

Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 45 (2014)	pp. 25-38	Trieste 2015
---	----------------	-----------	--------------

ANDREA PETRONIO^(*)

DATAZIONE U/TH DI SPELEOTEMI DELLA CAVERNA POCALA (CARSO TRIESTINO)

RIASSUNTO

Dal sondaggio a carotaggio continuo di m 19,60 effettuato nei depositi di riempimento della Caverna Pocala sul Carso Triestino (173/91VG), sono stati individuati 34 livelli sedimentari, 5 dei quali sono speleotemi. Lo speleotema B alla profondità di m 9,80 - 10,30 è stato datato con il metodo U/Th in spettrometria di massa, determinando un'età di 308.000 ÷ 326.000 anni BP. I livelli di natura terrigeno-clastica sono 20 e risultano composti prevalentemente da ghiaia calcarea, sabbia e silt, subordinatamente da argilla. Tramite diffrattometria a raggi x sul silt, sono stati individuati quarzo e calcite preponderanti, minerali del gruppo delle argille in scarsa quantità e occasionali feldspati. I minerali pesanti magnetici presenti nella sabbia sono: Cr-spinello, tormalina, granato, anfibolo, clorite, staurolite, ilmenite, muscovite, ossidi ed idrossidi amorfi di Fe e Al, solfuri. Su base paragenetica, si rileva che la parte sommitale della colonna sedimentaria è caratterizzata dalla presenza dell'associazione anfibolo – staurolite.

ABSTRACT

SPELEOTHEMES DATING FROM POCALA CAVE (TRIESTE KARST) BY U/Th MASS SPECTROMETRY

From 19,60 m deep mechanical drill performed in fillings of the Pocala Cave in Trieste karst (173/91VG), 34 sedimentary levels has been recognized: 5 of them are speleothemes. Speleotheme B cored at deep of m 9,80 - 10,30 has been dated by U/Th mass spectrometry method. Result that speleotheme has a growing age of 308.000 ÷ 326.000 years BP.

There are also 20 terrigenous-clastic levels, that has been studied in grain size analysis and mineralogy: sediments are in large part composed of limestone gravel, sand and silt, while clay is in minority. Mineralogical analysis were carried out by means of x-ray diffraction on silt-size fraction: quartz and calcite are prevailing, shortness clay minerals and rare feldspar are present. Moreover, by means of optical microscope, magnetic heavy minerals were looked for in sandy fraction; they are Cr-spinel, tourmaline, garnet, amphibole, chlorite, staurolite, ilmenite, muscovite, amorphous Fe-Al oxides and hydroxides, sulphides. Considering magnetic heavy minerals, the upper part of the sedimentary column is characterized by the amphibole – staurolite association.

^(*) Geologo libero professionista in Trieste

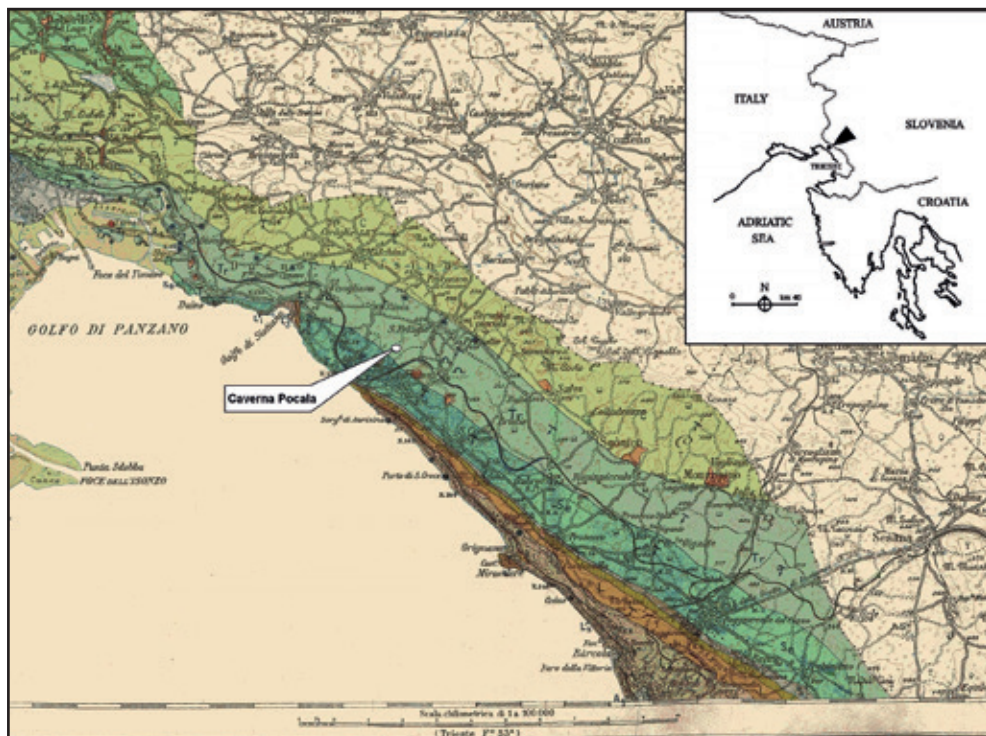


Fig. 1 - Ubicazione della Caverna Pocala (stralcio fuori scala del Foglio 40A Gorizia, Carta Geologica delle Tre Venezie, 1951); la cavità si sviluppa nei calcari del Cretacico superiore (Turoniano).

1. - Introduzione

Per incrementare le conoscenze sui depositi di riempimento delle cavità carsiche, il Museo Civico di Storia Naturale di Trieste ha sostenuto una campagna di indagini geognostiche nella Caverna Pocala di Aurisina. Nel 1999 sono stati eseguiti 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, per stabilire la potenza dei depositi sedimentari e per studiarne le caratteristiche. Il primo, indicato SM-1 è stato ubicato nella dolina davanti all'ingresso della grotta, mentre il secondo sondaggio SM-2 è stato posizionato sul piano campagna sopra la cavità, in corrispondenza della sala di fondo.

Lo studio e le analisi riguardanti il sondaggio "esterno" SM-1 sono stati svolti da TREMUL (2001 e 2003), TREMUL *et al.* (2001), BOSAK *et al.* (2005), mentre uno studio preliminare del sondaggio "interno" SM-2 è stato svolto da PETRONIO (2004).

Obiettivo di questo lavoro è la presentazione dei risultati dell'analisi radiometrica U/Th, eseguita sugli speleotemi recuperati dal carotaggio "interno" SM-2, nella cornice di una sintesi generale dei dati a disposizione, comprendendo anche lo scavo paleontologico denominato Trincea VIII, eseguito nel 2003 all'interno della cavità (BERNARDINI *et al.*, 2004) ed ampliato nel 2004 (CALLIGARIS, TREMUL, 2008).

Lo studio è il risultato della collaborazione tra il Museo Civico di Storia Naturale di Trieste e il Dipartimento di Matematica e Geoscienze (DMG) dell'Università degli Studi di Trieste.

2. – Inquadramento

La Caverna Pocala (173/91VG del Catasto Grotte della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia) si trova sull'altipiano carsico, nel Comune di Duino Aurisina (*Devin Nabrežina*) in Provincia di Trieste. La grotta, con una struttura “a galleria” contiene uno dei depositi più noti di fauna quaternaria del Carso triestino, in particolare di *Ursus spelaeus* (CANNARELLA, 1977). L'importanza della cavità nel periodo Neozoico è confermata anche da alcuni reperti paleontologici (BATTAGLIA, 1958-59). Una sintesi della storia esplorativa e delle ricerche svolte nella Caverna Pocala è stata proposta da LAZZARO e TREMUL (2003).

L'ingresso della grotta, che si trova alla quota di m 135 s.l.m.m. ha le seguenti coordinate geografiche: longitudine: 13° 40' 28,0" Est; latitudine: 45° 45' 34,8" Nord. Le basi cartografiche sono l'elemento 110013 - SAN PELAGIO della Carta Tecnica Numerica Regionale e la Tavoletta IGM 40^A III NE – DUINO.

La morfologia dell'area è subpianeggiante, debolmente inclinata verso Sud Ovest, intensamente carsificata con presenza di doline; nella parte settentrionale dell'area affiorano testate di strato, mentre a meridione della cavità si osserva un carso più coperto. Le doline hanno una profondità media di m 5: in particolare la dolina antistante l'ingresso della Caverna Pocala presenta il fianco settentrionale con perimetro ellittico, subparallelo all'asse di maggior sviluppo della cavità stessa.

La litologia è costituita da calcari bioclastici con Rudiste, di colore grigio nocciola chiaro, con stratificazione decimetrica, a frattura scheggiata, fetidi alla percussione. Presentano le microforme caratteristiche della dissoluzione, in particolare scannellature (*rillenkarren*), alveoli e vaschette (*kamenitze*).

La giacitura della stratificazione, rilevata negli immediati dintorni della cavità, mostra una direzione NO – SE (290°) con un'inclinazione media di 25°.

Considerando la Formazione dei calcari del Carso Triestino (CUCCHI *et al.*, 1987) si è in presenza del membro di Borgo Grotta Gigante: si tratta del litotipo più carsificabile.

La planimetria della caverna con l'ubicazione dei sondaggi e dello scavo paleontologico, viene riportata in Figura 2.

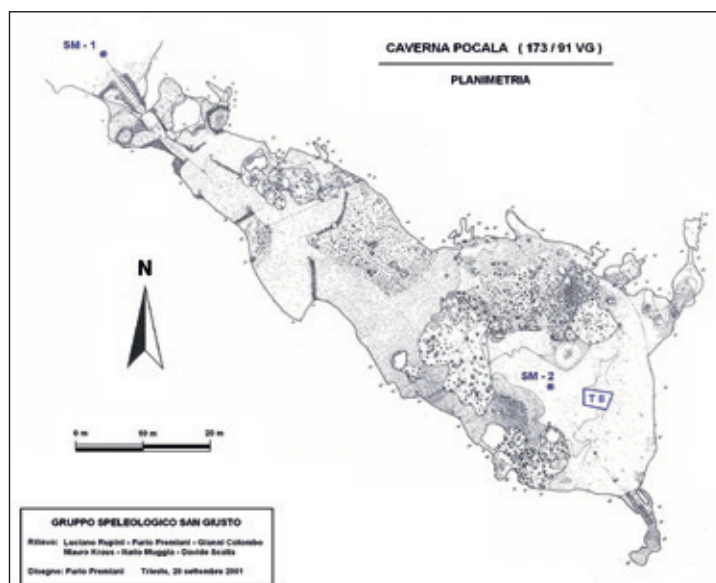


Fig. 2 - Planimetria della Caverna Pocala con la posizione dei sondaggi SM-1, SM-2 e dello scavo paleontologico T 8 (Gruppo Speleologico San Giusto di Trieste, 2001, modificato).

3. - Stratigrafia

Il sondaggio SM-2 posizionato esternamente alla cavità, sopra l'ampia sala di fondo, ha individuato la seguente sequenza stratigrafica: dal piano campagna all'intradosso della volta (soffitto interno della caverna) risultano m 22,00 di roccia calcarea (questo tratto del sondaggio è stato eseguito a distruzione di nucleo); seguono m 6,00 di vuoto fino al pavimento della sala di fondo, alla profondità di m 28,00 dal p.c. Da questa quota parte il carotaggio continuo dei depositi, sino alla profondità di m 45,00 dal p.c. dove è stata individuata roccia calcarea compatta, che è stata indagata per ulteriori m 2,60. Il sondaggio è terminato quindi a m 47,60 dal p.c. con un recupero di m 19,60. La Figura 3 illustra la disposizione dei sondaggi nella sezione della cavità, con le relative profondità raggiunte.

Nei complessivi 19,60 m del carotaggio continuo sono stati individuati 34 livelli sedimentari, 20 dei quali appartengono a depositi terrigeno-clastici; i rimanenti 14 livelli sono costituiti da depositi di natura litoide intercalati da vuoti stratigrafici. Tra questi si rilevano 5 livelli/banchi di concrezioni calcitiche (speleotemi) siglati con le lettere A ÷ E dall'alto verso il basso.

Entrambi i carotaggi hanno individuato 5 livelli di concrezioni calcitiche, a profondità diverse ma con potenze confrontabili, le cui caratteristiche vengono riportate in Tabella 1.

SM - 1		SM - 2	
profondità (m)	potenza (m)	profondità (m)	potenza (m)
3,50 – 3,60	0,10	3,00 - 3,15	0,15
4,35 – 4,80	0,45	9,80 – 10,30	0,50
6,00 – 6,20	0,20	10,50 – 10,75	0,25
10,15 – 10,60	0,45	12,50 – 12,60	0,10
10,75 – 11,00	0,25	12,75 – 13,00	0,25

Tab. 1 - Livelli calcitici individuati dai carotaggi: le profondità sono riferite all'inizio del rispettivo carotaggio; le radiodattazioni sono state svolte sul livello evidenziato.

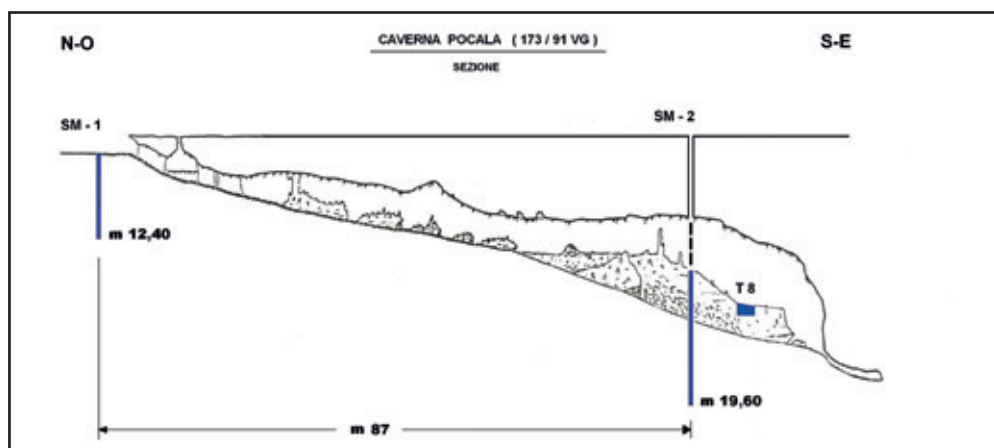


Fig. 3 - Sezione NO-SE della Caverna Pocala con la proiezione dei sondaggi e dello scavo paleontologico T 8 (rilievo d.d. 23/01/2009); le profondità sono riferite all'inizio dei carotaggi.

Una sintesi grafica delle stratigrafie viene proposta in Figura 4; per il sondaggio SM-1 si fa riferimento a TREMUL (2003).

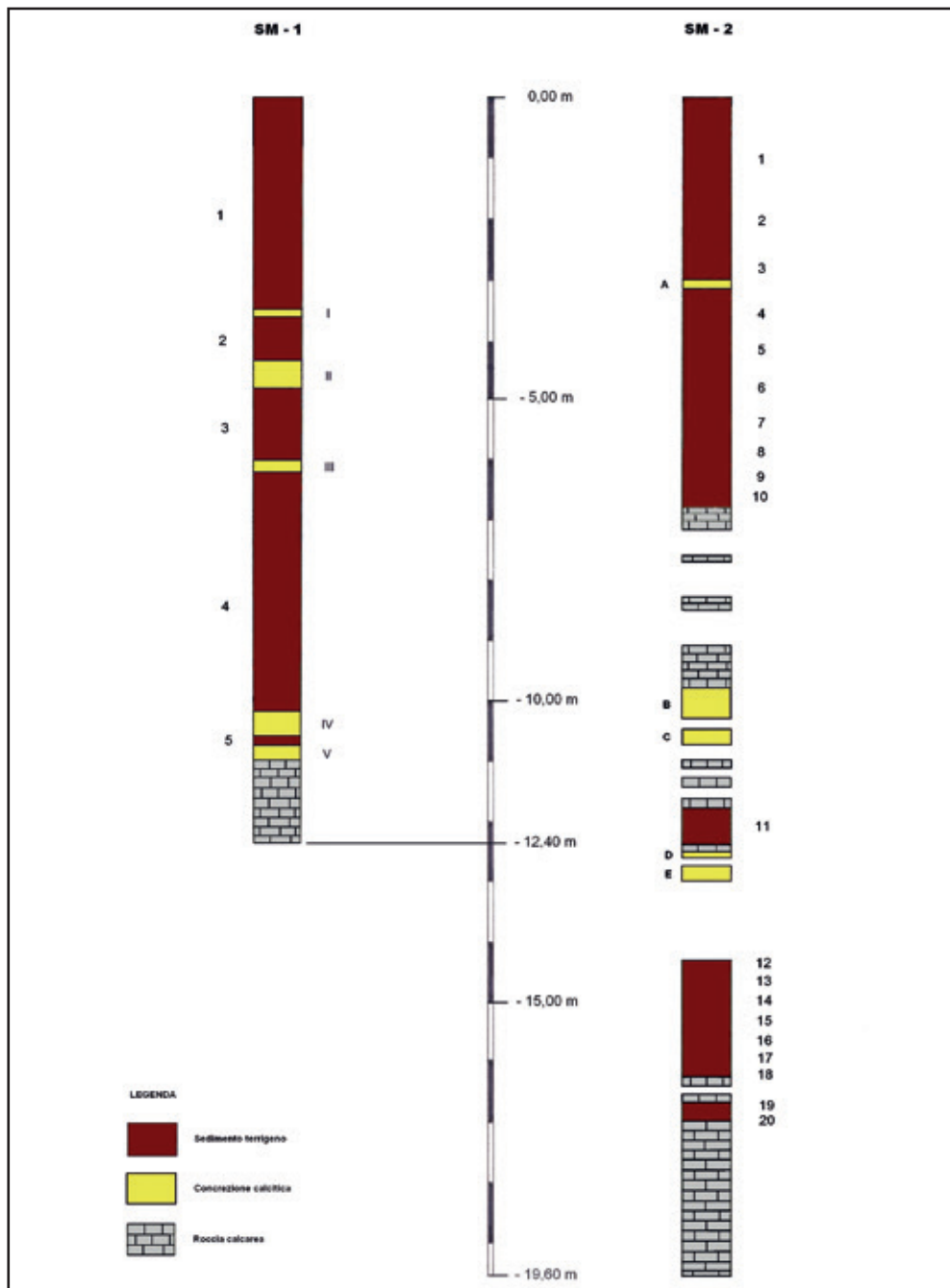


Fig. 4 - Colonne stratigrafiche dei carotaggi con l'indice dei livelli terrigeni e calcifici.

4. – Datazioni assolute di speleotemi

La presenza di livelli costituiti da concrezioni calcitiche, recuperate dal carotaggio SM-2 è stata considerata per svolgere un'indagine cronostratigrafica dei depositi. Sugli speleotemi sono state eseguite tre analisi radiometriche con il metodo della spettrometria di massa multi-collettore a plasma accoppiato induttivamente (MC - ICPMS) riferito al rapporto U/Th. Le analisi sono state svolte presso il Laboratorio di Geologia Isotopica dell'Università di Berna (CH), a cura del dott. Andrea Borsato.

Dal banco calcitico B potente m 0,50 e ubicato alla profondità di m 9,80-10,30 sono stati analizzati 3 campioni di mg 200 ciascuno, identificati con le sigle B1t, B1c e B2.

I risultati vengono presentati in Tabella 2.

Camp.	Prof.	U	Th
	(m)	(ng/g) $\pm 2\sigma$	(ng/g) $\pm 2\sigma$
B1t	9,80	42,7 \pm 0,17	66,7 \pm 0,570
B1c	9,95	49,4 \pm 0,20	5,67 \pm 0,028
B2	10,30	42,5 \pm 0,17	3,18 \pm 0,022

Camp.	Prof.	$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$	$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ corretto
	(m)	Rapporto di attività $\pm 2\sigma$			
B1t	9,80	1,1749 \pm 0,0077	1,13415 \pm 0,0018	2,2 \pm 0,04	1,5911 \pm 0,023
B1c	9,95	1,0474 \pm 0,0060	1,00106 \pm 0,0009	26,3 \pm 0,24	1,1168 \pm 0,012
B2	10,30	1,0440 \pm 0,0075	1,00585 \pm 0,0011	40,6 \pm 0,50	1,1126 \pm 0,015

Camp.	Prof.	Datazione	Datazione corretta
	(m)	anni $\pm 2\sigma$	anni $\pm 2\sigma$
B1t	9,80	281.100 + 23 - 18	241.700 + 23 - 19
B1c	9,95	310.000 + 21 - 19	307.900 + 20 - 18
B2	10,30	327.700 + 32 - 24	325.700 + 31 - 25

Tab. 2 - Risultati dell'analisi radiometrica U/Th in spettrometria di massa, per lo speleotema B del carotaggio SM-2.

Si osserva che tutti i campioni hanno un basso contenuto di Uranio. Per quanto riguarda il rapporto di attività $^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$ il campione B1t risulta avere un valore particolarmente basso (2,2 \pm 0,04) a causa della contaminazione detritica: è una conferma a quanto osservato con l'analisi macroscopica, come si può vedere confrontando la tessitura ed il cromatismo dei campioni nelle Figure 5, 6 e 7. Per questo campione il risultato ottenuto ha un significato indicativo.

Le età determinate dai campioni B1c e B2 risultano più attendibili: in questi casi infatti la correzione applicata utilizzando un valore medio di contaminazione crostale pari a 0,8 mantiene i risultati all'interno dell'errore analitico 2σ .

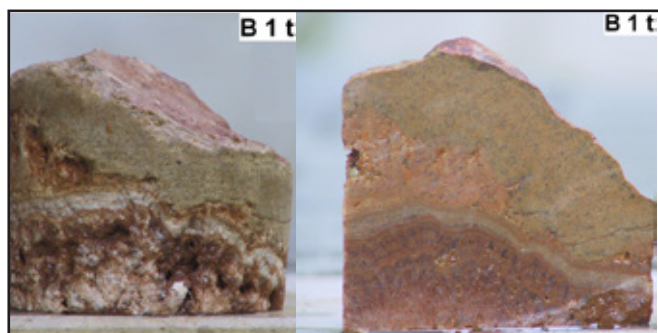


Fig. 5 - Foto del campione B1t integro e in sezione (scale di ripresa simili).

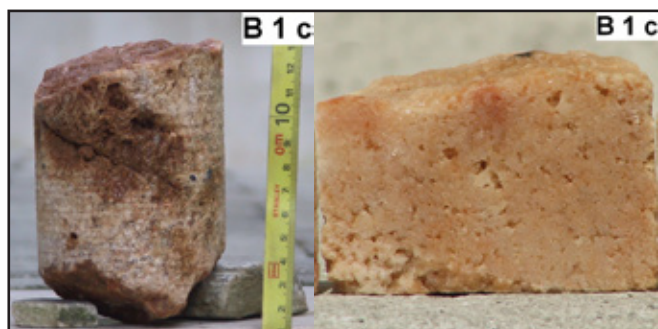


Fig. 6 - Foto del campione B1c integro e in sezione (scale di ripresa diverse).

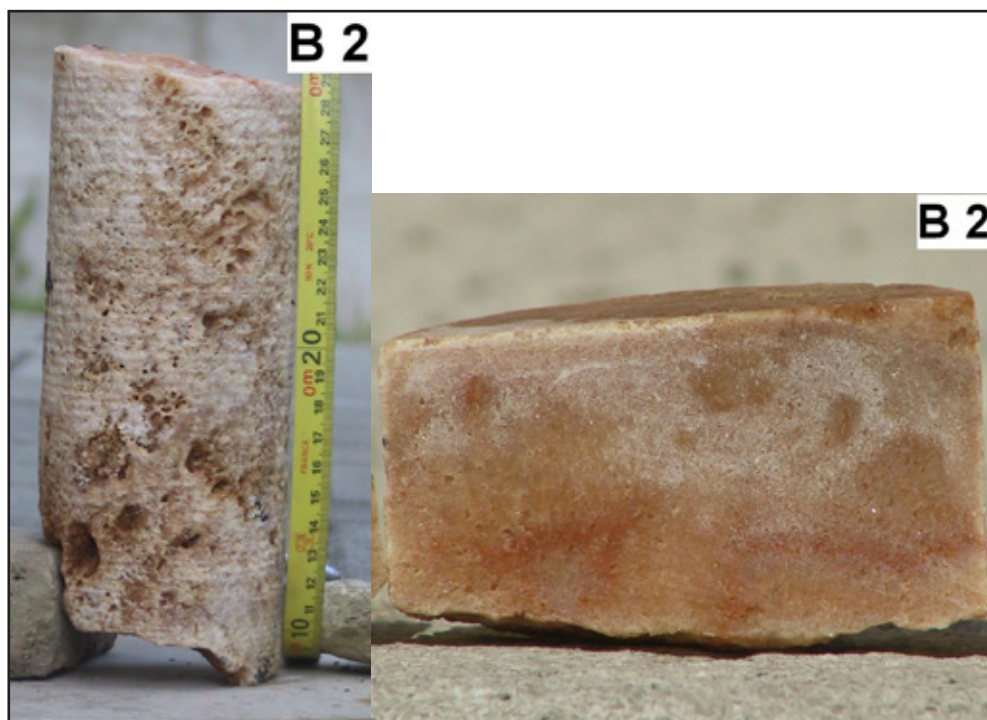


Fig. 7 - Foto del campione B2 integro e in sezione (scale di ripresa diverse).

5. – Sedimenti

5.1 – Granulometria

I 20 livelli sedimentari terrigeni, più un sottolivello 15bis incluso nel livello 15 sono stati sottoposti ad analisi granulometriche: la frazione ghiaiosa con il metodo dei setacci per via umida, la frazione sabbioso-pelitica con il granulometro laser (mod. Malvern-Mastersizer Hydro 2000S) presso il Laboratorio di Sedimentologia dell'Università di Trieste (DMG). È stata adottata la classificazione di Udden-Wentworth (PETTJOHN *et al.*, 1972) con il limite sabbia-pelite a 63 µm. I risultati delle analisi vengono presentati in Tabella 3.

Tutti i livelli sono costituiti da ghiaia, sabbia, silt e argilla in diverse proporzioni. Il campione 15bis appartenente alle inclusioni di sedimento di colore giallo (10YR 7/6) del livello 15 è l'unica eccezione, perché risulta privo di ghiaia.

Livello	Prof. (m)	GHIAIA	SABBIA	SILT	ARGILLA	SEDIMENTO
1	0,00-2,00	23,78	31,28	37,08	7,85	silt sabbioso
2	2,00-2,30	14,83	25,66	47,79	11,73	silt sabbioso
3	2,30-3,00	11,49	43,30	37,41	7,80	sabbia siltosa
4	3,15-3,80	29,24	39,79	25,75	5,23	sabbia siltosa
5	3,80-4,70	33,25	40,40	22,16	4,19	sabbia siltosa
6	4,70-5,15	35,39	21,58	33,76	9,26	silt sabbioso
7	5,15-5,70	35,93	24,04	31,43	8,60	silt sabbioso
8	5,70-5,80	31,60	23,53	31,06	13,81	sabbia/silt/argilla
9	5,80-6,20	23,24	26,82	34,88	15,06	silt sabbioso
10	6,20-6,80	42,52	21,76	22,78	12,94	sabbia/silt/argilla
11	11,80-12,40	59,52	16,66	19,51	4,32	silt sabbioso
12	14,30-14,50	55,47	11,61	26,04	6,88	silt sabbioso
13	14,50-14,80	2,76	50,27	35,28	11,69	sabbia siltosa
14	14,80-15,00	4,09	17,91	30,38	9,62	silt sabbioso
15	15,00-15,55	4,23	42,53	35,32	17,92	sabbia siltosa
15bis	15,00-15,55	0,00	29,36	56,44	14,20	silt sabbioso
16	15,55-15,70	27,03	28,19	32,67	12,11	silt sabbioso
17	15,70-15,80	58,45	13,12	19,52	8,91	sabbia/silt/argilla
18	15,80-16,25	55,54	12,89	24,05	7,52	silt sabbioso
19	16,65-16,80	72,31	5,48	18,82	3,38	silt sabbioso
20	16,80-17,00	40,96	14,00	37,15	7,88	silt sabbioso

Tab. 3 - Composizione granulometrica in peso percentuale dei campioni di sedimento totale; la tessitura della frazione sabbioso-pelitica è classificata con il sistema ternario di Shepard (1954).

Dai sedimenti del carotaggio “esterno” SM-1 sono stati analizzati 5 campioni, prelevati dagli orizzonti terrigeno-clastici individuati da TREMUL (2003). L'analisi è stata svolta con lo stesso metodo usato per i sedimenti di SM-2 (granulometria laser) così da rendere valido il confronto dei risultati, che vengono presentati in Tabella 4.

Camp.	Prof. (m)	SABBIA	SILT	ARGILLA	SEDIMENTO
1	2,00	18,17	62,53	19,30	silt sabbioso
2	4,00	15,93	62,73	21,34	sabbia/silt/argilla
3	5,70	13,32	64,51	22,17	sabbia/silt/argilla
4	6,50	13,61	66,40	20,00	sabbia/silt/argilla
5	10,00	12,04	70,75	17,21	silt sabbioso

Tab. 4 - Composizione granulometrica in peso percentuale dei campioni di sedimento sabbioso-pelitico del carotaggio SM-1 classificata con il sistema ternario di Shepard (1954).

In tutti i campioni la ghiaia è prevalentemente di natura calcarea, subordinatamente calcifica, con clasti spigolosi o poco arrotondati ed elevata eterogeneità dimensionale. Si desume quindi l'assenza di un trasporto idraulico selettivo e prolungato.

Considerando la frazione sabbioso-pelitica risulta prevalere il silt sulla sabbia, con la frazione argillosa in minoranza anche se in percentuali significative. Si può quindi affermare che la tessitura dei sedimenti con dimensioni inferiori a mm 2 è simile nei due carotaggi, con dominanza del silt.

L'analisi sulla distribuzione in frequenza porta ulteriori similitudini: infatti come in SM-2 anche in SM-1 i sedimenti risultano mal classati o molto mal classati, indice di bassa selettività nella sedimentazione. Questo può essere determinato da un'agente di trasporto variabile (idraulico/gravitativo) ma anche da una commistione post-deposizionale tra popolazioni diverse di sedimenti.

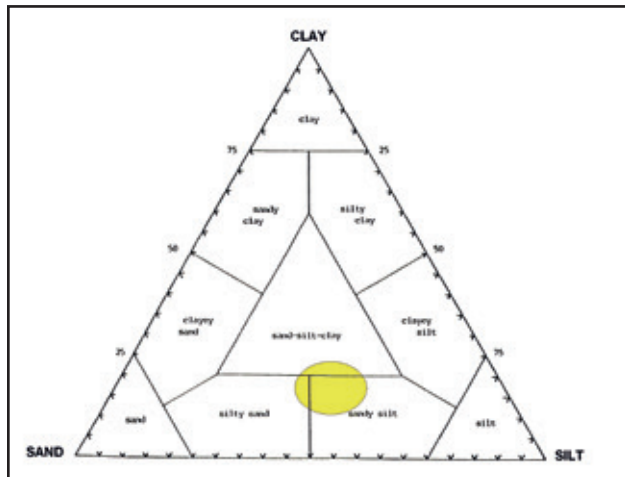


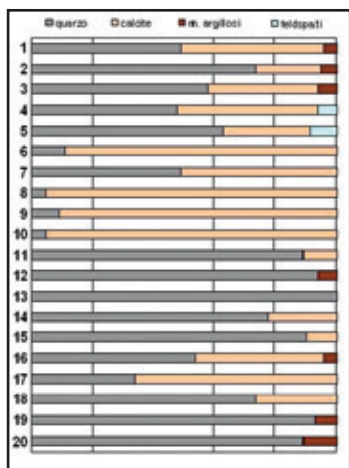
Fig. 8 - Diagramma ternario di Shepard: la maggioranza dei depositi terrigeni fini della Caverna Pocala di Aurisina è costituito da silt sabbioso.

Mediante l'analisi morfoscopica delle sabbie è stata accertata la presenza di granuli di quarzo da subangolosi a subarrotondati (POWERS, 1953). I granuli presentano la superficie smerigliata nella maggioranza dei livelli. La sabbia grossa è quasi esclusivamente calcarea, mentre i caratteri di usura della superficie sono più diffusi nella sabbia fine, di prevalente natura quarzosa.

5.2 – Diffrazione

Mediante l'analisi al diffrattometro delle polveri (mod. Siemens D 500) svolta presso il Laboratorio di Mineralogia dell'Università di Trieste (DMG) sulla frazione siltosa (63 – 4 µm), sono stati studiati i minerali presenti nei singoli livelli. Dalla lettura dei diffrattogrammi, oltre all'individuazione dei componenti è stata valutata la presenza percentuale dei singoli minerali presenti. I risultati vengono riassunti in Figura 9.

Risulta che il quarzo e la calcite sono i costituenti maggiori, con il quarzo presente in tutti i campioni, mentre i minerali argillosi ed i feldspati interessano soltanto alcuni livelli, con presenza percentuale minore.



Con lo stesso metodo sono stati analizzati anche i clasti globulari subcentimetrici di colore marrone molto pallido (10YR 6/4), individuati nei primi 2 metri del carotaggio (livello 1). Risultano costituiti da calcite e apatite: si tratta probabilmente di aggregazioni ad opera di acque ricche in carbonato di calcio, su materiale risultante dalla disgregazione di ossa o di altra origine organica. La presenza di P_2O_5 nei primi metri dei depositi della Caverna Pocala è stata già rilevata mediante analisi chimiche da BORGHI (1928). Anche nel carotaggio esterno SM-1 è stata osservata una significativa presenza di P_2O_5 alla profondità di m 1,80 dal p.c. (TREMUL, 2003).

Fig. 9 - Composizione mineralogica percentuale risultante dall'analisi diffrattometrica (xrd) del silt nei livelli terrigeni di SM-2.

5.3 - Minerali pesanti magnetici

I minerali pesanti magnetici presenti nelle sabbie fini (frazione 200-63 µm, MORTON, 1985) sono stati considerati per completare lo studio sulla composizione mineralogica dei sedimenti. Dall'analisi dei 20 livelli terrigeni con il microscopio binoculare a luce riflessa sono stati riconosciuti: Cr-spinello, tormalina, granato, anfibolo, clorite, staurolite, ilmenite. Per quanto riguarda la tormalina sono stati individuati su base cromatica, sia cristalli appartenenti alla serie shörl-dravite (colore dal verde al marrone), sia cristalli di probabile indicolite (colore blu). La frazione magnetica è costituita inoltre da muscovite, ossidi ed idrossidi di Fe e Al amorfi e solfuri.

In base alle diverse paragenesi è possibile distinguere 2 parti nel deposito, una sommitale in cui si trova l'associazione anfibolo – staurolite in continuità dal livello 1 al livello 5 (m 4,70 di profondità). Nella parte inferiore del deposito (livelli dal 6 al 20) i due minerali sono associati solo nel livello 11 (m 11,80 - 12,40) e sono presenti singolarmente in alcuni altri livelli.

Anche l'indicolite segnala una differenza tra i depositi che sovrastano i banchi calcareo-calcitici ed i depositi più profondi, con presenze percentuali maggiori ma senza continuità fino alla profondità di m 5,80 (livello 8).

Considerando il granato si osserva che la presenza percentuale di questo minerale si riduce verso il fondo della colonna sedimentaria. Un andamento simile è stato riscontrato anche nel carotaggio SM-1, con la totale assenza del granato negli ultimi 2 metri (TREMUL, 2001).

Con lo stesso metodo è stato analizzato anche il residuo insolubile ad HCl dei clasti arrotondati di arenaria grigia (2,5Y 6/1) costituiti da quarzo e calcite, appartenenti al livello 16 (m 15,55 - 15,70). Risultano presenti Cr-spinello, granato e tormalina.



Fig. 10 - Clasto pluricentimetrico di arenaria, recuperato dal carotaggio SM-2 alla profondità di m 15,55 - 15,70.

6. – Considerazioni sui risultati

Prima di mettere a confronto i dati a disposizione riguardanti i carotaggi e lo scavo, si espongono alcune considerazioni di carattere generale.

Le depressioni e le cavità carsiche, favoriscono l'accumulo e la conservazione di depositi terrigeno-clastici, biologici e chimici, svolgendo l'azione di "trappola sedimentaria". Quando l'assetto strutturale è favorevole come nelle cavità a sviluppo suborizzontale (grotte a galleria) questi materiali hanno la possibilità di sedimentare generando potenti successioni, formatesi in più eventi deposizionali.

Si possono distinguere depositi di riempimento fissi, costituiti da concrezioni calcitiche saldate alle pareti delle cavità e depositi mobili costituiti da sedimenti appartenenti all'intero spettro granulometrico (FORTI, 1981).

L'origine dei depositi mobili inoltre può essere diversa: possono provenire da una fonte ipogea, generati all'interno della cavità o nelle immediate vicinanze, oppure da aree più distanti, prodotti dallo smantellamento di strutture geologiche epigee, ma anche per trasporto idraulico sotterraneo.

Nelle stratigrafie in esame risulta difficile stabilire la presenza di depositi di riempimento fissi, perché non si conosce l'effettiva ampiezza delle litologie raggiunte e quindi l'eventuale legame strutturale con la cavità. Ciò non toglie che i banchi di concrezioni calcitiche ubicati a m 9,80 - 10,75 ed a m 12,50 - 13,00 possano essere considerati come depositi di riempimento con una certa stabilità. Si osserva infatti un vuoto reale di m 1,30 sottostante al banco calcitico ubicato alla profondità di m 12,75. Questo *hiatus* sedimentario può derivare dall'erosione e/o assorbimento dei sedimenti oppure da un progressivo abbassamento per compattazione degli stessi: eventi successivi alla cristallizzazione del banco calcitico, che è rimasto in posto.

L'evidente lacuna sedimentaria, oltre a dimostrare una relativa stabilità del banco calcitico sovrastante, evidenzia una storia deposizionale non continua, ma caratterizzata da più cicli sedimentari, molto probabilmente legati a variazioni climatiche. Inoltre lo *hiatus* sedimentario testimonia la capacità drenante della cavità, forse condizionata anche dalle oscillazioni del livello di base, oltre che da assestamenti gravitativi.

Un'analisi comparativa sulla stratigrafia dei due carotaggi evidenzia che i depositi terrigeno-clastici sono disposti in 5 orizzonti sedimentari distinti, separati da livelli calcarei e/o calcitici con vuoti. Considerando solamente la componente terrigeno-clastica si osserva che ha una

potenza di m 9,55 in SM-1 e m 7,25 in SM-2. Nel calcolo per SM-2 sono stati esclusi i primi 2,30 m considerati come terreno rimaneggiato dagli scavi pregressi. La presenza di terreno disturbato è stata osservata anche nello scavo paleontologico T 8 (BERNARDINI *et al.*, 2004), con 7 unità stratigrafiche rimaneggiate soprastanti i depositi in giacitura naturale.

Con la datazione assoluta è possibile stabilire dei caposaldi cronologici nella stratigrafia, necessari anche alla calibrazione dei metodi relativi. In prima analisi le datazioni disponibili sui depositi della Caverna Pocala appaiono congruenti tra loro, per il naturale incremento temporale direttamente proporzionale alla profondità (principio di sovrapposizione stratigrafica) escludendo quindi una giacitura secondaria degli speleotemi:

- profondità: m 9,95 età BP: anni 307.900 (+ 20 – 18);
- profondità: m 10,30 età BP: anni 325.700 (+ 31 – 25).

Questo risulta anche dalle analisi di alcuni campioni di concrezioni calcitiche del carotaggio “esterno” SM-1 (BOSAK *et al.*, 2005). La radiodatazione è stata svolta mediante spettrometria di massa alfa sul rapporto U/Th (errore = 1σ). Dove la contaminazione detritica non ha ostacolato l'analisi è stato possibile stabilire l'età di due campioni:

- profondità: m 4,60 età BP: anni 226.000 (+ 40 – 29);
- profondità: m 4,68 età BP: anni 284.000 (+ 90 – 48).

Si osserva che in entrambi i carotaggi, la cristallizzazione degli speleotemi analizzati risulta essere avvenuta in prossimità della fase interglaciale Mindel – Riss (Pleistocene medio), in un periodo climatico che è stato favorevole al deposito dei carbonati. Si tratta di un orizzonte di concrezionamento che in SM-1 precede una sedimentazione contenente l'associazione anfibolo-stauroilite, mentre in SM-2 viene seguita da livelli calcarei con vuoti, interpretabili come depositi di crolli.

Con le datazioni assolute a disposizione, si può stimare il tasso medio di sedimentazione terrigena, che risulta compreso tra 1,41 mm/100 anni in SM-2 e 1,88 mm/100 anni in SM-1. Nel calcolo per SM-2 sono stati esclusi i livelli litici, le concrezioni ed i vuoti, oltre ai primi 2,30 m considerati come terreno rimaneggiato.

Il sondaggio SM-1 è stato ubicato nella dolina perché si ritiene che l'attuale depressione appartenga ad un comune sistema carsico (ANDREOLOTTI, 1966). Infatti si osserva la presenza di una cava di alabastro calcareo a cielo aperto vicino alla grotta, di concrezioni stalattitiche sul fianco roccioso della dolina e la forma allungata della dolina, in asse con lo sviluppo ipogeo della cavità. La presenza di livelli calcitici individuati da SM-1 porta ulteriori elementi a sostegno di tale ipotesi.

La relativa prossimità dello scavo paleontologico T 8 al carotaggio SM-2 (qualche metro) suggerisce di mettere a confronto le analisi granulometriche delle unità stratigrafiche individuate con quelle del corrispondente intervallo sedimentario carotato. Le analisi, svolte con il metodo dei setacci per via umida, si riferiscono a BERNARDINI *et al.* (2004) per T 8 e PETRONIO (2004) per SM-2. Per il motivo già esposto vengono esclusi i primi 2,30 m di SM-2 considerando i livelli dal 3 al 7 fino alla profondità di m 5,70.

Non si osservano similitudini quantitative, mentre si rilevano relazioni qualitative, confrontando le tendenze di variazione delle percentuali di ghiaia, sabbia e pelite, con incrementi e decrementi in funzione della profondità. Le unità stratigrafiche 8, 9 e 10 dello scavo T 8 risultano simili agli intervalli 3 - 4 (m 2,30 - 3,80) e 6 - 7 (m 4,70 - 5,70) del carotaggio SM-2 come si può verificare in Tabella 5.

SM-2	Ghiaia %	Sabbia %	Pelite %
3	11,49	23,85	64,65
4	29,24	30,36	40,40
6	35,39	37,88	26,73
7	35,93	38,85	25,22

T 8	Ghiaia %	Sabbia %	Pelite %
US 8	2,53	4,29	93,18
US 9	4,38	9,01	86,62
US 10	17,60	22,68	59,72

Tab. 5 - Confronto sulle variazioni delle percentuali dei componenti granulometrici nei sedimenti: si osserva una generale similitudine tra i primi livelli del carotaggio SM-2 e le unità stratigrafiche dello scavo T 8.

Un'analisi granulometrica e mineralogica è stata condotta sui primi 50 cm dei depositi interni alla Caverna Pocala da CUCCHI *et al.* (1992). Risultano sedimenti a granulometria siltosa, con prevalenza del quarzo sulla calcite. Sono dati che trovano conferma nei risultati dei primi metri del sondaggio in esame. Diversamente la presenza di sedimento sabbioso di colore giallo pallido (2,5Y 7/4) rilevata ad una profondità di cm 20 circa (sabbia costituita prevalentemente da quarzo e gibbsite, priva di calcite) si distingue dai sedimenti di colore simile, raggiunti dal sondaggio SM-2 a profondità maggiori (livelli 15bis, 19 e 20) che risultano silt sabbiosi privi di gibbsite.

La diffusa presenza di granuli con superficie smerigliata nelle sabbie fini, sembra dovuto ad una marcata fase di trasporto eolico, subito dai sedimenti.

Dalle caratteristiche mineralogiche è possibile distinguere 2 tipologie di depositi terrigeno-clastici nella colonna sedimentaria in esame. Discriminante risulta l'associazione dei minerali pesanti magnetici anfibolo – staurolite, che si rileva in continuità nei primi 4,70 m del deposito; la staurolite si trova fino alla quota di – 12,40 m (zona dei banchi calcareo-calcitici con vuoti). Questi minerali, assenti nei bacini di Flysch locali (LENAZ *et al.*, 2001), si trovano anche nei depositi esterni alla cavità, fino a – 4,35 m (TREMUL, 2003). Si può affermare quindi che nei livelli più profondi i sedimenti hanno origine quasi esclusiva da materiali di tipo torbiditico (Flysch di Brkini), mentre l'associazione anfibolo – staurolite indica che nei livelli superiori vi è anche un apporto diverso, di genesi non ancora definita, ma conclusosi 226.000 anni fa.

La presenza di indicolite nella maggioranza dei livelli analizzati, non segnalata finora a nostra conoscenza nei sedimenti del Carso triestino e isontino, potrebbe risultare di significativo interesse.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la dott.ssa Deborah Arbulla per aver promosso lo studio del carotaggio, il prof. Franco Cucchi per il coordinamento scientifico e l'organizzazione delle datazioni degli speleotemi, il dott. Andrea Borsato per le analisi radiometriche,

il prof. Francesco Princivalle e il dott. Davide Lenaz per l'assistenza nelle indagini mineralogiche.

Desidero ringraziare inoltre il personale del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste ed i tecnici dei laboratori del Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli Studi di Trieste per la disponibilità e l'aiuto nelle diverse fasi di questa ricerca.

Ricordo volentieri anche gli amici dell'associazione culturale EreRemote.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREOLOTTI S., 1966 – *I depositi di riempimento nelle cavità del Carso Triestino*. Atti e Memorie della Commissione Grotte E. Boegan; vol. 5 (1965): 49-71, Trieste.
- BATTAGLIA R., 1958-59 – *La Caverna Pocala*. In: Preistoria del Veneto e della Venezia Giulia. *Bullettino di Paleontologia Italiana*, vol. 67-68 (fuori serie): 94-128, Roma.
- BERNARDINI F., BETIC A., BOSCHIN F., BOSCHIN W., 2004 – *Grotta Pocala (Scavi 2003): relazione preliminare*. Atti Museo Civico di Storia Naturale, vol. 51: 271-280, Trieste.
- BORGHİ C., 1928 – *Le terre del deposito della Caverna Pocala nella loro composizione chimica*. Le Grotte d'Italia, anno 2, n. 1: 23-26.
- BOSAK P., PRUNER P., HERCMAN H., CALLIGARIS R., TREMUL A., 2005 – *Paleomagnetic analysis of sediments in Pocala cave and Borgo Grotta Gigante (Trieste region, Italy)*. *Ipogea*, 4: 37-52, Trieste.
- CALLIGARIS R., TREMUL A., 2008 – *La Caverna Pocala di Aurisina (Trieste) Scavi 2003 – 2004*. Primi risultati e prospettive di studio. Atti del Seminario Nazionale "Ambiente carsico: i progressi degli studi in Italia sulla soglia del XXI secolo": 125-132, Cuneo.
- CANNARELLA D., 1977 – *Catalogo delle cavità e dei ripari di interesse paleontologico sul Carso Triestino*. Atti della Società per la Preistoria e la Protostoria della Regione Friuli Venezia Giulia, vol. 3: 47-124, Pisa.
- CUCCHI F., FINOCCHIARO F., PRINCIVALLE F., 1992 – *Yellow sands with gibbsite in sediments of Pocala Cave: Paleoenvironmental consideration*. *Acta Carsologica*, XXI: 157-165, Ljubljana.
- CUCCHI F., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N., 1987 – *The carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy)*. *Mem. Soc. Geol. It.* 40: 35-44, 1 ill., 2 tab.
- FORTI F., 1981 – *Genesi dei depositi di riempimento delle cavità "a galleria" del Carso Triestino*. Atti della Società per la Preistoria e la Protostoria della Regione Friuli Venezia Giulia, vol. 4: 127-132, Pisa.
- LAZZARO G., 2003 - *La popolazione di Ursus spelaeus della Grotta Pocala*. Atti del Museo Civico di Storia Naturale, vol. 49 (2002 suppl.): 59-78, Trieste.
- LAZZARO G., TREMUL A., 2003 - *La Caverna Pocala di Aurisina*. Atti del Museo Civico di Storia Naturale, vol. 49 (2002 suppl.): 79-91, Trieste.
- LENAZ D., ALBERTI A., TUNIS G., PRINCIVALLE F., 2001 – *Heavy mineral association and its paleogeographic implications in the Eocene Brkini Flysch Basin (Slovenia)*. *Geologica Carpathica*, 52: 239-245.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, 2000 – *Revised washable edition*; GRETAG MACBETH, NEW WINDSOR, NY.
- MORTON A.C., 1985 – *Heavy minerals in provenance studies*. In "Provenance of arenites" (G.G. Zuffa, Ed.) NATO-ASI Series, 148: 249-277.
- PETRONIO A., 2004 - *I depositi di riempimento della Caverna Pocala (Carso Triestino): osservazioni preliminari*. Atti Museo Civico di Storia Naturale, vol. 51: 19-48, Trieste.
- PETTJOHN F.J., P.E. POTTER and R. SIEVER, 1972 - *Sand and sandstone*; pp. 618, New York, Springer.
- POWERS M.C., 1953 – *A new roundness scale for sedimentary particles*. *J. of Sedim. Petr.*, vol. 23: 117-119.
- SHEPARD F.P., 1954 - *Nomenclature based on sand – silt - clay ratios*. *J. of Sedim. Petr.*, vol. 24: 151-158.
- TREMUL A., 2001 - *I sedimenti della Grotta Pocala di Aurisina (Carso triestino): analisi mineralogiche e sedimentologiche*. Tesi di laurea (A.A. 2000-2001), pp. 127, Università degli Studi di Trieste.
- TREMUL A., CALLIGARIS R., LENAZ D., PRINCIVALLE F., 2001 - *Preliminary report on sediments from Pocala Cave: sedimentological and heavy minerals analysis*. *Cadernos Lab. Xeolòxico de Laxe*, vol. 26: 503-507, Coruna.
- TREMUL A., 2003 - *Studio dei sedimenti della Grotta Pocala (Carso triestino): analisi mineralogiche*. Atti del Museo Civico di Storia Naturale, vol. 49 (2002 suppl.): 127-140, Trieste.