

Quanto sono vecchie le grotte in Emilia-Romagna?

Andrea Columbu¹, Veronica Chiarini², Jo De Waele¹

Fare lo speleologo in Emilia Romagna vuol dire avere a che fare, giocoforza, con le grotte sviluppate nei gessi. Soprattutto i gessi del Messiniano, che affiorano lungo la fascia pedemontana appenninica settentrionale, fungendo da raccordo fra la catena appenninica vera e propria e l'avanfossa padana. Queste rocce evaporitiche fanno parte della ben conosciuta Formazione Gessoso-Solfifera, ora conosciuta come formazione della Vena del Gesso (VAI & MARTINI, 2001; ROVERI ET AL., 2003). Esistono poi anche gessi più antichi, del Trias, in cui si sono sviluppati sistemi carsici di notevole interesse. Questi

gessi, più bianchi e microcristallini, affiorano estesamente nell'Alta Val di Secchia (LUGLI, 2001).

Ma le grotte più estese, e più studiate, si trovano soprattutto nei gessi macrocristallini Messiniani, nel Bolognese e nella Vena del Gesso, dove molti gruppi speleologici lavorano da vari decenni. Il più esteso è il sistema Spipola-Acquafredda che si trova immediatamente a sud di Bologna e con oltre 12 km di estensione è tra i più grandi sistemi di grotte epigeniche in rocce evaporitiche al mondo (DEMARIA, 2003). In generale, le grotte nei gessi Messiniani presentano



Ubicazione delle grotte in cui sono state campionate le concrezioni datate: 1. Grotta e Dolina della Spipola; 2. Buco dei Buoi; 3 Sistema carsico del Re Tiberio; 4. Sistema carsico del Rio Stella-Rio Basino; 5. Monte Mauro; 6. Abisso Mornig; 7. Grotta Peroni; 8. Parco del Carné; 9. La Tanaccia.

¹School of Geography, University of Melbourne

²Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali, Sezione di Geologia (BIGEA), Bologna

prevalentemente un assetto suborizzontale, dato dall'azione del corso d'acqua che progressivamente ha formato diversi 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 studiato (DE WAELE ET AL., 2013; COLUMBU ET AL., 2015); 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 dalle attività estrattive di una cava attiva sul territorio dal 1958.



Fino a poco tempo fa si pensava che la maggior parte di queste grotte si fosse formata nell'arco delle ultime decine di migliaia di anni. Il carsismo in questi gessi, infatti, può iniziare a svilupparsi soltanto nel momento in cui i gessi vengono a trovarsi a contatto con gli agenti meteorici. Quindi, in parole povere quando queste rocce sono emerse dal mare e sono state liberate dai sedimenti che li ricoprivano. Conoscendo l'età delle Sabbie di Imola (almeno 700.000 anni) (CYR & GRANGER, 2008), che segnano l'ultima fase di sedimentazione marina nell'area, può soltanto essere successivo, ed è sempre stato considerato un fenomeno recente (tenendo conto del tempo necessario per l'erosione dei sedimenti che coprivano le evaporiti). Molti autori infatti sostenevano che il ciclo carsico ancora attivo sarebbe iniziato poco più di 100.000 anni fa (DEMARIA, 1999; FORTI, 2003; PASINI, 2012). Le poche datazioni fatte su frammenti di carbone e su colate calcitiche (FORTI & CHIESI, 2001; FORTI, 2003) e i ritrovamenti archeologici (BARDELLA & BUSI, 1972; MIARI, 2007; NEGRINI, 2007) e paleontologici (PASINI, 1967) sembravano tutti avallare l'ipotesi di un carsismo piuttosto recente. La concrezione più antica, data col metodo dell'uranio-torio, era di soli 18.000 anni fa (gessi di Borzano, FORTI & CHIESI, 2001).

In realtà l'età del carsismo nei gessi dell'Emilia Romagna risultava essere un argomento ancora poco esplorato. Lo studio dei fenomeni speleogenetici nei gessi emiliano-romagnoli, sviluppato in più di 60 km di cavità carsiche, attraverso la datazioni degli speleotemi carbonatici, offre l'opportunità di colmare questa lacuna. Questo studio, cofinanziato anche dalla Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia Romagna e dal Gruppo Speleologico Faentino, si inserisce nell'ambito di due tesi di dottorato, una in svolgimento all'Università di Melbourne e l'altra alle Università di Bologna e di Savoie-Mont Blanc. Gli studi, più in generale,

La colata dell'Abisso 50: i segni bianchi indicano le porzioni dello speleotema che sono stati datati.

Abisso Mornig - Pozzo Farolfi - Vena del Gesso: Grande colata nel pozzo principale dell'Abisso Mornig.



hanno lo scopo di comprendere l'intercorrelazione fra evoluzione climatica e dinamiche geologico-geomorfologiche e speleogenetiche: questa sarebbe un'altra storia.

Lo studio speleogenetico si basa sulle datazioni U/Th di concrezioni carbonatiche che si sono formate in grotte nei gessi. Come mai si trovano stalagmiti e colate calcitiche nei gessi? La deposizione di speleotemi carbonatici in ambiente gessoso va sostanzialmente attribuita all'effetto dello ione comune (FORTI & RABBI, 1981; FORTI, 1997; CALAFORRA, 1998). L'acqua d'infiltrazione meteorica si arricchisce di anidride carbo-

nica (CO_2) percolando attraverso il suolo prima di giungere al substrato gessoso. La dissoluzione del gesso porta in soluzione $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ e immediatamente s'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 concrezioni di calcite permette 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



Torrente con colata attiva nel Rio Basino.

metodo U-Pb (WOODHEAD ET AL., 2006).

Negli ultimi 3 anni svariate generazioni di speleotemi carbonatici provenienti da 8 grotte differenti sono state datate con il metodo U-Th.

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. In alcuni casi inoltre, il campionamento è stato effettuato mediante carotaggio con successivo riempimento della cavità creata, in modo da arrecare il minor danno possibile alla concrezione in situ. 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 Spi-pola (Dolina interna, Sp1), dalla Tanaccia (Ta1), dal Peroni (P2), dal Mornig (Mor2), dal Rio Basino (RB1, RB3, RBT), dalla Dolina della Spi-pola (spd1) e da Monte Mauro (MM2 e MM4) e dal Parco Carné (C1). Gli ultimi tre 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 e il terzo

in una dolina nei pressi del Rifugio Carné. 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 HNO_3 , diluito in 1.5M HNO_3 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 EICHRON TRU-spec a scambio ionico di HNO_3 , HCl e $\text{HCl}+\text{HF}$. Il risultante composto, diluito in 1.5M HNO_3 , 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). Il contenuto di uranio medio-elevato, nel caso di assenza di materiale detritico, ha reso possibile le analisi per tutti i campioni con un errore relativo poco elevato. Il campione RT è stato depositato fra ~130000 e 123000, quando condizioni di pieno interglaciale (caldo-umido; Eemiano, MIS5e) si erano già instaurate in Europa

(DRYSDALE ET AL., 2005). Corrisponde anche ad un periodo in cui nel Mediterraneo si depositavano sedimenti ricchi in sostanza organica (il cosiddetto sapropel 5), che indicherebbero un maggiore apporto organico derivante dai fiumi (quindi maggiori precipitazioni e probabilmente temperature più miti), e anossia dei fondali marini. Il campione 3A è correlato al periodo caldo-umido dell'interstadio 24 e all'evento precursore del sapropel 4, essendo cresciuto attorno ai 109000, così come l'inizio della crescita del campione C1 (106000), che finisce nell'interstadiale 20 (77000). Lo speleotema A50 è cresciuto fra ~78000 e ~74000, sempre in un clima caldo e umido, in corrispondenza dell'interstadiale 20 e del MIS5a, mentre la colata PP abbraccia sia l'interstadiale 20 che 21 (MIS5b-5a) (~83000 e ~75000); entrambi i campioni PP e A50 sono correlati

Gessi Bolognesi: le concrezioni calcitiche nel Buco dei Buoi





Concrezione 1 M. Mauro quota 470 nel bosco. La colata, tra le più antiche rinvenute nei gessi dell'Emilia-Romagna, proveniente da quota 470 sul Monte Mauro.

al sapropel 3. La deposizione delle colate Ta, P, Sp, GO, Mor2, RTY, RB1, RB3, RBT e Sala è avvenuta durante l'Olocene (MIS 1), immediatamente dopo la deposizione del Sapropel 1. I due pezzi di colata di Monte Mauro (MM2 e 4) risultano essere i più antichi finora rinvenuti in Emilia Romagna. Sono cresciuti negli ultimi tre interglaciali, tra almeno 400000 (MIS11) e 235000 anni fa (MIS7). Appartiene al penultimo interglaciale (MIS7) anche il campione Spd1 (~243000 anni) prelevato dall'area della Spipola.

La prima importante conclusione di questo studio è aver stabilito che alcune grotte dell'area della Vena del Gesso Romagnola esistevano già prima di 400000 (campione MM4 preso sul Monte Mauro), mentre sui Colli Bolognesi vi erano grotte da almeno 240000 (la colata trovata nella Dolina della Spipola e proveniente dalle quote alte del Monte Croara). Di queste grotte antiche re-

sta 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 (~20000). La più antica grotta ancora oggi attiva è quella del Re Tiberio, che continua ad evolversi da almeno 130000.

Valutando in dettaglio l'età degli speleotemi analizzati è evidente come queste coincidano con periodi relativamente caldi e umidi degli ultimi 400000, permettendo una stretta relazione con gli stadi isotopici marini caldi (MIS 1, 5e, 7, 9 e 11), interstadiali della Groenlandia ed eventi sapropelici. 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. La formazione di questi speleotemi sembra quindi essere regolata da una forte soglia climatica che innesca 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 CO_2 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 crebbero contemporaneamente alla deposizione degli strati sapropelitici Mediterranei, solitamente correlati a perio-

di di elevata piovosità in questa regione.

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.

Grotta della Spipola – Gessi bolognesi: colata attiva nella dolina interna della Grotta della Spipola.





Mornig 3: Colata attiva sul fondo dell'Abisso Mornig.

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 Giannuzzi ed Ilenia Maria D'Angeli. Questo progetto ha goduto di un finanziamento della FSRER, del GSFa e dello Speleo GAM.

Le datazioni sono state effettuate al Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Melbourne (Australia), sotto la supervisione di John Hellstrom e Russell Drysdale.

Bibliografia

BARDELLA G., BUSI C., 1972. *Testimonianze della Civiltà Subappenninica nella Grotta Serafino Calindri - Croara - Bologna*. Spe-

leologia Emiliana, 7, 25-36.

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.

COLUMBU A., DE WAELE J., FORTI P., MONTAGNA P., PICOTTI V., PONS-BRANCHU E., HELLSTROM J., BAJO P., DRYSDALE R., 2015. *Gypsum caves as indicators of climate-driven river incision and aggradation in a rapidly uplifting region*. Geology, **43**(6), 539-542.

CYR A.J., GRANGER D.E., 2008. *Dynamic equilibrium among erosion, river incision, and coastal uplift in the northern and central Apennines, Italy*. Geology, **36**(2), 103-106.

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: M. Ercolani, P. Lucci, S.

Piastra, B. Sansavini (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.

DEMARIA, D., 1999. *Sviluppo dei fenomeni carsici nei Gessi Bolognesi*. In: N. Antonioli & M. Cazzola (Eds.), *Gessi Bolognesi e Calanchi dell'Abbadessa*. Editrice Compositori, Bologna: 86-91.

DEMARIA D., 2003. *Emilia Romagna*. In: G.Madonia & P. Forti (Eds.), *Le aree carsiche gessose d'Italia*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **II(14)**, 159-184.

DRYSDALE, R. N., PAUL B. T., HELLSTROM J. C., COUCHOU D. 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., 2003. *I sistemi carsici*. In: A. Biancotti & M. Motta (Eds.), *Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali*. Briganti, Genova: 246-251.

FORTI P., CHIESI M., 2001. *Idrogeologia, idrodinamica e meteorologia ipogea dei Gessi di Albinea, con particolare riguardo al Sistema carsico afferente alla Tana della Musina di Borzano (ER-RE 2) (Albinea-Reggio Emilia)*. In: M. Chiesi (Ed.), *L'area carsica di Borzano (Albinea - Reggio Emilia)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **II(11)**, pp. 115-139.

FORTI P., RABBI E., 1981. *The role of CO₂ 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*

Campionamento di una colata nella Grotta Tanaccia con il carotatore .



- 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.
- LUGLI S., 2001. *Timing of post-depositional events in the Burano Formation of the Secchia Valley (Upper Triassic, northern Apennines), clues from gypsum-anhydrite transitions and carbonate metasomatism*. *Sedimentary Geology*, **140**(1-2), 107-122.
- MIARI M., 2007. *L'Eneolitico*. In Guarnieri C. (Ed.), *Archeologia nell'Appennino romagnolo: il territorio di Riolo Terme*. Imola: 30-33.
- NEGRINI C., 2007. *Re Tiberio*. In: Guarnieri C. (Ed.) *Archeologia nell'Appennino romagnolo: il territorio di Riolo Terme*. Imola: 51-52.
- PASINI G., 1969. *Fauna a Mammiferi del Pleistocene superiore in un paleoinghiottitoio carsico presso Monte Croara (Bologna)*. *Le Grotte d'Italia*, **4**(2), 1-46.
- PASINI G., 2012. *Speleogenesis of the "Buco dei Vinchi" inactive swallow hole (Monte Croara karst sub-area, Bologna, Italy), an outstanding example of antigraavitative erosion (or "paragenesis") in selenitic gypsum. An outline of the "post-antigravitative erosion"*. *Acta Carsologica*, **41**(1), 15-34.
- 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*, v. 1, no. 3, p. 208-221
- della Civiltà Subappenninica nella Grotta Serafino Calindri - Croara - Bologna*. *Speleologia Emiliana*, **7**, 25-36.
- 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.
- COLUMBU A., DE WAELE J., FORTI P., MONTAGNA P., PICOTTI V., PONS-BRANCHU E., HELLSTROM J., BAJO P., DRYSDALE R., 2015. *Gypsum caves as indicators of climate-driven river incision and aggradation in a rapidly uplifting region*. *Geology*, **43**(6), 539-542.
- CYR A.J., GRANGER D.E., 2008. *Dynamic equilibrium among erosion, river incision, and coastal uplift in the northern and central Apennines, Italy*. *Geology*, **36**(2), 103-106.
- 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: M. Ercolani, P. Lucci, S. Piastra, B. Sansavini (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.
- DEMARIA, D., 1999. *Sviluppo dei fenomeni carsici nei Gessi Bolognesi*. In: N. Antonioli & M. Cazzola (Eds.), *Gessi Bolognesi e Calanchi dell'Abbadessa*. Editrice Compositori, Bologna: 86-91.
- DEMARIA D., 2003. *Emilia Romagna*. In: G.Madonia & P. Forti (Eds.), *Le aree carsiche gessose d'Italia*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **II**(14), 159-184.
- 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.,

FALLICK 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., 2003. *I sistemi carsici*. In: A. Biancotti & M. Motta (Eds.), *Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali*. Briganti, Genova: 246-251.

FORTI P., CHIESI M., 2001. *Idrogeologia, idrodinamica e meteorologia ipogea dei Gessi di Albinea, con particolare riguardo al Sistema carsico afferente alla Tana della Musina di Borzano (ER-RE 2) (Albinea-Reggio Emilia)*. In: M. Chiesi (Ed.), *L'area carsica di Borzano (Albinea – Reggio Emilia)*. Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, **II(11)**, pp. 115-139.

FORTI P., RABBI E., 1981. *The role of CO₂ 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 230Th using stratigraphical constraint*. *Quaternary Geochronology*, **1(4)**, 289-295.

LUGLI S., 2001. *Timing of post-depositional events in the Burano Formation of the Secchia Valley (Upper Triassic, northern Apennines), clues from gypsum-anhydrite transitions and carbonate metasomatism*. *Sedimentary Geology*, **140(1-2)**, 107-122.

MIARI M., 2007. *L'Eneolitico*. In: Guarnieri C. (Ed.), *Archeologia nell'Appennino romagnolo: il territorio di Riolo Terme*. Imola: 30-33.

NEGRINI C., 2007. *Re Tiberio*. In: Guarnieri C. (Ed.) *Archeologia nell'Appennino romagnolo: il territorio di Riolo Terme*. Imola: 51-52.

PASINI G., 1969. *Fauna a Mammiferi del Pleistocene superiore in un paleoinghiottitoio carsico presso Monte Croara (Bologna)*.

Le Grotte d'Italia, **4(2)**, 1-46.

PASINI G., 2012. *Speleogenesis of the "Buco dei Vinchi" inactive swallow hole (Monte Croara karst sub-area, Bologna, Italy), an outstanding example of antigraavitative erosion (or "paragenesis") in selenitic gypsum. An outline of the "post-antigraavitative erosion"*. *Acta Carsologica*, **41(1)**, 15-34.

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, v. 1, no. 3, 208-221*.

Grande colata calcitca nella Grotta del Re Tiberio.

