

# Speleogenesi ipogenica profonda nei carbonati silicizzati del nord-est del Brasile

Luca **Pisani** <sup>(a)</sup>, Marco **Antonellini** <sup>(a)</sup>, Francisco Hilario R. **Bezerra** <sup>(b)</sup>, Gabriella **Koltai** <sup>(c)</sup>, Cristina **Carbone** <sup>(d)</sup>, Augusto S. **Auler** <sup>(e)</sup>, Philippe **Audra** <sup>(f)</sup>, Vincenzo La **Bruna** <sup>(b)</sup>, Giovanni **Bertotti** <sup>(g)</sup>, Fabrizio **Balsamo** <sup>(h)</sup>, Cayo C. **Pontes** <sup>(b)</sup>, Jo **De Waele** <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Department of Biological, Geological and Environmental Sciences, University of Bologna, Italy. lucapiso94@gmail.com, m.antonellini@unibo.it, jo.dewaele@unibo.it  
<sup>(b)</sup> Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Federal University of Rio Grande Do Norte, Brazil. hilario.bezerra@ufrn.br; vincenzolabruna@gmail.com; cayopontes@gmail.com  
<sup>(c)</sup> Institute of Geology and Paleontology, University of Innsbruck, Austria. Gabriella.Koltai@uibk.ac.at  
<sup>(d)</sup> DISTAV, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università di Genova, Corso Europa 26, Genova, Italy. carbone@dipteri.unige.it  
<sup>(e)</sup> Instituto Do Carste, Ciência e Meio Ambiente, Belo Horizonte, Brazil. aauler@gmail.com  
<sup>(f)</sup> Polytech'Lab UPR 7498, University Cote d'Azur, Nice, France. Philippe.AUDRA@univ-cotedazur.fr  
<sup>(g)</sup> Department geoscience engineering, Technical University of Delft, Netherlands. G.Bertotti@tudelft.nl  
<sup>(h)</sup> Department of Chemistry, Life Sciences and Environmental Sustainability, University of Parma, Italy. fabrizio.balsamo@unipr.it

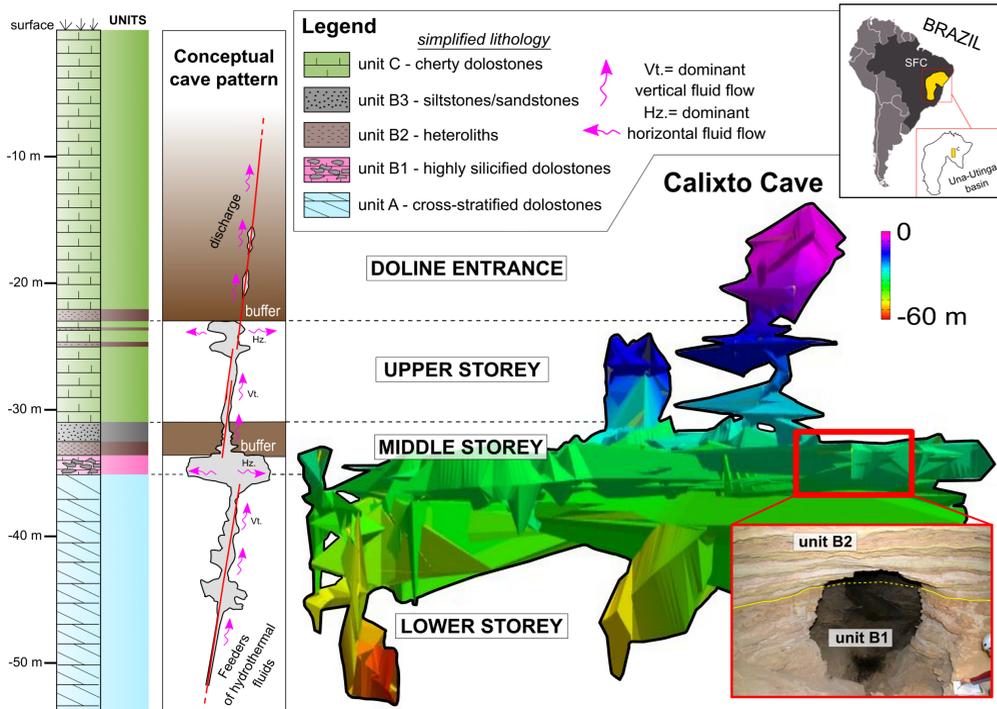


Figura 1. Stratigrafia schematica e modello 3D della Grotta Calixto (Brasile). Sono inoltre schematizzate le principali direzioni di flusso e l'organizzazione spaziale/funzionale del sistema carsico ipogenico (multistorey pattern).

## Metodi e risultati

Lo studio dettagliato della petrografia, della mineralogia e della porosità-permeabilità nella sequenza stratigrafica ha permesso di individuare distinti schemi di flusso (verticale vs. orizzontale) risultanti in un pattern di tipo *multistorey* (Fig.1). L'analisi della morfostruttura della grotta, delle tessiture dei depositi silicei (Fig.3) e delle temperature di omogeneizzazione delle inclusioni fluide nei riempimenti di quarzo (Th, Fig.3), ha permesso di ipotizzare un'origine idrotermale profonda per i fluidi coinvolti nelle principali fasi carsiche. Il livello inferiore della grotta (*lower storey*) ospita i condotti di alimentazione dei fluidi idrotermali (*feeders*), canalizzati lungo zone di fratturazione a giacitura sub-verticale. Il livello orizzontale intermedio (*middle storey*) racchiude il 70-80% del volume della cavità, ed è localizzato negli strati di dolomie silicizzate e intensamente fratturate al di sotto di un intervallo a bassa permeabilità (*buffer*). Questo network di condotti è infine collegato alla superficie tramite una dolina di crollo.

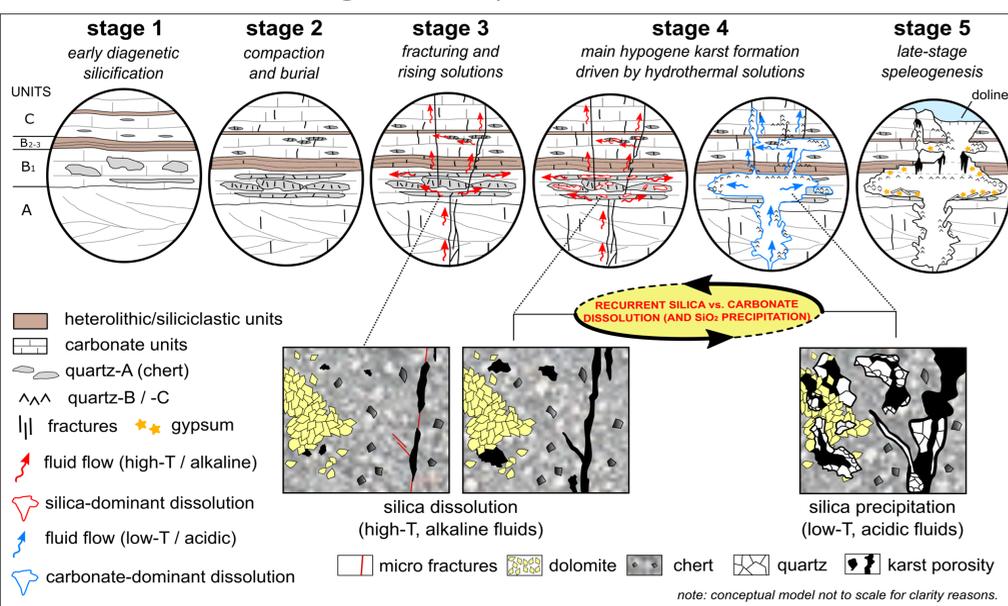


Figura 5. Modello concettuale dell'evoluzione spaziale e temporale della speleogenesi nella Grotta Calixto. La fase speleogenetica principale (stage 4) è caratterizzata da una ricorrenza di dissoluzione della silice (elevate T e pH) e precipitazione di silice (raffreddamento o aumento acidità dell'acqua). Le condizioni favorevoli alla precipitazione di calcedonio e quarzo rappresentano anche fasi di dissoluzione del carbonato.

## Carbonati silicizzati e carsismo

Questo studio si è focalizzato sulla Grotta Calixto, nel bacino di Una-Utinga (nord-est del Brasile), dove un vasto network di condotti è intimamente connesso ad orizzonti stratigrafici silicizzati (Fig.1). La dissoluzione carsica in rocce quarzitiche è un fenomeno spesso sottovalutato, nonostante essa sia comunemente osservata in molti bacini sedimentari e *reservoir* profondi. La genesi di condotti carsici in rocce silicizzate richiede specifiche condizioni di temperatura e pH (fluidi caldi e alcalini, Fig.2), condizioni atipiche dei settori crostali superficiali.

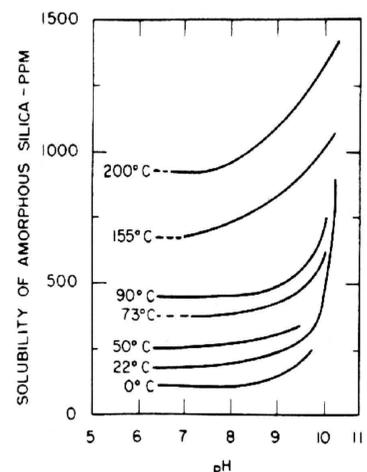


Figura 2. Solubilità della SiO<sub>2</sub> in funzione di pH e temperatura.

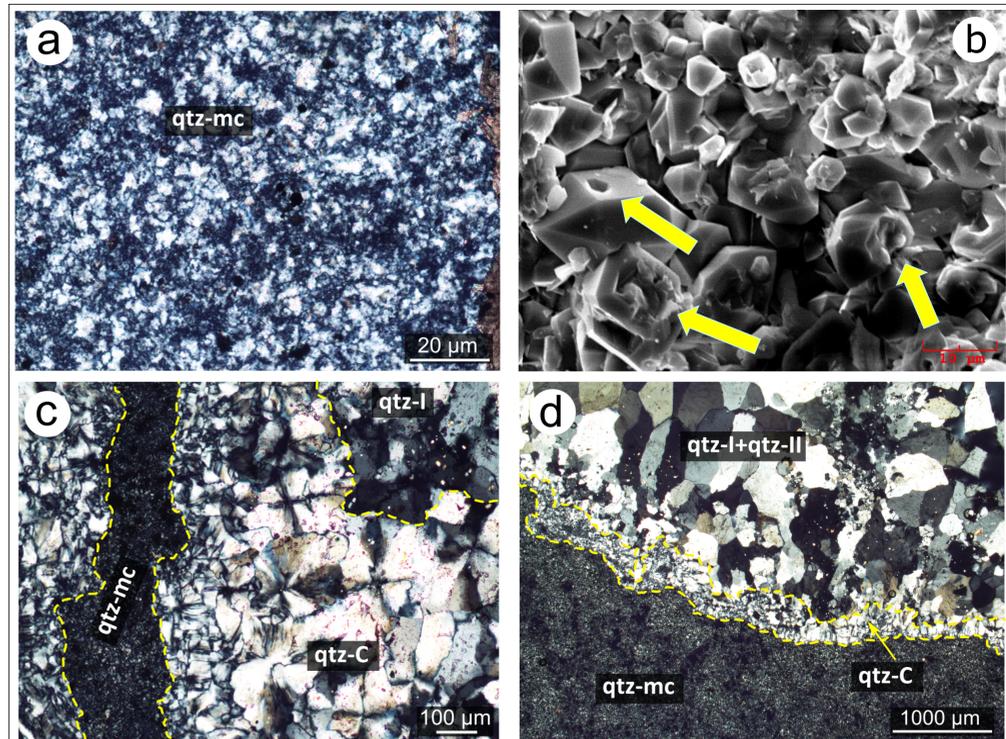


Figura 3. Esempi di tessiture della SiO<sub>2</sub> nelle dolomie silicizzate. a) quarzo microcristallino (qtz-mc) forma noduli di selce; b) selce con micro-tessiture da dissoluzione; c-d) depositi di calcedonio (qtz-C) e mega-quarzo (qtz-I e qtz-II) riempiono vene e porosità da dissoluzione nella selce (qtz-mc).

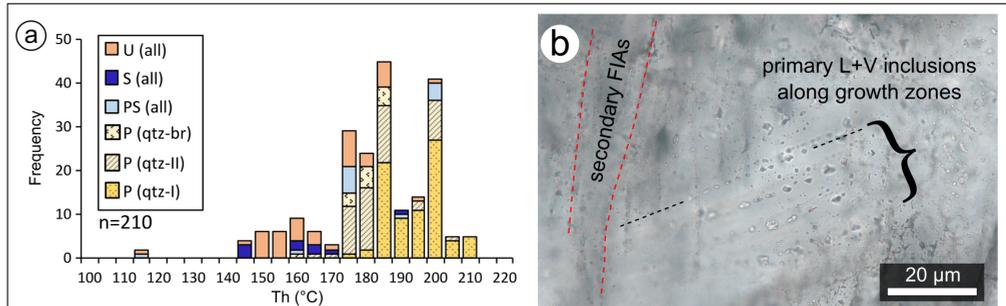


Figura 4. a) risultati delle analisi microtermometriche su inclusioni fluide. Le inclusioni primarie (P) sono principalmente clusterizzate in valori compresi tra 170 e 210°C; b) esempio di inclusioni primarie lungo zone di crescita di un cristallo di mega-quarzo.

## Idrotermalismo e speleogenesi ipogenica nella Grotta Calixto

I risultati ottenuti permettono di ipotizzare una iniziale fase ipogenica profonda in cui fluidi idrotermali ad alta temperatura (T>170-210°C) inducono la dissoluzione della silice (Fig.5, stage 3) alla quale segue, al diminuire delle condizioni di T e pH, la dissoluzione della dolomia e la cristallizzazione di calcedonio e mega-quarzo (stage 4). Questa condizione può essersi protratta per un periodo geologico molto lungo nel quale ricorrenti condizioni fisico-chimiche sono state favorevoli alla dissoluzione del quarzo o alla sua ricristallizzazione.