

UNIVERSITÀ DI PISA

Lo spazio-tempo delle grotte

Campionamenti e analisi fisiche, datazioni

Andrea Columbu

Università di Pisa

andrea.columbu@unipi.it

--- Società Speleologica Italiana ---
monitoraggi ambientali in grotte naturali

Foto. B. Theuerkauf



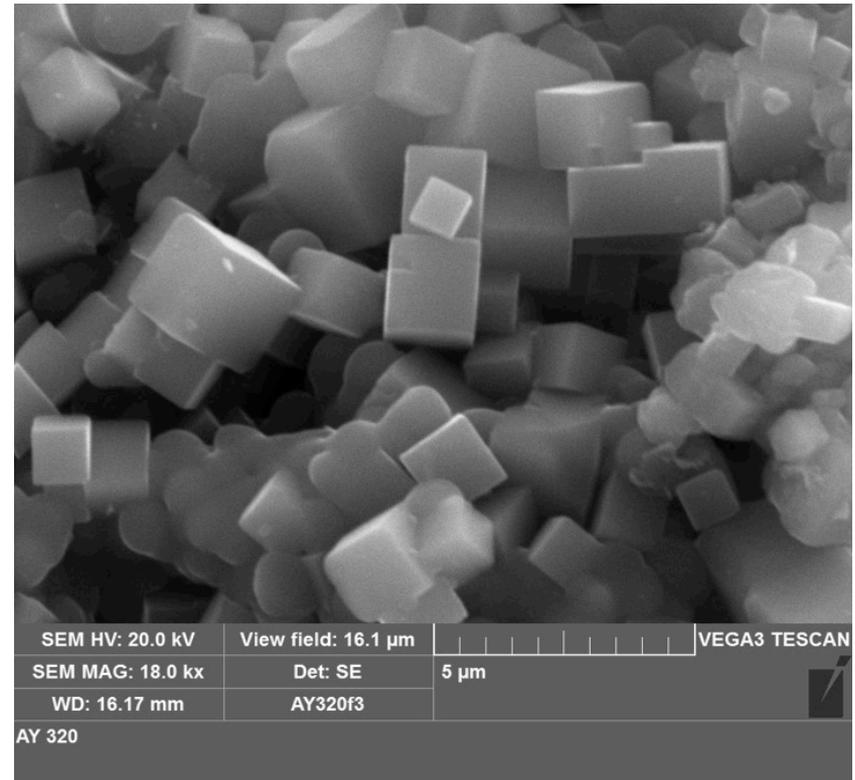
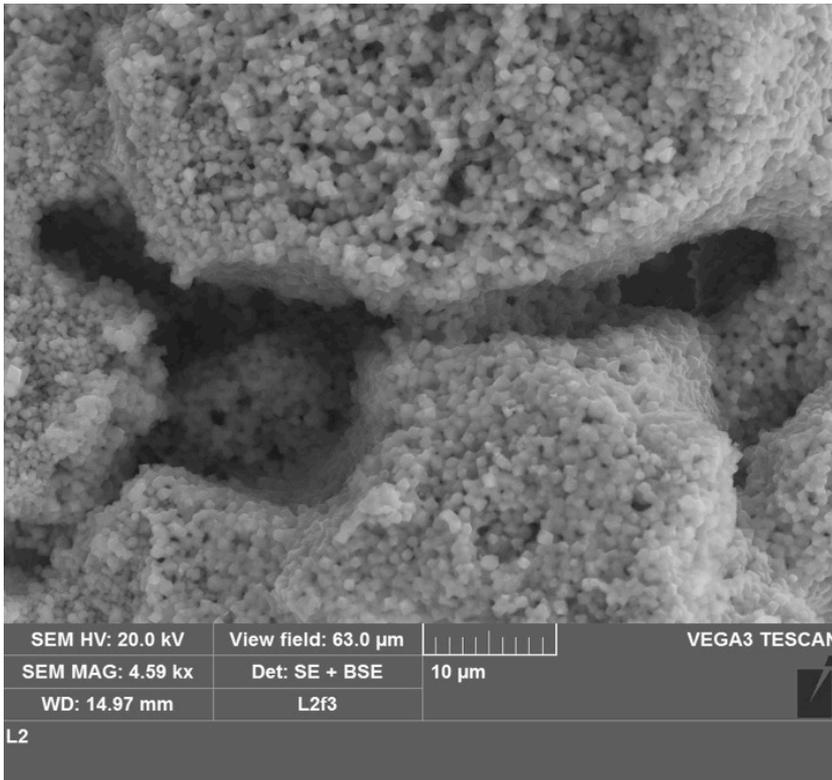
Depositi e morfologie di grotta testimoniano fasi speleogenetiche distinte e l'alternarsi di climi e ambienti differenti.

Ricostruire l'evoluzione speleogenetica di un determinato contesto carsico è, a tutti gli effetti, una ricostruzione paleoclimatica-ambientale.

Questa non può prescindere da analisi chimico-fisiche sulle matrici più idonee, che come obiettivo ultimo dovrebbero inserire la storia speleogenetica in considerazione in un contesto geocronologico rigido e coerente.

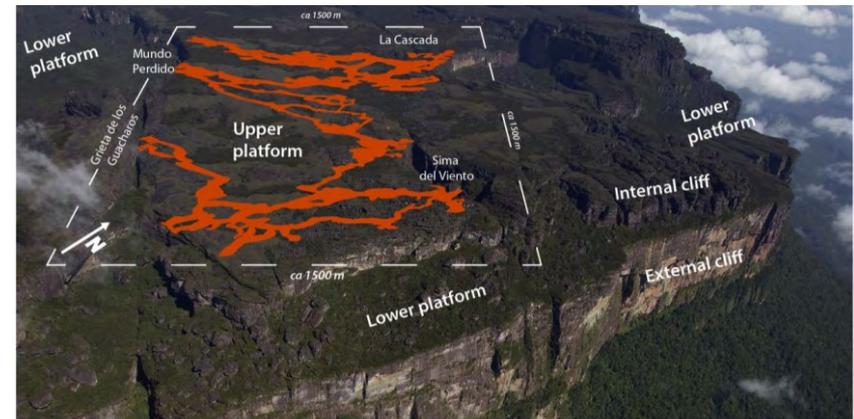
Per questo motivo, le datazioni risultano essere uno dei mezzi più efficaci durante una ricostruzione speleogenetica. In ogni caso, i risultati devono essere integrati in un quadro geologico-climatico-ambientale sensato, in quanto le date ottenute, di per se, sono soltanto «numeri».

Datazioni, metodo diretto: datare qualcosa che si è formato durante la creazione del vuoto. Questo avviene tramite minerali secondari, prodotti durante la corrosione-dissoluzione della roccia. Questi minerali sono però molto rari, di difficile identificazione e molto solubili. Con una datazione diretta si otterrebbe l'età di un determinato evento speleogenetico.



Esempio Alunite: $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$
Solfato di Alluminio e Potassio

Datazioni, metodo indiretto 1: stimare il tempo necessario per la formazione di un vuoto, mettendo in relazione il suo volume con i tassi di dissoluzione della litologia della roccia incassante. Questo approccio fornisce esclusivamente una stima di massima, in quanto non può considerare variabili geologiche-climatiche-ambientali che potrebbero avere causato tassi di formazione più rapidi o più lenti nel corso del tempo.



Piccini & Mecchia (2009): il sistema Aonda (Auyan Tepui, Venezuela) formato in almeno 20-30 milioni di anni

Metodo indiretto 2: datare qualcosa che si è formato in seguito alla formazione del vuoto, o che vi si è depositato all'interno. Il risultato fornisce l'età minima della grotta.

Il metodo uranio-torio è quello principale applicato su speleotemi, mentre per i sedimenti è possibile utilizzare il metodo dei nuclidi cosmogenici



Ph: B. Theuerkauf

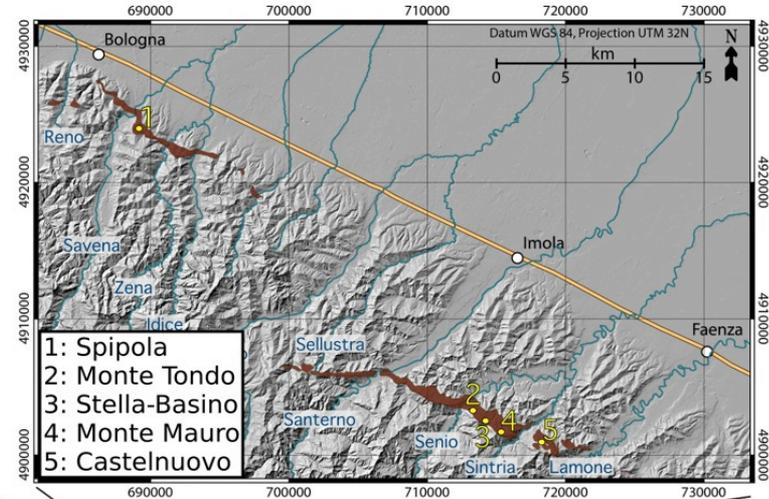
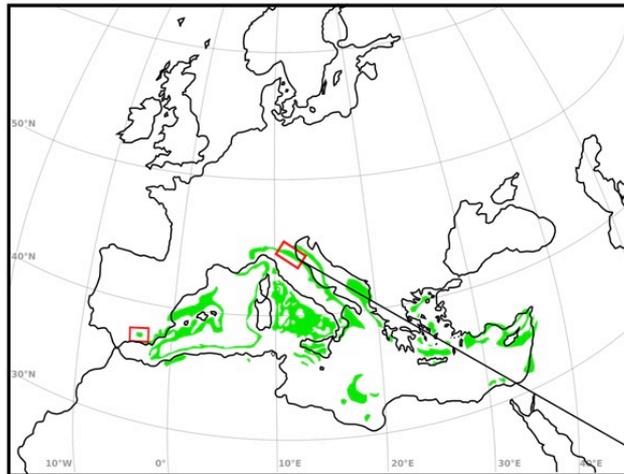


Ph: J.Y. Bigot

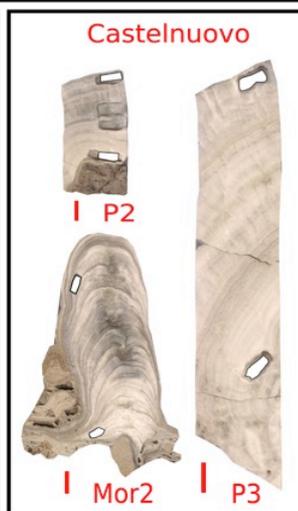
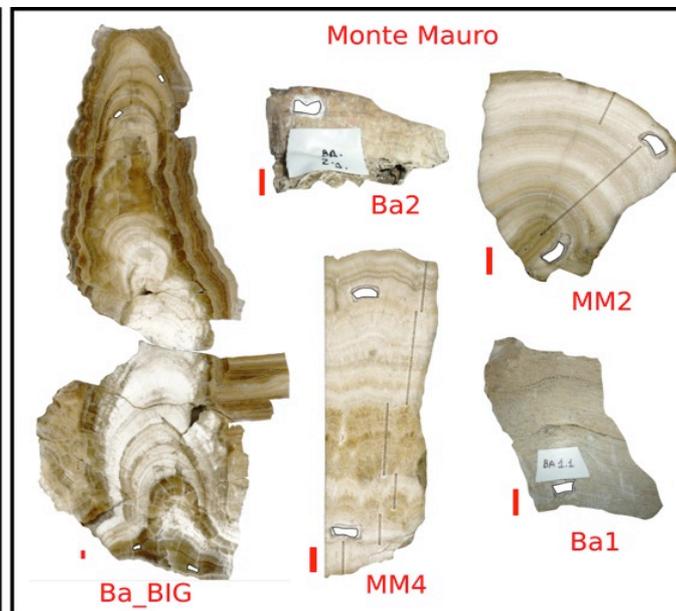
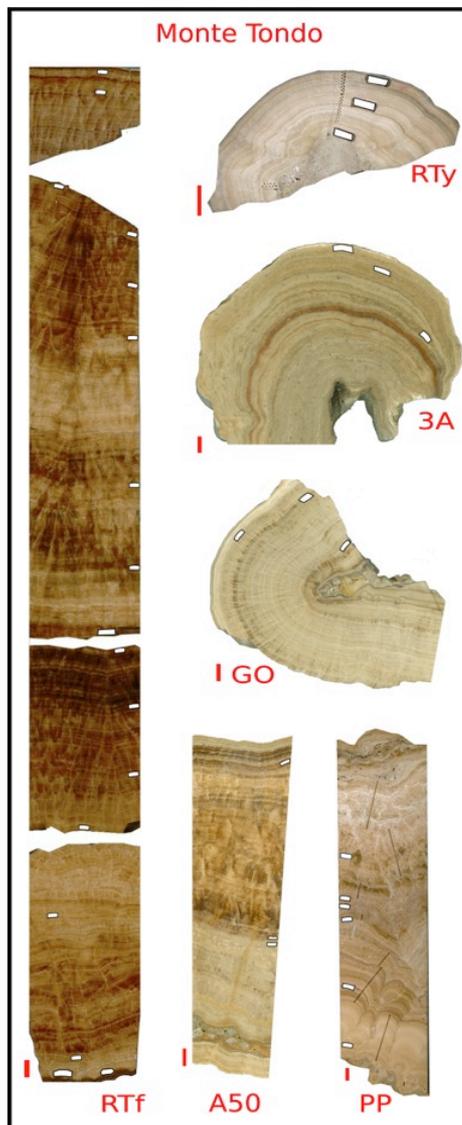
Caso studio 1: Carsismo vs clima nelle evaporiti (Columbu et al 2015; 2017; 2022)



Area di studio: grotte nelle evaporiti messiniane del margine pedeapenninico
Emiliano-Romagnolo; sistema di Sorbas, Spagna.

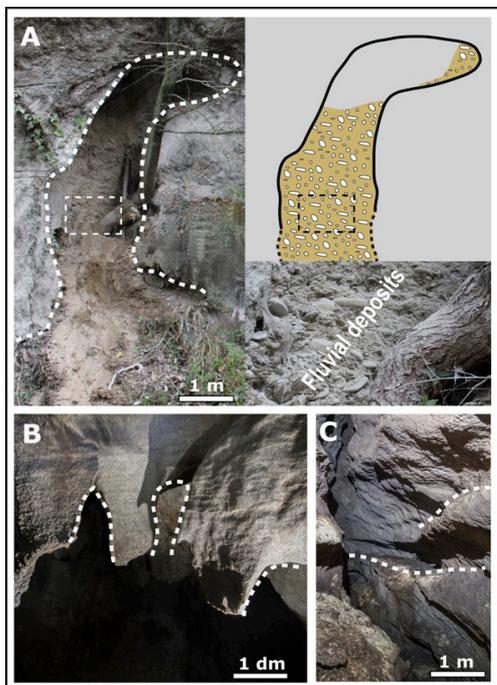
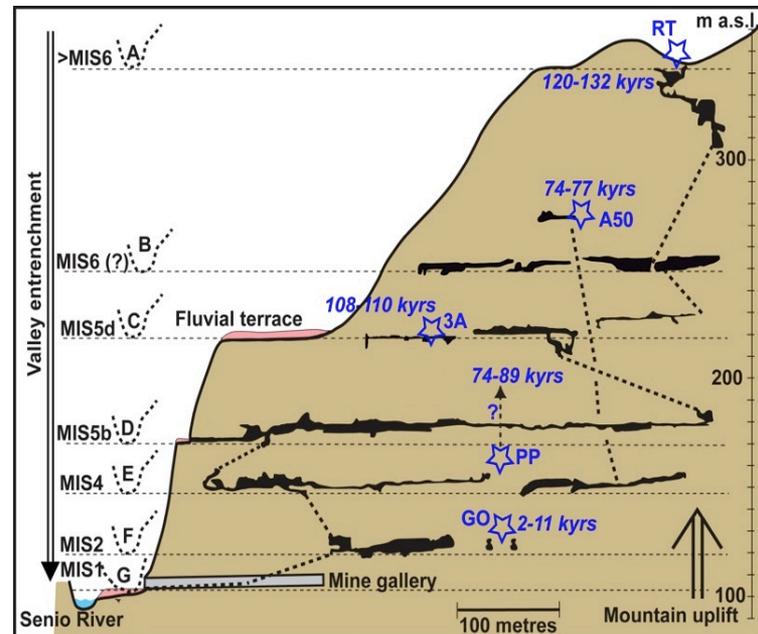


--- Società Speleologica Italiana ---
monitoraggi ambientali in grotte naturali



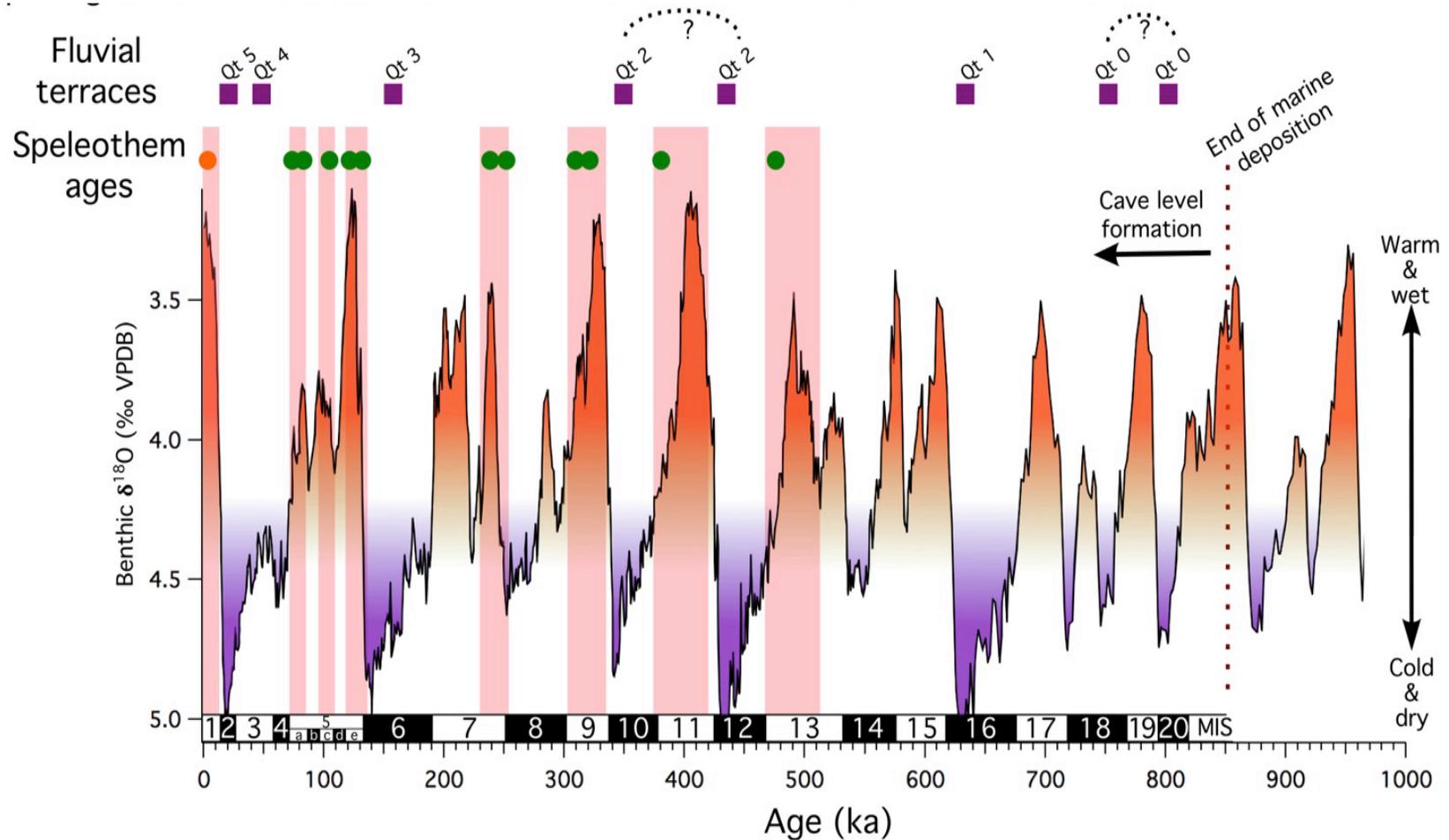
I campioni emiliano-romagnoli, provenienti dai sistemi di Monte Tondo, Monte Mauro, Stella Rio Basino, Castelnuovo e Spipola-Acquafredda, utilizzati per ricostruzioni speleogenetiche. Ogni campione è stato datato alla base e al tetto (quadrantini bianchi in figura); alcuni a più alta risoluzione

Contesto geologico: terrazzi fluviali nel margine pedeapenninico depositati durante periodi climatici relativamente freddi (Wegmann & Pazzaglia, 2009) = livelli di grotte suborizzontali formati durante gli stessi periodi.

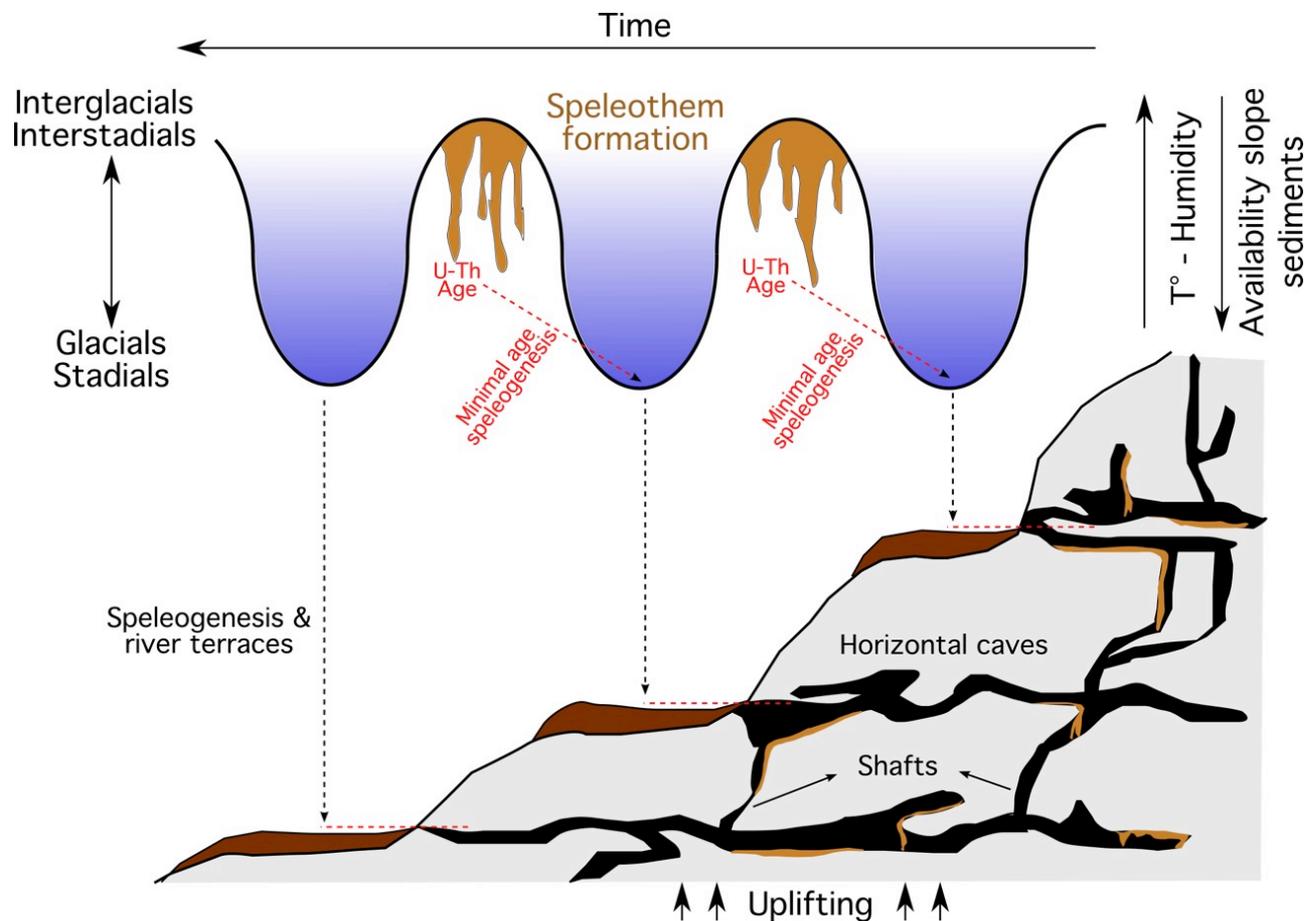


Osservazioni peculiari in grotta: paragenesi, erosione antigravitativa dei soffitti. In certi casi vi è la deposizione di sedimento. Indica una certa variabilità verticale del livello di falda, anche durante periodi di stazionamento

Questo grafico mette in relazione le età degli speleotemi (pallini verdi) con le età dei terrazzi fluviali (quadratini viola), nel contesto paleoclimatico regionale

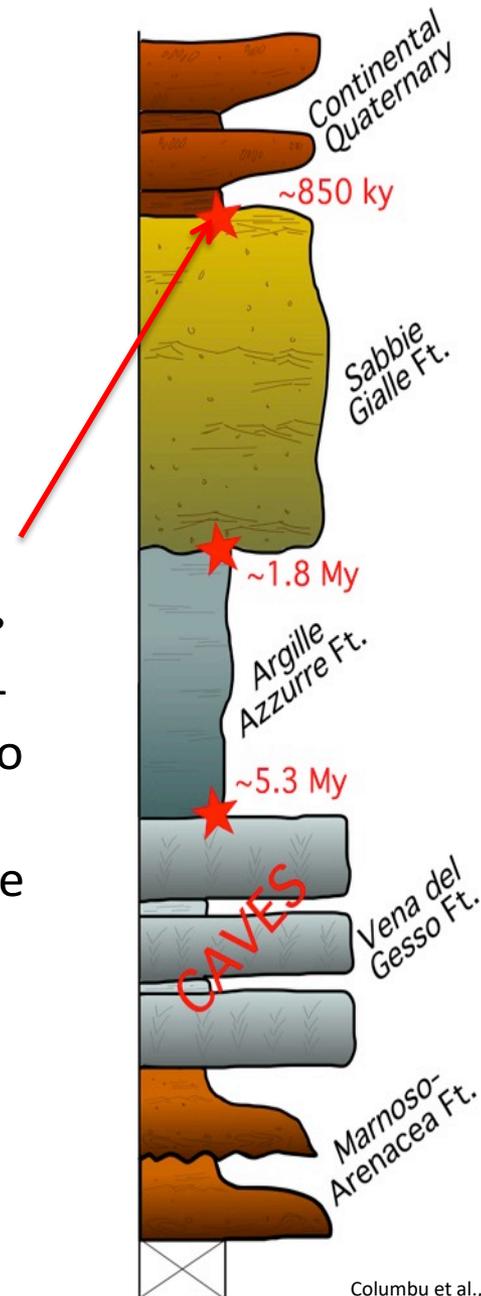


I risultati indicano che la deposizione di speleotemi sia avvenuta principalmente durante periodi relativamente caldi e umidi. Di contro, la formazione delle grotte può essere correlata ai terrazzi fluviali, formatisi durante periodi relativamente freddi e secchi. Così vengono considerate le datazioni sugli speleotemi per assegnare una età minima ai condotti carsici di provenienza. L'età è quella del periodo «freddo» immediatamente precedente al periodo «caldo» durante il quale si è formato lo speleotema.

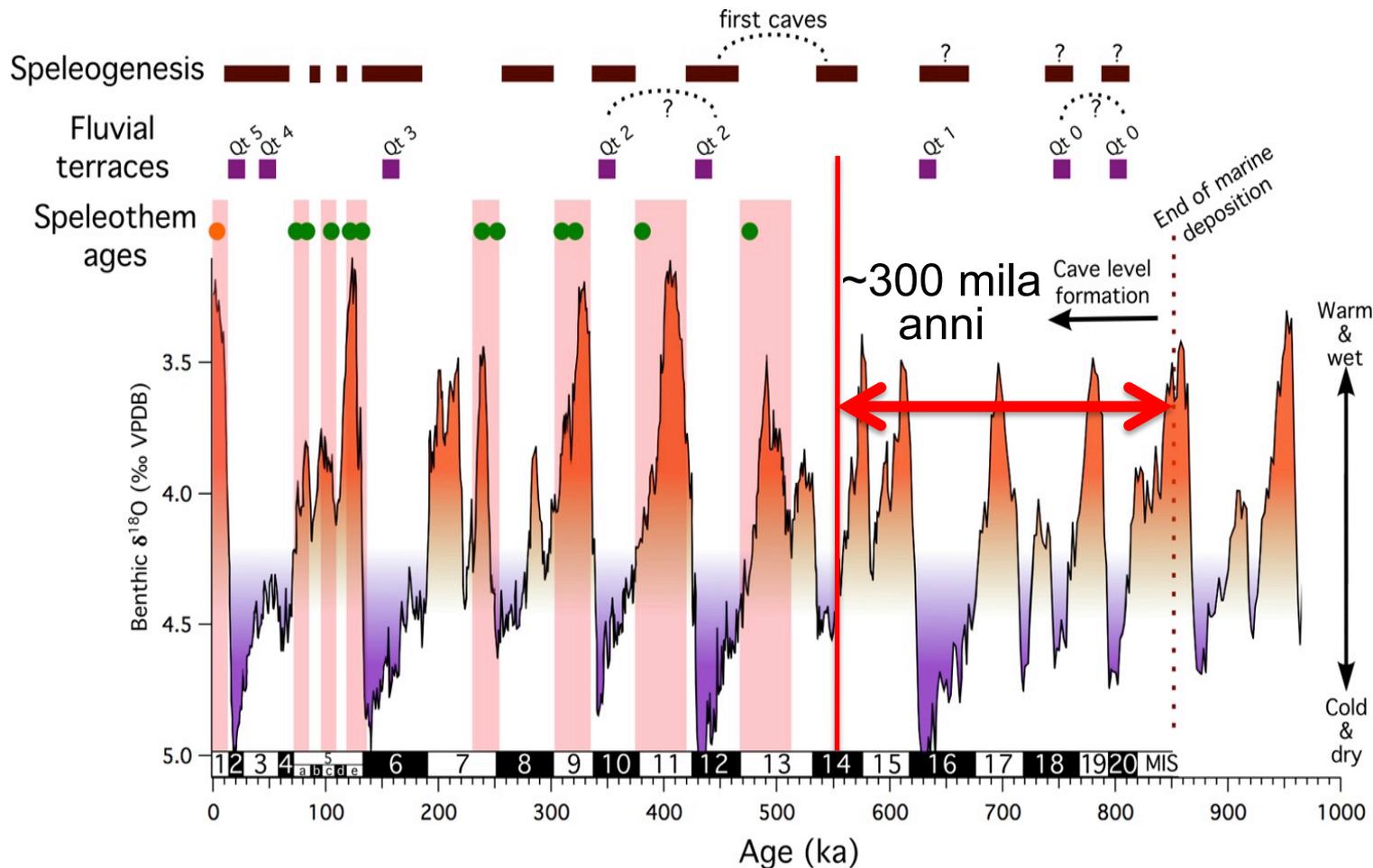


Risultato inaspettato: speleotemi antichi (ca. 450 ka = 450 mila anni fa). L'età stimata, per i sistemi Emiliano-romagnoli, era nettamente inferiore e attribuita agli ultimi ~130 ka.

Ulteriore contesto geologico: la deposizione marina (*sabbie gialle*) termina a ~850 ka. Intuitivamente, i processi carsico-speleogenetici hanno avuto inizio con il margine appenninico in condizioni subaeree. Per questo motivo, ~850 ka viene considerata come età massima per la formazione delle grotte



In seguito all'abbassamento relativo del livello del mare, l'area si trovava in condizioni subaeree da 850 ka. L'età attribuita alle grotte più antiche è di circa 550 ka. Questo dato è coerente con il tempo necessario, stimato in 300 mila anni, per innescare i processi carsici nel margine pedeappenninico.

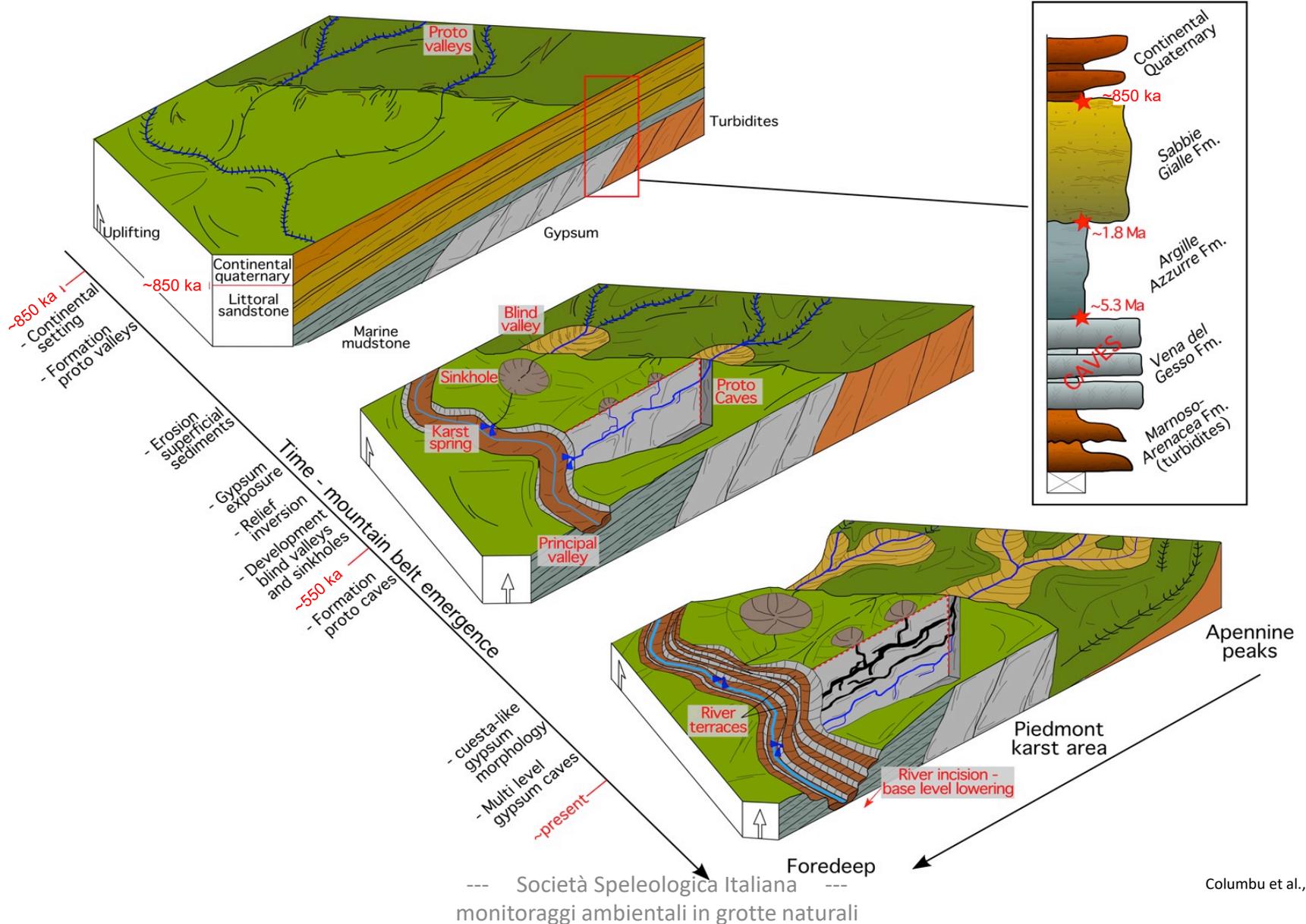


~300 mila anni, un periodo considerato sufficientemente lungo per:

- Erosione di gran parte dei sedimenti marini che ricoprivano i depositi evaporitici;
- Formazione della rete di drenaggio, che nel tempo si svilupperà in vere e proprie valli;
- Innescare il fenomeno dell'inversione di rilievo

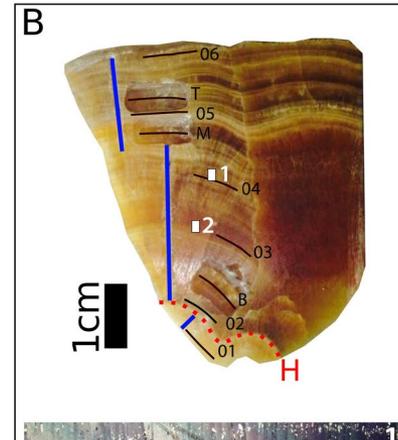
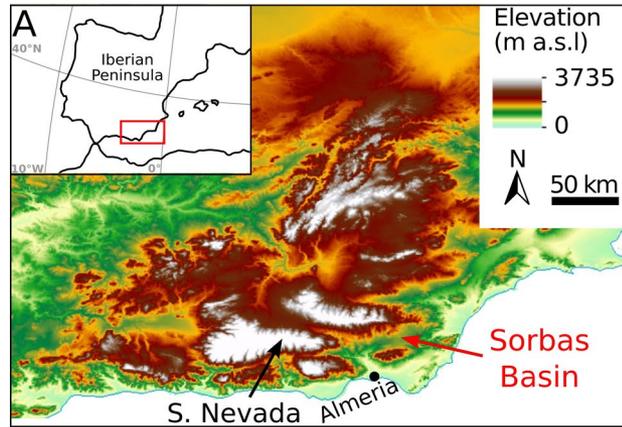


Ricostruzione geomorfologica e speleogenetica dell'area



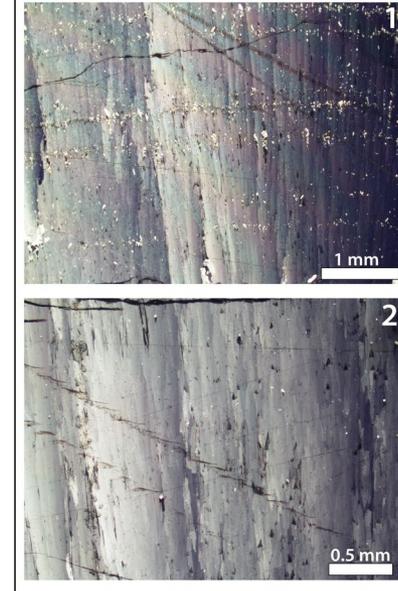
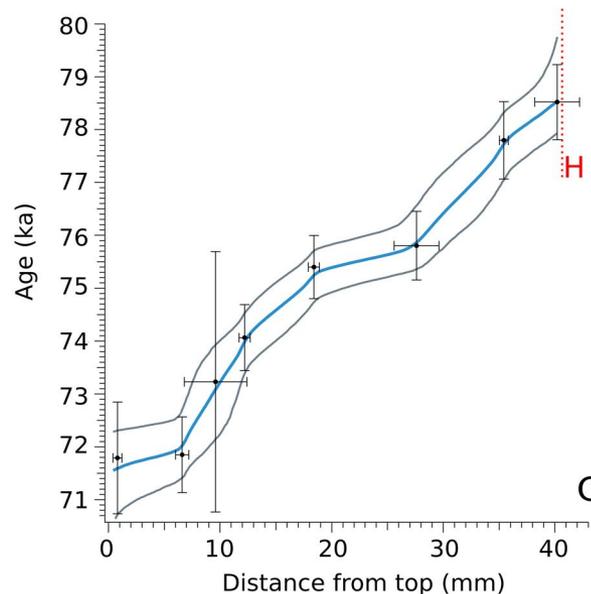
Inoltre, da uno speleotema proveniente dall'area di Sorbas (Spagna) è stato possibile ricostruire nel dettaglio variazioni climatiche nel periodo compreso fra ~78 e ~72 ka. Questo utilizzando: datazioni U-Th, isotopi stabili dell'ossigeno ($\delta^{18}\text{O}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$), osservazioni petrografiche.

Area di studio (bacino di Sorbas)



Flowstone con datazioni (linee nere) e la traccia utilizzata per gli isotopi stabili (linea blu)

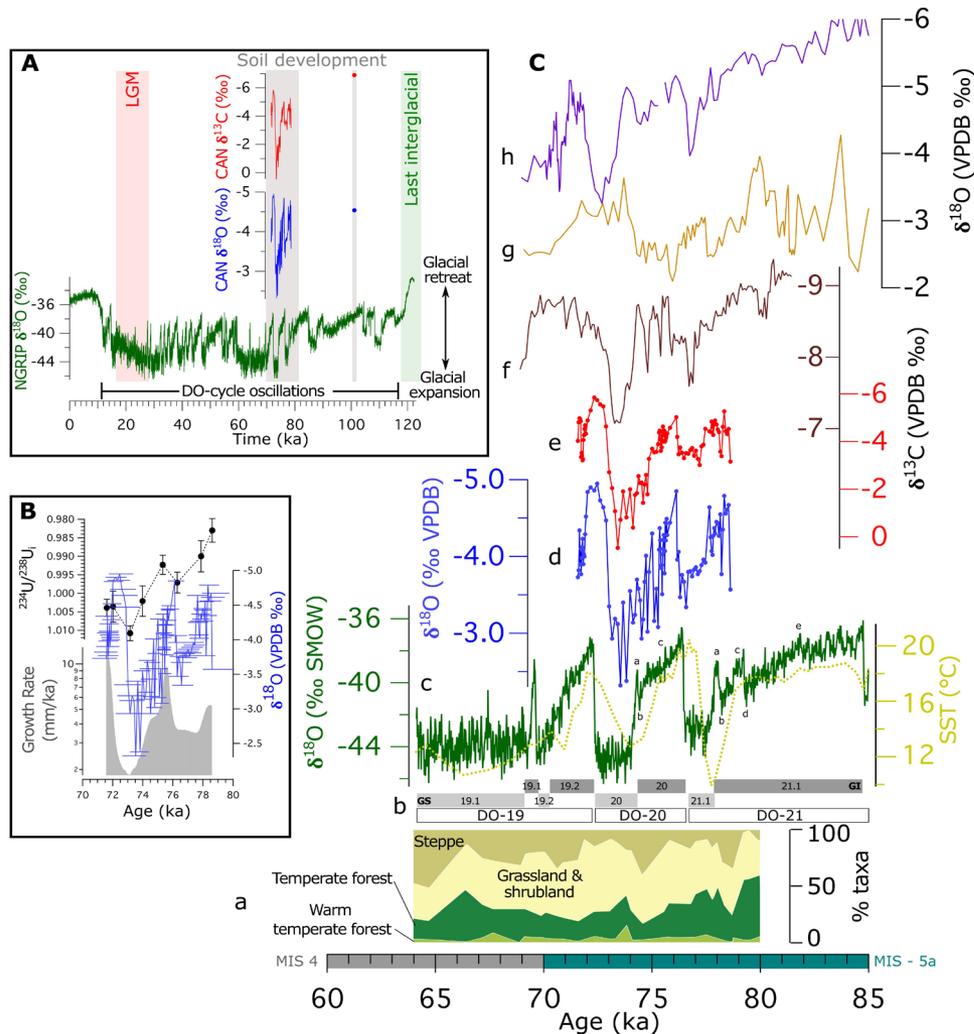
Datazioni U-Th e modello delle età



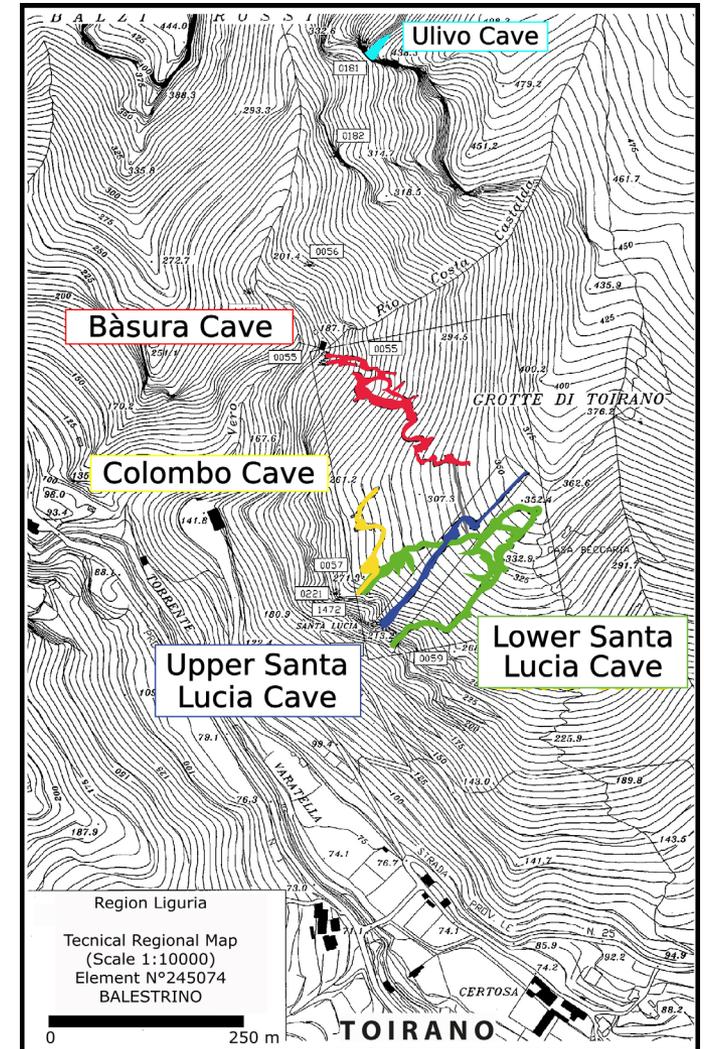
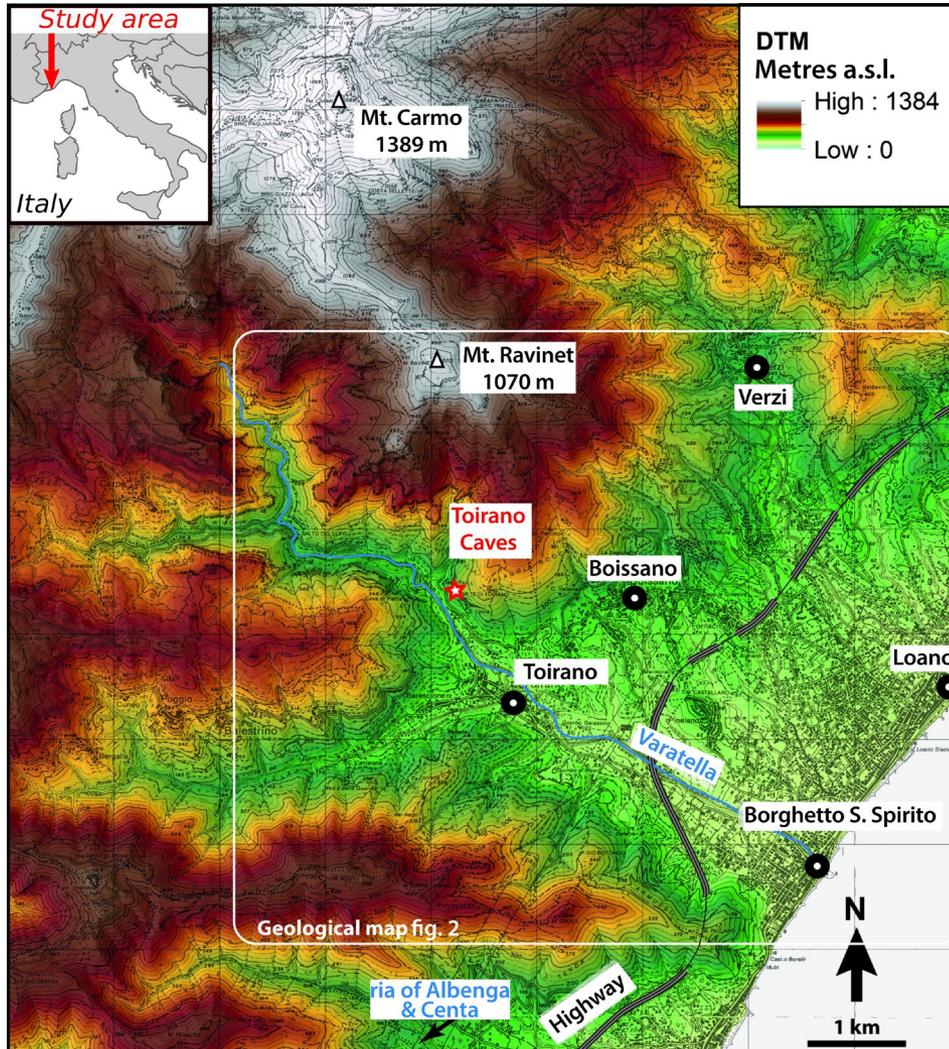
Analisi petrografiche

L'area di Sorbas è attualmente estremamente arida, semi-desertica. Difatti, gli speleotemi non si formano odiernamente, per la carenza di stillicidio e l'assenza di suoli ben sviluppati. Di contro, La presenza del *flowstone* indica condizioni nettamente più umide fra ~78 e ~72 ka. Le analisi di $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ riportano invece variazioni della quantità di precipitazioni piovose come pure nella provenienza delle masse umide. Queste risultano essere regolate da variazioni di temperatura avvenute alle alte latitudini dell'emisfero nord, durante la progressione dell'ultima era glaciale.

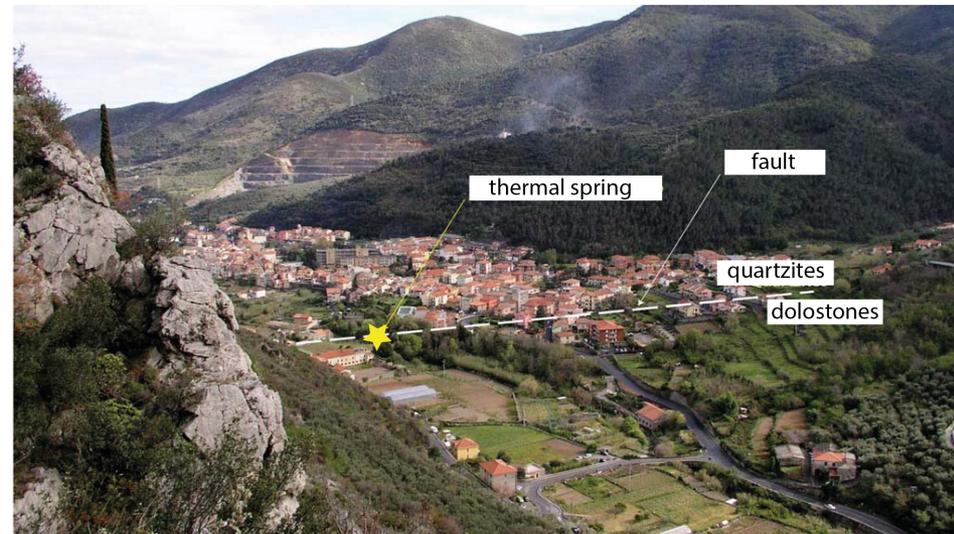
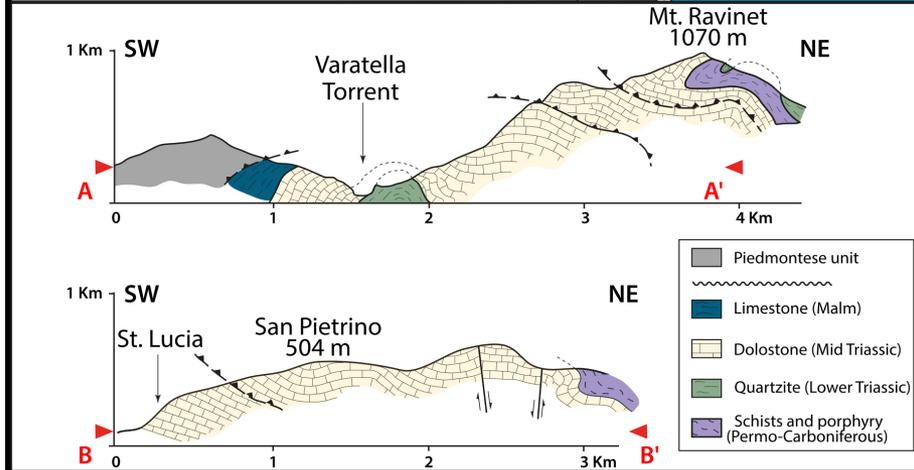
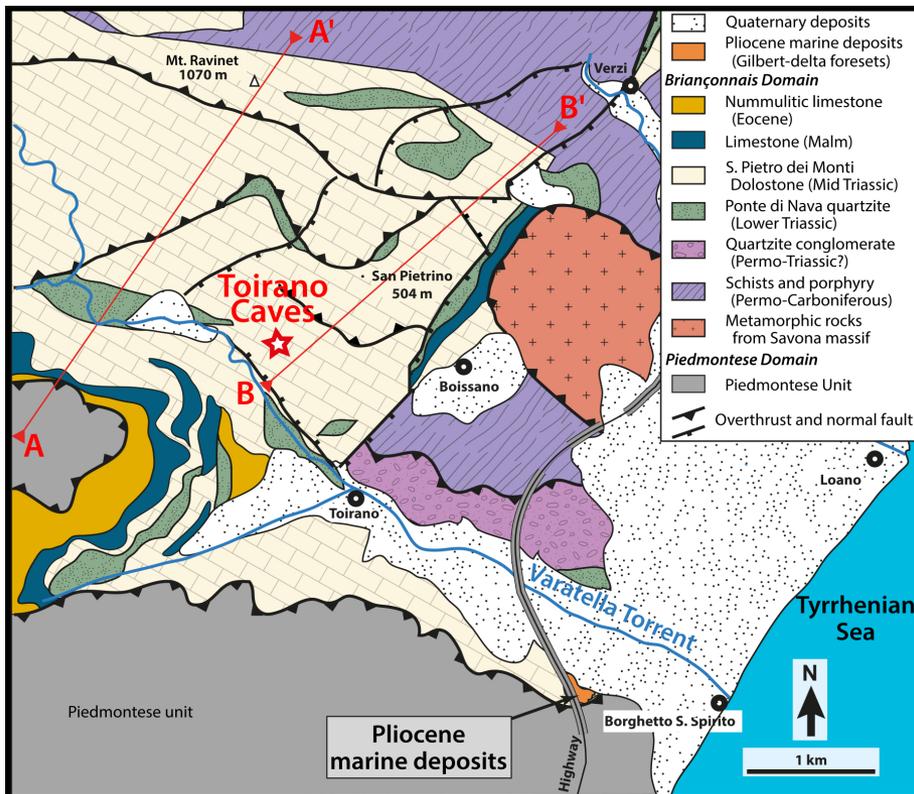
Uno dei risultati più significativi è stato dimostrare che il clima in regioni semidesertiche europee è sensibile al cambiamento climatico a scala emisferica, e questo dovrebbe essere tenuto in considerazione per prossimi studi riguardanti la modellazione del clima futuro in regioni simili.



Caso studio 2: Toirano, da ipogenico a epigenico (Columbu et al 2021)

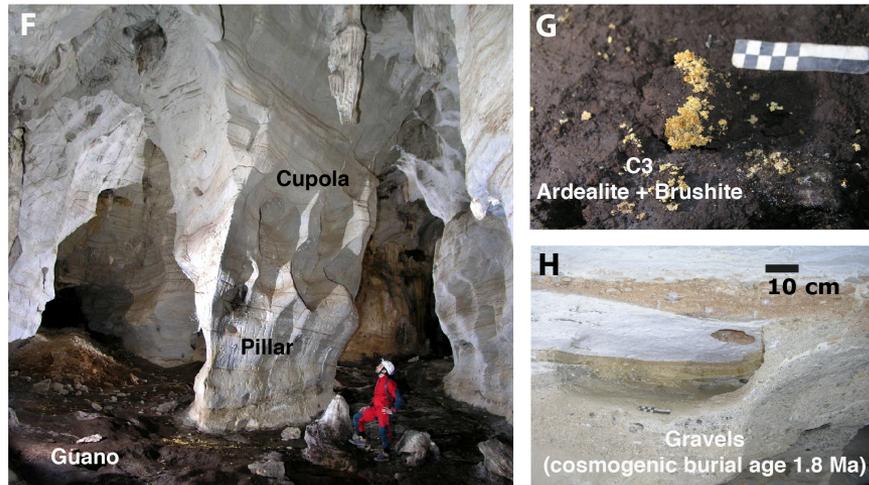
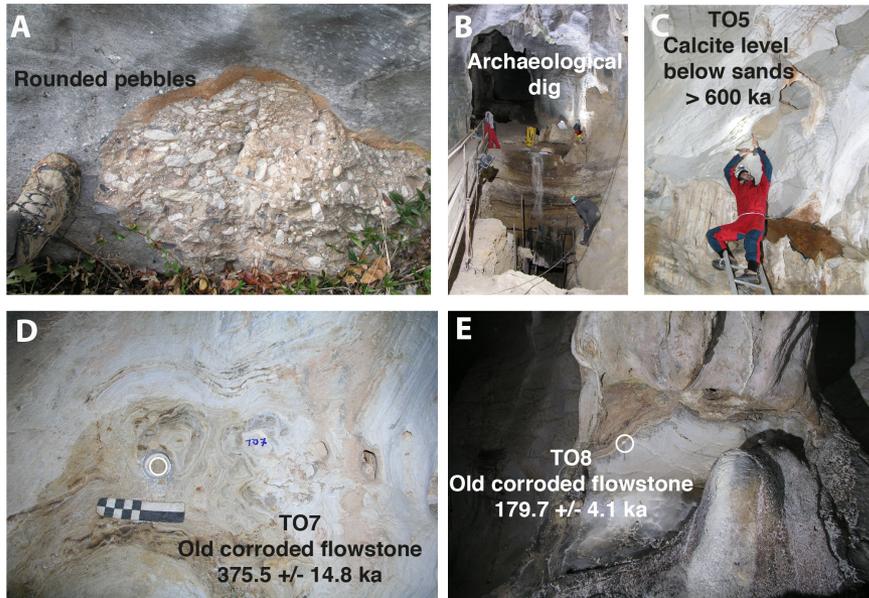


Il lavoro esplora l'evoluzione nel tempo del sistema carsico a livelli suborizzontali, inserito in un contesto geologico molto complesso.

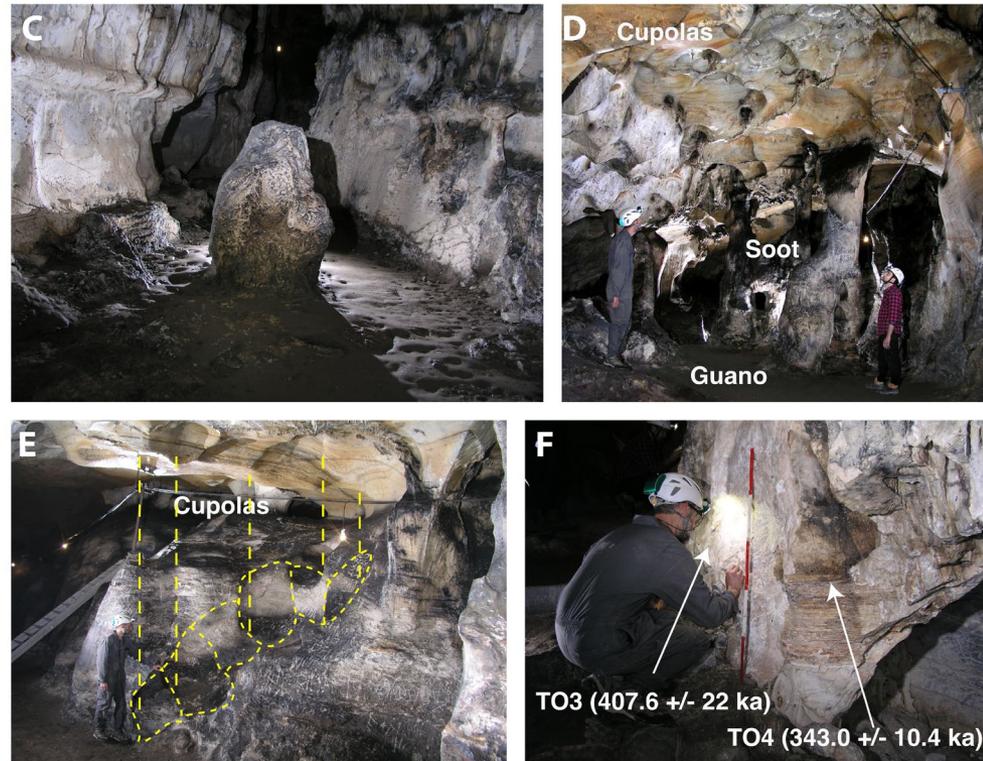


In tutti i livelli sono state eseguite datazioni U-Th e ai nuclidi cosmogenici, come pure osservazione e rilievo delle morfologie di grotta

Grotta Colombo



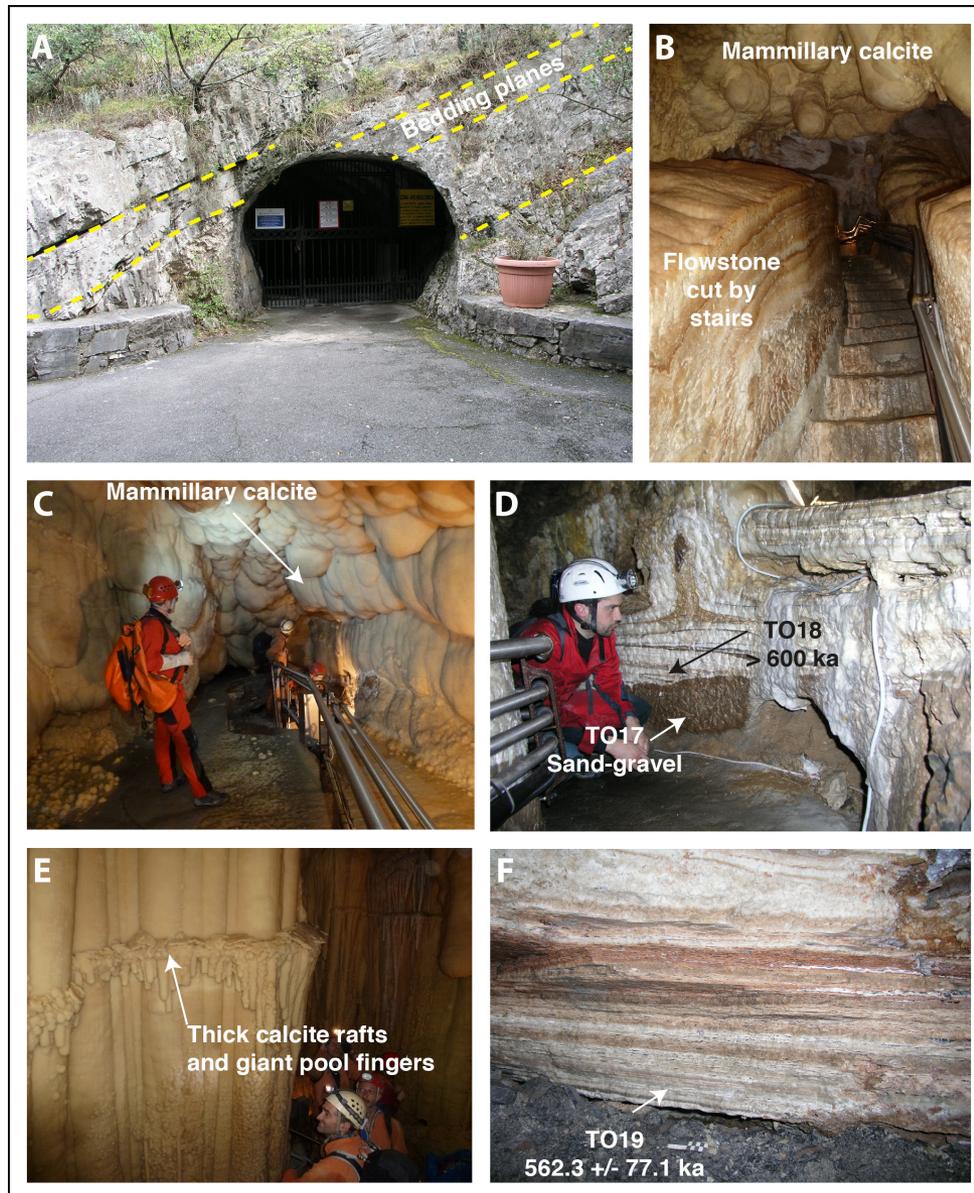
Santa Lucia Superiore



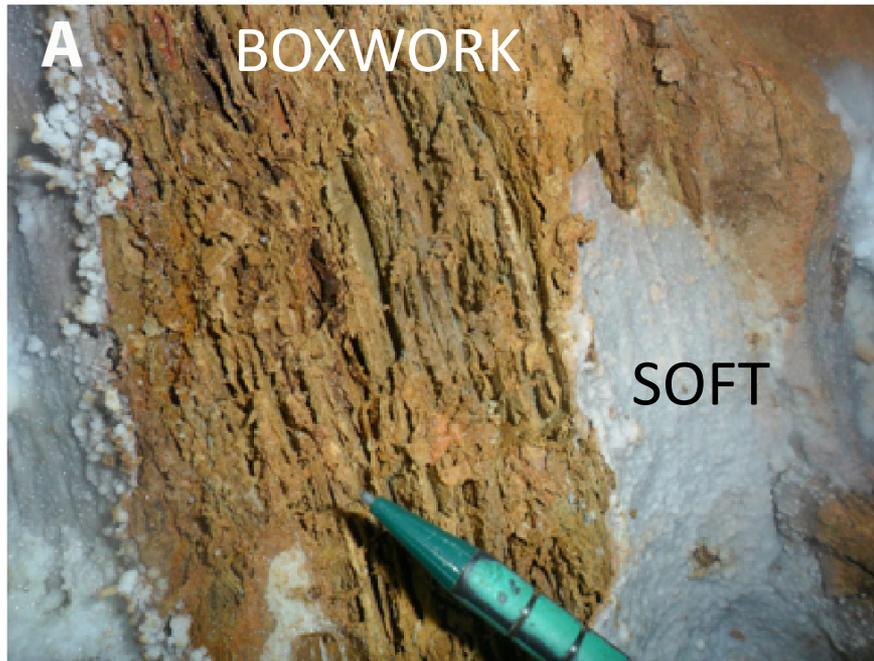
Grotta Santa Lucia Inferiore



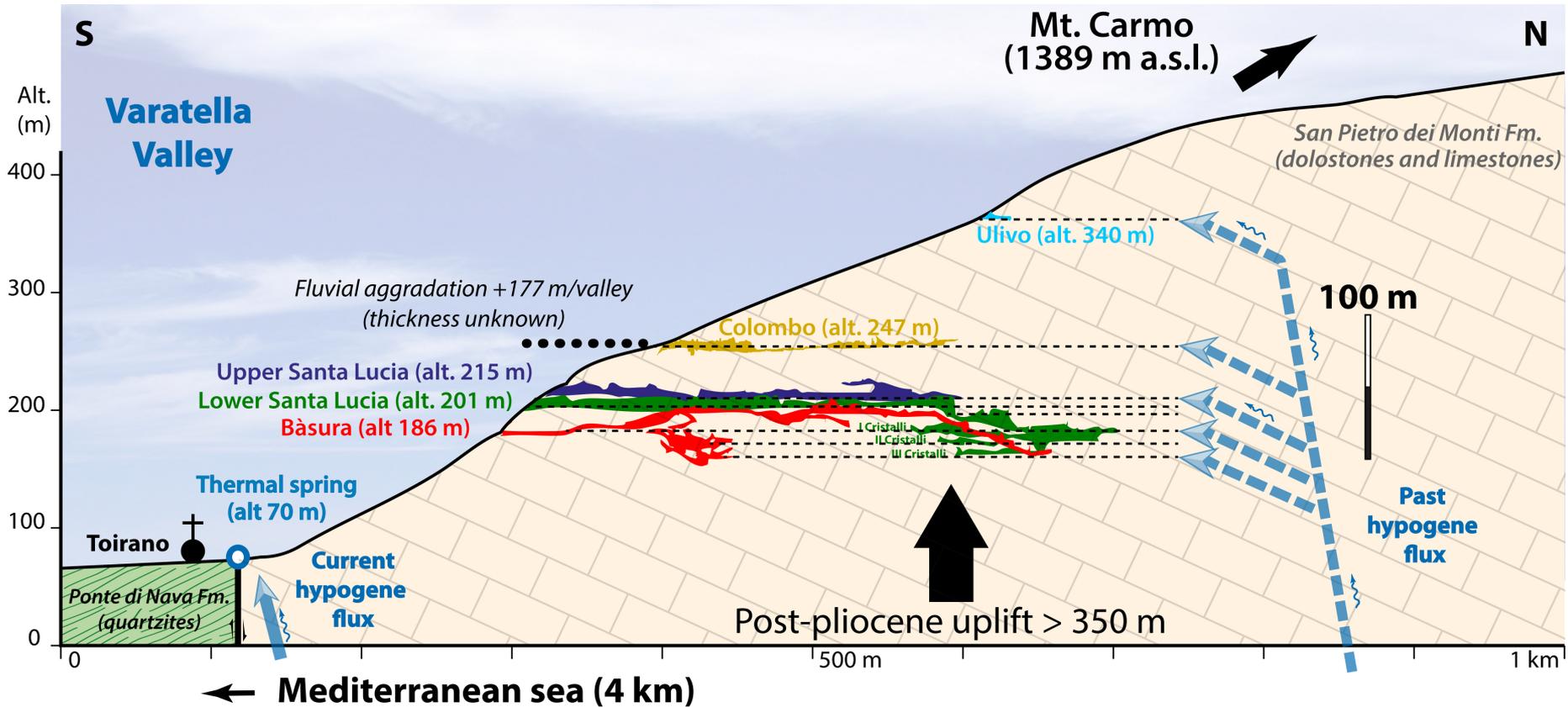
Grotta dell Bàsura



Nette evidenze di condensazione-corrosione



Lo sviluppo dei proto-condotti è attribuito alla presenza di attività idrotermale, quindi tutto il sistema ha origine ipogea. L'odierna risorgente termale si trova circa 180 metri di dislivello rispetto alla grotta del Colombo, a causa dell'uplift post pliocenico.

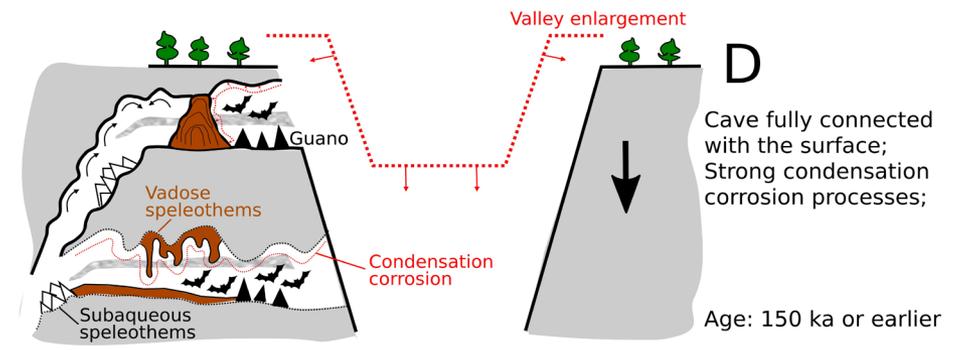
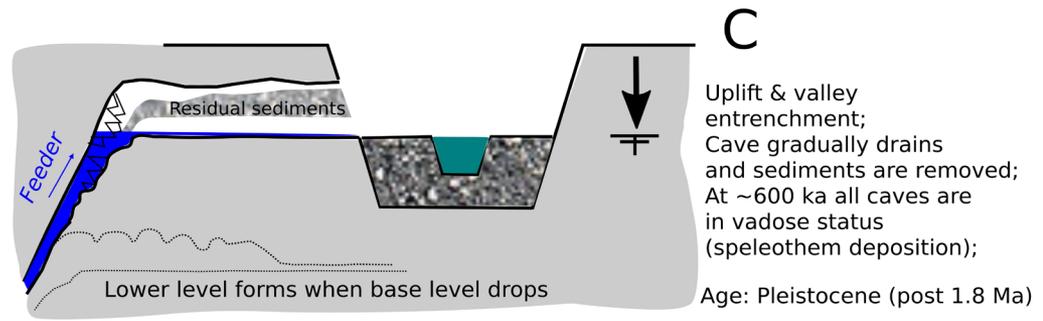
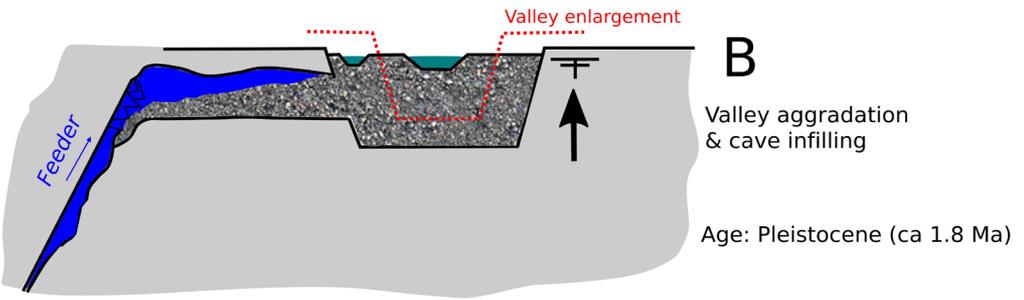
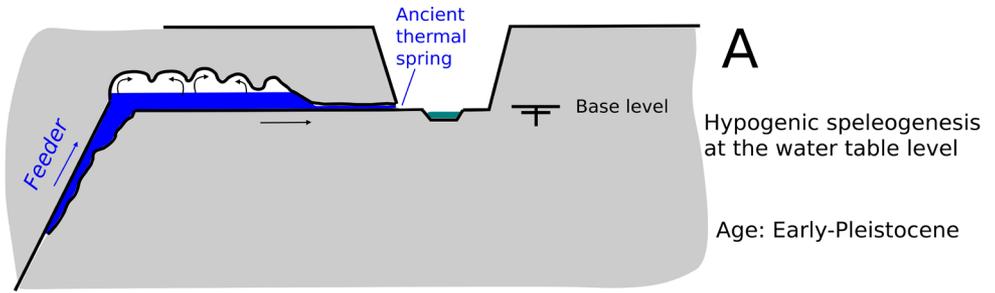


Il modello speleogenetico fissa l'inizio del processo ipogenetico intorno ai 2 milioni di anni fa.

Nel pleistocene, circa 1.8 milioni di anni fa, la valle testimonia un periodo di aggradazione; i sedimenti occupano anche vaste porzioni dei condotti carsici.

In seguito il riempimento sedimentario vallivo viene inciso, i condotti carsici drenati e i relativi sedimenti quasi totalmente rimossi. Intorno ai 600 ka le grotte sono in condizione vadose e la speleogenesi continua in maniera epigenetica. Vi è una notevole formazione di speleotemi.

Negli ultimi 150 ka le grotte sono completamente connesse con la superficie e fenomeni di condensazione-corrosione ne aumentano notevolmente i volumi.



TAKE HOME MESSAGE

La speleogenesi è il risultato di svariati processi sotterranei in risposta a eventi geologici, ambientali e climatici superficiali distribuiti in un lasso di tempo ampio, il più delle volte difficile da stimare.

E' necessaria l'osservazione attenta dell'ambiente sotterraneo per fornire quanti più elementi possibili alle ricostruzioni speleogenetiche, come pure per scegliere al meglio i campioni da destinare alle analisi di laboratorio



Bibliografia

- Columbu A, De Waele J, Forti P, Montagna P, Picotti V, Pons-Branchu E, Hellstrom J, Bajo P, Drysdale R. Gypsum caves as indicators of climate-driven river incision and aggradation in a rapidly uplifting region. *Geology*. 2015 Jun 1;43(6):539-42.
- Columbu A, Chiarini V, De Waele J, Drysdale R, Woodhead J, Hellstrom J, Forti P. Late quaternary speleogenesis and landscape evolution in the northern Apennine evaporite areas. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2017 Aug;42(10):1447-59.
- Columbu A, Audra P, Gázquez F, D'Angeli IM, Bigot JY, Koltai G, Chiesa R, Yu TL, Hu HM, Shen CC, Carbone C. Hypogenic speleogenesis, late stage epigenic overprinting and condensation-corrosion in a complex cave system in relation to landscape evolution (Toirano, Liguria, Italy). *Geomorphology*. 2021 Mar 1;376:107561.
- Columbu A, Gázquez F, Corrick E, Hellstrom J, Drysdale R. Environmental changes in Sorbas arid region (Southern Spain) during MIS 5a inferred from a carbonate flowstone from a gypsum cave. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2022 Dec 1;607:111275.
- Piccini L, Mecchia M. Solution weathering rate and origin of karst landforms and caves in the quartzite of Auyan-tepui (Gran Sabana, Venezuela). *Geomorphology*. 2009 May 1;106(1-2):15-25.
- Wegmann KW, Pazzaglia FJ. Late Quaternary fluvial terraces of the Romagna and Marche Apennines, Italy: Climatic, lithologic, and tectonic controls on terrace genesis in an active orogen. *Quaternary Science Reviews*. 2009 Jan 1;28(1-2):137-65.