

## PREMESSA\*

Nel Carso triestino sono state eseguite quattro datazioni assolute di concrezioni calcaree, tutte su una unica stalagmite raccolta nella Grotta Gigante. I valori (i primi ed unici finora ottenuti nel Carso triestino) sono stati pubblicati recentemente in un lavoro che confrontava i risultati della datazione di alcuni speleotemi provenienti da diverse località italiane (Forti, Postpischl, 1987) e proponeva alcuni collegamenti ad eventi paleosismici.

Nel presente lavoro si analizzano i dati radiometrici e morfologici della stalagmite, inserendoli nel quadro, invero non compiutamente definito, dell'evoluzione recente del Carso triestino.

La stalagmite studiata è stata raccolta sul fondo della grande cavità triestina, in un tratto in cui sono presenti numerose concrezioni crollate (\*1). Non sono note le cause del suo ribaltamento, tuttavia la stalagmite fa parte di una famiglia di concrezioni bianche, esteriormente a stretta "palma", molte delle quali ancora in piedi anche se non più attive. Frammenti di stalagmiti simili si trovano anche frequentemente nei depositi clastici della cavità.

La stalagmite è stata sezionata lungo un piano che contiene in massima parte l'asse di accrescimento verticale.

Da una delle due metà sono stati prelevati, in posizione morfologicamente significative, quattro campioni che sono stati sottoposti ad analisi presso la Faculté Polytechnique de Mons, mediante il metodo U/Th (\*2).

## CONSIDERAZIONI MORFOLOGICHE SULLA STALAGMITE

Lo speleotema analizzato è alto 140 cm e ha una larghezza alla base di 30 cm, valore che rimane pressochè costante per tre quarti dell'altezza; quindi presenta una rastremazione che procede costante sino alla sua sommità.

La sezione lucida evidenzia una struttura ben definita a bande di accrescimento con veli calcitici normalmente submillimetrici che in alcuni casi divengono estremamente ridotti e in altri sono costituiti da cristalli anche millimetrici.

In molte zone sono presenti aree caratterizzate da una struttura spugnosa con vacui di

\* Ricerca eseguita nell'ambito dell'Unità "Carsologia" del Gruppo Nazionale CNR Geografia fisica e Geomorfologia

\*1 Ringraziamo gli speleologi della Commissione Grotte "E. Boegan" per aver modificato in positivo, e di 103 metri, la quota della concrezione.

\*2 Ringraziamo l'amico e collega Yves Quinif per la disponibilità e la rapidità nell'esecuzione delle misure di datazione.

dimensione millimetrica o anche superiore: queste strutture interne sono di norma presenti essenzialmente lungo l'asse di accrescimento della stalagmite, ma si sviluppano anche nelle aree di espansione a palma. Degno di nota il fatto che gli episodi di accrescimento cristallino millimetrico e di porosità intercrystalline sono numerosi specie verso l'alto.

Il cromatismo ha notevole monotonia, con colore bianco o bianco-rosato e rari sono gli episodi, sempre a potenza submillimetrica, di colore beige o marrone. Fra questi ultimi il più evidente è posizionato circa a 52 cm dalla base (tratto ad età di circa 20.300 y B.P., vedi paragrafo successivo).

L'orientazione dell'asse di accrescimento, pur evidenziato alcuni episodi di brusca variazione, nel complesso è abbastanza costante dalla base alla sommità: mediamente discostandosi dalla verticalità al massimo di 15°, tranne in un caso.

E comunque impossibile collegare queste variazioni di inclinazione, trattandosi di un caso unico e di una stalagmite raccolta già crollata, a quelle analizzate statisticamente in tutta la grotta (Cucchi et al., 1985), tuttavia lacune di esse potrebbero essere collegate a movimenti tettonici recenti.

Dal punto di vista morfologico la concrezione può essere suddivisa in tre tratti o sezioni:

#### **1 – dalla base a 57 cm:**

Si tratta di una concrezione a bande di accrescimento mediamente submillimetriche fini, a cristalli generalmente molto minuti, caratteristiche queste normalmente collegabili ad ambienti di bassa sovrassaturazione e quindi di lenta crescita verticale. Cromaticamente questa parte della stalagmite è molto bianca, latte e differisce nettamente da tutto il resto della concrezione che ha una tonalità più rosata.

La morfologia "esterna" di questa porzione di stalagmite è caratterizzata da una banda di accrescimento di spessore millimetrico di colore marron chiaro che marca una frastagliatura centimetrica paragonabile a quella presente nella parte apicale della stalagmite stessa.

Il diametro si mantiene costante attorno a valori di 13 cm sino ai 35 cm e quindi subisce una lieve rastremazione, probabilmente da imputarsi al fatto che ancora in quel tratto la stalagmite non aveva raggiunto uno "stato stazionario" di crescita.

In corrispondenza della variazione cromatica apicale iniziano a manifestarsi le prime decise variazioni nell'inclinazione dell'asse di accrescimento.

#### **2 – da 57 cm a 112 cm dalla base:**

Il secondo tratto, partendo dalla sommità del precedente, si sviluppa per ulteriori 55 cm in altezza, ma va rimarcato che lo stesso ricopre lateralmente il nucleo precedente trasformando il diametro medio da 13 cm a 26 cm, valore che rimane sufficientemente costante sino a 95 cm dalla base, ove si nota una rastremazione che può esser imputata alle medesime cause che hanno originato quella della prima sezione. Per tutto lo sviluppo di questa porzione la struttura esterna è quella tipica a palma con rientranze di anche 5 cm.

Le bande di accrescimento sono qui mediamente più spesse, i cristalli ove presenti meno

minuti e pur nella monotonia cromatica bianco-rosa di fondo si notano numerose variabilità, probabilmente collegabili ad una crescita verticale più rapida di quella caratterizzante la porzione precedente.

Anche questo tratto termina morfologicamente con una banda millimetrica marrone che borda quasi tutto lo speleotema e che marca un intervallo in cui l'asse di accrescimento varia rapidamente inclinazione, che in questa punto mostra la sua massima anomalia.

**3 – da 112 cm dalla base all'apice:**

Corrisponde agli ultimi 26 centimetri dello speleotema ed è a sezione conica, con bande di accrescimento millimetriche ricche di porosità intracristalline e quindi molto simili, anche cromaticamente, a quelle del secondo tratto. Lungo i lati sono presenti rastremazioni centimetriche, molto minori di quelle della sezione 2 e paragonabili invece a quelle della sezione 1.

In Fig. 1 sono schematicamente riportate tutte le caratteristiche morfologiche salienti della stalagmite sin qui evidenziate.

**DATAZIONI RADIOMETRICHE**

Come accennato precedentemente sono stati datati quattro momenti della crescita e precisamente la base, a 50, 100 e 140 cm circa: le zone ove effettuare i campionamenti sono state scelte sempre in corrispondenza dei principali eventi morfologici: l'inizio del concrezionamento sul pavimento, una brusca variazione di inclinazione dell'asse di accrescimento, una decisa modificazione del ritmo di accrescimento, la fine dell'accrescimento (Fig. 1).

I risultati ottenuti col metodo del U/Th sono riportati nella tabella seguente 3\*

TABELLA 1:  
Tabella dei risultati isotopici e dell'età della stalagmite

N.	U(pp.m.)	U234/U238	Th230/U234	Th230/Th232	U234/U238t=0	Età	(ky B.P.)
1	0.131+/-0.005	0.925+/-0.054	0.391+/-0.056	11	0.913	54.3	(+11.2, -9.9)
2	0.152+/-0.005	1.109+/-0.050	0.171+/-0.023	701	1.115	20.3	(+ 3.1, -2.9)
3	0.144+/-0.026	1.040+/-0.026	0.167+/-0.059	10	1.042	19.8	(+ 8.0, -7.5)
4	0.133+/-0.003	1.108+/-0.031	0.031+/-0.018	11	1.082	15.2	(+ 2.2, -2.2)

\*3 La tabella indica il tenore in uranio in parti per milione (ppm), il rapporto isotopico U234/U238, il rapporto isotopico Th230/U234, il rapporto isotopico Th230/Th232, il rapporto isotopico iniziale U234/U238 con t=0, e l'età del deposito espressa in milioni di anni B.P. In parentesi sono indicati gli errori in positivo ed in negativo dovuti al computo statistico. Bisogna insistere sul carattere statistico delle misure: l'età indicata nei limiti dell'errore è probabile al 67%.

Il rapporto isotopico Th230/Th232 esprime la relazione fra il torio 230 radiogenico, che proviene dall'uranio 234, e il torio 232 detto "detritico", che è a capo di una famiglia radioattiva. Il termine "de-

Se il campione N.2 è l'unico che offre tutte le garanzie di una datazione sicura (dato l'alto valore del rapporto  $Th230/Th232$ ), va riconosciuta la coerenza temporale degli altri risultati, ottenuti da campioni su cui la sequenza sedimentaria era stata volutamente omessa, all'atto delle analisi radiometriche.

## DISCUSSIONE

Sulla base delle osservazioni sperimentali si è tentato di risalire alla velocità di accrescimento verticale durante lo sviluppo dello speleotema analizzato.

Tale velocità risulta essere estremamente variabile: assumendo infatti per reali i valori di età radiometrica relativi ai tre intervalli considerati (54.3 – 20.3 Ky, 20.3 – 19.8 Ky, 19.8 –

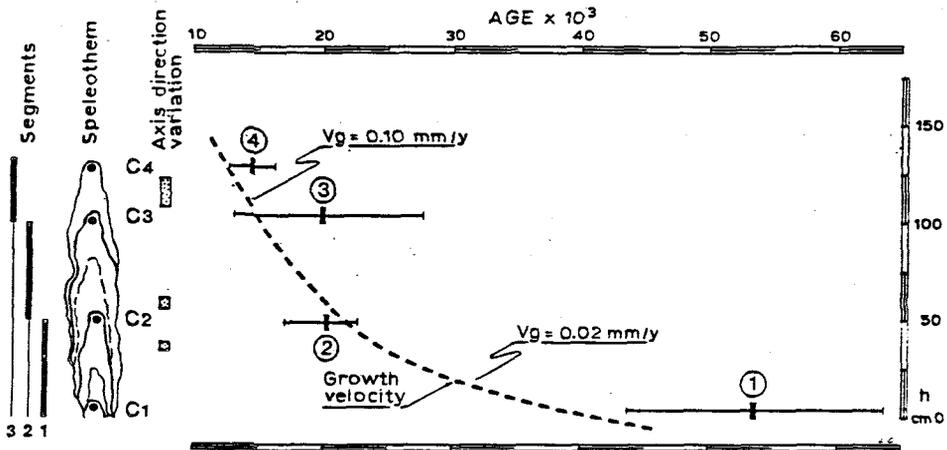


Fig.2 Diagramma indicativo della velocità di accrescimento. In ordinata l'altezza, in ascissa l'età; si sono segnalati gli intervalli temporali da datazione radiometrica, i tratti interessati da variazioni di inclinazione dell'asse di massimo accrescimento verticale, la curva di accrescimento proposta, e si è riportata schematicamente la morfologia dello speleotema.

Sl.2 Diagram hitrosti rasti. Na ordinati je višina, na abscisi starost; označeni so časovni intervali radiometrične datacije, deli, pomembni za spremembo naklona osi pri največji navpični rasti, predvidena krivulja rasti in shematsko prikazana morfologija kapnika.

trítico" deriva dal fatto che, per la sua insolubilità, il torio può transitare anche assorbito su particelle argillose. Per soddisfare alle condizioni di datazione, questo  $Th232$  dovrebbe essere assente in quanto è legato a delle impurità insolubili che possono anch'esse liberare del  $Th230$  parassita, proveniente tanto dall'uranio legato a questi insolubili quanto dall'uranio del carbonato antecedente al trasporto. In pratica, si stima che un rapporto  $Th230/Th232$  superiore a 20 è necessario per essere sicuri del fatto che l'effetto perturbante è trascurabile.

15.2 Ky), si ottengono valori di  $550:34.000 = 0.02$  mm/y,  $480:1.000 = 0.48$  mm/y,  $380:4.000 = 0.095$  mm/y, con un valore medio di  $1.400:39.100 = 0.036$  mm/y (Fig. 2).

Anche tracciando una curva di accrescimento più "morbida" sulla base dell'estensione temporale dovuta agli errori sperimentali, risulta comunque evidente un incremento nella velocità di accrescimento verificatosi circa 20.000 y B.P., col passaggio da un ritmo di 50 cm in 20.000 anni ad uno di 90 cm in 10.000 (da 0.025 mm/y a 0.090 mm/y).

Si tratta di valori ridotti che però possono esser compatibili con l'evoluzione climatica, dato che è ormai assodato che l'accrescimento degli speleotemi a ritmi legati alle caratteristiche climatiche esterne (Cazzoli et al., 1988).

E' indubbiamente strano l'alto indice di accrescimento nel periodo intorno a 20.000 anni fa. Anche se sono numerosi i livelli di accrescimento dati da cristalli millimetrici e meno frequenti quelli submillimetrici e se la maggioranza degli episodi ad alta porosità è concentrata verso l'alto.

Tenendo presente che la misura radiometrica del campione 2 è quella più significativa, resta il problema di giustificare un forte aumento della velocità di accrescimento verticale in un periodo decisamente freddo.

Infatti dalle varie curve termiche ricavate negli ultimi anni (Vergnaud-Grazzini, 1973; Vergnaud-Grazzini et al., 1988; Marocco et al., in press) risultano con una certa costanza valori bassi della temperatura media negli anni fino a 14.000/12.000 y B.P., quando al lungo periodo glaciale iniziò a subentrare il postglaciale. Pulsazioni termiche positive risultano comunque essersi verificate 32.000, 19.000 e 14.000 anni fa circa, ma sembrano di limitata durata.

Il Carso triestino 20.000 anni fa aveva un aspetto non molto dissimile all'attuale dal punto di vista morfologico; infatti oltre al dato indiretto legato ai ritrovamenti preistorici che datano sedimenti sicuramente più antichi della concrezione studiata, va ricordato che con un ritmo dissolutivo di circa 0.03 mm anno (Cucchi et al., 1988) la superficie si è abbassata mediamente di soli 6 metri.

Non si può ipotizzare pertanto un corso d'acqua glaciale con acque ricche in carbonato da corrosione glaciale e periglaciale e scorrente sui calcari.

L'unica ipotesi che può esser ragionevolmente fatta è che le acque concrezionanti di provenienza meteorica ad infiltrazione rapida da quel momento abbiano iniziato ad arricchirsi in carbonato di calcio, aumetando così progressivamente il loro potere concrezionante.

Questo ben corrisponderebbe ad un passaggio di carso scoperto a carso coperto, con il relativo brusco aumento nella pressione parziale di CO<sub>2</sub> nelle acque di infiltrazione.

Questa ipotesi può trovare conforto nel fatto che la dimensione radiale della stalagmite bruscamente aumenta esattamente in corrispondenza di questo periodo, indicando con chiarezza un notevole incremento dell'apporto idrico che potrebbe essere correlato a un innalzamento pregressivo, ancorchè piccolo, della temperatura media esterna, aumento questo che potrebbe anche giustificare l'instaurarsi della copertura del carso.

L'aumento di apporto idrico sulla concrezione probabilmente non si è verificato solamente con un innalzamento della frequenza di gocciolamento lungo l'asse di accrescimento, ma

anche con la comparsa di nuove gocce con punti di caduta variabili attorno a quello principale, come indicano le porosità intracristalline presenti al di fuori dell'asse della stalagmite.

Comunque da questo momento sino al termine della seconda sezione (circa 15.000 y B.P.) l'apporto idrico sembra essersi mantenuto costante, mentre dopo di allora è evidente una progressiva diminuzione dell'entità di gocciolamento sulla concrezione.

In conclusione quindi, le caratteristiche morfologiche assieme ai dati radiometrici suggeriscono di ipotizzare all'epoca un episodio (anche concentrato in pochi anni a cavallo dei 20.000 - 18.000 y B.P.) di clima a condizioni idrologico-climatiche temperate, tali da mutare sensibilmente la "facies carsogenetica" legata nel nostro caso solamente alle precipitazioni.

Anche se vi è una tendenza da parte di alcuni ricercatori, ad ipotizzare in tempi recenti pur se non ben definiti, il completo riempimento clastico fine delle cavità del Carso triestino (col che si potrebbero ipotizzare anche scorrimenti idrici superficiali con concentrazione del concrezionamento in pochi inghiottitoi attivi) la stalagmite analizzata si è formata in condizioni aeree, condizioni perdurate da circa 50.000 y B.P. almeno fino al crollo, avvenuto 15.000/12.000 anni fa.

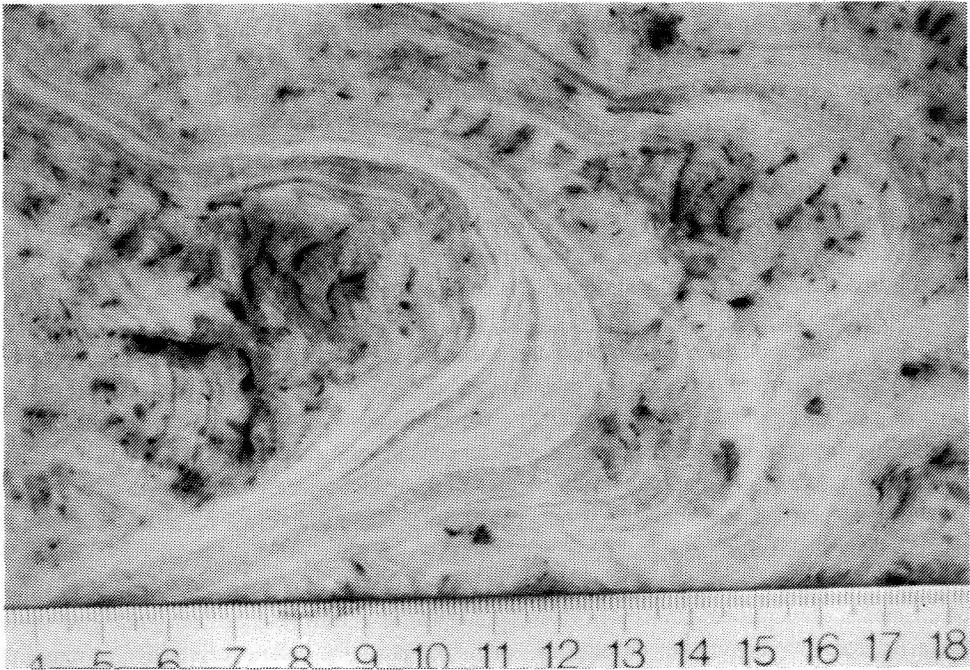


Fig.3 Bande di accrescimento, variazioni di verticalità nell'asse di accrescimento a circa 111 cm dalla base, in corrispondenza della fine del 2° tratto e del campione 3 (età 19.800 y B.P.)

Sl.3 Pasovi rasti, spremembe v navpičnosti osi približno 111 cm od osnove v skladu s koncem 2. dela vzorca 3 (starost 19.800 let B.P.)

Anche alcune deviazioni dell'accrescimento dalla verticale, o meglio dalla direzione di massimo accrescimento, sono interessanti pur se non esattamente inquadrabili nel tempo a causa della rada maglia radiometrica e degli errori sperimentali.

Esse si verificano con particolare evidenza a 35 cm, 55 cm dalla base e nel tratto da 110 cm a 125 cm. A queste altezze sembrano corrispondere età rispettivamente di 25.000, 20.000, 15.000 - 12.000 y B.P. Tuttavia solamente intorno a 20.000 anni fa risulta, con sufficiente certezza, essersi verificata una crisi sismica nell'area di Postumia e San Canziano (Gospodarič, 1980). Per cui non è improbabile che almeno alcuni degli episodi siano collegati a spostamento del punto di gocciolio dalla volta o a movimenti di adattamento del pavimento, costituito da crolli, sedimenti fluitati e concrezioni, come sembrano indicare la presenza, anche fuori dalla verticale, di zone porose e la morfologia di alcune bande di accrescimento.

In alcuni casi però, come per esempio a livello dei 20.000 e del 15.000 y B.P., le perturbazioni dell'asse di accrescimento sono concomitanti a variazioni nel chimismo e nel cromatismo delle bande di accrescimento e questo è stato recentemente indicato come una evidenza di eventi sismici (Forti, Postpischl, 1989).

## CONSIDERAZIONI FINALI

Come detto in premessa, i dati relativi a datazioni assolute o comunque inseribili con esattezza nel quadro evolutivo del Carso triestino sono estremamente scarsi. Come labili, perchè non suffragate da esperienze dirette, sono le correlazioni con gli eventi e le successioni di eventi verificatisi nelle regioni contermini.

Nonostante tutto, però le informazioni desunte dallo studio morfologico e radiometrico della concrezione della Grotta Gigante hanno permesso di proporre alcune prime ipotesi sull'evoluzione climatica e ambientale dell'area nel periodo tra 50.000 e 12.000 y B.P.

E' quindi nostro intento da un lato eseguire un numero di datazioni sufficiente a meglio chiarire l'evoluzione temporale degli speleotemi del Carso triestino, dall'altro iniziare a correlare queste risultanze con le sequenze temporali delle aree circostanti, con particolare riguardo a due aree interessante da una notevole attività sismica e quindi di tettonica recente: l'area di Postumia e quella friulana. D' altronde di punto di vista speleogenetico solamente la prima è ben nota, studiata, ricca di dati e palestra di esperienze. Sarà quindi nostra cura anche avviare un ciclo di studi sugli speleotemi e sulla speleogenesi dell'area ad Est di Udine.

In particolare sul Carso triestino sono note più generazioni di concrezioni, ma non sono assolutamente noti, tranne che per via indiretta o speculativa i loro rapporti, i momenti significativi di un'evoluzione carsicogenica estremamente antica ed articolata. E l'inserimento degli eventi paleospeleogenetici nel quadro evolutivo del Quaternario è il nostro obiettivo futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- Cazzoli, M.A., Forti, P., Bettazzi, L., 1988: L'accrescimento di alabastri calcarei in grotte gessose: nuovi dati dall'inghiottitoio dell'Acquafredda (3/ER/BO). *Sottoterra*, n.80, 16-23

- Cucchi, F., Forti, F., Forti, P., 1985: Movimenti recenti da analisi di concrezioni. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 6(1983), 43-47
- Cucchi, F., Forti, F., Finocchiaro, F., 1987: Carbonate surface solution in the Classical Karst. *Int.J. Speleol.*, 16 (1987), 69-78
- Forti, P., Postpischl, D., 1987: Datazione radiometrica di eventi paleosismici. *Studi e ricerche (a cura di M.Unguendoli)*, 295-310, CUSL, Bologna
- Forti, P., Postpischl, D. (in press): Studio di eventi paleosismici da strutture carsiche. *Tectonophysics*, in press
- Gospodarič, R., 1981: Sinter generations in Classical Karst of Slovenia. *Acta carsologica*, 9/3 (1980), 87-110, Ljubljana
- Marocco, R., Pirini-Radrizzani, C., Princivalle, F., Testa, S., Vergnaud-Grazzini, C. (in press): Pleoclimatic record for the past 3000 years in Ligurian Sea
- Motoji, I., Toshikatsu, M., Gospodarič, R., 1983: ESR Dating of Postojna Cave stalactites. *Acta carsologica*, 11 (1982), 117-130, Ljubljana
- Vergnaud-Grazzini, C., 1973: Etude écologique et isotopique de foraminifère actuels et fossiles de Méditerranée. *Thèse Doct. Sci. Nat. Un. Paris*, VI, 181 pp.
- Vergnaud-Grazzini, C., Borsetti, A.M., Cati, F., Colantoni, P., D'Onofrio, S., Saliege, J.F., Sartori, R., Tampieri, R., 1988: Paleooceanographic record of the last deglaciation in the Strait of Sicily. *Marine Micropaleontology*, 13, 1-21

## PRVE ABSOLUTNE DATACIJE STALAGMITA S TRŽAŠKEGA KRASA

### Povzetek

Do sedaj so bile izvedene na Tržaškem Krasu štiri absolutne datacije in sicer stalagmita iz Grotte Gigante: v pričujočem delu so analizirani radiometrični in morfološki podatki tega stalagmita, ki ga postavljajo v še ne popolnoma določen okvir recentnega razvoja Tržaškega Krasa.

Z morfološkega stališča lahko sigo razdelimo na tri dele, ki se skladajo s tremi obdobji odlaganja sige v različnih hidroloških pogojih. Za datacijo je bil kapnik razdeljen na štiri kose, in sicer baza, 50, 100 in približno 140 cm v skladu z glavnimi morfološkimi dogajanjem: začetek odlaganja sige na tleh, nenadna sprememba naklona osi ob rasti, opazna sprememba hitrosti odlaganja in konec rasti (sl. 1 in sl.2). Dobljeni rezultati (Tabela 1) so v glavnem naslednji: vzorec 1 starost **54.3** (+ 11.2, - 9.9) milijona let BP, vzorec 2 **20.3** (+ 3.1, - 2.9), vzorec 3 **19.8** (+ 8.0, - 7.5), vzorec 4 **15.2** (+ 2.2, - 2.2).

Na tej osnovi smo poskušali določiti hitrost navpične rasti sige in dobili različne vrednosti od 0.02 mm/leto do 0.48 mm/leto (sl.2). Visok indeks rasti v obdobju okrog 20.000 let BP verjetno označuje čas prehoda golega krasa v pokriti kras, z relativno nenadnim porastom parcialnega pritiska CO<sub>2</sub> v prenikljivih vodah, kar potrjujejo tudi morfološke značilnosti obenem z radiometričnimi podatki. Tako lahko predvidimo obdobje (koncentrirano v nekaj letih v razponu od 20.000 - 18.000 BP) klime v zmernih hidrološko-klimatskih pogojih, ko se je občutno spremenil "karstogenetski facies", ki je v našem primeru povezan zlasti s padavinami.

Nekatera odstopanja rasti od vertikale so zlasti opazna na razdalji 35 cm, 55 cm od osnove in v delu 110 cm do 125 cm. Te višine približno ustrezajo starosti 25.000, 20.000 in 15. 000-12.000 let BP in torej lahko te pojave pripišemo seizmičnemu delovanju, kar potrjujejo tudi dogajanja na področju Postojne in Škocjanskih jam pred 20.000 leti, oziroma premik točk s prenikajočo vodo s stropa ali prilaganje tal.