato meccanismo selettivo di concentrazione litologica, ricollegabile a rimaneggiamenti ripetuti di riempimenti precedenti durante i quali le selci, litologia ad elevata resistenza alle azioni di abrasione e di alterazione, tendevano indirettamente ad aumentare in quantità ogni qualvolta avveniva la formazione di un nuovo deposito.

Diversa è la distribuzione petrografica dei clasti presenti nei riempimenti del ramo intermedio. Infatti, pur essendo presenti gli stessi litotipi, nella maggior parte dei campioni analizzati è prevalente il ciottolame di natura calcarea che raggiunge, ma può anche superare, il 75-80%. Mancano le concrezioni gessose ed è insignificante la componente arenacea. Sono invece ben rappresentate le selci le cui percentuali variano dal 4% (campione 20 basso RM) al 16% (campione Calindri 1) (Tab. 2). Si tratta quasi sempre di sedimenti fra i più ciottolosi la cui natura petrografica, assolutamente diversa dal tipo di roccia in cui si è sviluppato il sistema carsico, testimonia una loro provenienza prevalente da coperture esterne ed un loro trasporto e deposizione in ambiente ipogeo da parte di un corso d'acqua che, periodicamente e talora con fasi temporali prolungate, possedeva una elevata energia idraulica.

Nel campione Calindri 1, proveniente sempre da questo stesso livello, risulta dominante la componente calcarea, legata sia a frammenti di roccia che di concrezione; trascurabile è la presenza del gesso, mentre arenarie e selci raggiungono percentuali superiori rispetto agli altri riempimenti analizzati.

Fra tutti i campioni provenienti da questo tratto della grotta, la composizione petrografica evidenzia la particolarità del 7 RM, che già anche i dati granulometrici avevano indicato come differente dagli altri a causa della sua quasi esclusiva

composizione siltoso-argillosa. In questo campione la componente detritica di diametro superiore ad 1 mm è costituita in prevalenza da frammenti di roccia e di cristalli di Gesso; mancano le concrezioni gessose e le arenarie mentre sono presenti, ma in quantità poco indicativa, i ciottoli di roccia calcarea o provenienti da depositi chimici secondari di natura carbonatica; è infine assolutamente insignificante la componente selciosa (selci, frammenti di cristalli di Quarzo, ecc). Quest'ultimo campione dal punto di vista litologico, pur non presentando elementi per una sicura correlazione stratigrafica, rivela profonde analogie con il campione 80 RS del ramo superiore. Due sono le possibili interpretazioni sulla sua genesi: o nella fase di deposizione si sono create le stesse particolari condizioni che poi avrebbero controllato la deposizione del campione sovrastante, oppure il deposito 7 RS è successivo alla formazione del riempimento della Condotta e proviene dal dilavamento, asporto localizzato e successiva deposizione nel ramo inferiore del materiale clastico dilavato dai sedimenti di questa particolare zona della grotta.

Dei due riempimenti fisici del ramo più basso della cavità, granulometricamente fra loro abbastanza simili, sono da rimarcare le notevoli differenze nella distribuzione percentuale delle litologie dei clasti componenti. Si tratta in entrambi i materiali, degli stessi tipi di roccia, in netta dominanza gessosi nel campione 37 RI mentre nel 30 RI sono quelli calcarei, o provenienti da concrezioni calcaree, i prevalenti. Nel primo le arenarie risultano praticamente assenti mentre nell'altro tale litologia è invece presente in modo significativo (16,82 %); in entrambi poi è abbastanza costante la componente selciosa.

In base ai caratteri tessiturali e composizionali di questi due ultimi riempimenti, è possibile attribuirne la formazione ad apporti detritici esterni ai quali si potevano associare numerosi frammenti provenienti dalla roccia gessosa incassante oppure da concrezioni calcaree. Va inoltre fatto notare che, nelle fasi iniziali di formazione, soprattutto del riempimento 30 RI, dove sono numerosi i ciottoli di diametro decimetrico, l'energia idraulica del torrente sotterraneo era elevatissima e capace non solo di trasportare clasti di pezzatura elevata ma anche di favorirne un discreto smussamento-arrotondamento. La progressiva attenuazione di detta energia sarebbe stata accompagnata da una graduale diminuzione dimensionale del ciottolame trasportato e depositato, con conseguente

progressiva, fino a totale, occlusione degli spazi infraclasti e la sedimentazione al tetto dei riempimenti, di materiali, a luoghi, o quasi esclusivamente, siltoso-argillosi oppure siltoso-argillosi con scarso scheletro sabbioso.

Da ultimo va ricordata una particolarità comune a diversi campioni quali: 80 RS, 80 RSB, 50 RS, 20 alto RM, 11/12 RM e 37 RI. In essi si riconoscono numerosissime millimetriche "rosette di Gesso". Esse sono testimonianza di fenomeni di ricristallizzazione secondaria legati ad acque arricchite di ioni solfato che percolavano all'interno dei riempimenti clastici.

Composizione mineralogica delle frazioni granulometriche inferiori ad 1 mm

E' opportuno ribadire che le valutazioni sulla distribuzione di *Quarzo*, *Feldspato*, *Illite*, *Clorite*, *Calcite*, *Dolomite*, *Gesso* e *Sostanza amorfa* sono da considerarsi soggettive e non corrispondenti a specifiche percentuali quantitative. Dette valutazioni sono valide soprattutto per un raffronto incrociato delle presenze di ogni specifico minerale nelle diverse frazioni granulometriche di ciascun campione. Per comodità espositiva le informazioni distributive della Tab. 4 vengono sintetizzate indicando le classi dimensionali contraddistinte dalle massime frequenze di presenza di ogni singola fase cristallina identificata. Va inoltre sottolineato che rispetto alla frazione con la maggiore presenza quantitativa, quelle appartenenti alle classi granulometricamente contigue, presentano una diminuzione progressiva abbastanza regolare del minerale considerato.

Quarzo. Nel ramo superiore questo minerale prevale nella frazione sabbiosa molto fine del riempimento della Condotta mentre negli altri campioni dello stesso livello è soprattutto presente nelle frazioni comprese tra 1 e 0,25 mm. Nei materiali dei due rami sottostanti sono le classi granulometriche sabbiose che vanno da 0,25 a 0,0625 mm le più ricche di questa fase che, tuttavia, in un paio di campioni sembra concentrarsi preferenzialmente nella sabbia media.

Feldspato. Nei campioni dei tre livelli è la sabbia molto fine la frazione in cui è più abbondante questo silicato, il quale talvolta si rivela significativamente presente anche nelle frazioni comprese tra 0,5 e 0,125 mm e in quella siltosa.

Illite e Clorite. Si tratta di due minerali tipicamente argillosi quindi dalle dimensioni in genere molto fini. E' questa caratteristica che favorisce una loro concentrazione preferenziale nei silt e nelle argille.

Calcite. Nei campioni di tutta la grotta la *Calcite* tende a concentrarsi nelle varie classi sabbiose, pur essendo presente anche nei silt e nelle argille. Solo nel campione 56 RS esistono frazioni in cui questo minerale manca o è molto scarso.

Dolomite. Nel livello superiore la *Dolomite* si concentra nei silt dei campioni della Condotta mentre negli altri riempimenti della stessa quota questo minerale si concentra senza un vero criterio preferenziale. Nel ramo intermedio è occasionalmente presente sia nelle sabbie che nei silt e nelle argille. Nel livello inferiore è la frazione compresa tra 0,0625 e 0,0039 quella più ricca di questo carbonato. Va inoltre sottolineato che in varie classi dimensionali di molti dei campioni analizzati questo minerale può anche essere del tutto assente o molto scarso.

Gesso. In tutti i riempimenti dei tre livelli questo solfato è costantemente abbondante nelle frazioni granulometriche comprese fra 1 e 0,125 mm, con maggiore frequenza soprattutto nelle sabbie medie e in quelle grossolane. Solo in qualche campione del ramo superiore tale minerale può essere considerato quantitativamente significativo anche nell'argilla.

Sostanza amorfa. Si tratta delle valutazioni quantitative più soggettive e passibili di critica dato il criterio utilizzato per stimarne la presenza. E' tuttavia inconfutabile un elemento costante, forse perché intrinseco alla sua particolare natura, che la vede concentrarsi preferenzialmente nel silt e nell'argilla.

E' inoltre possibile, attraverso un raffronto analitico dei dati della Tab. 3 (relativi alle percentuali litologiche) e della Tab. 4 (che riporta le valutazioni semiquantitative della presenza di alcuni minerali nelle classi granulometriche medie e fini), riconoscere una regolare effettiva continuità distributiva fra i dati numerici della prima e le valutazioni soggettive della seconda. Infatti, ogni minerale considerato in quest'ultima può essere rapportabile alle litologie riconosciute macroscopicamente.



Campione 80 RS								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	--	*	***	*	*****	*
0,5-0,25	***	***	--	*	***	**	****	*
0,25-0,125	***	***	--	*	***	*	****	*
0,125-0,0625	****	***	**	*	***	*	*****	*
0,0625-0,0039	****	***	***	***	**	***	**	**
< 0,0039	*	*	**	**	*	*	*****	0
Campione 80 RSA								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	--	0	0	***	*	*****	0
0,5-0,25	**	**	0	0	***	--	*****	0
0,25-0,125	****	***	--	0	**	--	*****	0
0,125-0,0625	****	***	--	--	***	0	****	0
0,0625-0,0039	***	***	**	**	*	**	**	*
< 0,0039	**	**	**	**	*	*	****	*
Campione 80 RSB								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	0	**	**	*	*****	**
0,5-0,25	**	*	0	*	**	0	*****	*
0,25-0,125	***	**	0	*	**	--	****	**
0,125-0,0625	****	***	*	--	***	--	**	**
0,0625-0,0039	***	**	**	**	**	**	--	***
< 0,0039	**	*	*	*	*	--	*	***
Campione 80 RSC								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	0	*	**	*	***	**
0,5-0,25	*	--	0	0	**	0	***	*
0,25-0,125	**	*	0	0	**	*	****	*
0,125-0,0625	***	**	*	**	**	0	****	*
0,0625-0,0039	***	**	**	**	**	**	*	***
< 0,0039	**	*	*	**	***	*	*****	**
Campione 80 RSD								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	*	0	*	****	0	**	**
0,5-0,25	***	**	0	--	****	0	**	*
0,25-0,125	****	***	--	*	***	--	**	*
0,125-0,0625	***	***	0	0	**	*	*	***
0,0625-0,0039	**	*	**	*	**	**	--	***
< 0,0039	**	*	*	*	*	**	--	***
Campione 29 RS								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	0	*	**	--	**	***
0,5-0,25	***	***	--	*	***	*	*	***
0,25-0,125	****	****	**	*	***	*	--	*
0,125-0,0625	***	***	*	*	****	--	--	***
0,0625-0,0039	***	**	***	***	**	**	0	**
< 0,0039	*	*	**	**	***	--	0	**
Campione 50 RS								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	****	**	*	0	***	0	**	0
0,5-0,25	*****	**	0	0	***	0	***	0
0,25-0,125	**	**	0	--	****	--	***	0
0,125-0,0625	**	***	*	0	***	--	**	0
0,0625-0,0039	***	**	**	*	**	--	--	*
< 0,0039	*	--	*	--	*	0	*	--
Campione 56 RS								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	*****	**	*	0	--	*	****	**
0,5-0,25	***	***	*	0	--	*	*****	*
0,25-0,125	**	**	*	--	**	*	*****	--
0,125-0,0625	***	***	**	0	***	*	*****	--
0,0625-0,0039	****	**	***	*	0	*	**	**
< 0,0039	*	***	****	**	**	**	*****	--

Tabella 4. (pag.59-60)

Valutazioni semiquantitative delle presenze mineralogiche nelle varie frazioni granulometriche di diametro < 1 mm suggerite dall'indagine diffrattometrica. Con la seguente simbologia si indica:

0 : assente

-- : tracce

* : scarsa

** : presente

*** : ben presente

**** : abbondante

***** : molto abbondante

***** : assolutamente dominante



Campione 68 RS								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	*	--	*	***	*	***	--
0,5-0,25	*****	**	--	--	***	--	*****	O
0,25-0,125	****	***	*	*	***	*	*****	O
0,125-0,0625	***	***	*	--	**	*	--	*
0,0625-0,0039	***	**	**	**	**	*	--	*
< 0,0039	**	**	*	**	*	--	*****	--
Campione 7 RM								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	O	--	***	**	*****	O
0,5-0,25	*****	***	O	--	***	*	*****	O
0,25-0,125	****	**	--	--	****	--	***	**
0,125-0,0625	***	***	*	*	*****	--	**	*
0,0625-0,0039	****	***	***	***	***	**	--	**
< 0,0039	**	--	**	***	**	**	--	**
Campione 11/12 RM								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	***	--	O	***	--	***	O
0,5-0,25	***	**	--	O	***	--	**	O
0,25-0,125	****	**	O	O	****	--	**	O
0,125-0,0625	****	***	--	*	****	O	*	O
0,0625-0,0039	***	**	**	**	**	**	--	**
< 0,0039	*	*	**	*	*	*	*	**
Campione 20 basso RM								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	**	--	--	***	**	*	O
0,5-0,25	***	**	O	*	***	*	**	O
0,25-0,125	****	***	--	*	****	--	***	O
0,125-0,0625	****	****	*	*	****	*	*	O
0,0625-0,0039	***	**	**	**	***	**	--	--
< 0,0039	**	*	*	*	**	**	--	*
Campione 20 alto RM								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	***	*	*	*****	**	*	O
0,5-0,25	****	**	*	*	***	**	**	*
0,25-0,125	****	***	*	*	**	--	--	***
0,125-0,0625	*****	****	**	--	****	*	--	O
0,0625-0,0039	***	**	***	**	**	**	--	**
< 0,0039	**	--	***	**	**	**	--	***
Campione 27 RM								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	**	--	*	***	**	****	O
0,5-0,25	****	***	*	*	***	**	****	O
0,25-0,125	****	***	*	*	***	*	***	--
0,125-0,0625	***	**	*	*	****	--	*	--
0,0625-0,0039	****	***	**	***	**	**	--	*
< 0,0039	**	*	**	***	*	--	--	+
Campione 30 RI								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	**	**	--	--	****	--	****	O
0,5-0,25	***	**	--	--	****	--	****	O
0,25-0,125	****	***	--	--	****	*	***	O
0,125-0,0625	****	***	*	--	****	*	*	O
0,0625-0,0039	****	**	**	*	***	**	--	*
< 0,0039	**	--	***	*	**	*	--	**
Campione 37 RI								
Diam. in mm	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso	Amorfa
1-05	***	**	O	O	***	*	****	O
0,5-0,25	***	**	O	--	**	**	****	--
0,25-0,125	****	*	--	--	****	**	**	O
0,125-0,0625	****	***	*	*	****	*	*	--
0,0625-0,0039	****	**	**	***	**	***	--	**
< 0,0039	**	*	*	**	*	**	--	**

Il *Quarzo* infatti può essere ricollegato alla componente selciosa-silicea o, eventualmente, ad arenarie quarzose; la *Calcite* a litologie carbonatiche quali calcari, peliti calcaree e concrezioni carbonatiche; il *Gesso* a clasti sia asportati dalla roccia incassante che provenienti dallo smantellamento di depositi chimici secondari di natura solfata; il *Feldspato*, i minerali argillosi (*Illite* e *Clorite*) e, con ogni probabilità, anche la *Dolomite* possono essere ricollegati a peliti sia esterne che presenti, come intercalazioni, nella *Formazione Evaporitica*. Quest'ultimo gruppo di minerali può anche rappresentare la componente a granulometria medio-fine, delle coperture alluvionali esterne, in prevalenza ghiaioso-ciottolose, da cui proviene buona parte dei riempimenti fisici della cavità. Infine la componente amorfa, in prevalenza di natura carboniosa ma anche costituita da ossidi vari, è attribuibile al trasporto, alla alterazione, disgregazione e distruzione, totale o parziale, dei clasti movimentati dall'esterno e poi depositati internamente alla grotta.

Considerazioni conclusive

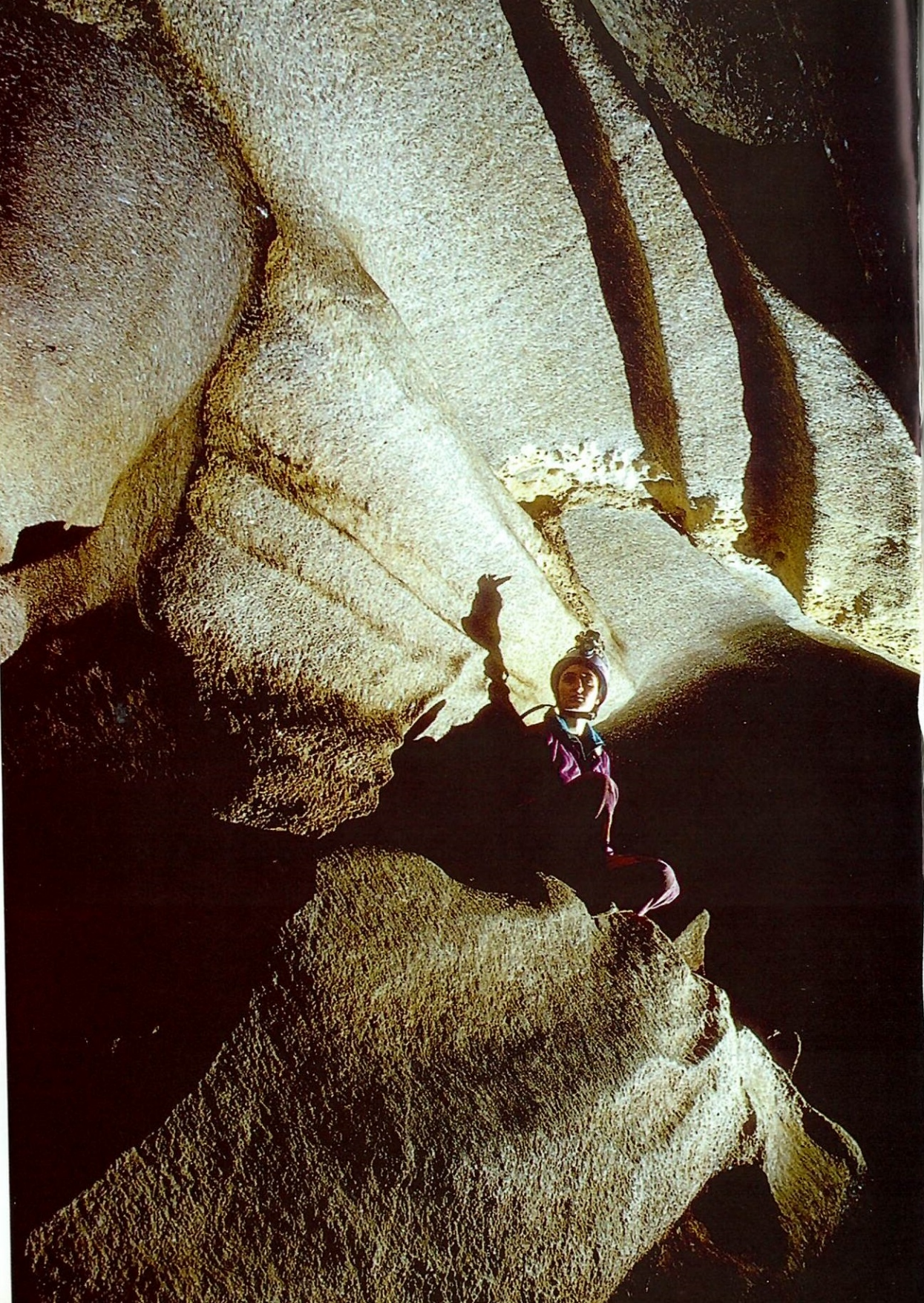
La presenza in tutta la cavità di riempimenti fisici, in genere caratterizzati da caratteri sedimentologici e strutturali analoghi, suggerisce l'ipotesi che essi rappresentino la testimonianza di un evento deposizionale prolungato nel tempo e legato ad un agente genetico (il torrente ipogeo) la cui capacità di asporto, trasporto e sedimentazione, variava o si ripeteva nel tempo in funzione della sua energia idraulica.

Secondo questa ipotesi, il sistema carsico della Grotta Calindri, rappresenterebbe una struttura ipogea preesistente e indipendente dai suoi riempimenti fisici, in particolare legata a fasi di sviluppo ed ampliamento soprattutto di tipo chimico per dissoluzione di roccia gessosa.

Non esistono elementi certi per datare i vari stadi di formazione dei piani sovrapposti della grotta e del suo progressivo sviluppo verso il basso, ma numerose sono le cavità emiliano-romagnole aventi gli stessi caratteri di morfologia carsica ricollegabili ad una fenomenologia comune e ripetitiva. E' quindi logico supporre che ogni piano suborizzontale corrisponda ad un ben definito profilo interno di equilibrio idraulico legato a cambiamenti delle quote di risorgenza del torrente ipogeo stesso. Al variare esterno di dette quote si sarebbe avuta una immediata ricerca da parte dello stesso corso d'acqua di un nuovo profilo

d'equilibrio con altezza inferiore. Questo meccanismo, oltre che ripetutosi diverse volte per una stessa cavità, è comune a tutti i maggiori sistemi carsici in rocce gessose della regione. Ciò rende giustificata l'ipotesi che le reali cause di questa continua ricerca da parte del torrente ipogeo di nuovi profili idraulici di equilibrio siano da ricercarsi in fenomeni geologici non di tipo locale ma arealmente molto estesi.

Al problema del progressivo sviluppo verticale della Grotta Calindri, si affianca quello del significato dei suoi riempimenti fisici. Detti depositi clastici possono con certezza, anche se senza una sicura successione temporale, essere ricollegati alla deposizione, da parte di un corso d'acqua a variabile energia, di materiale detritico proveniente, in prevalenza, da coperture alluvionali esterne che, dilavate e smantellate dagli agenti meteorici, venivano trasportate verso l'interno della cavità. Molto più rari sono i riempimenti nei quali la componente detritica esterna è subordinata, quand'anche mancante, rispetto a quella di origine interna. In questo caso si tratta di depositi nei quali è dominante una componente clastica gessosa proveniente o dalla roccia in cui si è sviluppato il sistema carsico, oppure da concrezioni della stessa natura composizionale. Per questi ultimi riempimenti, data la loro prevalente granulometria medio-fine, è certa una minore energia idraulica dell'agente che li ha depositati. Il progressivo accumulo di sedimenti eterometrici potrebbe aver portato alla pressoché totale occlusione di tutto il sistema carsico, nel quale si sarebbero sedimentati molti metri di ciottolame da grossolano a prevalentemente siltoso. Detto fenomeno occlusivo, sicuramente favorito anche da situazioni morfologiche interne quali rallentamenti del deflusso per restringimento dell'ambiente carsico, ostruzioni o sbarramenti per crolli sotterranei di roccia o per frane di materiale incoerente, minore capacità di emittenza idrica della risorgente, ecc., avrebbe enormemente ridotto lo spazio per lo scorrimento delle acque del torrente ipogeo che, così, si sarebbe venuto a trovare in condizioni idrauliche di condotta forzata con flusso laminare a diretto contatto con la volta della cavità. Createsi queste condizioni, si sarebbero impostati fenomeni di erosione-dissoluzione inversa, testimoniati in particolare dalla presenza di "canali di volta". Al totale, o pressoché totale, intasamento clatico della grotta avrebbe poi fatto seguito una ripresa della capacità erosiva del torrente sotterraneo, favorita forse da una progressiva



e ad un trasporto dei loro clasti, laddove le condizioni morfologiche superficiali lo permettessero (le doline esterne), verso le posizioni di inghiottimento o di accesso alla cavità.

E' stato attraverso siffatti meccanismi che enormi volumi di ciottolame e di altri sedimenti più fini sono stati trasportati all'interno non solo della Grotta Calindri ma di tante altre cavità della regione. Si è sicuramente trattato di una fenomenologia ripetitiva nel tempo durante la quale l'agente idrico di asporto, trasporto e deposizione della parte clastica era contraddistinto da una energia idraulica con attenuazioni ed aumenti, anche repentini, strettamente ricollegabili al variare della piovosità esterna. Attraverso il ripetersi dei meccanismi di sedimentazione si poteva arrivare anche ad una totale occlusione delle cavità, in seguito all'accumularsi di tanto materiale clastico. Diretta ed estrema conseguenza di un tale fenomeno poteva essere il passaggio delle doline esterne da aree di dilavamento superficiale e di provenienza di almeno una parte del ciottolame inghiottito a invasi naturali in cui si raccoglievano le acque che la grotta, momentaneamente intasata da sedimenti non riusciva a ricevere e a smaltire.

Con le successive variazioni degli apporti piovosi, dapprima lentamente per percolazione attraverso i riempimenti occludenti, poi in modo più energico per progressivo aumento della capacità di deflusso dell'acqua sotterranea sempre più in grado di incidere i riempimenti, si potevano riaprire le naturali vie di risorgenza. Questo ringiovanimento erosivo poteva essere talora rallentato o momentaneamente bloccato, da particolari situazioni interne alla cavità, quali crolli di massi di roccia, frane, confluenze di corsi d'acqua, ecc.

Purtroppo al momento attuale non si hanno dati certi su quando, sulla durata e sulla ripetitività di questa fenomenologia, tuttavia alcuni elementi che la accompagnano portano a collegarla ad eventi che hanno accompagnato l'ultima glaciazione. Qualche utile informazione temporale e sul particolare chimismo delle acque, almeno di un determinato periodo, potrebbe venire dalla datazione del crostone calcareo presente nella parte bassa del riempimento situato nella Condotta. Tuttavia suddetto deposito clastico, per le sue caratteristiche composizionali e granulometriche potrebbe anche essere più recente degli altri studiati e legato ad un evento deposizionale cronologicamente indipendente dagli eventi della glaciazione würmiana ai quali sembrano ricollegabili i meccanismi genetici dei riempimenti fisici pre-

sentiti anche in numerose altre cavità dei gessi emiliano-romagnoli.

Bibliografia

APPIANI G., 1929 - *Gli apparecchi di levigazione nelle analisi dei terreni e delle argille e il Levigatore di Appiani*, pp. 5-22.

BERTOLANI M. & ROSSI A., 1988 - *Le aree carsiche nei gessi messiniani del basso Appennino Reggiano*. Guida alla speleologia nel Reggiano, Amministrazione Provinciale e G.S.P. Gaetano Chierici, pp. 20-28.

CIARAPICA G., PASSERI L.S. & SCHREIBER C.B., 1985 - *Una proposta di classificazione delle evaporiti solfatiche*. Geol. Rom. 24, pp. 219-232.

PAREA G.C., 1972 - *Osservazioni geomorfologiche e sedimentologiche*. Gruppo Speleologico Emiliano C.A.I.-Modena: *Studio della Grotta di fianco alla chiesa di Gaibola nei gessi delle colline bolognesi*, Rass. Speleol. It., a. IV, Fasc. 2, pp. 113-130.

ROSSI A. & MAZZARELLA B.S.L., 1998 - *La Grotta Calindri: dati e considerazioni sui suoi riempimenti fisici*. Sottoterra, n° 107, pp. 33-51.

VAI G.B. & RICCI LUCCHI F., 1977 - *Algal crusts, autochthonous and clastic gypsum in a cannibalistic evaporite basin: a case history from the Messinian of Northern Apennines*. Sedimentology, 24, pp. 211-244.

VEGGIANI A., 1965 - *Trasporto di materiale ghiaioso per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. 84 (1-2), pp. 315-328.

WENTWORTH C.K., 1922 - *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. Jour. Geol., Vol. 30, pp. 377-392.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano per la collaborazione fornita la dott.ssa Milena Bertacchini e il dott. Stefano Lugli del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

Il presente studio, effettuato con il supporto finanziario del M.U.R.S.T. (ex 60%), ha fruito anche di un contributo economico da parte del GSB-USB.

migliore capacità di risorgenza delle sue acque. Queste avrebbero quindi progressivamente inciso i riempimenti fisici occludenti creando nella grotta ampi tratti con morfologia a "canyon" dell'altezza anche di molti metri oppure svuotando completamente ampie sale e cunicoli ostruiti da sedimenti torrentizi.

Le quote più basse raggiunte in passato sarebbero sottostanti all'attuale profilo d'equilibrio idraulico del torrente ipogeo. Infatti, dato che il letto attuale del corso d'acqua solo per brevi tratti coincide con roccia in posto ma quasi sempre con materiale ciottoloso, appare giustificata l'ipotesi che la parte inferiore dell'antico sistema carsico ipogeo sia ancora totalmente intasata da sedimenti che, solo con un ulteriore abbassamento dell'attuale quota di risorgenza del torrente sotterraneo, potranno essere asportati fino a raggiungere il livello di base più profondo, in corrispondenza del quale un tempo scorrevano le sue acque. Numerose e diverse sono le considerazioni suggerite dalle analisi dimensionali e composizionali dei clasti da cui si sono formati i riempimenti fisici. Si tratta in genere di ipotesi interpretative basate in parte su dati numerici e in parte su correlazioni fra fenomeni deposizionali presenti, come relitti, nella zona esterna limitrofa alla Grotta Calindri o, più estesi, affioranti in altre aree della fascia collinare emiliano-romagnola.

La componente clastica dei riempimenti analizzati, ad eccezione di un limitato contributo pelitico proveniente dagli interstrati marnoso-argillosi della *Formazione Gessoso-solfifera*, è proveniente probabilmente dai depositi alluvionali quaternari, marini e torrentizi, da cui erano ricoperte sia le evaporiti messiniane che le argille plioceniche. E' una testimonianza certa di apporti marini la presenza di selci policrome, buona parte delle quali di sicura provenienza dalla *Serie Umbro-Marchigiana*, trasportate all'interno dell'antico golfo padano da paleocorrenti di spiaggia. Queste selci, ripetutamente coinvolte in processi sedimentari, avrebbero subito un processo di miscelazione con la componente clastica trasportata al mare dai fiumi, i cui bacini imbriferi si sviluppavano all'interno delle formazioni sedimentarie dell'Emilia centrale. Questa commistione di clasti avrebbe contribuito alla formazione di vaste e spesse coltri alluvionali a componente detritica estremamente eterometrica, dai ciottolame molto grossolano fino all'argilla. Non è da escludere la possibilità che una parte di questi materiali alluvionali sia stata fornita dagli affioramenti ciottolosi,

depositati durante la trasgressione pliocenica sulla formazione gessosa e, attualmente, osservabili lungo il versante settentrionale della vicina lente evaporitica del Farneto, laddove essa risulta incisa dal Torrente Idice. Qui infatti affiorano potenti bancate plurimetriche di ghiaia che si immergono verso l'alta pianura e che rappresentano le testimonianze relitto di più vaste coperture alluvionali marine post-messiniane.

Rimane aperto il problema della reale provenienza della componente selciosa individuata nella maggior parte dei campioni studiati. In accordo con Vezzani (1965) e Parea (1972) appare quanto mai plausibile l'ipotesi di una sua provenienza dall'area marchigiana. Questa litologia doveva essere ben rappresentata nei sedimenti litorali sovrastanti le rocce evaporitiche in progressiva fase di emersione orogenetica. Di dette coperture attualmente se ne rinvencono soltanto scarsi lembi, sia perché in buona parte inghiottite dai sistemi carsici sia perché le originarie morfologie di queste zone hanno subito profonde modifiche in seguito alle azioni orogenetiche di sollevamento del fronte padano della catena appenninica e, in età più recente, anche dagli effetti morfogenetici, sicuramente intensi, avvenuti durante le fasi precedenti, contemporanee e posteriori dell'ultimo evento glaciale quaternario.

Come considerazioni conclusive vengono ipotizzati alcuni dei meccanismi responsabili del trasporto e deposizione in ambiente ipogeo, sotto forma di riempimenti fisici anche dello spessore di vari metri, del ciottolame proveniente dalle coperture alluvionali esterne. Infatti, dopo che si era sviluppata la maggior parte del sistema carsico, soprattutto per dissoluzione chimica della roccia gessosa da parte di acque sia di infiltrazione capillare che di percolazione parietale o di condensazione, sia di quelle del torrente ipogeo, queste ultime caratterizzate da energia idraulica variabile, come testimoniano le numerose mensole e le nette superfici incise createsi sulle pareti durante i vari stadi di approfondimento della incisione a "canyon", si sarebbero regionalmente impostate differenti condizioni climatiche caratterizzate da maggiore piovosità.

L'abbondante apporto di acque meteoriche, oltre a modificare totalmente il meccanismo morfogenetico responsabile dell'evoluzione carsica della grotta, avrebbe creato condizioni ambientali esterne favorevoli sia ad un forte dilavamento di tutto quanto faceva parte della superficie topografica, sia all'erosione delle coperture alluvionali

