

BERTOLANI M., GARUTI G., ROSSI A. (*)
BERTOLANI MARCHETTI D. (**)

MOTIVI DI INTERESSE MINERALOGICO -
PETROGRAFICO NEL COMPLESSO CARSICO GROTTA
GRANDE DEL VENTO - GROTTA DEL FIUME
(GENGA, ANCONA)

RIASSUNTO - Il sistema carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume presenta motivi d'interesse mineralogico-petrografico per il particolare ambiente determinato dalla presenza di acque sulfuree.

Oltre a molti depositi di gesso si sono formati altri solfati, tra cui barite e jarosite, con produzione contemporanea di opale e di un particolare minerale argilloso: l'halloysite. Questi ultimi minerali si sono originati per reazioni e trasformazioni di depositi argillosi molto frequenti nella grotta.

Nel presente lavoro sono stati studiati i minerali caratteristici della cavità e i fattori che li hanno originati, ossia le acque minerali e di percolazione, le argille, i calcari carsificati e quelle particolari formazioni dette « pelli di leopardo ». Per le argille si è cercato di comprenderne la genesi attraverso studi palinologici e diffrattometrici e mediante il confronto con formazioni argillose esterne e coi residui argillosi dei calcari carsificati.

Si è concluso attribuendo la genesi dei minerali a reazioni delle acque sulfuree sia coi calcari, sia con le argille e assegnando a queste ultime un'origine residuale, mentre per le vermicolazioni argillose (pelli di leopardo), ricche in sostanza organica, andrebbe accertata con ulteriori studi la probabile azione di microorganismi.

ABSTRACT - The karst system Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume exhibits peculiar mineralogical and petrographic features related to the presence of sulphur bearing waters.

Gypsum has been produced by reaction between sulphur bearing solutions and limestones; while barite, jarosite and halloysite have been formed by

(*) Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Modena (parte mineralogico-petrografica).

(**) Istituto Botanico dell'Università di Bologna (parte palinologica).

Comitato Scientifico « F. Malavolti » del C.A.I. sez. di Modena; via Caselline 11, 41100/Modena.

reactions involving clay minerals of the deposits, which frequently occur in the cave.

In the present paper the minerals above have been studied in relation to their genetical environment as defined by sulphur bearing waters, percolating waters, clay minerals, and karstic limestones.

The so called «Pelli di leopardo» have been investigated as well the genetical problems related to the clay deposits of the cave have been approached by means of diffractometry, palinology and by comparing these deposits with clay residue of karstic limestones.

In conclusion the genesis of minerals may be related to reactions between sulphur bearing waters, limestones and clays. Clay deposits are residual, while «Pelli di leopardo», rich in organic matter, are probably related to the action of microorganisms.

PREMESSA

In occasione del Congresso Internazionale di Speleologia tenutosi ad Olomouc in Cecoslovacchia nel settembre 1973, sono stati presentati i primi risultati di ricerche mineralogico-petrografiche, effettuate nel complesso carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume (Genga, Ancona) (BERTOLANI, GARUTI, ROSSI 1973).

Successivamente le ricerche sono state estese all'ambiente esterno per apportare un contributo alla soluzione di problemi genetici riguardanti i minerali presenti nella grotta e alla conoscenza della origine e della evoluzione dell'intero sistema carsico.

Sono inoltre stati presi in esame altri fenomeni legati all'ambiente sotterraneo i cui risultati hanno consigliato una nuova stesura più completa, dato anche l'interesse suscitato nell'ambiente speleologico italiano ed internazionale dalle caratteristiche di questo nuovo complesso ipogeo.

CENNI MORFOLOGICI

La topografia e la morfologia della Grotta Grande del Vento sono oggetto di ricerche, in procinto di pubblicazione, da parte degli speleologi marchigiani. Esse in grandi linee sono riportate parzialmente nella pubblicazione effettuata dal Gruppo Speleologico Marchigiano per conto del Consorzio Frasassi (Fig. 1), che utilizza turisticamente la grotta. Ci limitiamo in questa sede a brevi indicazioni desunte da osservazioni dirette, dalla sopra indicata pubblicazione e da una descrizione inedita gentil-

mente inviatoci dal Sig. Pietro Giuseppetti del Gruppo Speleologico Fabrianese.

Il complesso Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume, che si

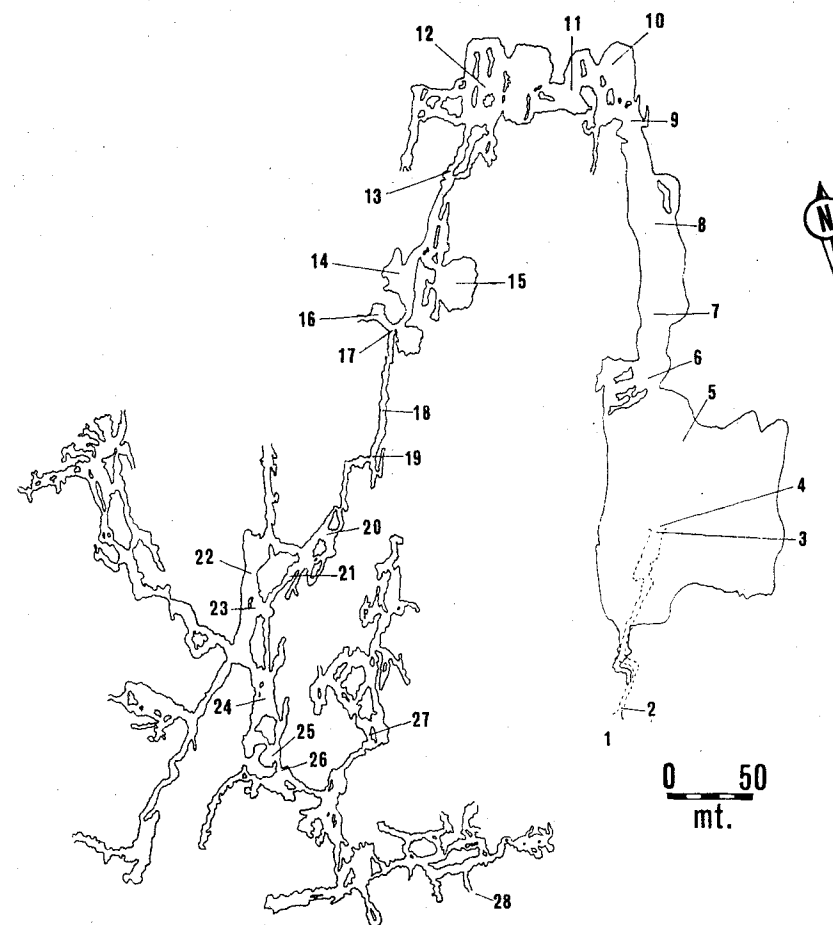


Fig. 1 - Schizzo planimetrico del Complesso Carsico «Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume» (da: Grotte di Frasassi «La Grotta Grande del Vento», Consorzio Frasassi - Genga (AN), pubblicato a cura del Gruppo Speleologico Marchigiano, C.A.I. - Ancona). I numeri indicano i punti di raccolta dei campioni o dei dati meteorologici:

- (1) esterno, presso l'ingresso alto - (2) ingresso alto - (3) orlo Abisso Ancona - (4) fondo Abisso Ancona (arrivo corda di discesa) - (5) fondo Abisso Ancona (il Castello) - (6) passaggio per la Sala 200 - (7) inizio Sala 200 - (8) Sala 200 (l'Obelisco) - (9) Sala delle Candeline - (10) Sala C - (11) Sala dell'Orsa - (12) Sala dei Pagliai - (13) lo Scivolo - (14) Sala Finlandia - (15) Sala Gentile da Fabriano - (16) Sala delle Vaschette - (17) inizio Condotta dei Fabrianesi - (18) Condotta dei Fabrianesi - (19) fine condotta dei Fabrianesi - (20) Lago dello Svizzero - (21) Condotta delle Gemelle - (22) Sala Nera - (23) Sala Rosa - (24) Sala della Luna - (25) Sala della Felicità - (26) Pozzo dei Cristalli - (27) Lago Verde - (28) Cancellone di uscita della Grotta del Fiume.

sviluppa nel calcare massiccio del fianco destro della Gola di Frasassi, rappresenta una delle maggiori scoperte speleologiche degli ultimi anni. Da tempo era nota la Grotta del Fiume (GRUPPO SPELEOLOGICO MARCHIGIANO, 1955; MARCHETTI, 1950;), cavità ad andamento prevalentemente orizzontale che esce a quota di poco superiore a quella del torrente Sentino. Da alcuni componenti del Gruppo Speleologico Marchigiano del CAI di Ancona è stata recentemente (1971) effettuata la maggiore scoperta: quella della Grotta Grande del Vento, raggiunta da una piccola fessura della parete rocciosa soprastante la Grotta del Fiume. La fessura, dopo un breve percorso suborizzontale, dà accesso dall'alto ad una enorme caverna, chiamata Abisso Ancona. La distanza, in verticale, dal cunicolo di accesso al fondo del pozzo è di 110 m. Al fondo dell'Abisso Ancona, si innalzano stalagmiti di 15-20 m di altezza e di circa 10 m di circonferenza basale, specchiantisi in laghetti azzurri incrostati da fiori di calcite. Dall'Abisso Ancona si procede in direzione Sud, attraverso sale molto ornate di purissime concrezioni. L'andamento è suborizzontale e sul fondo si aprono pozzi, spesso terminanti con laghetti.

La prima sala dopo l'Abisso Ancona è la Sala 200, seguita dalla Sala delle Candeline e dalla Sala C. A questo punto il ramo principale devia verso Est, attraversa la Sala dell'Orsa e raggiunge la Sala dei Pagliai, dove riprende l'andamento Nord-Sud, invertendo però la direzione, ossia dirigendosi verso Nord.

Dalla Sala C, risalendo un ripido piano inclinato, si accede agli Scrigni, un insieme di cavità eccezionalmente ornate e soprastanti il ramo principale. Dalla Sala dei Pagliai, seguendo il ramo principale attraverso un piano inclinato denominato lo Scivolo, si raggiungono la Sala Gentile da Fabriano e la Sala Finlandia, dove attualmente termina l'itinerario turistico.

A raccordare il sistema è stata la scoperta, effettuata dal Gruppo Speleologico Fabrianese, del collegamento tra la Grotta del Fiume e la Grotta Grande del Vento, a cui è stato dato il nome di Condotta dei Fabrianesi. È di fatto una condotta forzata, poco ornata, sub-orizzontale, che porta ad un laghetto sotterraneo alla base di un pozzo, detto Lago dello Svizzero.

Attraverso una strettoia verticale, seguendo la Condotta delle Gemelle, si accede alla Sala Nera, alla Sala Rosa e successivamente alla Sala della Luna e alla Sala della Felicità ricca di Pelli di leopardo. Una strettoia allargata artificialmente permette di penetrare, attraverso un avanpozzo,

nel Pozzo dei Cristalli, che rappresenta l'inizio della parte nota da più tempo della Grotta del Fiume.

Poco più avanti, un ramo laterale, diretto verso Nord-Est consente di raggiungere il Lago Verde, in cui ristagna acqua sulfurea. Procedendo nel ramo principale si arriva alla vecchia uscita sul torrente Sentino.

Morfologicamente si osservano cavità tipo fusoidi, spesso fortemente ampliate nelle parti alte da azioni di crollo, come l'Abisso Ancona. Si hanno anche segni di acque correnti, e livelli a quote diverse di acque pressoché stagnanti. In alcuni casi si hanno condotte forzate.

La fase incrostante è molto sviluppata e tuttora attiva, specialmente nei livelli superiori dove è avvenuta ad opera di essa l'impermeabilizzazione dei suoli e, frequentemente, la ricementazione di fratture della roccia.

Le acque sulfuree, che escono nel torrente Sentino in vicinanza della Grotta del Fiume, s'incontrano solo nei livelli bassi dove scorrono incanalate a guisa di torrente, oppure ristagnano nei pozzi. Nei livelli alti sono presenti solo acque di percolazione sottoforma di stillicidi talvolta assai nutriti. Tuttavia sono frequenti i segni di passaggio di acque mineralizzate, fin dall'Abisso Ancona, sotto forma di depositi di gesso.

I sedimenti clastici in grotta sono solo di tipo pelitico; iniziano dall'Abisso Ancona e aumentano con lo svilupparsi della grotta, raggiungendo la massima quantità nei livelli intermedi, ad esempio tra la Sala C e l'inizio della Condotta dei Fabrianesi. In nessun punto sono stati osservati depositi ciottolosi.

LE ROCCE CARSIIFICATE

L'intero sistema si sviluppa quasi completamente nel calcare massiccio, generalmente attribuito al Lias ma che taluni ritengono del Trias Superiore. La roccia si presenta in banchi potenti a stratificazione talvolta manifesta, talvolta mal riconoscibile. Generalmente gli strati sono poco inclinati, tuttavia, all'altezza della Sala C, un disturbo tettonico porta la stratificazione alla verticalità, come si può osservare, corrispondentemente all'esterno, sui due lati della Gola di Frasassi (CERETTI, 1957; CRISTIANI et al.; 1976)

Esame microscopico

Al microscopio la roccia è riconducibile ad un calcare microcristallino fossilifero, che presenta molte variazioni strutturali passando a calcare oolitico con cemento calcitico limpido a grandi cristalli (Foto 1 di Tav.

IV). Si notano anche fasi di fratturazione e ricementazione e alternanze di concrezioni e livelli di roccia brecciata. Vene calcitiche secondarie indicano una modesta tettonizzazione più recente. Non si riscontrano altri minerali oltre la calcite, se non ossidi di ferro e sostanza argillosa.

La microfauna è costituita, secondo indicazioni della Dott.ssa M. P. Mantovani dell'Istituto di Geologia dell'Università degli Studi di Modena, da: Solenopore, Vulvulinidi, Textularidi, tracce di Ostracodi e di Echinidi.

Residuo insolubile

È stata effettuata una ricerca sulle impurità contenute nel calcare, attaccandolo a freddo con HCl al 10%. Le impurezze ammontano a quantità variabili da 0,08 a 0,78%, come figura nella Tabella 1.

TABELLA 1

Campione	Residuo gr. %	I	Mn	K	Q	Fs	Ca	D
N. 2	0,18	dd	—	—	f	f	—	—
N. 7	0,08	dd	—	—	ff	ff	—	dd
N. 8	0,78	f	—	—	f	f	—	dd
N. 9 b	0,18	f	—	—	f	f	—	—
N. 9 r	0,40	f	—	dd	f	f	—	dd
N. 10	0,40	dd	—	—	f	f	—	—
N. 24	0,67	d	—	—	f	ff	—	—
N. 30	0,16	dd	—	—	ff	d	—	dd

I : illite; Mn : montmorillonite; K : caolinite; Q : quarzo;
Fs : feldspato; Ca : calcite; D : dolomite.

Valutazione quantitativa: ff : moltissima; f : molta; d : poca;
dd : pochissima; — : assente.

L'analisi diffrattometrica dei residui ha rivelato la presenza di quarzo, feldspato e mica interpretabile in prevalenza come illite.

Solo in qualche caso si è identificata la dolomite; probabile ma non del tutto confermata la presenza di caolinite.

L'analisi termica differenziale ha messo in evidenza la presenza di

sostanza organica mediante l'accertamento di un massimo esotermico a 330 °C (MACKENZIE, 1957)

Nei calcari, con analisi spettrografica qualitativa, si sono posti in evidenza come elementi in tracce: Mg, Si, Fe e Sr.

La purezza della roccia, costituita nella quasi totalità da carbonato di calcio, e la struttura frequentemente oolitica, con la parte detritica cementata da calcite ialina, facilmente attaccabile da acque aggressive, fanno considerare il calcare massiccio di Frasassi come una roccia particolarmente e rapidamente carsificabile.

I DEPOSITI ARGILLOSI INTERNI

Sono stati raccolti ed esaminati sette campioni:

Campione N. 12 - argilla bianco-grigia (fondo Abisso Ancona)

Campione N. 16 - argilla giallina (inizio Sala 200)

Campione N. 21 - argilla grigio-verdognola (Sala C)

Campione N. 27 - argilla grigio-verdognola (sotto lo Scivolo)

Campione N. 29 - argilla grigio-verdognola con patina bruna (inizio Condotta dei Fabrianesi)

Campione N. 31 - argilla nocciola (sotto il pozzetto della Sala Nera)

Campione N. 32 - argilla nocciola chiaro variegato in giallo e rosso (Sala Nera).

Esame diffrattometrico

Queste argille sono state sottoposte ad analisi diffrattometrica, integrata da determinazioni quantitative di montmorillonite con il metodo delle basi di scambio, di calcite con il metodo gas-volumetrico e di barite per via chimica. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 2. Da essa si osserva che le argille N. 21, N. 27 e N. 29, tutte di colore verdognolo, contengono sempre barite; la N. 21 e la N. 29 sono fortemente montmorillonitiche, mentre la N. 27 non lo è.

Il Campione N. 12 è prevalentemente illitico, così come le argille N. 16, N. 31 e N. 32, in queste ultime vi è anche una sensibile quantità di montmorillonite. L'argilla N. 32, con variegature rosse e gialle, contiene jarosite e ossidi di ferro. La calcite è estremamente variabile e passa da 1.6% a 40.8%.

TABELLA 2

Campione	I	Mn	K	Q	Fs	Ca	Ba	J
N. 12	f	—	d	ff	—	14,2%	—	—
N. 16	f	14%	—	f	—	34,2%	—	—
N. 21	f	47%	—	f	—	1,6%	1,7%	—
N. 27	f	—	—	ff	—	3,6%	2,0%	—
N. 29	f	33%	—	ff	—	2,0%	f	—
N. 31	f	19%	d	f	d	40,8%	—	—
N. 32	f	17%	—	ff	d	4,5%	—	f

I : illite; Mn : montmorillonite; K : caolinite; Q : quarzo;

Fs : feldspato; Ca : calcite; Ba : barite; J : jarosite.

Valutazione quantitativa: ff : moltissima; f : molta; d : poca; — : assente.

TABELLA 3

Campione	N. 21	N. 27	Halloysite	Jarosite
SiO ₂	49,67	48,28	31,01	n.d.
TiO ₂	1,34	1,35	0,14	1,15
Al ₂ O ₃	18,47	18,09	32,28	2,93
Fe ₂ O ₃ (tot)	5,10	3,96	0,33	33,69
FeO	n.d.	n.d.	n.d.	0,73
MnO	tr.	tr.	tr.	tr.
CaO	1,82	3,58	1,26	0,57
MgO	2,02	1,53	tr.	0,30
Na ₂ O	0,11	0,22	0,06	0,30
K ₂ O	2,78	2,52	0,03	6,20
SrO	0,10	0,18	tr.	0,09
BaO	1,15	1,35	0,07	tr.
P ₂ O ₅	0,05	0,11	n.d.	n.d.
SO ₃	1,17	1,20	0,30	2,36
CO ₂	0,70	1,64	n.b.	n.d.
H ₂ O+	7,81	8,49	13,12	33,26
H ₂ O-	6,55	6,46	15,07	0,30
Rem. (+)	—	—	—	17,13

Rem. (+) : Residuo insolubile, prevalentemente quarzo.

Le argille N. 21 e N. 27 sono state sottoposte anche ad analisi chimica quantitativa completa; i dati ottenuti sono riportati nella Tabella 3. In queste analisi è da rilevare la tendenza potassica del materiale, che è da porre in relazione con l'illite, e la presenza di Sr accanto a Ba.

Esame palinologico

I Campioni N. 12, N. 16, N. 21 sono stati esaminati dal punto di vista palinologico.

Le determinazioni degli sporomorfi sono state eseguite secondo i testi classici (ERDTMAN 1943, 1952, 1957, 1965; ERDTMAN, BERGLUND e PRAGLOWSKY 1961 e 1963; POKROWSKAIA 1958; MACKO 1957).

Per la preparazione dei materiali si è ricorso ai soliti trattamenti con HF a freddo ed NaOH 10% a caldo. In qualche caso di particolare scarsità di granuli si è proceduto alla separazione gravimetrica dei pollini con liquidi pesanti (miscela di bromoformio e acetone).

Risultati:

Campione N. 12 - sterile di qualunque sporomorfo.

Campione N. 16 - sterile di pollini attuali o recenti. Qualche probabile traccia di spore corrose, non riconoscibili, provenienti da rocce più antiche.

Campione N. 21 - qualche rarissimo granulo molto ben conservato, probabilmente attuale: *Ulmus*, *Alnus*, *Pteridium aquilinum*, qualche graminacea non coltivata, un granulo rotto ma riconoscibile di Malvacea; inoltre un brandello di tessuto parenchimatico. Attribuibili a complessi pollinici antichi sono sporomorfi lisci aggruppati in numero da 2 a 5-6 abbastanza numerosi, due granuli tipo *Chenopodiaceae*, qualche altro corroso e non identificabile e una teleutospora. È presente anche un foraminifero.

LE CARATTERISTICHE DELLE ACQUE INTERNE

Attualmente abbiamo la presenza di acque sulfuree defluenti nella parte basale del complesso carsico. Queste acque sono raggiungibili sia dalla Grotta del Fiume che dalla Grotta Bella, che rappresenta un ramo dello stesso sistema, anche se con comunicazioni non transitabili. L'uscita

TABELLA 4

Bottiglia	1	2	3	4	5	6	
Fe ⁺⁺⁺	ass.	ass.	ass.	ass.	ass.	ass.	
Ca ⁺⁺	0,0474	0,0528	0,0368	0,0417	0,0538	0,0459	
Mg ⁺⁺	0,0065	0,0247	0,0056	0,0051	0,0172	0,0062	
Na ⁺	0,0060	0,0061	0,0036	0,0028	0,0035	0,0034	
K ⁺	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0002	
Sr ⁺⁺	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	
Ba ⁺⁺	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	
SO ₄ ⁻⁻	0,0039	0,0033	0,0073	0,0048	0,0034	0,0079	
Cl ⁻⁻	0,0015	0,0016	0,0014	0,0012	0,0014	0,0015	
CO ₃ ⁻⁻	0,0867	0,1406	0,0688	0,0748	0,1227	0,0838	
Residuo fisso:	a 100°	0,1810	0,2400	0,1355	0,1400	0,2307	0,1635
	a 180°	0,1795	0,2380	0,1340	0,1385	0,2292	0,1612
Durezza	8,12	13,16	6,44	7,00	11,48	7,84	
pH	7,85	7,71	7,79	7,75	7,77	7,80	
Conducibilità	0,00028	0,00035	0,00022	0,00024	0,00036	0,00025	

Grandezze espresse in gr./l., °d e Ohm⁻¹ cm⁻¹ rispettivamente.

all'esterno di queste acque è nota da tempo e controllabile lungo l'alveo del torrente Sentino. Si hanno elementi per ritenere che le acque sulfuree scorressero un tempo a quote superiori a partire dall'Abisso Ancona. Invece non è possibile avere dati sulla prima genesi di tali acque sulfuree che sono state raggiunte anche a maggiore profondità, in zone vicine, mediante trivellazioni. Oltre alle acque sulfuree esistono in tutta la cavità acque di percolazione che formano stillicidi, talvolta nutriti, e ristagnano in laghetti impermeabilizzati da concrezioni calcaree.

Sono stati presi in esame i due tipi di acque.

Le acque sulfuree sono state campionate in un lago ipogeo (Lago Verde) assai prossimo all'uscita della grotta e ad una delle risorgenti sul torrente Sentino (Fig. 1).

Le acque di percolazione provengono dalle seguenti posizioni:

Bottiglia 1 - laghetto con cristalli di calcite alla base dell'Abisso Ancona

Bottiglia 2 - acqua di stillicidio dell'Abisso Ancona

Bottiglia 3 - laghetto lungo la Sala 200

Bottiglia 4 - laghetto sopra la Sala C, verso gli Scrigni

Bottiglia 5 - acqua di stillicidio allo scivolo

Bottiglia 6 - vaschetta presso la Sala della Felicità.

Sono state effettuate le seguenti determinazioni: durezza, pH, residuo fisso a 100 °C e 180 °C, concentrazione degli ioni presenti, conducibilità, temperatura. I dati ottenuti sono riportati nelle Tabelle 4, 5, 6 e 7.

TABELLA 5

Campione	Lago Verde	Risorgente	
Fe ⁺⁺⁺	ass.	ass.	
Al ⁺⁺⁺	tr.	tr.	
Mn ⁺⁺	tr.	tr.	
Ca ⁺⁺	0,1056	0,0955	
Mg ⁺⁺	0,0157	0,0296	
Na ⁺	0,2812	0,2189	
K ⁺	0,0066	0,0056	
Sr ⁺⁺	0,0025	0,0021	
Ba ⁺⁺	0,0004	0,0004	
Li ⁺	ass.	tr.	
Cu ⁺⁺	ass.	tr.	
SO ₄ ⁻⁻	0,1314	0,1079	
Cl ⁻	0,4377	0,3131	
CO ₃ ⁺⁺	0,1971	0,2168	
H ₂ S	n.d.	0,0187	
Residuo fisso	a 100°	1,1100	0,9935
	a 180°	1,0860	0,9705
Durezza (°d)	18,44	20,28	
pH	7,44	6,85	
Conducibilità	0,00162	0,00147	

Grandezze espresse in gr./l., °d e Ohm⁻¹ cm⁻¹ rispettivamente.

TABELLA 6

Campione	N. 35	N. 36	N. 37
SiO ₂	52,70	24,00	16,16
TiO ₂	0,85	ass.	ass.
Al ₂ O ₃	11,61	22,36	3,26
Fe ₂ O ₃	6,11	1,59	3,10
FeO	0,90	0,93	n.d.
MnO	0,36	0,85	1,13
CaO	6,21	5,40	6,66
MgO	1,94	0,66	0,77
Na ₂ O	0,08	tr.	0,23
K ₂ O	3,66	0,76	1,03
P ₂ O ₅	0,19	0,31	0,16
SO ₃	0,23	0,31	5,54
CO ₂	4,56	3,72	3,07
sostanza organica	0,25	0,95	10,95
H ₂ O ⁺	7,60	18,48	37,10
H ₂ O ⁻	2,70	17,60	11,26

Dal loro esame si riscontrano le profonde differenze tra le acque di stillicidio e quelle sulfuree, a parte la temperatura che risulta stabilizzata sugli stessi valori, denotando un raggiunto equilibrio con la temperatura dell'ambiente sotterraneo. L'elemento di maggior distinzione tra i due tipi di acque è la carica totale di sali espressa dal residuo fisso, che presenta valori intorno a 1 gr/l in quelle sulfuree e valori variabili tra 0.13 e 0.23 gr/l in quelle di stillicidio. Nelle acque sulfuree destano interesse, oltre la concentrazione di H₂S disciolto, la presenza di Ba⁺⁺, Sr⁺⁺, Li⁺⁺ in tracce e di Cu⁺, inoltre l'alto contenuto di Cl⁻ e quello non trascurabile di SO₄⁻⁻.

Può avere significato anche per la genesi l'assenza del Fe⁺⁺⁺.

Le acque di stillicidio sono caratterizzate dalla prevalenza degli ioni Ca⁺⁺ e CO₃⁻⁻. Esistono però quantità minime di Cl⁻ e SO₄⁻⁻ che lascierebbero pensare ad un arricchimento per dilavamento di depositi di solfati e cloruri in grotta.

TABELLA 7

Campione	I	K	Q	Fs	Ca	G
N. 35	dd	dd	ff	d	f	dd
N. 36	ass.	ass.	ff	d	f	dd
N. 37	ass.	ass.	ff	d	f	f

I = illite; K = caolinite; Q = quarzo; Fs = feldspato; Ca = calcite; G = gesso.
Valutazione quantitativa : ff = moltissima; f = molta; d = poca;
dd = pochissima; ass. = assente.

L'unione dei due tipi di acque avviene attualmente solo al livello di base del sistema carsico. È però da ricordare che in passato il livello di base si trovava a quote più elevate ed ha subito progressivi abbassamenti fino a quello attuale, in stretto rapporto con il graduale approfondimento del piano di scorrimento del torrente Sentino.

I MINERALI DELL'AMBIENTE SOTTERRANEO

La Grotta Grande del Vento e la Grotta del Fiume rappresentano, nel campo mineralogico, un ambiente diverso da quello delle normali grotte. La presenza di acque sulfuree ha consentito la genesi di solfati, che altrimenti non avrebbero la possibilità di formazione, quando le soluzioni circolanti sono solamente di acque bicarbonate.

Nell'intero complesso carsico sono eccezionalmente sviluppate, tanto da impartire alla cavità straordinari caratteri di bellezza, le tradizionali concrezioni derivate da acque bicarbonate, di una notevole purezza. In più si hanno mineralizzazioni prevalentemente a solfati, che sono da ritenere almeno in parte legate a reazioni dell'idrogeno solforato con ioni contenuti sia nei calcari sia nei sedimenti argillosi. Questi minerali si possono dividere in due categorie: 1) quelli in grandi ammassi di riempimento, costituiti esclusivamente da gesso; 2) quelli molto più rari, sporadici e sempre in scarsa quantità, costituiti da barite, jarosite, halloysite, opale e ossidi di ferro, legati come giacitura alle argille.

Il Gesso (CaSO₄ 2H₂O) - Questo minerale è presente in tutti i livelli della grotta, a partire dall'Abisso Ancona fino al livello di base. Strutturalmente il gesso è di due tipi: uno microcristallino ad aspetto pulverulento, generalmente bianco, l'altro macrocristallino.

I campioni di gesso sottoposti ad esame mineralogico sono i seguenti:

Campione N. 6 - gesso pulverulento alla base dell'Abisso Ancona.

Campione N. 14 - gesso pulverulento e macrocristallino grigio a contatto (zona di passaggio tra l'Abisso Ancona e la Sala 200).

Campione N. 15 - gesso macrocristallino grigio (stessa zona del Campione N. 14).

Campione N. 19 - gesso di grossi cristalli a contatto con gesso pulverulento (Sala C).

Campione N. 28 - gesso pulverulento e superficie calcarea a contatto (Sala C).

Campione N. 33 - gesso pulverulento (Strettoia tra la Sala della Felicità e il pozzo dei Cristalli).

Campione N. 34 - gesso con aspetto di latte di monte (stessa zona del Campione N. 33).

Campione N. 34bis - gesso con aspetto di latte di monte ed in laghetti (Grotta Bella).

— Il Campione N. 6 è di aspetto pulverulento, di colore bianco con solo qualche sfumatura nocciola. L'esame diffrattometrico ha posto in evidenza la notevole purezza del materiale ed una intensità delle interferenze corrispondente a quella indicata in letteratura per il minerale, ossia l'ordine decrescente di intensità è il seguente: 7,55 Å, 4,27 Å, 3,05 Å, 3,77 Å (Fig. 2) (BRINDLEY, 1951).

— Il Campione n. 14 è costituito superiormente da gesso microcristallino ed inferiormente da gesso macrocristallino in individui aciculari, la cui lunghezza aumenta gradatamente col progredire della distanza dal piano di contatto, fino ad arrivare a 2 cm. La differenza di aspetto dei due tipi potrebbe dipendere dalla ricristallizzazione avvenuta sotto un livello idrico o in presenza di forte umidità, che ha generato i cristalli più grandi della parte inferiore. Tale ipotesi è avvalorata dalla esistenza di solchi di erosione idrica sulle pareti della galleria, allo stesso livello della separazione dei due tipi di gesso.

— Il Campione n. 15 rappresenta la parte inferiore del Campione N. 14 ed è completamente formato da gesso in macrocristalli, molto spesso costituiti da geminati a coda di rondine. L'esame diffrattometrico ha mostrato interferenze nella stessa posizione di quelle degli altri campioni, ma con rapporti di intensità notevolmente diversi: ciò è dovuto con tutta probabilità all'isorientazione delle laminette di sfaldatura, che persistono anche dopo prolungata macinazione.

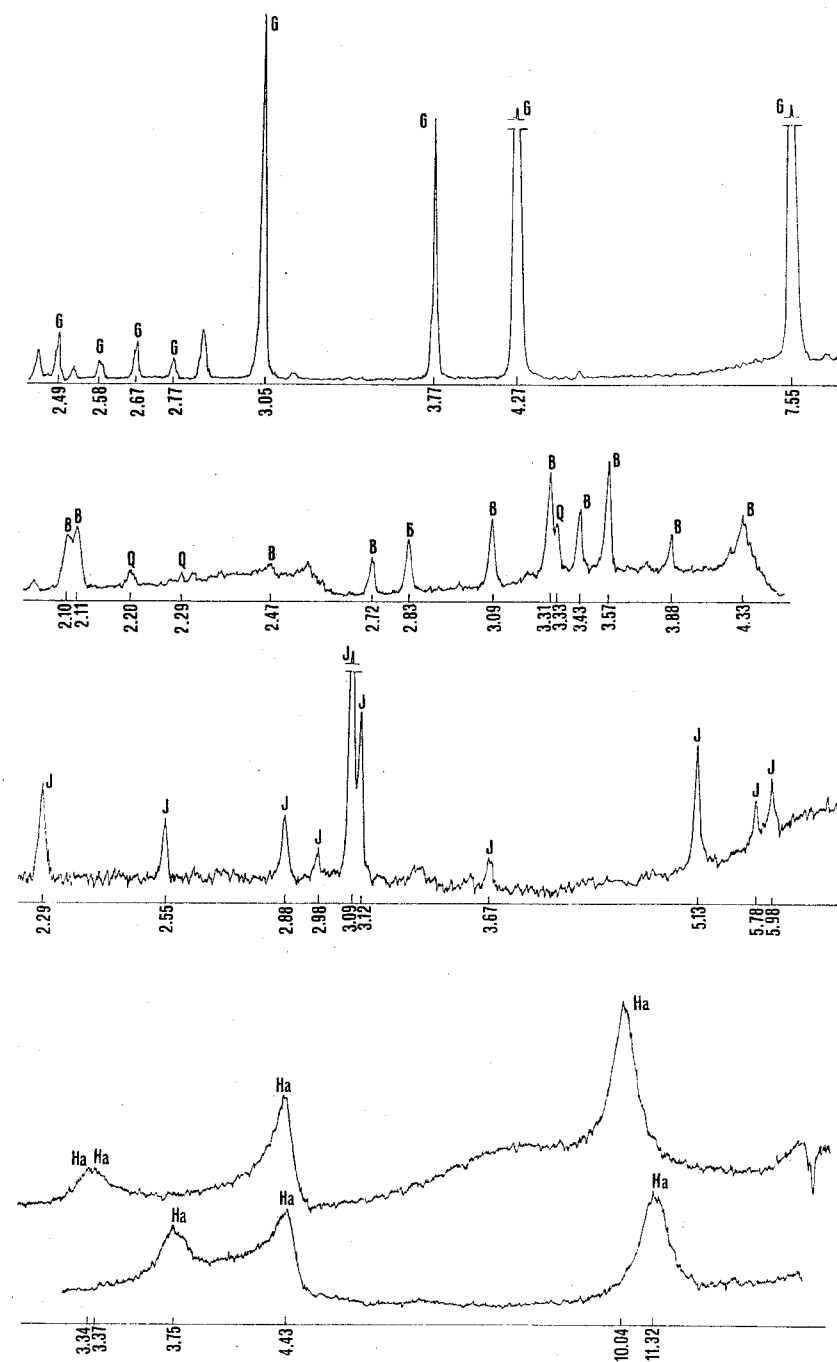


Fig. 2 - Diffrattometrie dei minerali selezionati:

(dall'alto al basso) G - gesso (Campione N. 6) B - barite (Campione N. 21), Q - quarzo (Campione N. 21), J - jarosite (Campione N. 32), Ha - halloysite glicerinata e naturale (Campione N. 21).
Sulle ascisse sono indicati i valori in Å

— Il Campione N. 19 è costituito prevalentemente da gesso in grandi cristalli allungati di colore bruniccio e dalle dimensioni di 3-4 cm. Inferiormente la struttura è granulare, la grana più minuta, fino a passare a gesso microcristallino, che forma la base del giacimento. Si ha in definitiva il fenomeno inverso a quello osservato nel campione N. 14. Sulla parte macrocristallina è stata eseguita una sezione sottile. L'esame microscopico ha mostrato una grana variabile, un aspetto fibroso e la presenza di qualche impurità rappresentata da patine brune (probabilmente limonitiche) e da aggregati semiopachi di tipo argilloso. Non sono presenti anidrite, calcite o dolomite (Foto 2 di Tav. IV).

— Il Campione n. 28 è un gesso con aspetto di latte di monte; esso generalmente riempie delle fossette molto marcate della roccia. Questa associazione fa pensare ad una sostituzione del calcare da parte del gesso, con lo stesso processo che è tuttora in atto nei livelli più bassi della Grotta Bella (Campione N. 34bis).

— Il Campione n. 33 è costituito da una massa microcristallina che in superficie passa a cristallizzazioni mammellonari dello spessore di qualche millimetro.

— Il Campione N. 34 è una massa biancastra pulverulenta derivata dall'essiccamento di latte di monte.

— Il Campione n. 34bis è molto interessante perché fa parte di una cristallizzazione in atto, dovuta all'azione dell'acido solfidrico sul calcare. In un cunicolo laterale della Grotta Bella si ha l'accesso al corso d'acqua sulfurea mediante un pozzetto di circa 10 m. Dall'acqua si sprigiona H_2S che provoca sulle pareti del pozzetto la formazione di latte di monte bianchissimo e assai molle. Sulla superficie del latte di monte si vanno formando cristalli di gesso allungati che raggiungono le dimensioni di oltre 2 cm e sono talvolta ricoperti da una patina bruna. Il fenomeno si arresta sull'orlo del pozzetto. Il latte di monte esaminato al diffrattometro ha mostrato le tipiche interferenze del gesso con il normale rapporto di intensità tra le interferenze maggiori. Si è potuto così vedere che uno dei modi di formazione del gesso nella grotta è dato dall'azione del gas acido, proveniente dall'acqua sulfurea, sulla roccia calcarea. Il primo prodotto di formazione è un latte di monte del tutto simile nell'aspetto a quello costituito da calcite o aragonite. Quasi contemporaneamente si ha una ricristallizzazione che porta alla formazione dei macrocristalli, normalmente ad abito allungato secondo [001].

Questa genesi riteniamo non sia sicuramente applicabile a tutti i de-

positi di gesso della cavità, soprattutto per la notevole potenza di alcuni di essi che avrebbe ostacolato la reazione diretta acido solfidrico/calcare. In questo caso è più probabile una deposizione di gesso per soprassaturazione e ristagno delle acque sulfuree che, come si può osservare dalle analisi chimiche della tabella 5, contengono ioni SO_4^{--} e ioni Ca^{++} ; in quantità sensibili.

La Barite ($BaSO_4$) - Il principale giacimento di questo minerale è localizzato in un riempimento di interstrato nella Sala C, dove la stratificazione si presenta verticale. Si tratta di noduli più o meno lenticolari di colore verdino o verde azzurrino associati ad halloysite. Il minerale è stato identificato per via diffrattometrica (Fig. 2). Con lo stesso mezzo lo si è riconosciuto non solo nell'argilla inglobante, fortemente montmorillonitica (Tabella II, Campione N. 21), ma anche in altre argille della grotta, come nel Campione N. 27, illitico, raccolto all'uscita della Sala C, e nel Campione N. 29, montmorillonitico, prelevato all'inizio della Condotta dei Fabrianesi. In Tabella 2 figura anche il dosaggio del minerale effettuato sui Campioni N. 21 e N. 27.

La Jarosite ($KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$) - Un altro minerale abbastanza frequente è la jarosite che si presenta in chiazze e piccoli ammassi di colore arancio con variegature gialle e rosse nelle argille di riempimento. Le condizioni di giacitura sono quindi diverse da quelle della barite. Anche l'identificazione della jarosite è stata eseguita per via diffrattometrica. L'esame è stato eseguito inizialmente sull'argilla mineralizzata e successivamente sul minerale selezionato (Fig. 2).

Il campione esaminato è il N. 32 e proviene dalle vicinanze della Sala Nera. I dati diffrattometrici dell'argilla mineralizzata sono riportati in Tabella 2, dove si può osservare che l'argilla inglobante è di tipo montmorillonitico-illitico. La curva DTA del minerale raccolto nella Grotta Grande del Vento è assai caratteristica (Fig. 3). Dopo una leggera perdita d'ac-

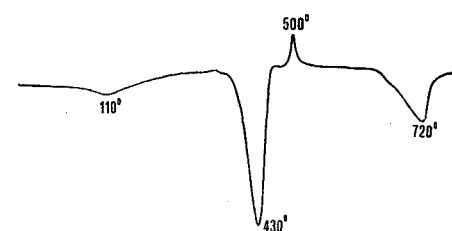


Fig. 3 - Curva D.T.A. della Jarosite (minerale selezionato - Campione N. 32).

qua intorno ai 100°C si ha un forte minimo endotermico a 410°-430°C dovuto alla formazione del sale $K_2SO_4Fe_2(SO_4)_3$ cui segue un netto massimo a 480°C dovuto alla cristallizzazione di Fe_2O_3 . A 700°-720°C si ha un ultimo minimo espanso in corrispondenza della decomposizione di $Fe_2(SO_4)_3$. (MACKENZIE, 1957).

Associati alla jarosite vi sono anche degli Ossidi di Ferro idrati, colloidali, che non sono stati messi in evidenza dalla metodologia roentgenografica. Il minerale selezionato ma certamente impuro di ossidi di ferro è stato anche portato in soluzione con acido cloridrico e analizzato per via chimica. I risultati sono in Tabella 3 dove figurano come residuo insolubile le impurità.

La Halloysite ($Al_4(OH)_8Si_4O_{10}(H_2O)_4$) - Questo minerale è stato identificato associato alla barite e in qualche caso a sé stante. Si presenta come materiale argilloso bianco-bianco azzurro, molto plastico. L'individuazione per via diffrattometrica è possibile effettuando determinazioni sul minerale trattato con glicerina. In tal caso la interferenza a 10.04 Å, nel campione naturale, si sposta a 11.32 Å nel campione trattato, come indicato nella Fig. 2 (ALIETTI, 1959). L'analisi chimica della halloysite, effettuata su di un campione della Sala C è riportata nella Tabella 3. Si tratta di halloysite impura di piccole quantità di barite e gesso come dimostra il leggero contenuto in solfati.

L'Opale ($SiO_2 \cdot nH_2O$) - Associato a barite e halloysite nelle mineralizzazioni della Sala C vi è anche l'opale, che si presenta in piccoli noduli e concrezioni biancastre traslucide. L'identificazione è avvenuta per via microscopica.

La presenza di questa serie di minerali, spesso associati, sembra legata ad un particolare ambiente determinato dal passaggio attraverso la cavità di acque sulfuree. Sia jarosite che halloysite sono indicati come prodotti di ambiente acido (Millot, 1964; Caillère & Hénin, 1963).

Anche la barite è stata citata come prodotto di ricristallizzazione in cavità naturali e vecchie miniere dilavate da acque particolari (Perna, 1973). L'opale è un tipico prodotto derivante dalla demolizione dei silicati. Nel nostro caso le trasformazioni avvengono nelle argille con produzione di halloysite ed opale. Le argille compiono anche la funzione di trappola per i solfati, gesso a parte, che si combinano per reazione di ioni in parte liberati dalle argille stesse, in parte contenuti nelle acque sulfuree. Queste mineralizzazioni presentano indubbe analogie con prodotti

di attività idrotermale già segnalati in altre cavità ed in special modo nel carsismo della Sardegna (Perna, 1973). Non vi sono elementi per poter giudicare se le acque sulfuree, ora a temperatura ambiente, possano aver subito nel tempo una diminuzione di temperatura; in altre parole se il complesso carsico era attraversato in epoche più o meno remote da acque termali. Gli effetti, ossia le mineralizzazioni, non sono di tale entità da convalidare questa ipotesi e si inquadrano perfettamente in un ambiente mi-nerogenetico acido e di bassa temperatura (GARRELS, 1953).

LE PELLI DI LEOPARDO

Le pelli di leopardo dette anche vermiculazioni argillose sono particolarmente abbondanti in tutto il complesso ed in modo speciale nella Grotta del Fiume e nella Grotta Bella. Per questo si è ritenuto opportuno fornire dati chimico-mineralogici su di esse in occasione del presente studio. Questo fenomeno è stato ampiamente trattato, anche se non si è arrivati ad una precisa indicazione sulla loro genesi.

Gli studi più recenti sono quelli di PERNA e POZZI (1959), proprio sui depositi vermiculari della Grotta del Fiume e della Grotta Bella, corredati da ottime illustrazioni; quelli di PARENZAN (1961, 1963), dove l'autore propone una classificazione di diversi tipi di macule e di vermiculazioni; più recentemente lo studio di ANELLI e GRANITI (1967) sulle vermiculazioni argillose delle Grotte di Castellana, in cui viene messa in rilievo una azione microbiologica ad esse associata. Altri studi sull'argomento sono quelli di CHOPPY (1955), MONTORIOL (1962), PERNA (1961), POUMIER e GARNIER (1955), RENAULT (1953, 1959) e WARWICK (1959).

I campioni da noi studiati hanno la seguente provenienza:

Campione N. 35 - vermiculazioni rosso-bruno nella Sala della Felicità.

Campione N. 36 - vermiculazioni ocra e giallo-citrino nella sala principale della Grotta Bella.

Campione N. 37 - vermiculazioni di colore nero e bruno-scuro sulle pareti del pozzetto in comunicazione col torrente sulfureo della Grotta Bella.

Le vermiculazioni ricoprono con una fitta rete le pareti e le volte della cavità, non si sono osservate microfrazioni in corrispondenza di esse e non seguono particolari sporgenze o creste.

Sui tre campioni sono state eseguite analisi diffrattometriche, curve

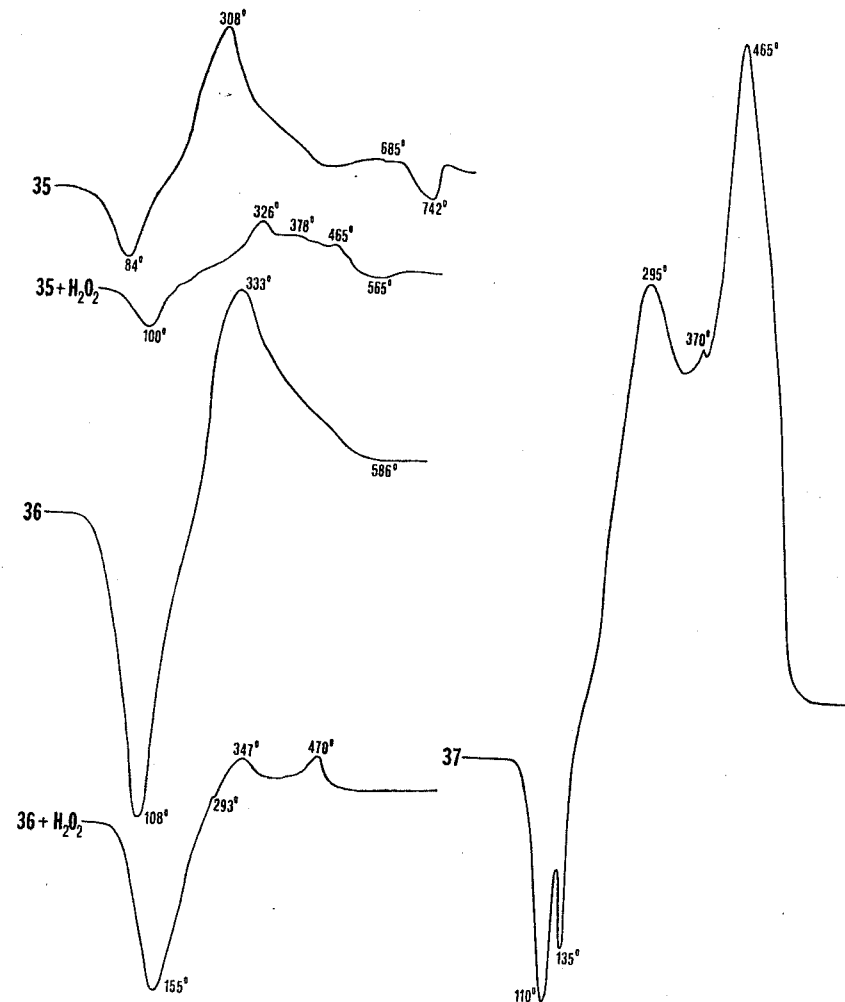


Fig. 4 - Curve D.T.A. delle « Pelli di Leopardo »
 35, 36, 37 - curve ottenute da campioni naturali
 35+H₂O₂, 36+H₂O₂ - curve ottenute da campioni prolungatamente trattati con H₂O₂.
 Notare in questi ultimi la scomparsa dei picchi esotermici a 308° e a 333° (evidenti nei campioni naturali) dovuta alla distruzione della sostanza organica in essi presente.

termodifferenziali e analisi chimiche. I risultati sono riportati in Tabella 6 e 7 ed in Fig. 4. Dall'esame parallelo dei dati diffrattometrici e chimici si ricava che il Campione N. 35 è in parte argilloso. Lo spettro a raggi X mostra, anche se poco pronunciate, le interferenze dell'illite e della caoli-

nite, che giustificano la sensibile percentuale di Al₂O₃ e K₂O dell'analisi chimica. Molto evidente è la presenza del quarzo unitamente a quella della calcite che dall'analisi risulta intorno al 10%. È da notare inoltre la sensibile percentuale di MnO. I solfati sono presenti in piccole quantità. Il Campione N. 36 è nettamente diverso sia dal punto di vista chimico che mineralogico. La forte percentuale di Al₂O₃ non è giustificata nella diffrattometria dalla presenza di minerali argillosi, per cui è da considerare la esistenza di minerali colloidali sotto forma di idrossidi o silicati di Alluminio. Il Campione N. 37 si trova in un ambiente particolare: sulla volta di un pozzetto dal quale risale acido solfidrico sprigionato dall'acqua sulfurea circolante al fondo. In questo campione non compaiono minerali argillosi e la percentuale di allumina presente è così bassa da far pensare alla loro totale mancanza o a quantità inferiori alla sensibilità del metodo diffrattometrico. Scarsa è anche la silice, verosimilmente tutta sotto forma di quarzo, per la presenza di interferenze molto nette nella diffrattometria.

La presenza del gesso, rivelata dalle specifiche interferenze e dall'alta percentuale di SO₃, indica l'influenza dell'ambiente ricco di idrogeno solforato. Media è la quantità di calcite, mentre particolarmente abbondanti sono sostanza organica e MnO. La curva DTA del Campione N. 35 (Fig. 4) presenta un minimo di 84°C attribuibile a perdita di H₂O e un massimo di 308°C riferibile alla presenza di sostanza organica o di idrossidi di ferro colloidali (MACKENZIE, 1957).

L'analisi termodifferenziale ripetuta su materiale trattato con H₂O₂, in modo da eliminare la sostanza organica, ha posto in evidenza un forte abbassamento del massimo a 308°C, col mantenimento però di un massimo, assai più ridotto, a 326°C, attribuibile a idrossidi di ferro. La curva DTA del Campione N. 36 ha un minimo a 108°C e un massimo a 333°C. Ripetuti trattamenti con H₂O₂ hanno portato alla progressiva diminuzione di tale picco, fino a totale scomparsa, con persistenza di due massimi a 347°C e 470°C, attribuibili rispettivamente a idrossidi di ferro e a solfuri e/o sostanza carboniosa (MACKENZIE, 1957). Il Campione N. 37 presenta, nella sua curva DTA, la tipica perdita d'acqua del gesso con due minimi vicini a 110°C e 135°C. La sostanza organica è rappresentata da un massimo di 295°C, gli idrossidi di ferro da un piccolo massimo a 465°C (MACKENZIE, 1957).

Tale curva conferma l'influenza esercitata sul campione dall'idrogeno solforato proveniente dalle sottostanti acque sulfuree.

LE CONDIZIONI CLIMATICHE ATTUALI DEL COMPLESSO CARSICO

Contemporaneamente alle campionature eseguite nel complesso carsico, sono stati rilevati dati metereologici in diverse posizioni ed in diverse stagioni. Sono state misurate la temperatura dell'aria e l'umidità relativa mediante psicrometro UM 6600 (Ditta SIAP), la temperatura dell'acqua con termometro al 0,2 °C, il pH con pHmetro AC-70 portatile (Ditta CIOLFI). I dati sono riportati in Tabella 8.

IL PROBLEMA DELL'ORIGINE DEI DEPOSITI ARGILLOSI INTERNI

L'abbondanza dei depositi argillosi interni e la loro importanza nella genesi di alcuni minerali caratteristici ci ha indotto ad eseguire una serie specifica di ricerche aventi lo scopo di chiarire due ipotesi: a) origine residuale dei depositi argillosi per dissoluzione dei calcari carsificati; b) inghiottimento di materiali pelitici esterni o per apporto di corsi d'acqua o per lenta percolazione da interstrati argillosi esistenti nelle rocce di copertura. A questo scopo è stata effettuata una campionatura esterna nel bacino del torrente Sentino delle rocce di tipo argilloso e marnoso.

Le rocce argillose esterne

Come si può osservare dalla carta geologica ufficiale (Foglio Gubbio N. 116, Foglio Jesi N. 117) e in parte da uno studio del Cerretti (1957) nella valle si hanno:

Scaglia rosata (Cenomaniano-Luteziano)

Scaglia cinerea (Priaboniano-Cattiano)

Marne o Schlier (Elveziano)

Nella parte alta del ramo orientale del torrente Sentino affiorano marginalmente anche gessi e argille marnose messiniane.

Le campionature sono state eseguite nelle seguenti località:

Scaglia rosata presso Genga (Campione S. 4)

Scaglia cinerea a Colle Giglioni (Campione S. 7)

Marne elvezie tra Sassoferrato e Arcevia (Campione S. 1)

Marne elvezie tra Sassoferrato e Gaville (Campione S. 3)

Inoltre sulla verticale della Grotta del Vento, nella Cava Fioroni, so-

TABELLA 8

Località	Data	Ora	T° aria	umidità relativa	T° acqua	pH
Esterno	21-10-1972	22h	11°	78%		
Esterno	18- 3-1973	10h	2.8°	70%		
Ingresso alto	21-10-1972	22h	13°	84%		
Ingresso alto	18- 3-1973	10h	12°	92%		
Orlo Abisso Ancona	21-10-1972	23h 30'	13°	84%		
Orlo Abisso Ancona	18. 3-1973	11h 40'	12.4°	98%		
Fondo Abisso Ancona						
— arrivo corda	21-10-1972	24h 50'	13,2°	98%	12.8°	7.71
— il Castello	22-10-1972	1h	13.1°	100%	12.8°	7.85
— il Castello	30- 6-1973		13°	100%	12.8°	7.80
Passaggio alla Sala 200	22-10-1972	1h 15'	13°	100%		
Inizio Sala 200	22-10-1972	3h	13.2°	98%		
L'Obelisco	22-10-1972	3h 35'	12.8°	100%	12.7°	7.89
Sala C	22-10-1972	4h 20'	12.8°	98%		
Laghetto sopra la Sala C	22-10-1972	4h 40'	12.7°	98%	12.6°	7.75
Gli Scrigni	22-10-1972	4h 50'	12.7°	98%		
Sala delle Vaschette	22-10-1972	5h 45'	13°	98%		
Inizio della Condotta dei Fabrianesi	22-10-1972	6h 55'	13.2°	100%		
Condotta dei Fabrianesi	22-10-1972		13.2°	98%		
Condotta dei Fabrianesi	30- 6-1973		13.2°	98%	12.6°	
Lago dello Svizzero	30- 6-1973	6h 55'	13.2°	98%	12.8°	7.90
Sala Nera	22-10-1972	8h 30'	13.5°	95%		
Sala della Felicità	22-10-1972	9h 10'	13°	98%	12.6°	7.80
Sala della Felicità	30- 6-1973		13.5°	96%	12.2°	7.80
Orlo Pozzo dei Cristalli	30- 6-1973		13°	98%		
Fondo Pozzo dei Cristalli	22-10-1972	9h 25'	11.8°	98%		
Lago Verde	22-10-1972	9h 35'	11.9°	100%	12.9°	7.74
Cancello d'uscita	22-10-1972	9h 45'	8.3°	95%		
Risorgente sulfurea	31- 1-1973	18h 45'	2.9°		11.9°	6.85

no stati raccolti interstrati argillosi tra i calcari con noduli di pirite, della così detta pietra Carniola (Campione S. 6).

Si sono seguite due vie per affrontare il problema di eventuali analogie tra argille esterne ed interne: una mineralogica e l'altra palinologica.

L'indagine mineralogica è stata effettuata analizzando ai raggi X i campioni naturali e trattati con acido debole per la decarbonatizzazione; si sono ottenuti così i seguenti risultati (Tabella 9):

— Campione S. 1. Nel materiale naturale ha grande prevalenza la calcite, più scarsa è la dolomite mentre assai sensibile è il quarzo. Tra i minerali argillosi si hanno le deboli interferenze della montmorillonite e dell'illite. Nel materiale trattato con HCl debole prevale il quarzo, mentre molto debole è il feldspato. Tra i minerali argillosi compaiono l'illite, la montmorillonite, la clorite e la caolinite. Tra questi prevale l'illite mentre clorite e caolinite sono in scarsissime quantità.

— Campione S. 3. Nel materiale naturale vi è assoluta prevalenza della calcite con tracce di dolomite. Il quarzo è in proporzioni simili al campione precedente. Tra i minerali argillosi prevale la montmorillonite, mentre compare poco evidente l'interferenza a 4.50 Å dell'illite. Nel materiale decarbonatizzato il quarzo diviene prevalente e compare il feldspato. Tra i minerali argillosi si ha la prevalenza di montmorillonite probabilmente interlaminata con illite sicuramente presente attraverso le sue interferenze caratteristiche a 10.39 Å, 4.50 Å e 2.57 Å. A differenza del campione precedente non compaiono qui caolinite e clorite.

— Campione S. 7. Nel materiale naturale predomina sempre la calcite, accompagnata da poco quarzo, pochissima dolomite e scarso feldspato. Tra i minerali argillosi sono in evidenza solo montmorillonite ed illite. Dopo il trattamento acido, il quarzo diviene dominante associato a feldspato in maggior evidenza. Tra i minerali argillosi rimangono visibili solo montmorillonite e illite, probabilmente interlaminare.

— Campione S. 6. Nel campione naturale è sempre abbondante la calcite seguita da quarzo, mentre assai più scarsi sono feldspato e dolomite. Generalmente più abbondanti sono i minerali argillosi con la prevalenza dell'illite su montmorillonite, clorite e caolinite. Il materiale trattato, a parte la scomparsa dei carbonati, ripropone la stessa sequenza mineralogica.

— Campione S. 4. Nel materiale naturale predomina come sempre la calcite accompagnata da poca dolomite, in rapporto analogo a quello

degli altri campioni. Rapporto simile vi è anche tra calcite e quarzo, mentre i minerali argillosi come montmorillonite ed illite sono appena avvertibili. Nel materiale trattato predomina il quarzo mentre compare un po' di feldspato e i minerali argillosi risultano evidenziati.

L'esame palinologico è stato condotto sui campioni esterni S. 4, S. 7, S. 3; inoltre è sembrato opportuno prendere in esame il Campione S. 6 costituito da argille di interstrato. I risultati ottenuti sono riportati di seguito:

— Campione S. 4. Si è constatato un contenuto in sporomorfi scarso ma caratterizzante e in accordo con l'età attribuita ai sedimenti. Si tratta di granuli classificabili in generale col metodo formale (cioè secondo la loro forma e senza riferimenti sistematici certi) e per i quali si può solo qualche volta stabilire affinità con entità attuali. I reperti sono attribuibili a *Tsugapollenites*, alcuni trisaccati al tipo *Dacrydium*; più frequenti spore di felci tipo *Marattiasporites* o *Schyzaceae*; un solo granulo affine alle *Cyperaceae*, alcuni indeterminati.

— Campione S. 7. In questa Scaglia cinerea la relativa abbondanza dei granuli ha permesso di evidenziare la composizione percentuale dello spettro pollinico:

Pinus	4,8%
Conifere saccate varie	54,9%
Abies	3,2%
Cedrus	6,4%
Taxodiaceae	1,6%
Carya	3,2%
cf. Euforbiaceae	9,7%
Loganiaceae	1,6%
Hamamelidaceae	1,6%
Filicales	1,6%
varie	11,4%
	100,0%

Sono presenti inoltre cisti di Dinoflagellati (*Hystrichosphaeridia*) nella misura del 3,2% rispetto a cento granuli. Questo denota un ambiente di sedimentazione marino o salmastro. L'abbondanza di pollini di conifere

muniti di sacche (circa il 70% di *Pinus*, *Abies*, *Cedrus* e altre indeterminate) facilmente portate dal vento, denota una provenienza abbastanza lontana dell'apporto pollinico.

I caratteri floristici che delineano un bosco terziario ambientato in un clima relativamente fresco (69,3% di piante non termofile), sono in armonia con l'età eocenico-oligocenica del sedimento.

— Campione S. 3. Il Campione di marne esaminato ha rivelato una presenza abbondante di pollini e spore. Lo spettro pollinico calcolato è il seguente:

Pinus	2,4%
Taxodiaceae	4,8%
Quercus	2,4%
Carpinus	2,4%
Fraxinus	7,1%
Eucommia	4,8%
Juglandaceae	2,4%
cf. Oleaceae	35,5%
Cistaceae	2,4%
Tricolpati non determinati	11,9%
Umbelliferae	2,4%
Artemisia	11,9%
Graminacee	4,8%
Filicales	2,4%
varie	2,4%
	100,0%

Si ha qui l'immagine di un bosco terziario ben caratterizzato, termofilo (le non termofile non sono qui da considerare), ricco di specie la cui lista ha molti punti di contatto con quelle di sedimenti miocenici e pliocenici studiati per altri giacimenti italiani (BERTOLANI MARCHETTI 1962, 1972 a, 1972 b; BERTOLANI MARCHETTI e DEL CHICCA 1969).

— Campione S. 6. In questo interstrato argilloso si hanno due gruppi distinti di reperti. In uno è contenuto un complesso di sporomorfi tutti classificabili col metodo formale e in concordanza con l'età della roccia madre (Giura-Lias). Si sono notati granuli disaccati di conifere

non determinabili, alcuni tipo *Tsugaepollenites*, altri tipo *Cedrus* e *Osmunda*. L'altro gruppo, in minoranza, comprende granuli manifestamente recenti tra i quali si è identificato il Leccio (*Quercus ilex*) e l'Ontano (*Alnus* sp.) ed è in relazione con la vegetazione attuale del luogo. L'entità numerica di questo complesso è molto modesta e sta a quella dell'altro gruppo nella proporzione di 1 : 7. Questo induce a formulare l'ipotesi di un apporto di pollini provenienti da un suolo forestale, che si è forse aggiunto agli interstrati argillosi per percolazione al di sotto del suolo stesso, più che per una erosione e trasporto di esso.

CONSIDERAZIONI

Si può osservare dal confronto dei dati difrattometrici (Tabelle 1 e 2) che la composizione mineralogica del residuo dei calcari carsificati e delle argille di deposito interno è analogo solo per alcuni campioni (N. 27, N. 12). Invece la composizione mineralogica delle parti argillose esterne e delle argille di deposito interno (Tabelle 9 e 2) trova analogie in

TABELLA 9

Campione	Ca	D	Q	Fs	I	K	Mn	Cl
S. 1 : materiale naturale	ff	d	f	—	d	—	d	—
materiale trattato con HCl 10%	—	—	ff	dd	d	dd	d	dd
S. 3 : materiale naturale	ff	dd	f	—	dd	—	d	—
materiale trattato con HCl 10%	—	—	ff	d	d	—	d	—
S. 4 : materiale naturale	ff	d	f	—	dd	—	dd	—
materiale trattato con HCl 10%	—	—	ff	dd	d	—	dd	—
S. 6 : materiale naturale	ff	d	f	d	d	dd	dd	dd
materiale trattato con HCl 10%	—	—	ff	d	f	d	d	d
S. 7 : materiale naturale	ff	dd	f	dd	d	—	d	—
materiale trattato con HCl 10%	—	—	ff	d	d	—	d	—

Ca : calcite; D : dolomite; Q : quarzo; Fs : feldspato; I : illite; K : caolinite; Mn : montmorillonite; Cl : clorite.

Valutazione quantitativa: ff : moltissima; f : molta; d : poca; dd : pochissima; — : assente.

cinque campioni, più che altro per la presenza di montmorillonite. Tale confronto è però falsato dalla indubbia elaborazione subita dalle argille interne, che presentano non solo elevatissime percentuali di montmorillonite ma anche tracce considerevoli di barite e jarosite. Le argille residuali dei calcari, d'altra parte, possono aver subito modificazioni durante l'attacco acido, cosa che però non si riscontra nei campioni esterni, dove i minerali argillosi trovati nei campioni naturali, molto ricchi in carbonati, si ripetono nei residui dopo il trattamento acido.

Più significativo è il confronto delle analisi palinologiche. I Campioni S. 4, S. 7 e S. 3 hanno ciascuno una flora pollinica coeva alla sedimentazione, senza apporto di sedimenti di altra età. Nel Campione S. 6 si ha una componente antica, quasi certamente dell'età della roccia madre e una componente attuale-subattuale in netta minoranza. I risultati ottenuti dai sedimenti interni alla grotta permettono di concludere che i Campioni N. 12 e N. 16 non hanno avuto alcun apporto esterno. Le tracce di sporomorfi corrosi del N. 16 sono di origine residuale, di età forse mesozoica e comunque assai scarse. Il Campione N. 21 contiene un evidente apporto esterno di pollini di età più o meno recente. Il contingente di granuli « antichi » presenti non comprende elementi facenti parte della flora pollinica dei sedimenti esterni analizzati. Dal confronto dei risultati ottenuti appare quindi assai probabile una genesi dei sedimenti argillosi interni da residuo di dissoluzione dei calcari con un modesto apporto per percolazione attraverso le fessurazioni dei calcari di copertura. Non si hanno elementi per verificare un eventuale apporto di materiale pelitico in sospensione da parte delle acque sulfuree, che invece hanno chiaramente agito sui giacimenti argillosi già esistenti modificandone la composizione e rendendone così più difficile l'interpretazione della provenienza. Tuttavia le acque sulfuree non possono aver distrutto il materiale pollinico eventualmente presente nelle argille in quanto i pollini sono estremamente resistenti anche agli acidi forti.

RISULTATI

I dati ottenuti dalla presente ricerca, completati dalle osservazioni effettuate in grotta, possono portare un contributo alla soluzione di alcuni problemi specifici del complesso carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume.

— La roccia carsificata, in parte oolitica, in parte compatta e note-

volmente pura, si presta ad una dissoluzione irregolare e rapida, essendo costituita normalmente di due parti: una detritica e organogena di calcare compatto, l'altra cementante di calcite cristallina molto pura. Il processo di carsificazione deve avere avuto il suo fattore principale nelle acque di percolazione, ma vi è stato anche il contributo delle acque sulfuree, che corrono attualmente raccolte in un corso d'acqua alla base del sistema. Così si sono presentate in passato a livelli superiori, come testimoniano forme erosive, osservabili poco sotto l'Abisso Ancona, costituite da lame sporgenti, diaframmi sottili e talvolta perforati. Inoltre l'acqua sulfurea ha agito direttamente sul calcare con emanazione di idrogeno solforato, che ha innescato processi di gessificazione. È da escludere però che tutti i depositi di gesso esistenti nella grotta abbiano tale origine. La maggior parte di essi si modella su cavità preesistenti e appare non di reazione metasomatica ma di riempimento.

— L'esame dei depositi di gesso, compreso quello in via di formazione nella Grotta Bella, indica che il solfato di calcio si deposita con aspetto pulverulento e consistenza molle e gelatinosa (Latte di monte). Il gesso macrocristallino si forma per ricristallizzazione, o alla base dei depositi per azione di acque circolanti e lento deflusso o forse anche solo per alto grado di umidità, oppure sulla superficie esposta dei depositi microcristallini per azione di acque percolanti che originano stillicidio.

— Le acque sulfuree (PERNA, 1974) hanno agito non solo sul calcare, come sta accadendo attualmente nella Grotta Bella, ma anche sulle argille di riempimento formando minerali caratteristici di ambiente acido come la halloysite, la jarosite e l'opale. Più dubbia la genesi della barite che però ha stretti rapporti di giacitura con l'halloysite. Anche se i minerali sopraindicati possono avere genesi idrotermale non è da pensare che le acque sulfuree debbano avere avuto in passato una certa termalità, essendo sufficiente l'ambiente acido per la formazione della sequenza mineralogica riscontrata in grotta.

— Le acque che interessano la grotta sono di due tipi nettamente diversi: uno di percolazione e stillicidio a bassa carica di sali e pH superiore a 7, l'altro rappresentato dall'acqua sulfurea che attualmente scorre incanalata alla base del sistema, ad alta carica di sali e pH inferiore a 7. Le acque sulfuree sono particolarmente ricche di cloruro di sodio e solfato di calcio, oltre naturalmente all'acido solfidrico sotto forma di gas disciolto.

— Il clima dell'intero sistema è notevolmente uniforme. La temperatura nelle zone sufficientemente lontane dai due accessi principali, superiore ed inferiore, variano da 12.7 °C a 13.5 °C.

Praticamente non si avvertono differenze stagionali. Misure effettuate in marzo, giugno e ottobre ripetono nella stessa stazione gli stessi dati. Non vi è stratificazione termica. I livelli leggermente più freddi sono quelli intermedi, mentre la parte superiore e quella inferiore presentano dati uguali sui 13 °C o di pochissimo inferiori a tale valore. La zona di scambio più ampia si trova all'ingresso inferiore della Grotta del Fiume: la temperatura esterna influenza quella interna fino alla base del Pozzo dei Cristalli. All'ingresso superiore la temperatura esterna modifica quella interna fino all'orlo dell'Abisso Ancona, solo se vi è forte gradiente termico. L'acqua di percolazione ha temperature variabili da 12.2 °C a 12.8 °C, non risente di variazioni stagionali ed è in complesso leggermente inferiore a quella ambiente. L'acqua sulfurea alla risorgente ha temperatura di 11.9 °C, più bassa della media dell'acqua di percolazione, però è possibile che abbia subito una variazione nel tratto finale della cavità. L'umidità relativa raggiunge solo in alcune posizioni il 100%. Normalmente ha valori vicini alla saturazione ma non li raggiunge. Nell'insieme il complesso carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume non è tra le grotte a più alta umidità.

— Le formazioni vermiculari dette « pelli di leopardo », che caratterizzano specialmente i livelli più bassi della grotta, appaiono assai diverse tra loro per quanto riguarda la composizione chimico-mineralogica. Sono generalmente molto ricche di sostanza organica per cui è consigliabile un proseguimento delle ricerche con indirizzo biologico per accertare la presenza di microorganismi che potrebbero essere determinanti nella loro formazione. Si è notato anche che le vermicolazioni argillose possono essere influenzate dal particolare ambiente ricco di zolfo, determinato dalla presenza di acque sulfuree. Infatti è sempre presente, e talvolta particolarmente abbondante, il solfato di calcio. L'arricchimento in MnO, che in un campione raggiunge il valore di 1.13% può essere spiegato o per un adsorbimento da parte del materiale argilloso di soluzioni manganesifere in circolo o per azione di microorganismi.

— I depositi alluvionali esistenti in tutta la cavità sono unicamente di natura argillosa. Si sono formulate due ipotesi sulla provenienza di questi sedimenti: 1) da materiale esterno derivante da rocce aventi almeno una parte argillosa nella loro composizione; 2) da accumulo di argille residuali derivate dalla dissoluzione dei calcari. Si è cercato di risolvere il problema operando nel modo seguente: a) esame della composizione mineralogica delle argille di deposito interno; b) esame della composizione mineralogica dei residui dei calcari carsificati; c) esame mine-

ralogico delle rocce in parte argillose del bacino imbrifero e dei loro residui dopo decarbonatizzazione; d) analisi pollinica delle argille di deposito interno; e) analisi pollinica delle rocce in parte argillose del bacino imbrifero.

I risultati, resi più complessi da trasformazioni delle argille interne da parte delle acque sulfuree, escluderebbero la venuta di materiale argilloso fluitato dal bacino per mezzo di corsi d'acqua. L'origine residuale dei sedimenti interni sarebbe da ritenere la più probabile, specialmente per la quasi completa assenza di materiale pollinico, senza escludere un modesto apporto per percolazione dalle rocce di copertura e dal terreno organico ad esse soprastante. Questa conclusione unitamente alla mancanza in tutta la grotta di sedimenti grossolani, tipo sabbia o ghiaia, farebbero escludere la partecipazione diretta del torrente Sentino alla genesi del complesso carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume.

RINGRAZIAMENTI

Desideriamo porgere i nostri ringraziamenti a:

— Dott. GIUSEPPE GAMBELLI del Gruppo Speleologico Marchigiano del CAI sez. di Ancona ed al Geom. ANDREA BOCCHINI del Gruppo Speleologico del CAI sez. di Jesi, per la collaborazione nelle ricerche in grotta.

— Dott. EZIO GAVIOLI del Laboratorio Provinciale di Igiene e Profilassi ed al Dott. GILBERTO COPPI dell'Istituto di Chimica Farmaceutica dell'Università di Modena per la collaborazione nella analisi delle acque.

— Sig. PIETRO GIUSEPPE del Gruppo Speleologico Fabrianese per le utili indicazioni di carattere morfologico e bibliografico.

— CONSORZIO DI FRASASSI per l'appoggio e l'incoraggiamento ricevuto durante la stesura del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

- ALIETTI A., 1959 - *Argilla halloysitica delle farine fossili di Cerro del Tasca (Monte Amiata)*. Atti Mem. Acc. Naz. Scienze, Lettere e Arti di Modena, s. IV, vol. 1°.
- ANELLI F., GRANTI A., 1967 - *Aspetti microbiologici nella genesi delle vermicolazioni argillose delle Grotte di Castellana (Murge di Bari)*. Le Grotte d'Italia, Serie IV, Vol. I, Castellana - Grotte (Bari).

- BERTOLANI MARCHETTI D., 1962 - *Prime ricerche paleobotaniche sulla formazione gessosa bolognese*. Atti Soc. Nat. Mat. Modena, vol. 93, pp. 4, 2pp. Modena.
- BERTOLANI MARCHETTI D., 1972a - *Dati Paleobotanici*. In «*La Grotta Michele Gortani (31 E/Bo) a Gessi di Zola Predosa (Bologna)*». Rass. Spel. It., Mem. X, Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna e Simposio Studi sulla Grotta del Farneto, pp. 235-237, Bologna.
- BERTOLANI MARCHETTI D., 1972b - *Flora pollinica terziaria negli interstrati marnosi della formazione gessosa bolognese*. Rass. Spel. It., Mem. X, Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna e Simposio Studi sulla Grotta del Farneto, pp. 186-189, Bologna.
- BERTOLANI MARCHETTI D., DEL CHICCA M. G., 1969 - *Palynological researches about sediments in Messinian «Formazione Gessoso-solfifera», in Emilia and Sicily*. Giorn. Bot. It., pp. 336-337, Firenze.
- BERTOLANI M., GARUTI G., ROSSI A., 1973 - *The Speleologic Complex «Grotta Grande del Vento-Grotta del Fiume», in the Frasassi Canyon (Ancona, ITALY). A Petrological and Mineralogical study*. Proceeding of the 6th Inter. Congress of Speleology, Olomouc, Cecoslovacchia.
- BRINDLEY G. W., 1951 - *X-Ray identification and cristal structures of clay minerals*. Min. Soc., London.
- CAILLERE S., HEUIN S., 1963 - *Minéralogie des Argiles*. Masson et C.ie, Paris.
- CERETTI E., 1957 - *Studio geologico del medio bacino dell'Esino*. Giornale di Geologia, vol. 27, pp. 1-15, Bologna.
- CHOPPY J., 1955 - *Vermiculures d'argile sur une coulée stalagmitique*. Bull. Comm. Nat. Spél., V, n. 3.
- CRISTIANI R., GAMBELLI G., MOSCARDI F., 1976 - *Grotta Grande del Vento. Costruzione seconda galleria. Relazione geologica per il Comune di Genga (Ancona)*.
- ERDTMAN G., 1943 - *An Introduction to Pollen Analysis*. Chronica Botanica, vol. 12, pp. 239, New York.
- ERDTMAN G., 1952 - *Pollen and Spore Morphology. Plant Taxonomy. I° Angiospermae*. New York.
- ERDTMAN G., 1957 - *Pollen and Spore Morphology. Plant Taxonomy. II° Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta*. Uppsala.
- ERDTMAN G., 1965 - *Pollen and Spore Morphology. Plant Taxonomy. III° Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta*. Uppsala.
- ERDTMAN G., BERGLUND B., PRAGLOWSKY J., 1961 and 1963 - *An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora*. vol. I° and II°. Uppsala.
- GALVAGNI A., PERNA G., 1953 - *Contributo alla morfologia dei prodotti argilloso-sabbiosi di riempimento delle caverne. Osservazioni fatte nelle grotte della Valsugana (Trentino)*. Rass. Spel. It., V, fasc. II°.
- GARRELS R. M., 1953 - *Mineral species as functions of pH and oxidation-reduction potentials*. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 5, pp. 153-168.
- GIUSEPPETTI P., - *La gola di Frasassi e le sue grotte (inedito)*, p.g.c..
- GRUPPO SPELEOLOGICO MARCHIGIANO, 1955 - *Caverne naturali elencate nel catasto del G.S.M. al 1 ottobre 1955*. Atti VII Congr. Naz. Spel., pp. 140-142, Sardegna.
- GRUPPO SPELEOLOGICO MARCHIGIANO: *Grotte di Frasassi: «La Grotta Grande del Vento»*. Consorzio Frasassi - Genga (Ancona).

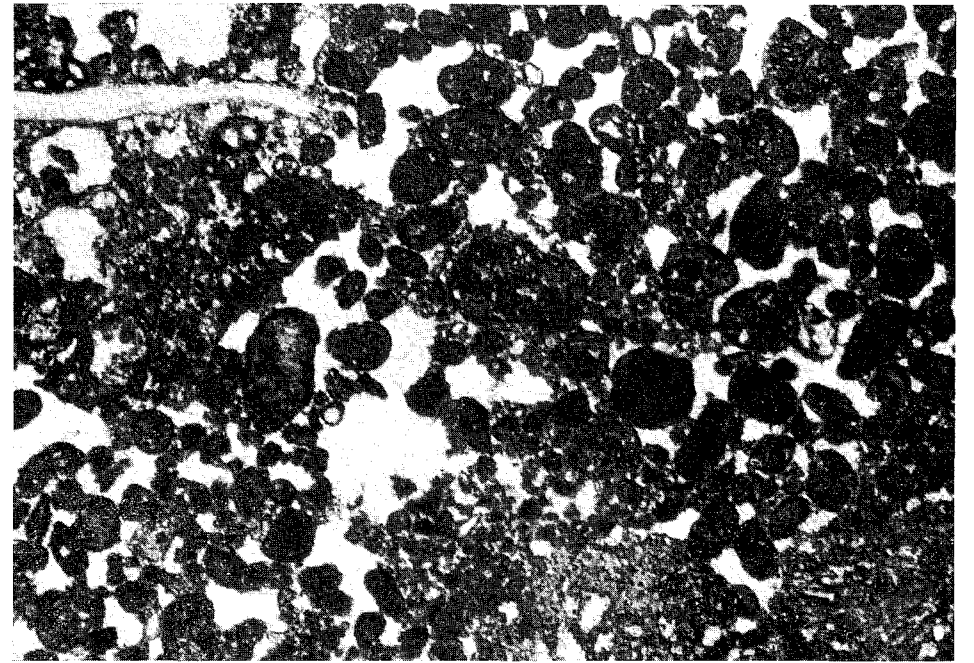
- MACKENZIE R. C., 1957 - *The differential thermal investigations of clays*. Min. Soc., London.
- MACKO S., 1957 - *Lower Miocene Pollen Flora from the Valley of Klodica near Gliwice (Upper Silesia)*. Trav. Soc. Sc. Lettres Wroclaw, ser. B, n. 38, pp. 1-314, Wroclaw.
- MARCHETTI M., 1950 - *La zona speleologica di S. Vittore di Frasassi*. Guida generale delle Marche, Stab. Tip. Venturini, Ancona.
- MONTORIOL P. J., 1962 - *Sobre el origen de las vermiculaciones arcillosas*. Atti II Congr. Inter. Spel., 1, pp. 389-395, Castellana-Grotte, Bari.
- MILLOT G., 1964 - *Géologie des Argiles*. Masson et C.ie Ed., Paris.
- PARENZAN P., 1961 - *Sulle formazioni argilloso-limose dette vermicolari*. Atti Symp. Inter. Spel. Villa Monastero - Varenna, 1, pp. 120-125.
- PARENZAN P., 1963 - *Le formazioni vermicolari della Grotta di S. Angelo di Statte (Taranto)*. Atti IX Congr. Naz. Spel., Trieste, 2, pp. 101-104.
- PERNA G., 1961 - *Concrezioni in cavità artificiali*. Symp. Inter. Spel. Varenna 1960, Rass. Spel. It., Mem. V, tomo II, pp. 225-234, Como.
- PERNA G., 1973 - *Fenomeni carsici e giacimenti minerari*. Atti Sem. Speleogenesi Varenna 5-8 ottobre 1972, Le Grotte d'Italia, Serie 4°, vol. IV, Bologna.
- PERNA G., 1974 - *Giacimenti minerari carsici*. Rend. Soc. It. Min. Petr., vol. XXX (1°), pp. 55-60.
- PERNA G., POZZI R., 1959 - *Osservazioni su alcuni fenomeni concrezionari della Grotta del Fiume (Ancona)*. Rass. Spel. It., II, fasc. 1.
- POKROWSKAIA J. M., 1958 - *Analyse pollinique*. A. Ser. Infor. Géol. B.R.G.M., n. 24, pp. 1-314, Paris.
- POMMIER C., GARNIER J. J., 1955 - *A propos des Vermiculatons argilleuses*. Bull. Comm. Nat. Spél., V°, n. 3.
- RENAULT PH., 1953 - *Dépôts vermiculés d'argile de décalcification*. Atti I° Congr. Inter. Spel., tomo II°, pp. 366-370, Parigi.
- RENAULT PH., 1959 - *Etats de parois en cavernes. Vermiculatons argilleuses et cristallisations de gypse*. Rev. Crit. in «*Annales de Spél.*», tomo XIV.
- WARWICK G. T., 1959 - *Vermiculatons*. New Letter of Cave Researches Club of Great Britain, pp. 79-80, pp. 14-17.

TAVOLA IV

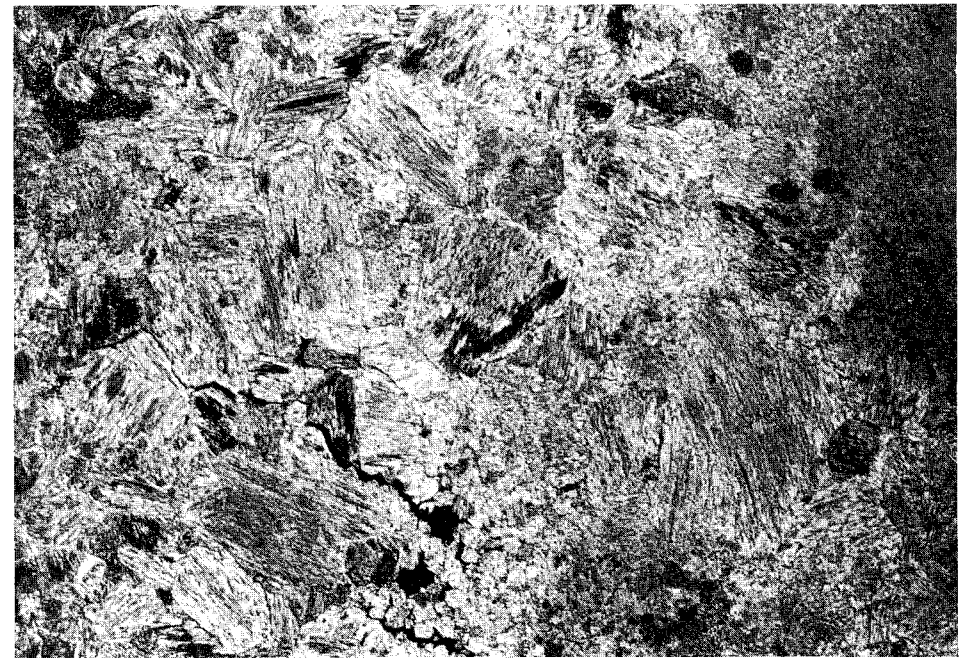
Spiegazione della Tavola IV

Foto 1 - Calcare oolitico (Campione N.7), (36 ingr.).

Foto 2 - Associazione di gesso microcristallino con gesso a grossi cristalli (Campione N. 19), (36 ingr.).



1



2