

UN NUOVO TIPO DI INFIORESCENZA GESSOSA DELLA VENA DEL GESSO DI ORIGINE ANTROPOGENICA

PAOLO FORTI¹, MASSIMO ERCOLANI², PIERO LUCCI³

Riassunto

Le infiorescenze di gesso sono molto comuni nelle grotte della Vena del Gesso romagnola, dove possono svilupparsi, per evaporazione, sia sulla roccia gessosa che sopra le concrezioni di carbonato di calcio. Recentemente, poi, sono state osservate delle particolari infiorescenze gessose (aggregati di cristalli molto piccoli), che si sono sviluppate su solchi, più o meno profondi, praticati dall'uomo sulla pareti di alcune grotte. Lo studio di queste infiorescenze ha permesso di appurare che la loro genesi in alcuni casi è del tutto analoga a quella che porta al deposito di gesso microcristallino di neoformazione lungo i piani di sfaldamento principale dei macrocristalli di gesso. È stato anche possibile evidenziare come la larghezza dei solchi sia un fattore importante nell'evoluzione delle infiorescenze antropiche: infatti il loro sviluppo è tanto maggiore quanto più largo è il solco.

Parole chiave: speleotemi antropogenici, infiorescenze gessose, legge di Kelvin.

Abstract

Gypsum flowers are a very common speleothem type within the natural caves of the Vena del Gesso romagnola (Northern Italy). Their genesis and evolution is controlled by capillary driven evaporation and they may grow directly over the gypsum rock or over calcite flowstones. Recently, peculiar gypsum flowers, consisting of aggregates of microcrystals have been observed just around the lips of grooves of different size, carved on the gypsum walls of some caves. The study of these peculiar aggregates is often induced by the same parameters controlling the deposition of elongated aggregates of gypsum microcrystals just along the main exfoliation planes of the gypsum macrocrystals. Moreover, it has been possible to put in evidence that the width of each groove is a fundamental factor in the evolution of these anthropogenic aggregates, the development of which is directly proportional to the groove width.

Keywords: Anthropogenic Speleothems, Gypsum Flowers, Kelvin's Law.

Introduzione

Le grotte in gesso sono sempre molto ricche di infiorescenze gessose, che si sviluppano per evaporazione delle soluzioni circolanti per capillarità, direttamente sulle pareti rocciose o, più di frequente, sulle concrezioni di carbonato di calcio (fig. 1).

Queste infiorescenze, poi sono normalmente formate da aggregati di cristalli lenticolari,

spesso geminati a coda di rondine e/o ferro di lancia (FORTI, LUCCI 2016).

Particolari infiorescenze gessose si formano anche lungo i principali piani di sfaldamento dei grandi cristalli di gesso (FORTI 2017) o lungo i piani di contatto tra gli stessi cristalli (fig. 2).

Recentemente però è stato possibile anche osservare, in alcune grotte della Vena del Gesso, delle particolarissime infiorescenze gessose che debbono la loro genesi a fattori

¹ Istituto Italiano di Speleologia, Via Zamboni 67, 40126 Bologna (BO) - paolo.forti@unibo.it

² Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna / Speleo GAM Mezzano - massimoercolani55@gmail.com

³ Federazione Speleologica Regionale dell'Emilia-Romagna / Speleo GAM Mezzano - pierolucci@libero.it

chiaramente antropici.

I primi luoghi in cui si sono notate è stato nel tratto iniziale della Grotta della Lucerna e lungo gran parte della galleria della Grotta presso Ca' Toresina, dove le pareti, profondamente segnate dagli attrezzi dei cavaatori romani (fig. 3A), in alcune aree risultano essere completamente ricoperte da un notevole spessore di infiorescenze. Queste ultime si sono sviluppate, nell'arco di quasi 2000 anni, soprattutto, ma non solo, sui crinali di roccia che separano due incisioni limitrofe (fig. 3B), mantenendone quasi inalterata la morfologia, che il deposito di neof ormazione ha contribuito ad accentuare.

Più di recente, poi, nella Grotta del Re Tibero, sono stati notati tutta una serie di graffiti (fig. 4A) sicuramente incisi, circa un secolo fa (PIASTRA 2013, pp. 437-438, fig. 25), da visitatori non molto rispettosi della cavità. Il graffito presenta delle infiorescenze gessose a rilievo lungo tutto lo sviluppo delle incisioni (fig. 4B): le piccole mancanze di queste infiorescenze sono da attribuire a zone in cui il solco stesso non è stato scavato. Infine, a maggiore ingrandimento (fig. 4C), si può osservare come il processo di crescita delle infiorescenze, pur avendo oramai risaldato i due bordi della incisione, ne conservi ancora "memoria" sotto forma di una zona centrale più depressa.

Quest'ultimo ritrovamento ha messo quindi in evidenza come lo sviluppo selettivo di infiorescenze sui bordi di una incisione antropica, anche minima, sia un processo molto veloce, ma che, una volta instauratosi, non si arresta nel tempo, potendo rimanere attivo anche per migliaia di anni, come testimoniato dalle infiorescenze della Grotta della Lucerna e della Grotta presso Ca' Toresina.

Nel presente lavoro, dopo una breve discussione sulle caratteristiche fisiche e ambientali che permettono l'evoluzione delle infiorescenze gessose, vengono discusse in particolare i meccanismi che permettono a quelle antropiche di mantenersi attive e quindi crescere per un lasso di tempo anche molto lungo.

Il meccanismo che permette alle infiorescenze di svilupparsi a livello di una fessura beante

Un recente studio sui grandi cristalli di gesso di Naica (BADINO *et alii* 2011) ha spiegato

come le infiorescenze che si formano lungo i principali piani di sfaldamento erano la conseguenza diretta del fatto che, in natura, l'evaporazione e la condensazione possono variare da un punto all'altro di una stessa superficie in funzione della sua forma.

Infatti, quando l'atmosfera è saturata di H_2O_{gas} , se la superficie rocciosa è concava il processo favorito è la condensazione, mentre se è convessa prevarrà quello inverso. Questo avviene perché l'interazione tra molecole gassose e superficie liquida è differente: risultando maggiore, se si passa da una condizione di planarità ad una con forma concava, ovvero minore, se la forma è convessa.

Per capire come mai questo possa avvenire bisogna considerare la struttura dell'acqua liquida, che è formata da molecole di H_2O a contatto le une con le altre (fig. 5A).

Le forze intermolecolari fanno sì che, nella massa d'acqua, le molecole debbano rimanere in contatto tra loro, ma siano libere di scivolare l'una sull'altra.

All'interno della massa liquida, dato che tutte le molecole sono circondate dallo stesso numero di altre molecole, le forze a cui sono sottoposte sono uguali per tutte (il sistema è isotropico) e le singole molecole d'acqua sono praticamente libere di muoversi in ogni direzione.

Ma quando ci troviamo all'interfaccia tra la massa liquida e l'aria questo non è più vero (fig. 5B): infatti le molecole d'acqua dello strato superficiale (*strato limite*) subiscono una forza di attrazione che tende a mantenerle in contatto con le molecole sottostanti, quindi per poter "scappare" nell'atmosfera (evaporare) necessitano di energia (calore latente di evaporazione) per bilanciare prima, e superare poi, l'attrazione esercitata dalle altre molecole di acqua.

È però evidente che la forza di attrazione sarà tanto maggiore quanto più grande sarà il numero di molecole in contatto con quella che vorrebbe evaporare: tale numero è ovviamente costante se la superficie di contatto acqua-aria è piatta (fig. 5B), ma diminuirà nel caso di una superficie convessa (fig. 5C), mentre aumenterà se la stessa superficie è concava (fig. 5D).

È quindi possibile quantificare queste variazioni con un'equazione che mette in relazione la pressione di equilibrio e_s su una superficie piatta a quella che esiste in aree concave o convesse $e_{s,r}$: essa è funzione sia del raggio di



Fig. 1 – A) Abisso Vincenzo Ricciardi: infiorescenze gessose cresciute direttamente su una parete rocciosa; B) Grotta risorgente del Rio Basino: infiorescenze gessose sviluppatesi su una colata di carbonato di calcio (foto P. Lucci).

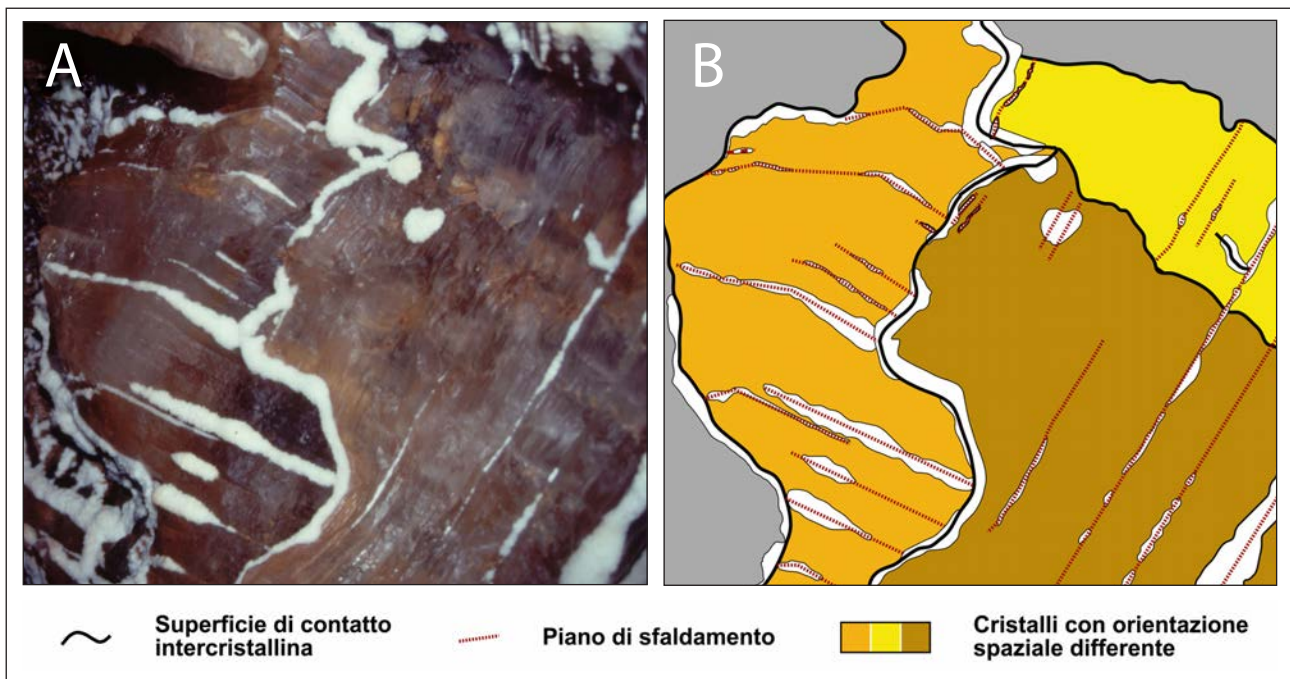


Fig. 2 – A) macrocristalli di gesso sulla cui superficie si sono sviluppati microcristalli di neoformazione lungo linee ben definite che corrispondono a superfici di contatto tra i grandi cristalli ovvero a piani di sfaldamento principali di ognuno di essi (foto P. Forti); B) restituzione grafica dell'immagine A per evidenziare l'elemento strutturale che ha condizionato di volta in volta lo sviluppo delle infiorescenze.

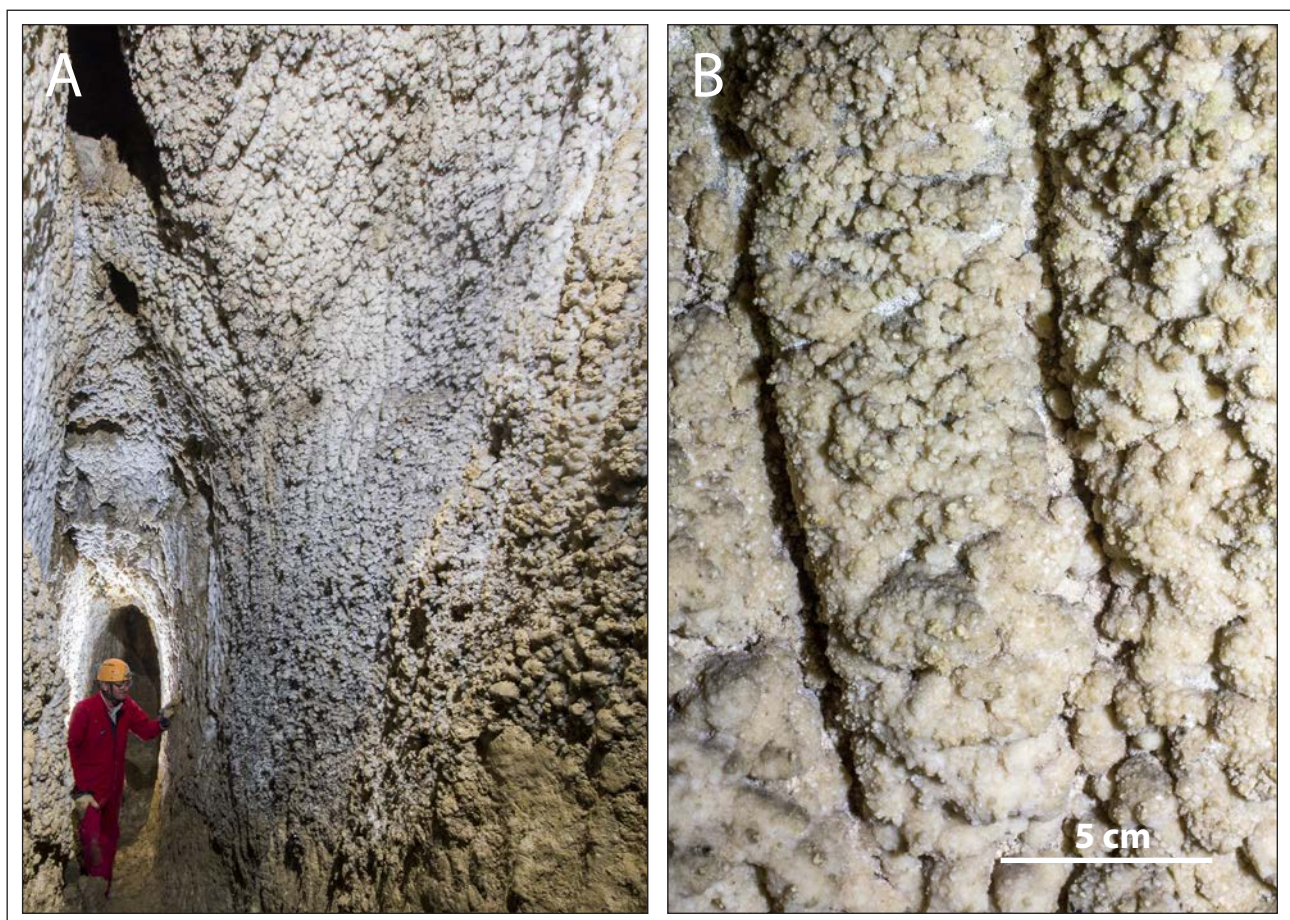


Fig. 3 – A) Grotta presso Ca' Toresina: grosse infiorescenze subparallele di gesso, che ricoprono i bordi delle scalpellature fatte dai caveratori di *lapis specularis* quasi due millenni fa; B) Grotta della Lucerna: particolare delle infiorescenze nei pressi del tratto iniziale della cavità, sono evidenti i bordi delle scalpellature (foto P. Lucci).

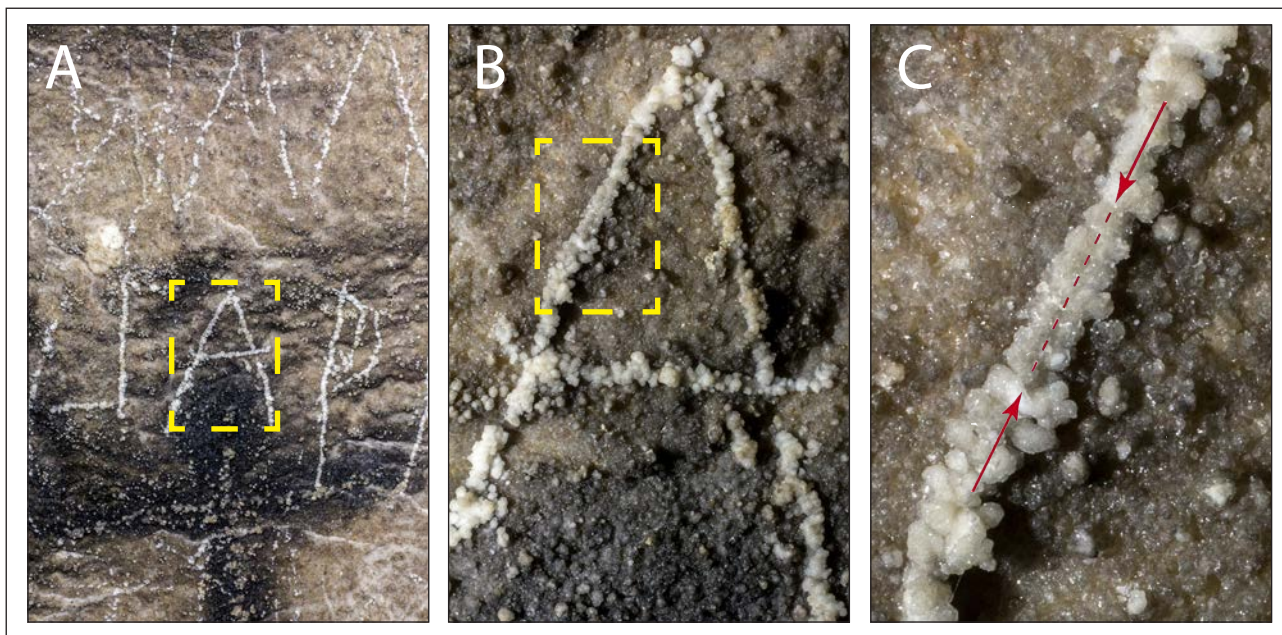


Fig. 4 – Grotta del Re Tiberio: A) serie di graffiti, incisi nel 1917 (PIASTRA 2013), lungo la galleria principale; B) ingrandimento dell'area riquadrata in giallo di A per evidenziare come i graffiti si siano trasformati in infiorescenze gessose; C) ingrandimento dell'area riquadrata di giallo in B dove è ancora possibile notare le due infiorescenze cresciute sui bordi del sottile e poco profondo solco: la linea tratteggiata rossa indica dove l'infiorescenza attuale presenta ancora un avvallamento che marca l'originale presenza del solco dovuto al graffito (foto P. Lucci).

curvatura di queste aree sia della temperatura secondo l'equazione di Kelvin:

$$e_{sr} = e_s \exp\left(\frac{2\sigma M_{mol.w}}{\rho_w RT} \frac{1}{r}\right)$$

dove σ è la tensione superficiale, $M_{mol.w}$ è la massa molecolare e ρ_w è la densità dell'acqua alla temperatura T .

La conseguenza diretta di questo fenomeno è che, se l'atmosfera è satura di umidità, le eventuali piccole fessure presenti su una superficie liscia tendono a riempirsi di acqua di condensazione, mentre eventuali punti prominenti diventano necessariamente sede di evaporazione (fig. 6).

Le zone piatte saranno solo interessate da movimenti capillari che tenderanno a spostare il velo d'acqua rispettivamente verso le zone di evaporazione e/o condensazione.

Per tutto quanto detto sino ad ora è evidente che la genesi delle infiorescenze sui grandi cristalli di gesso, è controllata dalla legge di Kelvin. Il loro sviluppo, invece, dipenderà in grande misura dalle variazioni nel tempo dell'umidità relativa: infatti, se quest'ultima rimanesse sempre a livello di saturazione, il

processo di crescita sarebbe necessariamente estremamente lento (fig. 7).

In grotta però l'oscillazione dell'umidità relativa è un fatto assolutamente normale è causa frequenti passaggi da una atmosfera leggermente sottosatura a una leggermente sovrasatura e questo può aumentare anche di vari ordini di grandezza l'efficienza del sistema.

Infatti durante il periodo di sovrasaturazione la condensazione avverrà essenzialmente all'interno dei piani di sfaldamento e/o di contatto dei macrocristalli. Anche l'acqua che, in misura minore, condensa sulle facce esterne verrà comunque trasportata dalla capillarità all'interno delle fessure beanti e pertanto il processo di loro dissoluzione sarà più veloce (fig. 7B).

Quando invece l'umidità relativa della grotta diminuisce, l'evaporazione dalla superficie dei cristalli si attiva causando immediatamente l'inversione dei movimenti capillari all'interno delle fratture.

L'evaporazione pertanto si concentrerà esattamente all'intersezione di questi piani con la superficie dei cristalli, dove si svilupperanno gli aggregati di gesso microcristallino, che si presenteranno in forma molto allungata e leggermente arrotondata (fig. 7C-D).

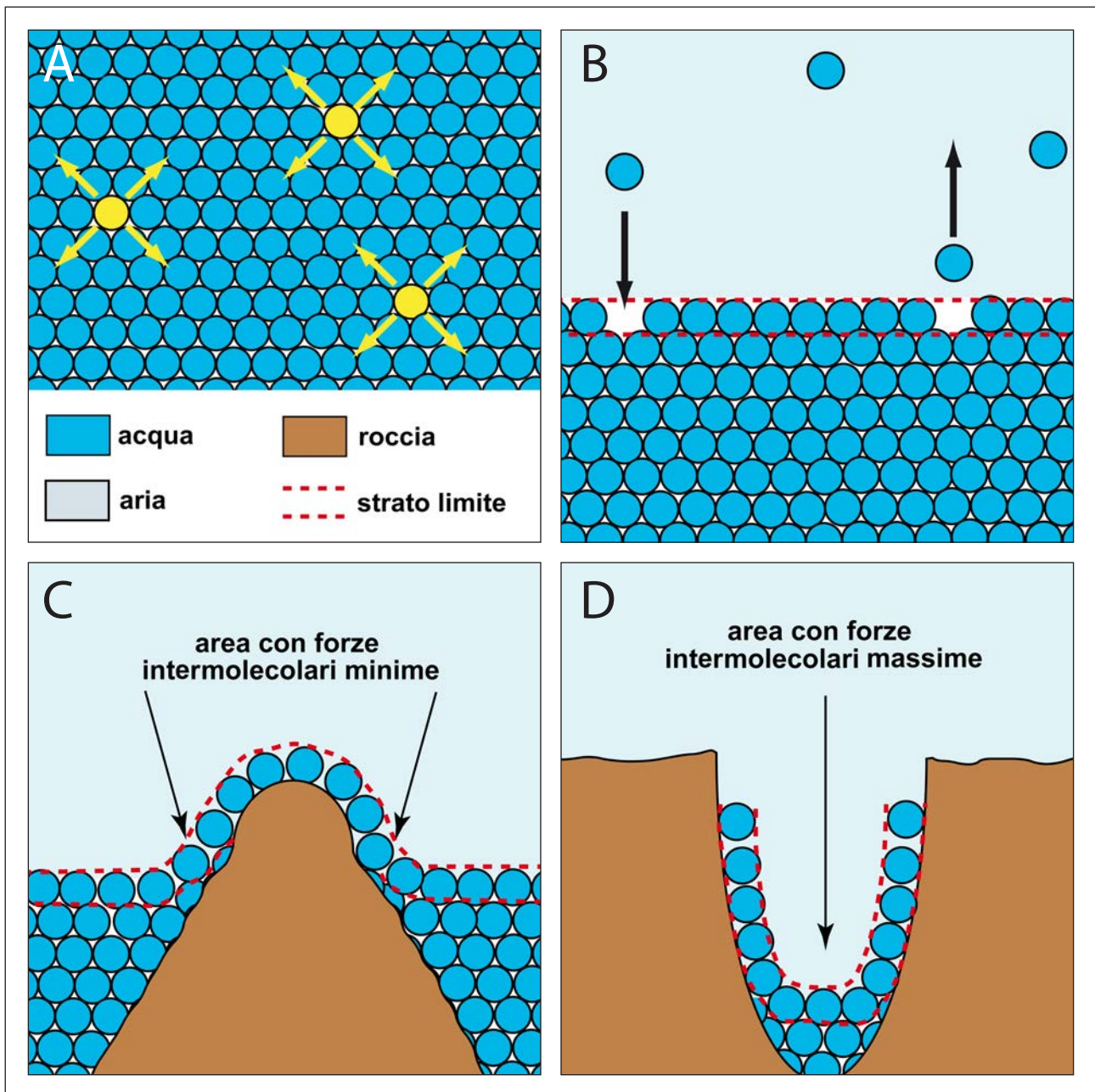


Fig. 5 – A) all’interno della massa d’acqua le singole molecole sono libere di muoversi in ogni direzione dato che le singole forze intermolecolari si annullano a vicenda, ma non possono passare allo stato gassoso; B) nello strato limite al contatto con l’atmosfera invece le forze intermolecolari trattengono le molecole a contatto con la massa liquida sottostante, a meno che non abbiano sufficiente energia per passare allo stato gassoso; C) se lo strato limite ha una forma convessa le forze intermolecolari sono inferiori e quindi le molecole possono uscire dallo strato limite con maggiore facilità; D) se la superficie di contatto aria-acqua è concava allora le forze intermolecolari sono maggiori ed è più facile che si verifichi il fenomeno della condensazione.

All’inizio del loro sviluppo, le crosticine di gesso aciculari fanno aumentare ambedue i fenomeni (condensazione ed evaporazione) offrendo loro una maggiore superficie per i moti capillari. Ma, di mano in mano che il processo si evolve e la crosta di gesso secondario diventa più spessa, quest’ultima diventerà meno porosa e, pertanto, tenderà a far diminuire l’acqua

in transito all’interno delle fessure, flusso che da un certo momento in poi cesserà del tutto. Dopodiché le varie infiorescenze lineari potranno svilupparsi solo per risalita capillare ed evaporazione dell’acqua che condensa sulla superficie piatta dei macrocristalli, dato che non ci sarà più possibilità di condensazione accentuata all’interno delle fessure stesse,

oramai sigillate.

Ovviamente, però, questo comporterà la fine del fenomeno indotto dalla legge di Kelvin e pertanto l'umidità relativa dell'atmosfera in quel dato punto della grotta dovrà necessariamente essere maggiore del 100%, altrimenti non potrà avvenire la condensazione sulle facce piane dei cristalli.

Questo spiega anche come mai la grande maggioranza delle infiorescenze gessose lungo i piani di sfaldamento e/o intercristallini abbiano spessori di pochi millimetri e quasi sempre molto simili tra loro.

Nuovi dati ricavati dallo studio di dettaglio delle infiorescenze antropogeniche

Mentre le caratteristiche di tutte le fessure dei macrocristalli sono dimensionalmente molto simili (larghezza pochi centesimi di millimetro e profondità fino a vari centimetri) lo

stesso non può dirsi delle incisioni che hanno permesso lo sviluppo delle due infiorescenze antropogeniche descritte all'inizio di questo lavoro. Nel caso infatti delle tracce di attrezzi metallici di epoca romana della Grotta della Lucerna e della Grotta presso Ca' Toresina siamo in presenza di solchi con larghezza di 1-2 centimetri alla sommità e profondità di poco inferiore, mentre nel caso del graffito del Re Tiberio la larghezza è millimetrica e la profondità addirittura inferiore.

È chiaro che l'efficienza del processo indotto dalla legge di Kelvin, che si basa sul fatto che l'apertura delle fessure deve essere dello stesso ordine di grandezza delle singole molecole d'acqua, è sicuramente molto inferiore nel caso del graffito della Grotta del Re Tiberio e nulla per le infiorescenze della Grotta della Lucerna e della Grotta presso Ca' Toresina.

In ambedue i casi, quindi, il processo principale che causa l'evoluzione degli aggregati di gesso microcristallino sarà dunque l'alternan-

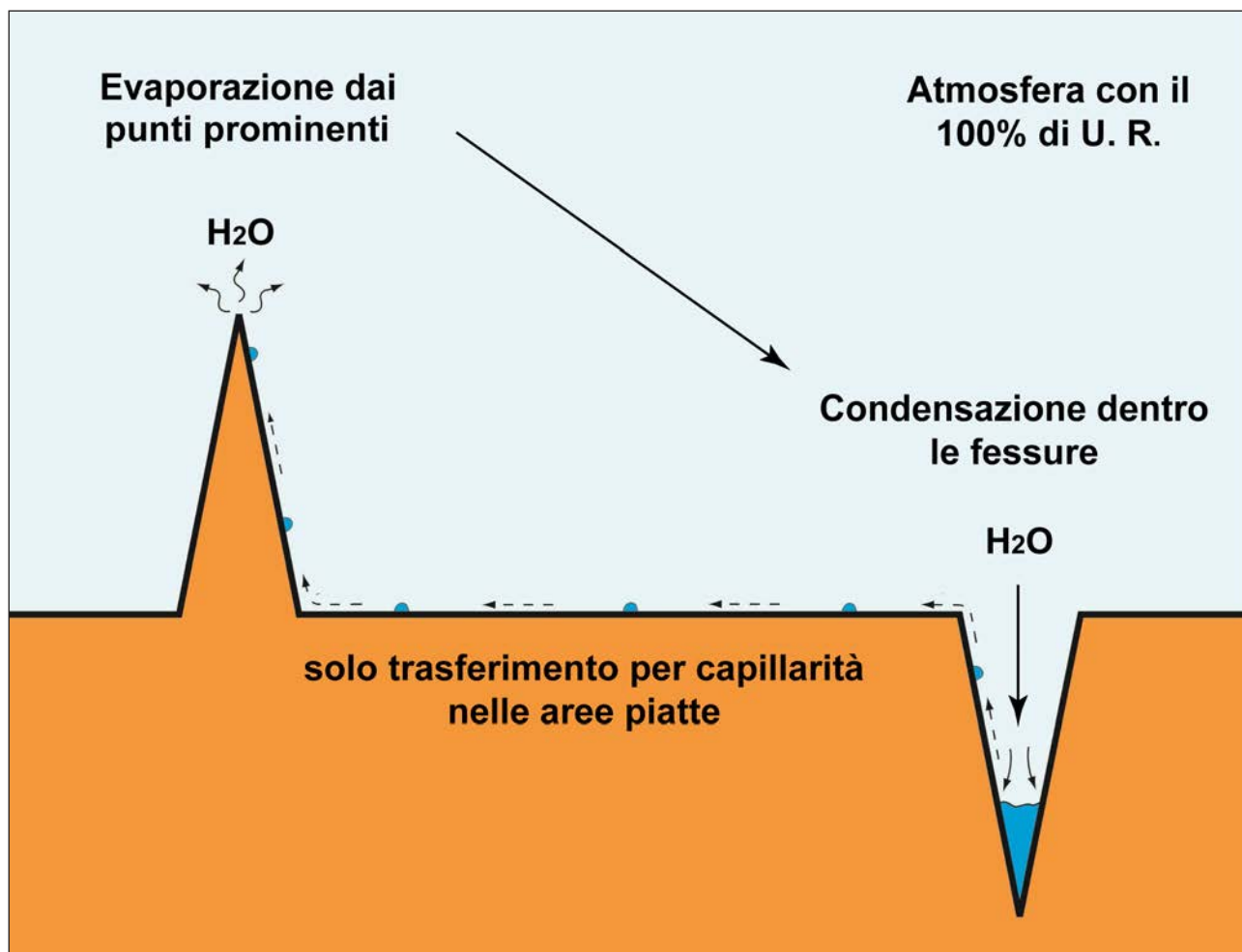


Fig. 6 – La legge di Kelvin spiega come mai su una superficie, in contatto con un'atmosfera saturata di vapore acqueo, vi siano luoghi in cui l'evaporazione e la condensazione sono attive contemporaneamente, mantenendo così invariata la concentrazione di umidità relativa (da BADINO et alii 2011, modificato).

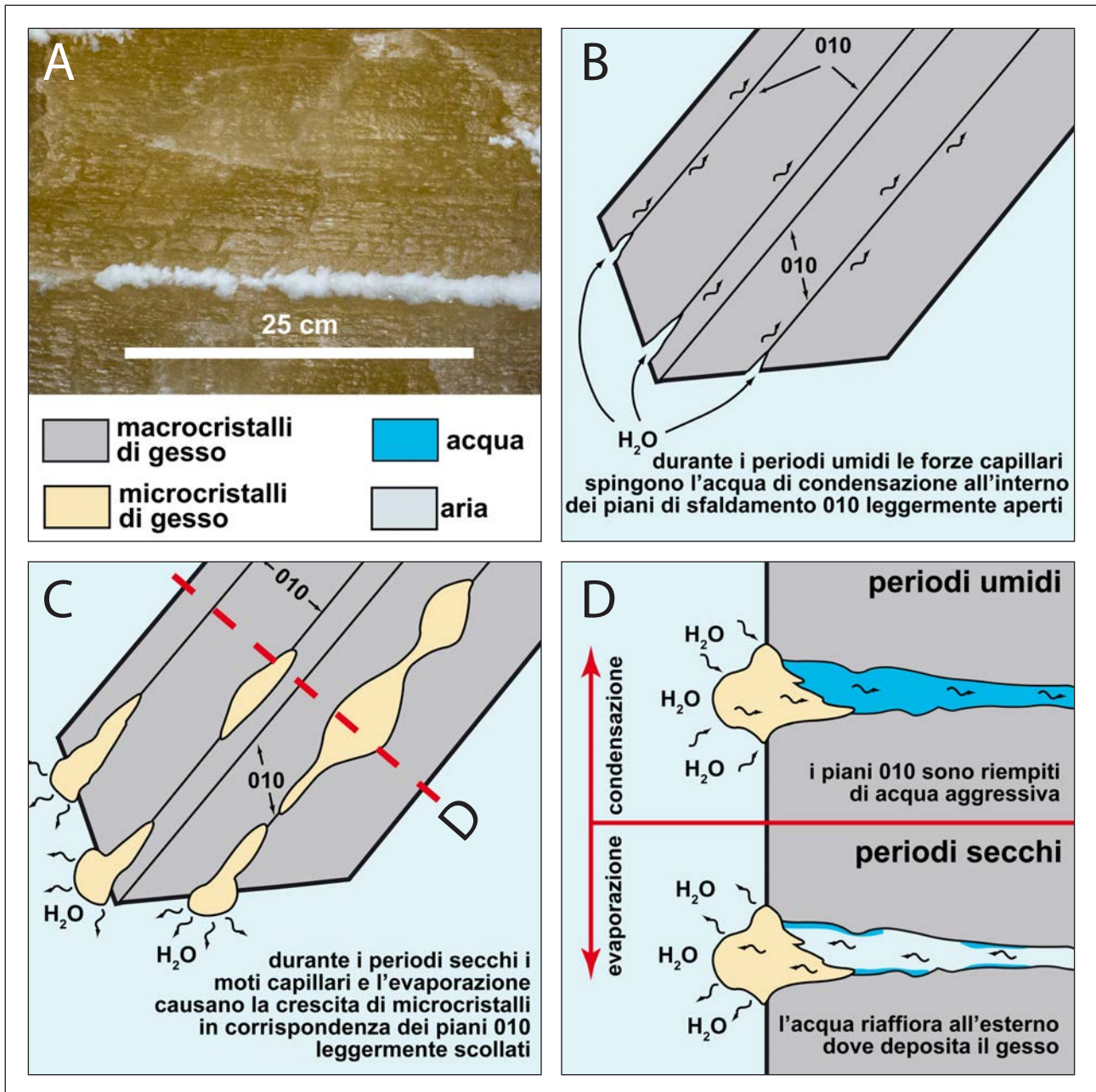


Fig. 7 – Meccanismo genetico per lo sviluppo delle infiorescenze gessose sulle facce dei macrocristalli di gesso (foto P. Lucci). L'alternanza di periodi più umidi e più secchi permette il progressivo sviluppo di piccoli aggregati microcristallini di gesso a partire dall'intersezione dei piani di sfaldamento beanti con la superficie esterna dei macrocristalli (da BADINO *et alii* 2011, modificato).

za di periodi in cui prevale la condensazione ad altri in cui prevale l'evaporazione, a seguito delle variazioni di temperatura e umidità relativa nei primi metri di queste due grotte. Questo meccanismo evolutivo viene confermato indirettamente dal fatto che le infiorescenze antropiche si trovano sempre nelle vicinanze dell'ingresso delle cavità e quindi in una zona termovariabile, caratterizzata da correnti d'aria che fanno variare, anche repentinamente, il tasso di umidità relativa dell'atmo-

sfera di grotta.

Queste correnti d'aria, però, rendono anche la composizione e la temperatura dell'aria disomogenea con valori che possono differire, anche notevolmente, tra punti molto vicini tra loro. Quest'ultimo fenomeno è perfettamente osservabile nella Grotta della Lucerna, dove, a pochissima distanza da grandi infiorescenze gessose vi sono aree invece in cui i solchi antropici sono rimasti assolutamente inalterati, non essendo mai stati interessati dal fenome-

no della condensazione (fig. 8).

L'evoluzione di tutti e due i tipi di infiorescenze antropogeniche, comunque, segue lo stesso meccanismo, basato sulla risalita capillare delle soluzioni fino alla sommità dei bordi del solco dove l'evaporazione fa depositare il gesso microcristallino.

La notevole differenza dimensionale però, ci permette di evidenziare come lo sviluppo delle infiorescenze stesse vari appunto al variare della geometria dei solchi.

Nel caso del graffito del Re Tiberio, infatti, essendo la depressione prodotta dall'incisione estremamente poco profonda la crescita degli aggregati cristallini fa sì che la depressione venga colmata in poco tempo e quindi il processo di risalita capillare dal suo fondo si interrompa nell'arco di pochi mesi o, al più, pochi anni.

Una volta che non esiste più la possibilità di risalita capillare dal fondo della depressione, la soluzione che può alimentare l'infiorescenza potrà arrivare solo dall'esterno, quindi dalla superficie gessosa limitrofa e, conseguentemente, l'infiorescenza tenderà a trasformarsi in aggregato di classiche rosette di gesso (aggregati di cristalli lenticolari), pur mantenendo complessivamente la forma dell'originale incisione che ha dato inizio alla deposizione privilegiata (fig. 4C).

Nel caso invece della scarpellature della Grotta della Lucerna e della Grotta presso Ca' Toresina, l'effetto della crescita delle infiorescenze, che evidentemente si protrae per migliaia di anni essendo tuttora attivo, invece che portare al riempimento delle depressioni ne permetterà la sua conservazione nel tempo, e, a volte, addirittura un suo progressivo approfondimento. Questo fenomeno, che è esattamente l'opposto di quello che caratterizza le infiorescenze naturali e quelle antropogeniche del Re Tiberio è

dovuto essenzialmente alla ampiezza dei solchi (fig. 8), che sono, in questo caso, maggiori di ben due ordini di grandezza.

Questo fa sì che l'acqua di capillarità, che raggiunge la sommità delle creste, evaporando, non abbia modo, anche in un lasso di tempo abbastanza lungo, di formare delle infiorescenze di dimensioni tali da poter sigillare il solco stesso.

È stato poi sperimentalmente appurato un altro aspetto peculiare di queste infiorescenze: infatti esse ricoprono, non solo i bordi sommitali, ma, con spessori differenti, anche tutte le pareti interne e spesso anche il fondo stesso del solco (fig. 9) tanto che, in buona parte della parte iniziale della galleria le aree con infiorescenze gessose ricoprono totalmente il gesso

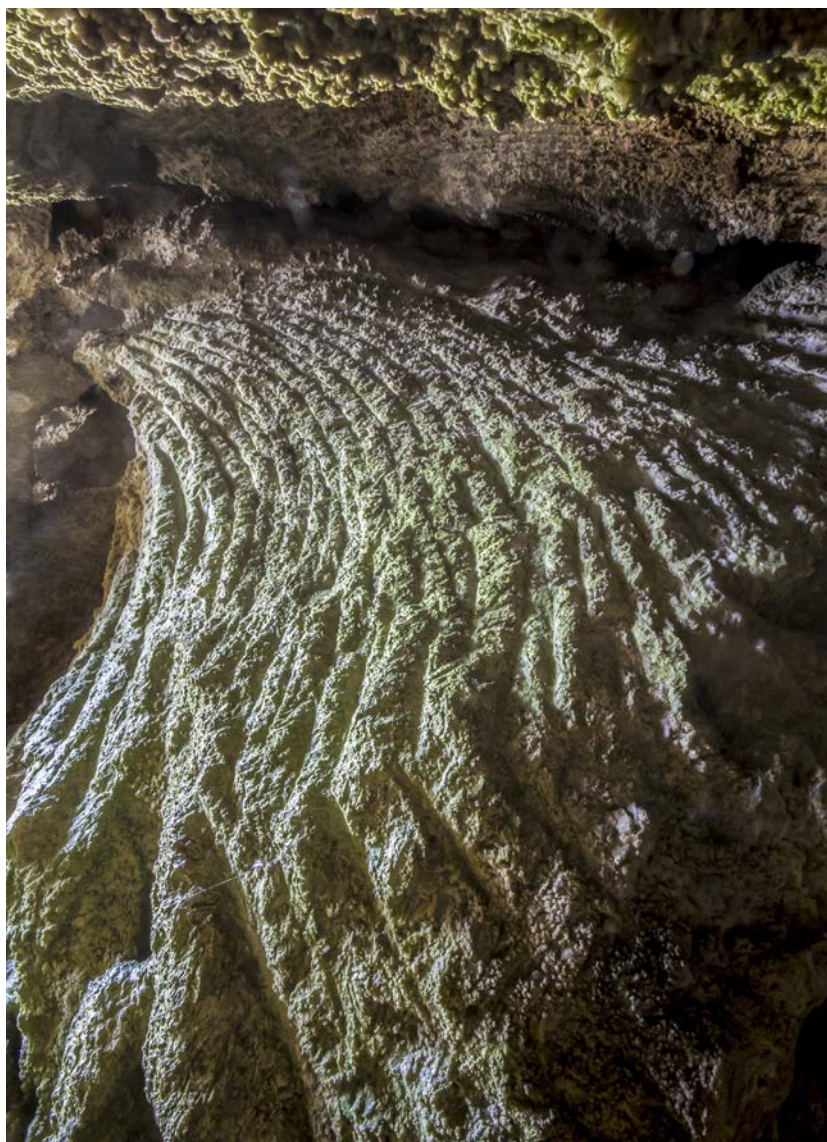


Fig. 8 – Grotta della Lucerna: nelle immediate vicinanze delle infiorescenze di fig. 3B, vi sono aree in cui le incisioni fatte dai cavaatori romani di *lapis specularis* non sono state per nulla interessate dallo sviluppo di infiorescenze gessose (foto P. Lucci).

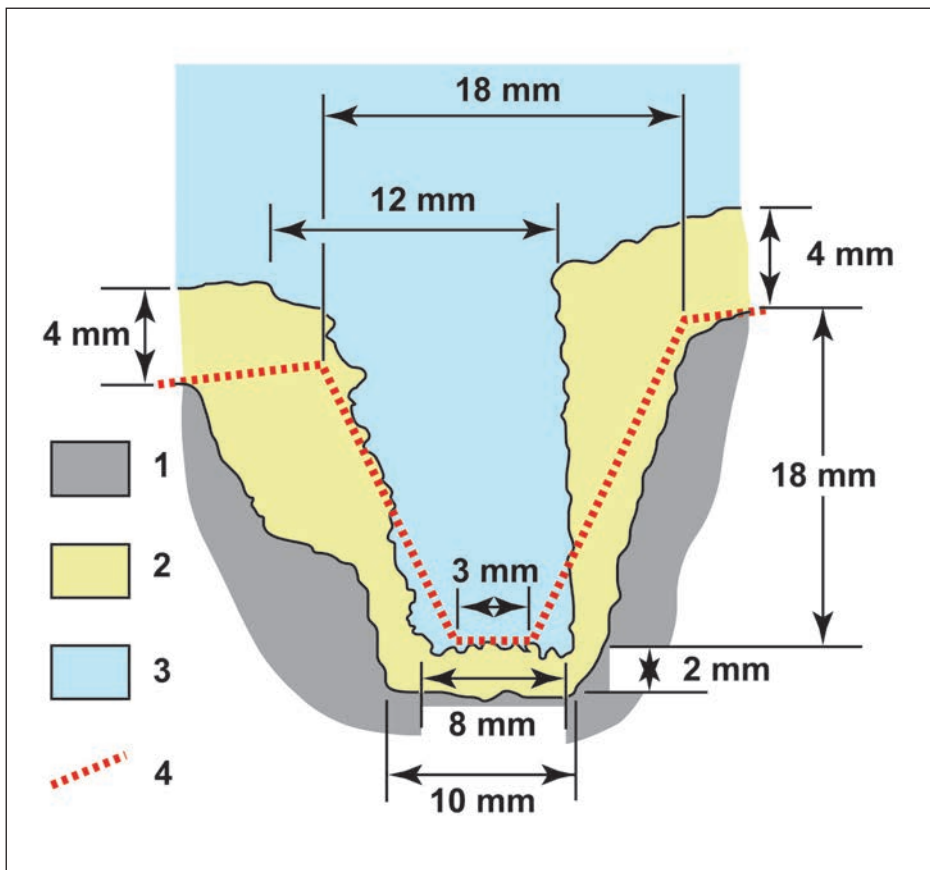


Fig. 9 – Grotta della Lucerna: ricostruzione sperimentale della sezione trasversale di un solco ricoperto da infiorescenze. 1) roccia primaria; 2) infiorescenza gessosa; 3) aria; 4) traccia della sezione stimata del solco originario dell'attrezzo metallico.

primario, che non è visibile in nessun punto. Questo è avvenuto perché, come già precedentemente detto, l'area interessata dalle infiorescenze è molto prossima all'ingresso e quindi le variazioni di temperatura e di umidità relativa sono più accentuate che nelle aree a maggior distanza dall'esterno.

Queste condizioni climatiche rendono possibile, e probabilmente frequente, l'evaporazione totale delle soluzioni che periodicamente bagnano l'area e pertanto causano la deposizione di gesso su tutta l'area.

È evidente che il meccanismo di condensazione, trasporto capillare ed evaporazione fa sì che la parte interna dei solchi e il loro fondo siano il punto privilegiato per la ridissoluzione del gesso mentre le "creste" rappresentano i punti dove è massima l'evaporazione e quindi per la formazione di infiorescenze gessose (fig. 10).

Di conseguenza i margini esterni si dovrebbero sollevare ad una velocità maggiore di quella che invece caratterizzerà il fondo della incisione, anche perché quest'ultimo sarà, almeno, in parte oggetto di ridissoluzione durante i periodi di condensazione.

Quindi, in teoria almeno, i solchi dovrebbero progressivamente aumentare di profondità, mentre la loro sezione interna dovrebbe par-

zialmente allargarsi verso il basso e restringersi verso l'alto per il prevalere del processo di deposizione rispetto a quello di ridissoluzione, con conseguente progressiva verticalizzazione delle pareti laterali.

Questo sarà sicuramente vero se la condensazione e l'evaporazione avvengono in maniera uguale sulle due parti del solco originario (fig. 10A), ma, se questi due fenomeni dovessero avvenire in maniera disomogenea (fig. 10B), allora l'evoluzione dei due "fianchi" del solco originario seguirebbero dinamiche differenti e quindi la loro morfologia finale non sarebbe più speculare.

Questa seconda situazione è esattamente quella che si è manifestata nel solco da noi studiato in dettaglio (fig. 9), dove infatti il fianco sinistro ha subito una maggiore ridissoluzione a seguito evidentemente di una maggiore condensazione su di lui. L'effetto della evaporazione, invece, è stato abbastanza equamente distribuito su ambo i lati del solco: infatti gli spessori medi delle infiorescenze gessose sono analoghi sul lato destro e quello sinistro.

In assenza di dati sperimentali puntuali è oggettivamente impossibile definire quali siano i parametri che hanno controllato l'evoluzione differenziata dei processi di

condensazione e di evaporazione nei due fianchi del solco. Si può giusto avanzare l'ipotesi che la condensazione sia maggiore sul lato sinistro perché, a differenza di quello destro, è direttamente esposto ai flussi di aria sovrassaturata di umidità, mentre la successiva risalita capillare non ne risente forse perché quest'ultima avviene in assenza di movimenti nell'atmosfera della grotta.

Conclusioni

Lo studio di dettaglio delle infiorescenze gessose sviluppatasi su graffiti e solchi antropogeni-

ci, recentemente osservati nella Vena del Gesso romagnola, ha permesso di evidenziare come questi particolari aggregati cristallini di neoformazione seguano solo in parte i meccanismi evolutivi delle infiorescenze naturali, che si sviluppano lungo i principali piani di sfaldamento e/o di contatto dei grandi cristalli di gesso.

Infatti, data la maggiore ampiezza delle incisioni antropiche l'efficienza della legge di Kelvin è estremamente ridotta e, conseguentemente, molto maggior rilevanza assume la periodica variazione di umidità relativa nell'atmosfera dell'area in cui le infiorescenze si sviluppano.

La dimensione dei solchi è anche discriminan-

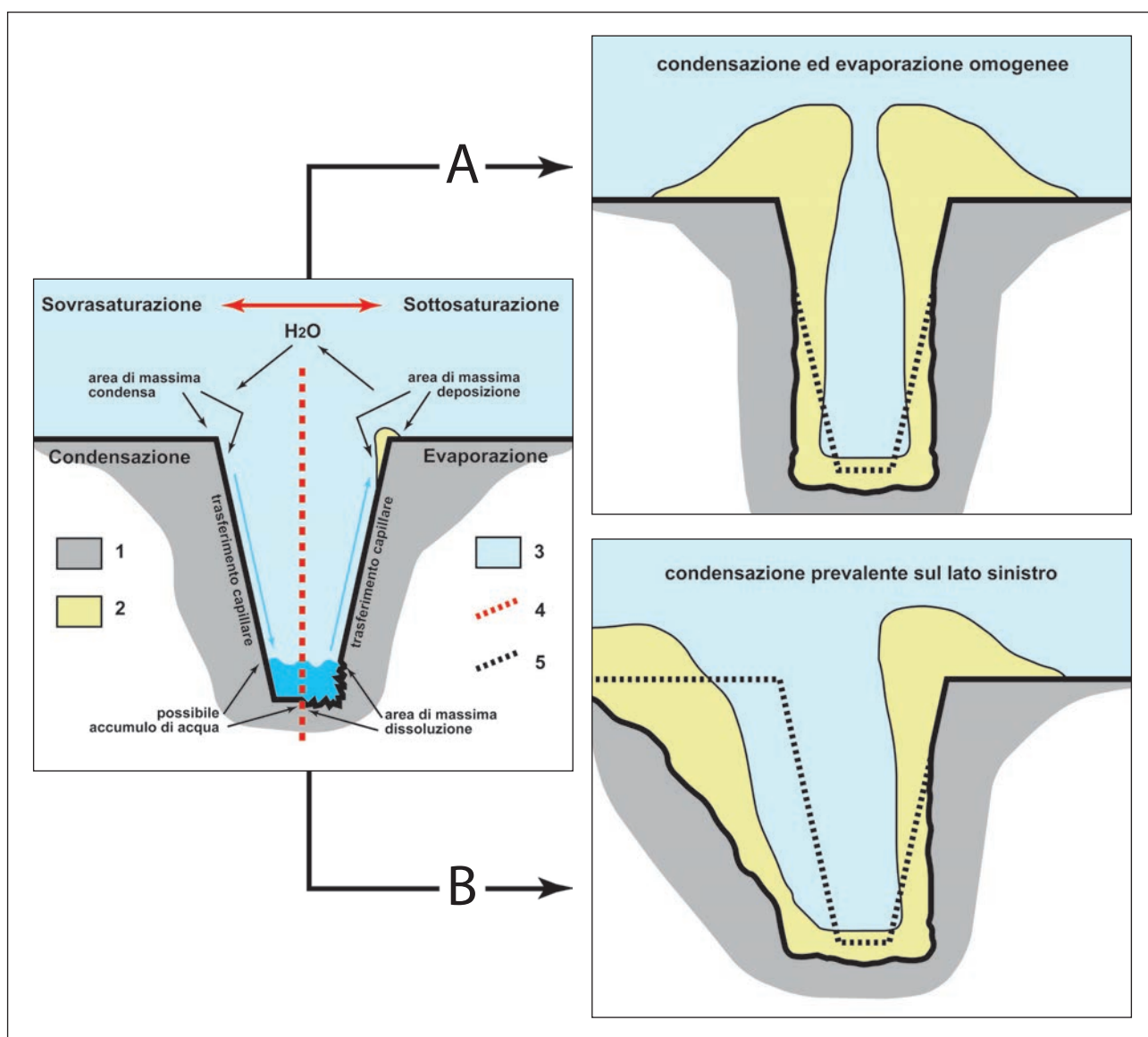


Fig. 10 – Sezione schematica di un solco di scalpello o piccone con evidenziati i processi che avvengono rispettivamente durante la condensazione e la successiva evaporazione: 1) roccia gessosa; 2) gesso di neoformazione 3) atmosfera di grotta; 4) passaggio da condensazione (a sinistra) a condensazione (destra); 5) sezione originaria del solco. A: fenomeni di condensazione ed evaporazione omogenei nei due lati del solco; B: fenomeni di condensazione ed evaporazione non omogenei.

te per la permanenza nel tempo degli stessi dato che, se sono di ordine millimetrico o inferiore, vengono in poche decine di anni completamente sigillati dal gesso di neoformazione che quindi svilupperà delle cordonature a rilievo esattamente su di loro.

Al contrario invece, se i solchi originali hanno una larghezza centimetrica, il processo di condensazione-evaporazione può addirittura portare al loro approfondimento e allargamento: pertanto il processo potrà rimanere attivo per migliaia di anni e teoricamente anche non arrestarsi mai.

Il presente studio ha messo in evidenza un altro fatto, che non era assolutamente scontato: infatti nonostante che i fenomeni carsici nei gessi della nostra regione siano i più studiati al mondo (FORTI 2018) è ancora possibile trovare al loro interno cose sempre nuove e interessanti.

Bibliografia

- G. BADINO, J.M. CALAFORRA CHORDI, P. FORTI, P. GAROFALO, L. SANNA 2011, *The present day genesis and evolution of cave minerals inside the Ojo de la Reina cave (Naica Mine, Mexico)*, "International Journal of Speleology" 40, 2, pp. 125-131.
- P. FORTI 2017, *Chemical deposits in evaporite caves: an overview*, "International Journal of Speleology" 46, 2, pp. 109-135.
- P. FORTI (Ed.) 2018, *Evaporite karst & caves of Emilia Romagna Region. Tentative List - supplementary description*, (Regione Emilia Romagna, Direzione Generale del Territorio e dell'Ambiente), Bologna, rapporto inedito.
- P. FORTI, P. LUCCI 2016, *Come si sviluppano i cristalli prismatici di gesso sulle stalattiti?*, in M.L. GARBERI, P. LUCCI, S. PIASTRA (a cura di), *Gessi e solfi della Romagna orientale*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXXI), Faenza, pp. 157-162.
- S. PIASTRA 2013, *La Tana del Re Tiberio: un deposito di memorie tra natura e cultura*, in M. ERCOLANI, P. LUCCI, S. PIASTRA, B. SANSAVINI (a cura di), *I Gessi e la cava di Monte Tondo. Studio multidisciplinare di un'area carsica nella Vena del Gesso romagnola*, (Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, vol. XXVI), Faenza, pp. 403-450.