

DETERMINAZIONI PETROGRAFICHE, DATI MORFOMETRICI E MORFOSCOPICI SUI RIEMPIMENTI ALLUVIONALI PRESENTI NELLA GROTTA SORGENTE DEL RIO BASINO (ER/RA 372)

STEFANO CAPOCCHI^{1,2}, ANTONIO ROSSI^{1,3}

Riassunto

Nell'ambito dello studio multidisciplinare condotto sul Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino (ER/RA 385, ER/RA 372), a cui hanno partecipato numerosi Gruppi della Federazione Speleologica Regionale Emilia-Romagna, sono stati studiati alcuni dei riempimenti alluvionali presenti nel tratto compreso tra la Risorgente e il Laminatoio. In essi è stata determinata la composizione granulometrica e la natura petrografica del ciottolame di dimensioni superiori ai 2 mm; sugli stessi clasti sono stati anche misurati i parametri morfometrici e raccolte osservazioni di tipo morfoscopico al fine di ricostruire i meccanismi interni di loro trasporto e sedimentazione. I dati raccolti sono poi stati confrontati con gli analoghi relativi a riempimenti fisici di altre cavità (la Grotta della Spipola ER/BO 5, la Grotta Calindri ER/BO 149 e la Tana della Mussina di Borzano ER/RE 2); con questo raffronto ci si è proposti di mettere in evidenza eventuali analogie deposizionali e di composizione mineralogica e petrografica dei depositi alluvionali presenti in tali cavità. Dati ed osservazioni hanno messo in evidenza che il Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino rappresenta un ambiente sedimentario del tutto diverso da quelli delle grotte studiate in precedenza.

Parole chiave: Riempimenti fisici ipogei, granulometria, mineralogia, litologia, morfometria, morfoscopia, trasporto, Risorgente Rio Basino.

Abstract

The multidisciplinary study of the Rio Stella-Rio Basino karst system, done with the participation of numerous speleological groups of the Federazione Speleologica Regionale (FSRER), has been the occasion for a detailed analysis of the alluvial deposits of the sector comprised between the Risorgente and Laminatoio sectors. The granulometric distribution along with the petrographic nature of the cobbles has been determined for the clasts larger than 2 mm. Morphometric and morphoscopic analyses of the same clast population has also been carried out to reconstruct the sedimentary and transport mechanisms. The comparison with other known regional sedimentary sequences and mechanisms showed that the Rio Stella-Rio Basino sediments result from different processes with respect to the other occurrences here discussed (Spipola ER/BO 5, Calindri ER/BO 149 and Mussina ER/RE 2). Petrographically the clast population appears to be represented by a single population of former local depositional structures, while external materials (as sands, shales, etc.) are present in all the other studied cavities of the region.

Keywords: *Physical fillings in cave, granulometry, mineralogy, lithology, morphometry, morphoscopy, transport, Rio Basino spring.*

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Largo Sant'Eufemia 19, 41100 Modena.
e-mail: antoross@unimore.it

² Gruppo Speleologico Emiliano - CAI sezione di Modena, Via IV Novembre, 40/C, 41100 Modena.
e-mail: capocchistefano@yahoo.it

³ Gruppo Speleologico Bolognese - Unione Speleologica Bolognese

Premessa e brevi note introduttive sulle caratteristiche generali del Sistema carsico Rio Stella–Rio basino

Fin dagli anni '50 del secolo scorso gli speleologi hanno spesso incontrato notevoli difficoltà nell'esplorazione del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino a causa delle numerose e frequenti frane interne che impedivano ogni progressione (CORSI, 2001). È degli ultimi anni il progetto (OSB), organizzato dalla Federazione Speleologica Regionale Emilia-Romagna (FSRER), a cui hanno partecipato i principali gruppi speleologici federati, avente lo scopo dell'esplorazione completa della grotta, del suo rilievo topografico di precisione e della realizzazione di alcune ricerche multidisciplinari su tematiche riguardanti la cavità. Durante la realizzazione del progetto sono state scoperte nuove zone della grotta, risalito pozzi e raccolto una notevole quantità di informazioni di tipo geologico, petrografico, mineralogico, sedimentologico, strutturale, faunistico, ecc., che hanno reso questa cavità una tra le più conosciute della Regione.

Per la sua complessità e continua evoluzione morfologica interna non sono tuttavia da escludere ulteriori scoperte legate a future esplorazioni.

Oltre che sul complesso ipogeo, sono state anche condotte indagini sulle aree esterne limitrofe all'Inghiottitoio del Rio Stella, e sulle zone poste immediatamente a valle dell'attuale Grotta Risorgente del Rio Basino. Nell'ambito del progetto generale, le finalità del nostro studio hanno riguardato l'approfondimento delle conoscenze, soprattutto petrografiche e sedimentologiche, sui riempimenti fisici presenti nel tratto interno, conosciuto come "Grotta Sorgente del Rio Basino", e in alcuni ambienti ad esso soprastanti.

Con questa ricerca si è inoltre voluto verificare se le caratteristiche sedimentologiche, composizionali e i meccanismi deposizionali, già individuati per i depositi alluvionali di altre grotte emiliane, fossero comuni anche a questo complesso carsico, caratterizzato da una continua evoluzione morfologica dovuta a fenomeni di disequilibrio



Fig. 1 - La falesia della Formazione Gessoso-solfifera, nella Valle del Rio Stella, formata da potenti bancate gessose alternate da sottili strati pelitici (foto P. Lucci).



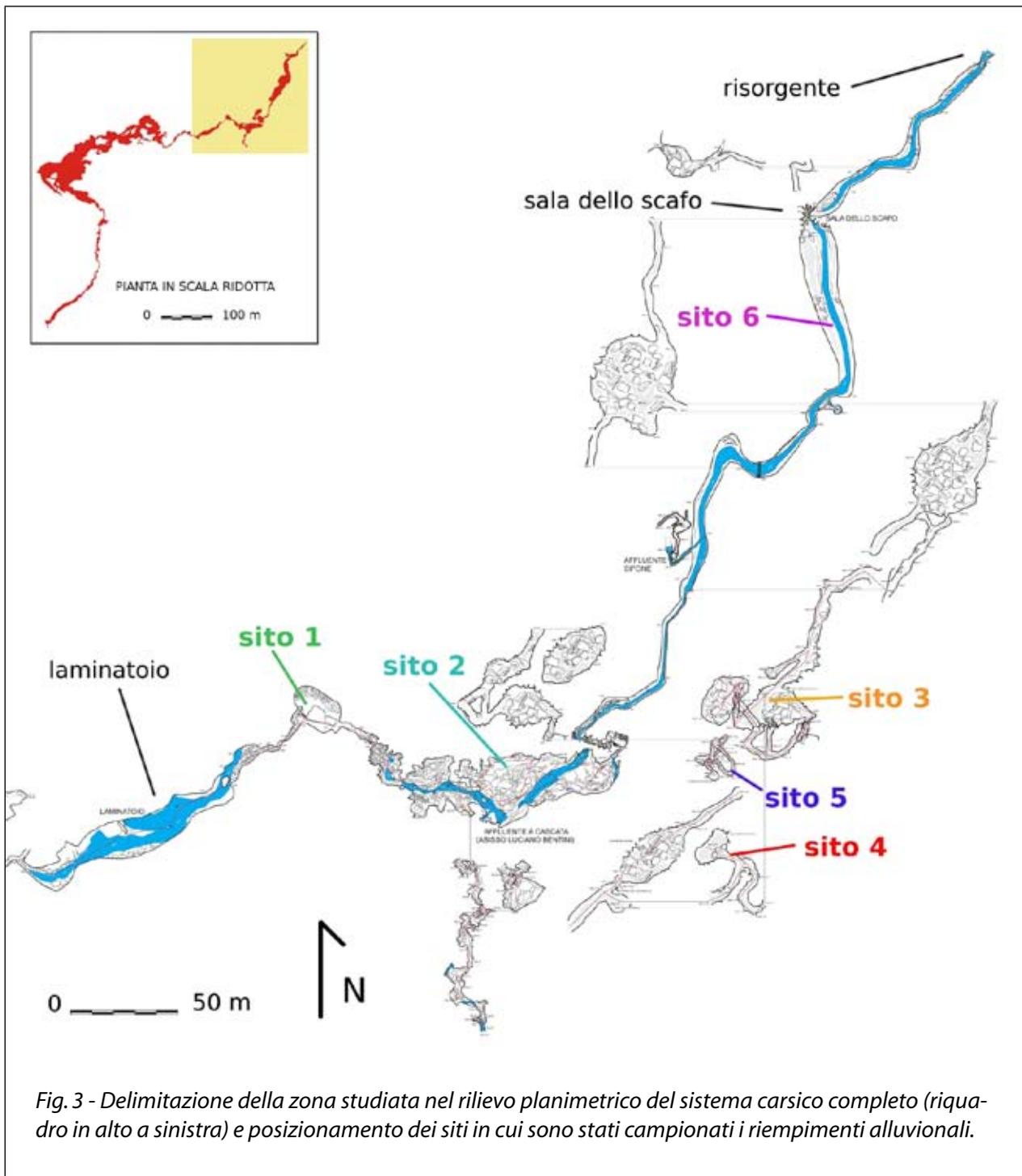
Fig. 2 - Concrezioni incrostanti un tratto del letto del torrente ipogeo (foto arch. Speleo GAM).

statico (frane di materiali incoerenti, crollo di blocchi di roccia, ecc.) in gran parte causati da instabilità gravitativa e dall'attività erosiva del torrente ipogeo, la cui portata stagionalmente varia in modo considerevole nonostante la limitata ampiezza del suo bacino imbrifero esterno. La Formazione Gessoso-solfifera, entro cui si sviluppa tutto il sistema carsico, è costituita da una serie di banchi di gesso, di spessore variabile fino a plurimetrico, alternati da sottili intercalazioni di materiale pelitico scarsamente cementato (Fig. 1). La roccia gessosa si presenta, a luoghi, notevolmente fratturata e con morfologie superficiali strettamente legate alla tettonica appenninica. Nei banchi di gesso, sia nella totalità della formazione che all'interno di ognuno di essi, si osservano notevoli variazioni dimensionali dei cristalli componenti che, in genere, includono materiale argilloso e sciami di micriti carbonatiche. La cavità presenta tratti anche facilmente percorribili, quando non interessati da frane di materiale incoerente eterometrico o da grossi massi rocciosi caduti dall'alto, ampi saloni, pozzi spesso risalibili con difficoltà, e livelli fossili superiori che corrispondono ad antichi piani di scorrimento del paleotorrente Rio Stella –

Rio Basino.

Nella cavità non sono particolarmente estese e frequenti le concrezioni calcaree, le gessose e quelle calcareo-gessose, in genere ubicate in corrispondenza di piccole cascate, di stillicidi, di venute d'acqua laterali oppure incrostanti tratti dell'alveo del corso d'acqua (Fig. 2). Il limitato bacino idrografico del Rio Stella si sviluppa tutto all'interno della Formazione Marnoso-arenacea Romagna e di quella dei "ghioli di letto" (BENINI *et al.*, 2009). Si tratta di rocce in prevalenza di natura argilloso-marnosa o marnoso-argillosa con intercalazioni arenacee; tutte litologie limitatamente cementate e scarsamente alimentatrici di materiale clastico grossolano resistente all'azione meccanica di un trasporto torrentizio.

Su queste formazioni si sovrappone quella Gessoso-solfifera, in netta prevalenza costituita da potenti bancate gessose intercalate da sottili livelli di peliti, a cui segue stratigraficamente la Formazione a Colombacci, che tuttavia non è presente nell'area di apporto detritico verso la cavità; parimenti non si hanno testimonianze di coperture Plio-Pleistoceniche che avrebbero potuto fornire una parte del materiale clastico trasportato dal torrente sotterraneo.



L'assenza nella zona di litotipi cementati aveva suggerito, sin dall'inizio della nostra ricerca, che gli apporti detritici esterni fossero soprattutto costituiti da materiali fini, incoerenti e facilmente disgregabili anche da un trasporto torrentizio spazialmente limitato.

Ubicazione, metodologie di campionatura e descrizione dei materiali raccolti

Per rendere significativo il confronto tra i dati e le osservazioni raccolte sui depositi alluvionali di questa e di altre cavità studiate, sono state utilizzate le stesse metodologie di studio indicate da ROSSI & MAZZA-



Fig. 4 - Sito 1 di campionamento (foto P. Lucci).

RELLA (1998, 2000 e 2001), BARBIERI & ROSSI (2001), ROSSI (2003). Sarà importante, essendo i riempimenti fisici ora indagati provenienti solo dal tratto della Grotta Risorgente del Rio Basino (ER/RA 372) compreso tra la Risorgente e il Laminatoio, proseguire in futuro l'attuale ricerca indagando anche i riempimenti fisici presenti tra il Laminatoio e l'Inghiottitoio del Rio Stella (ER/RA 385), segmenti entrambi dello stesso sistema carsico sotterraneo.

Sono stati, al momento, studiati 13 campioni provenienti da 6 diversi siti (Fig. 3).

All'interno della grotta, individuato il riempimento, si è esaminata la sua stratigrafia verticale e gli eventuali contatti tra i vari strati, ponendo particolare attenzione soprattutto ad eventuali variazioni granulometriche o della loro classazione; si è quindi proceduto a campionare ogni diverso livello, prelevando quantità di materiale che variavano a seconda della differente presenza in essi di ciottoli o di materiale sabbioso-pellico. Il peso dei campioni, se ricchi di clasti,

ha raggiunto in qualche caso anche i 16 Kg, mentre per quelli più fini la quantità si è aggirata attorno ad 1 Kg.

I riempimenti studiati sono stati i seguenti:

- Sito 1: posto in un piccolo ambiente sulla sinistra idrografica del torrente, poco a valle del *laminatoio*. Si tratta di un deposito alluvionale (Fig. 4) dello spessore di circa 1 m. Osservando le sue caratteristiche strutturali e la morfologia dell'ambiente, sembra che vi siano stati apporti di materiali clastici da direzioni diverse da quella di attuale deflusso del corso d'acqua. Da questo riempimento provengono i:
 - Campione 1C
 - Campione 1B
 - Campione 1A
- Sito 2: è situato in un salone di crollo di circa 30 m di lunghezza, sul cui pavimento sono accatastati massi di roccia gessosa di dimensioni anche metriche.



Fig. 5 - Sito 2 di campionamento (foto P. Lucci).



Fig. 6 - Sito 3 di campionamento (foto P. Lucci).

Il deposito (Fig. 5), potente quasi 3 m, è situato in sinistra idrografica e la sua parte superiore è ricoperta da ciottolame cementato da una concrezione. I materiali studiati corrispondono ai:

- Campione 2C
- Campione 2B
- Campione 2A
- Sito 3: si trova in un ambiente soprastante il torrente, all'interno di una sala di crollo prossima all'*affluente a cascata*. Il deposito (Fig. 6) occupa la parte nord-ovest della sala e si presenta ricco di materiale carbonioso. Ha fornito i:
 - Campione 3aB
 - Campione 3aA
 - Campione 3bA
- Sito 4: si tratta di un deposito alluvionale

dello spessore di circa 0,5 m posto all'interno di un "cunicolo" fossile al di sopra dell'*affluente a sifone* ad una distanza di circa 30 m dall'alveo del torrente attivo. Qua il sedimento è ricoperto da uno spesso livello costituito da inflorescenze gessose (Fig. 7). Da questo sono stati prelevati i:

- Campione 4B
- Campione 4A
- Sito 5: deposito alluvionale situato nel *cunicolo di Baldo* scavato a scopo esplorativo all'interno di un riempimento che occludeva totalmente questo tratto della grotta. Da esso è stato prelevato il:
 - Campione 5
- Sito 6: sedimento ciottoloso molto grossolano prelevato dall'alveo attuale del Tor-

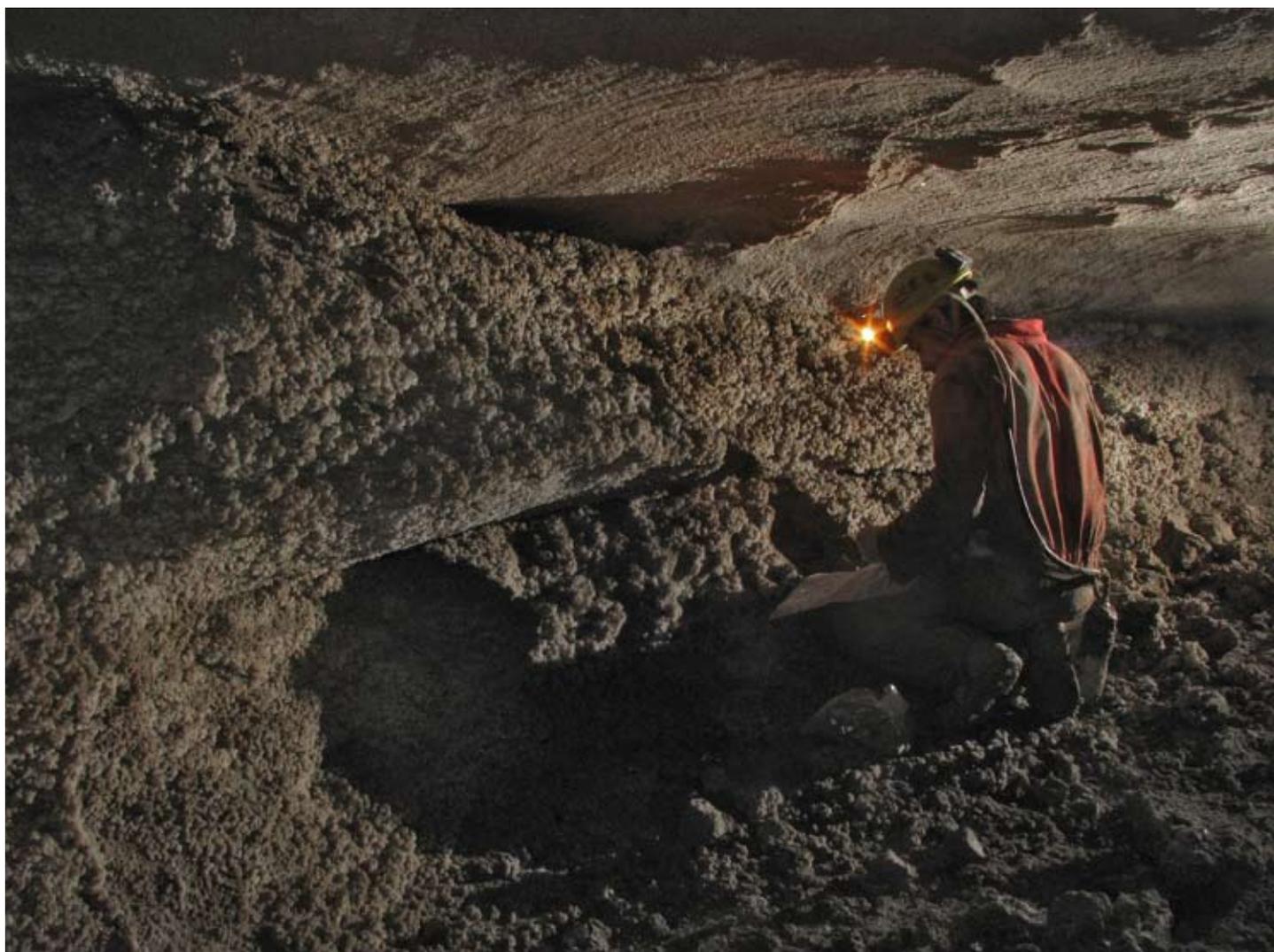


Fig. 7 - Sito 4 di campionamento; è ben evidente il crostone superficiale di inflorescenze gessose (foto P. Lucci).



Fig. 8 - Sito 6 di campionamento. Sulle pareti gessose si possono notare gli antichi livelli di scorrimento del torrente (foto P. Lucci).

rente Basino nel tratto terminale della grotta (Fig. 8), poco prima di raggiungere la *sala dello scafo*. Si tratta sicuramente di un deposito molto recente e dilavato.

Ha fornito il:

- Campione 6.

METODOLOGIE D'INDAGINE

Analisi granulometrica

Di ogni campione, opportunamente preparato, sono state separate e percentualizzate le diverse frazioni granulometriche ottenute secondo la classificazione di WENTHWORTH (1922) e seguendo le stesse metodologie indicate da ROSSI & MAZZARELLA (1998), BARBIERI & ROSSI (2001), ROSSI (2003).

Le varie percentuali ottenute sono riportate nella Tabella 1 nella quale sono evidenziate, con colore azzurro, le classi dei ciottoli e quella dei granuli e, con quello verde, le

sabbie, il limo o silt e l'argilla. Nella Fig. 9, per una migliore visione distributiva, tali valori sono riportati in diagrammi a scala semilogaritmica. Questi dati forniscono anche indicazioni sul tipo di trasporto e di energia idraulica del torrente che, nel tempo, ha dato origine, diversificandoli, ai vari riempimenti alluvionali.

In base alle percentuali granulometriche della Tabella 1, i materiali raccolti possono essere così classificati:

- Campione 1A: sabbia fine siltosa
- Campione 1B: ciottolame grossolano sabbioso
- Campione 1C: sabbia medio-fine siltosa
- Campione 2A: limo o silt
- Campione 2B: limo o silt con rari ciottoli e granuli
- Campione 2C: ciottolame eterogeneo

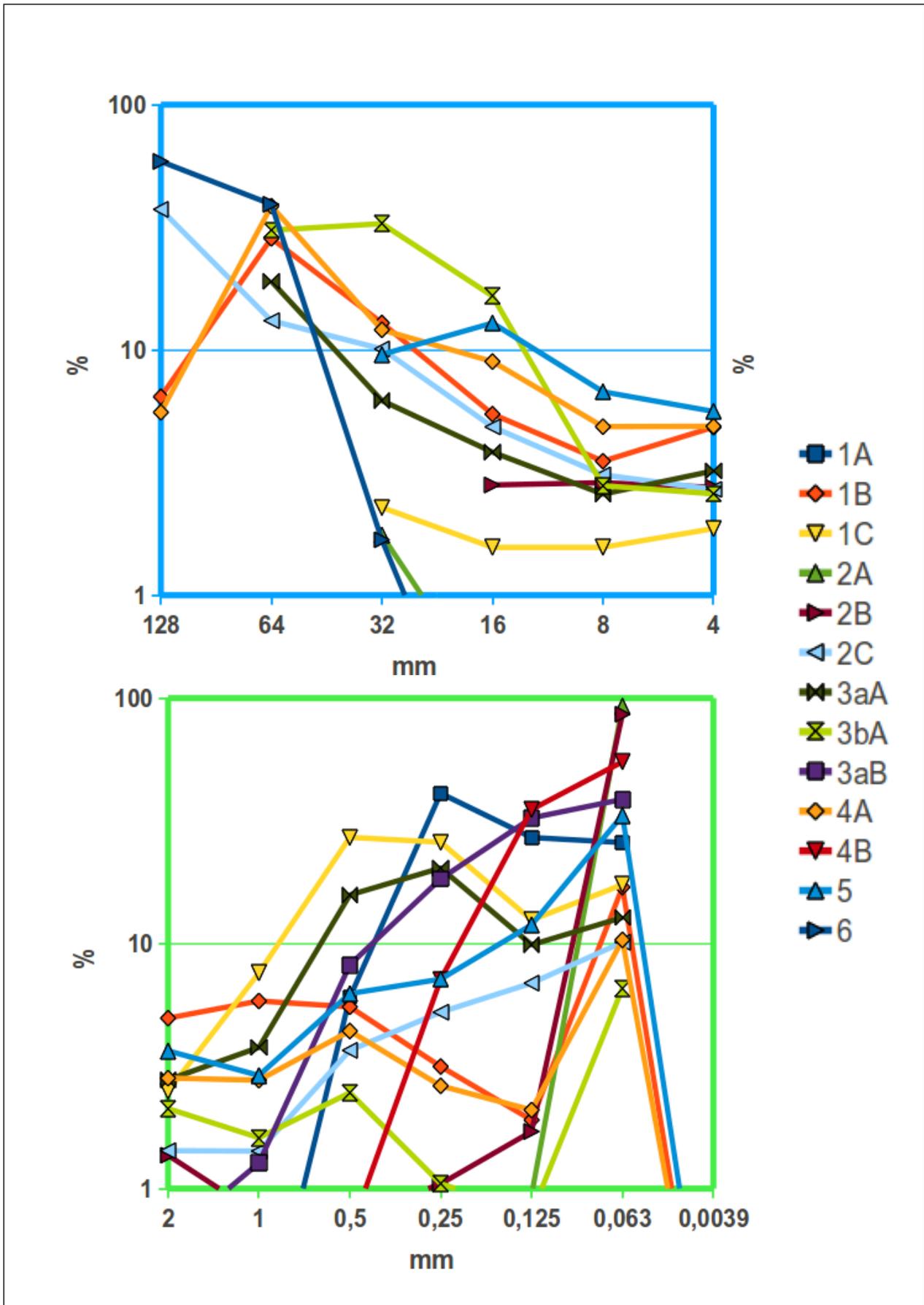


Fig. 9 - Diagrammi, in scala semilogaritmica, relativi alle percentuali granulometriche in peso dei campioni studiati. Il riquadro azzurro è relativo a ciottoli e granuli, quello verde a sabbia, limo o silt e argilla.

	mm		1A	1B	1C	2A	2B	2C	3aA	3bA	3aB	4A	4B	5	6
ciottoli	> 64	%		6,44				37,40				5,56			
	64-32	%		28,50				13,15	19,03	30,76		38,56			58,67
	32-16	%		12,88	2,28	1,76		10,08	6,21	32,71		12,07		9,58	1,68
	16-8	%		5,47	1,57	0,37	2,81	4,85	3,83	16,58		8,96	0,71	12,86	0,14
granuli	8-4	%	0,1	3,51	1,57	0,51	2,87	3,09	2,58	2,79	0,17	4,86	0,57	6,75	0,01
	4-2	%	0,1	4,84	1,87	0,49	2,75	2,70	3,21	2,59	0,36	4,88	0,33	5,61	0,01
sabbia	2-1	%		4,95	2,49	0,76	1,37	1,43	2,77	2,12	0,62	2,82	0,28	3,64	0,01
	1-0,5	%	0,2	5,82	7,58	0,62	0,78	1,42	3,76	1,61	1,27	2,77	0,22	2,89	0,01
	0,5-0,25	%	6,0	5,51	27,04	0,91	0,76	3,66	15,73	2,46	8,17	4,39	0,66	6,24	0,03
	0,25-0,125	%	40,9	3,14	25,83	0,90	1,04	5,24	20,27	1,05	18,32	2,62	7,12	7,14	0,04
silt	0,125-0,063	%	27,0	1,90	12,45	0,94	1,71	6,88	9,86	0,79	32,46	2,09	35,13	11,89	0,03
	0,063-0,0039	%	25,8	16,94	17,34	92,74	85,90	10,10	12,74	6,55	38,63	10,32	54,96	33,28	0,12
arg	< 0,0039	%		0,09								0,10		0,13	

Tab. 1 - Composizione granulometrica percentuale di tutti i campioni studiati definita in base alle classi dimensionali di WENTWORTH (1922). In mm la dimensione minima del passante nei crivelli e nei setacci.

- sabbioso-siltoso
 - Campione 3aA: sabbia ciottoloso-siltosa
 - Campione 3bA: ciottolame eterogeneo debolmente sabbioso-siltoso
 - Campione 3aB: sabbia medio-fine silto-silmosa
 - Campione 4A: ciottolame eterogeneo
 - sabbioso-siltoso
 - Campione 4B: limo o silt con sabbia fine
 - Campione 5: ciottolame siltoso-sabbioso
 - Campione 6: ciottolame molto grossolano
- In prevalenza si tratta di sedimenti assai

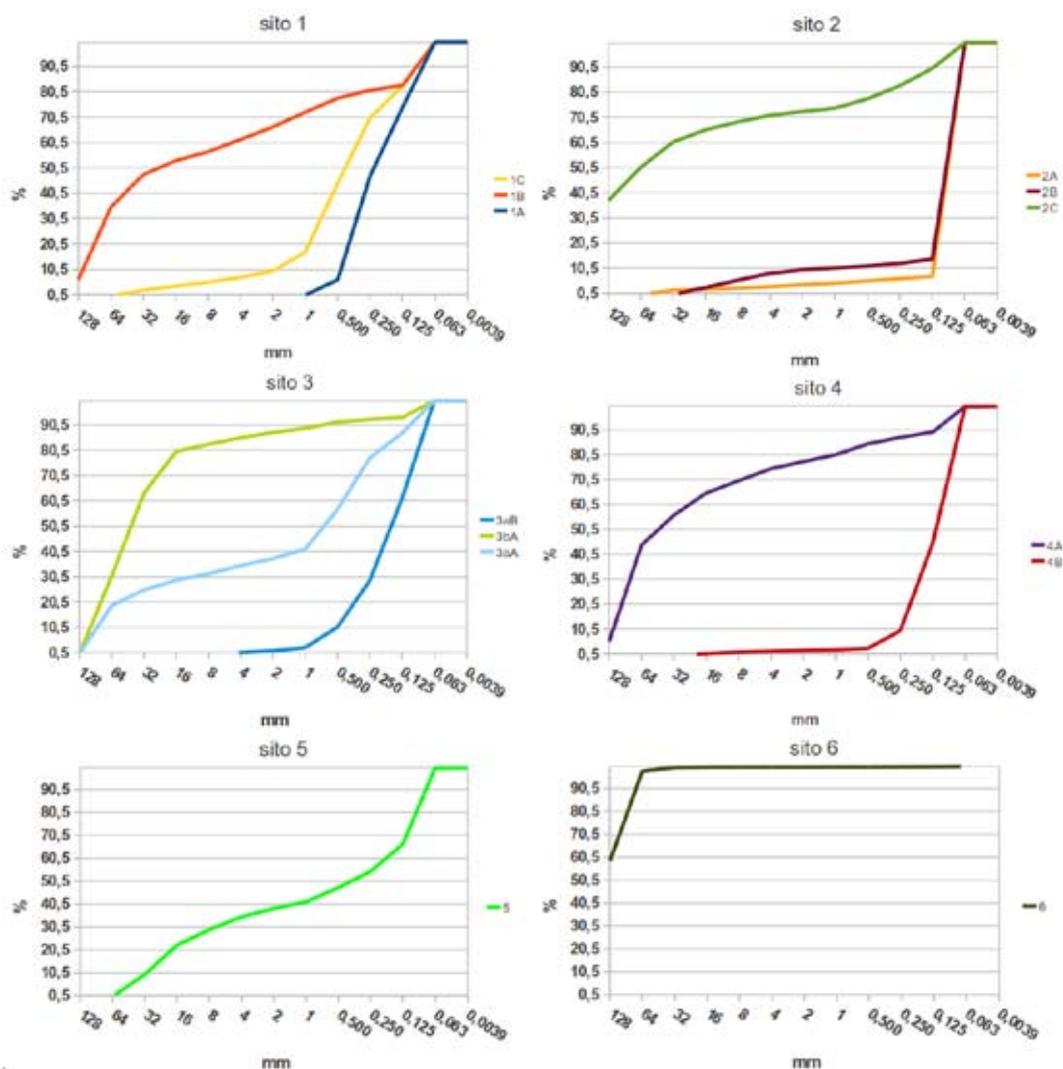


Fig. 10 - Curve granulometriche cumulative relative a campioni provenienti dallo stesso sito; sono indicate in ordinate le somme percentuali granulometriche, in ascisse le dimensioni minime dei passanti.

eteroclastici, con diversa dominanza unimodale di una specifica classe granulometrica. L'eterogeneità dimensionale caratterizza sia campioni tra loro distanti che provenienti dallo stesso sito.

In ognuno dei diagrammi della Fig. 10, che riportano le curve granulometriche cumulative, sono indicati i campioni provenienti dallo stesso sito.

Le differenze granulometriche (cioè tessiture) dei depositi fisici indagati indicano che, durante le diverse fasi deposizionali, l'energia idraulica del torrente ipogeo subiva forti variazioni. Queste potevano essere dovute a particolari condizioni climatiche

esterne di forte piovosità (elevato regime pluviometrico) che, nonostante la limitata estensione del bacino imbrifero del Rio Stella (circa 1,5 Km²), episodicamente alimentavano con notevoli apporti idrici il corso d'acqua sotterraneo che, non è da escludere, potesse anche ricevere acque drenate da altre strutture carsiche collegate al Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino. In base poi alle attuali condizioni o di evoluzione fisica della cavità, dovute a frane di materiali incoerenti, a crolli di grandi masse di gesso (Fig. 11), ecc., o morfologiche, legate alla presenza di strettoie, di stramazzi o di allargamenti dell'alveo, ecc., è possibile che



Fig. 11 - Salone di crollo con massi di roccia gessosa di grandi dimensioni (foto P. Lucci).

l'energia di trasporto e di sedimentazione del torrente abbia subito (come talora subisce anche attualmente) variazioni anche notevoli della sua intensità, analoghe a quelle che si creano quando un corso d'acqua sotterraneo incontra laghetti, sifoni o anche soltanto pozze. In tali casi mentre più oltre viene trasportata la componente fine del carico solido, a monte rapidamente sedimentano i materiali clastici più grossolani che l'energia idraulica del torrente non è più in grado di movimentare.

Le variazioni della capacità deposizionale del corso d'acqua ipogeo in una determinata posizione sono chiaramente indicate nelle curve granulometriche cumulative riportate in Fig. 10 e relative ai siti 1, 2, 3 e 4, da cui provengono più campioni, e 5 e 6 da ciascuno dei quali ne è stato prelevato soltanto uno. Inoltre va ricordato che, dove tali curve presentano andamenti poco inclinati, la sedimentazione di materiale solido di specifiche granulometrie era limitata; dove invece le pendenze sono elevate, era avvenuta una forte deposizione quantitativa delle frazioni detritiche che, in quel momento, costituivano il carico solido trasportato dal corso d'acqua.

Composizione mineralogica delle frazioni clastiche inferiori ai 2 mm

Sulle frazioni fini (sabbia, silt e argilla), data l'impossibilità di poterne riconoscere macroscopicamente la natura mineralogica a causa delle loro piccole dimensioni, sono state effettuate determinazioni composizionali mediante diffrattometria ai raggi X, operando in condizioni strumentali sempre perfettamente identiche e su provini quantitativamente analoghi. Analizzando i diagrammi ottenuti si è quindi proceduto ad una valutazione semi-quantitativa, esclusivamente indicativa, delle fasi cristalline presenti nelle singole frazioni.

I risultati di queste valutazioni sono riportati nelle Tabelle 2 e 3.

Le fasi cristalline riconosciute sono le seguenti:

- *Quarzo*: è il minerale di solito più abbondante, con una sua presenza in varie

frazioni ma con tendenza a concentrarsi nelle sabbie medio-fini. Risulta particolarmente abbondante nelle sabbie dei campioni 4A e 6.

- *Feldspato*: talora anche scarso o in tracce, è tuttavia abbondante nelle sabbie medie e mediofini, nel silt nel campione 2C e nelle sabbie molto fini dei campioni 4A e 5.
- *Illite e Clorite*: si tratta di minerali argillosi, in genere presenti in tracce o assenti. Solo nel campione 1B l'illite risulta significativa nelle sabbie medio-fini; essa è abbondante nel silt del campione 1A, mentre diventa un componente importante quasi costante in molte frazioni del campione 4B.
- *Calcite*: con il Quarzo è una delle principali fasi presenti anche se, rispetto a questo, essa sembra meno abbondante. In genere tende a concentrarsi nelle sabbie grossolane per diminuire gradualmente nelle frazioni inferiori. Sono i campioni 2B e 6 quelli in cui questo carbonato è sempre dominante.
- *Dolomite*: altro carbonato in genere, solo presente o scarso; risulta invece abbondante nella sabbia fine del campione 2B e nel limo o silt del campione 6.
- *Gesso*: è il minerale che evidenzia le maggiori irregolarità nella sua distribuzione, forse legate alla sua facile solubilità che ne può aver facilitato la scomparsa. Per lo più si presenta in tracce o è assente mentre, dove compare, tende a concentrarsi nelle sabbie grossolane (campioni 2A e 4B); in pochi casi (campioni 3aA e 4A) è in quantità significativa nelle frazioni argillose. Con l'analisi ai raggi X non è possibile accertare se esso sia di natura detritica o di neoformazione.

Mentre quarzo, silicati vari e carbonati oltre ad essere sicuramente di provenienza esterna possono anche rappresentare un contributo mineralogico proveniente dalle intercalazioni pelitiche presenti tra le bancate evaporitiche. Solo il gesso, se detritico, deriva dalle rocce in cui si è sviluppato il sistema carsico, mentre la calcite, oltre che

	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso
1A							
2-1 mm	***	**	#	*	***	*	*****
1-0,5	****	**	**	*	***	o	**
0,5-0,25	*****	**	***	*	**	*	o
0,25-0,125	*****	***	**	*	**	**	o
0,125-0,0625	*****	**	**	*	**	**	o
silt	***	**	****	**	***	**	o
argilla	***	*	**	**	**	**	o
1B							
2-1 mm	**	*	*	#	***	#	***
1-0,5	****	***	*	#	**	*	**
0,5-0,25	****	***	***	**	**	*	o
0,25-0,125	****	***	***	#	**	**	o
0,125-0,0625	***	***	***	o	**	**	o
silt	**	**	***	#	***	**	*
argilla	**	*	*	*	**	*	o
1C							
2-1 mm	**	**	o	o	****	*	***
1-0,5	****	***	*	#	**	**	*
0,5-0,25	*****	***	*	*	**	*	#
0,25-0,125	****	***	**	o	**	**	*
0,125-0,0625	****	**	#	#	**	**	o
silt	***	*	**	**	***	**	o
argilla	***	**	#	#	***	**	o
2A							
2-1 mm	*	*	#	#	***	*	*****
1-0,5	*	**	o	#	***	*	*****
0,5-0,25	**	**	o	o	***	*	*****
0,25-0,125	***	**	**	*	***	**	***
0,125-0,0625	****	***	**	*	***	**	**
silt	****	*	**	**	**	***	*
argilla	***	*	**	*	*	**	#
2B							
2-1 mm	#	#	#	*	*****	**	**
1-0,5	**	#	*	#	*****	**	*
0,5-0,25	**	*	#	*	****	**	#
0,25-0,125	**	#	#	#	***	****	o
0,125-0,0625	**	**	*	#	***	*****	#
silt	**	#	*	o	****	***	o
argilla	**	*	*	*	***	**	*
2C							
2-1 mm	**	*	*	#	****	**	***
1-0,5	***	**	*	#	***	**	****
0,5-0,25	****	***	**	*	**	**	**
0,25-0,125	****	***	**	*	**	**	#
0,125-0,0625	****	*****	**	**	**	***	*
silt	****	*****	**	**	**	***	*
argilla	***	**	***	***	**	***	#
3aA							
2-1 mm							
1-0,5	***	**	*	*	***	#	#
0,5-0,25	*****	***	*	o	**	#	o
0,25-0,125	*****	****	**	*	**	*	#
0,125-0,0625	*****	****	**	*	**	**	*
silt	***	*	**	**	***	**	*
argilla	**	#	#	#	**	**	***

Tab. 2 - Stime soggettive semi-quantitative della composizione mineralogica dei campioni (1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3aA), suggerite dall'interpretazione e dal confronto fra i diffrattogrammi ottenuti su tutte le frazioni di diametro < 2 mm. I simboli indicano le seguenti valutazioni: o assente, # tracce, * scarsa, ** presente, *** ben presente, **** abbondante, ***** molto abbondante, ***** assolutamente dominante.

	Quarzo	Feldspato	Illite	Clorite	Calcite	Dolomite	Gesso
3aB							
2-1 mm							
1-0,5	#	#	o	o	o	o	*****
0,5-0,25	****	**	*	*	**	*	****
0,25-0,125	*****	*****	**	**	**	**	*
0,125-0,0625	*****	****	**	**	**	***	#
silt	***	***	**	*	**	***	#
argilla	**	#	#	#	**	**	*
3bA							
2-1 mm	**	*	o	o	****	*	o
1-0,5	***	**	**	#	***	*	o
0,5-0,25	****	***	**	*	**	**	o
0,25-0,125	****	***	*	*	**	**	#
0,125-0,0625	***	**	**	**	**	**	o
silt	***	**	***	**	***	***	o
argilla	***	**	**	*	**	**	****
4A							
2-1 mm	**	**	**	**	*****	#	o
1-0,5	*****	***	**	*	****	**	#
0,5-0,25	*****	****	**	**	***	o	#
0,25-0,125	*****	****	**	**	***	***	*
0,125-0,0625	*****	*****	***	**	***	***	#
silt	****	**	***	***	***	**	#
argilla	***	**	**	**	***	**	***
4B							
2-1 mm	**	#	#	*	***	*	*****
1-0,5	***	*	*	*	***	*	*****
0,5-0,25	*****	***	***	**	**	**	*****
0,25-0,125	*****	***	****	**	**	#	#
0,125-0,0625	*****	****	****	**	**	**	#
silt	****	***	****	***	***	***	#
argilla	***	***	***	*	**	**	o
5							
2-1 mm	**	*	o	*	****	#	***
1-0,5	***	**	o	*	****	#	****
0,5-0,25	*****	***	**	*	***	o	**
0,25-0,125	*****	****	***	*	***	o	*
0,125-0,0625	*****	*****	***	**	***	*	*
silt	***	***	**	**	***	*	#
argilla	***	**	***	**	***	*	**
6							
2-1 mm	***	*	*	*	*****	**	#
1-0,5	*****	**	**	*	*****	**	#
0,5-0,25	*****	***	**	**	*****	**	#
0,25-0,125	*****	****	****	***	*****	****	#
0,125-0,0625	*****	****	***	**	*****	***	#
silt	****	**	***	***	*****	****	o
argilla	***	*	**	*	***	**	*

Tab.3 - Stime soggettive semi-quantitative della composizione mineralogica dei campioni (3aB, 3bA, 4A, 4B, 5, 6), suggerite dall'interpretazione e dal confronto fra i diffrattogrammi ottenuti su tutte le frazioni di diametro < 2 mm. I simboli indicano le seguenti valutazioni: o assente, # tracce, * scarsa, ** presente, *** ben presente, **** abbondante, ***** molto abbondante, ***** assolutamente dominante.

		1B	1C	2B	2C	3aA	3bA	4A	4B	5	6	media
concrezioni calcaree	%	9,2	16,5	78,1	52,0	62,0	89,3	62,0	5,4	48,3	15,3	43,80
concrezioni travertinose	%	8,1	14,3	5,0	9,5	13,5	5,7	13,4	7,8	33,6	6,3	11,72
concrezioni sabbioso-calcaree	%	38,8	14,4			24,5	5,1	24,6	9,5	5,7		12,25
rocce gessose	%	43,5	54,8		2,8					12,4		11,35
efflorescenze gessose	%			16,9	0,4				77,3			9,46
arenarie	%				18,6						41,3	5,99
calcari	%	0,3			3,0						19,5	2,28
calcari arenacei	%				13,7						17,6	3,14

Tab. 4 - Composizione petrografica espressa in percentuali ponderali ed ottenuta sui ciottoli e granuli presenti nei sedimenti studiati.

provenire dalle formazioni in cui si è sviluppato il bacino imbrifero esterno del Rio Stella o dagli interstrati pelitici della successione evaporitica, in parte può provenire dallo smantellamento e forte fratturazione degli speleotemi calcarei presenti nel sistema carsico.

Composizione petrografica delle frazioni clastiche superiori ai 2 mm

Di tutti i ciottoli ($\varnothing > 4$ mm) e dei granuli ($\varnothing 4-2$ mm), presenti nei sedimenti raccolti, è stato effettuato il riconoscimento della loro natura petrografica utilizzando stereoscopi con opportuni ingrandimenti. I risultati complessivi di tale indagine, lunga e complessa per il grande numero di individui classificati (alcune decine di migliaia), sono riassunti nella Tabella 4, in cui non sono però riportati i campioni a prevalente componente granulometrica di diametro inferiore a 2 mm.

I dati in essa indicati evidenziano una netta predominanza delle litologie in posto presenti nell'ambiente ipogeo; nel solo campione 6 prevalgono i clasti provenienti da formazioni esterne. Dalla tabella sono escluse litologie presenti in quantità inferiori a 1%, delle quali verrà comunque fornita una descrizione.

Litologie di origine ipogea:

Concrezioni calcaree, sabbioso-calcaree e travertinose: si tratta di clasti provenienti da speleotemi, soprattutto di tipo concrezionante (colate parietali, crostoni di fondo, stalattiti e stalagmiti), formati in particolari condizioni ambientali (FORTI, 1991).

Questi, a causa di un loro smantellamento dovuto a meccanismi fisici di erosione, causati dal torrente sotterraneo, e/o chimici (aggressione da parte di acque con alto contenuto di CO_2 o con scarsa presenza di sali disciolti), che hanno agito tra la base di uno speleotema e il suo supporto di roccia gessosa fino ad isolarli, vengono staccati dalla loro superficie d'appoggio, fratturati e poi movimentati dal torrente ipogeo, per essere in seguito da questo depositati lungo il suo corso. L'immagine nella Fig. 12 presenta massi rocciosi ricoperti da concrezioni calcaree.

I ciottoli di concrezione calcarea si presentano compatti e costituiti dalla sovrapposizione di sottili bande di deposizione chimica; quelli di concrezioni travertinose, molto simili ai primi ma più leggeri, per la loro vacuolarità hanno aspetto spugnoso e talvolta risultano facilmente disaggregabili; infine quelli sabbioso-calcarei, in genere provenienti dai "crostoni" che ricoprono l'alveo del corso d'acqua, sono costituite da variabili quantità di sabbia cementata da carbonati. Il loro colore varia da biancastro e giallo-bruno per le calcaree e le sabbioso-calcaree e da giallo-paglierino a grigio-bianco per quelle travertinose. Talvolta alcuni clasti sono ricoperti da patine bruno-scure costituite da ossidi di Fe e di Mn.

Questi tre tipi di concrezioni, nel loro insieme, spesso superano il 70 % in peso del materiale, raggiungendo il 100 % nei campioni 3aA, 3bA e 4A.

Roccia gessosa ed inflorescenze gessose: sono litologie legate direttamente o indirettamente alla Formazione Gessoso-solfifera



Fig. 12 - Massi rocciosi interamente ricoperti da concrezioni calcaree, uno dei pochi casi di speleotemi calcarei conservati nella cavità (foto P. Lucci).

attraversata dalla cavità. Nel primo caso si tratta di clasti provenienti (per carsificazione, parziale dissoluzione o disgregazione meccanica) dalla roccia in posto; essi si presentano con tessiture macro- o microcristalline, in associazioni di individui di piccole dimensioni o corrispondono a frammenti di singoli cristalli. Le inflorescenze gessose sono invece aggregati di numerosi cristalli

tabulari di neoformazione, spesso formati in seguito all'evaporazione concentrata di sottili pellicole d'acqua che, lentamente, risalgono per capillarità attraverso i piccoli meati presenti o nella roccia o all'interno di concrezioni calcaree (DE WAELE *et al.*, 2010)

I clasti di roccia gessosa sono prevalenti nei campioni 1B e 1C, mentre l'alta percentuale

di frammenti di inflorescenze gessose (77%) del campione 4B è strettamente legata alla particolarità di questo deposito che, al suo interno e in superficie, appare completamente rivestito da ciuffi e patine incrostanti formati da minuti cristalli di gesso di neoformazione; tali speleotemi testimoniano meccanismi di “essudazione” avvenuti all’interno del sedimento, o di evaporazione di acqua che, a contatto con l’aria, deposita i sali in essa disciolti.

I frammenti costituiti da inflorescenze gessose sono dominanti nel campione 4B.

Materiale esterno alla grotta:

Arenarie: frammenti di roccia generalmente di colore grigio e a limitata cementazione in cui la componente sabbiosa ha una granulometria medio-fine. Questi clasti provengono da litotipi, affioranti nella Valle cieca del Rio Stella ed appartenenti alla Formazione Marnoso-arenacea Romagnola e alla Formazione dei “ghioli di letto”. Non si sono identificate testimonianze dei contributi detritici, provenienti da coperture alluvionali plio-pleistoceniche od oloceniche, che sono invece presenti, e talora abbondanti, nei riempimenti alluvionali di numerose altre grotte del bolognese e del reggiano (Demaria, 2010). Nei depositi interni del Rio Basino le arenarie sono significativamente presenti nei soli campioni 2C (oltre il 18%) e 6 dove arrivano a superare il 41% in peso.

Calcari: si tratta di frammenti di roccia compatta di colore chiaro a dominante componente carbonatica fine. Sono in quantità significative solo nel campione 6 in cui raggiungono quasi il 20% in peso del totale.

Calcari arenacei: sono clasti di roccia calcarea contenenti materiale sabbioso in quantità, talora, discretamente abbondante. Raggiungono percentuali significative nei soli campioni 2C, 4A e 6.

Materiale esterno di varia natura, presente in percentuali sempre inferiori al 1%:

Frammenti di Gasteropodi terrestri recenti: si tratta di sottili e fragili frammenti di gusci e di conchiglie che conservano inaltera-

ti molti dei loro caratteri quali: il colore, la scarsa consistenza o l’aspetto madreperlaceo. I loro contorni, non usurati e taglienti, fanno ipotizzare che la loro frammentazione sia avvenuta pressoché in posto senza che essi abbiano poi subito un significativo trasporto meccanico. Nei campioni studiati tali frammenti costituiscono una presenza quasi costante, ma non significativa, solo nelle frazioni di diametro tra 8-4 mm e soprattutto in quelle tra 4-2 mm.

Frammenti di selce: corrispondono a rare e minute schegge grigio-scure dai contorni aguzzi e taglienti, presenti solo nei campioni 1B, 3bA, 4A e 5. La loro scarsità o assenza sono elementi importanti che differenziano i depositi alluvionali del Rio Basino da quelli di altre grotte del bolognese e reggiano (DEMARIA, 2010; ROSSI & MAZZARELLA, 1998, 2000 e 2001; BARBIERI & ROSSI, 2001; ROSSI, 2003), dove tali litotipi sono ben documentati e significativi. La loro assenza o insignificante presenza sono testimonianze sicure che il ciottolame dei depositi fisici, ora studiati, proviene da formazioni geologiche o da coperture detritiche esterne del tutto diverse da quelle che hanno fornito i clasti dei riempimenti delle altre cavità emiliane indagate.

Frammenti di laterizio: sono generalmente rari clasti di colore rosso-rosato il cui diametro è sempre compreso nella frazione granulometrica di 4-2 mm (campioni 1B, 1C, 2C e 5). La loro presenza è una conferma che i riempimenti che li contengono si sono formati in epoche storiche.

Pisoliti: si tratta di minute (\varnothing 1-2 mm) concrezioni tipiche di ambiente ipogeo. Sono quasi perfettamente sferiche e formate da sottili bande concentriche costituite da cristalli, in genere di calcite, che si accrescono in modo radiale attorno ad un nucleo solitamente di origine detritica.

In Fig. 13 sono rappresentati, a scopo indicativo, gli andamenti distributivi delle principali litologie di quattro campioni particolarmente significativi. Si può rilevare che laddove le concrezioni calcaree tendono a diminuire con il ridursi della granulome-

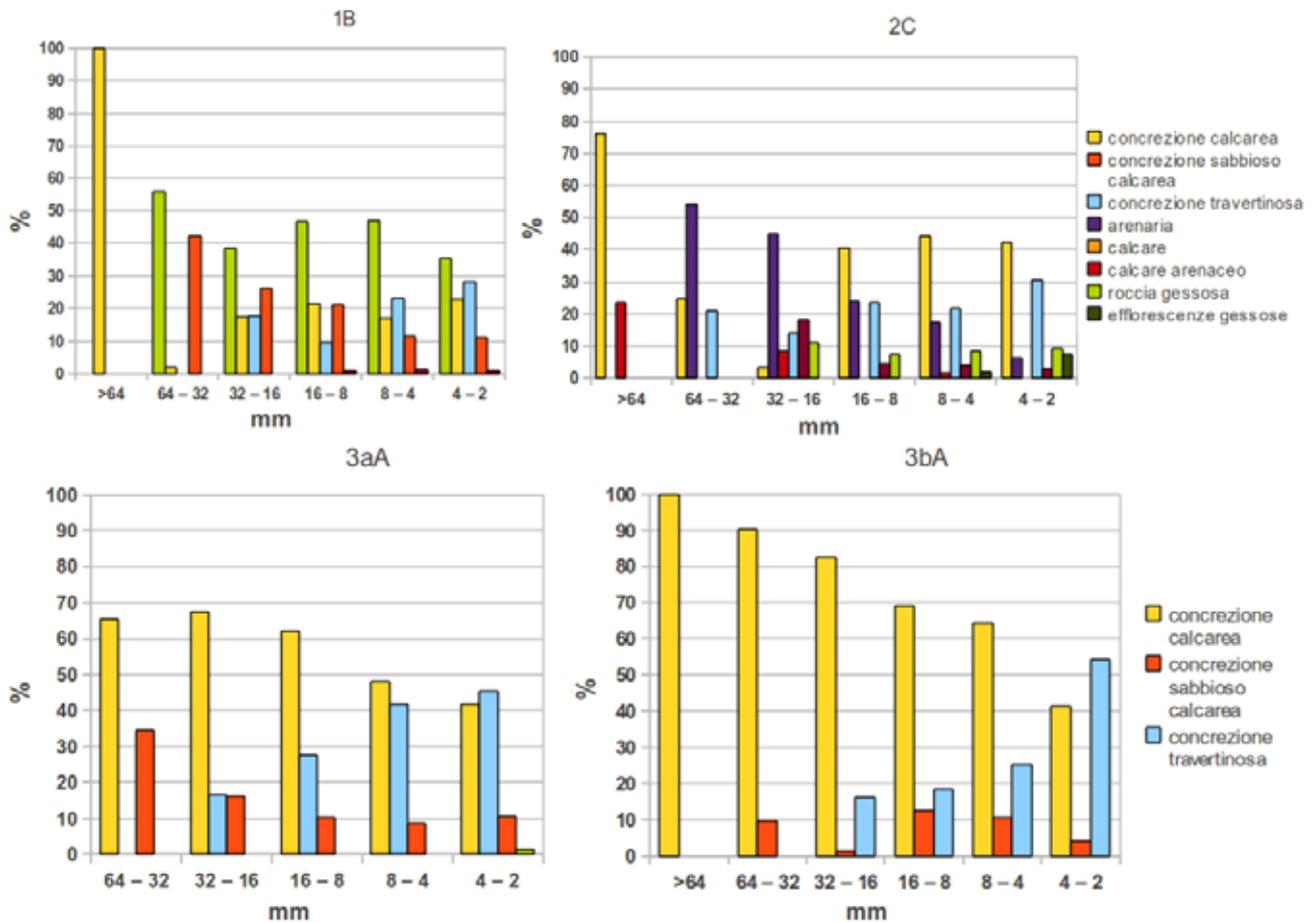


Fig. 13 - Istogrammi relativi alla variabilità distributiva, su base granulometrica, delle litologie dei ciottoli dei campioni 1B, 2C, 3aA e 3bA (in ordinata le percentuali in peso e in ascissa i vari ambiti dimensionali).

tria, contemporaneamente quelle travertinose aumentano. Le altre litologie tendono, a loro volta, a definire “trends” di variabilità quantitativa o leggermente convessi oppure a scendere o a salire.

Determinazioni morfometriche e osservazioni morfoscopiche

La forma esterna di un clasto unitamente alle dimensioni e al suo peso specifico rappresentano parametri che ne condizionano il comportamento meccanico durante tutte le fasi di un suo trasporto idraulico. Tali proprietà possono fornire suggerimenti per ricostruire gli ambienti e i processi fisici che ne hanno condizionato la sedimentazione. Va poi tenuto presente che la forma di un clasto dipende dalla tessitura, dalle

caratteristiche strutturali e composizionali della sua roccia madre e dalla facilità con cui esso risponde ai processi di degradazione chimica e di usura fisica.

Al fine di raccogliere informazioni sia inerenti le risposte meccaniche date dai ciottoli, presenti nei riempimenti alluvionali studiati, sia relative ai caratteri da essi acquisiti durante le fasi di loro trasporto da parte del torrente sotterraneo, su di essi sono state condotte misure morfometriche e raccolte osservazioni morfoscopiche che hanno permesso di definire alcuni loro specifici caratteri quali: le forme fondamentali, l'appiattimento, la sfericità e l'arrotondamento, tutti parametri questi particolarmente legati alle variazioni dell'energia idraulica del corso d'acqua sotterraneo.

	b/a	c/b	forma	simbolo
I	$> 2/3$	$< 2/3$	discoidale	D
II	$> 2/3$	$> 2/3$	sferica	S
III	$< 2/3$	$< 2/3$	lamellare	L
IV	$< 2/3$	$> 2/3$	allungata	A

Tab.5 - Le quattro forme fondamentali definite dai rapporti tra i tre assi (intercette) principali (ZINGG, 1935).

I dati numerici, relativi ai caratteri raccolti sui ciottoli delle diverse frazioni granulometriche di diametro superiori a 4 mm, per comodità di presentazione sono stati riassunti in singole tabelle (in cui si sono tuttavia mantenute distinte le principali litologie), ciò perchè, nella maggior parte dei casi, nei singoli campioni gli andamenti distributivi dei vari parametri considerati risultavano fra loro abbastanza analoghi.

I dati ottenuti, basati su misure e osservazioni condotte talora su migliaia di frammenti, risultano pertanto avere una solida base statistica. Sono stati esclusi da queste analisi i sedimenti con scarsa presenza di clasti percentualizzabili (campioni 1A, 2A, 2B e 4B).

Tutti i diversi procedimenti analitici utilizzati sono descritti in RICCI LUCCHI (1980).

Forme fondamentali

In natura i clasti sottoposti a trasporto idraulico tendono ad assumere una delle seguenti quattro forme fondamentali: la sferica (S), la discoidale (D), l'allungata (A) e la lamellare (L). Secondo il diagramma proposto da ZINGG (1935) tali forme sono definite in base ai rapporti tra le misure dei tre assi (intercette) principali di ogni singolo clasto: a , b e c (rispettivamente: il maggiore, l'intermedio e il minore). La suddivisione delle forme indicate da ZINGG (1935) è riportata nella Tabella 5.

Queste forme, che in genere risultano strettamente legate alla composizione litologica e alla tessitura della roccia madre, possono fornire informazioni sulle caratteristiche petrografiche delle rocce di provenienza, ed indicazioni importanti sull'azione idraulica del mezzo che ha movimentato i clasti sin dal momento iniziale del loro trasporto. Secondo RICCI LUCCHI (1980), il ciottolame mobilizzato in ambiente fluviale risulterebbe

tendenzialmente sferico (S) o lamellare (L), mentre un ambiente marino di spiaggia tenderebbe a produrre clasti con forme discoidali (D) o allungate (A).

La distribuzione nel diagramma di Zingg delle forme fondamentali relative ai campioni 1B, 2C, 3aA e 3bA sono riportate, a titolo di esempio, nelle figure 14, 15 e 16, mentre le percentuali di ognuna di esse relative ai singoli materiali studiati, sono presentate nella Tabella 6.

In questi diagrammi le varie popolazioni ciottolose tendono preferenzialmente a concentrarsi nei campi relativi alle forme sferiche e a quelle discoidali.

Ciò è particolarmente evidente per i tre tipi di concrezioni (calcareae, travertinose e sabbioso-calcareae) che offrono, anche se fra loro diversa, una non elevata resistenza meccanica durante i vari processi di trasporto, abrasione ed usura meccanica.

Va anche evidenziato che, a causa del loro limitato numero, non particolarmente indicativo è il grafico relativo ai clasti di roccia calcarea del campione 2C, anche se nel diagramma è intuibile, pure per questi, una distribuzione che ricorda quella dei frammenti dei vari tipi di concrezioni.

Nel diagramma di Fig. 14, relativo ai clasti di roccia gessosa, questi sono dispersi a nuvola nei quattro campi principali con una frequenza particolare in corrispondenza delle linee che separano tali ambiti. Questa distribuzione risulta sicuramente condizionata anche dalle dimensioni, dai reciproci rapporti strutturali e dalla disposizione spaziale dei singoli cristalli di gesso presenti in ogni frammento ciottoloso.

La Tabella 6 riassume per ogni campione le percentuali relative alle forme fondamentali dei clasti, suddivisi per le litologie di appartenenza. Eccetto che nel campione 5, predominano quelle discoidali, che variano

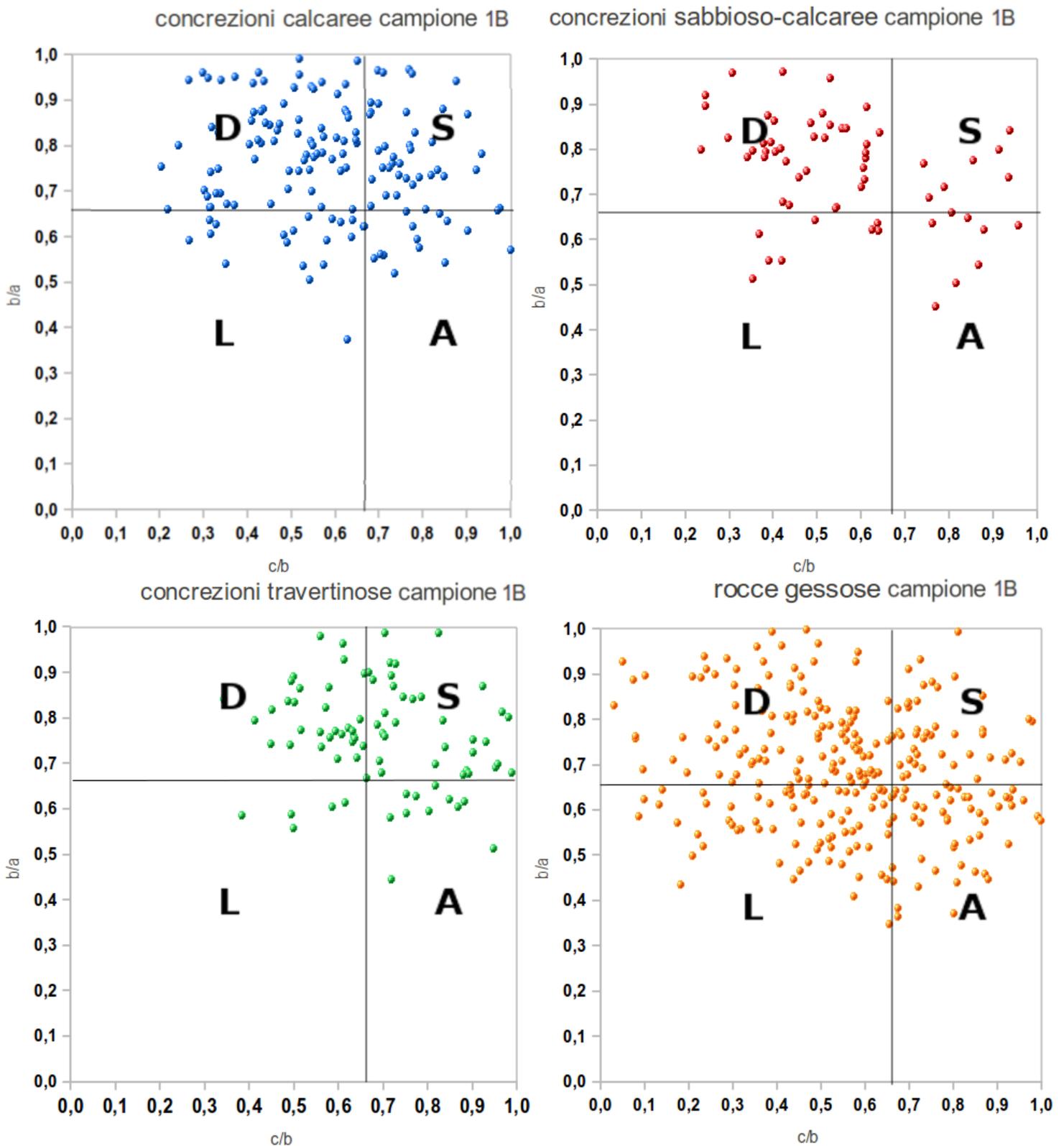


Fig. 14 - Distribuzione nel diagramma di ZINGG (1935) delle forme fondamentali dei clasti del campione 1B, suddivisi in base alla loro litologia (le lettere in neretto indicano le forme principali descritte nel testo).

tra il 37 e il 57%; seguono le sferiche, il cui ambito di distribuzione spazia da 8 al 41%; infine le forme lamellari e quelle allungate,

sempre in subordine alle precedenti, le cui presenze percentuali di poco si discostano tra loro.

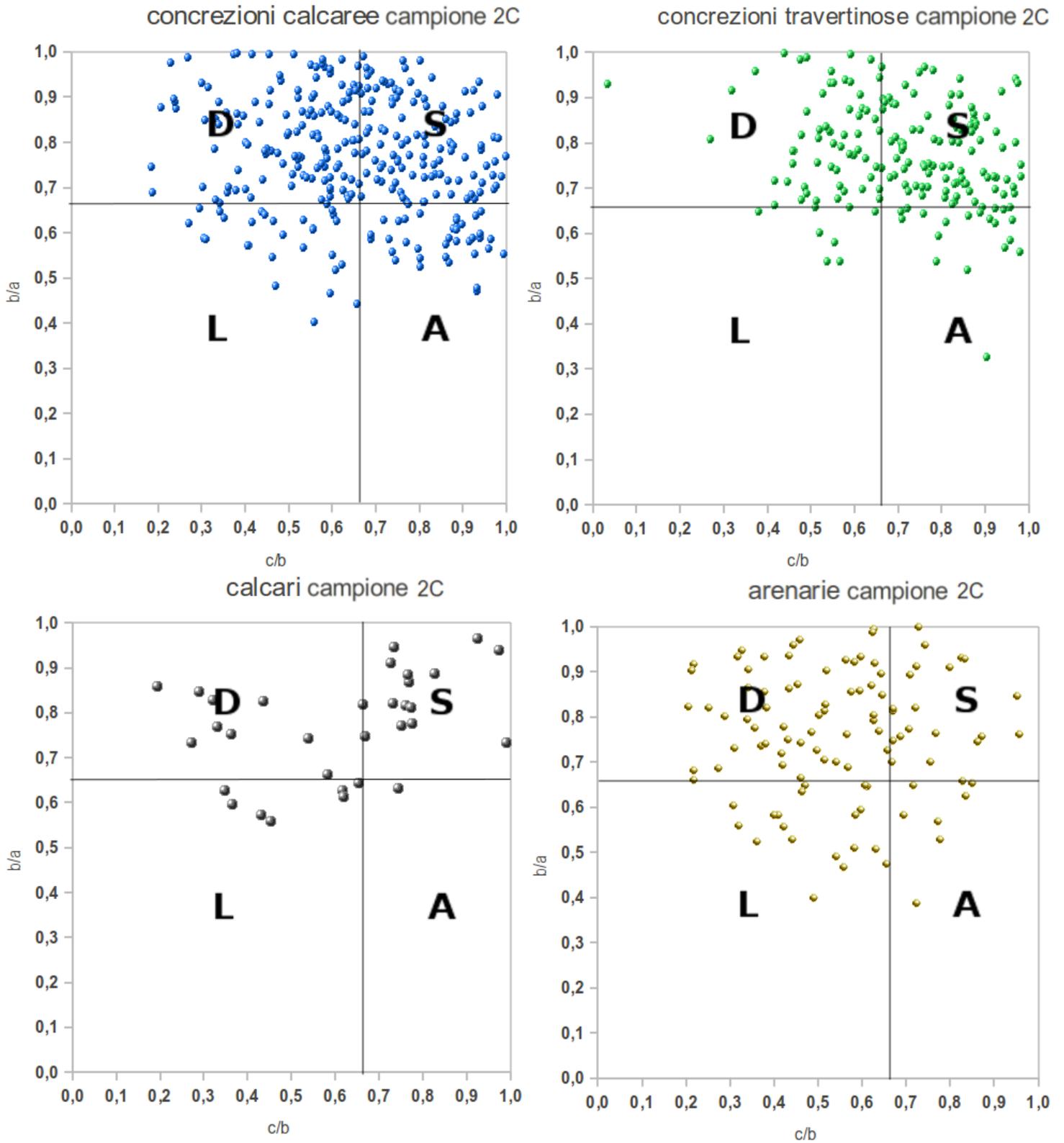


Fig. 15 - Distribuzione nel diagramma di ZINGG (1935) delle forme fondamentali dei clasti del campione 2C, suddivisi in base alla loro litologia (le lettere in neretto indicano le forme principali descritte nel testo).

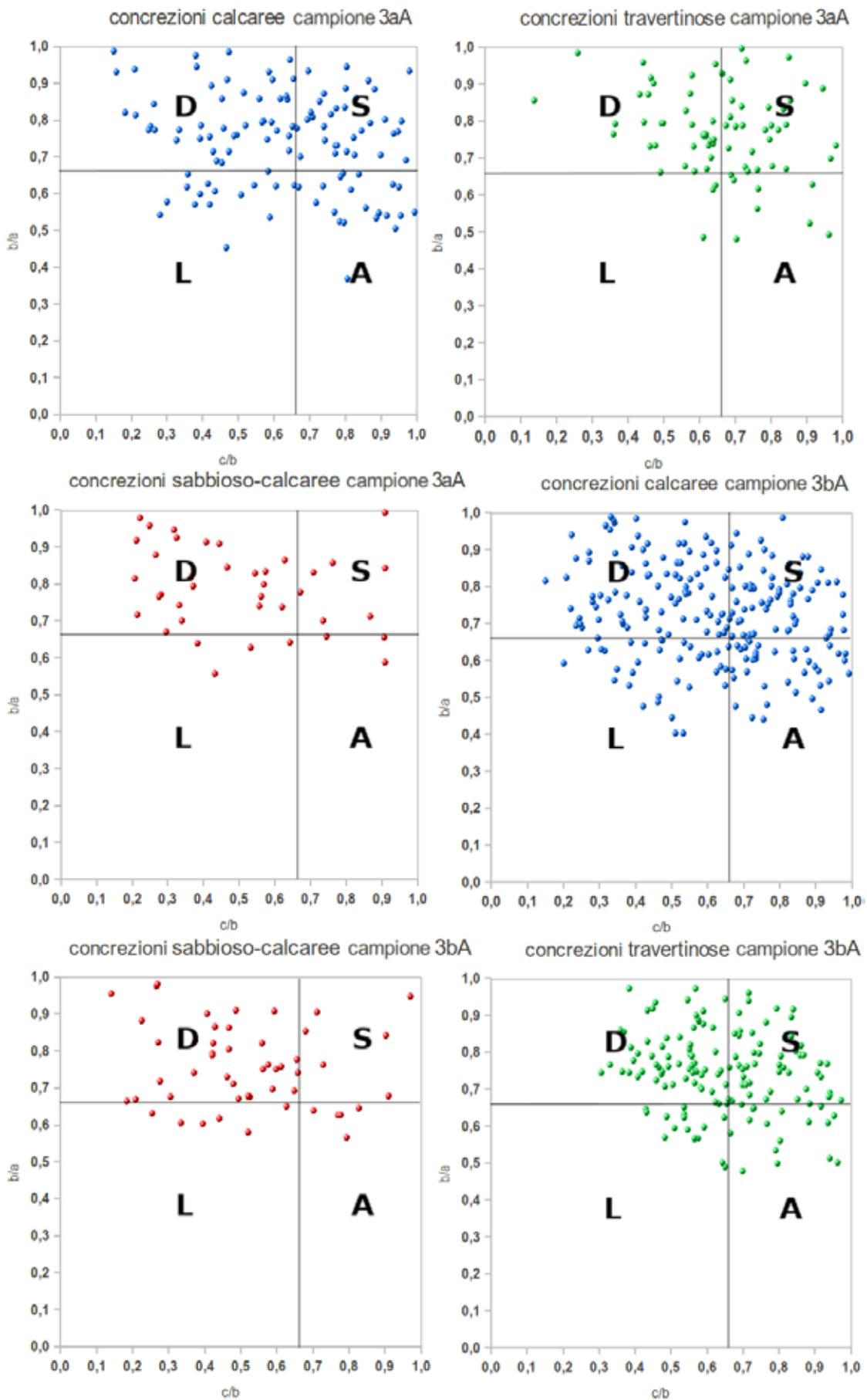


Fig. 16 - Distribuzione nel diagramma di ZINGG (1935) delle forme fondamentali dei clasti dei campioni 3aA e 3bA, suddivisi in base alla loro litologia (le lettere in neretto indicano le forme principali descritte nel testo).

	D	S	L	A	
1B					
concrezioni calcaree	49,7	24,2	14,8	11,4	%
concrezioni travertinose	39,5	40,7	6,2	13,6	%
concrezioni sabbioso-calcaree	62,9	11,3	12,9	12,9	%
rocce gessose	38,1	15,0	29,3	17,6	%
arenarie	50,0	16,7	33,3		%
calcari	33,3	33,3		33,3	%
totale	44,0	20,8	20,3	14,9	%
1C					
concrezioni calcaree	62,5	20,8	12,5	4,2	%
concrezioni travertinose	22,2	33,3		44,4	%
concrezioni sabbioso-calcaree	45,0	35,0	10,0	10,0	%
rocce gessose	54,5	11,4	27,3	6,8	%
totale	51,5	20,6	17,5	10,4	%
2C					
concrezioni calcaree	41,2	36,5	10,0	12,3	%
concrezioni travertinose	33,7	49,2	5,0	12,2	%
rocce gessose	33,3	16,7	44,4	5,6	%
arenarie	54,7	14,4	24,5	6,5	%
calcari	28,1	43,8	25,0	3,1	%
calcari arenacei	63,6		36,4		%
totale	41,5	34,6	13,6	10,3	%
3aA					
concrezioni calcaree	40,4	28,1	14,0	17,5	%
concrezioni travertinose	42,5	38,4	6,8	12,3	%
concrezioni sabbioso-calcaree	62,5	20,0	10,0	7,5	%
totale	44,9	30,0	11,0	14,1	%
3bA					
concrezioni calcaree	40,3	26,5	15,5	17,7	%
concrezioni travertinose	43,5	32,0	12,9	11,6	%
concrezioni sabbioso-calcaree	64,7	11,8	13,7	9,8	%
totale	44,3	26,7	14,4	14,6	%
4A					
concrezioni calcaree	48,0	25,3	13,3	13,3	%
concrezioni travertinose	43,9	30,2	6,5	19,4	%
concrezioni sabbioso-calcaree	53,6	20,2	16,7	9,5	%
calcari	40,0	20,0	6,7	33,3	%
totale	47,8	25,5	12,2	14,5	%
5					
concrezioni calcaree	36,0	40,0	8,7	15,3	%
concrezioni travertinose	36,2	46,7	3,8	13,3	%
concrezioni sabbioso-calcaree	36,4	63,6			%
rocce gessose	46,9	21,9	9,4	21,9	%
totale	37,2	41,3	6,7	14,8	%
6					
concrezioni calcaree	59,1	4,5	18,2	18,2	%
concrezioni travertinose	64,7	17,6		17,6	%
arenarie	62,5	9,4	21,9	6,3	%
calcari	50,0	6,7	26,7	16,7	%
calcari arenacei	53,8		46,2		%
totale	57,9	7,9	21,9	12,3	%

Tab. 6 - Percentuali delle varie forme fondamentali secondo ZINGG (1935), suddivise in base alle litologie dei clasti presenti in ogni campione studiato. In neretto le percentuali totali.

	D	S	L	A	
concrezioni calcaree	47,1	25,8	13,4	13,7	%
concrezioni travertinose	40,8	36,0	5,2	18,1	%
concrezioni sabbioso-calcaree	54,2	27,0	10,5	8,3	%
rocce gessose	43,2	16,2	27,6	13,0	%
media	46,3	26,2	14,2	13,3	%
arenarie	55,7	13,5	26,6	4,2	%
calcari	37,9	25,9	14,6	21,6	%
calcari arenacei	58,7		41,3		%
media	50,8	13,1	27,5	8,6	%

Tab. 7 - Percentuali totali delle forme fondamentali secondo ZINGG (1935), suddivise in base alla litologia dei clasti di origine interna (riquadro superiore) e di provenienza esterna alla grotta (riquadro inferiore).

In Tabella 7 sono sintetizzati i dati della Tabella 6; in essa vengono confermate, soprattutto per le litologie di origine interna, le stesse considerazioni relative ad ogni singolo campione mentre per quelle esterne sono le forme lamellari a prevalere chiaramente su quelle sferiche mentre si mantengono dominanti le discoidali e scarse le allungate.

Il diagramma di Zingg, che prevede la presenza di soli quattro campi distributivi, risponde ad un criterio di classificazione troppo rigido e limitativo. Spesso infatti i punti plottati tendono a collocarsi in vicinanza delle linee di separazione di tali ambiti, suggerendo così la possibile esistenza di forme intermedie tra quelle fondamentali. Per una migliore definizione dei campi di appartenenza delle forme si è utilizzato il diagramma triangolare proposto da FOLK (1968), ricorrendo però, per una sua miglio-

re visualizzazione, ad un espediente grafico che lo ha trasformato, pur mantenendo la stessa suddivisione in campi, in un quadrato. Diversamente da quello di ZINGG, il diagramma di FOLK tiene conto di rapporti diversi (c/a vs b/a e c) tra le misure dei tre assi principali dei clasti (Tab. 8).

In questo diagramma le sue 10 classi permettono una migliore identificazione dei campi in cui vanno a collocarsi le forme con caratteri intermedi fra quelle di ZINGG (1935).

Gli ambiti di plottaggio secondo FOLK (1968), oltre a quelli indicati da ZINGG (lo sferico (S), il discoidale (D), il lamellare (L) e quello in cui si collocano le forme allungate (A)), sono: lo sferico-discoidale (SD), lo sferico-lamellare (SL), lo sferico-allungato (SA), il fortemente discoidale (DD), il fortemente lamellare (LL) e il fortemente allungato (AA).

c/a	$a-b/a-c$	forma	simbolo
$> 0,7$		sferica	S
$0,5 - 0,7$	$< 1/3$	sferico-discoidale	SD
$0,5 - 0,7$	$1/3 - 2/3$	sferico-lamellare	SL
$0,5 - 0,7$	$> 2/3$	sferico-allungata	SA
$0,3 - 0,5$	$< 1/3$	discoidale	D
$0,3 - 0,5$	$1/3 - 2/3$	lamellare	L
$0,3 - 0,5$	$> 2/3$	allungata	A
$< 0,3$	$< 1/3$	fortemente discoidale	DD
$< 0,3$	$1/3 - 2/3$	fortemente lamellare	LL
$< 0,3$	$> 2/3$	fortemente allungata	AA

Tab. 8 - Parametri di definizione delle forme fondamentali secondo FOLK (1968).

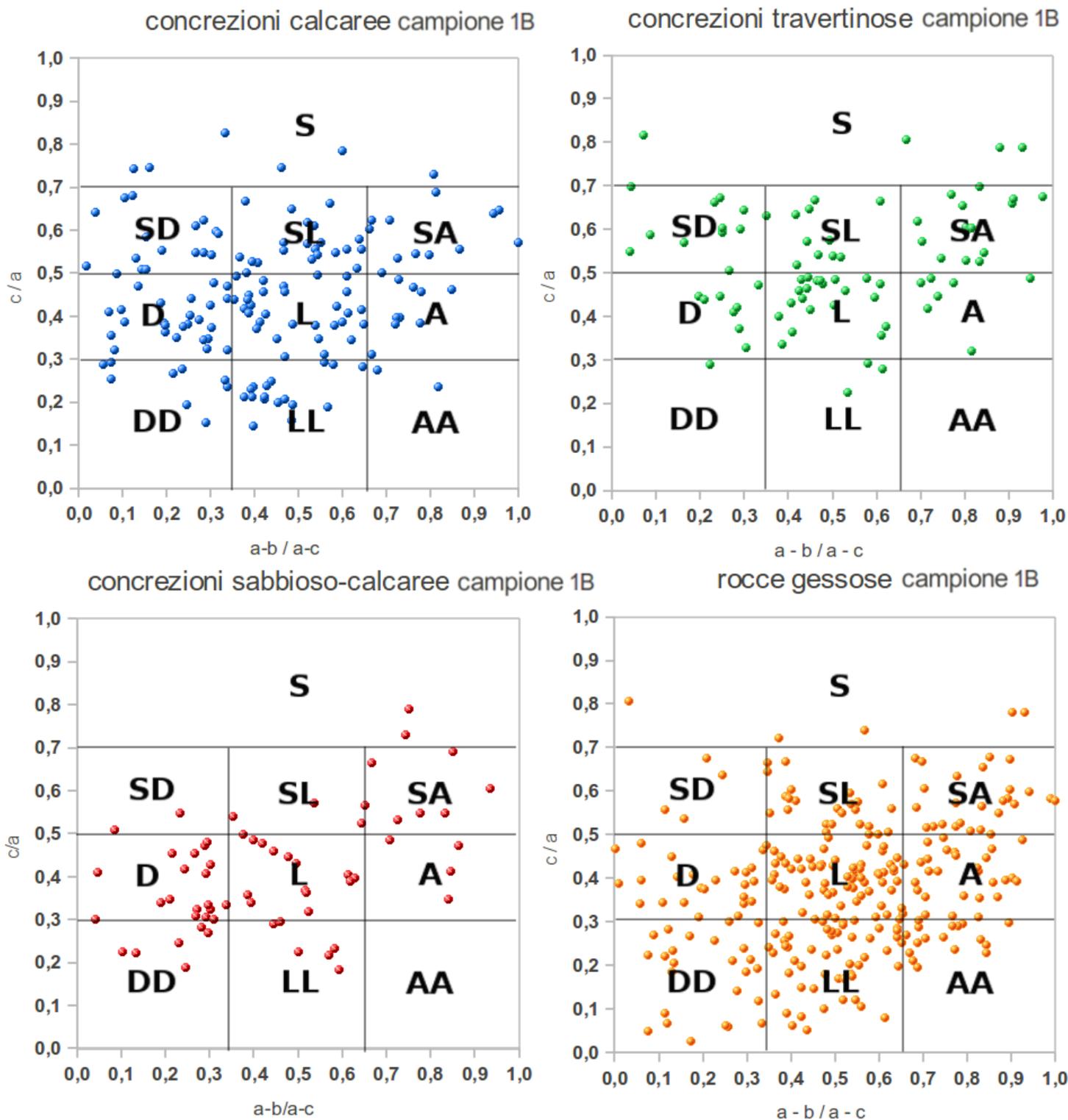


Fig. 17- Distribuzione, nel diagramma di Folk (1968) modificato, delle forme dei clasti del campione 1B, suddivise in base alla loro litologia. Le lettere in neretto corrispondono alle forme indicate nel testo.

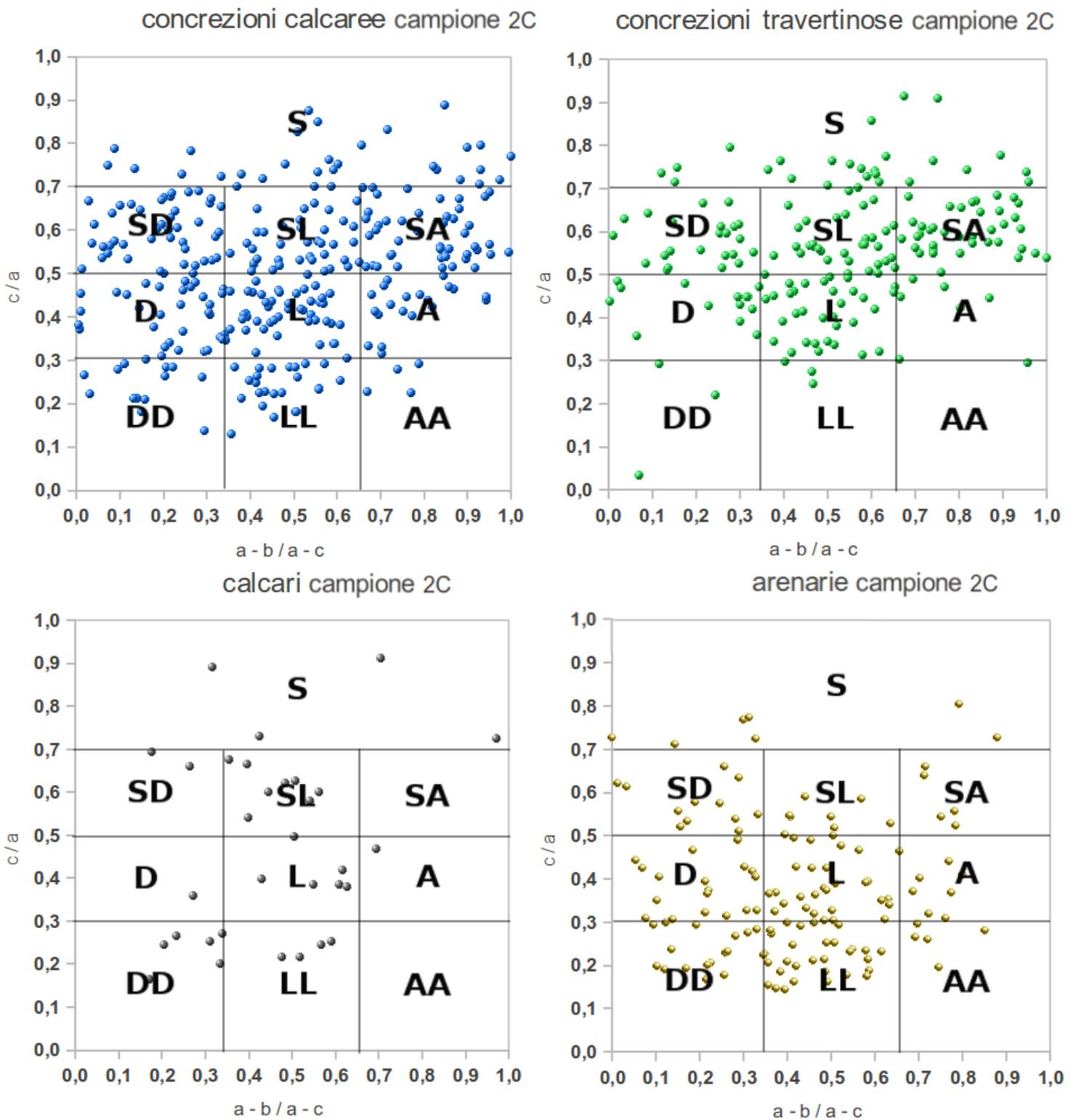


Fig. 18 - Distribuzione, nel diagramma di Folk (1968) modificato, delle forme dei clasti del campione 2C, suddivise in base alla loro litologia. Le lettere in neretto corrispondono alle forme indicate nel testo.

Esaminando le Figg. 17,18 e 19 e la Tab. 9, e tenendo anche presenti le litologie riconosciute nei vari campioni appare evidente come, complessivamente, nei diagrammi secondo Folk, predominino le forme lamel-

lari (L) seguite dalle discoidali (D) e dalle sferico-lamellari (SL).

Più irregolare appare la successione delle percentuali distributive delle rimanenti forme sia nelle diverse litologie che nei sin-

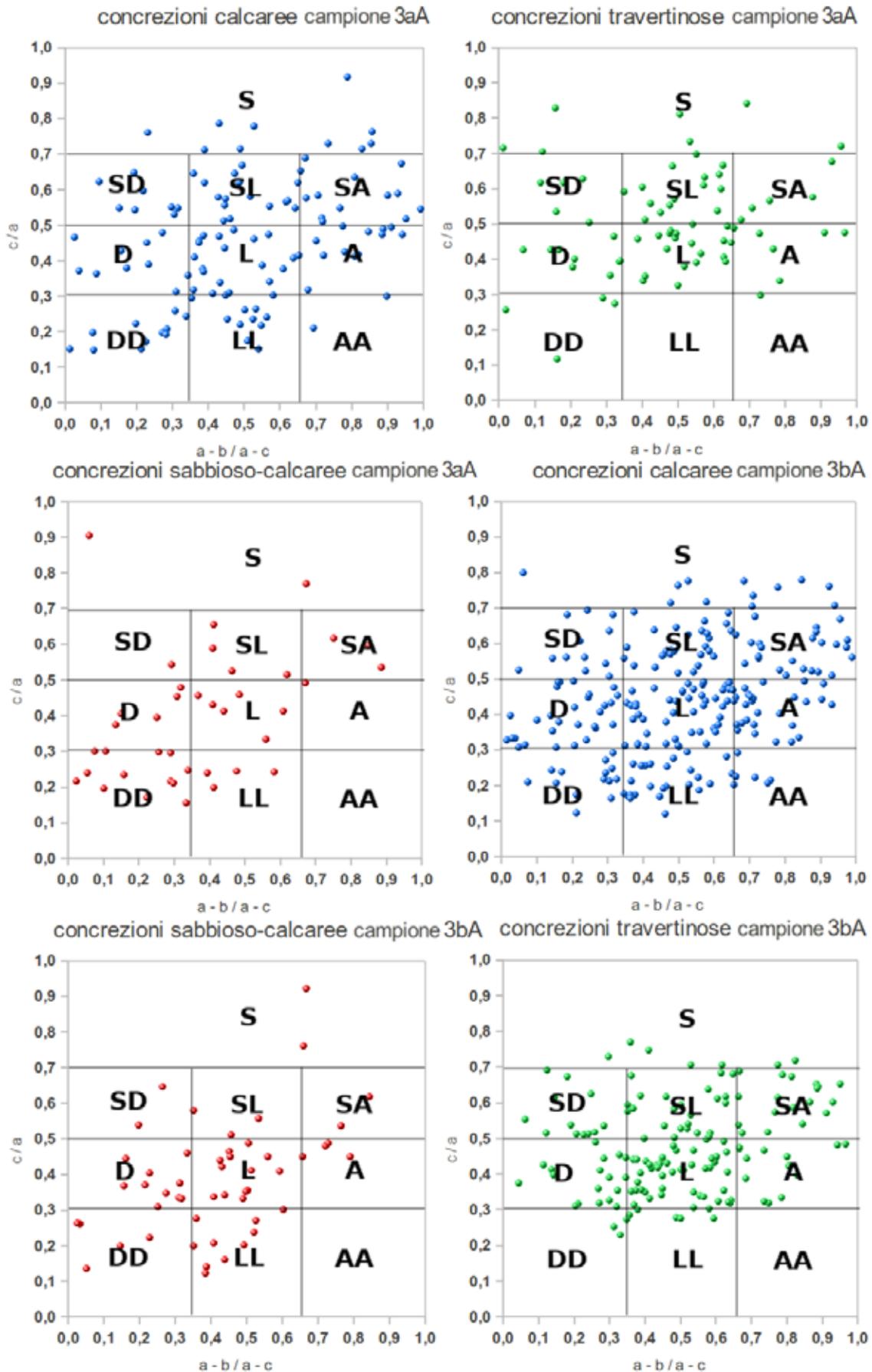


Fig. 19 - Distribuzione, nel diagramma di Folk (1968) modificato, delle forme dei clasti dei campioni 3aA e 3bA, suddivise in base alla loro litologia. Le lettere in neretto corrispondono alle forme indicate nel testo.

	S	SD	SL	SA	D	L	A	DD	LL	AA	
1B											
concrezioni calcaree	4,1	10,8	15,5	6,1	15,5	23,6	5,4	5,4	12,2	1,4	%
concrezioni travertinose	4,9	13,6	13,6	18,5	9,9	25,9	8,6	1,2	3,7		%
concrezioni sabbioso-calcaree	3,3	3,3	8,2	8,2	24,6	24,6	6,6	11,5	9,8		%
rocce gessose	2,2	1,5	8,9	8,9	8,6	26,4	10,4	8,9	18,6	5,6	%
arenarie				16,7		33,3		33,3	16,7		%
calcari			33,3				16,7	33,3		16,7	%
totale	3,2	5,8	11,4	9,5	12,1	25,2	8,4	7,7	13,7	3,2	%
1C											
concrezioni calcaree	8,3	8,3	12,5	4,2	12,5	8,3		20,8	20,8	4,2	%
concrezioni travertinose	22,2	11,1		33,3		33,3					%
concrezioni sabbioso-calcaree		5,0	20,0	20,0	20,0	10,0	5,0	10,0	5,0	5,0	%
rocce gessose	6,8	4,5		4,5	2,3	25,0	4,5	22,7	25,0	4,5	%
totale	7,2	6,2	7,2	10,3	8,2	18,6	3,1	17,5	17,5	4,1	%
2C											
concrezioni calcaree	10,0	14,4	13,7	14,4	10,0	17,1	6,7	4,3	8,0	1,3	%
concrezioni travertinose	14,4	12,8	18,3	21,1	6,7	20,6	2,2	1,7	1,7	0,6	%
rocce gessose			5,6	11,1		22,2		22,2	27,8	11,1	%
arenarie	5,0	8,6	5,8	3,6	15,1	20,1	5,0	10,8	22,3	3,6	%
calcari	12,5	6,3	25,0		3,1	18,8	3,1	15,6	15,6		%
calcari arenacei					18,2	36,4	18,2		27,3		%
totale	9,9	11,8	13,4	13,0	9,6	19,2	5,0	5,9	10,5	1,8	%
3aA											
concrezioni calcaree	8,8	7,0	14,9	10,5	7,9	20,2	10,5	8,8	9,6	1,8	%
concrezioni travertinose	9,6	8,2	20,5	6,8	9,6	31,5	6,8	5,5		1,4	%
concrezioni sabbioso-calcaree	7,5	2,5	10,0	7,5	17,5	15,0	2,5	22,5	15,0		%
totale	8,8	6,6	15,9	8,8	10,1	22,9	7,9	10,1	7,5	1,3	%
3bA											
concrezioni calcaree	5,8	4,9	12,8	10,2	12,8	23,0	10,6	6,2	12,4	1,3	%
concrezioni travertinose	4,8	8,2	18,5	10,3	11,0	34,2	8,2	1,4	3,4		%
concrezioni sabbioso-calcaree	4,0	4,0	6,0	4,0	20,0	30,0	6,0	8,0	18,0		%
totale	5,2	5,9	14,0	9,5	13,0	27,7	9,2	4,7	10,0	0,7	%
4A											
concrezioni calcaree	3,8	7,8	16,0	8,0	12,0	22,3	8,5	8,7	11,8	1,1	%
concrezioni travertinose	5,0	9,4	15,8	10,1	13,7	25,2	12,9	2,9	5,0		%
concrezioni sabbioso-calcaree	3,7	1,2	11,1	6,2	17,3	24,7	9,9	9,9	13,6	2,5	%
calcari	6,7	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	20,0		6,7		%
totale	4,1	7,5	15,4	8,3	13,0	23,0	9,8	7,5	10,5	1,0	%
5											
concrezioni calcaree	10,1	6,8	18,2	18,2	9,5	21,6	5,4	3,4	6,8		%
concrezioni travertinose	11,5	14,4	19,2	15,4	10,6	19,2	7,7	1,0	1,0		%
concrezioni sabbioso-calcaree	9,1		36,4	9,1	18,2	27,3					%
rocce gessose	3,1		12,5	12,5	21,9	15,6	15,6	6,3	9,4	3,1	%
totale	9,8	8,5	18,6	16,3	11,5	20,3	7,1	2,7	4,7	0,3	%
6											
concrezioni calcaree	4,5			4,5	27,3	27,3	9,1	9,1	18,2		%
concrezioni travertinose		5,9	5,9	23,5	23,5	35,3	5,9				%
arenarie		6,3	6,3	6,3	21,9	28,1	6,3	12,5	12,5		%
calcari			6,7	10,0	16,7	16,7	10,0	16,7	16,7	6,7	%
calcari arenacei					7,7	38,5			53,8		%
totale	0,9	2,6	4,4	8,8	20,2	27,2	7,0	9,6	17,5	1,8	%

Tab. 9 - Percentuali delle forme fondamentali, secondo Folk (1968), di ogni singolo campione suddivise in base alle varie litologie presenti. In neretto le percentuali totali.

goli campioni; ciò riguarda in particolare le forme fortemente lamellari (LL) e le sferico-allungate (SA). In percentuali anche assai inferiori a 10 % risultano poi le presenze negli altri campi del diagramma.

Queste considerazioni riguardano in particolare le distribuzioni dei clasti le cui litologie sono di origine interna alla cavità. Per quanto di poco si discostino dai precedenti dati distributivi, per le forme del ciottolame di provenienza esterna è ribadita la dominanza di quelle lamellari (L) che di poco prevalgono su quelle fortemente lamellari (LL); in quantità significative sono le forme discoidali (D) e quelle fortemente discoidali (DD); mentre nei rimanenti campi le frequenze distributive risultano sempre limitate e poco significative.

La Tab. 10 riassume la distribuzione percentuale nelle 10 classi proposte da FOLK (1968) delle forme di tutti i clasti, suddivisi in base alla loro natura petrografica. Confrontando in questa tabella la distribuzione delle percentuali relative alle forme fondamentali, ottenute tenendo conto delle litologie di diversa natura e provenienza (interna ed esterna), appare evidente che in entrambi i riquadri dominano quelle lamellari (L) mentre risultano scarsamente presenti le sferiche (S), le sferico-discoidali (SD), le allungate (A) e le fortemente allungate (AA); in percentuali pressochè analoghe sono i clasti discoidali (D) di entrambe le provenienze. Tendono poi quantitativamente a diminuire, tra quelli trasportati dall'esterno le forme sferico-lamellari (SL) e le sferico-allungate (SA); sempre nel ciot-

tolame di questa origine, rispetto a quello interno si rileva un contenuto aumento percentuale dei clasti fortemente discoidali (DD) che diventa particolarmente evidente nelle fortemente lamellari (LL).

Confrontando i grafici e le tabelle riassuntive delle forme principali dei ciottoli dei riempimenti alluvionali del Rio Basino con gli analoghi relativi ai clasti delle altre grotte indagate in precedenza risulta una chiara confrontabilità con quelli delle cavità bolognesi ed una evidente differenza nella distribuzione percentuale delle forme principali del ciottolame presente nei depositi alluvionali della Tana della Mussina di Borzano (ER/RE 2) nel Reggiano.

Va rilevato che, in quest'ultima cavità, mantengono una prevalenza percentuale le forme lamellari a cui fanno seguito, in quantità fra loro abbastanza equivalenti, le sferico-lamellari, le sferico-allungate e le allungate, mentre la frequenza dei clasti nelle altre classi appare poco significativa in quanto le loro percentuali distributive sono scarse e molto inferiori a quelle relative al ciottolame del Rio Basino.

Appiattimento

Una forma appiattita caratterizza un clasto in relazione alla sua particolare capacità di resistenza ai processi meccanici di usura legati all'azione di un trasporto fluvio-torrentizio oppure a prolungati processi fisici di selezionatura che avvengono in un ambiente marino di battigia. Pertanto un abito appiattito potrebbe rappresentare un carattere morfometrico originato da

	S	SD	SL	SA	D	L	A	DD	LL	AA	%
concrezioni calcaree	6,9	7,5	13,0	9,5	13,4	20,4	7,0	8,3	12,5	1,4	%
concrezioni travertinose	9,1	10,4	14,0	17,4	10,6	28,2	6,6	1,7	1,8	0,2	%
concrezioni sabbioso-calcaree	4,6	2,7	15,3	9,2	19,6	21,9	5,0	10,3	10,2	1,2	%
rocce gessose	3,0	1,5	6,7	9,3	8,2	22,3	7,6	15,0	20,2	6,1	%
media	5,9	5,5	12,2	11,3	13,0	23,2	6,6	8,8	11,2	2,2	%
arenarie	1,7	5,0	4,0	8,8	12,3	27,2	3,8	18,9	17,2	1,2	%
calcari	4,8	4,9	19,6	5,8	8,3	12,2	12,4	16,4	9,7	5,8	%
calcari arenacei					12,9	37,4	9,1		40,6		%
media	2,2	3,3	7,9	4,9	11,2	25,6	8,4	11,8	22,5	2,3	%

Tab. 10 - Percentuali totali delle forme principali, secondo FOLK (1968), relative ai clasti di origine interna (riquadro superiore) e a quelli di provenienza esterna alla grotta (riquadro inferiore).

	<2,1	>2,1	
1B			
concrezioni calcaree	57,4	42,6	%
concrezioni travertinose	80,2	19,8	%
concrezioni sabbioso-calcaree	50,0	50,0	%
rocce gessose	45,0	55,0	%
arenarie	33,3	66,7	%
calcari	50,0	50,0	%
totale	53,7	46,3	%
1C			
concrezioni calcaree	41,7	58,3	%
concrezioni travertinose	77,8	22,2	%
concrezioni sabbioso-calcaree	60,0	40,0	%
rocce gessose	29,5	70,5	%
totale	43,3	56,7	%
2C			
concrezioni calcaree	69,8	30,2	%
concrezioni travertinose	82,3	17,7	%
rocce gessose	38,9	61,1	%
arenarie	36,0	64,0	%
calcari	53,1	46,9	%
calcari arenacei	9,1	90,9	%
totale	63,6	36,4	%
3aA			
concrezioni calcaree	61,4	38,6	%
concrezioni travertinose	74,0	26,0	%
concrezioni sabbioso-calcaree	45,0	55,0	%
totale	62,6	37,4	%
3bA			
concrezioni calcaree	58,4	41,6	%
concrezioni travertinose	67,3	32,7	%
concrezioni sabbioso-calcaree	43,1	56,9	%
totale	59,7	40,3	%
4A			
concrezioni calcaree	58,9	41,1	%
concrezioni travertinose	71,9	28,1	%
concrezioni sabbioso-calcaree	48,8	51,2	%
calcari	73,3	26,7	%
totale	60,8	39,2	%
5			
concrezioni calcaree	72,7	27,3	%
concrezioni travertinose	82,9	17,1	%
concrezioni sabbioso-calcaree	72,7	27,3	%
rocce gessose	50,0	50,0	%
totale	73,9	26,1	%
6			
concrezioni calcaree	36,4	63,6	%
concrezioni travertinose	58,8	41,2	%
arenarie	31,3	68,8	%
calcari	30,0	70,0	%
calcari arenacei	23,1	76,9	%
totale	35,1	64,9	%

Tab. 11 - Distribuzione percentuale dei ciottoli, nelle due classi definite dagli indici di appiattimento di CAILLEUX (1945), suddivisi a seconda della loro litologia. In neretto le percentuali totali.

meccanismi genetici che possono essere distinti tra loro (ROSSI & MAZZARELLA 1998, 2001; ROSSI 2003).

Per risalire alle possibili caratteristiche fisico-meccaniche di un ambiente, in cui si è depositato materiale alluvionale, viene utilizzato l'indice di appiattimento proposto da CAILLEUX (1945), con cui si tiene conto che l'agente deposizionale non agisce tanto attraverso l'usura, bensì accumula i clasti per morfoselezione. Il criterio per definire tale indice utilizza il rapporto tra la somma delle misure degli assi massimo e intermedio e il doppio del valore della lunghezza dell'intercetta minore $[(a+b)/2c]$ dei clasti. In base a tale rapporto, una popolazione di ciottoli si divide in due gruppi, nei quali l'indice calcolato risulta superiore o inferiore al valore di 2,1. Nel primo si concentrerebbero le forme legate all'attività meccanica del moto ondoso in un ambiente marino di battigia, nel secondo quelle create dal trasporto da parte di correnti in ambienti fluvio-torrentizi. La suddivisione, secondo tali indici, delle percentuali ottenute sui clasti dei singoli campioni e raggruppate in base alle varie litologie, è riportata nella Tabella 11, in cui l'indice $< 2,1$, eccetto che nei campioni 1C e 6, risulta sempre il prevalente. Sono i frammenti di concrezioni travertinose quelli che, presentando più degli altri questo appiattimento, indicano di aver in particolare risentito degli effetti del trasporto da parte del torrente ipogeo. In percentuali sempre elevate, pur inferiori alla precedente, sono a scalare gli altri tipi di concrezioni (le calcaree sono prevalenti sulle sabbioso-calcaree).

	<2,1	>2,1	
concrezioni calcaree	57,1	42,9	%
concrezioni travertinose	74,4	25,6	%
concrezioni sabbioso-calcaree	54,2	45,8	%
rocce gessose	40,9	59,1	%
media	56,6	43,4	%
arenarie	33,5	66,5	%
calcari	51,6	48,4	%
calcari arenacei	16,1	83,9	%
media	33,7	66,3	%

Tab. 12 - Distribuzione percentuale, nelle due classi definite dagli indici di appiattimento secondo CAILLEUX (1945), di tutti i clasti suddivisi a seconda dei principali tipi di rocce da cui essi provengono. Nel primo riquadro il ciottolame è di origine interna, mentre quelle nel riquadro sottostante è di provenienza esterna.

La Tabella 12 presenta, nei due gruppi identificati dagli indici di CAILLEUX (1945), le percentuali complessive dei clasti sempre suddivisi a seconda delle loro litologie. Questa tabella mette chiaramente in evidenza che la maggior parte dei ciottoli, le cui litologie hanno origine interna, presenta indici di appiattimento quasi sempre < 2,1, ad eccezione di quelli costituiti da roccia gessosa, mentre per quelli fluitati dall'esterno prevale l'indice > 2,1; per i soli clasti di roccia calcarea i valori percentuali sono pressochè equivalenti.

Tenendo inoltre conto che i clasti, provenienti dal bacino imbrifero esterno del Rio Stella, non hanno di certo subito azioni meccaniche dovute a correnti di spiaggia, la loro dominante concentrazione nella classe di appiattimento con indice > 2,1 può avere valida giustificazione nei caratteri strutturali orientati (stratificazione) delle litologie genitrici di tali frammenti.

Il confronto dei dati della Tabella 12 con quelli analoghi, di ROSSI & MAZZARELLA, (1998, 2000 e 2001), di BARBIERI & ROSSI (2001) e di ROSSI (2003), evidenzia notevoli differenze percentuali fra gli indici di appiattimento dei ciottoli dei depositi alluvionali delle grotte del bolognese e quelli del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino; mentre di quest'ultimo risultano notevoli le analogie con quelli della Tana della Mussina di Borzano nel reggiano.

Sfericità

L'abito di un ciottolo, carattere morfologico che in genere viene acquisito attraverso

un trasporto in ambiente idrodinamico, può avere la tendenza ad assumere una delle quattro forme fondamentali definite da ZINGG (1935) e, in particolare, quella sferica. Un solido di questo tipo, a parità di volume e densità, presenta in un mezzo liquido la più elevata velocità di caduta rispetto ad altri solidi aventi un abito differente. Quindi, più un frammento differisce da una sfera tanto maggiore sarà la sua resistenza nei confronti di un fluido e, di conseguenza, sarà diversificato il suo comportamento gravitativo sia durante il trasporto che la sua deposizione in un ambiente con acqua (ROSSI & MAZZARELLA, 2001; ROSSI, 2003).

L'interpretazione matematica degli effetti di questo meccanismo è stata discussa da numerosi Autori (KRUMBEIN, 1941; SNEED & FOLK, 1958; KRUMBEIN & SLOSS, 1963). Il metodo analitico, utilizzato nel presente lavoro per determinare tale carattere, si basa sull'indice di sfericità di Folk, riportato da RICCI LUCCHI (1980), nel quale la sfericità è funzione della radice cubica della misura dell'asse minore c al quadrato divisa per il prodotto fra le intercette della sezione massima ab [${}^3\sqrt{(c^2/ab)}$].

I dati così ottenuti vengono suddivisi all'interno di una scala lineare in 10 classi (da 0,1 a 1,0), le quali esprimono la tendenza graduale dei clasti ad assumere la forma sferica ideale, corrispondente all'indice 1,0 (RICCI LUCCHI, 1980).

La Tabella 13 elenca gli indici di sfericità calcolati per il ciottolame di ogni campione raccolto, suddivisi secondo le varie litologie. In essa gli ambiti di frequenza in cui ricade

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
1B											
concrezioni calcaree					4,0	15,4	32,9	35,6	11,4	0,7	%
concrezioni travertinose						6,2	29,6	39,5	23,5	1,2	%
concrezioni sabbioso-calcaree					3,2	19,4	38,7	33,9	4,8		%
rocce gessose			0,4	4,8	10,3	24,9	35,5	19,8	4,0	0,4	%
arenarie					33,3	16,7	33,3	16,7			%
calcari					16,7	33,3	16,7	16,7	16,7		%
totale			0,2	2,3	6,8	19,2	34,1	28,1	8,8	0,5	%
1C											
concrezioni calcaree					20,8	25,0	8,3	29,2	12,5	4,2	%
concrezioni travertinose							44,4	22,2	33,3		%
concrezioni sabbioso-calcaree					10,0	5,0	35,0	35,0	15,0		%
rocce gessose			15,9	25,0	20,5	20,5	6,8	11,4			%
totale			7,2	18,6	16,5	22,7	19,6	14,4	1,0		%
2C											
concrezioni calcaree					2,3	12,0	28,6	33,2	21,3	2,7	%
concrezioni travertinose				0,6	0,6	3,9	20,0	49,4	23,3	2,2	%
rocce gessose			5,6	38,9	11,1	27,8	16,7				%
arenarie				10,1	31,7	27,3	20,9	10,1			%
calcari					30,0	26,7	23,3	20,0			%
calcari arenacei					45,5	36,4	18,2				%
totale			0,3	4,3	15,1	26,0	33,8	18,5	2,1		%
3aA											
concrezioni calcaree					5,3	18,4	29,8	30,7	14,9	0,9	%
concrezioni travertinose					1,4	5,5	34,2	39,7	15,1	4,1	%
concrezioni sabbioso-calcaree					2,5	30,0	32,5	27,5	5,0	2,5	%
totale					3,5	16,3	31,7	33,0	13,2	2,2	%
3bA											
concrezioni calcaree					8,4	16,4	36,3	27,4	10,6	0,9	%
concrezioni travertinose						13,6	36,7	38,1	11,6		%
concrezioni sabbioso-calcaree					7,8	15,7	49,0	21,6	3,9	2,0	%
totale					5,4	15,3	38,0	30,4	10,1	0,7	%
4A											
concrezioni calcaree		0,2		0,4	4,0	20,4	30,0	31,6	12,4	0,9	%
concrezioni travertinose					1,4	10,1	34,5	40,3	13,7		%
concrezioni sabbioso-calcaree					3,6	26,2	35,7	26,2	8,3		%
calcari					6,7		40,0	46,7	6,7		%
totale		0,1		0,3	3,5	18,6	31,8	33,1	12,0	0,6	%
5											
concrezioni calcaree					1,3	10,0	31,3	36,0	16,7	4,7	%
concrezioni travertinose						5,7	21,0	43,8	26,7	2,9	%
concrezioni sabbioso-calcaree							36,4	36,4	27,3		%
rocce gessose					3,1	18,8	43,8	28,1	6,3		%
totale					1,0	9,1	29,2	37,9	19,5	3,4	%
6											
concrezioni calcaree					9,1	18,2	54,5	13,6	4,5		%
concrezioni travertinose							58,8	35,3	5,9		%
arenarie						31,3	40,6	21,9	6,3		%
calcari					13,3	30,0	36,7	20,0			%
calcari arenacei					15,4	46,2	30,8	7,7			%
totale					7,0	25,4	43,9	20,2	3,5		%

Tab. 13 - Distribuzione percentuale, nelle classi definite da indici diversi di sfericità (RICCI LUCCHI, 1980), dei clasti suddivisi per litologie. In neretto le percentuali totali.

la maggior parte dei clasti analizzati, sono la 0,7 o la 0,8 con diminuzione graduale della loro presenza verso le classi definite da valori via via inferiori o superiori. Tale

andamento distributivo, considerato come indicatore di una generale tendenza verso la sfericità, che tuttavia non viene pressochè mai raggiunta in quanto i parametri

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
concrezioni calcaree				0,1	6,9	17,0	31,5	29,7	13,0	1,9	%
concrezioni travertinose				0,1	0,4	5,6	34,9	38,5	19,1	1,3	%
concrezioni sabbioso-calcaree					4,7	14,0	38,3	30,9	11,2	0,9	%
rocce gessose			0,1	6,6	19,3	18,8	31,9	17,8	5,4	0,1	%
media			0,0	1,7	7,8	13,9	34,1	29,2	12,2	1,0	%
arenarie					14,5	26,5	33,8	19,8	5,4		%
calcari					9,2	23,3	30,0	26,7	10,8		%
calcari arenacei					7,7	45,8	33,6	12,9			%
media					10,4	31,9	32,4	19,8	5,4		%

Tab. 14 - Distribuzione percentuale riassuntiva nelle classi definite da indici diversi di sfericità (RICCI LUCCHI, 1980), con suddivisione dei clasti provenienti da litologie interne (riquadro superiore) od esterne alla grotta (riquadro inferiore).

fisici (composizione, cementazione, forma iniziale, ecc.) dei ciottoli e quelli meccanici del mezzo trasportatore (energia idraulica, trasporto, rotolamento, saltazione, ecc.) non sono mai tali da creare tale forma.

La Tabella 14, a sua volta, riassume tutte le percentuali degli indici di sfericità delle diverse classi, suddividendoli a seconda delle varie litologie di appartenenza dei loro clasti. Il gruppo delle rocce di origine interna ribadisce come sue principali classi di sfericità la 0,7 e la 0,8 (complessivamente il 69% dei clasti), mentre per le rocce esterne le maggiori concentrazioni si collocano nelle classi 0,6 e 0,7 (per un totale del 64%), restringendo anche il loro ambito distributivo a solo cinque classi.

Dal confronto dei dati sulla sfericità dei clasti presenti nei riempimenti alluvionali del Rio Basino con quelli delle altre cavità emiliane studiate, come già sottolineato in precedenza per gli indici di appiattimento, emergono alcune differenze sia nel numero delle classi significativamente rappresentate che nei valori percentuali degli indici di sfericità corrispondenti ad ognuno di esse. Infatti, rispetto a quelli del Rio Basino i clasti della Tana della Mussina di Borzano hanno indici di sfericità appartenenti anche ad alcune delle classi meno sferiche, mentre sono assenti quelli della 1,0. A sua volta il ciottolame del Sistema carsico Spipola-Acquafredda (ER/BO 5, ER/BO 3) e della Grotta Calindri (ER/BO 149), in buona parte di provenienza esterna, è caratterizzato

da una tendenza verso una maggiore uniformità distributiva nelle classi relative ad indici più sferici.

Arrotondamento

L'arrotondamento testimonia il grado di smussamento di un ciottolo rispetto alla sua spigolosità originaria. Si tratta di un carattere indipendente dalla sfericità; infatti forme notevolmente diverse possono avere un arrotondamento molto simile e viceversa. In pratica questo carattere rimarca gli effetti di usura, dovuti al logoramento meccanico di un corpo solido che, da una forma ricca di asperità, si evolve verso una con contorni lisci e spigolosità attenuate.

Questo parametro morfologico risulta dipendente dalla natura litologica e dalle dimensioni iniziali di ogni singolo clasto in base alle quali egli offre una specifica resistenza meccanica a sua volta anche legata alla lunghezza del tragitto percorso, alla durata ed intensità del trasporto e alle condizioni climatiche locali.

Il metodo per rappresentare questo carattere è quello proposto da POWERS (1953), successivamente modificato da SHEPARD (1963), il quale si basa sul confronto visivo con sagome, definite in base a valori precalcolati corrispondenti al rapporto tra la media dei raggi di curvatura delle asperità proprie di un clasto ed il raggio della sfera massima in esso inscrivibile.

Si definiscono così sei intervalli di classificazione, che evidenziano il progressivo di-

	A	B	C	D	E	F	
1B							
concrezioni calcaree	0,7	20,4	44,9	25,9	7,5	0,7	%
concrezioni travertinose	8,6	38,3	27,2	25,9			%
concrezioni sabbioso-calcaree		8,9	39,0	26,4	23,1	2,6	%
rocce gessose	5,0	36,8	46,0	11,1	1,1		%
calcari		40,0	40,0	20,0			%
totale	4,0	29,4	42,0	18,9	5,0	0,7	%
1C							
concrezioni calcaree		33,3	29,2	29,2	8,3		%
concrezioni travertinose	22,2	44,4	33,3				%
concrezioni sabbioso-calcaree			38,1	38,1	23,8		%
rocce gessose		46,7	46,7	6,7			%
totale	2,0	33,3	39,4	18,2	7,1		%
2C							
concrezioni calcaree	3,1	21,5	38,7	25,1	9,9	1,6	%
concrezioni travertinose	21,4	22,5	26,9	22,0	7,1		%
rocce gessose	18,6	30,5	35,6	15,3			%
arenarie	3,6	12,3	24,6	34,8	18,8	5,8	%
calcari		3,1	34,4	40,6	12,5	9,4	%
calcari arenacei				60,0	40,0		%
totale	10,0	19,3	30,9	26,8	10,8	2,3	%
3aA							
concrezioni calcaree	1,7	15,5	52,6	25,0	4,3	0,9	%
concrezioni travertinose	2,5	25,0	40,8	23,3	7,5	0,8	%
concrezioni sabbioso-calcaree		10,0	30,0	40,0	17,5	2,5	%
totale	1,8	18,8	44,2	26,4	7,6	1,1	%
3bA							
concrezioni calcaree	2,8	14,5	31,3	31,9	15,5	3,9	%
concrezioni travertinose	7,1	24,5	40,6	21,9	4,5	1,3	%
concrezioni sabbioso-calcaree		6,7	26,7	44,4	20,0	2,2	%
totale	3,8	16,6	33,4	30,2	13,0	3,1	%
4A							
concrezioni calcaree	4,7	20,9	29,7	28,8	15,0	0,9	%
concrezioni travertinose	1,5	32,6	59,3	6,7			%
concrezioni sabbioso-calcaree	2,5	18,8	27,5	31,3	13,8	6,3	%
calcari		20,0	40,0	26,7	6,7	6,7	%
totale	3,5	23,5	36,9	23,6	10,9	1,6	%
5							
concrezioni calcaree	2,0	25,0	32,2	33,6	5,9	1,3	%
concrezioni travertinose	5,8	40,4	30,8	22,1	1,0		%
concrezioni sabbioso-calcaree	8,3	16,7	16,7	50,0	8,3		%
rocce gessose	27,3	54,5	18,2				%
totale	6,3	33,2	29,6	26,6	3,7	0,7	%
6							
concrezioni calcaree	7,1	7,1	28,6	42,9	14,3		%
concrezioni travertinose	14,3	14,3	57,1	14,3			%
arenarie			25,0	25,0	40,0	10,0	%
calcari			33,3	52,4	14,3		%
calcari arenacei		9,1	18,2	45,5	27,3		%
totale	2,7	4,1	30,1	38,4	21,9	2,7	%

Tab. 15 - Distribuzione percentuale nelle classi (lettere maiuscole in neretto) proposte da POWERS (1953) e modificate da SHEPARD (1963) degli indici di arrotondamento relativi al ciottolame suddiviso per le litologie di provenienza. I numeri in neretto indicano le percentuali totali di ogni singola classe.

minuire della spigolosità di una popolazione di clasti. Essi sono: A (molto angoloso), B (angoloso), C (subangoloso), D (subarrotondato), E (arrotondato), F (molto arrotondato).

Dall'esame dei dati percentuali della Tabella 15 appare evidente che i diversi indici di arrotondamento dei vari campioni sembrano definire curve convesse in corrispondenza dei cui punti di massima curvatura si posiziona, nella maggior parte dei casi, la classe subangolosa (C). Da questa preferenzialità si discostano: il campione 5, nel quale prevalgono gli individui angolosi (B), ed il campione 6, in cui sono dominanti i clasti subarrotondati (D). Ai lati delle classi, percentualmente più significative, l'andamento delle curve distributive scende, con inclinazioni variabili, verso le tipologie di arrotondamento estreme: la molto angolosa (A) e la molto arrotondata (F).

Le considerazioni suggerite da tale tabella portano ad ipotizzare che l'arrotondamento del ciottolame, presente nel tratto studiato del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino, sia avvenuto o lungo un segmento del corso d'acqua di lunghezza limitata oppure in un ambiente torrentizio che, per quanto periodicamente caratterizzato da notevoli portate e, quindi, da energia idraulica elevata, non è mai stato in grado di causare un loro significativo smussamento.

Di particolare significato risulta la Tabella 16 riassuntiva in cui le classi di arrotondamento sono percentualizzate separatamente per i ciottoli di provenienza interna

e per quelli trasportati dall'esterno. Mentre per i primi prevale la classe subangolosa, per gli altri è maggiore la subarrotondata. Questo diverso comportamento distributivo porta ad ipotizzare due possibili cause: o gli attuali valori di arrotondamento risultano ancora significativamente condizionati dal grado di spigolosità che ogni clasto presentava al momento del suo distacco dalla roccia di provenienza (sia all'interno che all'esterno della cavità); oppure, nel caso soprattutto delle forme più arrotondate, il maggiore smussamento dei clasti potrebbe essere legato ad una più prolungata azione morfogenetica, nel tempo e per lunghezza spaziale, del processo di loro trasporto da parte del corso d'acqua comprendente anche il suo tratto esterno alla cavità. Quest'ultima ipotesi interpretativa trova una attendibile conferma nel fatto che gli arrotondamenti più significativi si rilevano appunto nel ciottolame alimentato da rocce affioranti all'esterno; mentre le forme meno smussate caratterizzano in particolare i clasti le cui litologie sono, tipicamente ed esclusivamente, interne.

Da un confronto dei dati relativi al grado di arrotondamento dei ciottoli dei riempimenti alluvionali interni del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino con quelli di materiali analoghi sempre di alcune cavità soprattutto bolognesi ma anche del reggiano, viene ancora una volta messo in evidenza il maggior smussamento subito dai clasti di provenienza esterna i quali sono soprattutto abbondanti nella Grotta Serafino

	A	B	C	D	E	F	
concrezioni calcaree	2,5	21,3	34,4	31,8	9,0	1,0	%
concrezioni travertinose	10,4	30,3	39,5	17,0	2,5	0,3	%
concrezioni sabbioso-calcaree	1,9	8,6	25,3	32,7	29,4	2,1	%
rocce gessose	12,7	42,1	36,6	8,3	0,3		%
media	6,9	25,6	33,9	22,5	10,2	0,9	%
arenarie	1,8	6,2	24,8	29,9	29,4	7,9	%
calcari		15,8	36,9	34,9	8,4	4,0	%
calcari arenacei		4,5	9,1	52,7	33,6		%
media	0,6	8,8	23,6	39,2	23,8	4,0	%

Tab. 16 - Percentuali riassuntive degli indici di arrotondamento riportati in Tab. 15 e relativi a clasti provenienti da rocce in posto presenti all'interno della cavità (riquadro superiore), e a ciottoli trasportati dall'esterno della grotta (riquadro inferiore).

Calindri (ER/BO 149), nel Sistema carsico Spipola (ER/BO 5)-Acquafredda (ER/BO 3) (ROSSI & MAZZARELLA, 2001; ROSSI, 2003) e nella Dolina delle Selci (DEMARIA, 2010). Da ricordare la presenza assai significativa in queste ultime cavità di ciottoli costituiti da selci, che sono fra le litologie soggette ad un più lento e difficile arrotondamento a causa della loro elevata resistenza ai processi sia di aggressione chimica che di usura fisico-meccanica.

Considerazioni generali

I dati e le osservazioni raccolti sui depositi alluvionali, presenti nel tratto terminale del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino, forniscono chiare informazioni che indicano che questa grotta costituisce un ambiente ipogeo particolare assai diverso dagli analoghi del bolognese e del reggiano, studiati in precedenza con le stesse metodologie di indagine).

In base ai loro caratteri strutturali e giacimentali, i riempimenti fisici in questa cavità presentano notevoli variazioni sia in uno stesso sito, sia se appartenenti a depositi distanti fra loro. Si hanno infatti sedimenti, con evidente stratificazione, costituiti da banchi sabbiosi, ciottolosi o misti, oppure depositi clastici complessivamente eterogenei ma caratterizzati da una “caotica” omogeneità (ciottolame grossolano eterometrico disperso in una massa sabbioso-siltosa).

Si tratta di tipici sedimenti alluvionali depositati in un ambiente (fluvio-) torrentizio a variabile energia idraulica legata a portate strettamente dipendenti da condizioni climatiche esterne di maggiore o minore piovosità. Non va però escluso che una certa dinamicità dei processi deposizionali possa essere dovuta a variazioni morfologiche interne quali: strettoie, laminatoi, ostacoli dovuti a frane o grandi massi caduti, ecc..

In un riempimento alluvionale risultano soprattutto indicative del variare dell'energia del mezzo che lo ha depositato quelle che, tra le diverse proprietà tessiturali, ne definiscono i caratteri granulometrici, acquisiti durante il processo di sedimentazione e corrispondenti alle misure dimensionali e alla distribuzione spaziale e “*in situ*” delle sue diverse frazioni solide.

Tali elementi sono chiaramente estrapolabili dalla Tabella 1 nella quale risulta evidente la notevole variabilità granulometrica dei sedimenti indagati, il cui spettro dimensionale distributivo vede, nei diversi campioni, prevalere o la sabbia oppure un ciottolame anche molto grossolano. Sono pochi i casi in cui risulta dominante la frazione sabbioso-siltosa, mentre è sempre insignificante quella argillosa. Tali caratteri tessiturali hanno suggerito le tecniche di campionatura dei sedimenti, oltre ad altri elementi macroscopici particolarmente evidenti quali le loro strutture sedimentarie (stratigrafia, presenza di banchi o di accumuli eterogenei, classazione dei ciottoli, ecc.).

Dai dati granulometrici appare evidente quanto diversa sia stata l'energia idraulica del torrente ipogeo durante i suoi vari episodi deposizionali; variabilità che, come indicano anche altri elementi visivi, doveva essere intensa e spesso improvvisa, come subitanea poteva risultare quando diminuiva la portata del corso d'acqua. Questa ipotesi trova conferma anche nel fatto, direttamente verificato dagli speleologi che, durante le loro esplorazioni nella grotta, sono stati sovente costretti ad affrontare, in occasione di forti piogge esterne, portate idriche del torrente ipogeo veramente notevoli.

Inoltre l'assenza nei depositi alluvionali di frazioni argillose, che la natura litologica delle rocce affioranti nella Valle cieca del Rio Stella fa ritenere come sicuramente trasportate all'interno della cavità, contribuisce a disegnare un quadro ambientale in cui le acque del torrente ipogeo sono state e sono in grado di trasportare, senza mai sedimentarlo, un carico solido fine.

In base alla composizione mineralogica delle frazioni sabbiose, siltoso-limose e quelle scarse argillose, le valutazioni semi-quantitative, estrapolate dai diagrammi diffrattometrici ottenuti con strumentazioni ai raggi X, vanno considerate solo indicative in quanto la loro presenza è spesso strettamente subordinata alle caratteristiche sia dello strumento utilizzato che dello stesso provino analizzato.

Tali stime semi-quantitative, indicate nelle Tabelle 2 e 3, sono da considerarsi solo

come informazioni in quanto condizionate, oltre che dalle condizioni operative, da numerosi altri parametri peculiari dei materiali stessi, quali: le quantità delle fasi cristalline presenti; la loro diversa risposta agli agenti meccanici (di trasporto) o chimici (di aggressione) presenti nell'ambiente di deposizione dei sedimenti; la loro struttura interna; le diverse forme da esse acquisite; il grado di finezza e di pressatura dei preparati; ecc.

Diverse possono essere le considerazioni suggerite dalla presenza del gesso che, in genere, tende a concentrarsi nelle sabbie grossolane. Infatti una valutazione anche solo indicativa della sua quantità può risultare assai falsata in quanto si tratta di un minerale facilmente solubile soprattutto se in frammenti di dimensioni fini e se, a lungo, a contatto con l'acqua. Altro dato riguardante questo minerale, presente in particolare nelle frazioni granulometriche da sabbiose ad argillose, è costituito dalla impossibilità, con le attrezzature utilizzate o comunque a disposizione, di accertare se esso sia di natura detritica (sotto forma di clasti fini) oppure corrisponda a minuti speleotemi di neoformazione (cristalli singoli, inflorescenze, minuti aggregati a rosette, ecc.).

Indicazioni di estremo interesse, soprattutto per ricostruire altre peculiarità dell'ambiente della grotta, sono fornite dai dati relativi alla natura petrografica dei ciottoli e dei granuli presenti nei depositi alluvionali campionati e selezionati poi in laboratorio mediante setacciatura a umido. Complessivamente sono stati esaminati oltre 22.000 clasti che, in alcuni campioni, hanno superato il numero di 3.000 fino a raggiungere, nel 4A, le 5600 unità. Richiamando la Tabella 4, risulta sorprendente che oltre l'87% di tutti gli individui esaminati provenga sicuramente da rocce in posto presenti all'interno del sistema carsico (76% da speleotemi vari e 11% dalla roccia gessosa), mentre solo il rimanente 13% è collegabile a litologie esterne. Nello specifico il ciottolame fornito da depositi chimici interni della grotta è costituito, per un 45% da concrezioni calcaree, per un 11% da concrezioni travertinose, per un 10% da concrezioni sabbioso-

calcaree ed infine per quasi un altro 10% da frammenti di inflorescenze gessose.

In nessuna altra cavità dell'Emilia-Romagna si sono mai determinati dati quantitativi analoghi a questi (nella più conosciuta, cioè la Grotta della Spipola, tali litologie raggiungono solo il 46% del totale), per cui per il Complesso carsico Rio Stella-Rio Basino devono essere ipotizzati scenari ambientali, antecedenti alla deposizione dei suoi riempimenti alluvionali, del tutto diversi da quelli in cui quest'ultimi si sono formati.

Nette sono anche le differenze che si rilevano confrontando le percentuali dei clasti, di sicura provenienza esterna, presenti in questa grotta e quelle delle altre cavità studiate in precedenza. Mentre nei depositi alluvionali del Rio Basino il ciottolame portato dall'esterno non raggiunge il 13% (cioè: 6% da arenarie; 2,4% da calcari e 4,2% da calcari arenacei) nella Grotta della Spipola esso supera il 27,5% (cioè: 7,8% da arenarie; 14,7% da calcari e 5% da selci); differenze che non sono solo quantitative ma anche qualitative data appunto la presenza in questa di numerose selci, litotipi quasi costantemente presenti in molte grotte del bolognese (PAREA, 1972; DEMARIA, 2010; ROSSI & MAZZARELLA, 1998, 2000 e 2001; ROSSI, 2003) e saltuariamente in alcuni campioni dei depositi alluvionali della Tana della Mussina di Borzano nel reggiano (BARBIERI & ROSSI, 2001).

La mancanza di certe rocce, l'abbondanza o la presenza limitata di altre, testimoniano una storia particolare, di apporti clastici nel Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino, tale da rendere questo traforo idrogeologico una cavità del tutto singolare.

Dalla Tabella 6, che riporta le percentuali delle forme fondamentali, secondo ZINGG (1935), dei clasti di tutti i campioni studiati, e dalla Tabella 7, relativa alle loro percentuali complessive, appare evidente che la forma dominante risulta sempre la discoidale (D) seguita dalla sferica (S), se i clasti provengono da rocce interne, o la lamellare (L) se trasportati dall'esterno; le forme allungate (uniassiali) (A), a loro volta, sono sempre le più scarse.

“Trend” distributivo analogo lo si rileva per i clasti, alimentati da litologie interne analoghe, presenti nei riempimenti fisici delle grotte bolognesi mentre per quelli della cavità reggiana la prevalenza delle discoidali sulle sferiche non è sempre rispettata.

Tenendo ben presenti: gli ambiti territoriali in cui si sono sviluppate le varie cavità messe a confronto, la natura litologica delle rocce sorgenti dei ciottoli e, di questi, le specifiche caratteristiche strutturali e tessiturali, gli Autori ritengono che le differenze distributive fra le forme fondamentali siano soprattutto legate a tali proprietà intrinseche unitamente, per i clasti dei riempimenti del Rio Basino, alla limitata lunghezza del tratto del corso d'acqua responsabile sia del loro trasporto selettivo che dei loro attuali abiti. Già il percorso breve rappresenta uno dei parametri significativi responsabili di alcuni caratteri che differenziano i riempimenti fisici di questa cavità da quelli presenti in altre grotte del bolognese, che contengono apporti clastici provenienti da rocce o molto lontane (Formazione Umbro-Marchigiana) e trasportati nell'antico Golfo padano da correnti marine di spiaggia (VEGGIANI, 1965), oppure provenienti dai versanti settentrionali del tratto centrale dell'Appennino emiliano-romagnolo tramite movimentazioni di tipo fluvio-torrentizio.

In un numero maggiore di campi si distribuiscono le forme dei ciottoli qualora si faccia riferimento al diagramma di FOLK (1968), costruito mediante rapporti fra le intercette principali diversi da quelli indicati da ZINGG (1935). In base a tale diagramma risultano sempre dominanti le forme lamellari (L) seguite dalle discoidali (D), da quelle o sferico-lamellari (SL) o fortemente lamellari (LL) e, a scalare da tutte le altre fino a quelle con tendenza ad abiti più o meno allungati.

Sicuramente sulla distribuzione dei clasti, nei dieci campi identificati da Folk, hanno molto influito, come già nel diagramma di Zingg, anche i caratteri strutturali originari delle loro rocce di provenienza. Infatti l'isorientazione interna di tutti i tipi di concrezioni (calcaree, travertinose o sabbiosocalcaree), della roccia in posto al contorno (i gessi) e delle arenarie e dei calcari di provenienza esterna, ha favorito, sin dal momento

del loro distacco dalle rocce di provenienza, la formazione di frammenti detritici aventi tre assi di lunghezza assai diversi tra loro e, di conseguenza, tendenti a forme schiacciate. Pertanto sarebbero stati i caratteri strutturali originari dei ciottoli esaminati i parametri che, unitamente agli effetti del loro trasporto idraulico breve, anche se talora contraddistinto da forte energia, avrebbero favorito l'acquisizione da parte loro di forme lamellari, discoidali o a queste tendenti.

Analizzando le Tabelle 11 e 12, che riportano gli indici di appiattimento definiti da CAILLEUX (1945), appare evidente che, ad eccezione dei campioni 1C e 6, le maggiori concentrazioni percentuali si trovano nella classe che egli indica come quella in cui si collocano i clasti la cui morfogenesi è soprattutto legata ad un loro trasporto ad opera di correnti di tipo fluvio-torrentizio.

Ciò si accorda con le caratteristiche dell'ambiente, in cui si sono evoluti i depositi alluvionali da cui provengono i campioni studiati, che vede come agente meccanico delle varie morfologie un corso d'acqua di breve lunghezza ma con periodiche portate talora elevate. Oltre a ciò va di nuovo sottolineato che l'acquisizione delle diverse forme, come anche suggerito da altri parametri valutativi utilizzati, è stata condizionata sicuramente, sin dall'inizio del trasporto dei frammenti detritici, dagli specifici caratteri strutturali delle litologie da cui essi provenivano. Questi vari dati portano poi ad ipotizzare che le non trascurabili percentuali di ciottoli ricadenti nella classe $> 2,1$ da CAILLEUX (1945) interpretata come indicatrice di selezione meccanica di forme legata ad un'azione marina di corrente di battigia, identifichino in realtà, per i ciottoli del Rio Basino, famiglie di clasti che abbiano acquisito i loro attuali abiti tendenzialmente appiattiti attraverso processi meccanici non legati all'azione di correnti marine ma condizionati da quelle che erano le forme dei singoli frammenti al momento del loro distacco dalla roccia di provenienza; forme che, a loro volta, venivano fortemente condizionate dai caratteri strutturali e tessiturali propri delle litologie alimentatrici.

La Tabella 13, che in base agli indici di sfe-

ricità proposti da RICCI LUCCHI (1980), suddivide percentualmente i ciottoli presenti in ogni campione raccolto ed evidenzia una loro generale tendenza a concentrarsi verso classi a contenuta-buona sfericità (indici da 0,6 a 0,8). Queste preferenzialità distributive sono particolarmente evidenti nella Tabella 14 in cui i dati percentuali sono raggruppati a seconda dell'ambiente di provenienza dei clasti stessi: o dalle rocce interne alla struttura carsica oppure trasportate dall'esterno. Va poi notato che, pur con valori percentuali diversi, i "trends" distributivi degli indici di sfericità, relativi ai ciottoli del Rio Basino e a quelli delle altre cavità studiate nel bolognese e nel reggiano, sono analoghi, e che le differenze percentuali, tra le tre classi di sfericità a maggiore concentrazione, sono anch'esse da imputare alle caratteristiche interne di ogni singolo frammento che sono gli elementi di base da cui dipendono le specifiche risposte, di ognuno di essi, ai vari caratteri del meccanismo di loro trasporto (sua intensità energetica, ripetitività del fenomeno, durata, lunghezza del tratto percorso, ecc.). La sfericità, secondo RICCI LUCCHI (1980) risulta pertanto uno dei caratteri da tenere in particolare considerazione per l'interpretazione e la ricostruzione del possibile ambiente in cui hanno avuto origine i depositi alluvionali.

A sua volta il grado di arrotondamento di una popolazione di ciottoli indica l'intensità dello smussamento da essi subito, fornendo così informazioni sulla energia meccanica del mezzo idraulico che li ha movimentati. La Tabella 15, costruita in base al variare visivo di questo carattere, indica che, nella maggior parte dei depositi alluvionali studiati, i ciottoli presenti raggiungono le massime concentrazioni nella classe subangolosa, mantenendo tuttavia elevate le loro percentuali anche in quelle immediatamente contigue. Queste collocazioni preferenziali indicano che la maggioranza dei clasti del Rio Basino hanno subito uno smussamento moderato. Considerando poi la frequenza distributiva dei clasti nelle classi relative ai diversi gradi di arrotondamento, proposte da POWERS (1953) e modificate da SHEPARD (1963), appare evidente che,

tra quelle estreme sono percentualmente le molto angolose (A) a predominare sulle molto arrotondate (F), ulteriore conferma questa che le azioni modellatrici della componente detritica in questa cavità non sono state significativamente intense.

Esaminando la Tabella 16, dove le percentuali riassunte degli indici di arrotondamento fanno separatamente riferimento alle diverse litologie, riunite a seconda dei loro ambienti di provenienza, cioè dall'interno e dall'esterno della grotta, si riconosce per le ultime una tendenza ad un maggior smussamento con scomparsa quasi totale degli individui molto angolosi, che rimangono invece discretamente presenti fra i clasti provenienti da litologie e da speleotemi presenti nel sistema carsico.

Tali differenze distributive, in parte subordinate alle caratteristiche proprie dai vari tipi di roccia originaria, più probabilmente sono dovute sia alla diversa lunghezza nel tratto torrentizio lungo il quale il ciottolame è stato trasportato, sia alla periodica variabilità dell'energia idraulica del torrente sotterraneo.

Da ultimo va sottolineato che una analoga distribuzione preferenziale nelle medesime classi di arrotondamento dei clasti del Rio Basino è seguita dalle stesse frazioni detritiche presenti nei riempimenti alluvionali grossolani delle grotte studiate nel territorio bolognese; mentre per quelli della Tana della Mussina di Borzano, nella collina reggiana, i valori di smussamento tendono a collocarsi nelle classi in cui l'effetto dell'azione meccanica è stato inferiore. Ciò potrebbe costituire una ulteriore conferma dell'ipotesi, a suo tempo ventilata per il ciottolame di questa cavità, che il materiale detritico in essa presente, provenga da formazioni litologiche, tettonicamente a diretto contatto con quella evaporitica, attraversate da brevi ruscelli che confluiscono nel torrente sotterraneo che percorre la cavità, fornendo una parte dei ciottoli, eterometrici e di natura eterogenea, presenti nei suoi numerosi depositi alluvionali interni.

Conclusioni

Il Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino costituisce un complesso ipogeo soggetto a

continue variazioni morfologiche causate da fenomeni gravitativi interni (frane, crolli di grandi massi instabili di gesso, ecc.), che creano ostacoli al regolare flusso del torrente sotterraneo. Tale corso d'acqua, nonostante la limitata ampiezza del suo bacino imbrifero esterno, nei periodi di abbondanti piogge può raggiungere portate idriche considerevoli e movimentare notevoli volumi di materiale clastico anche grossolano. Su tali materiali è stato condotto il presente studio che ha avuto come finalità quella di una loro migliore conoscenza (composizionale, morfometrica e morfoscopica), importante per una ricostruzione dei meccanismi sedimentari selettivi e dell'ambiente generale in cui si sono depositati i numerosi riempimenti fisici di cui essi fanno parte.

La brevità del torrente, la sua contenuta pendenza, gli ostacoli che incontra lungo il suo percorso, le sue frequenti piene, ecc., sono fra gli agenti principali che, in passato ma anche di recente, possono aver determinato le specifiche caratteristiche strutturali (stratificazioni o assetti caotici) e tessiturali (soprattutto granulometriche) che contraddistinguono i depositi alluvionali presenti in questa cavità.

I dati raccolti e le considerazioni suggerite dalle analisi morfologiche e morfoscopiche, condotte sui ciottoli per definire le specificità delle loro forme (forme fondamentali, appiattimento, sfericità, arrotondamento), oltre a riconfermare tra i possibili agenti morfogenetici quelli sopra elencati, hanno portato a considerare di grande importanza anche la natura litologica dei clasti stessi (calcari, arenarie, calcari arenacei se provenienti dall'esterno; gessi e concrezioni diverse se forniti da rocce in posto interne alla cavità) ed alcune loro proprietà specifiche (stratificazioni, grado di cementazione, dimensione e orientazione dei cristalli presenti, porosità, presenza di sottili livelli diversi nelle concrezioni, ecc.). Attraverso una valutazione comparata di tutti gli agenti riconosciuti che possono aver influito sullo sviluppo delle forme dei clasti, tenendo anche presente il dato topografico relativo alla brevità del tratto di torrente lungo cui la componente detritica è stata trasportata, ed ammettendo anche quale effetto morfo-

genetico quello causato dalle azioni di usura, di rotolamento e di saltazione subite dal materiale solido movimentato nei periodi di maggiore portata idrica del corso d'acqua, si è giunti a considerare, come elementi fra i maggiormente condizionanti le attuali forme dei clasti, le caratteristiche strutturali e tessiturali originarie delle rocce da cui essi sono stati asportati.

Tuttavia il dato considerato più interessante, tra i numerosi raccolti durante le indagini effettuate, è stato quello relativo alla, nettamente dominante, composizione petrografica del ciottolame.

In molti campioni infatti si sono riconosciute percentuali del 100% di clasti di rocce sicuramente interne alla cavità, dato questo che esclude per alcuni di essi apporti solidi grossolani provenienti dall'esterno.

Queste alte concentrazioni, soprattutto di frammenti di concrezioni, hanno fatto ipotizzare che in passato questa cavità sia stata molto più ricca di speleotemi soprattutto calcarei che dovevano rivestire ampi tratti delle pareti o che formavano crostoni che ricoprivano l'alveo del torrente.

Sicuramente questa è una interpretazione che può suscitare qualche dubbio in quanto è nota la scarsità attuale di depositi chimici calcarei nelle grotte che si sviluppano nei Gessi Messiniani della Regione Emilia-Romagna, tuttavia è l'unica plausibile che possa giustificare la presenza, nei riempimenti fisici del Rio Basino, di percentuali tanto elevate di clasti provenienti da concrezioni, che sono litologie di esclusiva genesi ipogea.

In base a questa possibilità e per il fatto che attualmente in questa cavità gli speleotemi calcarei sono rari e limitati a poche zone, si sono fatte ipotesi su quello che potrebbe essere avvenuto all'interno di tutto il sistema carsico dalla fase di suo eccezionale concrezionamento al momento attuale.

Dato che i depositi calcarei secondari in grotta sono creati da acque, di percolazione o di flusso diretto, caratterizzate da chimismi legati a specifiche condizioni climatiche esterne, si è immaginato che, durante uno di questi particolari periodi, all'interno del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino, si siano depositati estesi concrezionamen-

ti tali da rendere questa cavità la testimonianza ipogea di situazioni ed eventi climatici esterni del tutto diversi da quelli attuali. Successivamente a tali processi di concrezionamento, le acque presenti al suo interno devono aver subito variazioni del loro chimismo trasformandosi da deposizionali a fortemente aggressive ed in grado di innescare intensi processi di soluzione su estese superfici.

Tali acque avrebbero pertanto agito aggregando direttamente le concrezioni calcaree oppure, attraverso meccanismi di infiltrazione, arrivando a sciogliere il loro supporto di roccia gessosa. Si sarebbe così impostata un'azione di progressivo indebolimento statico degli speleotemi calcarei che venivano così a trovarsi progressivamente privati del loro appoggio, fino a causarne il crollo gravitativo e una loro forte frammentazione. Un'ulteriore successiva frantumazione sarebbe stata causata dal loro trasporto meccanico da parte delle acque del torrente stesso. Il detrito, che così veniva a formarsi, entrava nel generale meccanismo deposizionale ipogeo, subendo quelle limitate azioni di arrotondamento, di smussatura e di erosione, che è possibile rilevare su gran parte del ciottolame studiato.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare: l'Organizzazione Stella-Basino (OSB) per aver fornito il rilievo topografico della grotta, in versione originale; la preziosa e costante collaborazione di Piero Lucci, Baldo Sansavini e Massimo Ercolani dello Speleo GAM di Mezzano e di Luigi Mesini del Gruppo Speleologico Emiliano CAI, sezione di Modena, per il fondamentale supporto di conoscenza trasmesso durante la progressione in grotta e per l'aiuto fornito durante il campionamento dei materiali studiati. A Piero Lucci anche la nostra riconoscenza per le tante e splendide immagini delle zone interne ed esterne della cavità che, disinteressatamente, ci ha regalato.

Bibliografia

AA. VV., (1993), *La profonda storia dell'Abisso F10*. Ipogea 1988/1993, Faenza, pp. 5-13.

- BARBIERI M. & ROSSI A., (2001), *I riempimenti fisici della Tana della Mussina di Borzano (Com. di Albinea - Prov. di Reggio Emilia) - Considerazioni ed interpretazioni*. Mem. Ist. It. Spel., 11, s. II°. pp. 87-114.
- BENINI A., DE NARDO M.T. & SEVERI P., (2009), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000, Foglio 238 "Castel S. Pietro Terme"*. APAT-Servizio Geologico d'Italia-Regione Emilia-Romagna, S.EL.CA. Firenze.
- BOSELLINI A., MUTTI E. & RICCI LUCCHI F., (1989), *Rocce e successioni sedimentarie*. UTET, 395 pp.
- CAILLEUX A., (1945), *Distinction des galets marins et fluviatiles*. Bull. Soc. Geol. France. s. V°, v. 1. pp. 375-404.
- CORSI R., (2001), *Complesso Rio Stella-Rio Basino: una storica traversata ancora possibile*. Speleologia Emiliana. n°12/13 – Anno XXVII-XXVIII – IV serie, pp. 13-16.
- DEMARIA D., (2010), *Lo sviluppo e l'evoluzione del paesaggio carsico nei gessi bolognesi*. Regione Emilia-romagna, in stampa.
- DE WAELE J., FORTI P. & ROSSI A., (2010), *Il carsismo nelle evaporiti dell'Emilia-Romagna*. Regione Emilia-Romagna, in stampa.
- FORTI P., (1991), *Il carsismo nei gessi con particolare riguardo a quelli dell'Emilia-Romagna*. Speleologia Emiliana. s.IV, a.XVII, n.2. pp.11-36.
- FORTI P., (2000), *I depositi chimici delle grotte*. Quaderni didattici SSI. 7, 36 pp.
- FORTI P., FRANCAVILLA F., PRATA E., RABBI E., VENERI P. & FINOTELLI F., (1985), *Evoluzione idrogeologica dei sistemi carsici dell'Emilia-Romagna. 1 - Problematica generale. 2 - Il Complesso Spipola-Acquafredda*. Quaderni Regione Emilia-Romagna, 60 pp.
- FSRER, (2010), *Rilievo topografico del Sistema carsico Rio Stella-Rio Basino*. Allegato a Memorie Istituto Italiano di Speleologia, s.2. XXIII.
- GRIMANDI P., (1987), *Grotta della Spipola (5 ER/BO)*. Ipoantropo, Boll. G.S.P.G.C., 7, pp. 51-64.
- GRIMANDI P., BRINI M. & FABBRI M., (1982), *Il Complesso Spipola-Acquafredda alla*

- luce delle recenti esplorazioni. Atti XIV° Cong. Naz. Spel., Bologna, pp. 47-60.*
- KRUMBEIN W.C., (1941), *Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles.* Journ. Sed. Petr., 11, pp. 64-72.
- KRUMBEIN W.C. & SLOSS L.L., (1963), *Stratigraphy and Sedimentation.* Freeman and Co., N.Y., 2° ed., 660 pp.
- PAREA G.C., (1972), *Osservazioni geomorfologiche e sedimentologiche.* In: Gruppo Speleologico Emiliano C.A.I. - Modena: *Studio della Grotta di fianco alla Chiesa di Gaibola nei gessi delle colline bolognesi.* Rass. Spel. It., anno IV, 2, pp. 113-130.
- POWERS M.C., (1953), *A new roundness scale for sedimentary particles.* Journ. Sed. Petr., 23, pp. 117-119.
- RICCI LUCCHI F., (1980), *Sedimentologia.* Parte I°, CLUEB, 226 pp.
- ROSSI A., (2003), *I riempimenti fisici della Grotta della Spipola (5 ER/BO) nelle colline bolognesi (Emilia Romagna, Italia).* Atti XIX° Cong. Naz. Spel., Bologna 27-31 agosto 2003, pp. 127-156.
- ROSSI A. & MAZZARELLA B.S.L., (1998), *La Grotta Calindri: dati e considerazioni sui suoi riempimenti fisici.* Sottoterra, 107, pp. 33-51.
- ROSSI A. & MAZZARELLA B.S.L., (2000), *Caratteri morfoscopici, petrografici e mineralogici sui riempimenti fisici della Grotta Calindri.* Sottoterra, 110, pp. 45-66.
- ROSSI A. & MAZZARELLA B.S.L., (2001), *Nuove considerazioni sui riempimenti fisici della Grotta Calindri.* Sottoterra, 113, pp. 28-41.
- SHEPARD R.D., (1963), *Submarine geology.* Harper & Row, Evanston, pp. 1-558.
- SNEED E.D. & FOLK R.L., (1956), *Pebbles in the lower Colorado River, Texas - A study in particle morphogenesis.* Jour. Geol., 66, pp. 114-150.
- VEGGIANI A., (1965), *Trasporto di materiale ghiaioso per correnti di riva dall'area marchigiana all'area emiliana durante il Quaternario.* Boll. Soc. Geol. It., 84 (1-2), pp. 315-328.
- WENTWORTH C.K., (1922), *A scale of grade and classterms for clastic sediments.* Jour. Geol., 30, pp. 377-392.
- ZINGG T.H., (1935), *Beitrag zur shotteranalyse.* Schweiz. Min. v. Pet. Mitt, Bd 15, pp. 39-140.