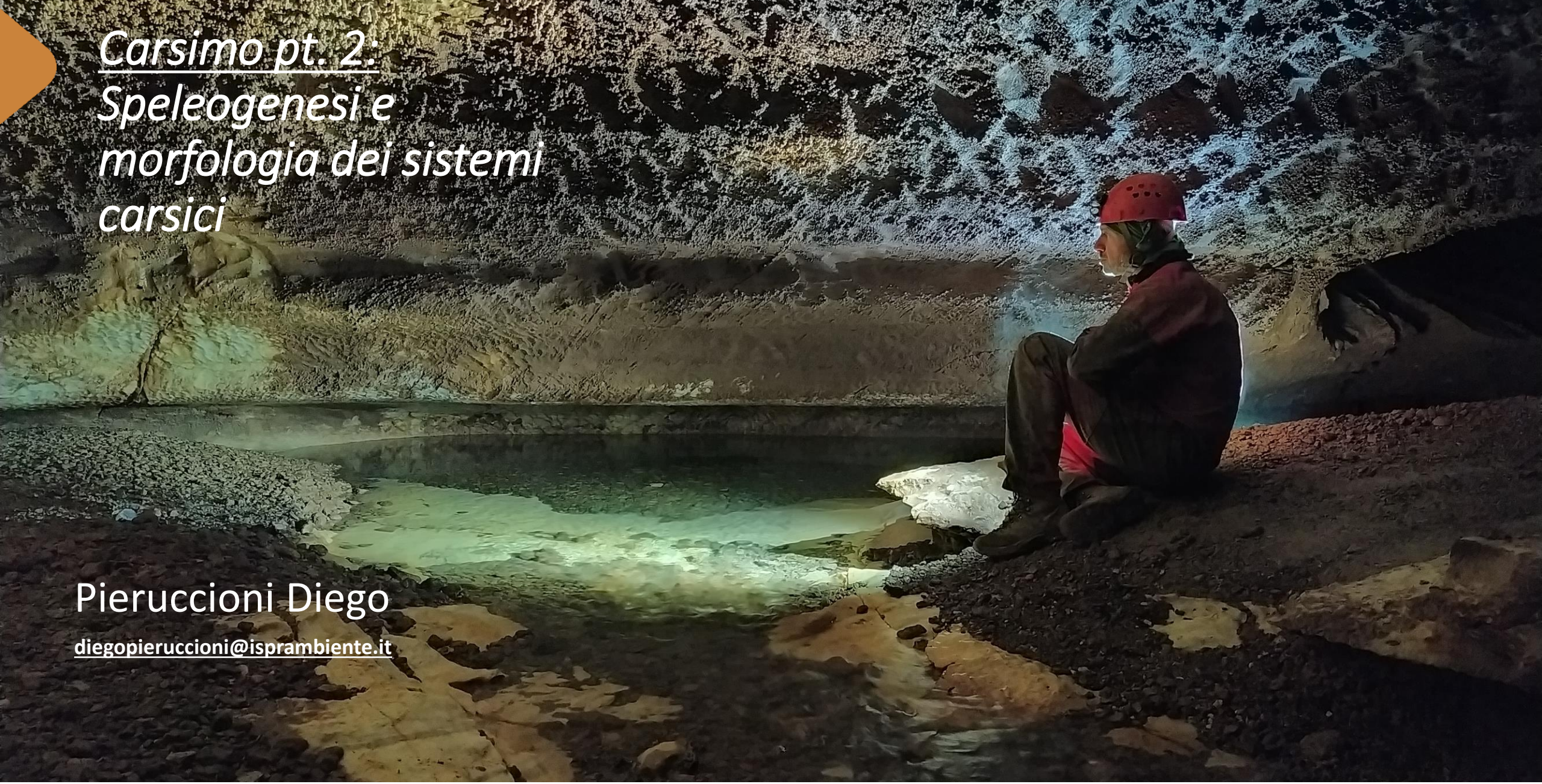
Carsimo pt. 2: Speleogenesi e morfologia dei sistemi carsici



Pieruccioni Diego

diegopieruccioni@isprambiente.it

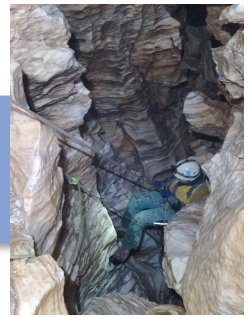
Corso nazionale di aggiornamento culturale online in Geologia

12-28 Novembre 2024

Speleogenesi carsica

Le macroforme ipogee

Le microforme ipogee



Le concrezioni

La speleogenesi

La **speleogenesi è l'insieme dei processi che portano alla formazione delle grotte**, ovvero di cavità naturali di dimensioni tali da essere accessibile all'uomo.
I processi speleogenetici sono molteplici e si manifestano in tutti i contesti geologico-ambientali.

Nelle rocce carbonatiche le grotte si formano essenzialmente grazie a due tipi di processi in cui l'agente è l'acqua:

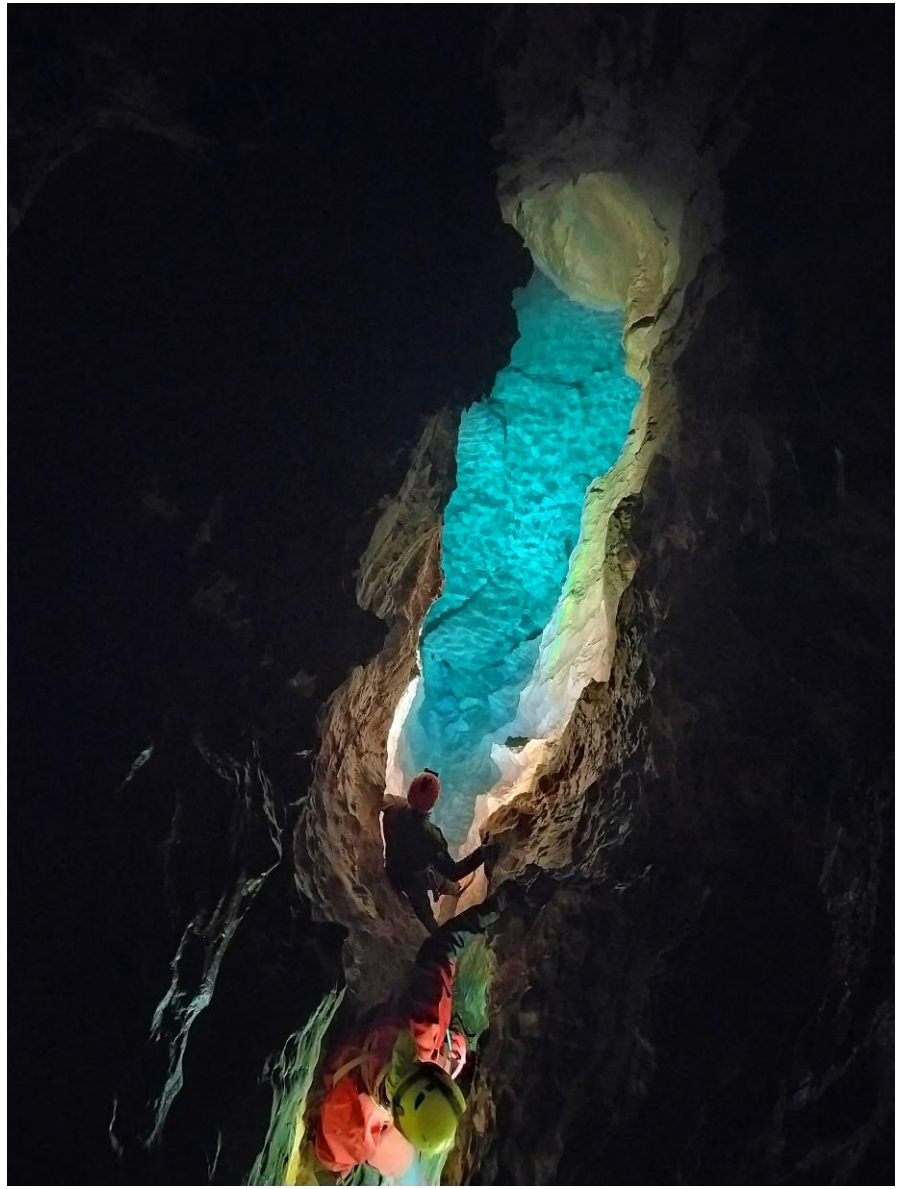
- **processi chimici** (dissoluzione della roccia e corrosione);
- **processi fisici** (erosione).

Le acque coinvolte possono essere:

- **acque meteoriche** (epigeniche - ricarica dall'alto verso il basso);
- **acque profonde** (ipogeniche - ricarica dal basso verso l'alto).

Le sostanze acide che partecipano al processo carsico possono essere:

- **acido carbonico** (H_2CO_3);
- **acido solforico** (H_2SO_4).



Lago Nero (Alpi Apuane)

I fattori che influenzano la speleogenesi

Fattori geologici:

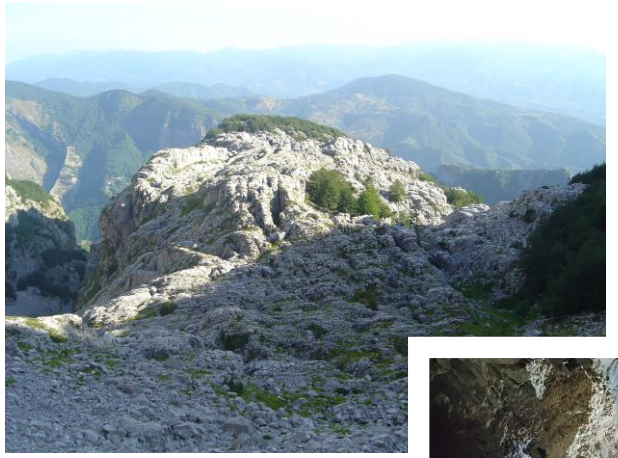
- **<u>passivi</u>** (litologia, strutture geologiche, ecc);
- **<u>attivi</u>** (energia del rilievo, tipo di drenaggio superficiale, provenienza delle acque, tipo di alimentazione, tettonica attiva, ecc).

Fattori climatici:

- **<u>Precipitazioni</u>** (quantità e tipo di precipitazione; distribuzione nel tempo);
- **<u>Temperatura</u>** (velocità delle reazioni chimiche; solubilità della CO2 in acqua; stato fisico dell'acqua (ghiaccio o liquido); evaporazione).

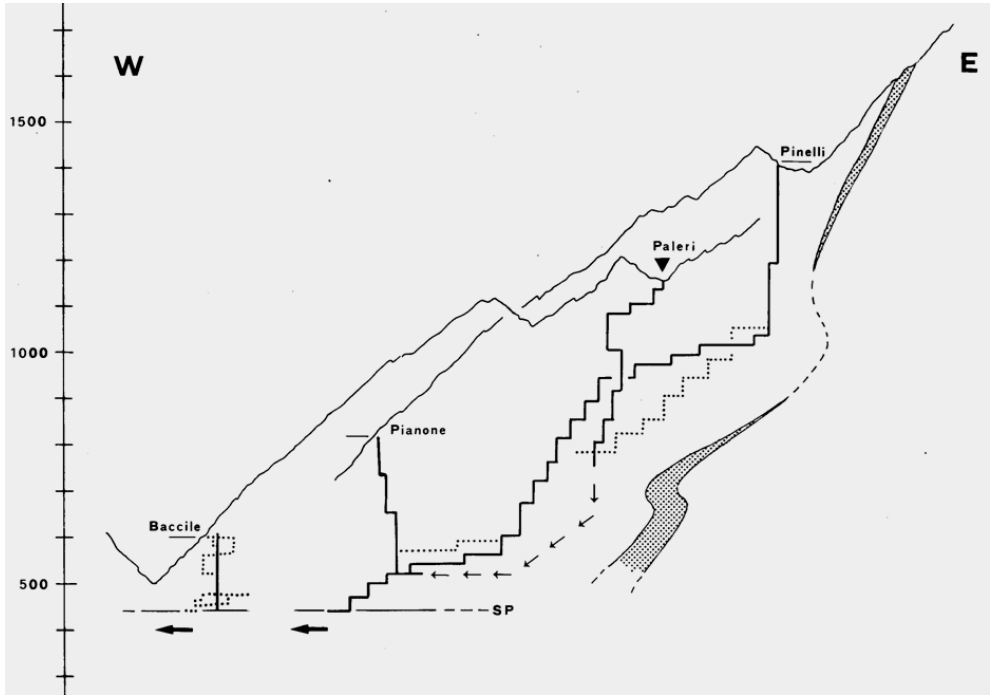
Fattori biologici:

- **<u>vegetazione</u>** (produzione di CO_2).

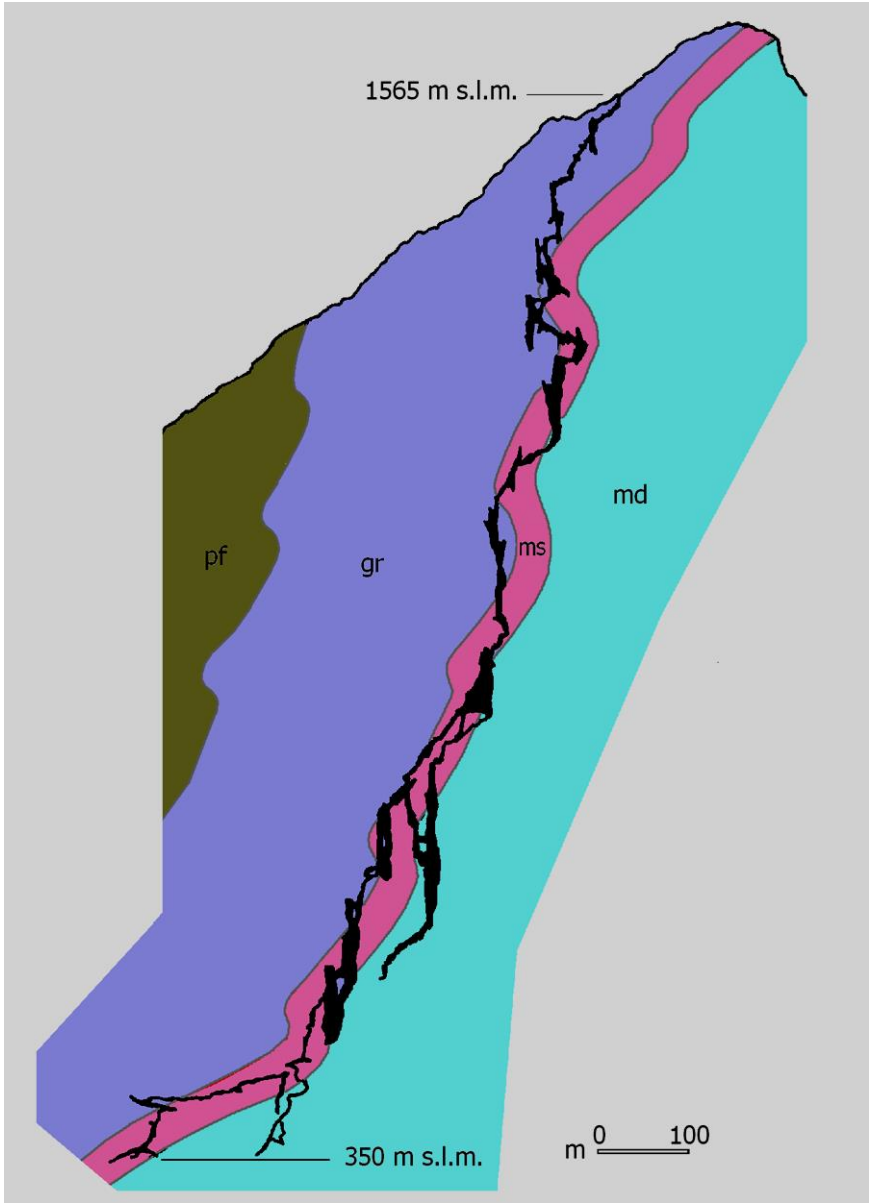


Fattori geologici: la stratificazione

L'inclinazione degli strati, e il differente grado di «carsificabilità» delle rocce, ha una forte **influenza nella struttura di una grotta**.
Nella zona vadosa, dove il flusso è condizionato direttamente dalla gravità, i condotti tendono a seguire l'immersione degli strati.
Nella zona freatica, ove il flusso è condizionato dal gradiente di pressione, i condotti seguono spesso la direzione di strato.



Complesso carsico del M. Tambura (Alpi Apuane; da Piccini, 2009)



Abisso Olivifer (Alpi Apuane; da Piccini, 2009)

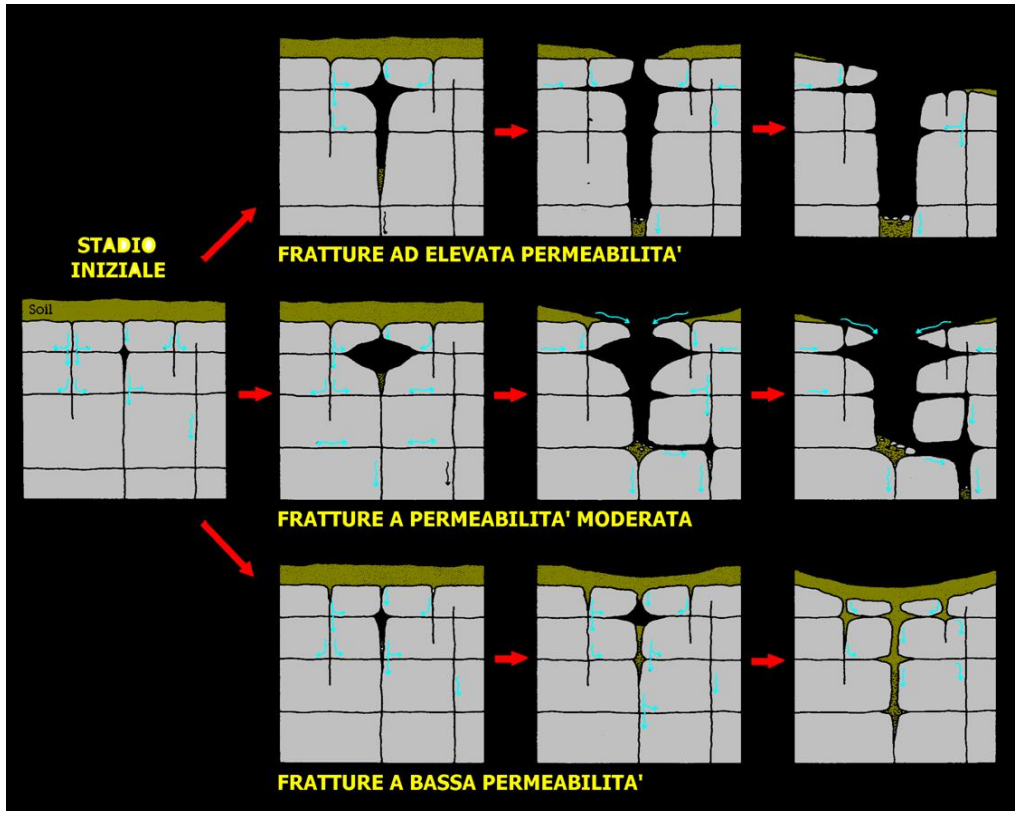
Fattori geologici: la fratturazione

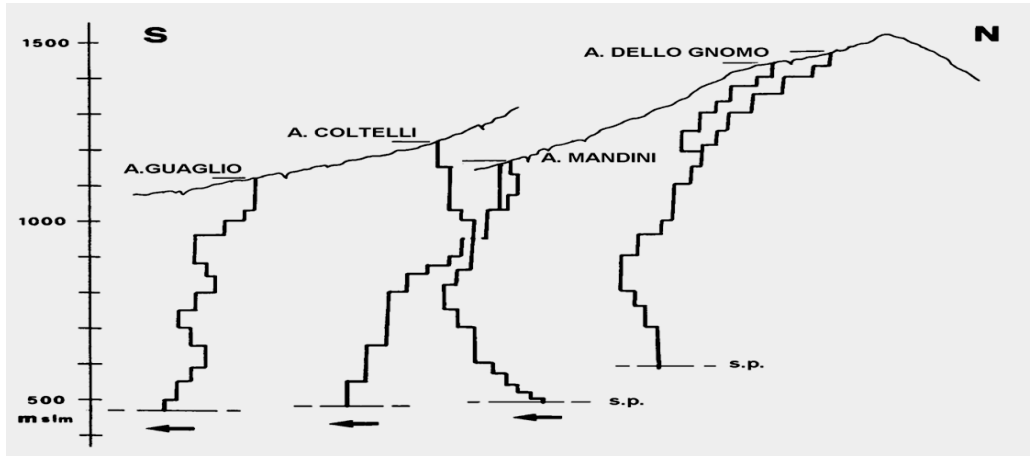
<u>Il grado di fratturazione influenza in modo determinante lo sviluppo di forme carsiche di superficie e di sottosuolo</u>.

Se la conducibilità idraulica è alta abbiamo la formazione di cavità a pozzo, se la conducibilità è più bassa avremo in genere la formazione di ampie depressioni poco accentuate, centrate sulle zone più fratturate.

Il grado di fratturazione influenza la struttura dei sistemi carsici, la quale dipende dalle condizioni di permeabilità verticale "in grande" dell'ammasso roccioso.

Fratturazione superficiale e profonda in marmi (Alpi Apuane)





Fattori geologici: assetto geologico strutturale

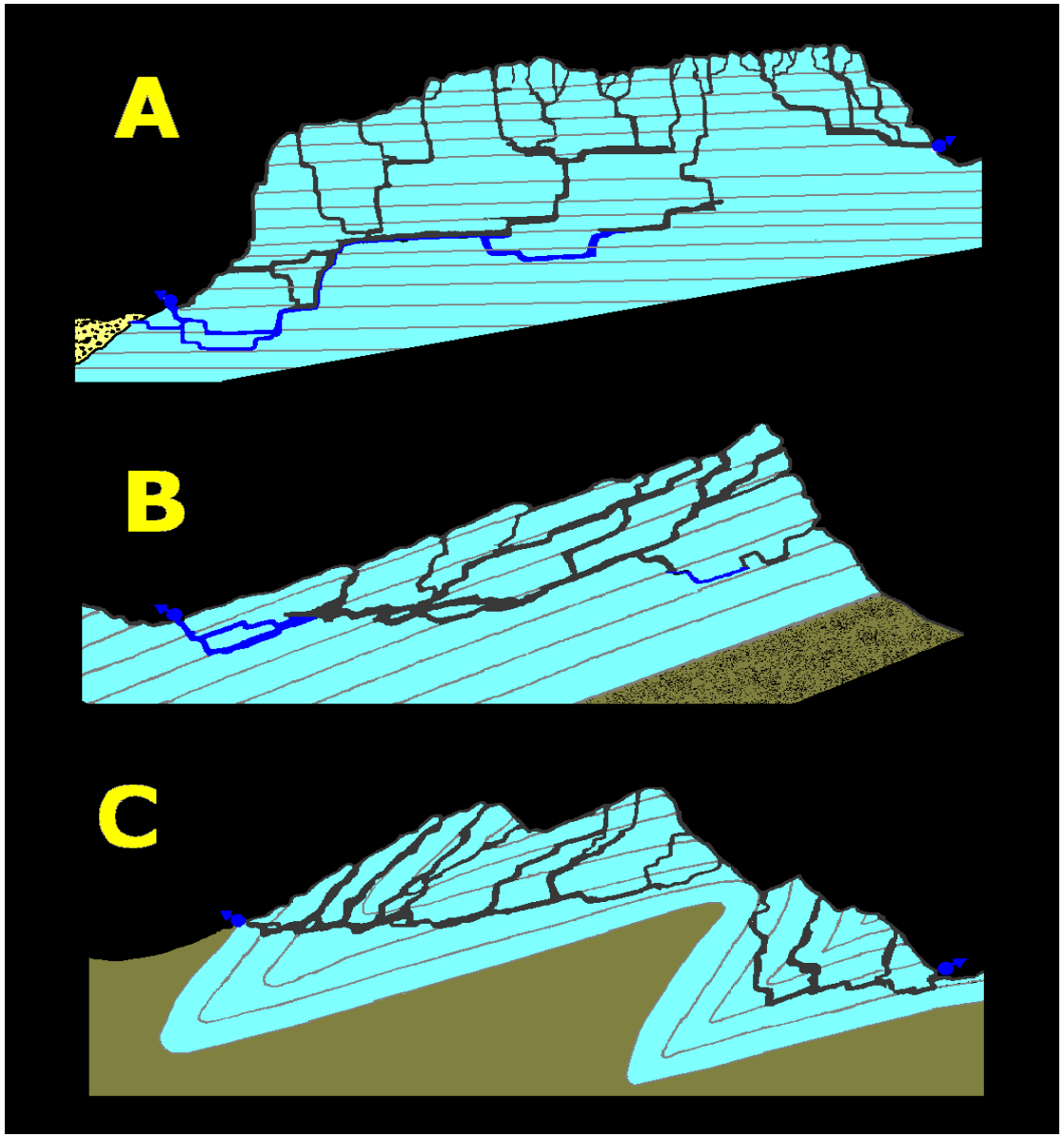
L'assetto strutturale a grande scala influenza la configurazione dei sistemi carsici.

Si possono avere tre situazioni tipo:

A. **assetto a strati orizzontali**;

B. **assetto a strati inclinati**;

C. **assetto a pieghe**.



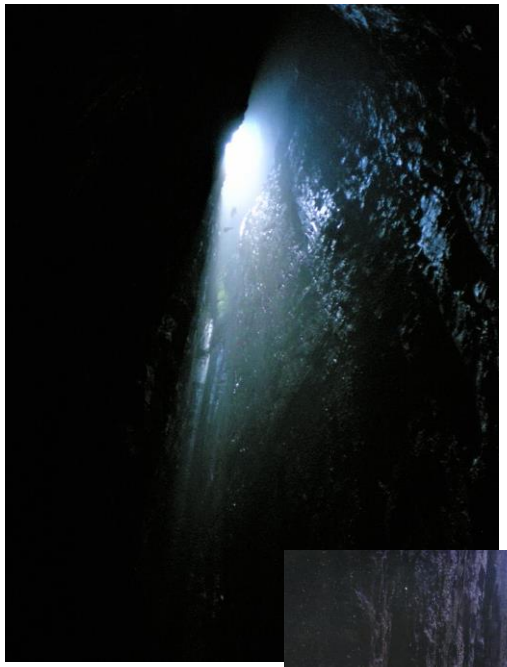
Assetto strutturale e carsismo (da Piccini, 2009)

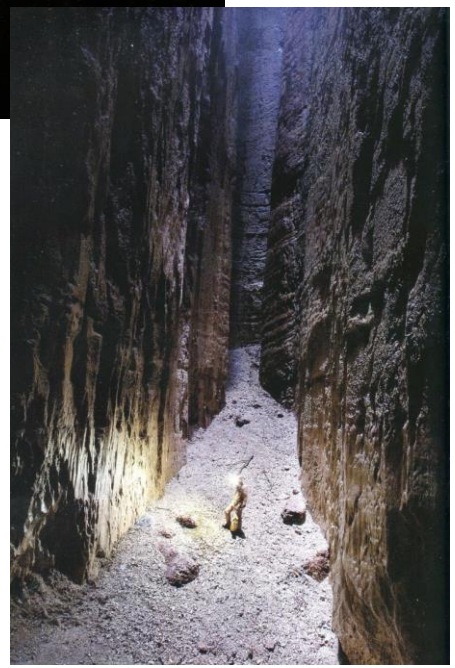
Assetto tabulare

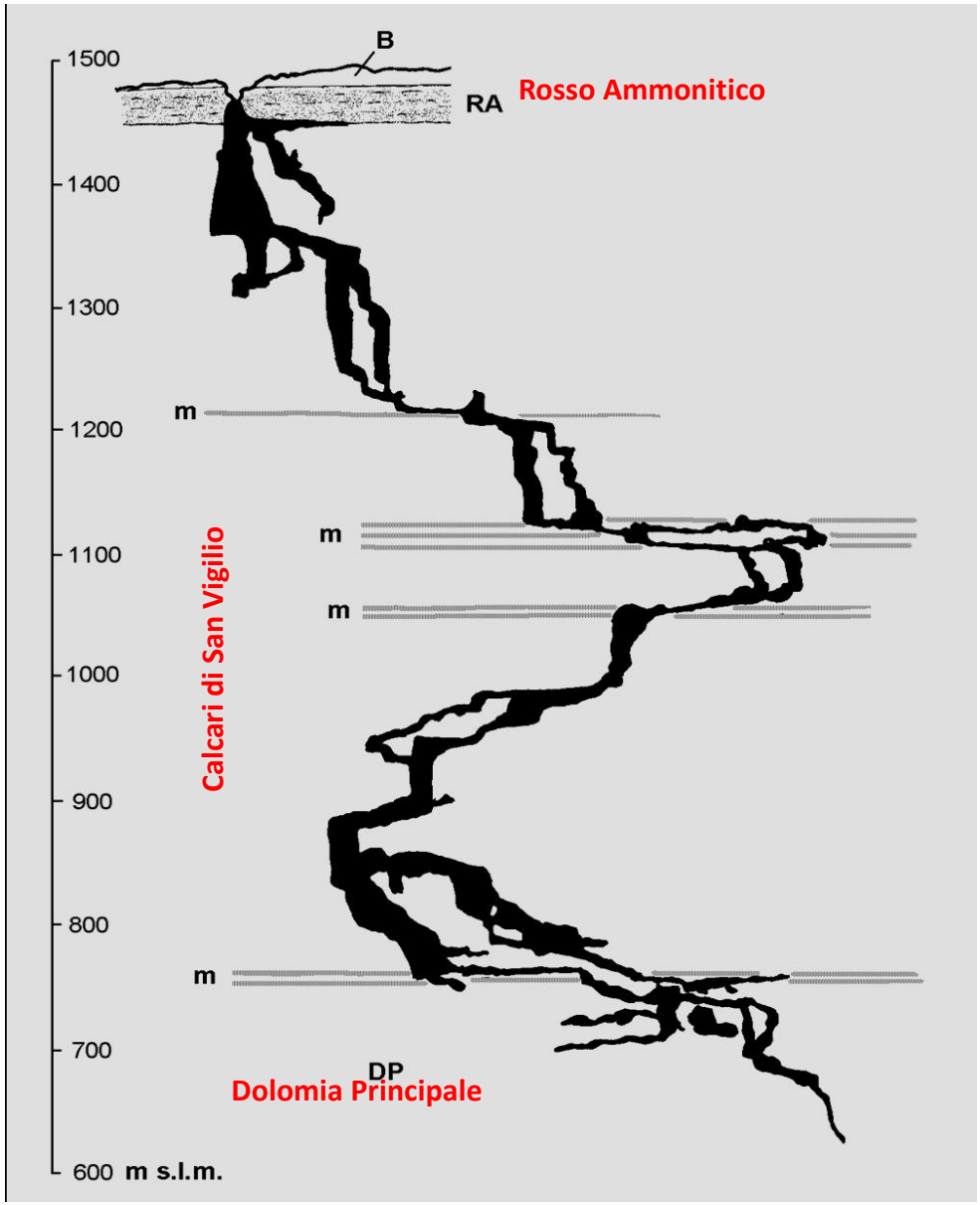
<u>Si ha quando la stratificazione è grossomodo orizzontale</u>.

L'andamento in sezione è condizionato dalla presenza di livelli a minore permeabilità.

Il sistema carsico assume un tipico profilo a gradini.







Spluga della Preta (da Piccini, 2009)

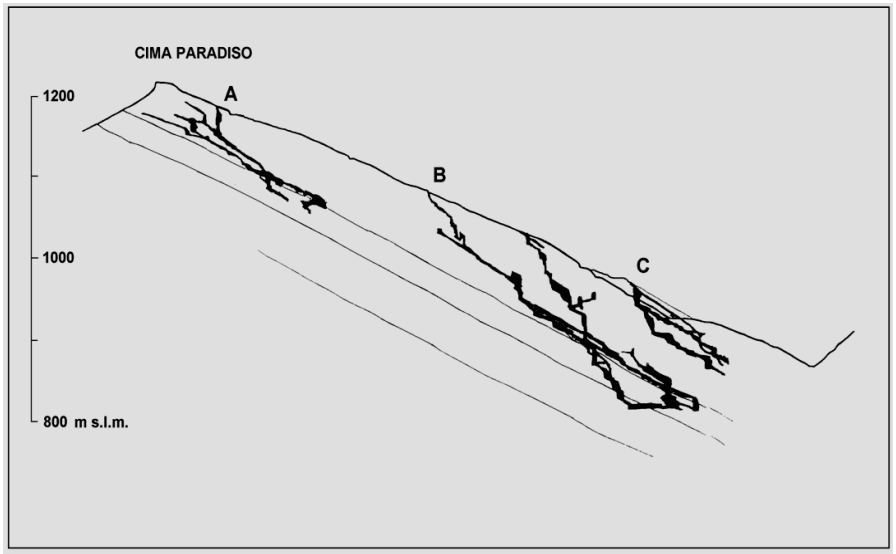
Assetto omoclinale

Si ha quando gli strati sono inclinati in modo omogeneo.

L'eventuale presenza di piani a sviluppo orizzontale, al di sopra della quota di base attuale, indica in genere l'esistenza di livelli paleofreatici in corrispondenza di antichi livelli di base.

L'andamento è spesso condizionato dalla presenza di livelli a minore permeabilità, su cui poggiano i condotti freatico-vadosi.

Assetto omoclinale del sistema Boy Bulok (Uzbekistan)



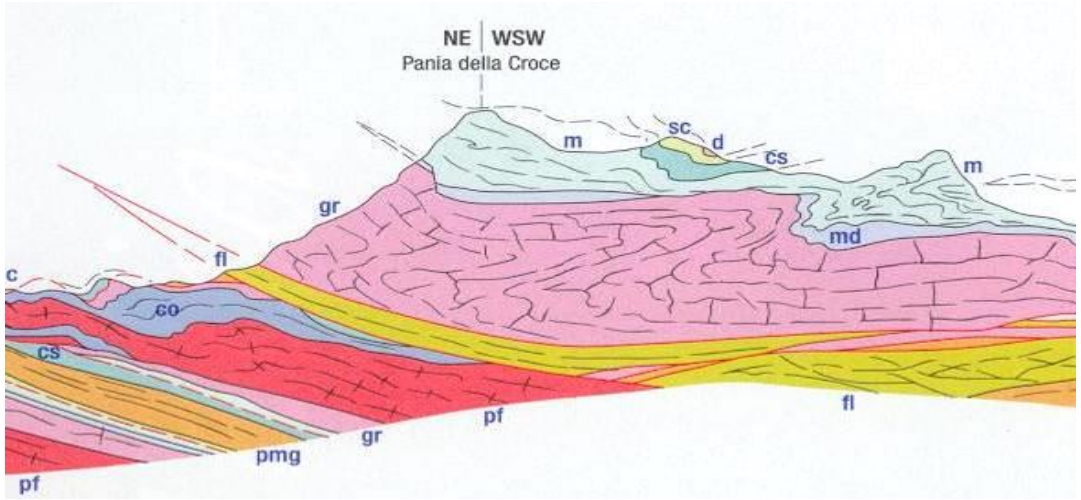
Assetto omoclinale del sistema Cima Paradiso (Lombardia; Piccini, 2009)

Assetto a pieghe

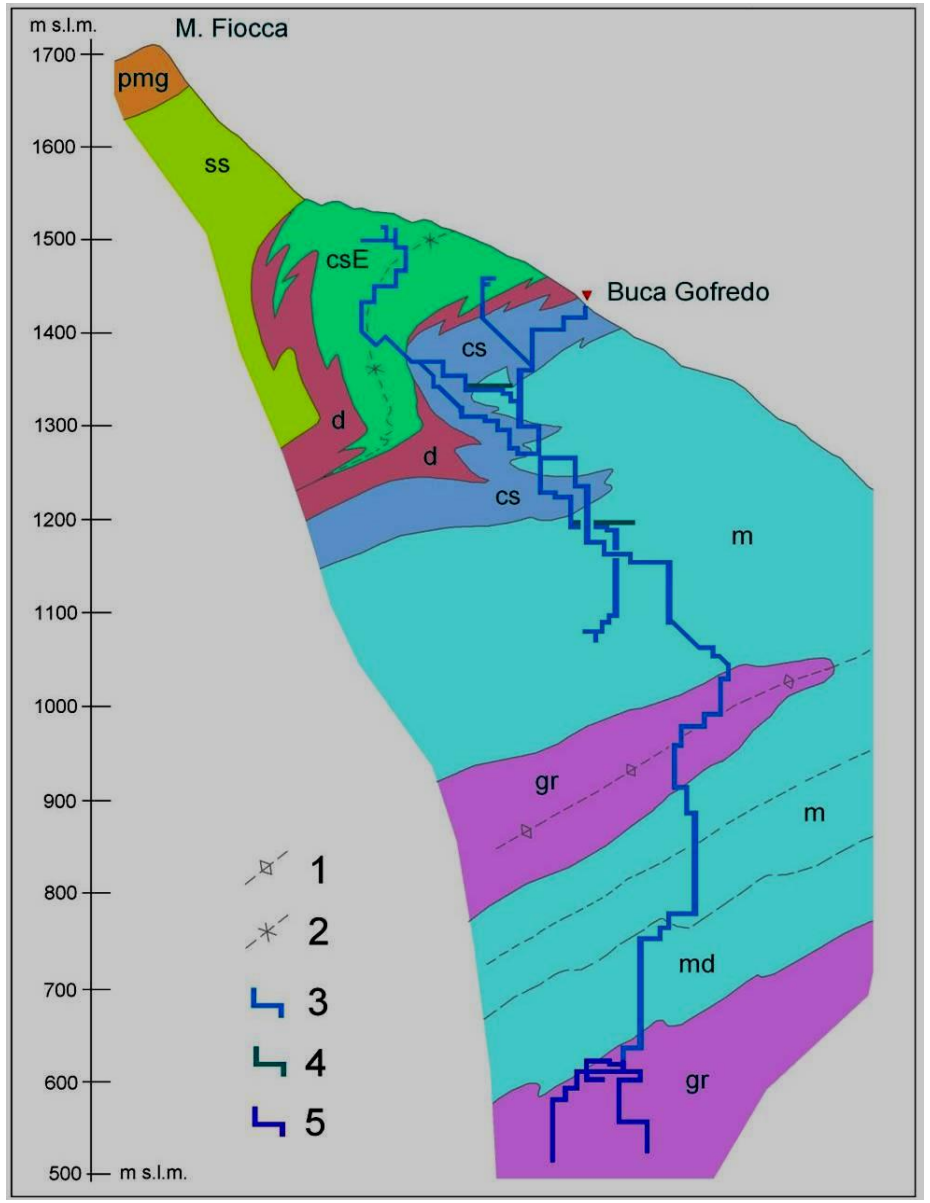
L'assetto a pieghe si ha quando gli strati sono fortemente deformati per piega. In questi contesti l'andamento di un sistema carsico segue tanto più la struttura quanto minore è la permeabilità delle fratture.

Anche per questo l'effetto della struttura si fa sentire maggiormente in profondità piuttosto che nelle zone vicine alla superficie.

L'Abisso Gofredo (Alpi Apuane) attraversa una struttura complessa, lungo una serie di fratture, risentendo della struttura.



Esempio di sezione geologica che mette in evidenza rapporti tra rocce a diverso grado di carsificabilità (Alpi Apuane). Sotto: rocce carsificabili = cs, m, md, gr.



Buca di Gofredo (Alpi Apuane; da Piccini, 2009)

Morfologie dei sistemi carsici

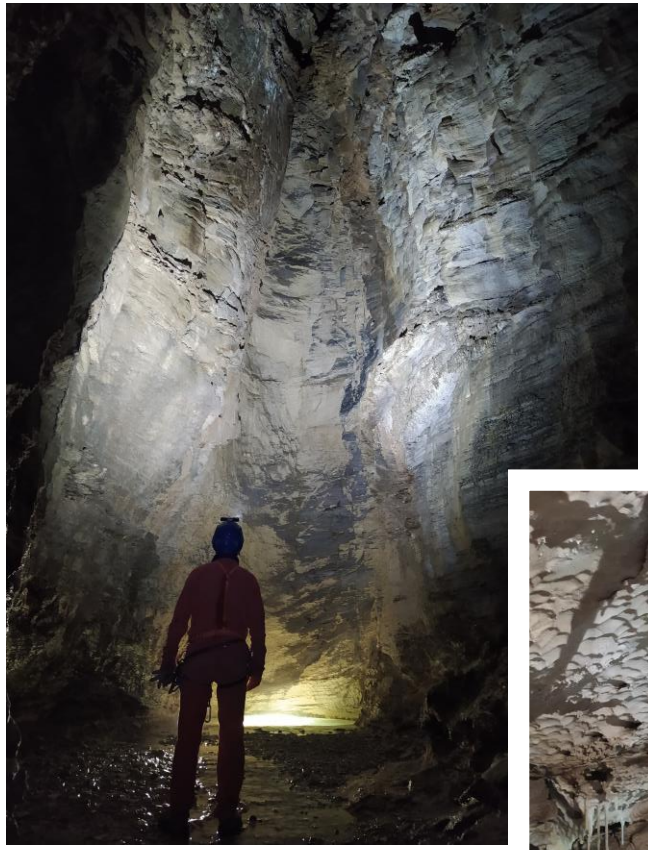
I **sistemi carsici** sono, in pratica, degli insiemi organizzati di condotti, prodotti da processi di dissoluzione (corrosione) e di erosione.
I condotti possono avere dimensioni variabili, in sezione, da pochi millimetri a qualche decina di metri. Pertanto, **le caratteristiche morfologiche** dei condotti carsici si possono manifestare:

- a **scala media**, con diverse forme per quanto riguarda la geometria del condotto stesso e in particolare la sua sezione trasversale;
- a **scala piccola**, cioè relative alla strutture presenti sulle pareti della grotta (**forme parietali**).

Una prima classificazione può essere fatta sulla base del processo morfogenetico:

- **forme di dissoluzione** o precipitazione (forme carsiche s.s.);
- **forme dovute all'azione meccanica delle acque correnti**;
- **forme dovute alla gravità**;
- forme dovute all'azione meccanica di ghiaccio o neve.

Per tutte queste categorie esistono sia forme di demolizione che di deposizione.



Pozzo del Portello (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Mas Bonito (Abisso Milazzo, Alpi Apuane)

Forme dovute all'azione dell'acqua

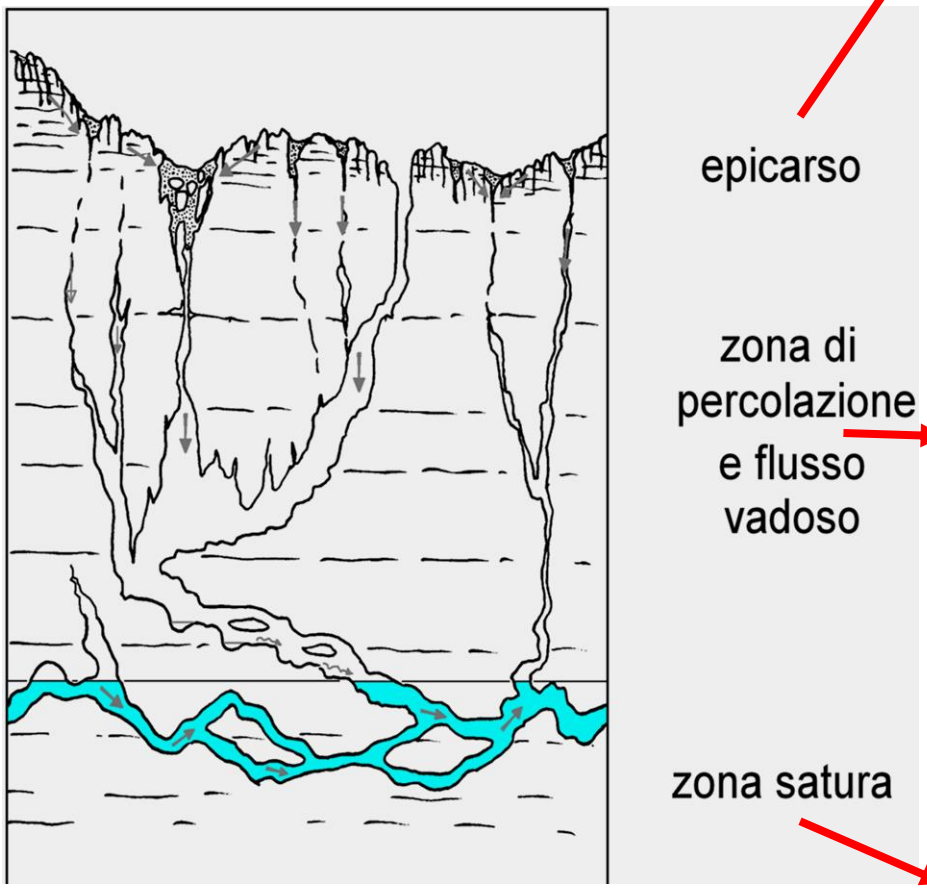
Nei sistemi carsici si riconoscono **tre situazioni tipiche**, caratterizzate da flussi idrici in condizioni idrodinamiche diverse:

- **zona vadosa** (o di scorrimento a pelo libero);
- **zona epifreatica** (o di oscillazione piezometrica);
- **zona freatica** (o di flusso a pieno carico).

Questi tre ambienti, i cui limiti non sono sempre facilmente identificabili, sono caratterizzati da diverse caratteristiche morfologiche in funzione delle diverse modalità di flusso.

Alla scala dei condotti, si osservano **conformazioni ben distinte nelle tre zone idrogeologiche**, con andamento in genere verticale nella **zona vadosa (pozzi s.l.)** e prevalentemente orizzontale **(gallerie s.l.)** in quella **epifreatica e freatica**.

Il ruolo dei fenomeni di **erosione meccanica** è particolarmente importante nella bassa zona vadosa e in quella epifreatica.



Madielle (Alpi Apuane)

Antro del Corchia (Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Pollaccia (Alpi Apuane; da L. Casati)

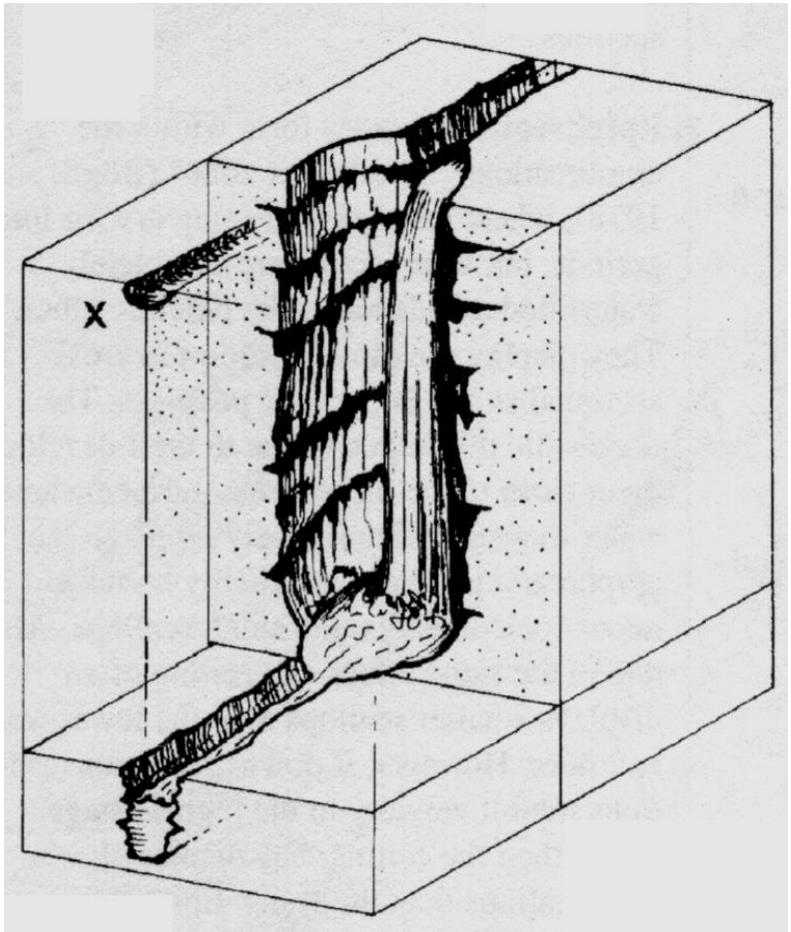
Morfologie della zona vadosa

Nella **zona vadosa**, o di flusso a pelo libero, **i condotti assumono** in genere **andamento verticale** con forme molto variabili, e prendono il nome generico di **pozzi**.

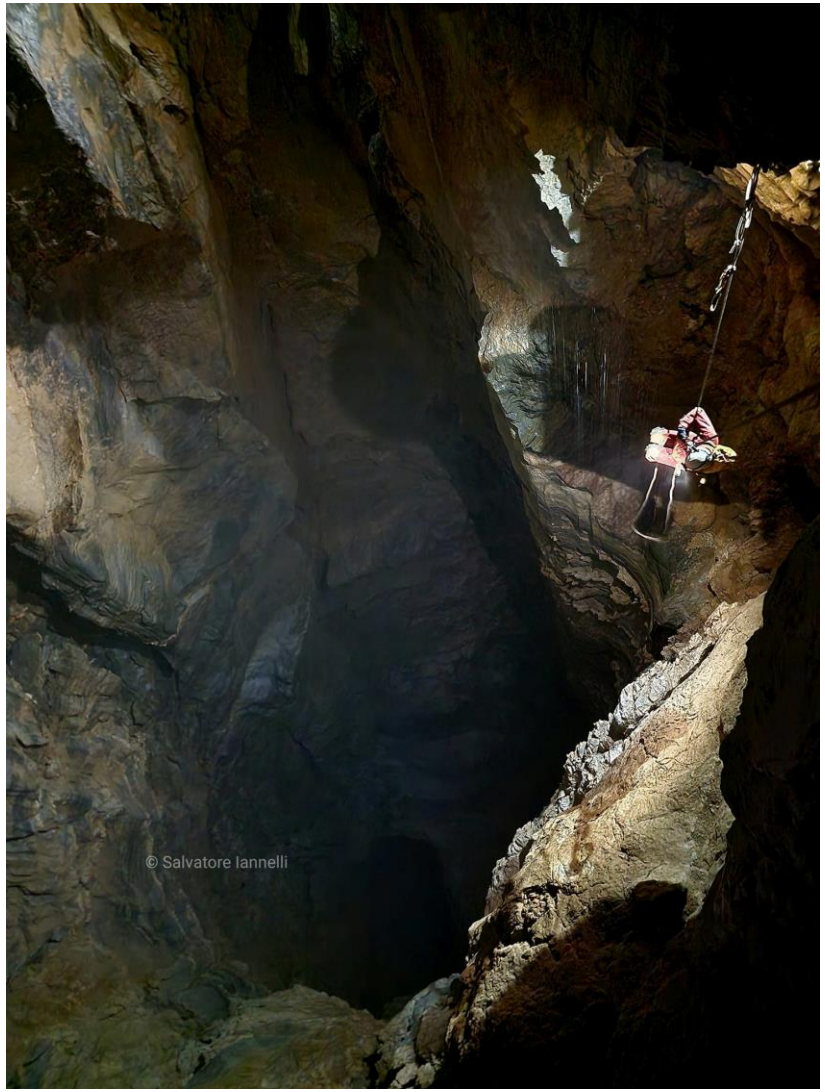
Nella zona alta, ove prevalgono percolazione e **flussi laminari parietali, i pozzi hanno forma da cilindrica** ad allungata, in funzione delle modalità di alimentazione (puntuale o lineare).

Nelle zone di **flusso incanalato i pozzi hanno sezione complessa, con ampliamenti e restringimenti**, e maggiore sviluppo in pianta.

Fenomeni di retrocessione di tali pozzi possono portare alla formazione di forre.



Pozzo cascata che connette due diversi piani di flusso su interstrato (da Lauritzen e Lundberg, 2000)



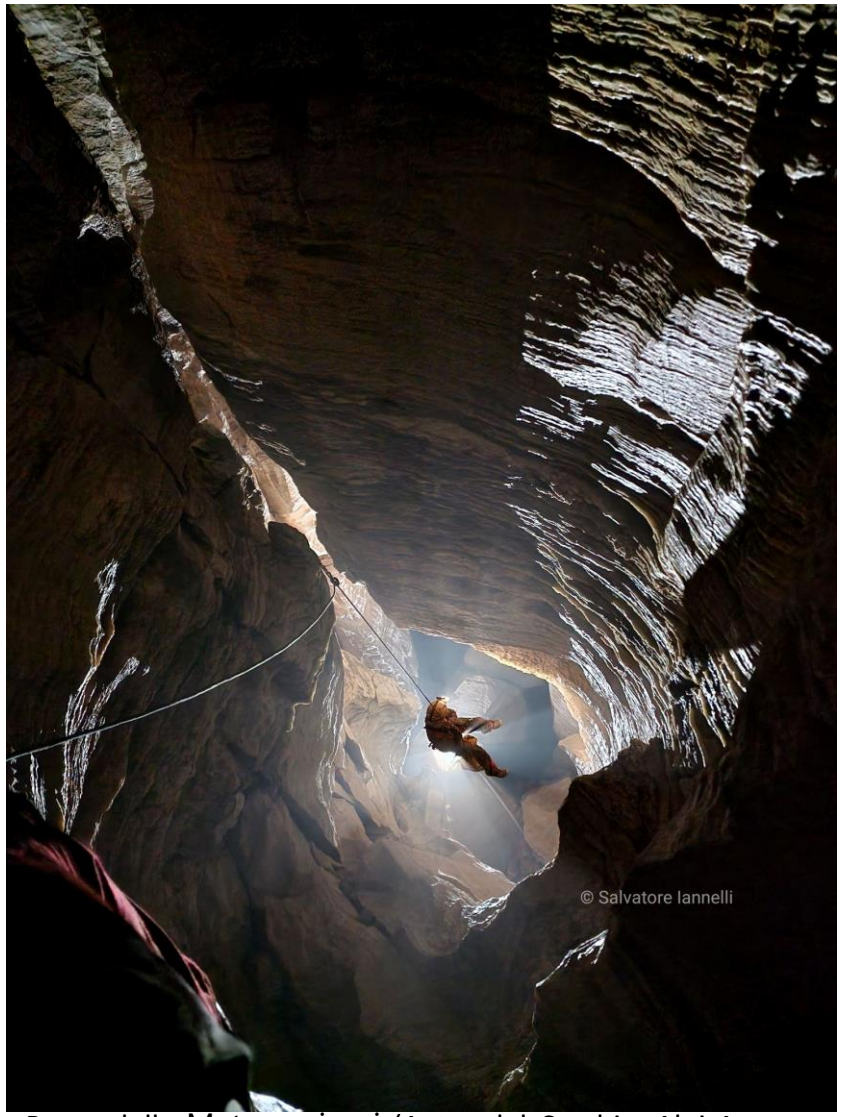
Pozzo dei Titani (Antro del Corchia, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Pozzi da percolazione

Pozzo di percolazione lineare

Pozzo (Tana dell'Uomo Selvatico, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Pozzo di percolazione puntuale con retrocessione



Pozzo della Metempsicosi (Antro del Corchia, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

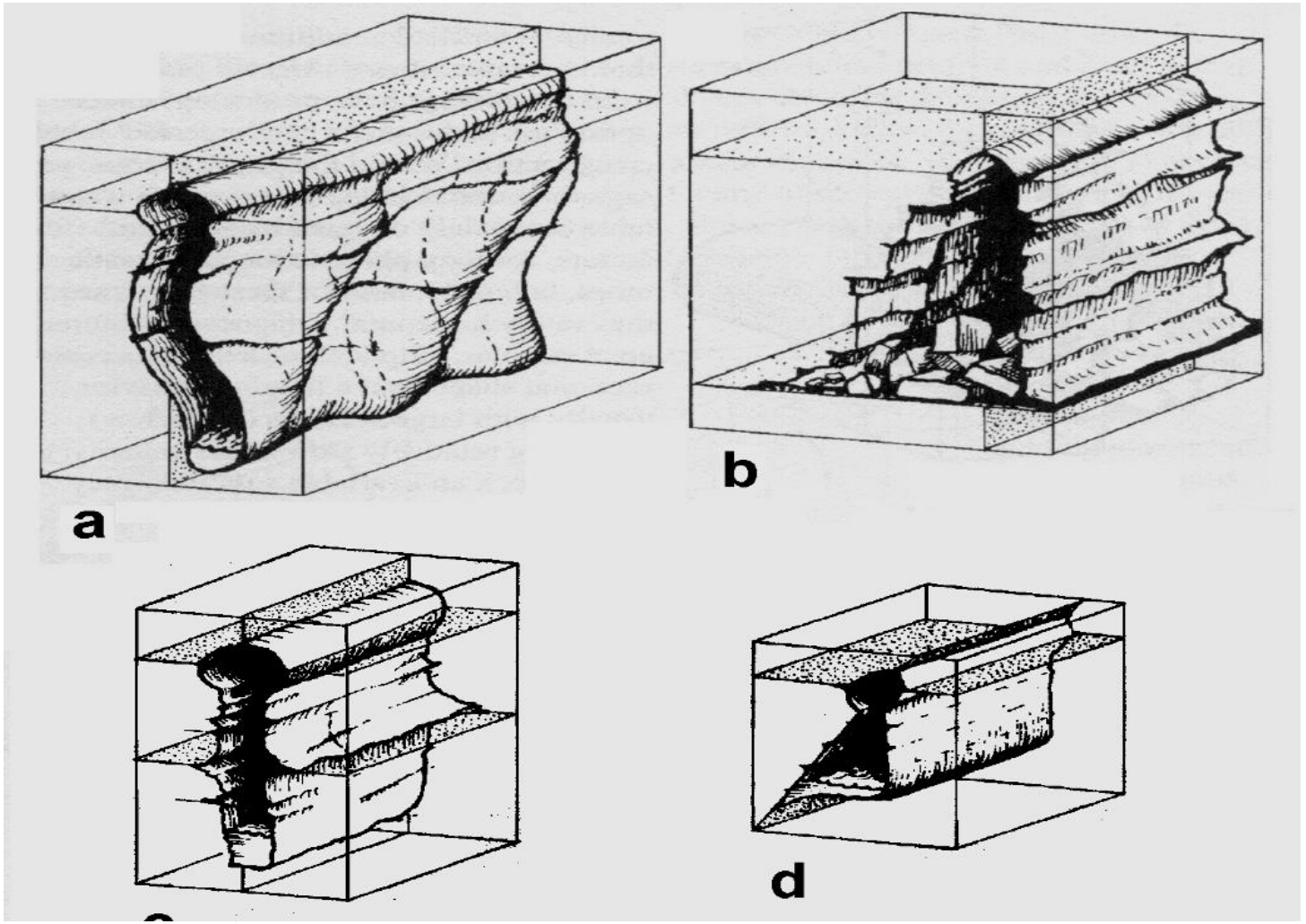
Forre e meandri

Nella zona vadosa, in condizioni di bassa penetrabilità verticale del corpo roccioso (fratturazione poco sviluppata) o di basso gradiente idraulico, si formano forre sotterranee, grazie anche a processi di erosione meccanica.

L'andamento può essere rettilineo (forre) o ad anse (meandri).

L'**andamento rettilineo** si ha in presenza di fratture o di **flussi a regime variabile**, mentre l'**andamento a meandri** si ha in rocce omogenee e con **flussi più regolari**.

Nei meandri le anse, approfondendosi, tendono a spostarsi verso valle, dando ai meandri un andamento sinuoso anche in sezione verticale (fugura a).

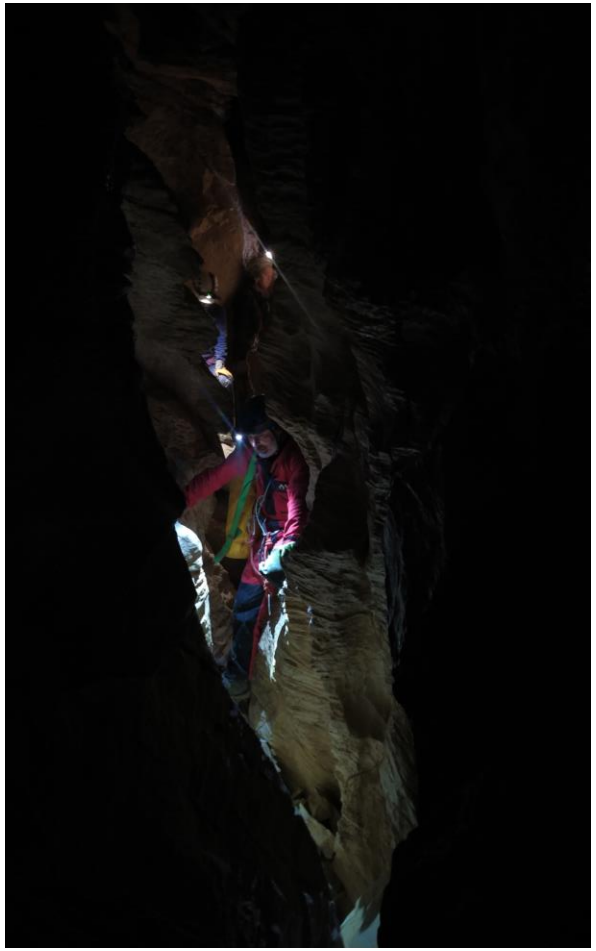


La sezione assume profili diversi in funzione del controllo lito-strutturale (da Lauritzen e Lundberg, 2000).

Forre e meandri

Meandri

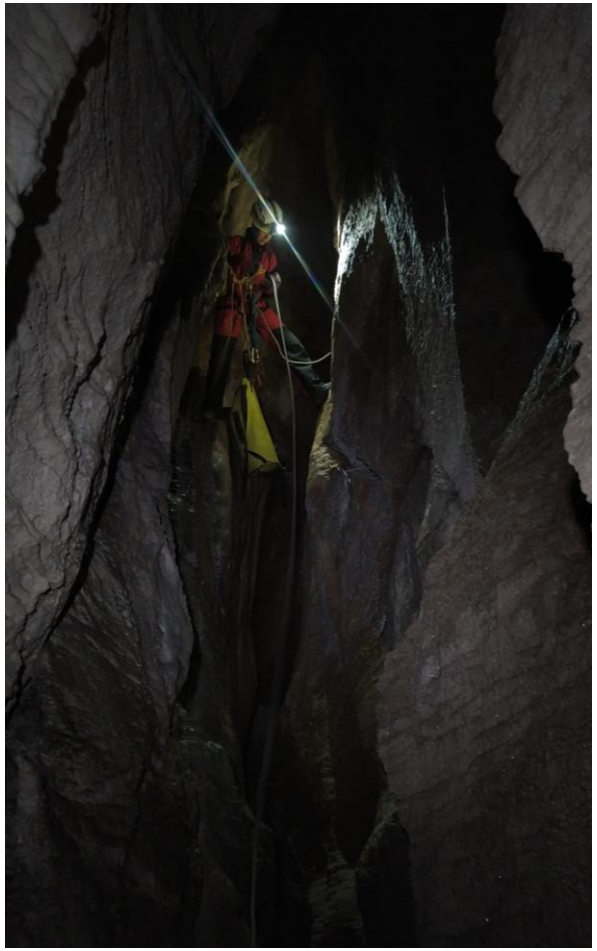
Abisso del Gatto (Sicilia; da M. Vattano)



Abisso Claude Fighiera (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Forre

Ramo delle pisoliti (Abisso Milazzo; Alpi Apuane)



Meandro Kmer (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Morfologie della zona freatica

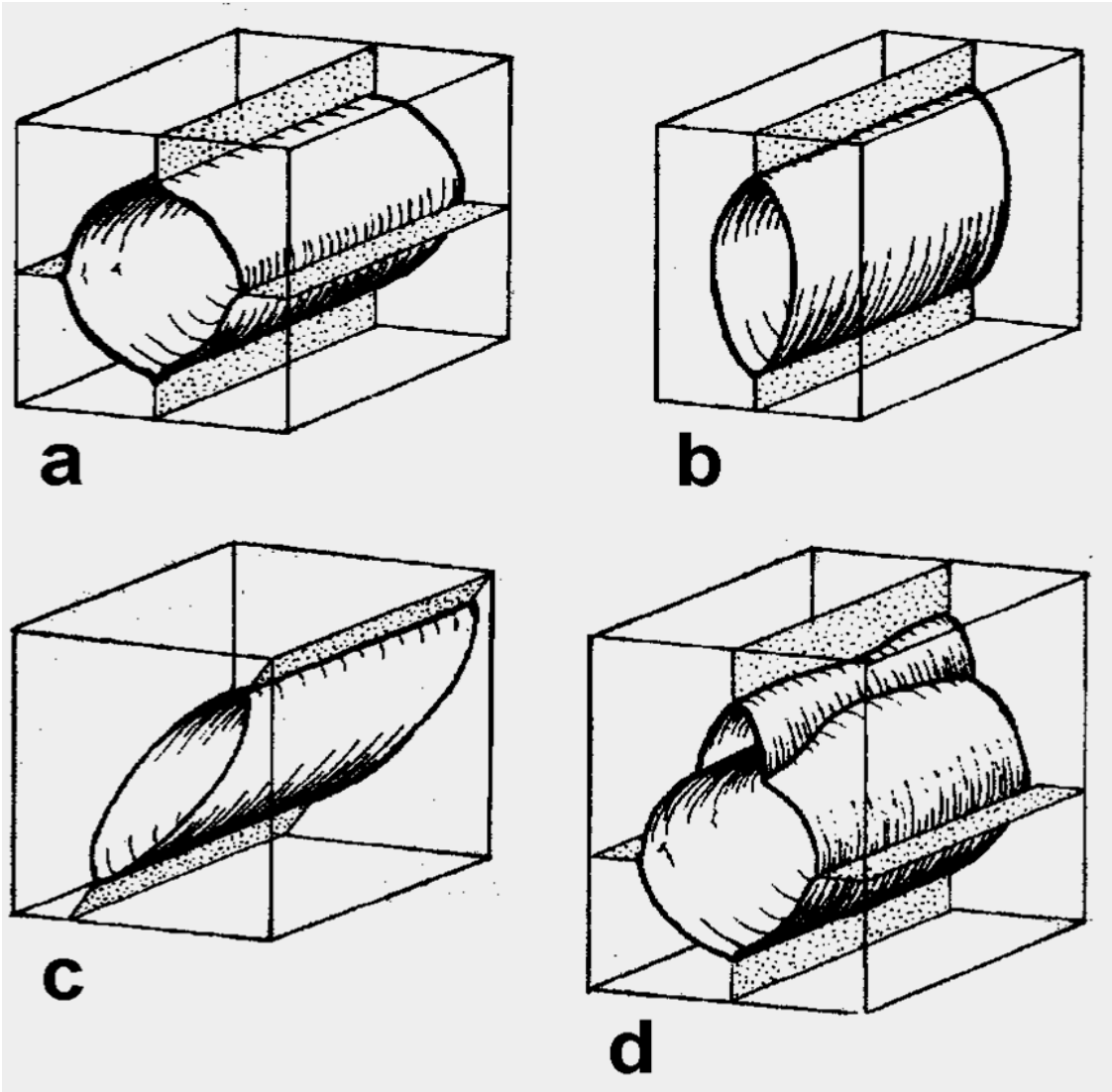
La **zona freatica** è caratterizzata da **flussi solitamente lenti** in condizioni di **totale saturazione** e con **pressioni elevate** (sino a qualche decina di bar).
Queste condizioni influenzano la forma dei condotti, che tende ad essere regolare con **profili da circolari a ellittici**, più o meno eccentrici.

I condotti che hanno sezioni ellittiche, hanno l'asse maggiore orientato parallelamente alla superficie di discontinuità.

La maggiore o minore eccentricità dipende dalla permeabilità della discontinuità e quindi, spesso, dal carico litostatico. Con forti spessori di roccia si hanno condotti a sezione circolare, mentre con spessori modesti si hanno condotti a sezione fortemente ellittica, in genere con asse maggiore orizzontale.

In presenza di più discontinuità si possono avere sezioni irregolari.

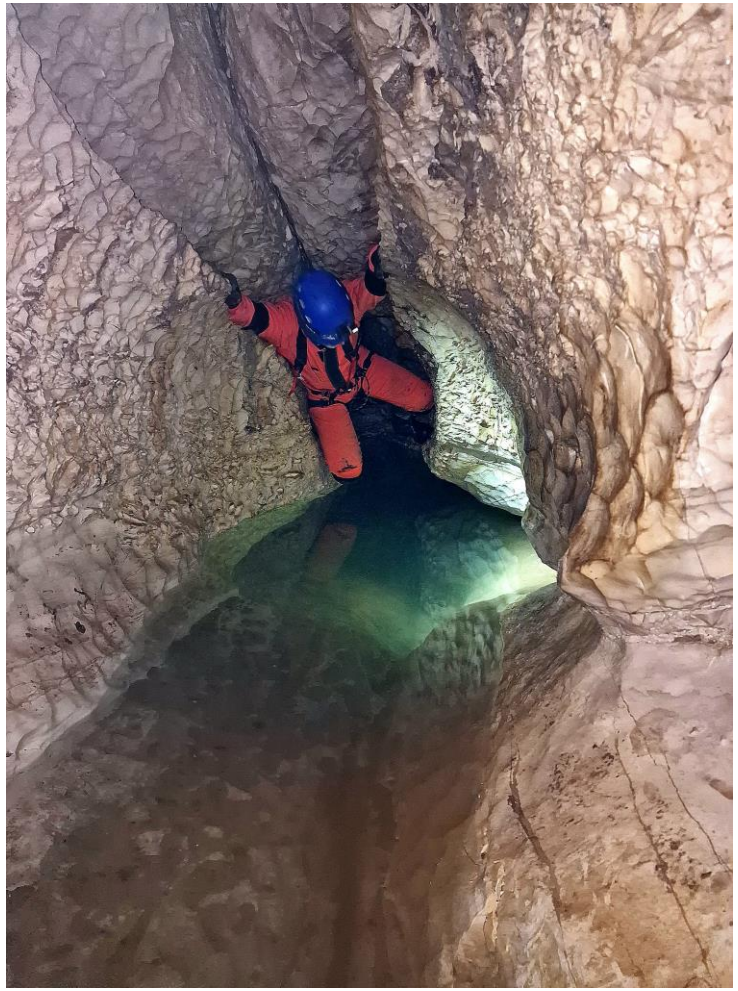
I condotti hanno andamento da orizzontale a "sali/scendi", in funzione del diverso assetto strutturale.



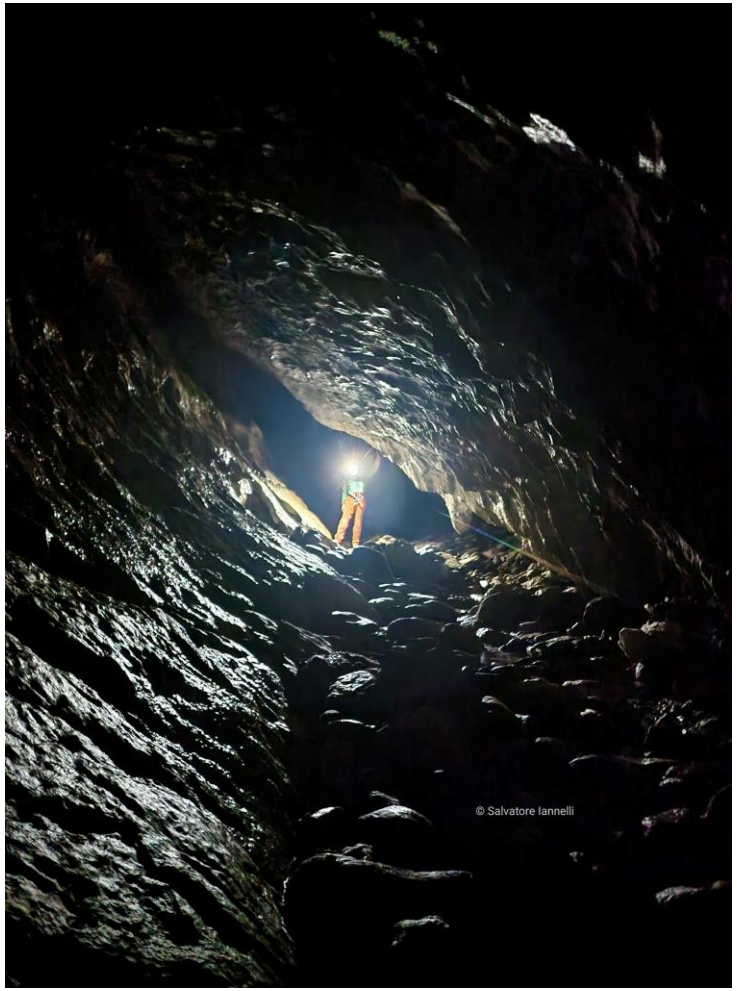
Diverse forme di condotti freatici in funzione del diverso controllo strutturale (da Lauritzen e Lundberg, 2000)

Gallerie freatiche attive

Risorgenza della Pollaccia (Alpi Apuane; da L. Casati)



Risorgenza di Capo Quirino (Monti del Matese; da S. Iannelli)



Galleria terminale (Tana dell'Uomo Selvatico, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Gallerie freatiche fossili

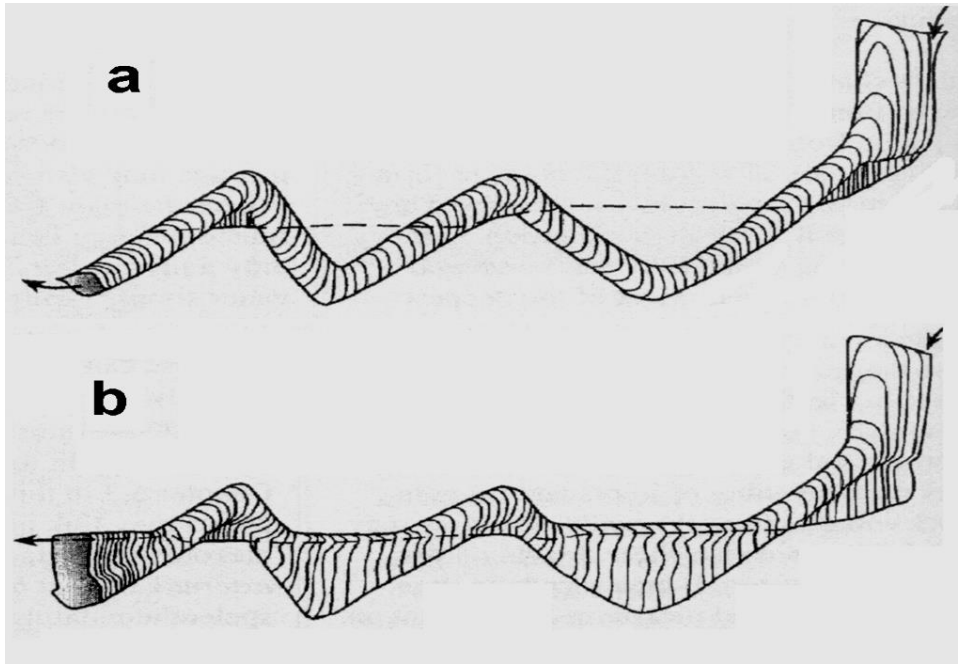
Galleria Kmer (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Galleria della neve (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Abisso Milazzo (Alpi Apuane; da A. Pedri)

Morfologie della zona epifreatica

La **zona epifreatica** è soggetta all'oscillazione della falda idrica di sottosuolo, pertanto è presente, in alcuni periodi dell'anno, **scorrimento a pelo libero** (periodo di magra) che a **pieno carico** (periodo di ricarica).
I condotti tendono ad avere andamento orizzontale; le sezioni sono assai variabili e tendono a essere influenzate dalla struttura.
Le forme più tipiche sono le **forre** e i **canyon formati per incisione da gallerie freatiche** e le **gallerie parageneticche**, in presenza di cospicuo trasporto solido

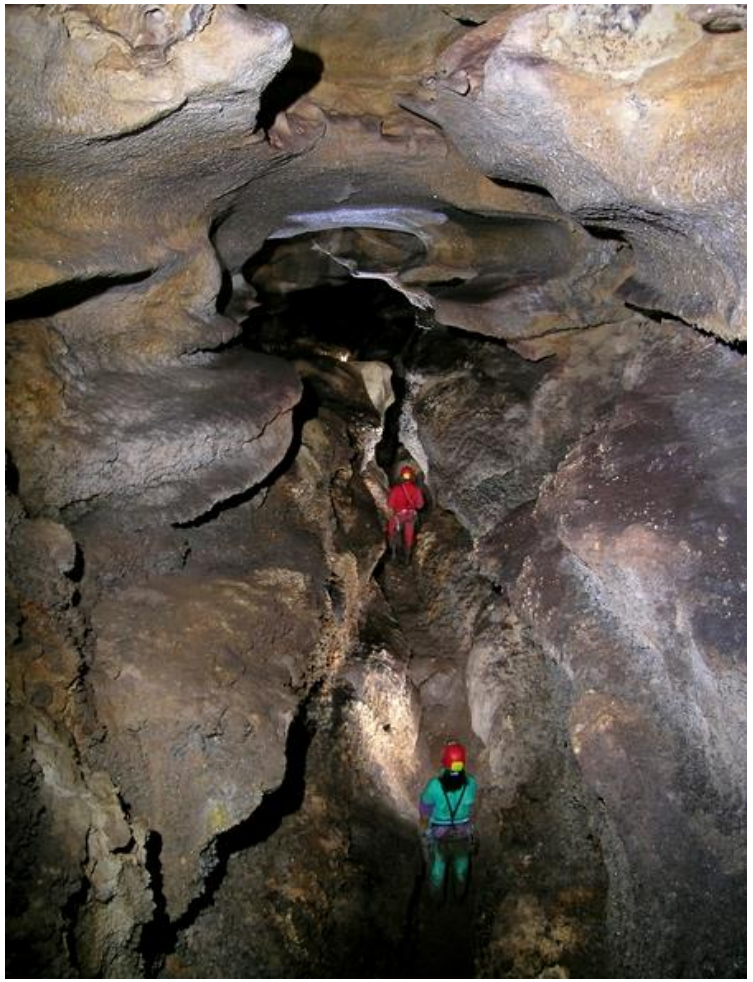


Evoluzione di un condotto a saliscendi in zona epifreatica per incisione dei dossi ed erosione paragenetica (da Lauritzen e Lundberg, 2000)

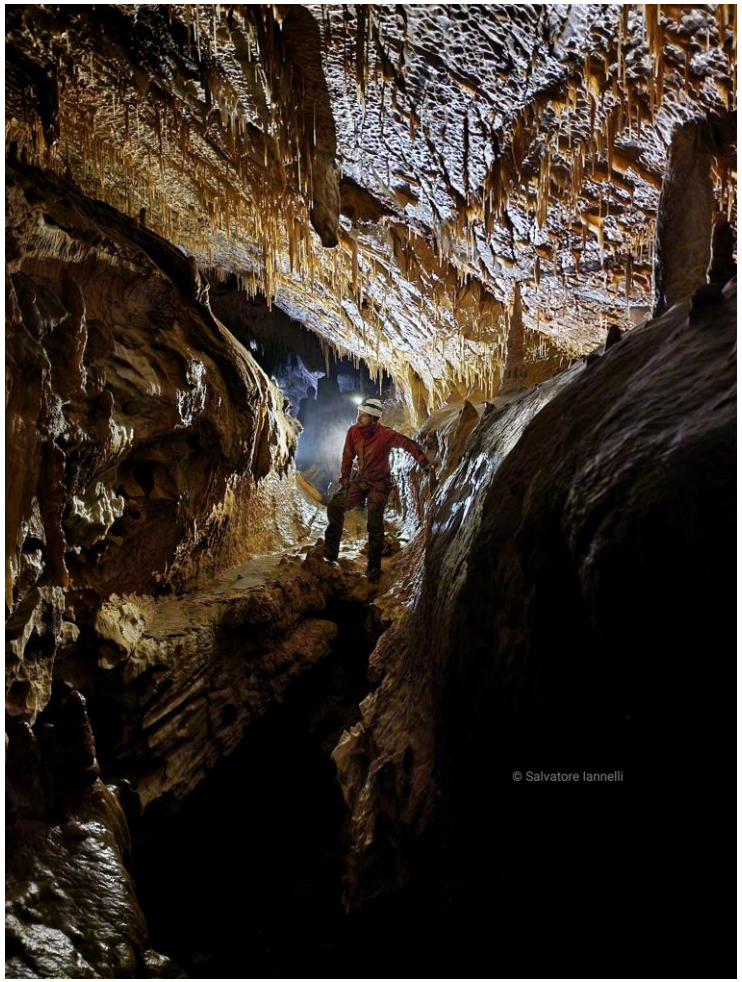
Incisione vadosa di una galleria freatica (Pozzo della Neve, Monti del Matese; da S. Iannelli)

Gallerie freatiche incise in regime vadoso

Il Canyon (Antro del Corchia, Alpi Apuane)



Santa Ninfa (Sicilia; da M. Vattano)

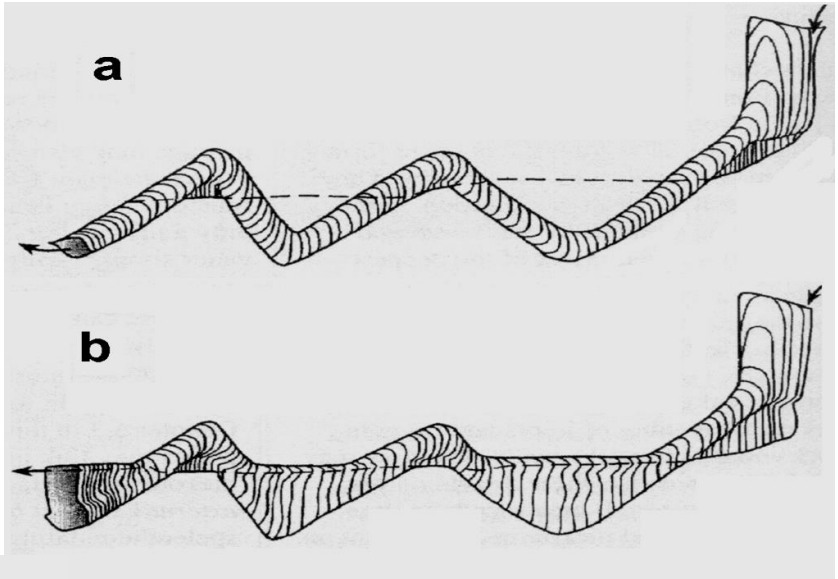


Mas Bonito (Abisso Milazzo, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

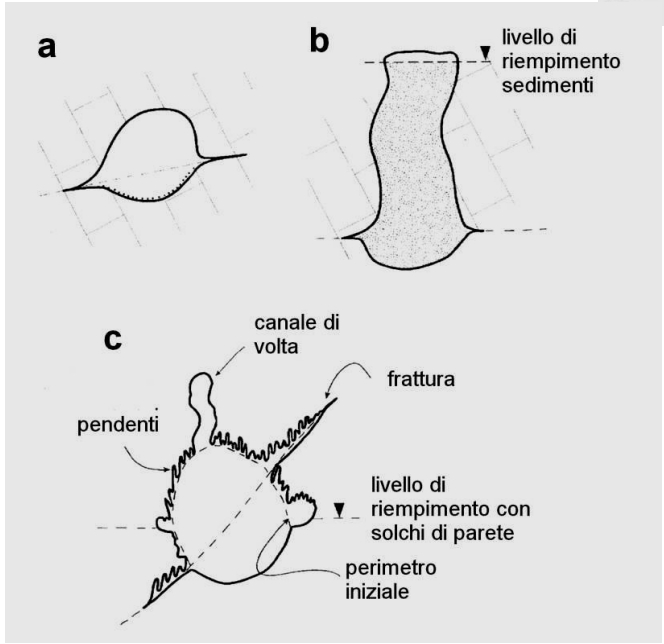
Condotti paragenetici

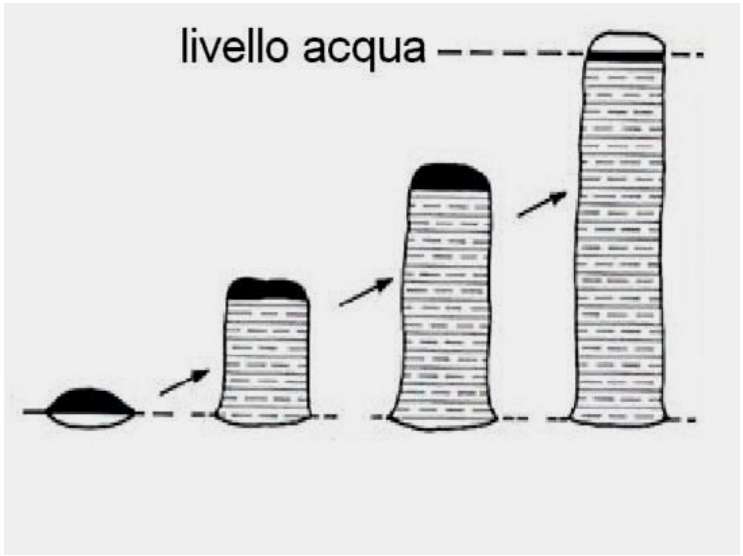
Si formano a partire da **condotti preesistenti** (di origine vadosa o freatica), **riempiti parzialmente da sedimenti**.
In queste condizioni **l'azione dissolutiva** e talvolta erosiva **agisce sulla volta**, dando origine a forme peculiari.

Monte Conca (Sicilia, M. Vattano)



Evoluzione di un condotto a saliscendi in zona epifreatica per incisione dei dossi ed erosione paragenetica (da Lauritzen e Lundberg, 2000)





Le microforme ipogee

Le forme presenti sulle pareti dei condotti (**microforme**), o forme parietali, sono anch'esse **determinate**, in gran parte, **dalle condizioni di flusso**.
Si tratta soprattutto di forme dovute a fenomeni di dissoluzione, ma localmente possono avere avuto un ruolo rilevante anche processi d'erosione meccanica.

Abisso Milazzo (Alpi Apuane; da D. Zanetti)

Condizioni	Flusso	Dissoluzione prev.	Erosione prev.
Vadose	Sgocciolamento	Fori pavimentali	
	Flusso a Rivoli	Solchi di ruscellamento	
	Flusso incanalato	Solchi parietali	Canali pavimentali
		Solchi a getto	Canali pavimentali Forre Marmitte Lame (pinne)
Epifreatiche	Tra roccia e deposito	Anastomosi Canali di volta	Pendenti Solchi di livello
	Libero	Solchi di battente Scallop piccoli Cupole Vaschette di ristagno	
Freatiche	A pieno carico	Scallop grandi Alveoli-spongework Cupole Solchi di flusso	

Forme da sgocciolamento

I **fori pavimentali si formano in corrispondenza dei punti di caduta di stillicidi** o, in grotte ricche di fauna, per raccolta di materia organica.
L'acqua, unita anche alla presenza di acidi derivanti dalla decomposizione della materia organica, creano il fenomeno di dissoluzione della roccia che porta alla formazione dei fori pavimentali.

Grotta delle Comarelle (Alpi Apuane; da L. Piccini)

St. Paul karst, Palawan (Filippine; da L. Piccini)

Forme da ruscellamento

I **solchi di ruscellamento** (flusso a rivoli) ed i **solchi parietali** (flusso incanalato) prodotti lungo le pareti di un pozzo o lungo le pareti di una galleria, sono dovuti all'azione dissolutiva delle acque che scorrono per ruscellamento.

Ramo dei Putti (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

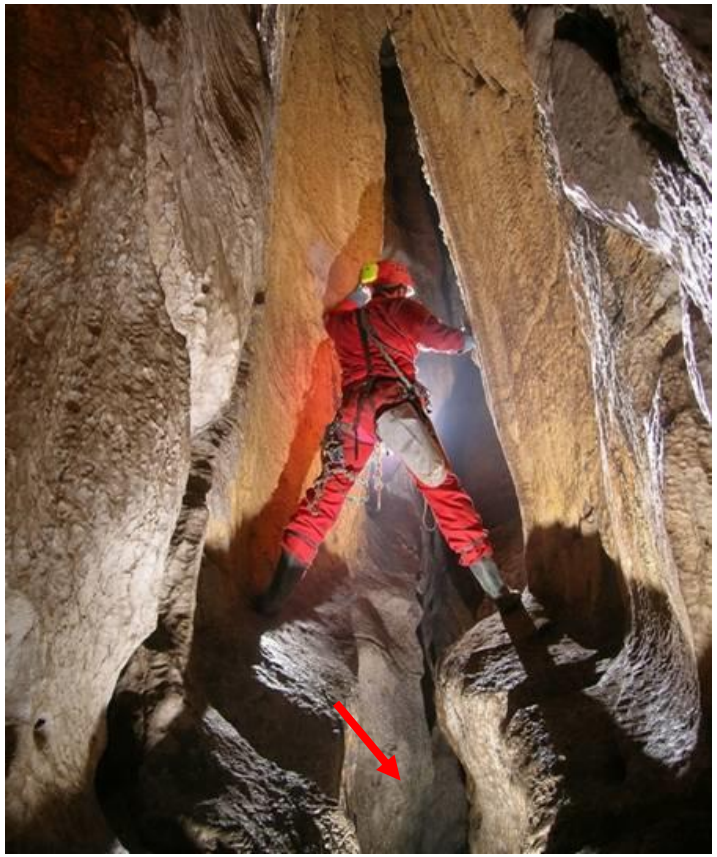
Ingresso del Becco (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Dachstein, Mammuthoehle (Austria; da L. Plan)

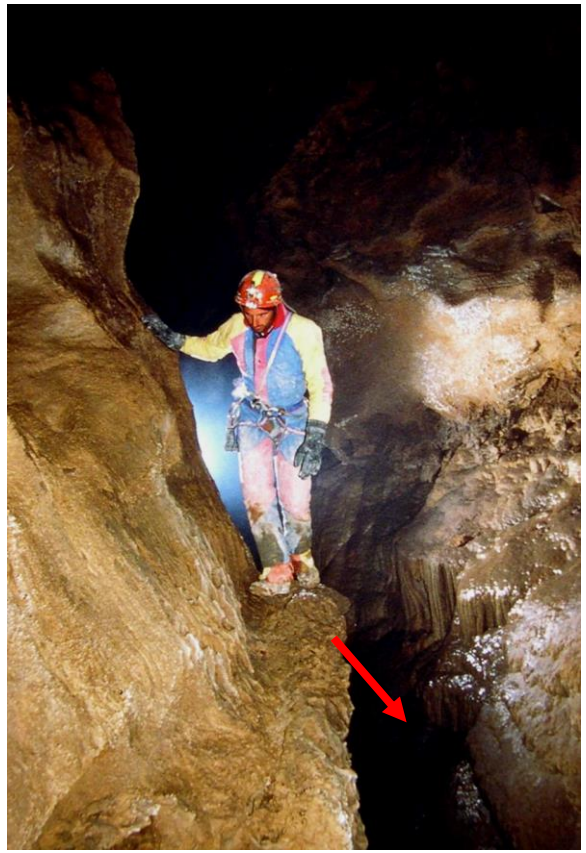
Forme di erosione a pelo libero

I **canali pavimentali** si formano per erosione lineare (con scorrimento a pelo libero) sul fondo di forre e gallerie in seguito a una riduzione netta della portata

Il Canyon (Antro del Corchia, Alpi Apuane)



Abisso del Gatto (Sicilia; da M. Vattano)



Bai Sun Tau (Uzbekistan; da M. Vianelli)

Forme di erosione a pelo libero

Marmitte

Si formano per **erosione in corrispondenza di vortici di fondo su letto roccioso**.
Hanno forma cilindrica e dimensioni variabili da qualche centimetro sino a qualche metro, sia in larghezza che in profondità.

Su Bentu (Sardegna; da L. Sanna)

Solchi di battente

Si formano per **erosione o dissoluzione laterale** in corrispondenza di livelli d'acqua persistenti.

Subterranean River, Palawan, (Filippine; da G. Savino/Arch. La Venta)

Abisso Gofredo (Alpi Apuane; da L. Piccini)

Forme di flusso d'interfaccia

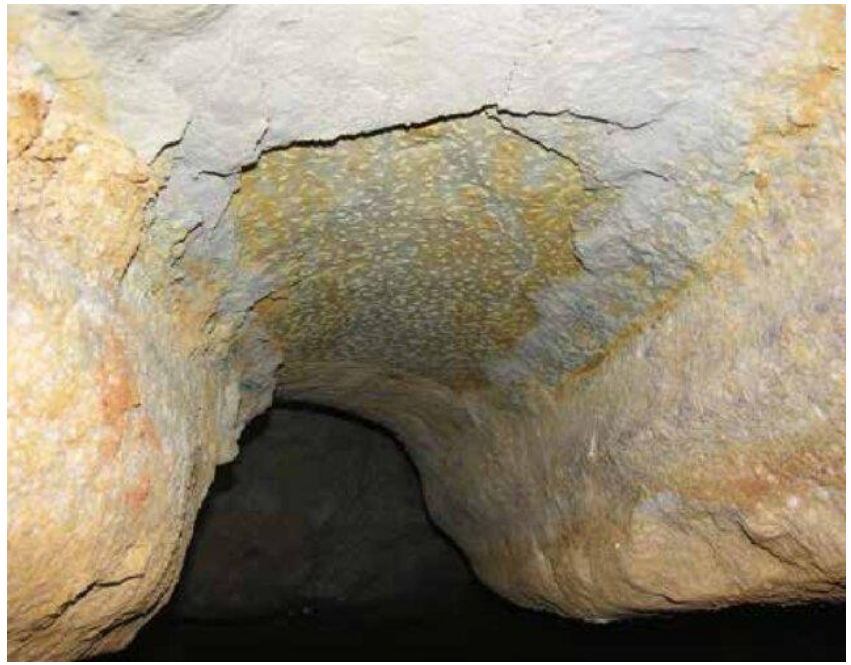
Canali anastomizzati

Si formano per processi di dissoluzione ad opera dell'**acqua che scorre tra la volta ed il deposito**. È tipica delle gallerie epifreatiche.

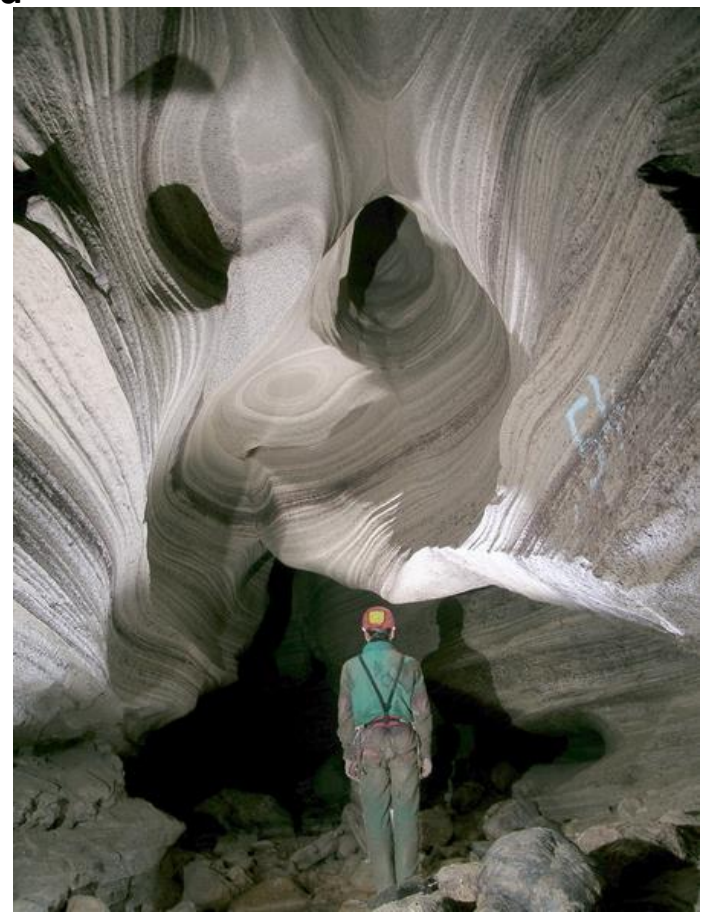
Steinenersmeer (Austria; C. Schmidtlein)

Canali di volta

Si formano per processi di dissoluzione ad opera dell'**acqua che scorre tra la volta ed il deposito**. È tipica delle gallerie epifreatiche.



Grotta miniera di Via Tirapelle (da R. Zorzin)



Monte Conca (Sicilia; M. Vattano)

Forme di flusso

In ambiente freatico ed epifreatico, il movimento dell'acqua scolpisce le pareti formando delle impronte di flusso dette **scallop**. **Le loro dimensioni sono inversamente proporzionali alla velocità di flusso**.

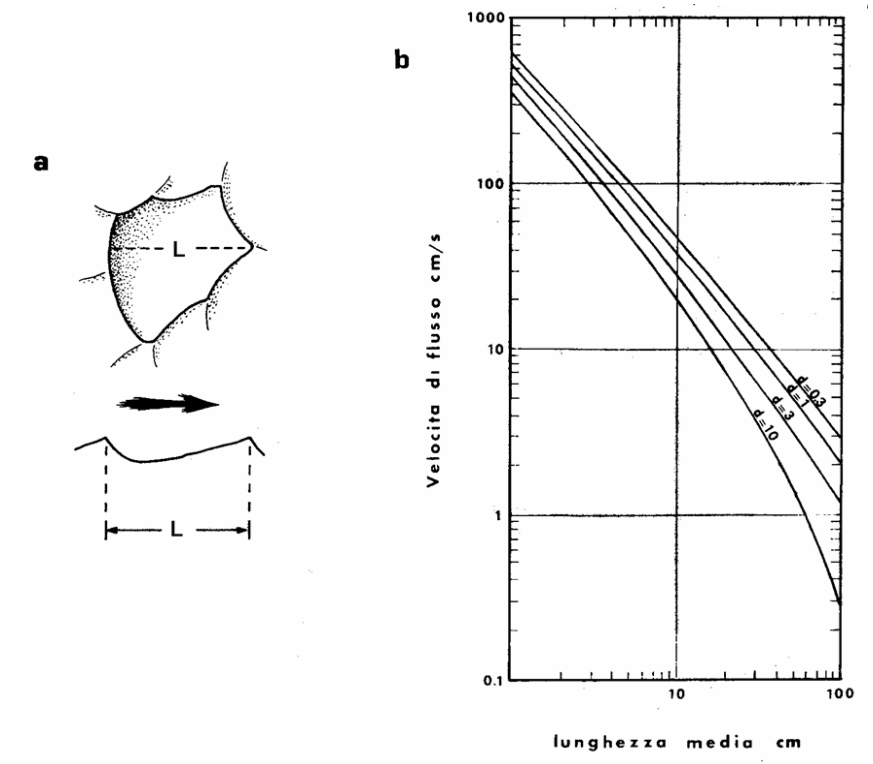
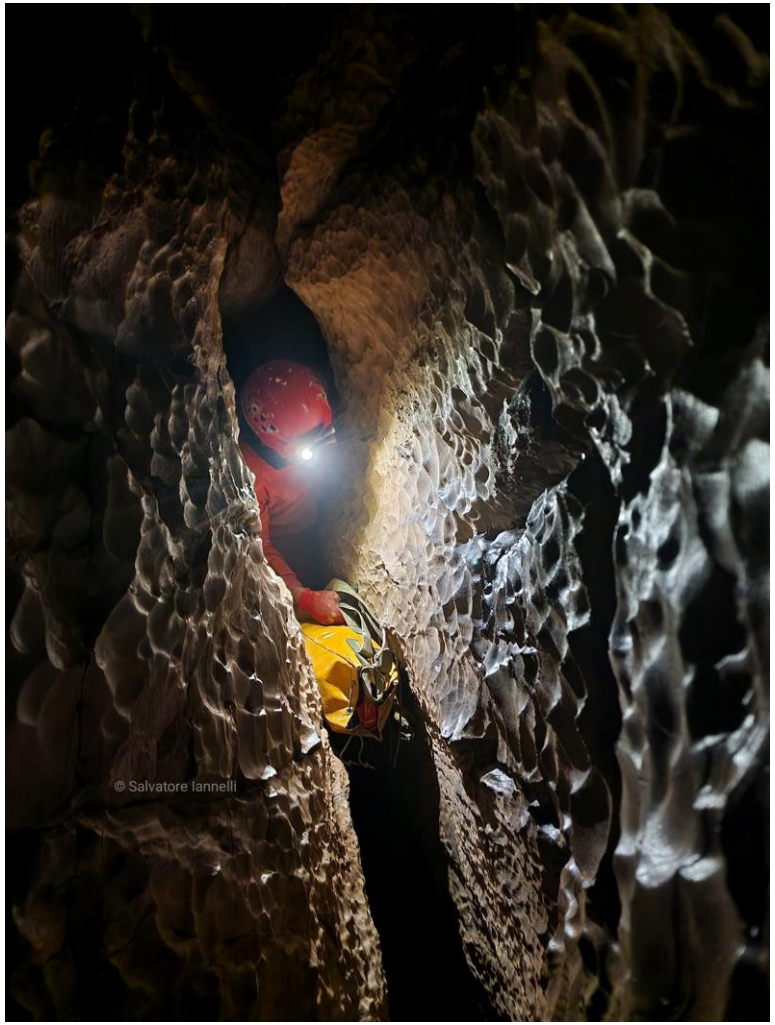


Diagramma che mostra il rapport dimensione scallop e velocità del flusso d'acqua (da White, 1988).

Galleria della Neve (Antro del Corchia, Alpi Apuane)



Ramo Omar Khayyam (Antro del Corchia, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Forme di dissoluzione a pieno carico

Alveoli, corrosioni a spugna (spongework)

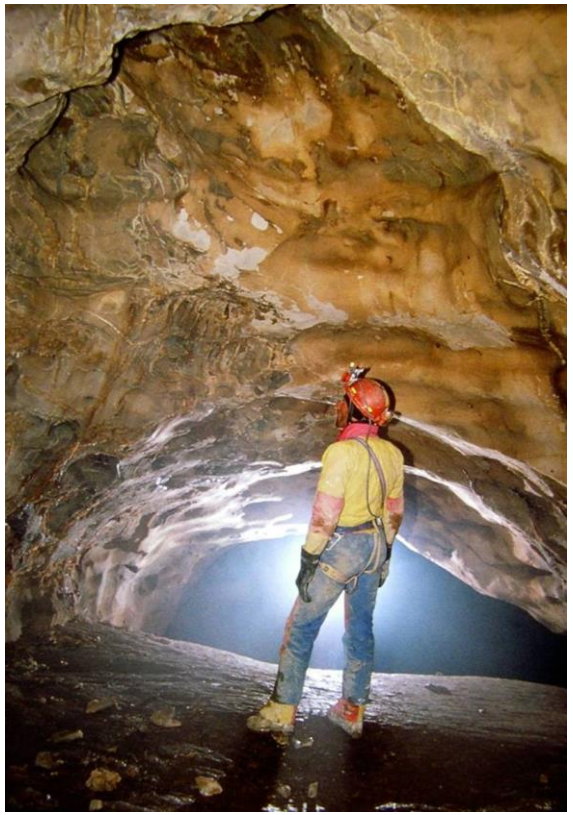
Si formano per l'azione di dissoluzione in acque stagnanti.

Su Coloru (Sardegna; da L. Sanna)

Cupole

Si formano per l'accumulo di aria, soggetta a variazioni di pressione durante le piene, in grado di acidificare l'acqua a livello del perimetro interno.

Bai Sun Tau (Uzbekistan; da T. Bernabei)

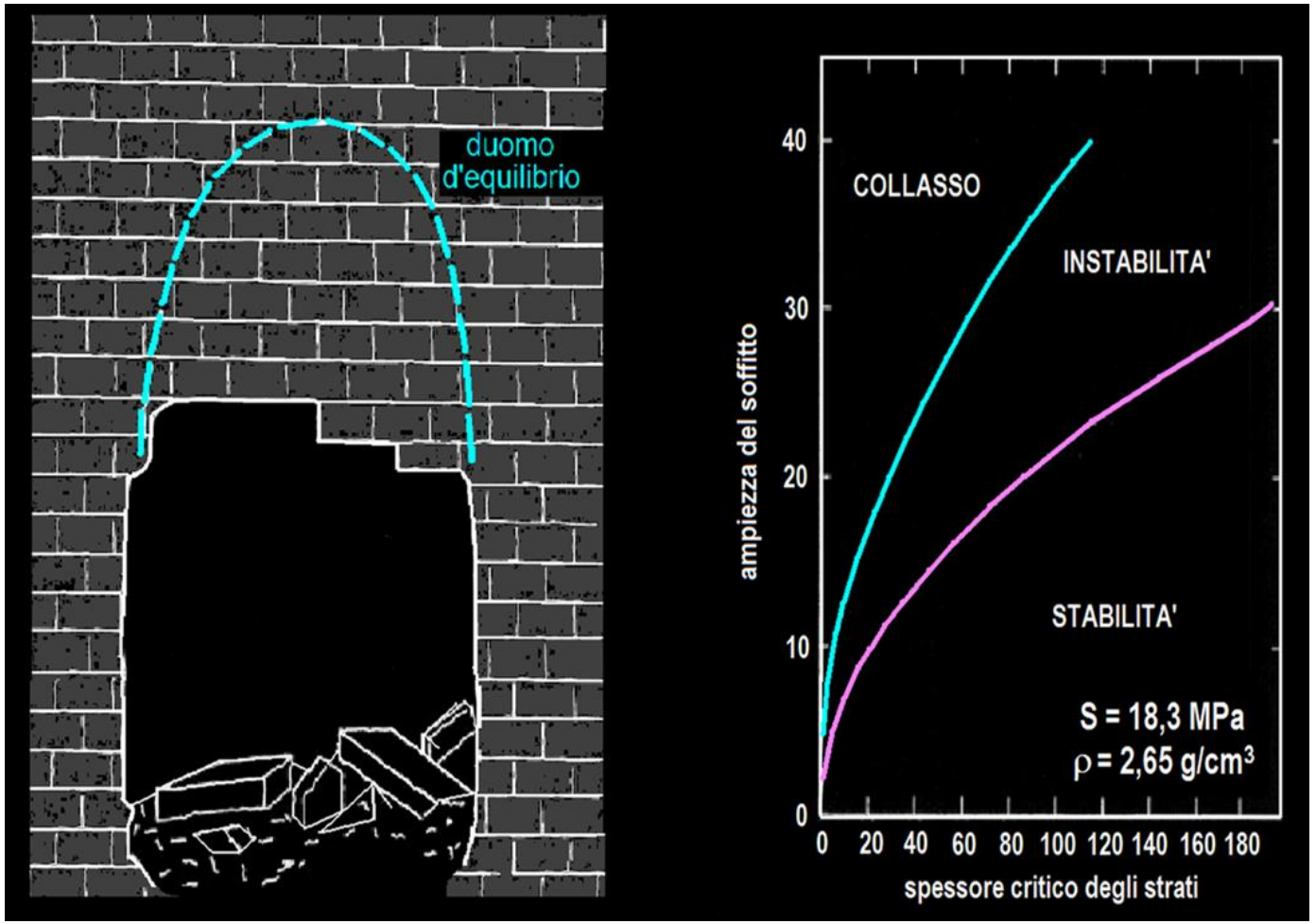


Bai Sun Tau (Uzbekistan; da M. Vianelli)

Forme dovute alla gravità

I vuoti sotterranei sono soggetti a fenomeni di collasso in funzione delle loro dimensioni e delle caratteristiche geomeccaniche della roccia.
I crolli modificano la forma dei condotti, tendendo, in condizioni isostatiche, a forme stabili (a cupola).

Salone Maranesi (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

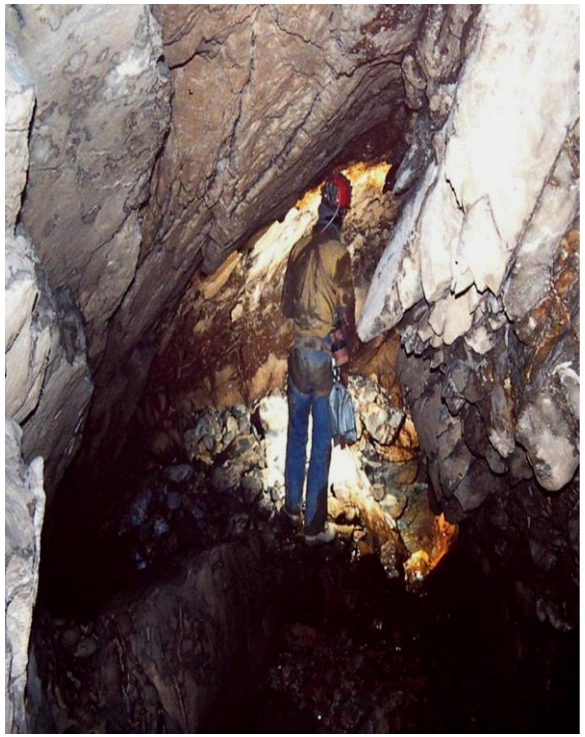


L'ampiezza critica dei soffitti dipende in primo luogo dallo spessore degli strati.
Il grafico rappresenta una situazione a strati orizzontali (S = sforzo di taglio, r = peso specifico) (da White & White, 2000)

Forme dovute alla gravità

Gallerie di crollo

Si formano da forre o gallerie freatiche per progressivi crolli. I crolli possono nascondere completamente l'originaria morfologia, comportando una migrazione dei vuoti verso l'alto.



Abisso Olivifer (Alpi Apuane; da L. Piccini)

Bai Sun Tau (Uzbekistan; da T. Bernabei)

Sale di crollo

Si formano da gallerie coalescenti o per l'intersezione di più pozzi paralleli. Sono i più grandi ambienti sotterranei.

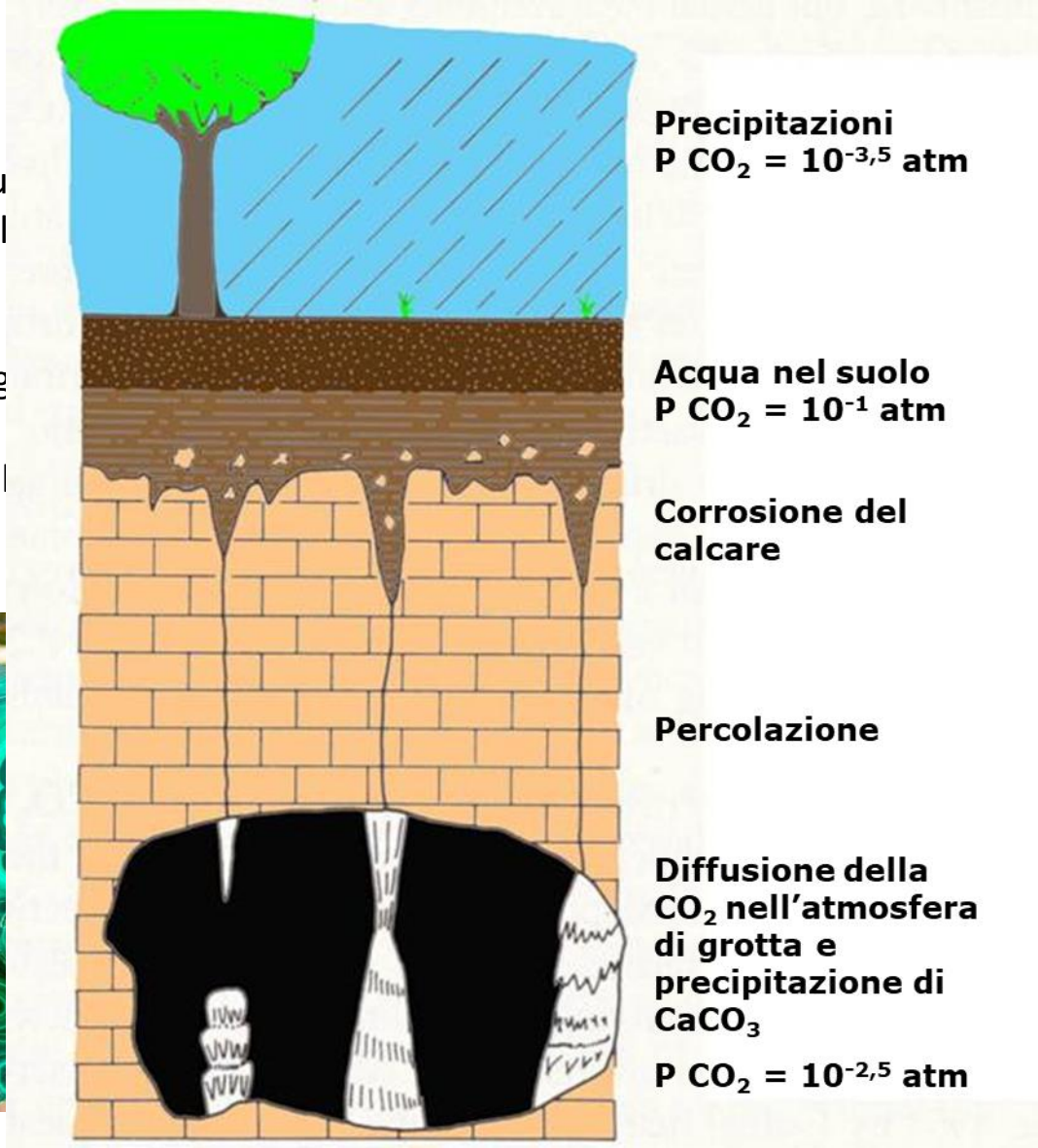
Sala Obelix (Abisso Milazzo, Alpi Apuane; da S. Iannelli)

Il concrezionamento

Per concrezione si intende una roccia depositata dall'acqua che ha al su interno, più o meno evidenti, una serie di lamine o bande sub-parallel sovrapposte, che rappresentano i suoi successivi stadi di accrescimento.

Sino a pochi anni fa per concrezioni si intendevano esclusivamente g speleotemi di carbonato di calcio ($CaCO_3$).
In realtà **qualunque minerale di grotta può dare luogo a concrezionamenti**, l cui forma è indipendente dal tipo di sostanza che la compone.

Campione di Malachite (carbonato di rame) concrezionato.

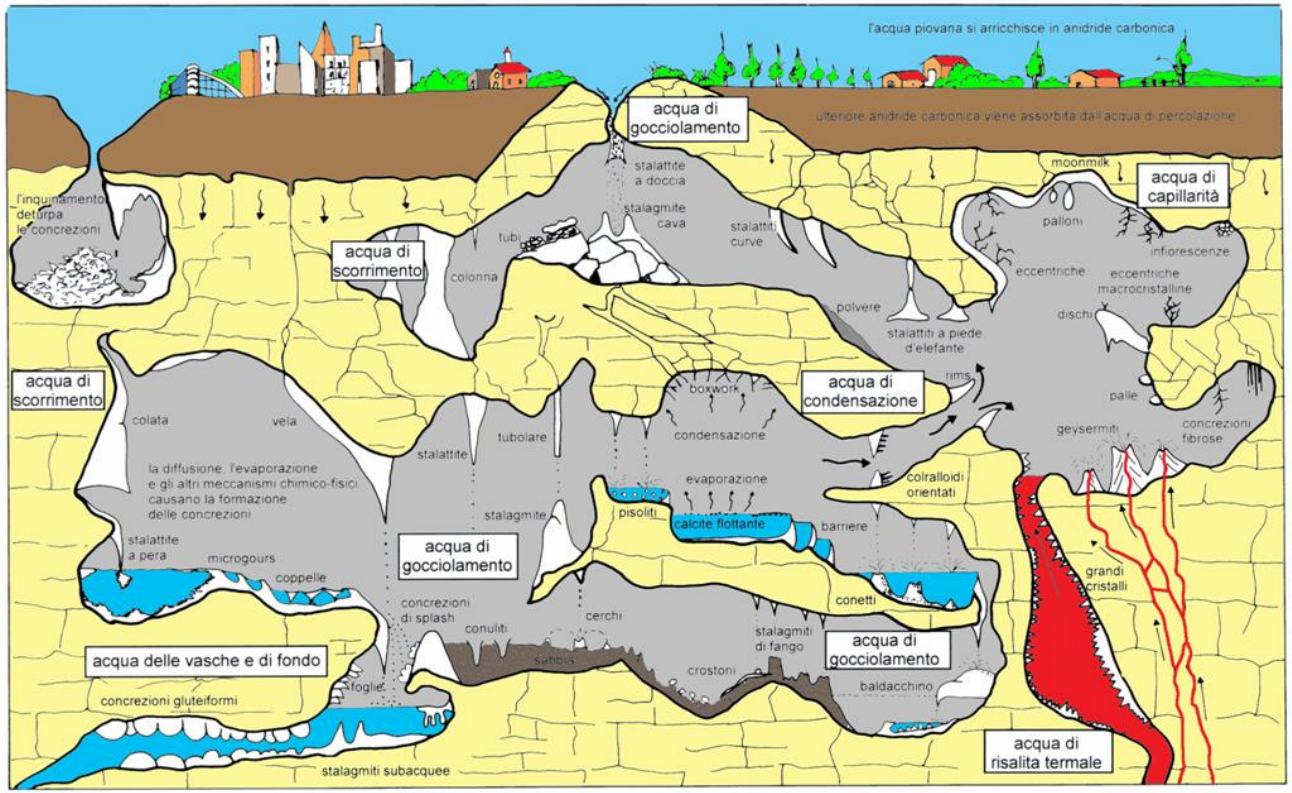


Schema del meccanismo di dissoluzione e deposizione del carbonato di calcio (da White, 1976)

La forma delle concrezioni

Non dipende dal minerale di cui sono fatte, ma è controllata esclusivamente dal tipo di moto del fluido che le genera.

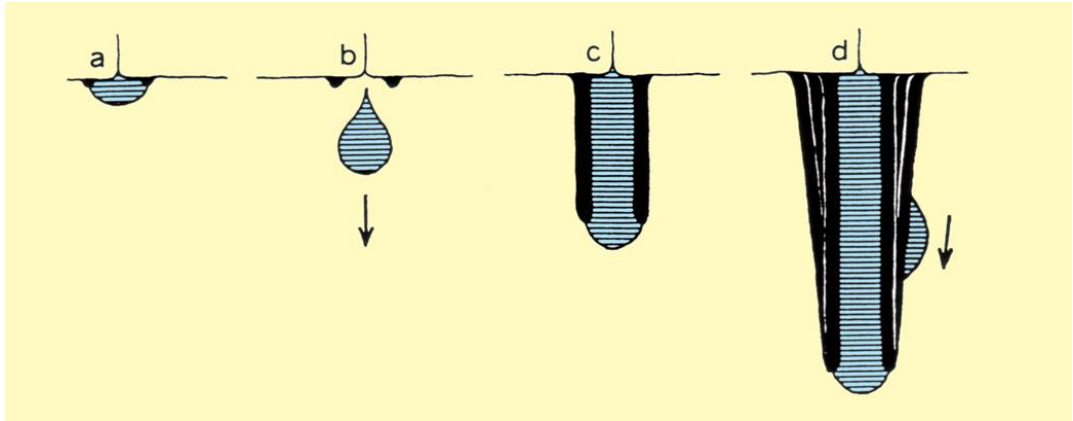
Moto dell'acqua		Principali forme risultanti
Gocciolamento	Caduta	Stalattiti, tubolari, vele
	Impatto	Stalagmiti, concrezioni da splash
Scorrimento		Colonne, colate, moonmilk …
Sommersione		Pisoliti, coralloidi, moonmilk …
Evaporazione		Coralloidi, cristalli flottanti …
Capillarità		Eccentriche, coralloidi …
Condensazione		Coralloidi, moonmilk …



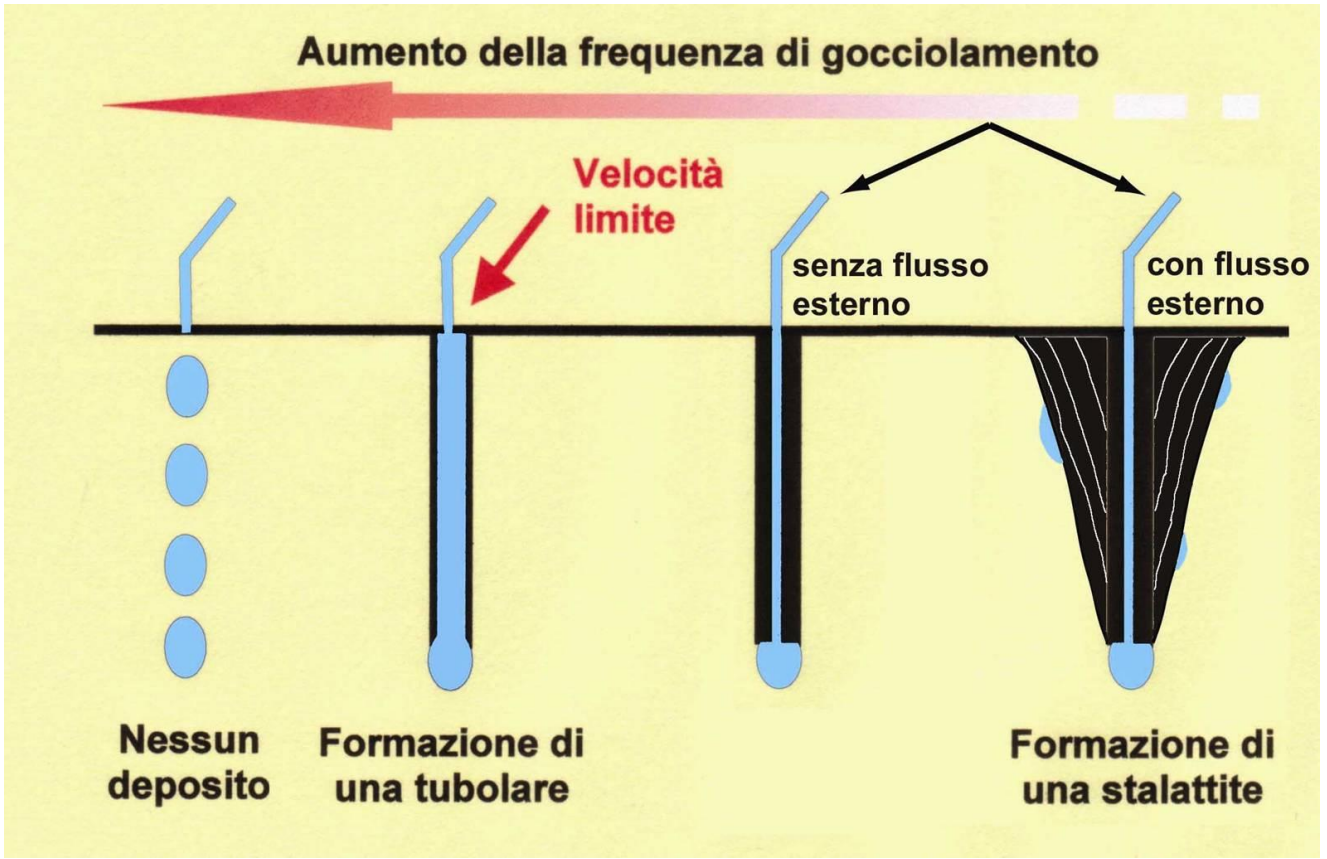
Schema dei processi e degli ambienti che formano le concrezioni di grotta (da Hill & Forti, 1997)

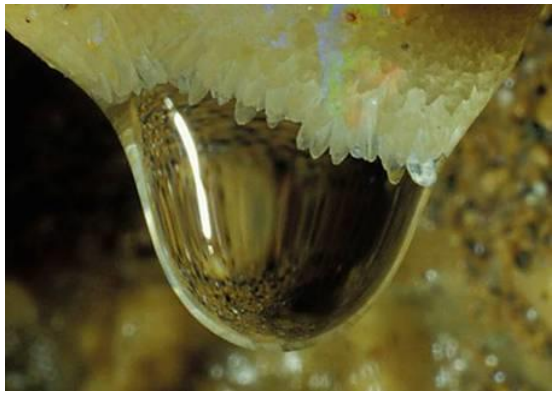
Concrezioni da gocciolamento: le stalattiti

Si formano quando **acqua sovrasatura affiora sul soffitto di una cavità aerata dando luogo a un gocciolamento**.
Se la velocità di gocciolamento è troppo alta non si può formare alcun deposito.
Le **tubolari** pertanto rappresentano il limite superiore per la velocità di gocciolamento oltre la quale non si formano concrezioni. A velocità più basse si formano le **stalattiti**.



Meccanismo di accrescimento di una stalattite (da Cabrol, 1978)



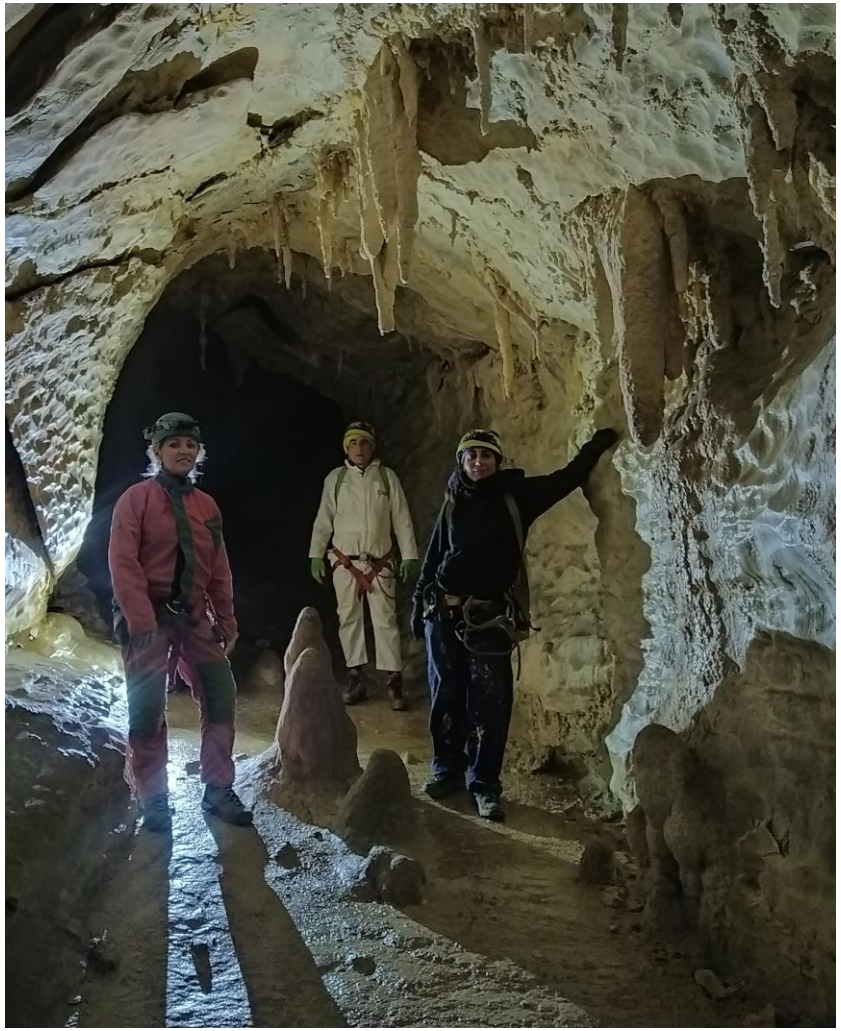


Schema che mette in relazione la velocità di gocciolamento con il tipo di concrezione che ne deriva (da Forti, 2009)

Foto che mostra la crescita di micro-cristalli di calcite all'interno di una goccia d'acqua posta all'estremità di una stalattite (da Forti, 2009)

Concrezioni da gocciolamento: le stalattiti

Tubolare (Abisso Milazzo, Alpi Apuane)



Stalattiti (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

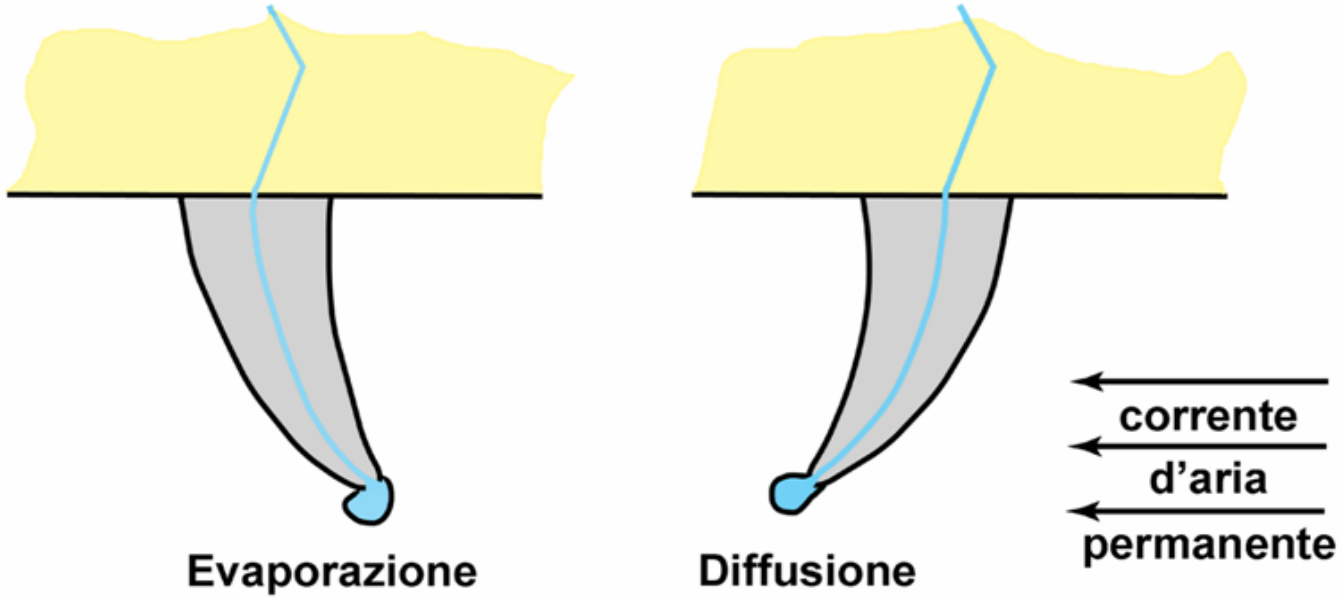
Stalattiti (Abisso Milazzo, Alpi Apuane)

Concrezioni da gocciolamento: le stalattiti

La crescita delle stalattiti può essere **influenzata dalle correnti d'aria** che spirano sempre nella stessa direzione durante il loro accrescimento all'interno della grotta.
La direzione della curvatura dipende dal meccanismo che porta allo sviluppo delle stalattiti:

- **a favore di vento se domina la diffusione**;
- **contro vento se domina l'evaporazione**.

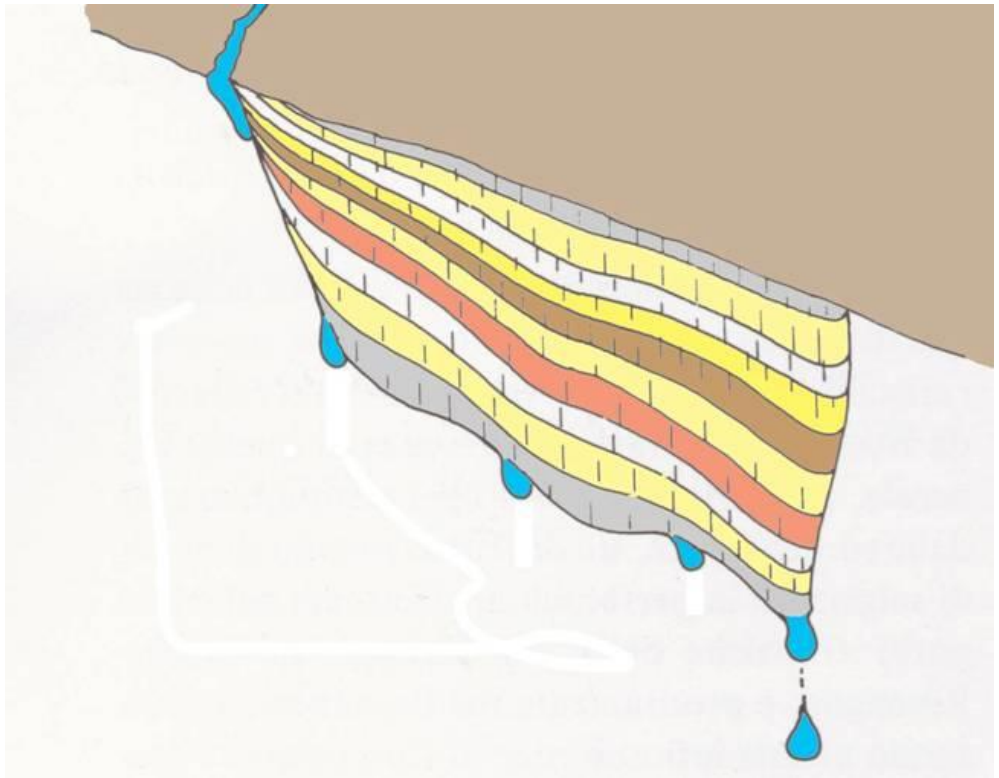
Stalattiti storte della Grotta Calindri (Bologna; da P. Forti)



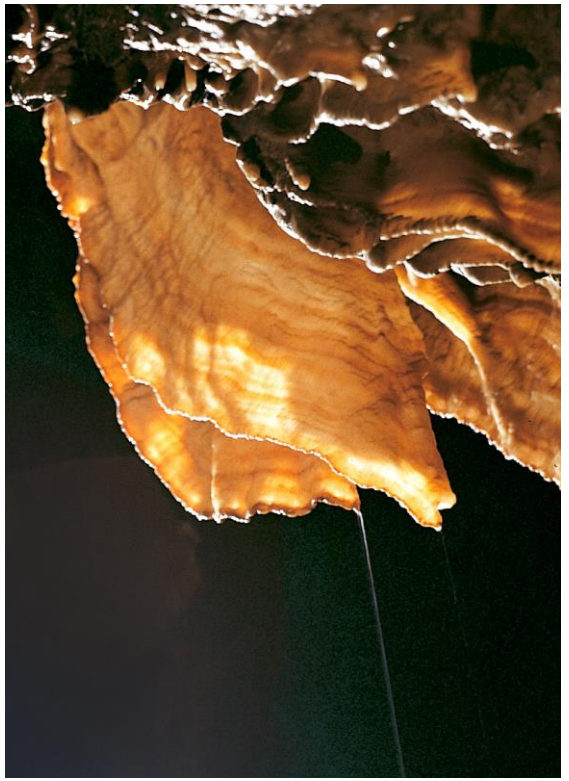
Schema di formazione delle stalattiti ricurve (da Forti, 2009)

Concrezioni da gocciolamento: le vele

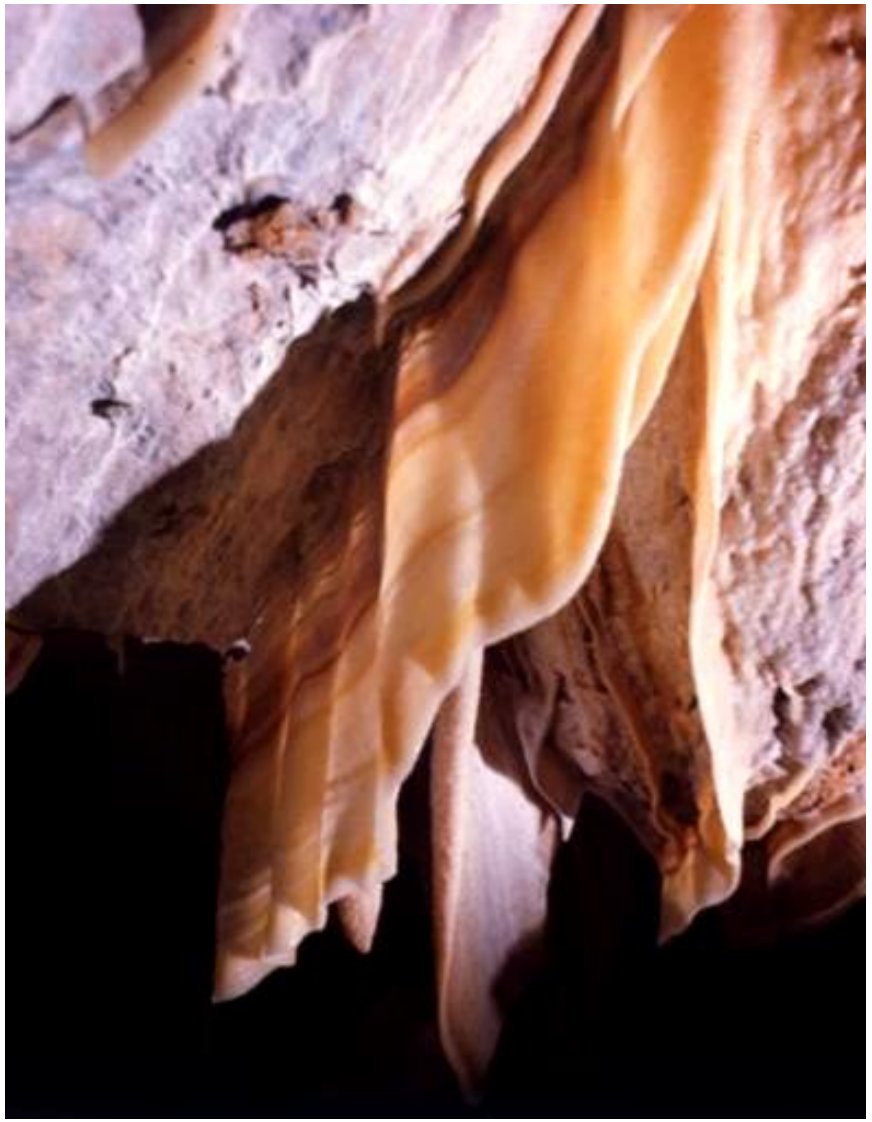
Si formano quando **la goccia prima di staccarsi scorre sul soffitto della galleria** per un certo tempo. Si forma così una "pista" della dimensione della goccia. Le varie piste, nell'arco di un certo periodo di tempo, si sovrappongono a formare la vela. L'allargamento avviene solo per acqua che fluisce sulle pareti laterali come nelle stalattiti.



Schema di formazione di una vela (da Forti, 2009)



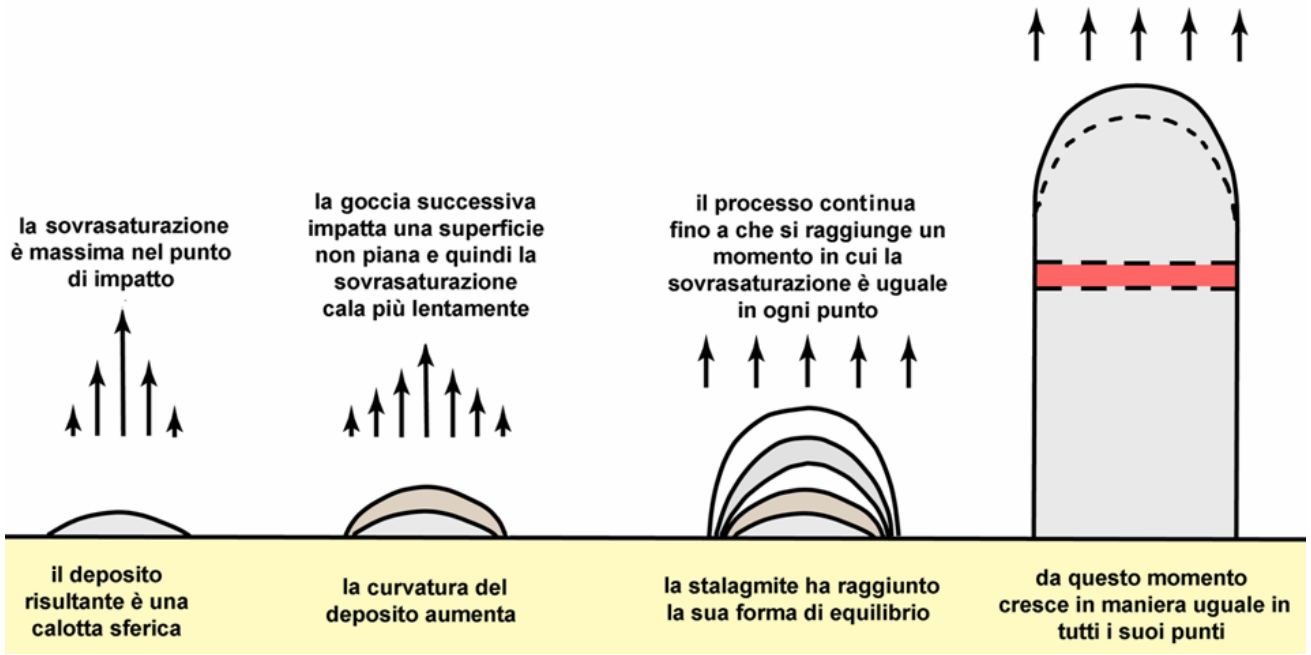
Grotta del Vento (Alpi Apuane; da M. Verole)



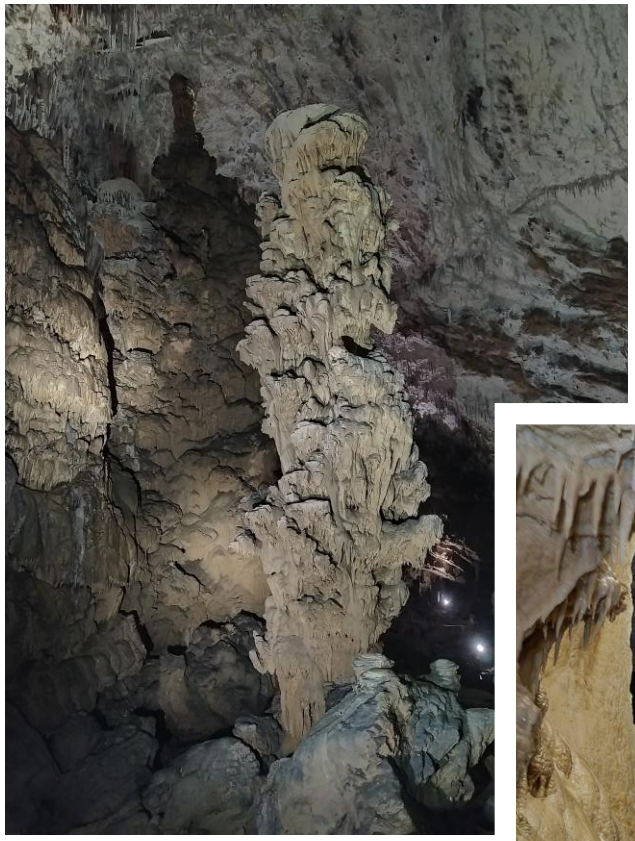
Grotta di Valdemino (Liguria; da Arch. GSB/USB)

Concrezioni da gocciolamento: le stalagmiti

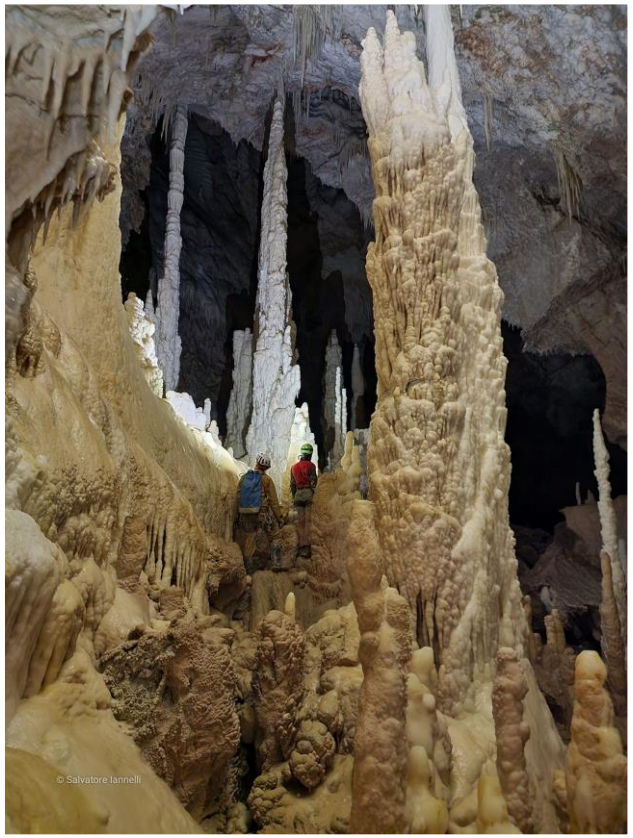
Si formano quando **acqua sovrasatura affiora sul soffitto di una cavità aerata, o da una stalattite, dando luogo a un gocciolamento**. Nel punto d**ove la goccia impatta il pavimento** della grotta si può formare una stalagmite. Possono essere schematizzate come dei cilindri a testa ogivale più o meno appiattita, e possono raggiungere il diametro di vari metri e altezza anche di 30 metri.



Schema di formazione di una stalagmite (da Forti, 2009)



Grotte di San Canziano



Grotte di Frasassi (da S. Iannelli)

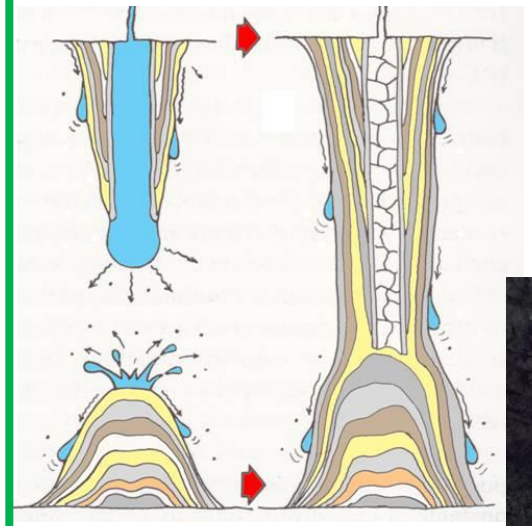
Concrezioni da scorrimento

Si formano per un velo d'acqua che fluisce su pareti, pavimento, altre concrezioni, e possono dare origine ai grandi pavimenti concrezionati, alle colonne, alle barriere delle vasche, ai baldacchini ecc…

Colate o flowstone

Grotta Gournier (Francia; da G. Frabetti)

Colonne



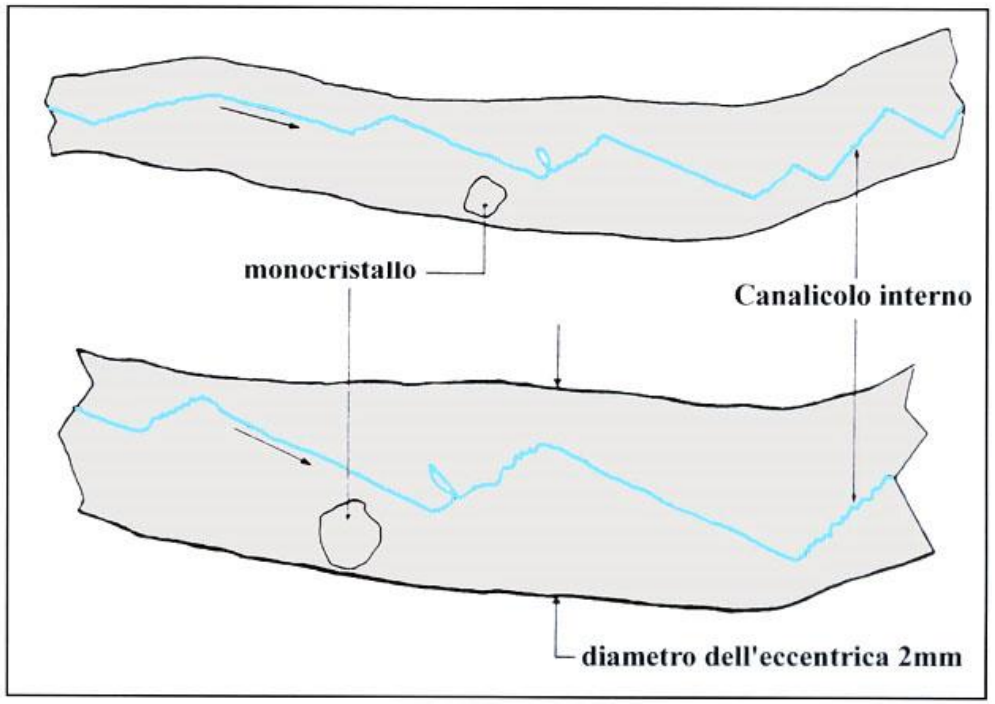
Schema di formazione di una colonna (da Forti, 2009)

Galleria delle stalattiti (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Concrezioni da capillarità: le eccentriche

Le eccentriche devono il loro nome al fatto che **si possono sviluppare in ogni direzione**. La loro lunghezza può variare da pochi millimetri a vari metri, mentre il diametro passa da frazioni di millimetro a oltre 10 centimetri.

Queste concrezioni hanno al loro interno un **canalicolo** (da 0,008 a 0,5 millimetri) che si sviluppa all'interno dell'eccentrica in modo del tutto indipendente dalla forma esterna della stessa, e **consente la propagazione dell'acqua per capillarità**.

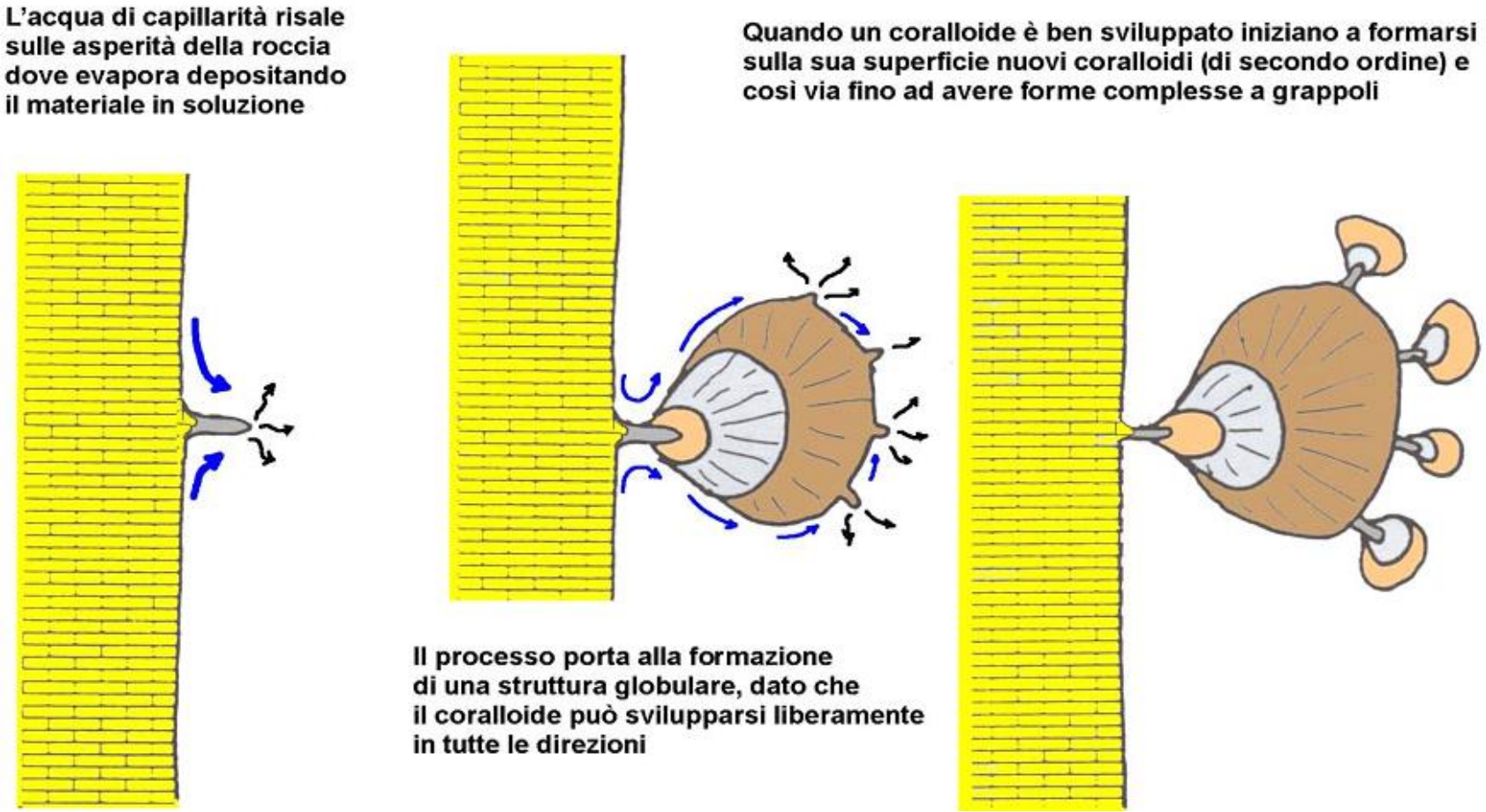


Schema di formazione di un'eccentrica (da Cabrol, 1978)

(a) Ramo dei Lucchesi (da S. Basilischi; (b) Ramo del Conte; (c) Ramo delle eccentriche; (d) Ramo dei Lucchesi. (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

Concrezioni da evaporazione: le coralloidi

Le coralloidi, chiamate così perché ricordano la forma dei coralli, si sviluppano nelle aree di forte evaporazione (+ΔT -ΔP).



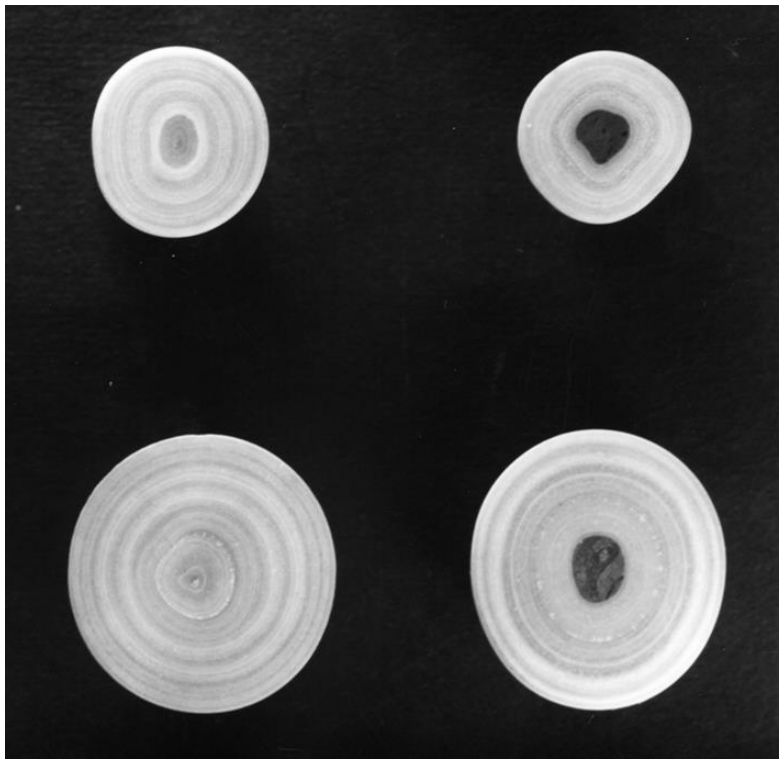
Schema di formazione delle coralloidi (da Perna, 1989)

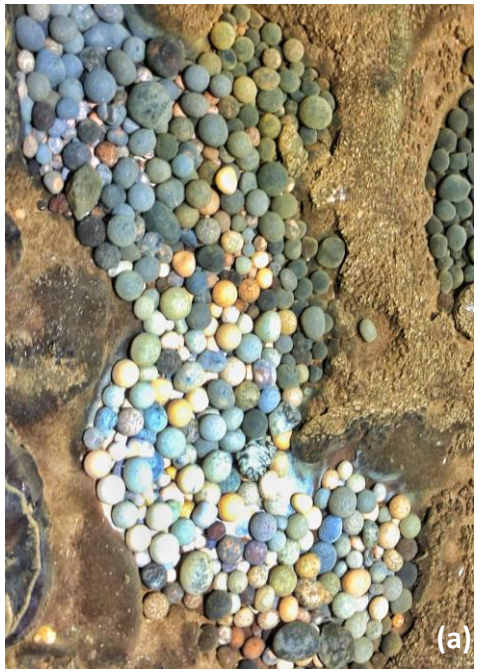
Ramo dei Maremmani (Antro del Corchia, Alpi Apuane)

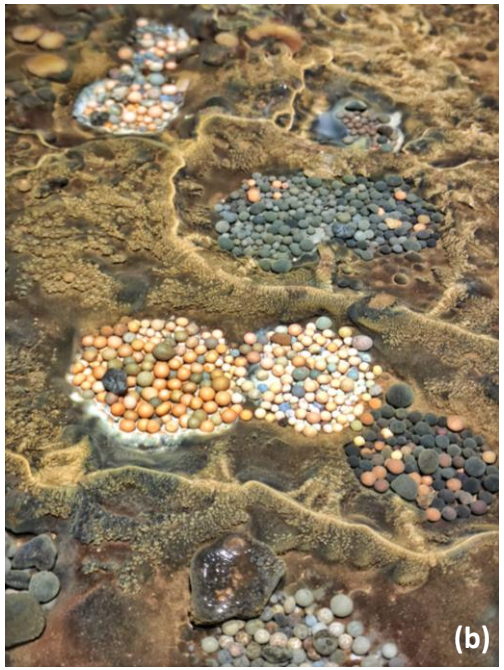
Concrezioni da sommersione: le pisoliti

Vengono chiamate anche perle di grotta, avendone la stessa struttura interna, caratterizzata da un nucleo centrale su cui si **sviluppano le bande concentriche** di concrezione.
I diametri massimi e minimi delle pisoliti esistenti all'interno di ogni vaschetta sono **controllati dell'energia cinetica dell'acqua** che le alimenta.

Sezione di una pisolite (da Forti, 2009)


Pisoliti in sezione con nuclei differenti (da Forti, 2009)





(a-b) Pisoliti colorate in Miniera di Santa Barbara (Alpi Apuane; da G. Ianett); (c) Pisoliti nella Galleria delle Pisoliti (Abisso Milazzo, Alpi Apuane)

Il latte di monte o *moonmilk*

È un **aggregato microcristallino**, soffice e **plastico** se impregnato d'acqua (consistenza del dentifricio), finissima polvere se secco.

Forma di norma strati di alcuni centimetri su pareti, ma può dare luogo anche a grandi concrezioni.

Geneticamente il *moonmilk* può formarsi sia in maniera abiologica che biologica.

Cristalli di gesso su latte di monte nella Grotta del Fiume (Frasassi; da P. Forti)

Considerazioni conclusive

Sono state descritte morfologicamente e geneticamente solamente alcune delle **principali morfologie carsiche e di concrezioni**. Le grotte presentano una molto più grande varietà di forme concrezionarie, e ancora oggi se ne trovano di assolutamente nuove. Dato il loro **grande interesse**, non solo estetico, ma anche e **soprattutto scientifico**, la ricerca in questo campo è molto attiva.

Le concrezioni sono il principale motivo estetico di una grotta, ma possono facilmente essere sporcate, alterate o distrutte.

Le concrezioni appartengono alla grotta che le ospita e debbono pertanto rimanere intatte al suo interno. **NON È AMMESSO NESSUN PRELIEVO** di materiale, anche se già rotto, per collezionismo o peggio commercio.

geosciences MDPI

Article

New Chronological Constraints from Hypogean Deposits for Late Pliocene to Recent Morphotectonic History of the Alpi Apuane (NW Tuscany, Italy)

Ilaria Isola [1,2*], Francesco Mazzarini [1], Giancarlo Molli [3], Leonardo Piccini [4], Elena Zanella [5], Giovanni Zanchetta [3], Russell Drysdale [6], John Hellstrom [7], Jon Woodhead [7], Adriano Roncioni [8], Flavio Milazzo [9], Diego Pieruccioni [10] and Eleonora Regattieri [2]

https://www.mdpi.com/2076-3263/11/2/65

Science AAAS

Evidence for Obliquity Forcing of Glacial Termination II
R. N. Drysdale, *et al.*
Science **325**, 1527 (2009);
DOI: 10.1126/science.1170371

https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1170371

ELSEVIER

Quaternary Science Reviews 26 (2007) 279–286

QSR RAPID COMMUNICATION

Rapid communication

Enhanced rainfall in the Western Mediterranean during deposition of sapropel S1: stalagmite evidence from Corchia cave (Central Italy)

G. Zanchetta[a,*], R.N. Drysdale[b], J.C. Hellstrom[c], A.E. Fallick[d], I. Isola[e], M.K. Gagan[f], M.T. Pareschi[e]

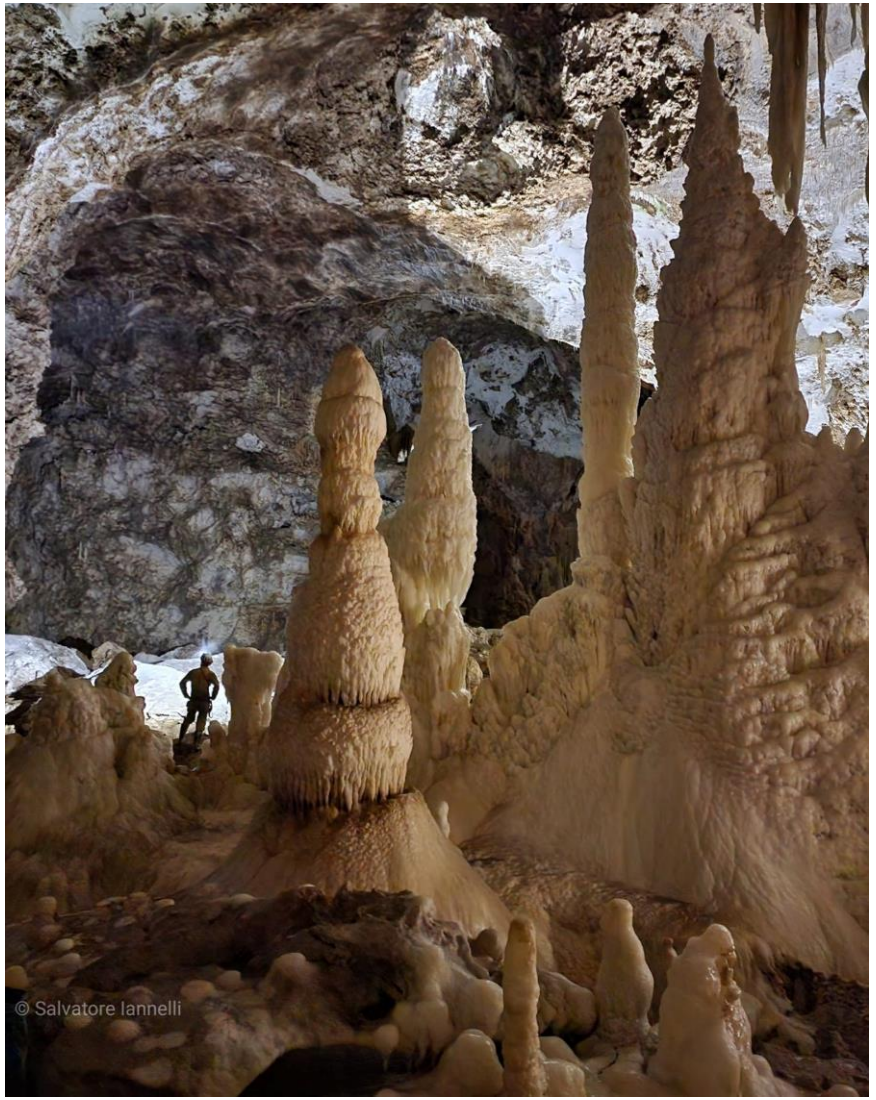
https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.12.003

RESEARCH ARTICLE | FEBRUARY 01, 2006

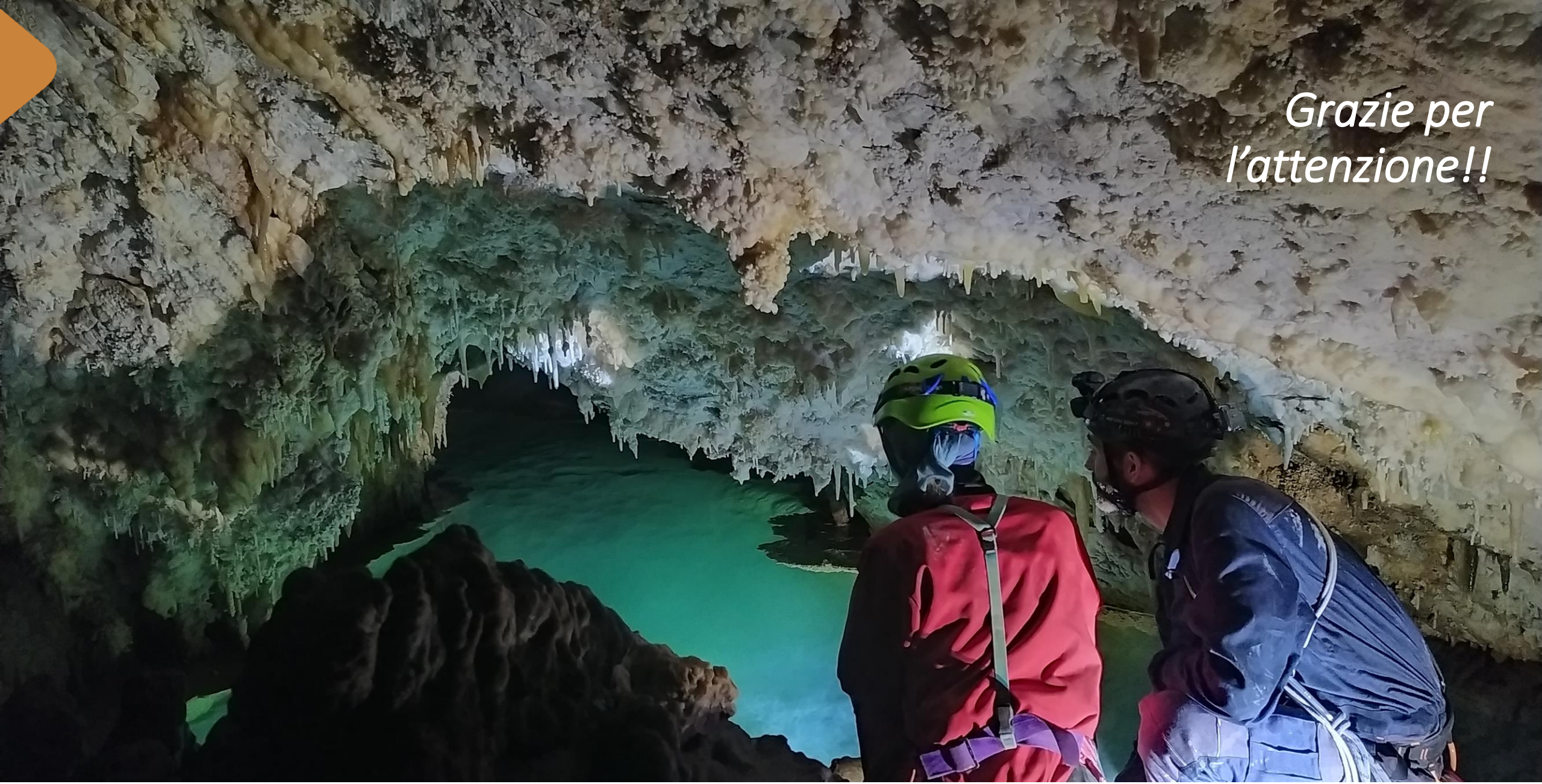
Late Holocene drought responsible for the collapse of Old World civilizations is recorded in an Italian cave flowstone

Russell Drysdale; Giovanni Zanchetta; John Hellstrom; Roland Maas; Anthony Fallick; Matthew Pickett; Ian Cartwright; Leonardo Piccini

https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/34/2/101/129423/Late-Holocene-drought-responsible-for-the-collapse



Grotta di Frasassi (da S. Iannelli)



Scuola estiva 2023
Rilevamento geologico e cartografia CARG

PROGETTO CARG

ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente