

Ambiente di formazione di tufo calcareo e latte di monte in grotte del Trentino con particolare riferimento al Gruppo di Brenta e Paganella

Renza MIORANDI* & Andrea BORSATO

Sezione di Geologia, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Via Calepina 14, 38100 Trento, Italia

*E-mail dell'Autore per la corrispondenza: *miorandi@mtsn.tn.it*

RIASSUNTO - Ambiente di formazione di tufo calcareo e latte di monte in grotte del Trentino con particolare riferimento al Gruppo di Brenta e Paganella - In Trentino, e in particolare nelle Dolomiti di Brenta e in Paganella, diverse grotte ospitano depositi di tufo calcareo e/o di latte di monte. I depositi di tufo si formano da acque sovrassature rispetto alla calcite ($\text{SI}_{\text{calcite}} > 0,5$) e con portate superiori ai $0,01 \text{ l s}^{-1}$, in grotte con umidità relativa talora inferiore al 90% e collocate a quote medio basse, tra il fondovalle e i 1200 m s.l.m., sotto il limite della foresta decidua. Queste cavità sono caratterizzate da temperature comprese tra 7,5 e 9,5 °C. Il latte di monte, invece, si forma da acque alla saturazione o poco sovrassature ($\text{SI}_{\text{calcite}} < 0,2$) con portata esigua vicina al gocciolamento, in grotte collocate nella fascia altimetrica compresa tra 1500 e 2200 m, dove le temperature sono comprese tra 2,5 e 5,5 °C e l'umidità relativa è solitamente superiore al 95%. Entrambi i tipi di depositi, formatisi nel corso dell'Olocene, sono ora in prevalenza fossili, a testimonianza delle mutate condizioni climatiche avvenute nell'Olocene superiore.

SUMMARY - Deposition environment of calcareous tufa and moonmilk in Trentino with special attention to the Brenta Dolomites and Paganella areas - Several caves of Trentino, especially in the Brenta Dolomites and Paganella areas, host calcareous tufa and moonmilk deposits. Tufa are deposited by slightly supersaturated water ($\text{SI}_{\text{calcite}} > 0.5$) with a discharge higher than 0.01 l s^{-1} in caves with a relative humidity that can be also lower than 90%, located at low and mid elevation (up to 1200 m a.s.l.), below the deciduous forest. These caves are characterized by temperatures between 7.5 and 9.5 °C. On the other hand, moonmilk precipitates from water at saturation or slightly supersaturated ($\text{SI}_{\text{calcite}} < 0.2$) with a low laminar discharge very near to dripping; in caves located at high elevation, between 1500 and 2200 m, where temperatures ranges from 2.5 to 5.5 °C and the relative humidity is usually higher than 95%. The two type of deposits, formed during the Holocene, are now mostly fossils and partially eroded: this testified the climate changes occurred in the Upper Holocene.

Parole chiave: tufo calcareo, latte di monte, speleotemi, grotte, Trentino

Key words: calcareous tufa, moonmilk, speleothems, caves, Trentino

1. INTRODUZIONE

All'interno della ricerca OLOAMBIENT si sono investigate le potenzialità paleoclimatiche dei depositi di latte di monte e tufo calcareo di grotta, fino ad ora molto poco utilizzati, anche a causa della loro limitata occorrenza. Questi depositi sono presenti in diverse grotte del Trentino con una maggiore concentrazione nel settore occidentale (Fig. 1). L'indagine pertanto si è svolta di preferenza nell'area delle Dolomiti di Brenta e nel Gruppo Gazza-Paganella, dove sono state individuate le due grotte che ospitano i depositi più cospicui sui quali sono stati eseguiti gli studi paleoclimatici (Borsato *et al.* 2007a). Di seguito nell'articolo vengono presentate le grotte in Trentino che ospitano questo tipo di depositi, le loro caratteristiche geologiche e microclimatiche e i

relativi ambienti di formazione. Le principali informazioni sono sintetizzate nella tabella 1.

2. DESCRIZIONE CAVITÀ E DISTRIBUZIONE DEI DEPOSITI

2.1. *Gruppo Gazza-Paganella-Fausior*

2.1.1. *Grotta Cesare Battisti*

La Grotta Cesare Battisti è caratterizzata da 7 differenti ingressi che si aprono tra le quote 1880 e 1698 m alla sommità della Paganella (Fig. 1). La cavità si articola per ca. 2,4 km all'interno dei Calcarei Grigi e presenta una complessa geometria freatica sviluppata nelle tre



Fig. 1 - Profilo della Provincia Autonoma di Trento (PAT) con la distribuzione delle grotte che presentano al loro interno depositi di tufo e/o latte di monte (da NASA-SRTM Program, elaborazione M. Zandonati).

Fig. 1 - Trentino Province with the location of the caves with calcareous tufa and/or moonmilk deposits (from NASA-SRTM Program, elaboration M. Zandonati).

dimensioni derivata da una speleogenesi singenetica da zona satura, ed evoluta successivamente mediante processi paragenetici, di crollo e circolazione di acqua a pelo libero (Bini *et al.* 1991; Borsato 1995a).

La grotta è caratterizzata da circolazione d'aria a tubo di vento (Borsato 2003) e soltanto nei rami laterali si registrano temperature costanti intorno ai 3,5 °C. La circolazione idrica attuale è molto esigua e gli unici stillicidi e ruscellamenti perenni sono situati nei rami alti (Cripta, Grande Antro Inferiore e Corridoio delle Campanelle) con portate medie valutate intorno a 0,1-0,5 l s⁻¹.

Il concrezionamento attuale è estremamente raro e limitato a punti particolari della cavità. Più comuni invece le concrezioni fossili, che si rinvengono fino nelle parti più profonde della grotta.

In corrispondenza di ciascuna venuta d'acqua attuale sono presenti colate di latte di monte fossili, che vengono incise dall'acqua di ruscellamento. Lungo il Corridoio delle Campanelle il latte di monte, in forma di colata, occupa tutto il pavimento del meandro per 140 m. Prende avvio da un piccolo collettore laterale da cui attualmente cola dell'argilla marrone che ricopre il deposito. Nella Cripta la colata è generata dall'acqua di ruscellamento proveniente dal cammino e occupa tutta la parete con spessori fino a 40-50 cm. In questo punto il

Tab. 1 - Tabella riassuntiva sulle grotte contenenti depositi di tufo calcareo e latte di monte calcitico con riferimento alle caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua di percolazione attuale. I numeri che fanno riferimento alla presenza dei tre tipi di concrezioni (calcite colonnare, tufo calcareo e latte di monte) all'interno delle grotte vanno interpretati come segue: 1=raro; 2= comune; 3=frequente. Le cifre sottolineate indicano speleotemi attivi. I litotipi sono abbreviati come segue: CG= Calcaro Grigi; DP= Dolomia Principale; RA= Rosso Ammonitico.

Tab. 1 - Summary of the caves with calcareous tufa and calcite moonmilk deposits, with respect to the phisico-chemical characteristics of the present day percolating water. The numbers referred to the presence of columnar calcite, calcareous tufa and moonmilk inside the caves: 1=rare; 2=common; 3=frequent. The underlined numbers indicate active speleothems. The lithotypes are summarized as follow: CG= Calcaro Grigi; DP= Dolomia Principale; RA= Rosso Ammonitico.

Cavità	Località	N° catasto	Quota	Longitudine	Latitudine	Sviluppo	Speleotemi Olocenici			T media annua	Ca medio	litotipo
							m	colonnare	Tufo	LdM		
				m s.l.m.	E	N				°C	mg l ⁻¹	
Bus del Toni	Paganella	232 VT	2032	11°02'29"	46°08'17"	330	no	no	<u>3</u>	3,7	41-48	CG
Gr. dello Specchio	Lasteri	1260 VT	1967	10°56'56"	46°10'02"	290	no	no	<u>1</u>	2,5	32-38	CG
Gr. C. Battisti	Paganella	125 VT	1880	11°02'56"	46°08'46"	2342	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	3,6	42-52	CG
Coel Zelà	M. Gazza	7 VT	1720	11°00'32"	46°06'48"	217	0	1	<u>3</u>	5,2	40-50	CG
Gana del Dosson	Paganella	61 VT	1605	11°01'21"	46°09'06"	>2000	<u>1</u>	no	<u>3</u>	3,9	54-62	CG
Val Parol	M. Altissimo	418 VT	1600	10°53'58"	45°49'15"	2422	<u>2</u>	no	<u>2</u>	4,8	52-60	CG
Covello di Rio Malo	Lavarone	12 VT	990	11°15'51"	45°55'37"	80	<u>1</u>	<u>2</u>	1	8,2	41-58	CG
Gr. della Lovara	Fausior	74 VT	985	11°03'48"	46°13'08"	320	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	8,3	70-90	CG
Abisso di Lamar	Paganella	5 VT	740	11°03'50"	46°07'47"	2418	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	8,5	46-49	CG
Bus della Spia	Sporminore	21 VT	610	11°01'36"	46°13'31"	320	<u>3</u>	<u>3</u>	1	8,7	55-80	CG
Calgeron	Valsugana	244 VT	467	11°37'01"	46°00'33"	>5000	<u>2</u>	<u>3</u>	no	8,6	40-52	DP
Gr. della Rocchetta	Fausior	354 VT	317	11°03'39"	46°13'59"	319	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	9,1	57-70	RA



Fig. 2 - Colata parietale di latte di monte nella sala della Cripta. Lo spessore massimo del deposito è di 50 cm e come si vede dall'immagine la concrezione è ricoperta da uno strato di argilla che gli dà una colorazione bruna (foto A. Borsato).

Fig. 2 - Moonmilk flowstone on the wall of Cripta chamber. The maximum thickness of the deposit, coated by a thin brown clay layer, is 50 cm (photo by A. Borsato).

latte di monte è ormai fossile, ricoperto da una sottile pellicola di argilla marrone scuro; è però possibile che in qualche piccola nicchia riparata, dove conserva un colore bianco puro, sia ancora parzialmente attivo (Fig. 2).

Nel meandro di ingresso è presente invece una colata di latte di monte fossile, in erosione, spessa oltre 30 cm, che prende avvio da uno stillicidio in corrispondenza di tozze stalattiti a pigna e colonne porose di tufo calcareo.

Nella maggioranza dei casi il latte di monte è ancora intriso d'acqua e questo fatto ne facilita l'erosione meccanica durante i maggiori eventi infiltrativi. La posizione delle colate (Fig. 3) testimonia una sostanziale corrispondenza con l'idrologia attuale e, quindi, un'età relativamente recente (Olocene) dei depositi (cfr. Borsato 1995a).

2.1.2. Bus del Toni

Il Bus del Toni si apre sulla parete della Roda in Paganella, circa 40 m più in basso del ciglio della montagna a 2032 m di quota. Si tratta di una cavità ad andamento sub-orizzontale, lievemente in discesa, che si sviluppa nei Calcaro Grigi seguendo la stratificazione per oltre 250 m (Borsato 1985). Al suo interno si riconoscono, nel primo tratto, tracce di un iniziale regime freatico che è mascherato nel resto della grotta da morfologie da circolazione vadosa.

L'attuale circolazione idrica all'interno della cavità si limita, attualmente, al meandro nel primo tratto del percorso; qui l'acqua percola lungo le pareti e alimenta delle vaste cortine di latte di monte collocate sia lungo le pareti che sulla volta con spessori di qualche centimetro (Fig. 4). Poco più avanti un rivoletto d'acqua va a formare un laghetto che si prosciuga nelle stagioni secche. Depositi di latte di monte, sempre sotto forma di veli, alcuni dei quali forse ancora attivi, ricoprono le pareti anche in una saletta dopo il laghetto effimero. Sono invece assenti le concrezioni macrocristalline.

2.1.3. Gana del Dossone

La Gana del Dossone è una cavità ad andamento prevalentemente verticale che si apre in Paganella, sopra l'abitato di Andalo, alla quota di 1600 m. Il tratto inizia-



Fig. 3 - Sezione parziale della Grotta Cesare Battisti con la posizione dei depositi di latte di monte (da Borsato 1995, modificato).

Fig. 3 - Partial cross-section of Grotta Cesare Battisti with the location of the moonmilk deposits (modified from Borsato 1995).



Fig 4 - Veli di latte di monte sulle pareti del Bus del Toni (foto A. Borsato).

Fig. 4 - Moonmilk veils on the wall of Bus del Toni (photo A. Borsato).

le è caratterizzato da un'ampia galleria dalle dimensioni costanti, lunga circa 200 m, che mostra morfologie freatiche in parte mascherate da fenomeni di crollo (Gruppo Speleologico SAT Arco 2002; Borsato 2003). Successivamente la grotta prosegue con una sequenza di pozzi e meandri, per uno sviluppo complessivo superiore ai 2000 m e per un dislivello di circa 200 m. Lungo tutto lo sviluppo della grotta sono presenti diversi stallicidi e nella galleria iniziale vi è un deposito di latte di monte dall'aspetto spugnoso, che riveste interamente la sezione del cunicolo con spessori anche superiori ai 15 cm e che è stato ampiamente disturbato dal passaggio degli speleologi. Sono presenti anche rare concrezioni macrocristalline sia attive che fossili.

2.1.4. Coel Zelà

La grotta si apre sopra Covelo, sul versante orientale del Canfedin, alla base della parete a quota 1720 m.



Fig. 5 - Coel Zelà: grossa stalattite di latte di monte attivo (foto A. Borsato).

Fig. 5 - Coel Zelà: Large active moonmilk stalactite (photo by A. Borsato).

Si tratta sostanzialmente di un'unica galleria larga da 4 a 8 m ad andamento sub-orizzontale, che si sviluppa nei Calcaro Grigi seguendone la stratificazione per oltre 150 m. La morfologia della galleria è paragenetica con copiosi depositi di argilla potenti oltre 1 m.

L'attuale circolazione idrica è limitata a diversi stallicidi, comuni soprattutto nella parte mediana della grotta, che alimentano veli a festoni di latte di monte, alcuni dei quali tuttora attivi (Fig. 5).

Nella parte centrale della cavità, con umidità relativa solitamente compresa tra 90 e 95%, e dove le pareti in roccia sono caratterizzate da dissoluzione per condensa (*condensation corrosion*) (Fig. 6), il latte di monte forma festoni larghi e spessi fino a 20-30 cm, dai quali si individuano tozze stalattiti a pigna per lo più fossili.

Durante i momenti più piovosi gli stallicidi danno luogo ad un esiguo rigagnolo e a piccole pozette, alcune delle quali con il fondo in tufo calcareo. Le concrezioni macrocristalline sono invece estremamente rare e tutte fossili.

2.1.5. Abisso di Lamar

L'Abisso di Lamar si apre sul lato est del lago omonimo alla quota di 746 m s.l.m. La grotta ha uno sviluppo prevalentemente verticale per una profondità massima di circa 400 m e inizia con un meandro orizzontale che si sviluppa per 200 m alternato a brevi salti verticali (Fig. 7). La parte superiore della cavità si sviluppa nella formazione dei Calcaro Grigi, mentre la parte più profonda è scavata nella Dolomia Principale.

L'Abisso di Lamar è caratterizzato da un'idrologia complessa e molte diramazioni terminano in tratti si-



Fig. 6 - Coel Zelà: festoni di latte di monte fossile. In alto si notano gocce di condensa sulla roccia (foto A. Borsato).

Fig. 6 - Coel Zelà: fossil moonmilk draperies. In the upper part of the picture condensation droplets on the rock wall are clearly visible (photo by A. Borsato).

fonanti; tutto il ramo principale, dalla quota di 250 m fino al fondo, è interessato dall'infiltrazione di acqua dal Lago di Lamar ed è percorso tutto l'anno da consistenti rivoli. L'acqua è sempre presente anche nella parte più alta della cavità in forma di stillicidi perenni, particolarmente abbondanti nel meandro iniziale dove si raccolgono in rivoletti e pozze. Vista l'abbondanza di stillicidi, la grotta si presenta ricca di concrezioni calcitiche soprattutto in forma di colate e festoni che rivestono le pareti dei pozzi. Tutto il meandro iniziale, a partire dalla base del pozzetto d'entrata, è interessato, per ampi tratti, da una colata di tufo calcareo spessa



Fig. 8 - Particolare della colata di tufo calcareo presente nel tratto iniziale dell'Abisso di Lamar. L'erosione, dovuta al passaggio dei visitatori, mette in risalto la struttura laminata della concrezione (foto A. Borsato).

Fig. 8 - Detail of the calcareous tufa flowstone in the first part of Abisso di Lamar. The erosion, due to the passage of cavers, reveals the laminated structure of the tufa (photo by A. Borsato).

fino a 30-40 cm, che, in corrispondenza di piccoli dislivelli, assume forme mammellonari con terminazioni a stalattite che alimentano delle vaschette sottostanti. Il deposito, probabilmente attivo fino al secolo scorso, ricopre il pavimento della galleria per gran parte della sua larghezza ma, a causa del passaggio degli speleologi, risulta eroso in più punti (Fig. 8) creando dei solchi dove l'acqua viene incanalata accentuando l'erosione.

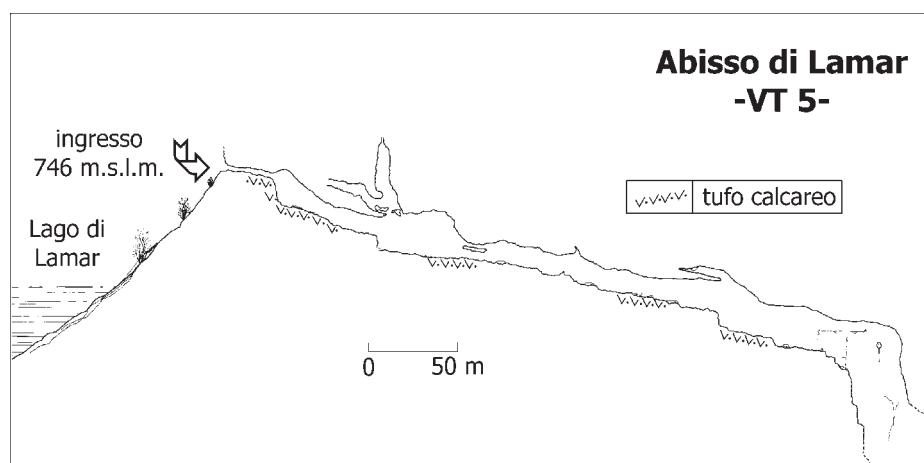


Fig. 7 - Sezione parziale dell'Abisso di Lamar con la disposizione dei depositi di tufo calcareo (da Gruppo grotte "E. Roner" Rovereto 2002, modificato).

Fig. 7 - Partial cross-section of Abisso di Lamar with the location of calcareous tufa deposits (modified from Gruppo grotte "E. Roner" Rovereto 2002).

La parte erosa dal passaggio mette in risalto la stratificazione e l'alternanza di lamine chiare e scure.

2.1.6. Grotta della Lovara

La cavità che si apre a quota 985 sulla propaggine settentrionale del Monte Fausior (1554 m) è scavata all'interno del Membro inferiore dei Calcari Grigi. È formata sostanzialmente da un'unica galleria discendente (Fig. 9), che segue grosso modo la giacitura a reggipoggio degli strati con morfologia singenetica, modificata in parte da circolazione a pelo libero e da rari fenomeni di crollo (Borsato 1995a). Durante l'estate la cavità rimane spesso asciutta anche in occasione di precipitazioni e solo da ottobre-novembre fino a marzo-aprile si osservano alcuni stallicidi in corrispondenza della strettoia iniziale, della prima sala e della Sala Alta. Gli stallicidi alimentano la colata e alcune vaschette di tufo.

Una colata di tufo calcareo, ancora parzialmente attiva, interessa tutto il ramo principale e si origina in corrispondenza di alcune grosse stalattiti porose a pigna a soli 5 metri dall'ingresso. Verso l'interno della cavità la colata riceve alimentazione anche da grosse stalattiti porose presenti in profondità lungo la galleria e da una colata parietale nella Sala Alta. Lungo il percorso dà luogo, in corrispondenza di piccoli salti verticali, a morfologie tozze come stalattiti a pigna ed edifici stalagmitici a duomo oppure, nei tratti meno inclinati, a superfici modellate in *ripple* o con piccole vaschette di tufo calcareo. Nel tratto inferiore la colata è a tratti incisa a causa del passaggio degli speleologi. È interessante notare che intercalati nella colata basale

vi sono anche dei livelletti di latte di monte, che per primi 10-12 cm presentano ancora un aspetto plastico, mentre, spostandosi verso l'alto, passano gradualmente a tufo calcareo indurito (Borsato 2001a). Le concrezioni macrocristalline, quasi tutte fossili, sono piuttosto rare e limitate a nicchie sulle pareti o su mensole sopraelevate rispetto al pavimento della cavità.

2.1.7. Grotta della Rocchetta e Boi del Rico

La Grotta della Rocchetta si apre in Località Rocchetta, subito sopra la S.S. 421 per Molveno, alla quota di 317 m s.l.m. nella formazione del Rosso Ammonitico. È costituita da una galleria singenetica ad andamento suborizzontale, prevalentemente ascendente, impostata lungo un piano di faglia. Su questa galleria principale si immette, tramite un pozzo, il ramo del Boi del Rico la cui entrata è situata poco a monte di quella della Rocchetta. La Rocchetta è una cavità sorgente che si attiva solo a seguito di abbondanti precipitazioni e in occasione del disgelo primaverile, e che svolge un ruolo di emergenza di troppo pieno (*overflow system*) di un bacino carsico di piccole dimensioni (Terzan *et al.* 2004). Viceversa, l'ingresso alto, o Boi del Rico, si attiva solo raramente.

La Grotta della Rocchetta è assai povera di depositi, e anche le concrezioni sono piuttosto rare e si concentrano nel tratto iniziale dove si osservano alcune stalagmiti e colate attive di tufo calcareo. Il tufo calcareo si rinviene anche nel Boi del Rico, nel tratto orizzontale, dove il deposito forma una colata basale di spessore decimetrico, interrotta da alcune vaschette. Nel ramo laterale del Boi del Rico sono presenti anche

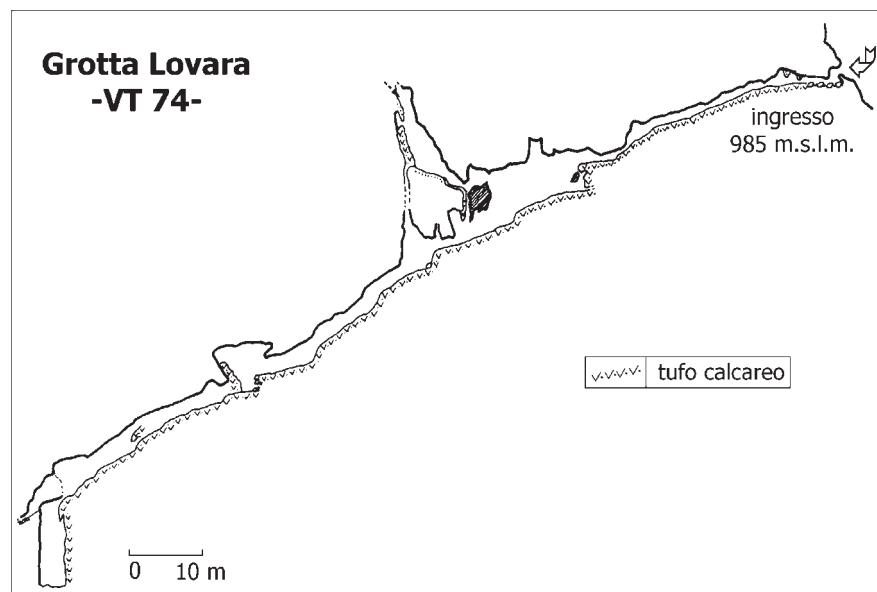


Fig. 9 - Sezione della Grotta della Lovara con la disposizione delle concrezioni (da Borsato 1995, modificato).
Fig. 9 - Lovara cave cross-section with speleothems location (modified from Borsato 1995).



Fig. 10 - Galleria principale del Boi del Rico con la colata di tufo calcareo che ne ricopre interamente il pavimento (da Terzan *et al.* 2004).

*Fig. 10 - Boi del Rico main gallery with the calcareous tufa flowstone that covers the whole pavement (from Terzan *et al.* 2004).*

delle grosse stalattiti a pigna in tufo poroso che alimentano un laghetto sottostante (Fig. 10).

2.2. Gruppo di Brenta

2.2.1. Bus della Spia

Il Bus de la Spia, che si apre a quota 610 m alle propaggini orientali del Gruppo di Brenta, presso l'abitato di Sporminore, consiste in un'unica galleria singenetica con dimensioni medie di 3-5 m e andamento discendente. Si sviluppa quasi completamente lungo un piano di faglia che immerge verso l'interno del versante. La grotta, evoluta come emergenza valchiusiana, alla profondità di -56 m raggiunge la falda freatica locale, che costituisce l'estremità di un imponente sifone esplorato per oltre 300 m con tecniche speleosubacquee (Bombardelli 2004). Il livello del

sifone è caratterizzato da oscillazioni plurimetriche cicliche con periodi variabili da 3 a 12 ore (Borsato 2004), che condizionano l'idrologia e il regime termo-igrometrico della grotta espellendo aria durante la risalita di livello e aspirandola durante la discesa. Il sifone terminale è connesso idrologicamente con la Sorgente dell'Acqua Santa, che si apre a quota 477 m s.l.m. a 1200 m dall'ingresso della cavità (Borsato 2004).

In tutta la cavità sono presenti numerose concrezioni macrocristalline sia fossili che attive, comuni soprattutto nel tratto orizzontale (Fig. 11), mentre il pavimento dello scivolo d'ingresso è ricoperto quasi completamente da una colata di tufo calcareo sub-fossile ora in parziale erosione (Borsato 1995a, 1997). La colata di tufo calcareo, che si protrae per circa 40 m fino alla fine dello scivolo iniziale ed è spessa fino a 50 cm, era alimentata da venute laterali e da alcune tozze stalattiti e colonne stalagmitiche porose presenti ai fianchi del condotto. Attualmente il deposito si presenta parzialmente disidratato, specialmente nello strato superficiale, e viene allagato solo occasionalmente dall'acqua del sifone (Borsato *et al.* 2007a). Il deposito è eroso in diversi punti da intagli, dovuti in parte al passaggio degli speleologi, e da marmitte irregolari (Fig. 12) che contengono ciottoli calcarei e dolomitici arrotondati, con diametri fino a 50 cm. Nella parte più interna della grotta, nella zona di oscillazione del sifone, è presente una colata attiva di calcite microcristallina laminata, con geometrie a vaschetta, alimentata da alcune grosse stalattiti attive di tufo calcareo con stillicidi abbondanti (Fig. 13) (cfr. punto di campionamento A in Borsato *et al.* 2007b). L'unico tratto della cavità dove è presente del latte di monte è la volta della saletta alla base dello scivolo iniziale, dove ricopre la superficie liscia e ondulata del piano di faglia con uno spessore di pochi millimetri.

2.2.2. Grotta dello Specchio

La Grotta dello Specchio si apre nella parte centrale orientale del Gruppo di Brenta, nella conca dei Lasteri, a quota 1930 m s.l.m. La cavità, ad andamento prevalentemente orizzontale, si sviluppa interamente nei Calcaro

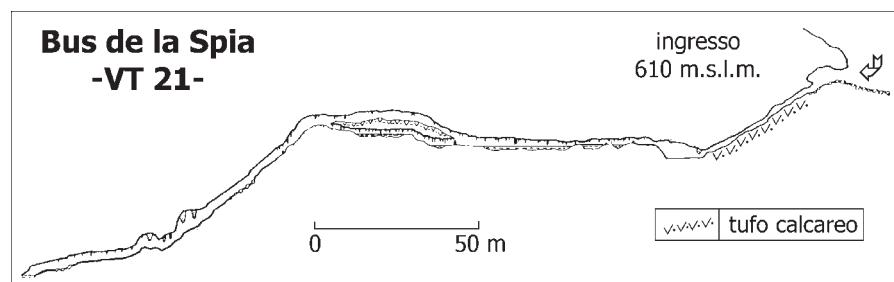


Fig. 11 - Sezione del Bus della Spia con la disposizione delle concrezioni (da Borsato 1995, modificato).
Fig. 11 - Bus della Spia cross-section with speleothems location (modified from Borsato 1995).



Fig. 12 - Bus della Spia: colata di tufo calcareo incisa da una marmitta di erosione (foto R. Miorandi).

Fig. 12 - Bus della Spia: calcareous tufa flowstone cut by an erosional pothole (photo by R. Miorandi).

Grigi e mostra una genesi iniziale in fase freatica alla quale si sono succedute più fasi vadose e di riempimento (Borsato 1991). Attualmente la cavità è fossile e vi si rinvengono solo limitati stalattiti in aree molto circoscritte della grotta. In corrispondenza di forti piogge i 2 meandri convogliano una certa quantità d'acqua, che si disperde subito tra i detriti. La Grotta dello Specchio è particolarmente interessante per la presenza al suo interno di un deposito di ghiaccio sub-fossile ormai in via di fusione (Borsato *et al.* 2006), mentre sono più rari i depositi chimici. Questi si limitano a piccole stalattiti e a sottili crostoni calcitici fossili, mentre si rinvengono in maggiore abbondanza veli di latte di monte che ricoprono le pareti e la volta nel Meandro del Cammello, nella Sala del Convegno e nel Meandro inferiore con spessori massimi di pochi centimetri.

2.3. Trentino meridionale

2.3.1. Grotta di Val del Parol

La grotta si apre a 1600 m di quota in un'ampia depressione glacio-carsica alle pendici NE del Monte Altissimo di Nago (2079 m), nei pressi della testata della Val del Parol (Bosich 1985). La cavità si sviluppa nelle formazioni del Calcare Oolitico di S. Vigilio e dei Calcaro Grigi, e presenta una profondità complessiva di -415 m con un andamento prevalentemente verticale interrotto, a circa 180 m di profondità, da un lungo meandro sub-orizzontale.

La cavità, lungo tutto il suo percorso, è interessata da diversi stalattiti e rivoli d'acqua che colano lungo le pareti dei pozzi. La portata di questi arrivi d'acqua, che alimentano colate e stalattiti, varia a seconda del



Fig. 13 - Grossi stalattiti di tufo calcareo nella parte interna del Bus della Spia (foto A. Borsato).

Fig. 13 - Large calcareous tufa stalactites in the inner part of Bus della Spia (photo by A. Borsato).

periodo dell'anno e diviene più abbondante durante il disgelo.

Nel complesso, la grotta è mediamente concrezionata con concrezioni macrocristalline sia attive che fossili, comuni specialmente nei tratti orizzontali tra un pozzo e l'altro, alla base dei pozzi e nel Ramo Fossile alla profondità di ~120 m. In questa fascia altimetrica, alla base del P 56 si rinviene una colata parietale di latte di monte calcitico con spessori fino a 10-15 cm (Fig. 14). Il deposito è intercalato da sottili strati argillosi che gli conferiscono una colorazione marrone scuro e viene alimentato da diversi stalattiti con una portata stimata di $0,05 \text{ l s}^{-1}$ (Borsato *et al.* 2007b; Miorandi *et al.* 2007).

2.3.2. Grotta del Calgeron

La cavità si apre a quota 467 m s.l.m. sul versante meridionale della Valsugana, circa 200 metri più in alto dell'attuale fondo valle. L'ingresso è situato alla base di una parete da cui scaturiva un torrente che ha inciso il sottostante versante in roccia. La grotta si sviluppa all'interno della Dolomia Principale e consiste in una serie di ampie gallerie ad andamento suborizzontale o



Fig. 14 - Abisso di Val Parol: la colata di latte di monte argilloso che riveste le pareti alla base del P56 (foto A. Borsato).

Fig. 14 - Abisso di Val del Parol: the moonmilk flowstone that covers the walls at the bottom of P56 (photo A. Borsato).

lievemente inclinato, che si inoltrano al di sotto dell'Altipiano della Marcesina con direzione prevalente Sud (Conci & Galvagni 1956). Le morfologie singetiche e paragenetiche iniziali sono state mascherate da modesti fenomeni di approfondimento a pelo libero, evidenti soprattutto nei rami iniziali. L'andamento, che si approfondisce a denti di sega, è in accordo con un'antica cavità di tipo valchiusiano, connessa perciò

a un paleolivello della Valsugana intorno ai 450 m (Borsato 1995a).

La complessa idrologia della grotta è determinata dalla presenza di acque con portate e provenienza diverse, che alimentano una serie di laghetti (oltre 30) e sifoni, sia stagionali che perenni, con variazioni notevoli di livello (Conci & Galvagni 1956).

La vicinanza con la zona satura e le vicende connesse alle recenti glaciazioni hanno cancellato gran parte delle concrezioni che probabilmente abbellivano la cavità prima dell'ultima glaciazione. Le concrezioni macrocristalline attualmente presenti – la maggior parte delle concrezioni è stata asportata da vandali nel corso del tempo – sono quasi tutte attive, rappresentate soprattutto da piccole stalattiti a cono e stalagmiti alte fino 20-30 cm.

Una caratteristica spettacolare della Grotta del Calgeron è data dalla presenza di 2 grandi colate di tufo calcareo (Fig. 15, Borsato 1995a). La prima colata si genera da uno stillicidio, posto poco prima del Laghetto Marighetti, alimentato da un gruppo di stalattiti porose a T rovesciata. La colata è lunga 220 metri, larga in media 4 metri e spessa fino 50-80 cm, ed è prevalentemente fossile. Lo stillicidio infatti è attualmente intermittente e per diversi mesi è asciutto. In corrispondenza dei tratti più ripidi la colata forma delle dighe di tufo, che sbarrano laghetti profondi anche più di un metro. La seconda colata, tuttora attiva, è alimentata da uno stillicidio proveniente dal cammino della Sala delle Vasche (Borsato 1995b). Quest'ultima, come dice il nome, è costituita da diversi laghetti a livelli sovrapposti, isolati da dighe di tufo alte fino a 1 metro e larghe da 15 a 30 cm (Fig. 16). Purtroppo, il continuo passaggio degli speleologi ne ha parzialmente distrutto l'originale morfologia. Entrambe le colate ricoprono delle colate di tufo più antiche e, nella Sala delle Vasche, questi bordi risultano talvolta sfasati rispetto a quelli più recenti.

2.3.3. Covelo di Rio Malo

Il Covelo di Rio Malo si apre sull'Altopiano di Lavarone, sul fianco sinistro della valletta del Rio

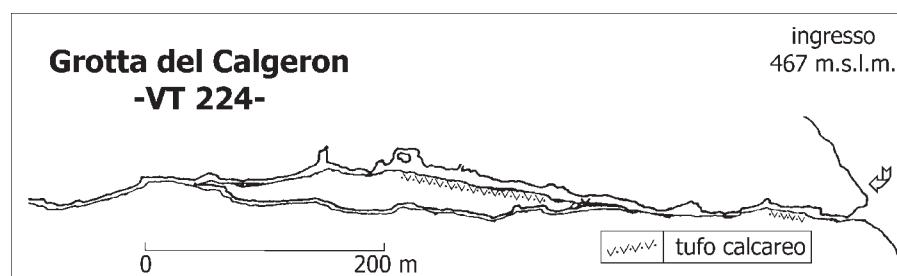


Fig. 15 - Sezione parziale della Grotta del Calgeron con la disposizione delle concrezioni (da Borsato 1995, modificato).
Fig. 15 - Partial cross-section of Grotta del Calgeron with the speleothems location (modified from Borsato 1995).

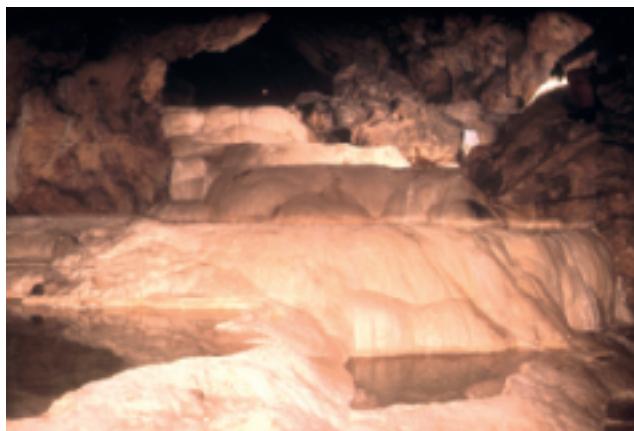


Fig. 16 - Gotta del Calgeron: la spettacolare colata di tufo calcareo della “Sala delle vasche” (foto Gruppo Grotte “E. Roner” Rovereto).

Fig. 16 - Grotta del Calgeron: the beautiful calcareous tufa flowstone with rimstone dams in the “Sala delle vasche” chamber (photo by Gruppo Grotte “E. Roner” Rovereto).



Fig. 17 - Covelo di Rio Malo: particolare della colata di tufo calcareo della sala terminale. È ben visibile la diversa colorazione della concrezione e il suo aspetto mammellonare (foto R. Miorandi).

Fig. 17 - Covelo di Rio Malo: detail of the calcareous tufa flowstone in the terminal chamber. In the picture are visible the different colours of the flowstone and its mammillary morphology.

Malo a quota 990 m s.l.m. (Gleria 1991). Si tratta di un’ampia caverna con andamento ascendente, con uno sviluppo di circa 60 m e un ingresso di ampie dimensioni. Nel primo tratto la cavità è costituita da un unico grande salone, terminante in una strettoia che conduce a una saletta con uno stretto cammino. Sul fondo di questo secondo tratto di grotta sgorga una piccola sorgente che alimenta un’ampia colata di tufo calcareo con forme mammellonari (Fig. 17). La concrezione, il cui spessore medio si aggira intorno ai 5 cm, riveste quasi interamente la parete di fondo della cavità e mostra una colorazione grigio scura nei punti ormai fossili, mentre dove è ancora bagnata dall’acqua ha una colorazione tendente al bianco. Sono visibili anche alcuni veli discontinui ed efflorescenze di latte di monte.

3. TUFO CALCAREO: TESSITURA E AMBIENTE DI FORMAZIONE

Le concrezioni di tufo calcareo sono caratterizzate da un alto contenuto in acqua, che è circa il 20-50% del loro peso, e da una densità apparente nella porzione solida che varia tra 0,9 e 1,4 g cm⁻³ (Frisia *et al.* 2000; Borsato *et al.* 2007b). La struttura di questi depositi è porosa e consiste in lamine sub-millimetriche annuali di tipo stromatolitico (*tufa stromatolites*, cfr. Andrews & Brasier 2005), dove ogni lamina è costituita da un livello microsparitico più chiaro e da un livello micriticco scuro ricco in materia organica che può incorporare piccoli grani detritici (Borsato *et al.* 2007b).

Tali concrezioni sono piuttosto diffuse in Trentino, prevalentemente nelle grotte che si collocano al di sotto

del limite della foresta decidua, a quote inferiori ai 1200 m di quota (Fig. 18). L’acqua di percolazione in questa fascia altitudinale è sovrassatura, con un indice di saturazione ($SI_{calcite}$) generalmente compreso tra 0,2 e 1,0 (Borsato *et al.* 2007b). L’ambiente di precipitazione del tufo calcareo è quindi lo stesso di quello della calcite macrocristallina (Frisia *et al.* 2000), con la differenza che il tufo calcareo si deposita in corrispondenza di arrivi d’acqua con portate maggiori di 0,01 l s⁻¹ e con un’alta variabilità stagionale di flusso (Borsato 1996). La temperatura dell’acqua di precipitazione, in qualche caso soggetta a sensibili fluttuazioni annuali, è in genere superiore a 7 °C, e nelle maggiori colate ancora attive è compresa tra 8 e 9,5 °C (Tab. 1, Fig. 18).

Le concrezioni di tufo calcareo, che assumono la forma di colate o di grosse stalattiti mammellonari, si formano prevalentemente in corrispondenza degli ingressi delle grotte, dove si registrano escursioni

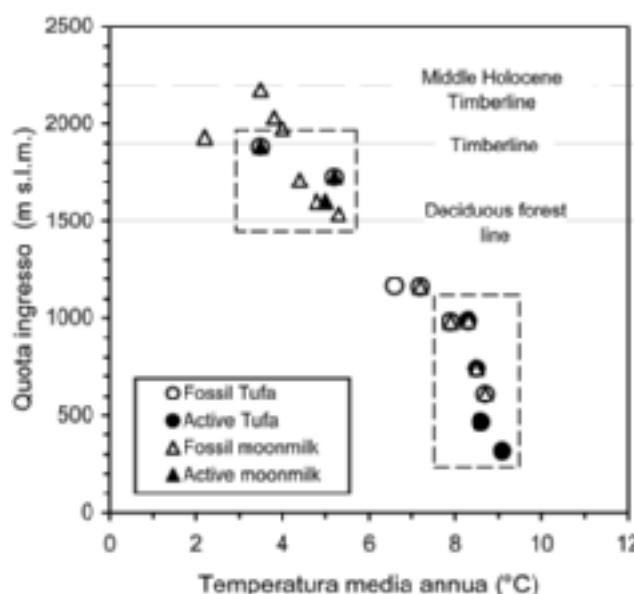


Fig. 18 - Distribuzione dei depositi di tufo e latte di monte in Trentino in funzione della temperatura media annua e della quota d'ingresso. Dati da tabella 1 e da Borsato *et al.* (2000).

*Fig. 18 - Calcareous tufa and moonmilk distribution in Trentino with respect to mean annual temperature and entrance elevation. Data from table 1 and Borsato *et al.* (2000).*

annuali di temperatura maggiori di 1 °C (Miorandi *et al.* 2007), ma si possono trovare anche nelle zone più interne. Da quanto si è potuto osservare, le colate poste in prossimità degli ingressi sono alimentate da stillicidi provenienti da grosse stalattiti a pigna, anch'esse in tufo, e si espandono per decine o centinaia di metri verso l'interno delle grotte in relazione alla morfologia della cavità. Queste colate atriali, per lo più fossili (Borsato *et al.* 2007a), sono più frequenti in grotte con andamento discendente, quali Bus della Spia, Abisso di Lamar, Grotta della Lovara e Grotta della Rocchetta.

Le concrezioni di tufo calcareo poste nelle gallerie più interne delle cavità, invece, si sviluppano a partire da uno stillicidio intenso o da una piccola sorgente e, a seconda dell'andamento della galleria, possono espandersi verso l'interno o verso l'esterno della grotta. In certi casi formano delle spettacolari colate che si riversano in vasche a tracimamento, di cui uno splendido esempio è visibile nella Grotta del Calgeron. Le colate di tufo nelle zone termostabili si formano di preferenza nelle grotte situate a bassa quota (<800 m). A differenza dei depositi atriali, alcune di queste colate sono ancora attive, anche se spesso il passaggio degli speleologi ne incide la superficie variandone il flusso d'alimentazione da laminare a incanalato, interrompendone in questo

modo la deposizione: è quanto avviene nelle grotte del Calgeron, della Lovara e all'Abisso di Lamar.

4. LATTE DI MONTE CALCITICO: TESSITURA E AMBIENTE DI FORMAZIONE

Il latte di monte è un deposito di calcite micro e criptocristallina dall'aspetto plastico e spugnoso, di colore biancastro, con un alto contenuto in acqua compreso solitamente tra il 50% e il 95% del peso (Borsato 1997; Borsato *et al.* 2000, 2007a); se viene essiccato, assume un aspetto polverulento e friabile. Il latte di monte è costituito da sottilissime fibre di calcite del diametro di 0,04-0,10 µm, organizzate in filamenti e cristalli aciculari a bastoncino intrecciati tra loro. La grande quantità di vuoti che si viene a creare all'interno di questi intrecci di fibre permette di intrappolare l'acqua all'interno della struttura del latte di monte (Borsato *et al.* 2000).

Nelle grotte della Paganella e del Massiccio di Brenta il latte di monte si rinviene, per lo più, in grotte superficiali sviluppate nei Calcari Grigi e situate nella fascia altitudinale tra i 1500 e i 2200 m di quota, cioè tra il limite superiore della foresta decidua e la posizione della timberline durante l'Olocene medio (Borsato 1997, Fig. 18). In questo range altimetrico le temperature ipogee sono comprese tra 2,5 e 5,5 °C (Borsato *et al.* 2000, Fig. 18). Le cavità poste a queste quote sono in genere povere, o prive, di concrezioni oloceniche di calcite macrocristallina in quanto, in relazione alle caratteristiche del suolo, le acque di percolazione hanno una bassa mineralizzazione, con un contenuto in Ca²⁺ compreso tra 30 e 60 mg l⁻¹, e sono solitamente da sottosature a poco sature (-0,5 <SI_{calcite} <0,1) (Borsato 1996; Borsato *et al.* 2007b). È necessario, pertanto, che nella formazione di latte di monte intervengano fattori particolari quali la presenza di batteri eterotrofi che, consumando la CO₂ disciolta, alzano il pH e la saturazione nell'acqua favorendo la precipitazione della calcite (Borsato *et al.* 2000).

Tutte le cavità, o i rami, in cui si rinviene il latte di monte mostrano un'umidità relativa prossima alla saturazione, solitamente compresa tra il 95 e il 98%, con la presenza di debole circolazione d'aria che tenderebbe ad aumentare l'indice di saturazione della calcite e a ridurre il contenuto in acqua del deposito. Per questo motivo il latte di monte, a differenza del tufo calcareo, non si rinviene in prossimità degli ingressi, se non in rari casi come al Coel Zelà. In questa cavità la formazione del latte di monte è favorita anche dalla parziale evaporazione dell'acqua, che condensa sulla volta della grotta e provoca la dissoluzione della roccia secondo il noto meccanismo della *condensation corrosion* (Badino 1995; Lacelle *et al.* 2004). Questo processo può enfatizzare la precipitazione di latte di monte in cavità percorse da modeste correnti d'aria

anche stagionali (Grotta dello Specchio, Bus del Toni, Grotta Battisti, Gana del Dosson), specialmente sulle pareti non interessate dal flusso di acque di percolazione.

Da un punto di vista morfologico, all'interno delle cavità studiate si possono osservare 4 diverse tipologie: efflorescenze, veli, stalattiti e colate (Borsato *et al.* 2000). Efflorescenze e veli mostrano uno spessore esiguo (max 20-50 mm) e sono in genere le più diffuse; le prime sono forme globulari distribuite a *spot* sulle pareti di roccia o di concrezioni fossili, mentre le altre possono rivestire interamente le pareti e il soffitto della grotta e sono spesso legate al processo di *condensation corrosion*. Stalattiti e colate hanno generalmente spessori maggiori (fino a 0,5 m) e in Trentino sono molto meno diffuse: si rinvengono alla Grotta Battisti, alla Gana del Dosson, al Coel Zelà e al Bus del Toni.

I maggiori depositi di latte di monte calcitico in Trentino sono fossili (Borsato *et al.* 2007a), nonostante molti siano bagnati da sottili veli d'acqua che li mantengono idrati. Il latte di monte fossile si può presentare ricoperto da una patina submillimetrica di argilla bruna, come nel caso della colata della Grotta Battisti, del Bus del Toni e della Grotta di Val del Parol, o semplicemente indurito e disidratato, come in molte diramazioni percorse da correnti d'aria più sostenute e/o dove l'umidità relativa scende frequentemente sotto il 95%. In alcuni casi i depositi sono in via di erosione, spesso a causa del passaggio degli speleologi.

In rari casi, per lo più legati a situazioni morfologiche particolari, si rinvengono sottili depositi di latte di monte anche a quote medio basse; si tratta in genere di incrostazioni che rivestono specchi di faglia, come alla base dello scivolo iniziale del Bus della Spia.

5. CONCLUSIONI

I depositi di tufo calcareo e latte di monte sono ben testimoniati nelle grotte del Trentino, con maggiore frequenza nel Massiccio di Brenta e in Paganella, nel Trentino occidentale (Borsato 2001a). Quasi tutte le cavità prese in esame si sviluppano all'interno della formazione dei Calcarei Grigi (Tab. 1) e nel complesso risulta che i depositi di latte di monte e di tufo si formano di preferenza in grotte calcaree piuttosto che in quelle dolomitiche. Questo fatto è legato principalmente al minor contenuto in Ca^{2+} , e quindi alla minor saturazione per la calcite, delle acque di percolazione in roccia dolomitica (cfr. Borsato *et al.* 2007b).

Il principale fattore discriminante nella formazione dei due tipi di depositi è il grado di saturazione della calcite ($\text{SI}_{\text{calcite}}$) nell'acqua di precipitazione: il tufo precipita da acque mediamente sovrassature (SI_{calcite} > 0,4), mentre il latte di monte si forma a partire da acque sature o poco sovrassature (0 < SI_{calcite} < 0,2). L'indice di saturazione è legato a temperatura, Ph, e concentrazione

di Ca^{2+} e HCO_3^- dell'acqua, parametri controllati dalla produzione di CO_2 nel suolo e quindi dall'attività biologica che diminuisce all'aumentare della quota (Borsato & Miorandi 2003; Borsato *et al.* 2007b).

Da ciò consegue che, nella maggior parte dei casi, la distribuzione altimetrica e termica delle due tipologie di depositi è chiaramente distinta: il tufo calcareo si forma in grotte ubicate tra i fondovalle e i 1200 m, dove si registrano temperature comprese tra 7,5 e 9,5 °C, mentre il latte di monte è comune in cavità che si aprono tra i 1500 e i 2200 m, caratterizzate da temperature medie annue di 2,5-5,5 °C.

Un altro elemento di distinzione nella formazione dei due depositi è dato dal flusso: per il latte di monte l'alimentazione è molto esigua e varia dal gocciolamento alla diffusione capillare, tanto che la deposizione può avvenire per *condensation corrosion*. Viceversa, per il tufo calcareo il flusso è più conspicuo, con portate generalmente superiori a 0,01 l s⁻¹.

La stessa umidità relativa (UR) delle zone di formazione dei due tipi di depositi può essere elemento discriminante. Infatti, mentre il latte di monte necessita sempre di un'umidità superiore al 90-95%, anche nei casi in cui si forma in presenza di lievi correnti d'aria, il tufo calcareo può formarsi anche con UR inferiore all'85-90% e, di fatto, lo si ritrova frequentemente anche in prossimità degli ingressi delle cavità.

Questi due tipi di concrezioni mostrano comunque delle caratteristiche comuni e non mancano le forme intermedie dove al tufo calcareo si intercalano lamine di latte di monte, come avviene nella colata della Grotta della Lovara.

Infatti, entrambe le tipologie mostrano un alto contenuto in acqua, che per il tufo è compreso tra il 20 e il 50% del peso, mentre per il latte di monte tra il 50 e il 95%. Queste alte percentuali sono favorite dall'elevata porosità della struttura, che è costituita da calcite tenera organizzata in aggregati di filamenti nano e microcristallini.

Inoltre, in entrambi i tipi di concrezione, la materia organica è ampiamente presente all'interno della struttura dei depositi. Il tufo mostra una frazione micritica ricca in materia organica all'interno della frazione scura delle lamine stromatolitiche, mentre per il latte di monte la componente batterica risulta determinante nel promuoverne la precipitazione da acque a bassa saturazione.

Infine, è da rilevare come entrambi i tipi di depositi siano prevalentemente fossili in Trentino, e la loro formazione si sia concentrata soprattutto nell'intervallo di età tra 8000 e 5000 cal. anni BP (Borsato *et al.* 2007a) a testimonianza delle mutate condizioni climatiche verificatesi nel corso dell'Olocene. La datazione e lo studio approfondito di questi depositi possono pertanto darci dettagliate informazioni riguardo le loro condizioni ottimali di formazione, e sulle modificazioni climatiche e ambientali occorse.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è parte della ricerca OLOAMBIENT finanziata dal Servizio Università e Ricerca della Provincia Autonoma di Trento. Si ringraziano Silvia Frisia, coordinatrice della ricerca, per la revisione del testo, e Michele Zandonati per le elaborazioni grafiche.

BIBLIOGRAFIA

- Andrews J.E. & Brasier T., 2005 - Seasonal records of climatic change in annually laminated tufas: short review and future prospects. *J. Quat. Sci.*, 20 (5): 411-421.
- Badino G., 1995 - Fisica del clima sotterraneo. *Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, 7, Serie 2: 137 pp.
- Bini A., Borsato A. & Ischia N., 1991 - Morfologia ed evoluzione della Grotta Cesare Battisti (La Paganella, Trento). Atti IX Convegno Reg. Spel. Trent. A. Adige, Lavis, 1989. *Natura Alpina*, 42 (2-3): 41-77.
- Bombardelli M., 2004 - Esplorazione subacquea del sifone terminale del Bus de la Spia (Sporminore, Val di Non). Atti del XII Convegno Regionale di Speleologia del Trentino – Alto Adige, Selva di Grigno 2002. *Quaderni della Biblioteca della Montagna*, 7: 115-119.
- Borsato A., 1985 - Appunti sul carsismo profondo della parete della Roda (Monte Raganella, Trentino). *Natura Alpina*, 36 (2-3): 5-17.
- Borsato A., 1991 - La Grotta dello Specchio: nuova cavità del complesso carsico dei Lasteri (Gruppo di Brenta, Trentino Occidentale). *Natura Alpina*, 42 (2-3): 7-25.
- Borsato A., 1995a - Ambiente di precipitazione e analisi microstratigrafiche di speleotemi in grotte delle Dolomiti di Brenta e Valsugana (Trento): interpretazioni genetiche e implicazioni paleoclimatiche. Tesi di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi di Milano: 175 pp.
- Borsato A., 1995b - Analisi chimico-fisiche e monitoraggio di acque di percolazione nella Grotta del Calgeron (Valsugana): primi risultati e implicazioni idrogeologiche. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 70 (1993): 80-94.
- Borsato A., 1997 - Late-glacial to Holocene biogenic moon-milk and calcareous tufa from caves in Trentino (NE-Italy): environment of precipitation and paleoclimatic significance. *Il Quaternario*. 9 (2), 1996: 473-480.
- Borsato A., 2001a - Il latte di monte calcitico nelle grotte del Trentino. In: Gruppo Grotte “E. Roner” di Rovereto (a cura di), Atti XI convegno regionale di speleologia del Trentino-Alto Adige: 9-22.
- Borsato A., 2001b - Misure di temperatura in grotte del Trentino. In: Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi (a cura di), Atti del XVIII Congresso Nazionale di Speleologia, Chiusa di Pesio, ottobre, 1998: 151-154.
- Borsato A., 2003 - Meteorologia ipogea in cavità della Paganella (Trentino). Atti XIX Congresso Nazionale di Speleologia, Bologna, 27-31 Agosto 2003. *Sotto Terra*, 115: 157-168.
- Borsato A., 2004 - Monitoraggio idrologico del sistema Bus de la Spia - sorgente Acquasanta (Gruppo di Brenta): pri- mi risultati. Atti XII Convegno Regionale di Speleologia Trentino-Alto Adige, Selva di Grigno, 2002. *Quaderni della Biblioteca della Montagna*, 7: 33-42.
- Borsato A. & Miorandi R., 2003 - Concentrazione di CO₂ e O₂ in cavità del Trentino. Atti XIX Congresso Nazionale di Speleologia, Bologna, 27-31 agosto 2003: 169-176.
- Borsato A., Frisia S., Jones B. & Van der Borg K., 2000 - Calcite moonmilk: crystal morphology and environment of formation in caves in the Italian Alps. *J. Sediment. Res.*, 70 (5): 1179-1190.
- Borsato A., Miorandi R., & Flora O., 2006 - I depositi di ghiaccio ipogei della Grotta dello Specchio e del Castelletto di Mezzo (Dolomiti di Brenta, Trentino): morfologia, età ed evoluzione recente. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 81 (2004): 53-74.
- Borsato A., Frisia S., Miorandi R., van der Borg K., Spötl C. & Corradini F., 2007a - Ricostruzioni climatico-ambientali per l’Olocene da tufo calcareo e latte di monte in grotte del Trentino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 239-259.
- Borsato A., Miorandi R., Corradini F., & Frisia S., 2007b - Idrochimica delle acque ipogee in Trentino: specie, variabilità stagionale, gradiente altitudinale e implicazioni per gli studi climatico-ambientali da speleotemi. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.*, 82 (2005): 123-150.
- Bosich L., 1985 - Prime osservazioni su un nuovo abisso del Monte Baldo settentrionale (Pozzo di Val del Parol 418 V.T.). *Natura Alpina*, 36 (2-3): 19-27.
- Conci C. & Galvagni A., 1956 - La Grotta G.B. Trener n 244 V.T. in Valsugana (o Grotta del Calgeron). *Mem. Mus. Sc. Nat. Ven. Trid.*, 19 (11): 3-23.
- Frisia S., Borsato A., Fairchild I. J. & Mc Dermott F., 2000 - Calcite fabrics, growth mechanisms, and environments of formation in speleothems from the Italian Alps and southwestern Ireland. *J. Sediment. Res.*, 70 (5): 1183-1196.
- Gleria E., 1991 - Fortificazioni medievali in cavità naturali ai confini del territorio trentino. *Natura Alpina*, 42 (2-3): 125-135.
- Gruppo Grotte E. Roner Rovereto (a cura di), 2002 - *L'abisso di Lamar: storia delle esplorazioni*. Edizioni Osiride, Rovereto: 24 pp.
- Gruppo Speleologico SAT Arco, 2002 - *Trent'anni di speleologia ad Arco*. CAI-SAT Sezione di Arco: 53.
- Lacelle D., Lauriol B. & Clark I.D., 2004 - Seasonal isotopic imprint in moonmilk from Caverne de l’Ours (Quebec, Canada): implications for climatic reconstruction. *Can. J. Earth Sci.*, 41: 1411-1423.
- Miorandi R., Borsato A., Frisia S. & Zandonati M., 2007 - Monitoraggio di aria e acqua di percolazione in alcune grotte del Trentino. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol.* 82 (2005): 151-164.
- Terzan P., Betti G., Borsato A. & Gruppo Speleologico SAT Lavis, 2004 - La Grotta della Rocchetta (N° 354 VT) e il Boi del Rico (N° 376 VT). Atti del XII Convegno Regionale di Speleologia del Trentino - Alto Adige, Selva di Grigno 2002. *Quaderni della Biblioteca della Montagna*, 7: 155-164.

