

PAVEL BOSÁK^{1,2}, PETR PRUNER¹, HELENA HERCMAN⁴, RUGGIERO CALLIGARIS³ & ANTONELLA TREMUL³

PALAEOMAGNETIC ANALYSIS OF SEDIMENTS IN POCALA CAVE AND BORGO GROTTA GIGANTE (TRIESTE REGION, ITALY)

Abstract

BOSÁK P., CALLIGARIS R., PRUNER P., HERCMAN H. & TREMUL A. - *Palaeomagnetic analysis of sediments in Pocala Cave and Borgo Grotta Gigante (Trieste region, Italy). Analisi paleomagnetiche dei sedimenti nella Grotta Pocala e a Borgo Grotta Gigante (Carso triestino, Italia)* – *Ipogea*, 4: 37-52.

Sedimentary profiles of two boreholes – S 1 (Pocala Cave) and S 3 (unroofed cave in Borgo Grotta Gigante) – were studied. Palaeomagnetic samples were subjected to demagnetisation by alternating field. The correlation of the obtained arrangements of normal and reverse polarized magnetozones in boreholes S 1 and S 3 is not fully clear, owing to the substantial difference in the basic magnetic properties (remanent magnetization and magnetic susceptibility). Also the course of magnetic susceptibility curves in both cores, indicators of palaeoclimatic conditions, differ. Both mean palaeomagnetic values reflect the major lithological boundaries in both boreholes, i.e. the lithological change in transported material into the caves and/or some major climatic change indicating increased proportion of karst-derived material above the boundary and flysh-derived material below it. The dominant part of both profiles is represented by normal magnetozones with one well-documented reverse polarized zone. Narrow reverse excursions of magnetic field below both reversals were detected. Th/U alpha-spectrometric dating of thin speleothems below reversal in the S 1 borehole indicates ages around 226 to 284 ka. It cannot be excluded, that the reversal in the S 1 borehole can be correlated with Blake event (ca 111-117 ka) or Iceland Basin event (180-190 ka) within the Brunhes chron. The S 3 seems to be much older. Th/U dates indicate, that unroofing of Pocala Cave is younger than ca 197 to 226 ka.

Key words: cave sediments, magnetostratigraphy, U-series dating, Italy

¹ *Institute of Geology, Academy of Sciences of the Czech Republic, Rozvojová 135, 165 02 Praha 2, Czech Republic, e-mail: bosak@gli.cas.cz; pruner@gli.cas.cz*

² *Karst Research Institute, Slovenian Academy of Sciences and Arts, Titov trg 2, 6230 Posztोजना, Slovenia*

³ *Grotta Gigante, I-34010 Sgonico (Trieste), Italy, e-mail: calligaris@hotmail.com*

⁴ *Laboratory of Th/U dating, Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland, e-mail: hhercman@twarda.pan.pl*

Index

1. INTRODUCTION	pag.	38
2. POSITION OF SITES	»	38
3. MATERIAL	»	39
3.1 Sampling	»	39
4. BOREHOLE LOGS	»	39
4.1. S 1 core	»	39
4.2. S 3 core	»	40
5. PALAEOMAGNETIC ANALYSIS	»	40
5.1. Laboratory procedures	»	40
5.2. Palaeomagnetic results	»	40
5.2.1. S 1 core	»	40
5.2.2. S 3 core	»	41
6. U-SERIES ANALYSES	»	42
6.1. Method	»	42
6.2. Results	»	42
7. DISCUSSION	»	43
8. CONCLUSIONS	»	45

Acknowledgement
 Summary
 Italian text
 REFERENCES

» 45
 » 45
 » 46
 » 50

1. INTRODUCTION

Museo Civico di Storia Naturale di Trieste (Italy), contacted the Laboratory of Palaeomagnetism, Institute of Geology AS CR, Prague, Czech Republic in July 2000, to consult possibilities to date sediments from boreholes drilled in some caves in the Trieste region (Italy; see CALLIGARIS, 1999, 2000). It was decided to sample boreholes in cave sediments for palaeomagnetic analysis, magnetostratigraphic research and radiometric dating. During the first visit in the Museum (July 3, 2000) two boreholes were inspected. Nevertheless, only the S 1 borehole appeared to be favorable for sampling for palaeomagnetic analysis. During the second visit (November 22, 2000) another borehole was sampled, No. S 3, as the lithology seemed to be similar to S 1 borehole. Detailed sampling of S 1 borehole, based on preliminary palaeomagnetic data, was completed at the same time, too.

2. POSITION OF SITES

The S 1 borehole was drilled in the front of the entrance to the Pocala Cave (Grotta Pocala) near village of Aurisina at altitude of about 130 m a.s.l. (Fig. 1). The site has been known as important archaeological site (cf. BATTAGLIA, 1930, 1958-1959). The borehole was situated in flat unroofed part of the cave some 10 m from the cave entrance (for position see fig. 7 in CALLIGARIS, 1999). Pocala Cave represents slightly inclined tunnel-shaped passage (vadose-modified phreatic loop), which is somewhat wider downslopes (about 105 m long and max. 28 m wide). The thickness of limestone roof (Upper Cretaceous rudistid limestones) is from ca 3 m above the actual entrance to about 25 m at the cave termination. The cave is fully blocked by the cave fill at its end. In the front of the actual entrance, there is the continuation of cave passage, which is now unroofed in a length of first tens of meters. Cave sediments in Pocala Cave and its unroofed continuation differ, which was already mentioned by MÜHLDORFER (1907). In his section, the fill of Pocala Cave unconformably overlies the fill of its unroofed part (cf. also Fig. 2 on p. 5 in BATTAGLIA, 1930). The fill of unroofed cave consists of red terra rossa-type of sediments in upper part and yellow clays in power positions (cf. BATTAGLIA, 1930, fig. 25 on p. 30). Nevertheless, BATTAGLIA (1930) expected that yellow clays are younger member, Holocene in

age, and red terra rossa represented older position, Pleistocene in age (cf. his fig. 22 on p. 26). Preliminary sedimentological data were given by (TREMUL *et alii*, 2000). Cave bears were studied also by FORNASTERIO & MENEGAZZI, 2001).

The S 3 borehole was drilled in unroofed cave in Borgo Grotta Gigante, close to Grotta Gigante (Fig. 1). Slightly meandering palaeo-cave has horizontal floor in cave deposits. It looks like sharp-edged trench in Upper Cretaceous rudistid limestones. Trench edges are corroded by abundant deep rillenkarren. The total length of the cave is several tens of meters and it terminates by large collapsed doline.

Both sites represented recently flat surfaces. It cannot be excluded that both sites served as sources of soils for local farmers (A. MIHEVC, *pers. comm.*, 2003), because on both sites limestone blocks from collapsed roofs are missing: they could be removed outside the soil and deposited in abundant stony walls in surroundings.

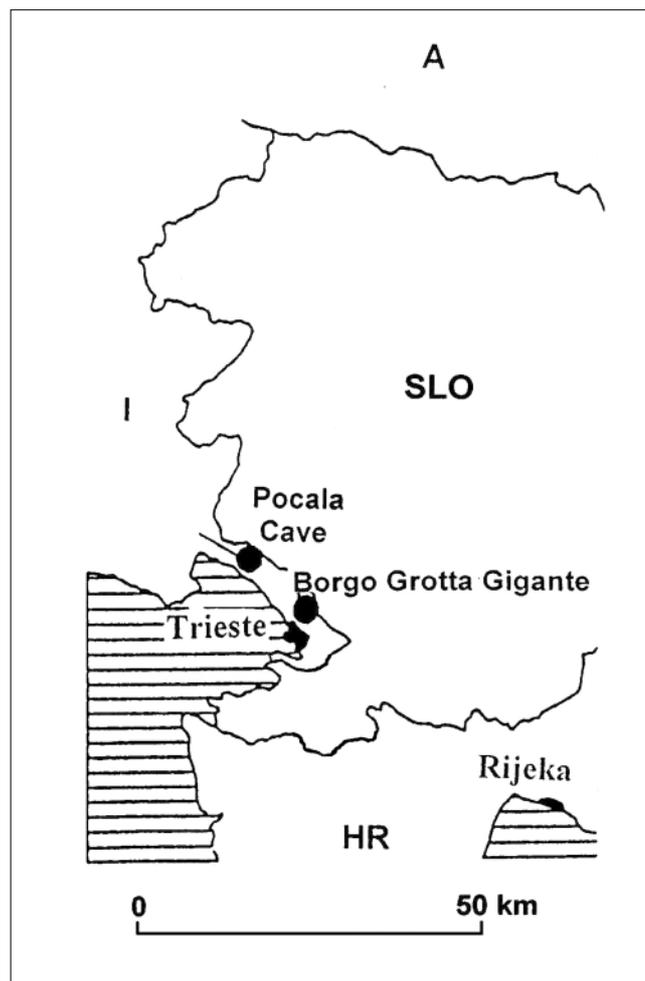


Fig. 1 Location map.
 Fig. 1. Mappa della zona.

Thickness [m]	J _n [mA.m ⁻¹]	k _n x10 ⁻⁶ [SI]	I _p [°]	Polarity
0.10	41.250	2,322	43	N
0.23	30.602	2,257	29	N
0.30	51.102	2,574	5	N?
0.34	32.291	2,626	14	N
0.43	44.785	2,932	21	N
0.49	40.303	3,017	16	N
0.51	63.389	3,321	-27	R
0.70	81.072	3,551	-2	R?
0.90	81.929	3,416	3	R?
1.09	85.153	4,127	-13	R?
1.29	105.784	4,590	1	R?
1.51	75.270	4,379	-26	R
1.70	69.700	4,977	-20	R
1.89	87.095	5,265	-26	R
2.11	86.015	4,298	13	N
2.29	68.078	6,089	52	N?
2.40	32.838	3,499	13	N
2.44	54.639	3,283	-13	R
2.50	74.038	3,281	-62	R
2.55	52.570	3,247	-5	R?
2.70	52.812	2,744	26	N
2.90	43.889	2,505	59	N
2.94	87.371	4,997	-75	R
2.96	59.994	5,894	-16	R
2.99	42.128	4,673	-19	R
3.00	19.142	4,273	-28	R
3.13	27.545	2,597	21	N
3.30	81.939	5,418	50	N
3.50	38.848	3,632	63	N
3.70	15.722	2,025	75	N
4.87	33.861	3,992	6	N?
4.99	91.780	4,424	40	N
5.10	76.656	2,637	82	N
5.27	19.765	986	6	N
5.43	16.506	932	19	N
5.61	7.388	810	50	N
5.76	10.052	729	57	N
6.21	71.670	2,916	61	N
6.40	54.183	1,786	27	N
6.61	9.425	500	42	N
6.79	10.367	576	55	N
7.00	55.614	1,851	30	N
7.20	11.131	551	36	N
7.41	7.197	405	24	N
7.61	16.642	916	10	N
7.80	0.195	114	54	N
7.97	0.144	90	34	N
8.20	0.620	130	21	N
8.40	0.220	81	36	N
8.60	0.994	134	12	N
8.80	0.206	90	23	N
9.00	1.022	102	36	N
9.10	0.681	134	66	N
9.16	0.358	133	-69	R
9.19	0.418	117	-36	R?
9.24	0.228	88	30	N
9.30	0.252	92	31	N
9.39	0.217	95	32	N
9.58	0.548	108	65	N
9.78	0.407	108	70	N
9.94	0.904	131	83	N

3. MATERIAL

Boreholes were fully cored. The core yields were nearly 100 %, some losses of drilling were noted only in parts with higher proportion of limestone skeleton without sedimentary matrix. The diameter of drilling was about 12 cm. Borehole cores were divided to two parts along the longitudinal axis. One half of the core was used for analyses, the second one was left in museum collections. Each 1 m long segment of the core was stored separately in special plastic tube covered by plastic foil. The tube was closed to prevent rock dessication. Old newspapers filled free space after removal of the second half of the core. Some reviewed cores were stored in classical wooden boxes. Boxes and tubes with cores were deposited in the collections of the respective department of the Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.

3.1. SAMPLING

Half of borehole cores were sampled in a collection room of the Museum. A standard sampling procedure was applied: cube boxes from special non-magnetic plastics (internal space of 20x20x20 mm, Japan production) were pushed into loose sediments with identical orientation of all boxes along vertical axis. Totally 96 samples were taken (61 from S 1 borehole, Tab. 1, and 35 from S 3 borehole, Tab. 2). The initial sampling steps were about 20 cm long, detailed sampling of the S 1 borehole was in steps after each 4 to 11 cm. Totally six samples from 3 speleothem horizons were taken from S 1 borehole for Th/U dating (Tab. 5).

4. BOREHOLE LOGS

4.1. S 1 CORE

Dominant part of the borehole was composed of ochreous and brown to brownish red clays and silty clays with pieces of limestones and speleothems (scree). Main lithological boundaries seem to be situated at 3.50 m and 7.65 m. Upper part (0.00÷3.50 m) was composed of brown to brownish red clays with pieces of limestones. Middle part (3.50÷7.65 m) was lithologically more varied with alternating clays, limestone screes, sandy layers and with rather brownish color. Lower part (7.65÷9.94 m) was rather ochreous and brow, interlaminated with sandy laminae and with occasional pieces of limestones. Core finished at 9.94 m.

Tab. 1: Principal magnetic and palaeomagnetic parameters of samples from S 1 borehole.

Tab 1: Magneti fondamentali e parametri paleomagnetici dei campioni dal foro sondato S1.

Thickness [m]	J_n [mA.m ⁻¹]	k_n x10 ⁻⁶ [SI]	I_p [°]	Polarity
0.10	57.778	7,193	20	N
0.30	24.045	9,515	-	?
0.50	153.537	8,318	34	N
0.70	61.473	3,551	53	N
0.90	103.129	6,721	-45	R
1.10	149.160	5,654	-52	R
1.30	40.297	3,940	-6	R?
1.50	175.980	5,636	-23	R
1.70	102.082	5,627	70	N?
1.90	69.448	4,871	40	N
2.10	58.434	6,302	47	N
2.40	84.089	7,967	15	N?
2.54	60.871	5,875	12	N
2.61	192.749	7,639	22	N
2.90	200.866	10,056	20	N
3.10	178.927	9,335	35	N
3.30	208.737	9,241	25	N
3.50	320.635	9,587	30	N
3.95	260.142	5,974	52	N
4.10	135.670	1,942	8	N
4.31	103.256	3,607	-29	R
4.36	101.180	4,522	8	N
4.55	153.742	7,646	17	N
4.70	9.903	664	14	N
4.89	18.826	1,168	3	N
5.10	3.203	304	11	N
5.29	3.994	398	34	N
5.49	6.848	466	32	N
5.70	3.237	398	47	N
5.93	3.220	466	9	N
6.46	6.835	538	48	N
6.53	9.527	425	32	N
6.81	9.039	452	-3	N?
7.11	2.223	196	40	N
7.12	3.584	182	30	N

Tab. 2. Principal magnetic and palaeomagnetic parameters of samples from S 3 borehole.

Tab. 2: *Magneti fondamentali e parametri paleomagnetici dei campioni dal foro sondato S3.*

4.2. S 3 CORE

Lithological section of the borehole was similar to previous one. Nevertheless, there were more abundant intercalations of limestones (probably larger limestone blocks) and several layers of flowstones. The matrix was composed mostly of clays and silty clays, in upper part of brown color, below 2.00 m brownish red (redeposited terra rossa?), below ca 4.00 m with ochreous schlieren

and interbeds. Color changed to ochreous with reddish stains in 4.65 m. Carbonate concretions occurred around 7.00 m. Stains of manganese compounds were noted around 4.55 m. Important lithological boundaries can be interpreted in 2.00 m, 4.37 m, and 4.65 m. Core finished at 7.14 m.

5. PALAEOMAGNETIC ANALYSIS

5.1. LABORATORY PROCEDURES

Laboratory procedures was based on progressive demagnetization by alternating field (AF) or thermal demagnetization (TD) to detect (1) components of remanent magnetic polarity in different intervals and (2) moduli and directions of remanent magnetization.

Samples were collected from individual horizon to plastic cubes 20x20x20 mm. Samples were oriented only along the vertical axis. Their orientation to the magnetic north was impossible due to rotary system of drilling (unknown original orientation of individual core segments rotating within the core sampler). Therefore, only inclination values (I_p) were determined, those concerning the declination are missing.

In laboratory they were measured on JR-5 spinner magnetometer (JELÍNEK, 1966). Specimens were demagnetized by the AF procedures on Schonstedt GSD-1 and LDA apparatus up to the field of 100 mT in 14 steps. One specimen was thermally demagnetized in high magnetic vacuum in the MAVACS apparatus (Magnetic Vacuum Control System; PŘÍHODA *et alii*, 1989).

Remanent magnetization of specimens in their natural state (NRM) is identified by the symbol J_n , the corresponding remanent magnetic moment by symbol M . Graphs of normalized values of $M/M_{max} = F(H,t)$ were constructed for each analyzed specimen.

Volume magnetic susceptibility (k_n) was measured on KLY-2 kappa-bridge (JELÍNEK, 1973). Application of multi-component Kirschvink analysis separated the respective remanent magnetization components (KIRSCHVINK, 1980). Statistics of FISHER (1953) was employed for calculation of mean directions of the pertinent remanence components derived by multi-component analysis.

5.2. PALAEOMAGNETIC RESULTS

5.2.1. S 1 CORE

Principal magnetic parameters are documented in Table 1 and Figure 2. Values of moduli of natural remanent magnetization (J_n) and natural magnetic susceptibility (k_n) show big scatter (cf. mean values in Tab. 3). Profile can be divided into two parts and categories according values of both moduli. In the upper part (0.10-7.61 m; 45 samples), mean values

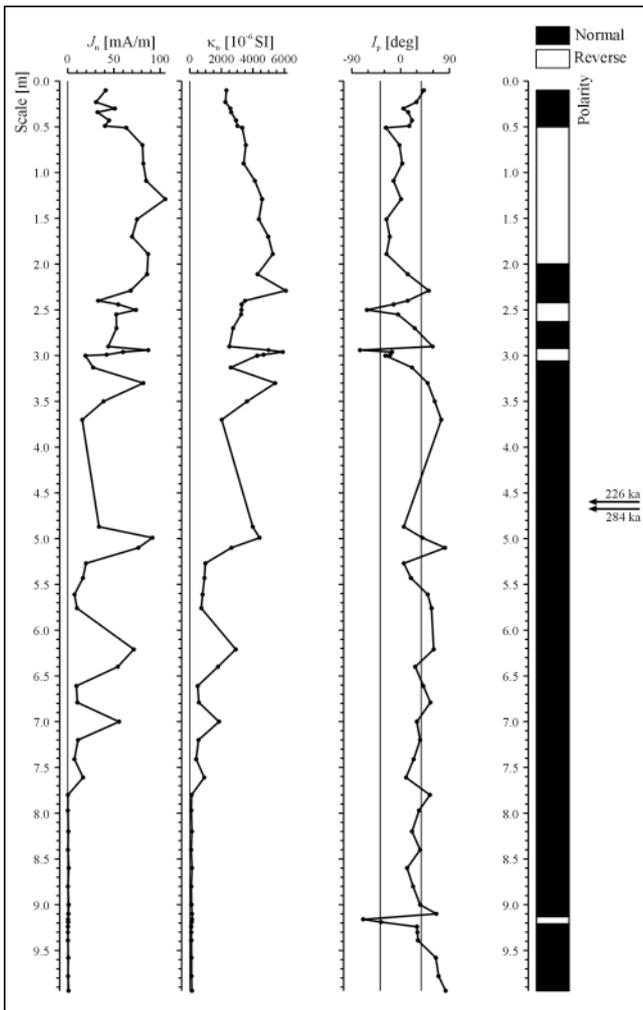


Fig. 2. Principal magnetic and magnetostratigraphic parameters of samples, S 1 borehole.

Fig. 2. Principali parametri magnetici e magnetostratigrafici dei campioni del punto S 1.

are as follows: $J_n = 49.323 \pm 27.504$ [mA.m-1]; $k_n = 3018 \pm 1536 \times 10^{-6}$ [SI]. This sample group is characterized by intermediate J_n and k_n values. In lower part (7.80÷9.94 m; 16 samples), mean values are as follows: $J_n = 0.464 \pm 0.290$ [mA.m-1]; $k_n = 109 \pm 18 \times 10^{-6}$ [SI]. Samples from this part are characterized by low or very low J_n and k_n values.

Directions of remanent magnetization inferred by above-given procedures were tested using a multi-component analysis. The origin of A-components of remanence is mostly viscous or chemoremanent (weathering) and can be removed by alternating field with intensity of 5 mT. Normal and reverse polarities (I_p - inclination) of samples are documented in Table 1 and Figure 1.

Magnetostratigraphic interpretation of data shows normal polarity with 4 reverse magnetized zones. Wide reverse zone in 0.51 to 1.89 m (8 samples) is followed by 2 narrow reverse events in 2.40 to 2.55 (3 samples) and 2.94 to 3.00 m (4 samples; meters = centre of plastic boxes). Another narrow reverse magnetized event was near the base of the core 9.16 to 9.19 m (2 samples).

5.2.2. S 3 CORE

Principal magnetic parameters are documented in Table 2 and Figure 3. Values of moduli of natural remanent magnetization (J_n) and natural magnetic susceptibility (k_n) show big scatter (cf. mean values in Tab. 4). Profile can be divided into two parts and categories according values of both moduli. In the upper part (0.10÷4.55 m; 23 samples), mean values are as follows: $J_n = 130.271 \pm 72.941$ [mA.m-1]; $k_n = 6553 \pm 2179 \times 10^{-6}$ [SI]. This sample group is characterized by intermediate J_n and k_n values. In the lower part (4.70÷7.12 m; 12 samples), mean values are as follows: $J_n = 6.703 \pm 4.511$ [mA.m-1]; $k_n = 471 \pm 246 \times 10^{-6}$ [SI]. Samples from this part are characterized by low J_n and k_n values.

Directions of remanent magnetization inferred by above-given procedures were tested using a multi-component analysis. The origin of A-components of remanence is mostly viscous or chemoremanent (weathering) and can be removed by alternating field with intensity of 5 mT. Normal and reverse polarities (I_p - inclination) of samples are documented in Table 3 and Figure 2.

Magnetostratigraphic interpretation of data shows normal polarity with 2 reverse magnetized zones. Wide reverse zone in 0.90 to 1.50 m (4 samples) occurs in the upper part of the profile. Narrow reverse magnetized event was in 4.31 m (one sample).

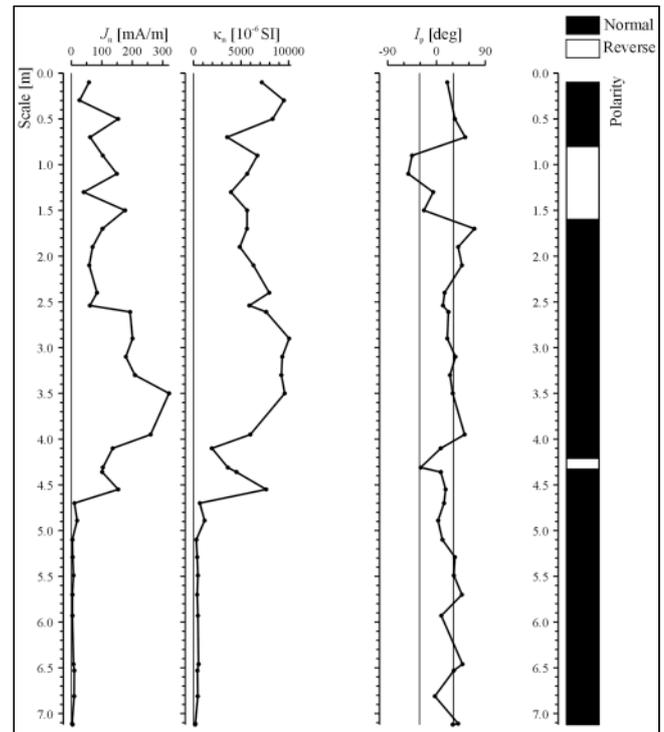


Fig. 3. Principal magnetic and magnetostratigraphic parameters of samples, S 3 borehole.

Fig. 2. Principali parametri magnetici e magnetostratigrafici dei campioni del punto S 3.

	J_n [mA.m ⁻¹]	k_n x10 ⁻⁶ [SI]	Interval [m]
Mean value	49.323	3,018	
Standard deviation	27.504	1,536	0.10 - 7.61
Number of samples	45	45	
Mean value	0.464	109	
Standard deviation	0.290	18	7.80 - 9.94
Number of samples	16	16	

Tab. 3. Mean value and standard deviation of natural remanent magnetization (J_n) and volume magnetic susceptibility (k_n) from S 1 borehole.

Tab. 3: Valore intermedio e deviazione standard di magnetismo residuo naturale (J_n) e volume di suscettività magnetica (K_n) dal foro S1.

6. U-SERIES ANALYSES

6.1. METHOD

Standard chemical procedure for uranium and thorium separation from carbonate samples was used (IVANOVICH & HARMON, 1982). Samples of 35- 60g of compact calcite with no visible traces of detrital admixtures have been separated for analyses. 228Th-232U mixture has been used as a controller of chemical procedure efficiency. Uranium and Thorium have been separated by ion exchange method using DOWEX 1x8 resin. After final purification U and Th have been electro-deposited on steel disks. Activities measurements were performed using OCTETE PC made by EG&G ORTEC

	J_n [mA.m ⁻¹]	k_n x10 ⁻⁶ [SI]	Interval [m]
Mean value	130.271	6,553	
Standard deviation	72.941	2,179	0.10 - 4.55
Number of samples	23	23	
Mean value	6.703	471	
Standard deviation	4.511	246	4.70 - 7.12
Number of samples	12	12	

Tab. 4. Mean value and standard deviation of natural remanent magnetization (J_n) and volume magnetic susceptibility (k_n) from S 3 borehole

Tab. 4: Valore intermedio e deviazione standard di magnetismo residuo naturale (J_n) e volume di suscettività magnetica (K_n) dal foro S3.

(α spectrometry method). Spectra analyses and age calculations have been done using "URANOTHOR 2.5" software, which is standard software, used in U-series Laboratory in Warsaw (GORKA & HERCMAN, 2002). The quoted errors are one standard deviation.

6.2. RESULTS

Results of U-series analyses are presented in the table 5. The errors are 1σ . High efficiency (>60 %) of chemical procedure of U and Th separation was obtained for all samples. U content is high enough for reliable analyze the younger samples (laboratory numbers: W 843, 842, 860 and 861). Significantly lower U content in samples W 863 and 844 may result

Sample	Lab. No.	U conc. [ppm]	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	Age [ka]	Remarks
4.60-4.68 upper	W 843	0.266±0.011	1.012±0.043	0.875±0.039	244	226 ⁺⁴⁰ -29	
4.60-4.68 lower	W 842	0.239±0.010	1.026±0.045	0.927±0.041	221	284 ⁺⁹⁰ -48	
4.85-4.92 upper	W 860	0.262±0.011	1.073±0.046	0.974±0.046	7.5		detrital contamination
4.85-4.92 lower	W 861	0.263±0.011	0.994±0.048	1.008±0.049	14		detrital contamination
6.20-6.30 upper	W 863	0.046±0.031	1.113±0.236	1.035±0.086	4.1		U leaching (?), detrital contamination
6.20-6.30 lower	W 844	0.048±0.004	1.190±0.117	0.785±0.078	4.5		U leaching (?), detrital contamination

Note: The quoted errors are one standard deviation.

Nota: Gli errori sono stati calcolati con deviazione standard.

Tab. 5. U-series dating results using α -spectrometry from speleothems in S 1 borehole

Tab. 5: Dati risultanti da U-serie utilizzando α -spettrometro dai speleothems nel foro S1.

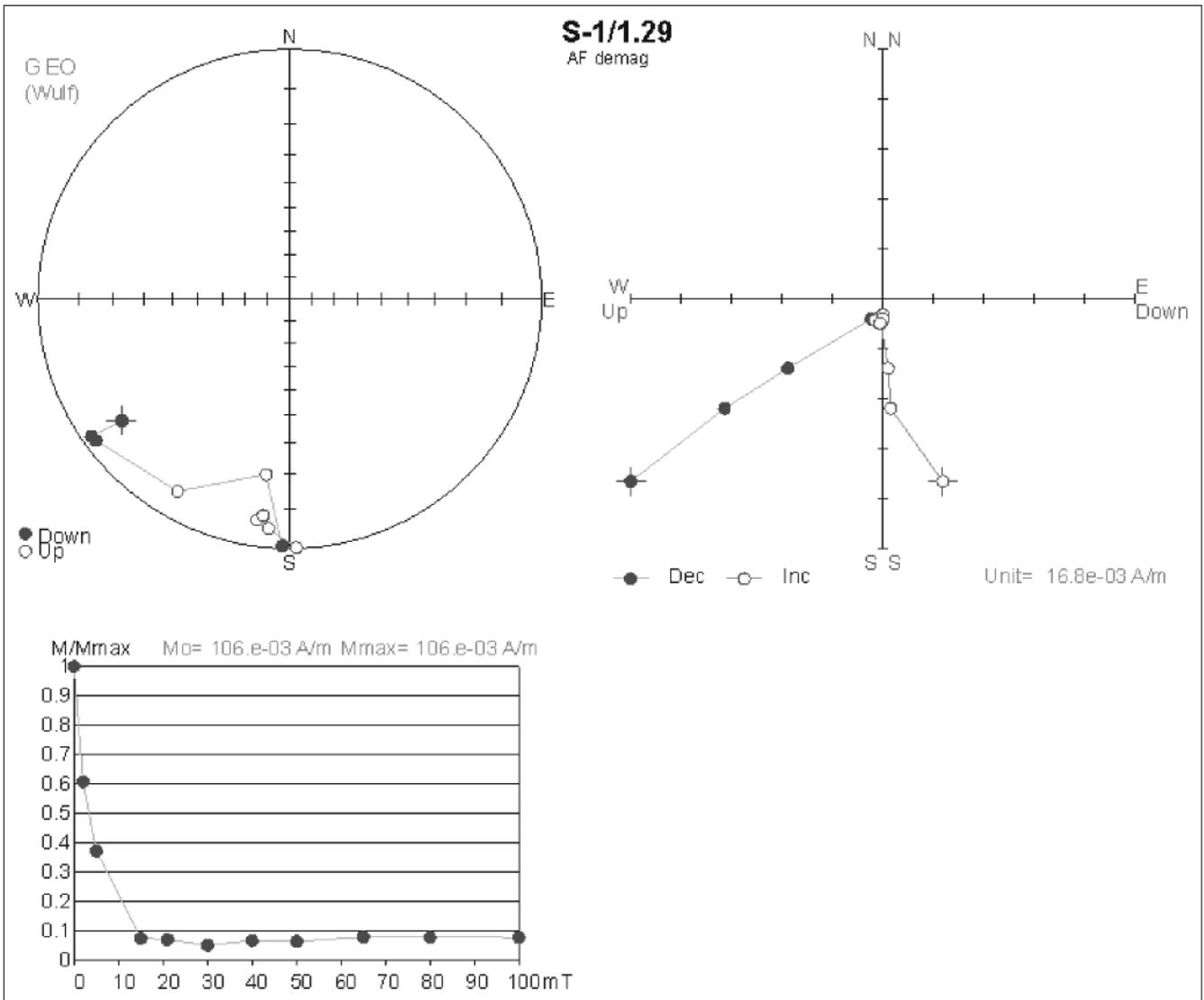


Fig. 4. Results of AF demagnetization of sample (S1/1.29 m) with reverse palaeomagnetic polarity. Zijderveld diagram (top right) – solid circles represent projection on the horizontal plane (XY), open circles represent projections on the north–south vertical plane (XZ). Stereographic projection (top left) of the remanent magnetization of sample in natural state and after the AF demagnetization. Bottom left: Graph of normalized values of the remanent magnetic moments versus AF demagnetizing fields; M – modulus of the remanent magnetic moment of a sample subjected to AF demagnetization; M_0 – modulus of the remanent magnetic moment of sample in the natural state.

Fig. 4 Risultati di AF smagnetizzazione dei campioni (S1/1,29m) con polarità paleomagnetica invertita. Diagramma di Zijderveld (in alto a destra)- cerchi solidi rappresento la proiezione sul piano orizzontale (XY), i cerchi aperti rappresentano la proiezione del piano verticale nord-sud (XZ). La proiezione stereografica (in alto a sinistra) del magnetismo residuo del campione allo stato naturale e dopo la smagnetizzazione AF. In basso a sinistra: grafico dei valori normalizzati dei momenti magnetici residui rispetto ai campi smagnetizzati AF; M – modulo del momento magnetico residuo di un campione sottoposto a smagnetizzazione AF; M_0 – modulo del momento magnetico residuo dei campioni allo stato naturale.

from U leaching or it indicates different U source in this layer of flowstone. However, all the spectra are clear with no doubt.

The youngest flowstone (samples W 843 – W 842) deposited between ca. 280 and 220 ka. Significant nonradiogenic thorium contamination is visible in older samples (laboratory numbers W 860, 861, 863 and 844). Any reliable information about the age of these samples can be obtained only with isochrones method. This method needs of 5-6 analyses from one sample, which are not available.

7. DISCUSSION

Magnetostratigraphic data obtained from both analyzed boreholes seem to be highly similar: especially the arrangement of normal and reverse polarized magnetozones (Figs. 2 and 3). Nevertheless the character of J_n and k_n moduli substantially differ, although the general character of both curves shows seemingly similar trends. J_n and k_n values for lower part of profiles (7.80÷9.94 for S 1 and 4.70÷7.12 for S 3) differ substantially, i.e. J_n mean value for S 1 is 0.464 and k_n is 109 (Tab. 3), and for S 3 J_n reaches

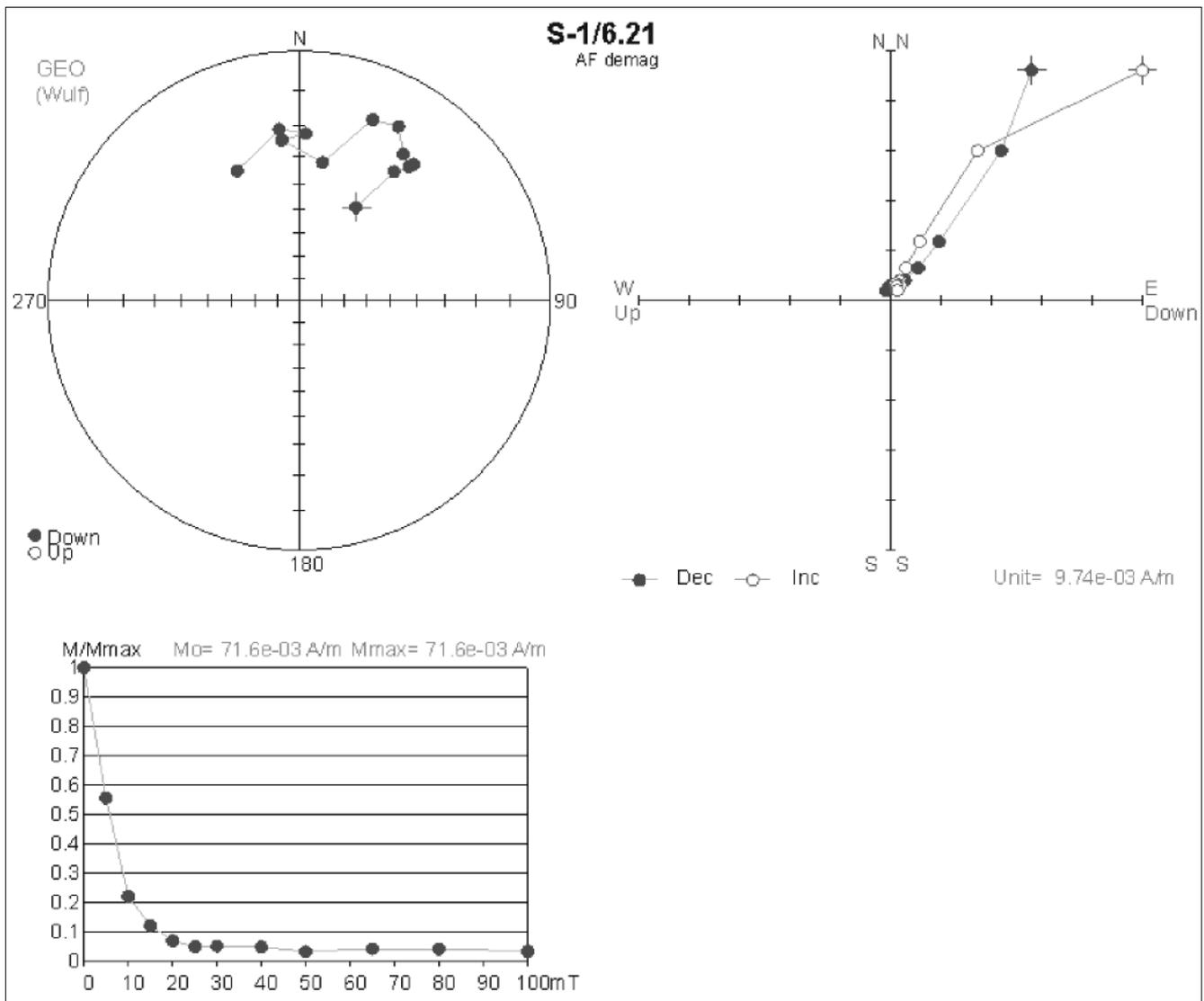


Fig. 5. Results of the AF demagnetization of sample (S1/6.21 m) with normal palaeomagnetic polarity, for explanations see Figure 4.

Fig. 5 Risultati della smagnetizzazione AF del campione (S1/6.21m) con polarità paleomagnetica normale, per la spiegazione vedi Figura 4.

6.703 and k_n is 471 (Tab. 4). Similar difference can be detected also in upper parts of borehole logs (0.10÷7.61 for S 1 and 0.10÷4.55 for S 3), i.e. J_n value for S 1 is ca 49 and k_n is 3,018 (Tab. 3), and for S 3 J_n reaches ca 130 and k_n is 6,553 (Tab. 4). Also detailed comparison of J_n and k_n curves shows difference in trends.

The change in J_n and k_n moduli corresponds also to major lithological boundaries as reflection of some major climatic changes. The boundaries are located at 7.65 m in S 1 log and at 4.37/4.65 m in S 3 borehole, respectively. Below both boundaries, k_n values are 20 to 30 times lower and J_n values are 20 to 100 times lower than above them. It seems, that lower parts of both logs represent redeposited weathering residua of Eocene flysch, while upper parts contain gradually increased proportion of redeposited terrae calcis evolving on limestone areas. The reason of such change can be

found in rearrangement of source (catchment) areas of watercourses feeding karst and/or in major climatic change (reflected by magnetic susceptibility values; cf. SROUBEK *et alii*, 2001). The differences in rock magnetic properties can be traced also in geochemical log of sediments (especially changes in contents of Fe, Al, Cr), assemblages of heavy minerals, and in composition of clay mineral fractions (proportion of kaolinite, illite, smectite, chlorite, eventually also montmorillonite).

Both profiles are normal polarized (example on Fig. 4) with one well-documented reverse polarized zone (example on Fig. 5) in the upper part of the core and 1 to 3 narrow reverse excursions of magnetic field. Position of short-lived reversals differs in both logs. In S 3 log, two short reversals below longer one are missing and the distance of lower short reversal from the main one is shorter than in S 1 log.

U-series dating yielded only two reliable results from the S 1 borehole. The upper part of speleothem layer in 4.60-4.68 m indicate age round 226 ka (+40, -29 ka), the lower part was dated to about 284 ka (+90, -48 ka; tab. 5). Dates indicate that before 197 to 374 ka there existed cave covered with the roof; only cave environment enables the formation of speleothem and flowstone layers.

Th/U dates (226 to 284 ka), lithostratigraphic situation (cave fill unconformably overlies fill of unroofed part), and recent palaeontological finds in the Pocala Cave (cave bear about 50 ka old; G. RABEDER, *pers. comm.*, 2003) can indicate, that longer reverse magnetozone in S 1 borehole can represent Blake or Iceland Basin event within the Brunhes chron. The Blake event is best dated in Chinese loesses by ZHU *et alii* (1994) by thermoluminescence to 117.1±1.2 to 111.8±1.0 ka BP. Short excursion from Sites 983 and 984 (Ocean Drilling Program), known as Iceland Basin, is dated to 180-190 ka (CHANNELL *et alii*, 1997). Another short polarity excursions occur in Chinese loesses (ZHU *et alii*, 1999), i.e. Mono Lake excursion (27.1 to 26.0 ka BP) and Laschamp excursion (46.3 to 37.4 ka BP). Nevertheless, owing to the position of our reverse polarized magnetic zone they are younger than our profile.

The S 3 borehole cannot be, probably, correlated with the situation in the S 1 log. We expect, that the log cover another climatic cycle with but reflecting similar palaeogeographic situation and catchment/climatic changes. The position of the profile within unroofed cave can imply significantly higher age of the fill, than in the Pocala Cave, as resulted from our experience from Slovenian part of the Classical Karst (BOSÁK *et alii*, 2003). Missing declination data make the decision on age correlation in both logs impossible.

8. CONCLUSIONS

Both borehole logs differ in basic magnetic

properties (remanent magnetization and magnetic susceptibility), the course of magnetic susceptibility curves (as indicators of palaeoclimatic conditions) and partly also in lithology. Substantial difference is in magnetostratigraphic zonation, i.e. in the arrangement of reverse and normal polarized zones. Also the position of both logs differs. The S 3 site is situated in completely unroofed location, with no trace of original limestone roof, while part of the Pocala Cave is still covered by substantial thickness of limestone roof. Such differences can indicate, that both sedimentary profiles, although looking quite similar, will differ substantially in age in spite of similar interpretation of changes in palaeogeographic conditions. Such fact, on the other hand, can indicate origin of similar fabrics of correlate sediments resulting from different climatic cycles.

Palaeomagnetic analysis and U-series dating of S 1 borehole from unroofed part in front of the recent entrance to the Pocala Cave indicate sequence of young geomorphic events. Speleothem layers buried in the fill and dated back to ca 197 and 374 ka prove the existence of the cave roof at that time. The roof had to be enough thick to prevent the collapse (i.e. 3 to 4 m like at the recent entrance to the Pocala Cave). Unroofing had to be younger than 197 ka at least. After the unroofing, younger sediments in the Pocala Cave were deposited, disconformably overlying the fill of the unroofed part of the cave (cf. also MÜHLDOERFER, 1907). The excavation of older fill from the cave could represent the consequence of (a) slope movement of sediments down to yet unknown part of the cave and/or (b) backward erosion from hydrologically active underground stream excavating older fills in the depth. Erosion of the older fill occurred only after Blake event (ca 111-117 ka) or Iceland Basin event (180-190 ka) i.e. during or after the Eemian interglacial, but before the deposition of bone-bearing beds dated roughly back to ca 50 ka.

Acknowledgement

The authors acknowledge the management of the Museo Civico di Storia Naturale, Trieste, for enabling the study and sampling of boreholes. The authors wish to thanks to Dr. Karl Mais (Naturhistorisches Museum, Vienna, Austria) for mediation of contacts. The palaeomagnetic data were prepared by Dr. Daniela Venhodová, data were processed by Dr. Ota Man and some most of figures were completed by Dr. Ota Man and Dr. Martin Chadima (Institute of Geology AS CR, Laboratory of Palaeomagnetism, Praha – Průhonice). Palaeomagnetic analyses were funded by the Museo Civico di Storia Naturale, Trieste, Italy, other costs were covered from the Research Plan of the Institute of Geology AS CR No. AV0Z3-013-912 and project of the Grant Agency AS CR No. IAA 3013201.

Summary

Sedimentary profiles of two boreholes – S 1 (Pocala Cave) and S 3 (unroofed cave in Borgo Grotta Gigante, Trieste region, Italy; Fig. 1) – were studied. The S 3 site is situated in completely unroofed location, with no trace of original limestone roof, while part of the Pocala Cave is still covered by substantial thickness of limestone roof. Palaeomagnetic samples were

subjected to demagnetisation by alternating field (Figs. 2 to 5; Tabs. 1 to 4). The correlation of the obtained arrangements of normal and reverse polarized magnetozones in boreholes S 1 and S 3 is not fully clear, owing to the substantial difference in the basic magnetic properties (remanent magnetization and magnetic susceptibility; Figs. 2 and 3). Also the course of magnetic susceptibility curves in both cores, indicators of palaeoclimatic conditions, differ. Both mean palaeomagnetic values reflect the major lithological boundaries in both boreholes, i.e. the lithological change in transported material into the caves and/or some major climatic change indicating increased proportion of karst-derived material above the boundary and flysh-derived material below it. Such differences can indicate, that both sedimentary profiles, although looking quite similar, will differ substantially in age in spite of similar interpretation of changes in palaeogeographic conditions. Such fact, on the other hand, can indicate origin of similar fabrics of correlate sediments resulting from different climatic cycles. The dominant part of both profiles is represented by normal magnetozones with one well-documented reverse polarized zone. Narrow reverse excursions of magnetic field below both reversals were detected. Th/U alpha-spectrometric dating of thin speleothems below reversal in the S 1 borehole indicates ages around 226 to 284 ka (Tab. 5). It cannot be excluded, that the reversal in the S 1 borehole can be correlated with Blake event (ca 111-117 ka) or Iceland Basin event (180-190 ka) within the Brunhes chron. The S 3 seems to be much older. Th/U dates indicate, that unroofing of Pocala Cave is younger than ca 197 to 226 ka. Speleothem layers buried in the fill and dated back to ca 197 and 374 ka prove the existence of the cave roof at that time. The roof had to be enough thick to prevent the collapse (i.e. 3 to 4 m like at the recent entrance to the Pocala Cave). Unroofing had to be younger than 197 ka at least. After the unroofing, younger sediments in the Pocala Cave were deposited, disconformably overlying the fill of the unroofed part of the cave (*cf.* also MÜHLDOERFER, 1907). The excavation of older fill from the cave could represent the consequence of (a) slope movement of sediments down to yet unknown part of the cave and/or (b) backward erosion from hydrologically active underground stream excavating older fills in the depth. Erosion of the older fill occurred only after Blake or Iceland Basin events, i.e. during or after the Eemian interglacial, but before the deposition of bone-bearing beds dated roughly back to ca 50 ka.

REFERENCES

- BATTAGLIA R. (1930) - *Notizie sulla stratigrafia del deposito quaternario della Caverna Pocala di Aurisina*. - Le Grotte d'Italia, VIII: 3-30. Postumia.
- BATTAGLIA R. (1958-1959) - *Preistoria del Veneto e delle Venezia Giulia*. - Bull. Palaeontol. Ital., 67/68 (Vol. Fuori Ser.): 94.
- BOSÁK P., PRUNER P. & KADLEC J. (2003) - *Magnetostratigraphy of cave sediments: application and limits*. - Stud. Geophys. Geodaet., 47 (2): 301-330. Praha.
- CALLIGARIS R. (1999) - 1999 - *Ritorno in Pocala*. - Atti Tavola Rotonda: Un importante sistema carsico dei Monti Lessini (Vr): I Covoli di Velo, Verona: non. Paginated.
- CALLIGARIS R. (2000) *Die Kernbohrungen in der Pocala Höhle bei Triest (Italien)*. Beitr. Paläont., 25: 153-159. Wien.
- CHANNELL J.E.T., HODELL D.A. & LEHMAN B. (1977) - *Relative geomagnetic paleointensity and $\delta^{18}O$ at ODP Site 983 (Gardar Drift, North Atlantic) since 350 ka*. - Earth Planet. Sci. Letters, 153: 103-118.
- FISHER R. (1953) - *Dispersion on a sphere*. - Proc. Roy. Soc., A 217: 295-305. London.
- FORNASTERIO M. & MENEGAZZI A. (2001) - *The cave bears from Pocala (Trieste, Italy) housed in the Geological and Paleontological Museum of Padova University*. - 7th Cave Bear Symposium, Trieste: non paginated. Natural History Museum. Trieste.
- Gorka P. & Hercman H. (2002) - *URANOTHOR v. 2.5. Delphi Code of calculation program and user guide*. - MS, Archive of Quaternary Geology Department, Institute of Geological Sciences, PAS, Warsaw.
- IVANOVICH M. & HARMON R.S. (1982) - *Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems*. - Clarendon Press, Oxford, pp. 571.
- KIRSCHVINK J. L. (1980) - *The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data*. - Geophys. J. Royal Astronom. Soc., 62: 699-718. Oxford.
- JELÍNEK V. (1966) - *A high sensitivity spinner magnetometer*. - Stud. Geophys. Geodaet., 10: 58-78. Praha.
- JELÍNEK V. (1973) - *Precision A.C. bridge set for measuring magnetic susceptibility and its anisotropy*. - Stud. Geophys. Geodaet., 17: 36-48. Praha.
- PŘÍHODA K., KRS M., PEŠINA B. & BLÁHA J. (1989) - *MAVACS - a new system of creating a non-magnetic environment for palaeomagnetic studies*. - Cuad. Geol. Ibérica, 12: 223-250. Madrid.
- SROUBEK P., DIEHL J.F., KADLEC J. & VALOCH K. (2001) - *A Late Pleistocene paleoclimate record based on mineral magnetic properties of the entrance facies sediments of Kulna Cave, Czech Republic*. - Geophys. J. Int., 147: 247-262.
- TREMUL A., CALLIGARIS R., LENA D. & PRINCIVALLE F. (2000) - *A preliminary report on sediments from Pocala Cave: Sedimentological and heavy mineral analysis*. - 6th Cave Bear Symposium, O Castro: 60-63.
- ZHU R.X., PAN Y.X. & LIU Q.S. (1999) - *Geomagnetic excursions recorded in Chinese loess in the last 70,000 years*. - Geophys. Res. Letters, 26 (4): 505-508.
- ZHU R.X., ZHOU L.P., LAJ, C., MAZAUD A. & DING Z.L. (1994) - *The Blake geomagnetic polarity episode recorded in Chinese loess*. - Geophys. Res. Letters, 21 (8): 697-700.

ANALISI PALEOMAGNETICA DEI SEDIMENTI DI GROTTA POCALA E DI BORGO GROTTA GIGANTE (PROVINCIA DI TRIESTE, ITALIA)

Abstract

BOSÁK P., CALLIGARIS R., PRUNER P., HERCMAN H. & TREMUL A. – Analisi paleomagnetice dei sedimenti nella Grotta Pocala e a Borgo Grotta Gigante (Carso triestino, Italia) – *Ipogea*, 4: 37-52.

Sono state analizzate le sezioni sedimentarie di due perforazioni eseguite nella Grotta Pocala (S1) e in una grotta priva di copertura a Borgo Grotta Gigante (S3). I campioni paleomagnetici sono stati smagnetizzati mediante inversione dei campi magnetici. La relazione tra i risultati ottenuti con campi magnetici normali e con la polarizzazione invertita sui fori sondati S 1 ed S 3 non è molto chiara, ciò è dovuto alla sostanziale differenza delle proprietà fondamentali magnetiche (magnetismo residuo e suscettività magnetica). Inoltre il percorso della suscettività magnetica curva verso entrambi i nuclei, mentre differiscono gli indicatori delle condizioni paleo-climatiche. Entrambi valori medi paleo-magnetici esprimono i più importanti limiti litologici per entrambi i fori sondati, ad esempio il cambiamento litologico del materiale portato all'interno delle grotte e/o i più importanti cambiamenti climatici che indicano un aumento della presenza di materiale di derivazione carsica al di sopra del limite e materiale di derivazione flysh al di sotto di esso. La parte prevalente di entrambe le sezioni è rappresentata da campi magnetici normali con una ben documentata zona polarizzata invertita.

Al di sotto di entrambe le inversioni sono state percepite piccole escursioni di inversioni dei campi magnetici. La datazione tramite Th/U alfa - spettrometrica su sottili speleotemi al di sotto della inversione nel foro S1, indica un'età intorno a 226 fino al 284 ka. Non si può escludere che l'inversione del foro S1 possa essere collegato all'avvenimento di Blake (ca 111-117 ka) o all'avvenimento del bacino dell'Islanda (180-190ka) all'interno del Brunhes chron. La S3 sembra molto più vecchia. L'analisi Th/U indica che la privazione del tetto della Grotta Pocala è più recente di ca 197 fino al 226ka.

Parole chiave: sedimenti di grotte, magneto stratigrafia, datazioni con Th/U, Carso triestino, Italia

¹ Istituto di Geologia, Accademia di Scienze della Repubblica Ceca, Rozvojová 135, 165 02 Praga 2,

Repubblica Ceca, e-mail: bosak@gli.cas.cz; pruner@gli.cas.cz

² Istituto di Ricerca sul Carso, Accademia di Scienze e di Arte Slovena, Titov trg 2, 6230 Posztrojna. Slovenia

³ Grotta Gigante, I-34010 Sgonico (Trieste), Italia, e-mail: calligaris@hotmail.com

⁴ Laboratorio di datazioni Th/U, Istituto di Scienze Geologiche, Accademia di Scienze Polacca, ul. Twarda

51/55, 00818 Varsavia, Polonia, e-mail: hhercman@twarda.pan.pl

Indice

1. INTRODUZIONE

2. POSIZIONE DEI SITI

3. MATERIALI

3.1. Campionamento

4. ANALISI DELLE CAROTE S1-S3

4.1. Carotaggio S1

4.2. Carotaggio S3

5. ANALISI PALEOMAGNETICA

5.1. Analisi di laboratorio

5.2. Risultati Paleomagnetici

5.2.1. Carotaggio S1

5.2.2. Carotaggio S3

6. ANALISI U-SERIE

6.1. Metodi

6.2. Risultati

7. DISCUSSIONE

8. CONCLUSIONE

Ringraziamenti

Sommario

BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUZIONE

Il Museo Civico di Storia Naturale di Trieste (Italia), contattò il Laboratorio di Paleomagnetismo dell' Istituto di Geologia AS CR, Praga, Repubblica Ceca nel Luglio del 2000, per consultarsi circa la possibilità di datare sedimenti provenienti dai fori trivellati con sonda da alcune grotte nella provincia di Trieste (Italia; vedi CALLIGARIS, 1999, 2000). Si stabilì di effettuare sui sedimenti dei fori trivellati con sonda delle grotte, analisi paleo-magnetiche, ricerche magneto-stratigrafiche e datazioni radio-metriche. Durante la prima visita al Museo (3 Luglio, 2000) si esaminarono i due fori sondati. Tuttavia, solamente il foro S1 sembrava idoneo ad essere sottoposto ad analisi paleo-magnetica. Durante la seconda visita (22 Novembre, 2000) si campionò un altro foro sondato, S3, poiché la litologia sembrava simile a quella del foro sondato S1. Il campionamento dettagliato del foro S1, basato sui dati preliminari paleo-magnetici, fu anche completato durante lo stesso periodo.

2. POSIZIONE DEI SITI

Il foro S1 è stato trivellato davanti all'ingresso della Grotta Pocala vicino al villaggio di Aurisina situato a circa 130m s.l.m. (Fig.1). Il sito ha una fama archeologica importante (cf. BATTAGLIA, 1930,1958-1959). Il foro sondato fu collocato in una parte piana scoperchiata della grotta a circa 10 m dall'ingresso della grotta (per la posizione vedi fig. 7 CALLIGARIS, 1999). La Grotta Pocala rappresenta una galleria leggermente inclinata verso il basso lunga circa 105 m e larga al massimo 28 metri. Lo spessore del tetto di calcare a rudista (Cretaceo Superiore) va da circa 3 m al di sopra dell' ingresso attuale fino a circa 25 m alla fine della grotta. Nella sua parte finale la cavità è completamente bloccata dai suoi stessi detriti. Davanti all'ingresso, la grotta che attualmente è senza tetto, prosegue in lunghezza di una decina di metri. I sedimenti nella Grotta Pocala e quelli nella sua parte senza tetto differiscono (MÜHLDORFER 1907). Nella sua sezione, i detriti della Grotta Pocala non combaciano con i detriti della sua parte senza tetto (cf. anche Fig. 2 a pag. 5 BATTAGLIA, 1930). I detriti della grotta senza tetto sono composti da sedimenti di terra rossa nella parte superiore e argilla gialla nelle posizioni ascendenti (cf. BATTAGLIA, 1930, Fig. 25 a pag. 30). Nondimeno, BATTAGLIA (1930) credeva che l'argilla gialla fosse una sostanza più recente,

di età olocene, e che la terra rossa rappresentasse uno strato più antico, di età pleistocenica (cf. fig. 22 a pag. 26). Dati preliminari sedimentologici furono forniti da TREMUL et alii, 2000. I sedimenti della grotta sono stati analizzati anche da FORNASTERIO & MENEGAZZI, 2001).

Il foro S3 è stato trivellato nella cavità priva di tetto presso la Grotta Gigante (Borgo Grotta Gigante) (Fig. 1). Leggermente meandriforme, la paleo-grotta ha una pavimentazione orizzontale lungo i depositi. Sembra un canale nel calcare a rudiste. I lati del canale sono interessati da numerosi e profondi rillenkarren. La lunghezza globale della grotta è di diverse decine di metri e termina con una grande dolina di crollo.

Entrambi i siti recentemente si mostrano con superfici piane e non si può escludere che siano stati utilizzati dai contadini locali come approvvigionamenti per i propri terreni (A. MIHEVC, pers. comm., 2003). In entrambi i siti sono scomparsi i blocchi di calcare provenienti dai soffitti franati: potrebbero essere stati spostati dal terreno ed utilizzati per costruire muretti a secco.

3. MATERIALE

I fori eseguiti sono stati completamente carotati. I rendimenti del carotaggio sono stati del 100%, alcune perdite delle trivellazioni sono state notate solo in parti con una maggiore proporzione di scheletro calcareo privo di roccia sedimentaria. Il diametro della trivellazione era di circa 12 cm. Le carote sono state divise in due parti longitudinalmente; una metà è stata utilizzata per le analisi, l'altra è stata archiviata nel museo. Ciascun segmento delle carote lungo 1 m è stato conservato separatamente in speciali tubi di plastica coperti con fogli di plastica. I tubi sono stati chiusi per evitare l'essiccazione della roccia. Sono stati impiegati giornali vecchi per riempire lo spazio lasciato dopo la rimozione della seconda parte della carota. Alcune carote analizzate sono state conservate in classiche scatole di legno. Le scatole ed i tubi con le carote sono state depositate negli archivi del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.

3.1. Campionamento

La metà delle carote sono state esaminate nel laboratorio del Museo. È stato applicato uno standard alle procedure di campionamento: le scatole cubiche di materiale plastico speciale, non magnetico (spazio interno 20x20x20mm, prodotto in Giappone) sono state inserite in sedimenti liberi e tutte sono state identicamente orientate lungo l'asse verticale. Sono stati esaminati complessivamente 96 campioni (61 dal foro S1, Tab. 1, e 35 dal foro S3, Tab. 2). I primi campioni erano lunghi circa 20 cm, un dettagliato campionamento del foro S1 è stato misurato dopo ogni 4 cm fino ad 11 cm. In totale sono stati presi sei campioni da 3 livelli di speleotemi dal foro S1 per la datazione Th/U (Tab. 5).

4. ANALISI DELLE CAROTE S1-S3

4.1. Carotaggio S1

La maggior parte delle perforazioni era composta da argilla color ocra e marrone fino ad un rosso marroncino e

argilla fangosa con pezzi di calcare e spelotemi (detrito di falda). I principali limiti litologici sembrano essere collocati a 3.50 m e 7.65 m. La parte superiore (0.00÷3.50 m) era composta da argilla tra il marrone ed il rosso marroncino con pezzi di calcare. La parte di mezzo (3.50÷7.65) era litologicamente più varia con argilla alternata, detriti di falda calcarea, strati di sabbia e di color marrone. La parte inferiore (7.65÷9.94) era piuttosto color ocra e marrone, con strati di sabbia e occasionali pezzi di calcare. Il carotaggio si è fermato a 9.94 m.

4.2. Carotaggio S3

Le sezioni litologiche delle perforazioni erano simili a quelle precedenti. Tuttavia c'era un maggior numero di interpolazioni di calcare (probabilmente blocchi di calcare più grandi) e diversi strati di colate di pietre. Le rocce erano composte maggiormente da argille e argille melmose, nella parte superiore di color marrone, al di sotto dei 2.00 m marrone-rosso (terra rossa ridepositata), al di sotto circa dei 4.00 m, schlieren e interstratificato ocra. Il colore diventava ocra con macchie rosse a 4.65 m. Concrezioni di carbonato si presentavano a 7.00 m. Macchie di composti di manganese sono state riscontrate intorno ai 4.55 m. Importanti limiti litologici possono essere interpretati a 2.00, 4.37 m, e a 4.65 m. Il carotaggio si è fermato a 7.14 m.

5. ANALISI PALEOMAGNETICA

Le analisi di laboratorio erano basate sulla smagnetizzazione progressiva ottenuta dall'alternanza dei campi (AF) o dalla smagnetizzazione termica (TD) per percepire (1) i componenti della polarità magnetica residua nei diversi intervalli e (2) i moduli e le direzioni della magnetizzazione residua.

Campioni furono presi sia dai singoli livelli che dai cubi plastici di 20x20x20 cm. I campioni sono stati orientati solo lungo l'asse verticale. L'orientamento verso il nord magnetico è stato impossibile a causa del sistema rotatorio di trivellazione (sconosciuto l'orientamento originale del carotaggio individuale di segmenti rotanti all'interno del campione carotato). Quindi, sono stati individuati solo i valori di inclinazione (Ip). Quelli riguardanti la declinazione mancano.

Sono stati misurati nel laboratorio con il magnetometro rotante JR-5 (JELINEK, 1996). I campioni sono stati smagnetizzati con i procedimenti AF con Schonstedt GSD-1 e con l'apparecchiatura LDA fino al campo di 100 m in 14 fasi. Un campione è stato smagnetizzato termicamente, attraverso un elevato vuoto magnetico, con l'apparecchiatura MAVACS (Sistema di Controllo Magnetico sotto Vuoto; PRIHODA et alii, 1989).

Il residuo magnetizzato dei campioni al loro stato naturale (NRM) è individuato con il simbolo Jn, il momento corrispondente del residuo magnetico è individuato con il simbolo M. Grafici di valori normali di M/Mmax = F(H,t) sono stati disposti per ciascun campione analizzato.

La suscettività magnetica del volume (kn) è stata misurata con KLY-2 kappa-bridge (JELINEK, 1973).

Applicazioni delle analisi multi-componenti Kirschvink hanno separato i rispettivi componenti di residuo magnetizzato (KIRSCHVINK, 1980). Le Statistiche di

FISHER (1953) furono utilizzate per calcolare le direzioni intermedie dei componenti residui pertinenti derivanti dalle analisi dei multi - componenti.

5.2. Risultati Paleo-magnetici

5.2.1. Carotaggio S1

I parametri magnetici principali sono documentati nella Tabella 1 e nella Figura 2. Le valutazioni dei moduli della magnetizzazione residua originale (J_n) e della suscettività magnetica originale (k_n) mostrano un'estesa distribuzione (cf. valori intermedi Tab. 3). La sezione può essere divisa in due parti ed in due categorie in base ai valori di entrambi i moduli. Nella parte superiore (0,10-7,61 m; 45 campioni), i valori intermedi sono i seguenti: $J_n = 49,323 \pm 27,504$ [mA.m-1]; $k_n = 3081 \pm 1536 \times 10^{-6}$ [SI]. Questo gruppo di campioni è caratterizzato da valori intermedi di J_n e k_n . Nella parte inferiore (7,80 ÷ 9,94 m; 16 campioni), i valori intermedi sono i seguenti: $J_n = 0,464 \pm 0,290$ [mA.m-1]; $k_n = 109 \pm 18 \times 10^{-6}$ [SI]. I campioni di questo gruppo sono caratterizzati da un basso o molto basso valore di J_n e k_n .

Le direttive sulla residua magnetizzazione dedotta dai procedimenti summenzionati furono analizzati usando analisi multi- componenti. L'origine degli A- componenti residui è soprattutto viscosa o chemioresiduo (erosioni) e possono essere rimossi alternando i campi con la forza di 5mT. Polarità originali e invertite (I_p -inclinazione) di campioni è documentata nella Tabella 1 e nella Figura 1.

Interpretazioni magneto-stratigrafiche dei dati mostrano una polarità originale con 4 inversioni di aree magnetizzate. Una grande inversione da 0.51 a 1.89 m (8 campioni) è seguita da due piccole inversioni da 2.40 a 2.55 (3 campioni) e da 2.94 a 3.00 (4 campioni; metri = il centro delle scatole di plastica). Un'altra piccola inversione magnetica si trova vicino alla base del carotaggio da 9.16 a 9.19 m (2 campioni).

5.2.2. Carotaggio S3

I parametri magnetici principali sono documentati nella Tabella 2 e nella Figura 3. Le valutazioni dei moduli della residua magnetizzazione originale (J_n) e della suscettività magnetica originale (k_n) mostrano un'estesa distribuzione (cf. valori intermedi Tab. 4). La sezione può essere divisa in due parti e in due categorie in base ai valori di entrambi i moduli. Nella parte superiore (0.10-4.55 m; 23 campioni), i valori intermedi sono i seguenti: $J_n = 130,271 \pm 72,941$ [mA.m-1]; $k_n = 6553 \pm 2179 \times 10^{-6}$ [SI]. Questo gruppo di campioni è caratterizzato da valori intermedi di J_n e k_n . Nella parte inferiore (4.70 ÷ 7.12 m; 12 campioni), i valori intermedi sono i seguenti: $J_n = 6,703 \pm 4,511$ [mA.m-1]; $k_n = 471 \pm 246 \times 10^{-6}$ [SI]. I campioni di questo gruppo sono caratterizzati da un basso o molto basso valore di J_n e k_n .

Direttive sulla residua magnetizzazione dedotta dai procedimenti summenzionati furono analizzati usando analisi multi- componenti. L'origine degli A- componenti residui è soprattutto viscosa o chemioresiduo (erosioni) e possono essere rimossi alternando i campi con la forza di 5mT. Polarità originali e invertite (I_p -inclinazione) di campioni è documentata nella Tabella 3 e nella Figura 2.

Interpretazioni magneto-stratigrafiche dei dati mostrano

una polarità originale con 2 inversioni di aree magnetizzate. Una grande inversione da 0.90 a 1.50 m (4 campioni) si verifica nella parte superiore della sezione. Un'altra piccola inversione magnetica si è verificata a 4.31 m (1 campione).

6. ANALISI Th/U

6.1. Metodo

Sono stati utilizzati i procedimenti chimici standard per la separazione dell'uranio e del torio dai campioni di carbone (IVANOVICH & HARMON, 1982). Campioni da 35-60 g di calcite compatta senza tracce visibili di mescolanza detritica sono state separate per essere analizzate. Un composto di 228TH-232U è stato utilizzato come rivelatore dell'efficienza dei procedimenti chimici. L'Uranio ed il Torio sono stati separati con il metodo dello scambio ionico utilizzando la resina DOWEX 1x8. Dopo la depurazione finale U e Th sono stati elettro-depositati su dischi d'acciaio. Sono state eseguite le misurazioni delle operazioni utilizzando OCTETE PC prodotto da EG&G ORTEC (α metodo spettrometrico). Analisi spettrale e calcolo dell'età sono stati effettuati usando il software "URANOTHOR 2.5", che è un software standard, usato nei Laboratori Th/U a Varsavia (GORKA&HERCMAN, 2002). Gli errori sono stati calcolati con deviazione standard.

6.2. Risultati

I risultati delle analisi Th/U sono mostrati nella tabella 5. Gli errori sono 1σ . L'alta efficienza (>60%) di procedimenti chimici per la separazione di U e Th sono stati ottenuti per tutti i campioni. Il contenuto di U è abbastanza sufficiente per poter analizzare efficientemente i campioni più giovani (numeri di laboratorio: W 843,842,860 e 861.) Presenze significativamente inferiori di U nei campioni W863 e 844 potrebbero dipendere dalla lisciviazione dell'Uranio o potrebbe indicare una fonte diversa di U in questo strato di colata di pietra. Comunque tutti gli spettri sono senza dubbio, chiari.

La colata di pietra più giovane (campioni W 843- W 842) si è depositata tra circa 280 e 220 ka. Contaminazioni importanti di torio non radiogenico sono visibili nei campioni più vecchi (numeri di laboratorio W 860, 861, 863 e 864). Qualsiasi informazione affidabile riguardante l'età di questi campioni può essere ottenuta solo con il metodo isocronico. Questo metodo ha bisogno di 5-6 analisi da ciascun campione, ciò non è disponibile.

7. DISCUSSIONE

I dati magneto-stratigrafici ottenuti da entrambe le analisi dei fori sondati sembrano essere molto simili: specialmente la disposizione delle zone magnetiche originali e polarmente invertite (Fig. 2 e 3). Tuttavia le caratteristiche dei moduli J_n e K_n differiscono notevolmente, nonostante le caratteristiche generali di entrambe le curve mostrino direzioni apparentemente simili. I valori di J_n e k_n per la parte inferiore delle sezioni (7.80 ÷ 9.94 m per S1 e 4.70 ÷ 7.12 m per S3) differiscono notevolmente: per esempio il valore intermedio di J_n per S1 è 0.464 e k_n è 109 (Tab. 3) e per S3

Jn raggiunge 6.703 e kn è 471 (Tab. 4). Differenze analoghe possono inoltre essere rivelate nelle parti superiori delle descrizioni dei fori (0.10÷7.61 per S1 e 0.10÷4.55 per S3), ad esempio il valore Jn per S1 è circa 49 e kn è 3.018 (Tab. 3), e per S3 Jn raggiunge circa 130 e kn è 6.553 (Tab. 4). Inoltre confronti dettagliati delle curve di Jn e di kn mostrano differenze nelle direzioni.

Il cambiamento dei moduli di Jn e kn corrispondono anche ai livelli maggiori litologici come reazioni di grandi cambiamenti climatici. I limiti sono collocati rispettivamente a 7.65 m nella descrizione S1 e a 4.37/4.65 m nel foro S3. Al di sotto di entrambi i limiti, i valori di kn sono da 20 a 30 volte inferiori e i valori di Jn sono da 20 a 100 volte inferiori di quelli sopra di loro. Sembra, che le parti inferiori di entrambi i carotaggi geofisici rappresentano ridepositi di residui erosi di eocene flysch, mentre le parti superiori contengono proporzioni che aumentano gradualmente il calcare della terra ridepositata che si sviluppa nelle zone calcaree. Un tale cambiamento è dovuto ad un ri-arrangiamento di fonti (bacino idrografico) delle zone dei ruscelli che alimentano il carso e/o in grandi cambiamenti climatici (riscontrati dei valori di suscettività magnetica; cf. SROUBET et alii, 2001). Le differenze nelle proprietà di rocce magnetiche può essere tracciata anche in carotaggi geofisici geo-chimici dei sedimenti (specialmente cambiamenti nei contenuti di Fe, Al, Cr) nell'assemblaggio di minerali pesanti, e nella composizione di porzioni minerali di argilla (rapporti di caolinite, il lite, smentite, clorite, eventualmente anche montmorillonite).

Entrambe le sezioni sono polarizzate normalmente (esempio Fig. 4) con una zona di inversione polare ben documentata (esempio Fig 5) nella parte superiore del carotaggio e 1 e 3 piccole inversioni di escursioni di campi magnetici. Posizioni di inversione di piccola vita differiscono in entrambi i carotaggi geofisici. In S3, mancano due piccole inversioni al di sotto di quella più lunga e la distanza di inversioni corte inferiore a quella principale è più corta del carotaggio geofisico in S1.

Le datazioni con le analisi Th/U hanno prodotto solo due valori affidabili per il foro S1. La parte superiore dello strato di speleotema a 4.60-4.68 m indica un'età intorno ai 226 ka (+40, -29 ka), la parte inferiore era datata intorno a 284 ka (+90, -48ka; tab. 5). Le date indicano che prima di 197 fino a 374 ka lì esisteva una grotta che era coperta da un tetto; solo l'ambiente della grotta permette la creazione di speleotemi e strati di colata di pietra.

Le date Th/U (226 fino a 284 ka), situazione litostratigrafia (i detriti della grotta non combaciano con i detriti della sua parte senza tetto), e recenti ritrovamenti paleontologici nella Grotta Pocala (la grotta ha circa 50 ka anni; G. RABEDER, pers. Comm., 2003) possono indicare una inversione più lunga del campo magnetico nel foro S1, può rappresentare Blake o l'evento del bacino dell'Islanda all'interno del chron Brunhes. L'episodio di Blake è ben datato nel loess Cinese da ZHU et alii (1994) da termoluminescenze fino a 117.1 ± 1.2 a 111.8 ± 1.0 ka BP. Piccole escursioni provenienti dai Siti 983 e 984 (Programma di trivellazione dell'Oceano), conosciuto come bacino dell'Islanda, è datato dal 180 al 190 ka (CHANNEL et alii, 1997). Un'altra breve escursione di polarità accadde nel loess Cinese (ZHU et alii, 1999), ad esempio l'escursione del Lago Mono (27.1 a 26.0 ka BP) e l'escursione di Laschamp (46.3 a 37.4 ka BP). Tuttavia, in base alla posizione della nostra inversione di polarizzazione del campo magnetico,

esse sono più giovani del nostro profilo.

Il foro S3 non può, probabilmente, essere correlato con la situazione del carotaggio geofisico S1. Ci aspettiamo che il carotaggio geofisico copra un altro ciclo climatico ma rispecchiando una situazione paleo-geografica simile e cambiamenti bacino/climatici. La posizione del profilo all'interno della grotta scoperta implica un'età significativamente maggiore dei detriti, rispetto alla Grotta Pocala, come risulta dalle nostre esperienze sulla parte Slovena del Carso Classico (BOSAK et alii, 2003). La mancanza dei dati riguardanti la declinazione rendono impossibile la datazione di entrambi i carotaggi geofisici.

8. CONCLUSIONE

Entrambi i fori sondati dei carotaggi geofisici si differenziano nelle proprietà magnetiche fondamentali, (magnetismo residuo e suscettività magnetica), nel percorso delle curve di suscettività magnetica (come indicatori di condizioni paleoclimatiche) e parte anche nelle litologie. La differenza sostanziale si trova nella area magnetostratigrafica, ad esempio nella disposizione di campi polarizzati normali ed invertiti. Inoltre differiscono anche la posizione di entrambi i carotaggi geofisici. Il sito S3 è situato in una posizione completamente scoperta, senza alcun segno di un tetto originale di materiale calcareo, mentre parte della Grotta Pocala è ancora coperta da un tetto di calcare abbastanza spesso. Tali divergenze possono mostrare, che entrambe le sezioni sedimentarie, nonostante si assomiglino, differiscono effettivamente nell'età, nonostante una simile interpretazione dei cambiamenti delle condizioni paleo-geografiche. Tale avvenimento, d'altro canto, può indicare un'origine di strutture simili di sedimenti correlati che risultano da cicli climatici differenti.

Analisi paleo-magnetiche e datazioni Th/U sul foro S1 dalla parte priva di tetto davanti all'ingresso recente della Grotta Pocala indicano una sequenza di giovani eventi geo-morfologici. Strati di speleotemi sepolti nei detriti con datazione di ca 197 e 374 ka indicano l'esistenza del tetto della grotta in quel periodo. Il tetto doveva essere abbastanza spesso per prevenire il crollo (ad esempio da 3 a 4 m come nel recente ingresso della Grotta Pocala). La privazione del tetto deve essere avvenuta prima del 197 ka. Dopo la privazione del tetto, sedimenti più giovani si depositarono nella Grotta Pocala, stratificandosi in maniera lacunosa, al deposito della parte scoperta della grotta (cf. anche MUHLENDORFER, 1907). Lo scavo del deposito più vecchio della grotta potrebbe rappresentare la conseguenza di (a) un movimento in pendenza di sedimenti verso la ancora sconosciuta parte della grotta e/o (b) un'erosione all'indietro di un ruscello sotterraneo idrologicamente attivo che scavava in profondità nei vecchi detriti. L'erosione dei detriti più vecchi si verificò solo dopo l'episodio Blake (ca 111-117 ka) o l'episodio del bacino dell'Islanda (180-190 ka) ad esempio durante o dopo la Eemian interglaciale, ma prima del deposito di livello ossifero portato, datato intorno al ca 50 ka.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano gli amministratori del Museo Civico di Storia Naturale, Trieste, per aver loro permesso di

studiare e di effettuare la campionatura dei fori sondati. Gli autori desiderano anche ringraziare il Dr. Karl Mais (Naturhistorisches Museum, Vienna, Austria) per aver procurato i contatti. I dati paleomagnetici sono stati realizzati dalla Dr. Daniela Venhodová, i dati sono stati trattati dal Dr. Ota Man e molte immagini sono state completate da Dr. Ota Man e DR. Martin Chadima (Istituto di Geologia AS CR, Laboratorio di Paleomagnetismo, Praga – Pruhonice). Le analisi paleo-magnetiche sono state finanziate dal Museo Civico di Storia Naturale, Trieste, Italia, altri costi sono stati coperti dal Research Plan dell' Istituto di Geologia AS CR n. AV0Z3-013-912 E PROGETTO DEL Grant Agency AS CR n. IAA 3013201.

Sommario

Sono state studiate le sezioni sedimentarie di due fori sondati – S1 (Grotta Pocala) e S3 (grotta priva di tetto a Borgo Grotta del Gigante, provincia di Trieste, Italia; Fig. 1). Il sito della S3 è situato in una posizione completamente scoperta, senza alcuna traccia del soffitto originale di calcare, mentre una parte della Grotta Pocala è ancora coperta da un soffitto di calcare abbastanza spesso. Campioni Paleo-magnetici sono stati sottoposti a smagnetizzazione attraverso l'alternazione di campi (Fig. dalla 2 alla 5; Tabelle dalla 1 alla 4). La correlazione delle disposizioni ottenute dai campi magnetici di polarizzazione normale ed inversa nei fori S1 ed S3 non è proprio chiara, ciò è dovuto alle notevoli differenze trovate nelle proprietà magnetiche fondamentali (magnetismo residuo e suscettività magnetica; Fig. 2 e 3). Inoltre il percorso della suscettività magnetica si piega in entrambi i carotaggi, ed i rilevatori di condizioni paleo-climatiche, differiscono. Entrambi i valori medi paleo-magnetici rispecchiano i limiti litologici maggiori in entrambi i fori sondati, ad esempio il cambiamento litologico del materiale trasportato nelle grotte e/o dei grandi cambiamenti climatici che indicano l'aumento di porzioni di materiale derivante dal carso al di sopra del confine e il flysh derivante dal materiale al di sotto di esso.

Tali differenze possono indicare, che entrambe le sezioni sedimentarie, nonostante si assomiglino, sono di età diverse nonostante una interpretazione simile dei cambiamenti delle condizioni paleo-geografiche. Tale avvenimento, d'altro canto, può indicare un'origine di strutture simili di sedimenti correlati risultanti da cicli climatici differenti. La parte prevalente di entrambe le sezioni è composta da campi magnetici normali con una zona polarizzata invertita ben documentata. Sono state percepite piccole escursioni inverse di campo magnetico al di sotto di entrambe le inversioni. Th/U alfa-spettrometrico indicanti un speleotherm sottile al di sotto della inversione nel foro di sonda S 1 indica un periodo datato intorno al 226 al 284 ka (Tab. 5). Non si può escludere che l'inversione del foro S 1 possa essere collegato con l'episodio di Blake (circa 111-117 ka) o l'evento del bacino dell'Islanda (180-190 ka) all'interno del Brunhes chron. La S3 appare essere molto più vecchia. La data ottenuta attraverso Th/U indica che la perdita della copertura della Grotta Pocala è precedente a 197 a 226 ka.

Strati di speleotemi sepolti nei detriti e datati circa 197 e 374 ka indicano l'esistenza del tetto della grotta in quel periodo. Il tetto doveva essere abbastanza spesso per prevenire il crollo (ad esempio da 3 a 4 m come al recente ingresso della Grotta Pocala). La perdita della copertura deve essere avvenuta prima del 197 ka. Dopo la perdita della copertura, sedimenti più giovani si depositarono nella Grotta Pocala, stratificandosi in maniera lacunosa al deposito della parte scoperta della grotta (cf. anche MUHLDOERFER, 1907). Lo scavo del deposito più vecchio della grotta potrebbe rappresentare la conseguenza di (a) movimento in pendenza di sedimenti verso la ancora sconosciuta parte della grotta e/o (b) un'erosione all'indietro di un ruscello sotterraneo idrologicamente attivo che scavava in profondità nei vecchi detriti. L'erosione di detriti più vecchi si verificò solo dopo l'episodio Blake (ca 111-117 ka) o l'episodio del bacino dell'Islanda (180-190 ka) ad esempio durante o dopo la Eemian interglaciale, ma prima del deposito di livello ossifero portato datato intorno a ca 50 ka.

