

DATAZIONE DI SPELEOTEMI CARBONATICI NEI GESSI DELL'EMILIA-ROMAGNA: IMPLICAZIONI SPELEOGENETICHE E PALEOCLIMATICHE

ANDREA COLUMBU¹, VERONICA CHIARINI^{2,3}, JO DE WAELE²,
PAOLO FORTI², RUSSELL DRYSDALE²

¹ *Department of Resource Management and Geography, University of Melbourne, VIC, 3010, Australia; e-mail: acolumbu@student.unimelb.edu.au*

² *Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali, Sezione di Geologia (BIGEA), Via Zamboni 67, 40126 Bologna; e-mail: vero.ch88@hotmail.it; jo.dewaele@unibo.it; paolo.forti@unibo.it*

³ *Laboratoire EDYTEM, UMR CNRS 5204, Pôle Montagne, 73376 Le Bourget du Lac cedex, Université de Savoie, France*

Riassunto

In Emilia-Romagna la stragrande maggioranza delle grotte si sviluppa nei gessi, sia triassici che messiniani. Tali rocce evaporitiche, pur rappresentando solo l'1% delle superfici affioranti, ospitano oltre 600 grotte, tra cui la grotta epigenica nei gessi più lunga del mondo (il Sistema Spipola-Acquafredda nei gessi Bolognesi con oltre 11 km di passaggi rilevati) e quella più profonda (il Sistema del Monte Caldina, profondo 265 metri). A causa della rapida dissoluzione del gesso queste grotte sono sempre state considerate di origini relativamente recenti (ultimi 20000 anni o poco più). In presenza di importanti concentrazioni di CO₂, dalle acque saturate in calcio e solfati presenti in queste cavità naturali, precipita calcite portando alla formazione di concrezioni carbonatiche. Tali concrezioni, diffuse in molte grotte emiliano-romagnole, possono essere datate con il metodo dell'U/Th, fornendo delle età minime di formazione dei condotti in cui si sono depositate. Nell'ambito di due tesi di dottorato sono state campionate e datate concrezioni di calcite in una decina di grotte e località esterne della Vena del Gesso e dei Gessi Bolognesi. Tali analisi hanno identificato colate con età fino a 316 mila anni, testimoniando che le grotte esistevano già da allora. Il sistema carsico più antico ancora attivo oggi è quello del Re Tiberio, nella Vena del Gesso, che ha iniziato a formarsi almeno 130 mila anni fa.

Parole chiave: speleotemi, evaporiti, speleogenesi, datazioni U/Th.

Abstract

DATING CARBONATE SPELEOTHEMS IN THE EVAPORATES OF EMILIA-ROMAGNA: SPELEOGENETIC AND PALAEOCLIMATIC IMPLICATIONS - *Most caves in Emilia-Romagna are developed in Triassic and Messinian gypsum outcrops. These evaporite rocks, although representing only around 1% of the surface outcrops, host over 600 caves, among which the longest epigenic cave in the world (the system Spipola-Acquafredda close to Bologna, with over 11 km of surveyed passages) and the deepest one (the Monte Caldina system, 265 metres deep). Because of the fast dissolution of gypsum these caves have always been considered as having formed rather recently (last 20,000 years, or slightly more). In presence of important concentrations of CO₂, from the waters saturated in calcium and sulphates flowing in these caves, calcite is precipitated leading to the formation of carbonatic flowstones. These speleothems, known from many caves of Emilia-Romagna, can be dated by the U/Th method, giving a minimum age of the formation of the passages in which they deposited. In the framework of two PhD theses, calcite flowstones have been sampled and dated in a dozen of caves and surface locations in the Vena del Gesso Romagnola, and in the gypsum areas close to Bologna. These analyses have identified flowstones with ages as old as 316 ka, demonstrating some caves to have existed since then. The oldest still active cave system is Re Tiberio, in the Vena del Gesso, that started forming at least since 130 ka.*

Key words: speleothems, evaporites, speleogenesis, U/Th dating

Introduzione

Il significato paleoambientale del carsismo nei gessi risulta ancora poco esplorato in confronto a quello in contesto carbonatico, probabilmente per la minore diffusione delle rocce evaporitiche a scala globale. In ogni caso, lo studio dei fenomeni speleogenetici nel sistema evaporitico emiliano-romagnolo, sviluppato in più di 60 km di cavità carsiche (Fig. 1), offre l'opportunità di colmare questa lacuna, soprattutto per quanto riguarda

l'intercorrelazione fra evoluzione climatica e dinamiche geologico-geomorfologiche e speleogenetiche.

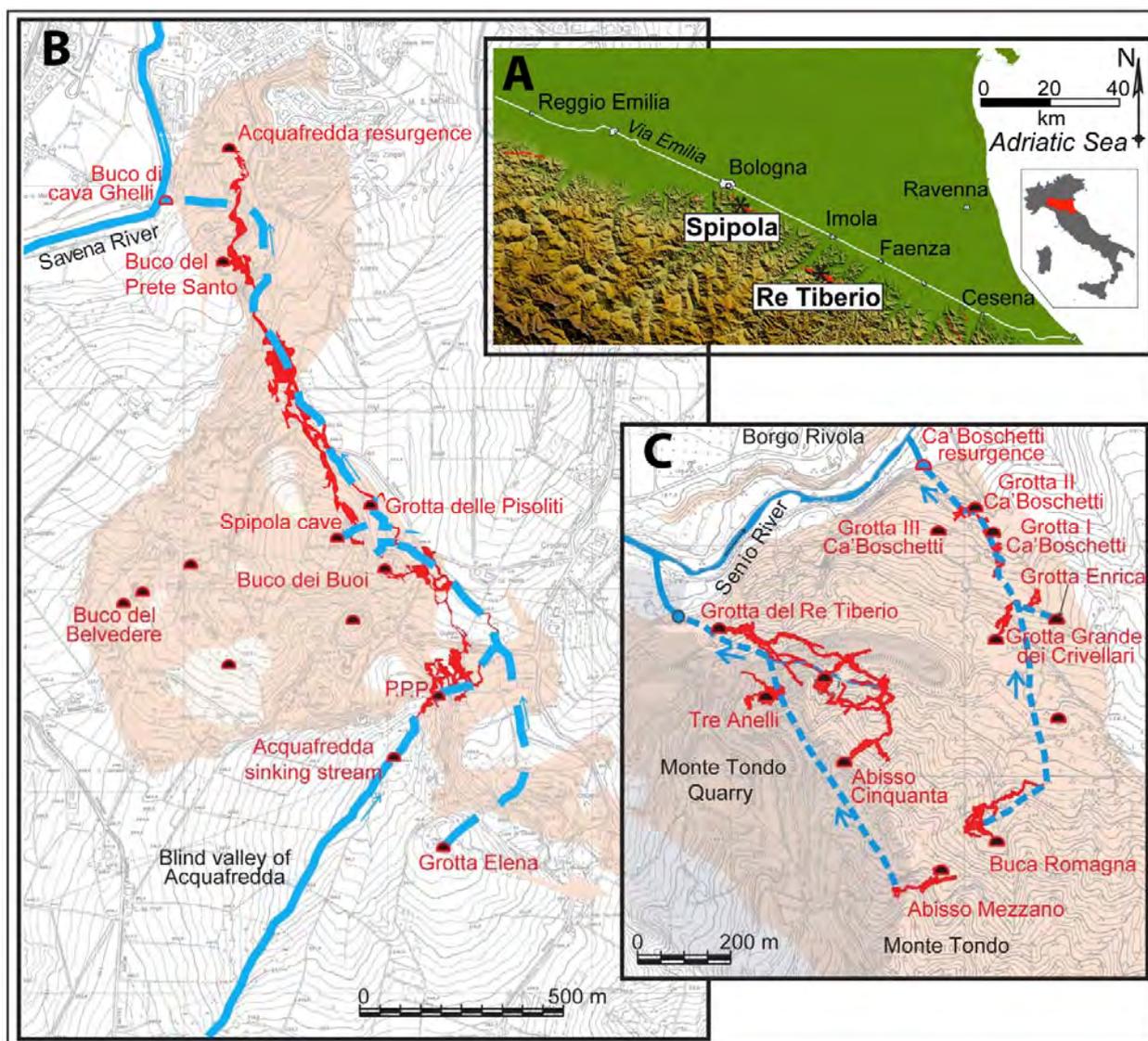


Figura 1. Area di studio. a) Emilia Romagna; b) sistema Spipola-Acquafredda; c) Sistema Monte Tondo. L'ombreggiatura rosa corrisponde all'estensione dei gessi Messiniani.

Figure 1. Study area. a) Emilia Romagna region (Northern Italy); b) Spipola-Acquafredda cave system; c) Monte Tondo cave system. The shading corresponds to the extent of the Messinian evaporite bedrock.

La deposizione di prodotti carbonatici in ambiente gessoso va sostanzialmente attribuita all'effetto dello ione comune (FORTI & RABBI, 1981; FORTI, 1997; CALAFORRA, 1998). L'acqua di infiltrazione meteorica si arricchisce in anidride carbonica percolando attraverso il suolo prima di giungere alla roccia gessosa. La dissoluzione del gesso porta in soluzione $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ e immediatamente si instaurano gli equilibri chimici della calcite che, essendo molto meno solubile del gesso, raggiunge rapidamente la sovrasaturazione e viene depositata sotto forma di concrezioni di carbonato di calcio. È quindi intuibile il ruolo primario della CO_2 in questo processo. La presenza di carbonati permette quindi datazioni altamente precise per gli ultimi 600.000 anni con il metodo U-Th (HELLSTROM, 2003), con la possibilità di ottenere età di diversi milioni di anni con il metodo U-Pb (WOODHEAD et al., 2006).

In questo progetto svariate generazioni di speleotemi carbonatici provenienti da 8 grotte differenti sono stati datati con il metodo U-Th. Due le ragioni principali di queste analisi: i) ottenere informazioni sulla tempistica della speleogenesi nel sistema Emiliano-Romagnolo, tenuto conto che l'età di uno speleotema indica l'età minima della cavità nella quale è stato ritrovato; ii) capire la relazione fra clima del passato e deposizione carbonatica, considerando che questa è guidata dalla presenza della CO_2 nel suolo che, a sua volta, deriva dallo stato climatico al momento della deposizione dei carbonati.

Nonostante siano preliminari, i risultati ottenuti dimostrano le grandi potenzialità scientifiche ottenibili dallo

studio del carsismo in gesso. Per queste ragioni sono già in programma analisi su nuovi campioni per ampliare i dati disponibili e trarre delle conclusioni ancor più rilevanti.

Inquadramento geografico-geologico

Le rocce evaporitiche che contraddistinguono il carsismo dell'Emilia Romagna fanno parte della ben conosciuta formazione Gessoso-Solfifera, ora riportata come formazione della Vena del Gesso (VAI & MARTINI, 2001; ROVERI et al., 2003). Questa affiora estesamente lungo la fascia pedemontana appenninica settentrionale, fungendo da raccordo fra la Catena Appenninica vera e propria e l'Avanfossa Padana.

Il sistema Spipola-Acquafredda si trova immediatamente a sud di Bologna e con oltre 12 km di estensione è considerato il più grande sistema di grotte epigenico al mondo (Fig. 1). Le grotte presentano prevalentemente un assetto sub-orizzontale, dato dall'azione del corso d'acqua che progressivamente ha formato cinque livelli di cavità sovrapposte, derivati dalla variazione nel tempo del livello di base locale. Nel sistema di Monte Tondo, situato in località Borgo Rivola (RA), il complesso del Re Tiberio è quello più noto (DE WAELE et al., 2013) (Fig. 1); 11 km di grotte sono stati mappati in cinque livelli carsici differenti, impostati su 250 metri di differenza in altitudine. Questo sistema è stato intercettato in maniera importante dalle attività estrattive di una cava attiva sul territorio dal 1958.

Materiali e metodi

Nessuno degli speleotemi utilizzati in questo studio è stato rimosso dalla propria posizione originale. Questi, infatti, sono stati ritrovati già dislocati prevalentemente all'interno delle grotte o gallerie di cava, anche se in alcuni casi arrivano dalle aree immediatamente vicine all'ingresso delle cavità. I campioni finora datati provengono dalla grotta del Re Tiberio (RT, RTY e Sala), dall'abisso 50 (A50), dai 3 anelli (3A), dal pozzo Pollini (PP), dalla grotta Oliver (GO), dalla grotta della Spipola (Dolina interna, Sp1), dalla Tanaccia (Ta1), dalla Peroni (P2), dalla Dolina della Spipola (spd1) e da Monte Mauro (MM2). Gli ultimi due campioni sono stati trovati all'esterno, il primo sul Monte Croara negli scarti di una cava non più attiva, il secondo vicino alla cima del Monte Mauro. Gli speleotemi, prevalentemente colate, sono stati dapprima tagliati parallelamente alla direzione di crescita, poi finemente levigati per rendere visibile la laminazione interna e permettere l'identificazione dei campioni più idonei per le datazioni.

Otto generazioni di colate sono state scelte per le analisi U/Th. Circa 150 mg di materiale sono stati rimossi dalla cima e dalla base di ogni speleotema, utilizzando un trapano da dentista che montava una punta da 1 mm di diametro, evitando con accuratezza zone in cui era ovvia la presenza di materiale detritico all'interno degli strati carbonatici. Circa 50 mg di ogni micro campione sono stati poi disciolti in HNO₃, diluito in 1.5M HNO₃ ed equilibrato in una soluzione in cui il rapporto $^{236}\text{U}/^{233}\text{U}/^{229}\text{Th}$ è noto. Uranio e torio sono stati poi estratti tramite un preciso ciclo di lavaggio in resina EICHRUM TRU-spec a scambio ionico di HNO₃, HF e HCl+HF. Il risultante composto, diluito in 1.5M HNO₃, è stato analizzato con lo spettrometro di massa MC-ICPMS Nu-Instruments Plasma operativo nel Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Melbourne (Australia).

Le metodologie di analisi sono quelle di HELLSTROM (2003) leggermente modificate come descritte in DRYSDALE et al. (2012). Il rapporto di attività isotopica di $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ e $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ è stato calcolato dalla misura dei diametri atomici utilizzando una procedura standardizzata di conteggio parallelo di ioni, calibrata con l'equilibrio secolare dello standard HU-1. Per la correzione del torio detritico è stato utilizzato un rapporto di attività iniziale di $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ pari a 1.5 ± 1.5 . Le età corrette sono state calcolate usando la costante di decadimento $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ di CHENG et al. (2013) e l'equazione 1 di HELLSTROM (2006).

Risultati

Il contenuto di uranio medio-elevato e l'assenza generale di materiale detritico hanno reso possibile le analisi per tutti i campioni con un errore relativo poco elevato. Le età risultanti per la base e il top di ogni speleotema sono riportate nella tabella 1.

Il campione RT è stato depositato fra ~130Ka e 123Ka (Ka = 1000 anni), quando condizioni di pieno interglaciale (Eemiano, MIS5e) si erano già instaurate in Europa (DRYSDALE et al., 2005), durante la deposizione del sapropel 5. Il campione 3A è correlato all'interstadio 24 e all'evento precursore del sapropel 4, essendo cresciuto attorno ai 109Ka. Lo speleotema A50 crebbe fra ~78Ka e ~74Ka, in corrispondenza dell'interstadiale 20 e del MIS5a, mentre la colata PP abbraccia sia l'interstadiale 20 che 21 (MIS5b-5a) (~83Ka e ~75Ka); entrambi i campioni PP e A50 sono correlati al sapropel 3. La deposizione delle colate Ta, P, Sp, GO, RTY e Sala è avvenuta durante l'Olocene (MIS 1), durante e immediatamente dopo il sapropel 1. Il pezzo di colata del Monte Mauro (MM) risulta essere il più antico finora rinvenuto in Emilia Romagna. E' cresciuto in

due fasi diverse, la prima più antica oltre 300Ka fa (MIS9), la seconda intorno a 240 Ka fa (MIS7). Diverso il discorso per il campione Spd1, per la quale la base è risultata ~243Ka (MIS7), mentre la parte superiore è olocenica.

Grotta	Campione	Quota (m s.l.m.)	Età media (Ka)	MIS	I.G.	Sapropel
Re Tiberio	RT-A1	340	130.910	5e	/	5
	RT-D		123.941	5e	/	5
	RTY-1	200	0.515	1	/	1
	RTY-3		0.111	1	/	1
	Sala		170	0.840	1	/
Abisso 50	A50-b	275	78.820	5a	20	3
	A50-3		74.686	5a	20	3
3 Anelli	3A-b	215	128.277	5d	24	4
	3A		108.860	5d	24	4
Pozzo Pollini	PP	190	83.141	5b-5a	21-20	3
	PP-2		75.205	5b-5a	21-20	3
Grotta Oliver	GO-1	130	7.098	1	/	1
	GO-2		6.963	1	/	1
Tanaccia	Ta-1	200	1,023	1	/	1
Peroni	P-2	170	7.891	1	/	1
			4.077	1	/	1
Monte Mauro	MM-2	380	316.166	9	/	/
			239.984	7	/	/
Spipola grotta	Sp-1	120	0.628	1	/	1
			0.233	1	/	1
Spipola dolina	Spd1-b	175	243.533	7	/	/
	Spd1-t		1.026	1	/	1

Tabella 1. Risultato delle analisi U-Th e correlazione con gli eventi climatici degli ultimi 300.000 anni. L'età è espressa in migliaia di anni (Ka). MIS = stadio isotopico marino, I.G. = interstadi della Groenlandia.

Table 1. U-Th analysis results and correlation with climate events over the last 300,000 years. Ages are given in thousands of years (Ka). MIS = marine isotopic stages, I.G. = Greenland interstadials.

Discussione

La prima importante conclusione di questo studio è aver stabilito che alcune grotte dell'area della Vena del Gesso Romagnola esistevano già prima di 315Ka (campione preso sul Monte Mauro), mentre anche sui Colli Bolognesi vi erano grotte da almeno 240Ka (la colata trovata nella Dolina della Spipola e proveniente dalle quote alte del Monte Croara). Di queste grotte antiche resta ben poco, probabilmente soltanto frammenti delle concrezioni carbonatiche che le decoravano. L'effettiva formazione delle cavità potrebbe essere anche più antica, in quanto l'età degli speleotemi corrisponde all'età minima delle grotte. Questo rivaluta le teorie che ritenevano questi apparati carsici nettamente più recenti (~20Ka). La più antica grotta ancora oggi attiva è quella del Re Tiberio, che continua ad evolversi da almeno 130Ka.

Valutando in dettaglio l'età degli speleotemi analizzati è evidente come queste coincidano con periodi relativamente caldi e umidi degli ultimi 320Ka (Tabella 1, Fig. 2), permettendo una stretta relazione con gli

stadi isotopici marini caldi (MIS 1, 5e, 7, e 9), interstadiali della Groenlandia ed eventi sapropelitici. La domanda che ne deriva quindi è se il carsismo nei gessi dell'Italia centrale, e più in generale quello Mediterraneo, rispecchi direttamente le oscillazioni climatiche millenarie e intra-millenarie tardo Quaternarie. In questo caso di studio la sensibilità climatica è dimostrata dalla sistematica assenza di depositi carbonatici durante periodi relativamente freddi, in un'area in cui coperture glaciali erano assenti perfino al picco massimo dell'ultima glaciazione. Anche pulsazioni climatiche fredde molto brevi ostacolarono la formazione degli speleotemi fra un interstadiale e l'altro. Così, la formazione di questi speleotemi sembra regolata da una forte soglia climatica che innesci la deposizione carbonatica unicamente durante periodi caldi e umidi. Verosimilmente questo processo è guidato dalla variazione secolare della copertura vegetativa superficiale, che a sua volta regola l'immissione di CO₂ nel suolo che rende possibile la deposizione dei carbonati in ambiente gessoso. Inoltre, la variazione del ciclo delle piogge (intensità annuale e distribuzione stagionale) potrebbe avere ugualmente un ruolo chiave in questo processo considerando che gran parte degli speleotemi crebbe contemporaneamente alla deposizione degli strati sapropelitici Mediterranei, solitamente correlati a periodi di elevata piovosità in questa regione.

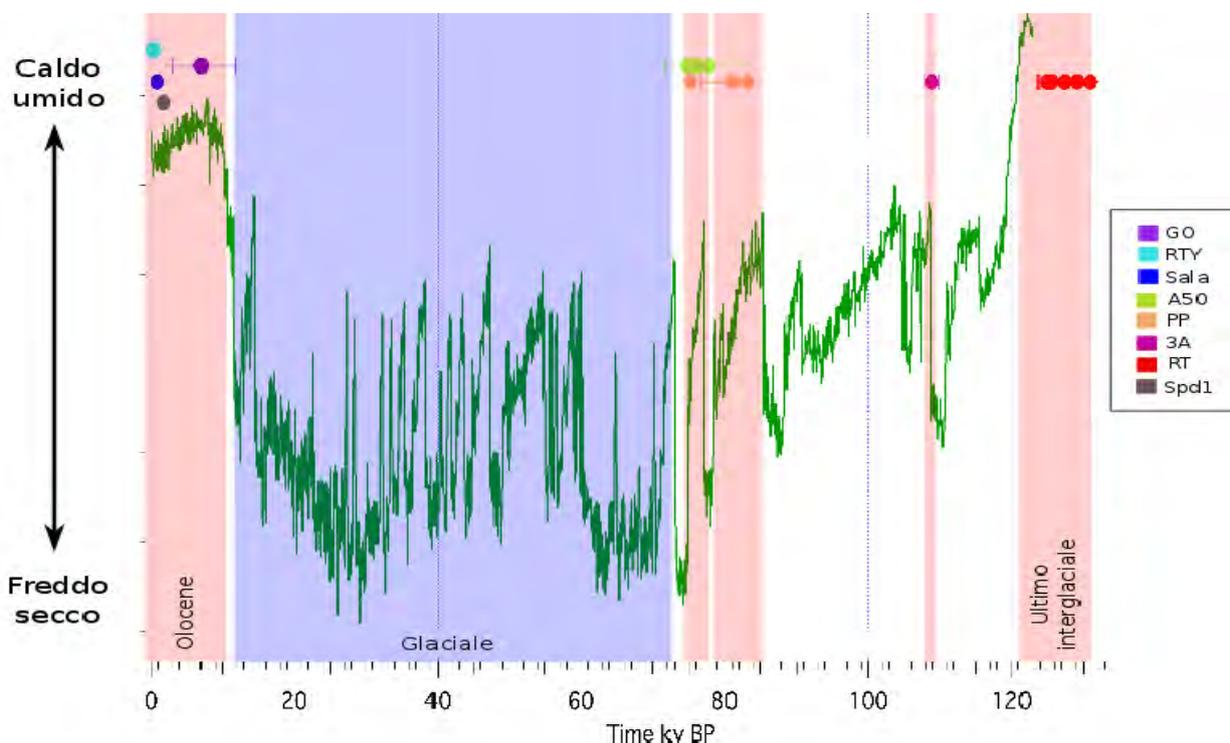


Figura 2. Età degli speleotemi e pulsazioni climatiche tardo pleistoceniche. L'ombreggiatura chiara indica la correlazione fra gli speleotemi e i periodi caldo-umidi, mentre l'ombreggiatura blu corrisponde all'ultima età glaciale che marca la sospensione della deposizione carbonatica.

Figure 2. Age of speleothems vs late Pleistocene climatic oscillations. The pink boxes correlate the speleothems with the warm-wet period, while the blue box corresponds to the last ice age that marked the termination of carbonate deposition.

Conclusioni

Queste osservazioni, ancora preliminari, sottolineano una stretta connessione fra oscillazioni climatiche millenarie e la produzione di speleotemi carbonatici nel contesto carsico evaporitico emiliano-romagnolo. Nonostante una trattazione più approfondita sia ostacolata dal corrente esiguo set di dati, esplorazioni recenti di altre grotte in questi sistemi hanno permesso di collezionare altri campioni che attendono di essere datati. Questi potrebbero portare alla luce cicli carsici ancora più antichi. L'approfondimento più logico di questa ricerca consisterà nell'analisi di ulteriori campioni provenienti da altri sistemi gessosi mediterranei (per esempio Sorbas in Spagna o le grotte negli estesi affioramenti gessosi della Sicilia e della Calabria), per determinare se queste dinamiche hanno un'impronta a scala regionale piuttosto che locale. La validazione di questo modello può dare l'opportunità di ancorare le pulsazioni climatiche mediterranee alla cronologia climatica globale, dando una nuova enfasi allo studio del carsismo nei gessi.

Ringraziamenti

Questa ricerca è stata effettuata nell'ambito di due tesi di dottorato, ancora in corso (AC e VC). Il campionamento dei frammenti di colata è stato fatto con la collaborazione di tanti speleologi dei gruppi della Federazione Speleologica della Regione Emilia Romagna (FSRER), in particolare del GAM Mezzano, del GSB/USB di Bologna, e del GSFa di Faenza. Un particolare ringraziamento a GARIBALDI (BALDO) SANSAVINI, MASSIMO ERCOLANI e PIERO LUCCI per i campionamenti nel Sistema del Re Tiberio, LUCA GRILLANDI, ROBERTO EVILIO, KATIA POLETTI, ALESSANDRO PIRAZZINI, ALAN NARDI, LUCA TAROZZI, MICHELE CASTROVILLI, ROBERTO CORTELLI, FRANCESCO GRAZIOLI, FABIO GIANUZZI ed ILENIA MARIA D'ANGELI. Questo progetto ha goduto di un finanziamento della FSRER e del GSFa.

Bibliografia

- CALAFORRA J.M., 1998. *Karstologia de yesos*. University de Almeria, Spain.
- CHENG H., EDWARDS R.L., SHEN C.-C., POLYAK V. J., ASMEROM Y., WOODHEAD J., HELLSTROM J., WANG Y., KONG X., SPÖTL C., WANG X., CALVIN ALEXANDER E., 2013. *Improvements in ^{230}Th dating, ^{230}Th and ^{234}U half-life values, and U-Th isotopic measurements by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry*. Earth and Planetary Science Letters, **371-372**, 82-91.
- DE WAELE J., FABBRI F., FORTI P., LUCCI P., MARABINI S., 2013. *Evoluzione speleogenetica del sistema carsico del re Tiberio (Vena del gesso Romagnola): I gessi e la cava di Monte Tondo*. In: ERCOLANI M., LUCCI P., PIASTRA S., SANSAVINI B. (Eds.), *I Gessi e la Cave i Monte Tondo. Studio multidisciplinare di un'area carsica nella Vena del Gesso Romagnola*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **II (26)**, pp. 81-101.
- DRYSDALE, R. N., PAUL B. T., HELLSTROM J. C., COUCHOUD I., GREIG A., BAJO P., ZANCHETTA G., ISOLA I., SPÖTL C., BANESCHI I., REGATTIERI E., WOODHEAD J. D., 2012. *Precise microsampling of poorly laminated speleothems for U-series dating*. Quaternary Geochronology, **14**, 38-47.
- DRYSDALE R. N., ZANCHETTA G., HELLSTROM J., FALICK A. E., ZHAO J., 2005. *Stalagmite evidence for the onset of the Last Interglacial in southern Europe at 129 ± 1 ka*. Geophysical Research Letters, **32**, 1-4.
- FORTI P., 1997. *Speleothems in gypsum caves*. International Journal of Speleology, **25**, 91-104.
- FORTI P., RABBI E., 1981. *The role of CO_2 in gypsum speleogenesis: 1st contribution*. International Journal of Speleology, **11**, 207-218.
- HELLSTROM J., 2003. *Rapid and accurate U/Th dating using parallel ion-counting multi-collector ICP-MS*. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, **18**, 135-136.
- HELLSTROM J., 2006. *U-Th dating of speleothems with high initial ^{230}Th using stratigraphical constraint*. Quaternary Geochronology, **1** (4), 289-295.
- ROVERI M., MANZI V., RICCI-LUCCHI F., ROGLEDI S., 2003. *Sedimentary and tectonic evolution of the Vena del Gesso basin (Northern Apennines, Italy): implications for the onset of the Messinian salinity crisis*. GSA Bulletin, **115** (4), 387-405.
- VAI G. B., MARTINI I. P., 2001. *Anatomy of an orogen: The Apennines and adjacent Mediterranean*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- WOODHEAD, J., HELLSTROM, J., MAAS, R., DRYSDALE, R., ZANCHETTA, G., DEVINE, P. AND TAYLOR, E., 2006. *U-Pb geochronology of speleothems by MC-ICPMS*: Quaternary Geochronology, **1** (3), 208-221.