

LE GROTTI D'ITALIA

RIVISTA DELL'ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA

(SEZIONE DELL'ISTITUTO DI GEOLOGIA E PALEONTOLOGIA DELL'UNIVERSITA' DI BOLOGNA)

E DELLA SOCIETA' SPELEOLOGICA ITALIANA

Direttore: Prof. FRANCO ANELLI

Redattore: Dr. GIANCARLO PASINI

Serie 4^a

Vol. IV - 1973

ATTI DEL SEMINARIO DI SPELEOGENESI

ORGANIZZATO DALLA

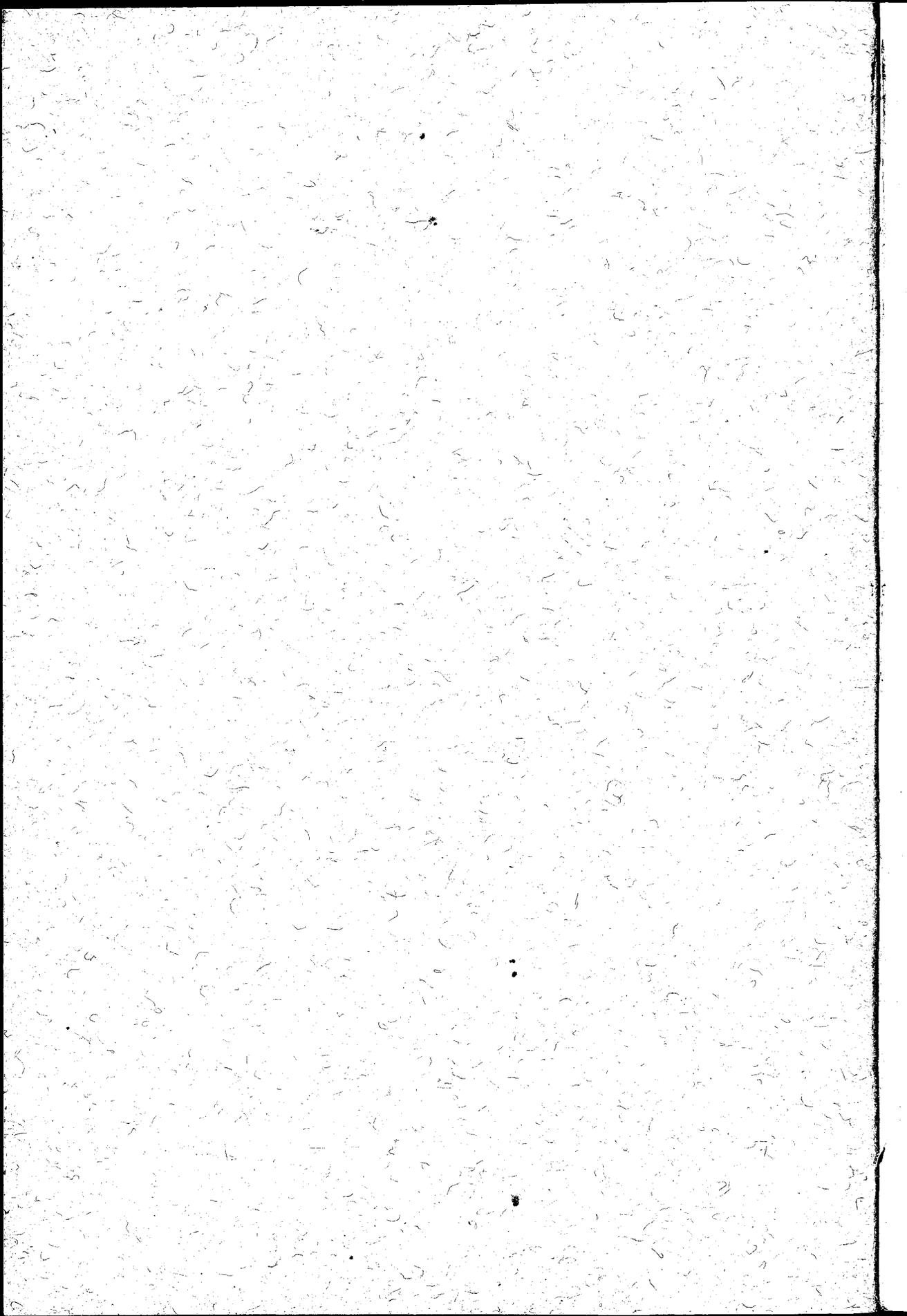
SOCIETA' SPELEOLOGICA ITALIANA

SOTTO L'EGIDA DELL'UNION INTERNATIONALE DE SPELEOLOGIE

Villa Monastero - Varenna (Como) 5-8 ottobre 1972

BOLOGNA

1975



LE GROTTI D'ITALIA

RIVISTA DELL'ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA

[SEZIONE DELL'ISTITUTO DI GEOLOGIA E PALEONTOLOGIA DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA]

E DELLA SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

Direttore: Prof. FRANCO ANELLI

Redattore: Dr. GIANCARLO PASINI

Serie 4^a

Vol. IV - 1973

BOLOGNA

1975

finito di stampare nel maggio 1975
presso la graficoop società tipografica editoriale
via e. zago, 2 bologna italy

ATTI
DEL
SEMINARIO DI SPELEOGENESI

ORGANIZZATO DALLA
SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

SOTTO L'EGIDA DELLA
UNION INTERNATIONALE DE SPÉLÉOLOGIE

Villa Monastero - Varenna (Como)

5-8 ottobre 1972

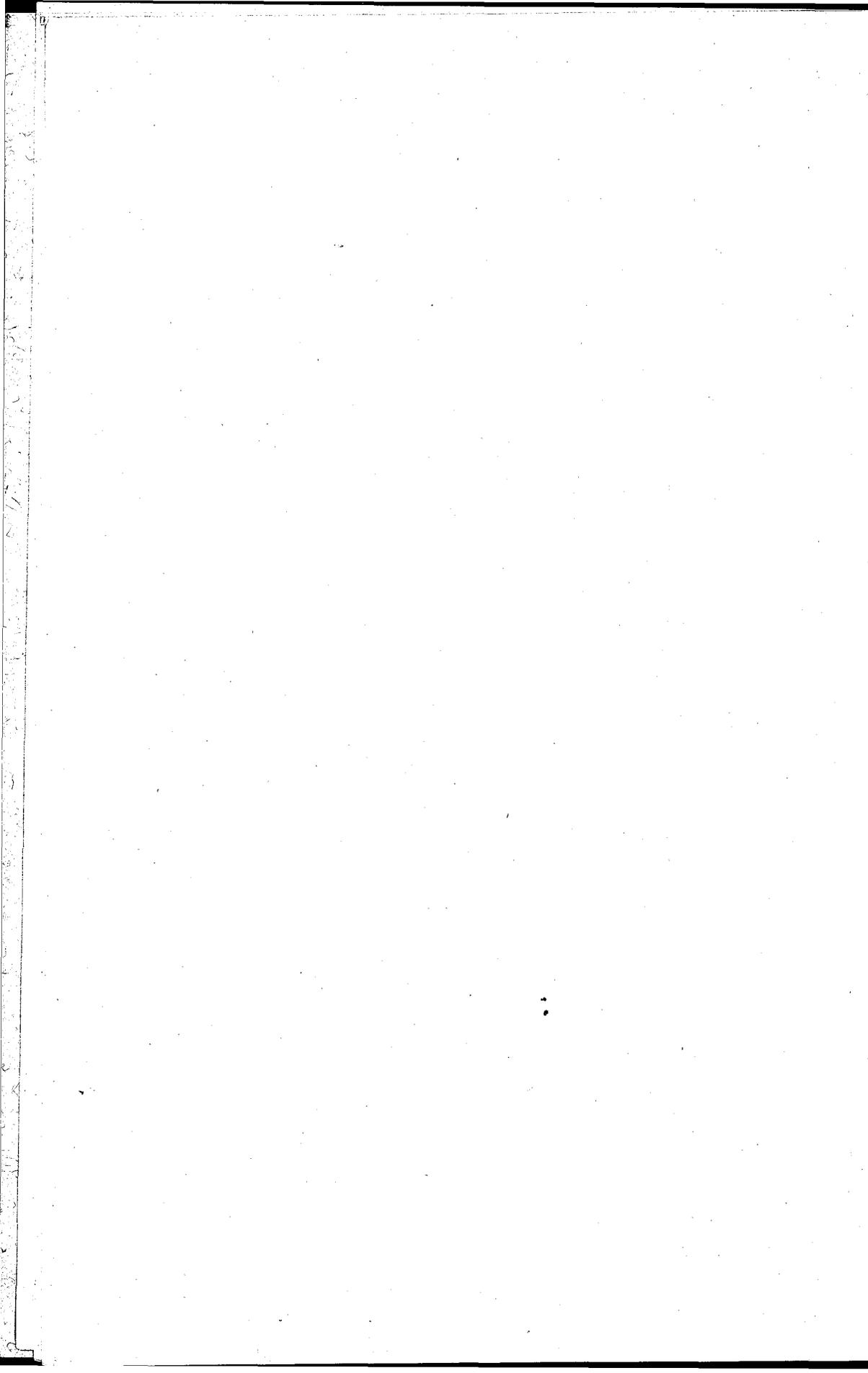
I disegni di questo volume sono stati in gran parte eseguiti o ritoccati da
LUCIANO CASONI e GINO ZINI.

INDICE

INTRODUZIONE	pag. 7
Programma del Seminario	» 9
Organizzazione del Seminario	» 11
Servizi	» 11
Enti finanziatori	» 11
Membri partecipanti	» 12
Membri aderenti	» 14
Cenni biografici sui relatori	» 16
 ATTI DEL SEMINARIO	 » 25
SEDUTA INAUGURALE	» 27
SECONDA SEDUTA	» 35
ROQUES H. - <i>Chimica dei carbonati ed idrogeologia carsica</i>	» 37
Discussione sulla relazione di ROQUES H.	» 73
PERNA G. - <i>Fenomeni carsici e giacimenti minerari</i>	» 77
Discussione sulla comunicazione di PERNA G.	» 153
BERNASCONI R. - <i>Il mondmilch: una messa a punto</i>	» 159
TERZA SEDUTA	» 163
ANELLI F. - <i>Nuove osservazioni sui fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici</i>	» 165
Discussione sulla relazione di ANELLI F.	» 193
BERTOLANI M. - <i>Aspetti del fenomeno carsico nei gessi</i>	» 199
Discussione sulla comunicazione di BERTOLANI M.	» 215
LAURETI L. - <i>Considerazioni sul carsismo superficiale</i>	» 219
Discussione sulla comunicazione di LAURETI L.	» 229
QUARTA SEDUTA	» 233
MAUCCI W. - <i>L'ipotesi dell'«erosione inversa» come contributo allo studio della speleogenesi</i>	» 235
Discussione sulla relazione di MAUCCI W.	» 287

PASINI G. - <i>Sull'importanza speleogenetica dell'«erosione antigravitativa»</i>	pag. 297
Discussione sulla comunicazione di PASINI G.	» 319
PASQUINI G. - <i>Considerazioni sulla percolazione e sulla condensazione</i>	» 323
Discussione sulla comunicazione di PASQUINI G.	» 327
QUINTA SEDUTA	» 331
BOEGLI A. - <i>La corrosione per miscela d'acque</i>	» 333
Discussione sulla relazione di BOEGLI A.	» 353
DEMATTEIS G. - <i>Contributo ad una classificazione genetica delle forme carsiche sotterranee</i>	» 361
Discussione sulla comunicazione di DEMATTEIS G.	» 371
SESTA SEDUTA	» 375
CAPPA G. - <i>Considerazioni sull'applicabilità delle teorie evolutive del fenomeno carsico in zone a forte perturbazione tettonica</i>	» 377
Discussione sulla comunicazione di CAPPA G.	» 387
CIGNA A. A. - <i>Considerazioni sulle teorie speleogenetiche</i>	» 391
Discussione sulla comunicazione di CIGNA A. A.	» 405
Discussione generale	» 409

INTRODUZIONE



PROGRAMMA DEL SEMINARIO

Giovedì 5 ottobre

mattino: SEDUTA INAUGURALE

Apertura del Seminario. Saluto delle Autorità. Inaugurazione da parte del prof. GIUSEPPE NANGERONI. Rinfresco offerto dall'Amministrazione Provinciale di Como.

pomeriggio: SECONDA SEDUTA

Relazione del prof. HENRI ROQUES: *Chimie des carbonates et hydrogéologie karstique*. Discussione.

Comunicazione del prof. GIULIANO PERNA: *Fenomeni carsici e giacimenti minerari*. Discussione.

Comunicazione del dr. RENO BERNASCONI: *Il mondmilch: una messa a punto*.

Venerdì 6 ottobre

mattino: TERZA SEDUTA

Relazione del prof. FRANCO ANELLI: *Nuove osservazioni sui fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici*. Discussione.

Comunicazione del prof. MARIO BERTOLANI: *Aspetti del fenomeno carsico nei gessi*. Discussione.

Comunicazione del dr. LAMBERTO LAURETI: *Considerazioni sul carsismo superficiale*. Discussione.

pomeriggio: QUARTA SEDUTA

Relazione del prof. WALTER MAUCCI: *L'ipotesi dell'« erosione inversa » come contributo allo studio della speleogenesi*. Discussione.

Comunicazione del dr. GIANCARLO PASINI: *Sull'importanza speleogenetica dell'« erosione antigravitativa »*. Discussione.

Comunicazione del dr. GIORGIO PASQUINI: *Considerazioni sulla percolazione e sulla condensazione*. Discussione.

Sabato 7 ottobre*mattino:* QUINTA SEDUTA

Relazione del prof. ALFRED BOEGLI: *La corrosion par mélange des eaux*. Discussione.

Comunicazione del prof. GIUSEPPE DEMATTEIS: *Contributo ad una classificazione genetica delle forme carsiche sotterranee*. Discussione.

pomeriggio: SESTA SEDUTA

Comunicazione dell'ing. GIULIO CAPPA: *Considerazioni sull'applicabilità delle teorie evolutive del fenomeno carsico in zone a forte perturbazione tettonica*. Discussione.

Comunicazione del prof. ARRIGO A. CIGNA: *Considerazioni sulle teorie speleogenetiche*. Discussione.

Discussione generale.

Domenica 8 ottobre*mattino:*

Escursione di studio al Buco del Piombo (2208 Lo/CO) in Val Bova, Erba (Como).

Pranzo e chiusura del Seminario.

ORGANIZZAZIONE DEL SEMINARIO

Direzione: ARRIGO A. CIGNA, Presidente della Società Speleologica Italiana.

Segreteria organizzativa: GIULIO BADINI, Consigliere della Società Speleologica Italiana.

Atti e preprints: GIANCARLO PASINI, Istituto Italiano di Speleologia.

SERVIZI

Segreteria: GIULIO BADINI (S.S.I.)

Interpreti: EMILIA BIANCHERI, M. GRAZIELLA PREDIALI (Congress - Milano)

Registrazione: GIULIA ZAMBOLO (Congress - Milano)

Tecnico audio: LUCIO ADERO (Congress - Milano)

Fotografo: RENATO TOMMASINI (S.S.I.)

ENTI FINANZIATORI

MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE

SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

ISTITUTO ITALIANO DI SPELEOLOGIA

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI COMO

ENTE VILLA MONASTERO, COMO

ENTE PROVINCIALE PER IL TURISMO, COMO

CASSA DI RISPARMIO DELLE PROVINCIE LOMBARDE

BANCA POPOLARE DI LECCO

PRO LOCO VARENNA
 DIREZIONE DEL BUCO DEL PIOMBO
 KODAK ITALIANA SPA
 COMPAGNIA LOMBARDA DI ASSICURAZIONI
 SOCIETÀ ASSICURATRICE INDUSTRIALE

MEMBRI PARTECIPANTI

- AMEDEO PAOLO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., Milano.
 ANELLI dr. prof. FRANCO - Istituto Italiano di Speleologia, S.S.I., Bari.
 ANELLI WEICHANDT LYDIA - accompagnatrice, Bari.
 BADINI GIULIO - Unione Speleologica Bolognese, S.S.I., Milano.
 BALBIANO D'ARAMENGO dr. CARLO - Gruppo Speleologico Piemontese C.A.I.-U.G.E.T., S.S.I., Torino.
 BALBIANO BADINI CONFALONIERI ELENA - accompagnatrice, Torino.
 BERTI ROBERTO - Gruppo Speleologico C.A.I. Prato, Prato.
 BERTOLANI dr. prof. MARIO - Gruppo Speleologico Emiliano, Comitato Scientifico C.A.I. Modena, Istituto di Mineralogia, S.S.I. Modena.
 BINI dr. ALFREDO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.
 BOEGLI dr. prof. ALFRED - Gruppo Speleologico Hölloch, Hitzkirch (Svizzera).
 BUSELLATO LEONARDO - Gruppo Grotte C.A.I. Schio, S.S.I., Schio.
 CACHIA dr. MAURIZIO - Gruppo Speleologico Ligure « Issel », S.S.I., Genova.
 CAMPONESCHI dr. BIAGIO - Istituto di Geologia Applicata, Associazione Speleologica Romana, S.S.I., Roma.
 CAPPÀ dr. ing. GIULIO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.
 CASTALDI FEDERICO - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
 CHECCHI FRANCESCO - Gruppo Speleologico Archeologico Versiliese, Pietrasanta.
 CIGNA dr. prof. ARRIGO - S.S.I., Roma.
 CLÒ LODOVICO - Unione Speleologica Bolognese, S.S.I., Bologna.
 CORTONI FABRIZIO - Speleo Club Orvieto, Orvieto.
 DEMATTEIS dr. prof. GIUSEPPE - Gruppo Speleologico Piemontese C.A.I.-U.G.E.T., Laboratorio di Geografia Economica, S.S.I., Torino.
 DIAMANTI LUCIANO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.
 DURANTE PASA M. VITTORIA - Museo Civico Storia Naturale, S.S.I., Verona.

- FELICI ALBERTA - Speleo Club Roma, S.S.I., Roma.
FINOCCHIARO CARLO - Commissione Grotte « E. Boegan » S.A.G.-C.A.I., S.S.I., Trieste.
FINOCCHIARO ROMA - accompagnatrice, Trieste.
FORTI geom. FABIO - Commissione Grotte « E. Boegan » S.A.G.-C.A.I., Istituto di Geologia, Trieste.
FORTI MISTRON ELVIA - accompagnatrice, Trieste.
GATTI dr. LUIGI - Amministrazione Provinciale di Grosseto, S.S.I., Grosseto.
GRAZZINI GIANCARLO - Gruppo Speleologico C.A.I. Roma, S.S.I., Roma.
JURETIG geom. LUCIO - Sezione Geospeleologica S.A.S., S.S.I., Trieste.
LAPEGNA dr. ULISSE - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
LAURETI dr. LAMBERTO - Istituto di Geografia, S.S.I., Napoli.
MAIFREDI dr. PIETRO - Gruppo Speleologico Ligure « Issel », Istituto di Geologia, S.S.I., Genova.
MAUCCI dr. prof. WALTER - Sezione Geospeleologica S.A.S., S.S.I., Trieste.
MONACI MASSIMO - S.S.I., Roma.
MORBIDUCCI dr. PIERGIORGIO - Milano.
NANGERONI dr. prof. GIUSEPPE - Comitato Scientifico Centrale C.A.I., S.S.I., Milano.
NISII dr. LUIGI - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
OROMBELLI dr. GIUSEPPE - Istituto di Geologia, Milano.
PAPINI GIANCARLO - Speleo Club Orvieto, Orvieto.
PASINI dr. GIANCARLO - Istituto Italiano di Speleologia, Laboratorio di Geologia Marina del C.N.R., S.S.I., Bologna.
PASINI COLALONGO M. LUISA - accompagnatrice, Bologna.
PASQUINI dr. GIORGIO - Istituto di Geografia, S.S.I., Genova.
PASTORINO dr. M. VALERIO - Gruppo Speleologico Ligure « Issel », S.S.I., Genova.
PEANO GUIDO - Gruppo Speleologico « Alpi Marittime » C.A.I., S.S.I., Cuneo.
PERNA prof. ing. GIULIANO - Laboratorio Geominerario Regione Trentino-Alto Adige, S.S.I., Trento.
PERNA VINCENZA - accompagnatrice, Trento.
PEZZOLI ENRICO - Milano.
PICHL ERWIN - Sezione Geospeleologica S.A.S., Trieste.
PICIOCCHI dr. ALFONSO - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
PICIOCCHI VITELLI IRMA - accompagnatrice, Napoli.
PRELOVSEK VITTORIO - Gruppo Speleologico Fiorentino C.A.I., S.S.I., Firenze.

- PRUDENZANO DANIELE - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.
- ROQUES dr. prof. HENRI - Département de Chimie de l'Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse Cedex (Francia).
- ROSI MAURO - Gruppo Speleologico Archeologico Versiliese, Pietrasanta.
- RUGGIERO prof. IDA - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
- SAGNOTTI MAURIZIO - Speleo Club Roma, S.S.I., Roma.
- SALVATORI dr. FRANCESCO - Gruppo Speleologico C.A.I. Perugia, S.S.I., Perugia.
- SAMORÈ TITO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.
- SAURO dr. UGO - Istituto di Geografia, S.S.I., Padova.
- SEMERARO RINO - Commissione Grotte « E. Boegan » S.A.G.-C.A.I., S.S.I., Trieste.
- SILVESTRI dr. PIETRO - Laboratorio Ricerche, S.S.I., Domodossola.
- TONIELLO dr. VLADIMIRO - Gruppo Speleologico C.A.I., S.S.I., Vittorio Veneto.
- TRIMMEL dr. HUBERT - Federazione degli Speleologi Austriaci, Union Internationale de Spéléologie, S.S.I., Vienna (Austria).
- VANIN dr. ADRIANO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., Milano.
- VERNEAU SERGIO - Gruppo Speleologico C.A.I. Napoli, S.S.I., Napoli.
- VEROLE BOZZELLO VITTORIO - Gruppo Speleologico Garfagnana « Buca del Vento », S.S.I., Barga.
- VISMARA PAOLO - Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., S.S.I., Milano.

MEMBRI ADERENTI

- BENTINI dr. LUCIANO - Faenza
- BERNASCONI dr. RENO - Münchenbuchsee (Svizzera)
- BERTOLDI LEONARDO - Verona
- BIANCHETTI PIERLUIGI - Roma
- BIONDI PIER PAOLO - Faenza
- BOCCHINI ANDREA - Iesi
- BORSIER GIORGIO - Firenze
- BURRI dr. EZIO - Chieti
- CALANDRI GILBERTO - Imperia
- CANTILENA STEFANO - S. Giorgio a Cremano
- CHIARANTINI FRANCO - Roma
- CORRÀ prof. GIUSEPPE - Verona
- DAVIDE BRUNO - Napoli
- DE BENI ERNESTO - Conegliano

FACCHINI SERGIO - Bologna
FACCIO NATALE - Vicenza
FAROLFI RODOLFO - Faenza
FEDELE prof. FRANCESCO - Torino
FRASSONI ing. ALBERTO - S. Pellegrino T.
GALLIANI CLAUDIO - Gorizia
GASPARO FULVIO - Trieste
GAVARUZZI ARMANDO - Bologna
GIANNOTTI RODOLFO - Pisa
GUIDI PINO - Trieste
LEMMI dr. GUIDO - Perugia
MOLTENI GIANCARLO - Albavilla
OROFINO FRANCESCO - Castellana Grotte
PASSERI dr. LEONSEVERO - Perugia
PIRRAMI MARCO - Todi
RODRIGUEZ dr. ANTONIO - Napoli
ROSSI dr. ANTONIO - Modena
SCANDONE prof. PAOLO - Napoli
TOMMASINI TULLIO - Trieste
ULLASTRE MARTORELL JUAN - Barcelona (Spagna)
UTILI prof. FRANCO - Firenze

CIRCOLO SPELEOLOGICO ROMANO - Roma
GRUPPO GROTTI GENOVA - Genova
GRUPPO GROTTI MILANO C.A.I.-S.E.M. - Milano
GRUPPO GROTTI SCHIO C.A.I. - Schio
GRUPPO SPELEOLOGICO « ALPI MARITTIME » C.A.I. - Cuneo
GRUPPO SPELEOLOGICO « ANXUR » - Terracina
GRUPPO SPELEOLOGICO AQUILANO - L'Aquila
GRUPPO SPELEOLOGICO BIELLESE C.A.I. - Biella
GRUPPO SPELEOLOGICO BOLOGNESE C.A.I. - Bologna
GRUPPO SPELEOLOGICO FAENTINO C.A.I.-E.N.A.L. - Faenza
GRUPPO SPELEOLOGICO FIORENTINO C.A.I. - Firenze
GRUPPO SPELEOLOGICO « PROTEO » - Vicenza
GRUPPO TRIESTINO SPELEOLOGI - Trieste
ISTITUTO DI GEOGRAFIA DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA
ISTITUTO DI GEOGRAFIA DELL'UNIVERSITÀ DI TORINO
SOCIETÀ GEOGRAFICA ITALIANA - Roma
SPELEO CLUB « I PROTEI » - Milano
SPELEO CLUB ROMA - Roma
UNIONE SPELEOLOGICA BOLOGNESE - Bologna

CENNI BIOGRAFICI SUI RELATORI

Dott. Prof. FRANCO ANELLI (Italia)

Nato a Lodi (Milano) nel 1899, ha frequentato gli studi universitari a Pavia ed a Bologna, dove si è laureato nel 1927 in Scienze Naturali, con indirizzo geologico-minerario.

Dopo alcuni anni di ricerche presso una società mineraria friulana, nel 1930 è diventato conservatore del Museo Speleologico presso l'Istituto Italiano di Speleologia e le Grotte Demaniali di Postumia, incarico che ha mantenuto fino all'aprile 1945, assumendo nel 1941 anche la carica di direttore delle grotte stesse. Funzionario dal 1946 al 1948 presso la Soprintendenza ai Monumenti di Udine, nel 1949 è divenuto direttore delle Grotte di Castellana, carica che tuttora ricopre. È stato professore incaricato di Geografia fisica (dal 1948 al 1961) e, successivamente, di Geografia generale (fino al 1969, anno in cui è stato collocato in pensione) presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Bari. Nel 1954 ha conseguito la libera docenza in Speleologia.

Attualmente dirige la sede tecnico-organizzativa dell'Istituto Italiano di Speleologia (Castellana Grotte) e, fin dal 1941, la rivista *Le Grotte d'Italia*. È socio della S.S.I. (fin dalla sua fondazione), della quale è stato in passato consigliere ed è, dal 1970, vicepresidente. È stato inoltre segretario organizzativo del 2° Congresso Speleologico Internazionale, svoltosi in Italia nel 1959.

È socio di molte accademie e società scientifiche, ispettore onorario della Soprintendenza ai Monumenti ed Antichità di Bari, socio onorario della British Speleological Association di Settle, del Hauptverband Deutscher Höhlenforscher di Berlino, della Société Spéléologique de France, ecc. Per i suoi alti meriti è stato nominato nel 1959 Commendatore al merito della Repubblica.

Ha svolto la propria attività speleologica nel Carso triestino ed istriano, al quale ha dedicato molte ricerche, nonché in varie altre regioni, fino a quando, nel 1938, ha compiuto la scoperta della Grotta di Castellana, alla quale si è interamente dedicato dal 1948 in poi.

Della speleologia italiana è stato uno dei massimi coordinatori, specialmente nel periodo prebellico; a lui dobbiamo la difesa prima ed il recupero poi del materiale dell'Istituto di Speleologia trafugato dai nazisti. Con l'attività svolta alle grotte di Postumia e di Castellana ha contribuito notevolmente alla diffusione della speleologia tra il grosso pubblico.

Tra i suoi studi possiamo ricordare quelli sugli sfiatatoi di grotta, quelli di paleontologia e di paleontologia, i lavori sulla terminologia speleologica, l'illustrazione dei fenomeni paracarsici e pseudocarsici, sui quali ha ampia competenza. Tra le sue scoperte, oltre a Castellana, citiamo la stazione del paleolitico superiore della Grotta delle Mura (Monopoli) ed i resti paleontologici nella Grotta della Iena (Castellana).

Ha al proprio attivo circa un centinaio di pubblicazioni dedicate alle grotte, di cui un certo numero di carattere divulgativo.

Indirizzo: Direzione Grotte, 70013 Castellana Grotte (Bari)

Dott. RENO BERNASCONI (Svizzera)

È nato nel 1933 e si è laureato in Chimica Farmaceutica. Ha svolto la propria attività speleologica in Svizzera ed anche nel Comasco. Si interessa in particolare di biospeleologia (è uno specialista degli Idrobiidi). Ha compiuto vari studi sui pigmenti degli insetti cavernicoli, sulla dinamica dello stillicidio e sul *mondmilch*, del quale è profondo conoscitore, come risulta da varie pubblicazioni comparse anche su Rassegna Speleologica Italiana.

È socio da vecchia data della Società Svizzera di Speleologia, in cui è membro del Comitato Centrale, e della Società Speleologica Italiana. È responsabile della Commissione di Bibliografia Speleologica dell'Union Internationale de Spéléologie, per la quale redige il Bulletin Bibliographique; è inoltre redattore della rivista svizzera Stalactite.

Conta al suo attivo oltre una trentina di pubblicazioni, in lingua francese ed italiana.

Indirizzo: Hofwilstrasse 9, CH 3053 Münchenbuchsee (Svizzera).

Dott. Prof. MARIO BERTOLANI (Italia)

È nato nel 1915 a Modena, dove si è laureato in Scienze Naturali nel 1940 ed ha conseguito la libera docenza in Mineralogia nel 1948. Ha partecipato a corsi di specializzazione in Geochimica (Firenze, 1948) e in Giacimenti Minerari (Freiburg, 1951 e 1952). Presso l'Istituto di Mineralogia dell'Università di Modena è stato assistente nel 1943 e 1948, poi direttore nel 1959 e 1960; da anni dirige la Sezione di Petrografia Applicata alla Ceramica.

Si occupa di speleologia da oltre trent'anni e da venti è presidente del Gruppo Speleologico Emiliano e del Comitato Scientifico «F. Malavolti» del C.A.I. di Modena. È stato membro del Comitato Scientifico Centrale del C.A.I. e, della fondazione (1960), è presidente della Commissione Catasto Grotte dell'Emilia-Romagna.

Pur avendo svolto, e continuando a svolgere, attività in molte regioni italiane ed all'estero, è profondo conoscitore soprattutto delle cavità nei gessi emiliani; a lui si deve principalmente il riordino catastale postbellico delle grotte emiliane.

È stato segretario o presidente di molti convegni speleologici regionali ed è autore di varie pubblicazioni sulle grotte gessose, esaminate in particolare dal punto di vista litologico, mineralogico, geomorfologico e speleogenetico. È socio e dal 1973 consigliere della Società Speleologica Italiana.

Indirizzo: Via del Caravaggio 43, 41100 Modena

Dott. Prof. ALFRED BOEGLI (Svizzera)

Nato a Berna nel 1912, vi ha studiato Geografia, Geologia, Petrografia e Mineralogia dal 1931 al 1937, ottenendo l'abilitazione per l'insegnamento secondario nel 1935 a Berna e nel 1937 a Lucerna. Nel 1939 si è laureato in Geografia a Friburgo.

Si è occupato in quel periodo di studi sulla morfologia glaciale delle Alpi ed inoltre di morfogenesi, idrografia e morfologia carsica, aderendo nel 1945 al Gruppo per le ricerche geomorfologiche delle Alpi Svizzere. Dal 1962 partecipa all'elaborazione delle carte geomorfologiche per l'Atlante svizzero. Nel 1965 è incaricato dei corsi di Geografia, Geomorfologia carsica ed Idrografia all'Università di Francoforte, dove viene nominato professore onorario due anni dopo. Dal 1969 svolge i corsi di Geografia fisica all'Università di Zurigo.

Nell'immediato dopoguerra iniziò le prime ricerche nell'Hölloch, dedicandovi gran parte della propria attività (basti dire che al 1969 aveva trascorso in questa grotta complessivamente ben 5.428 ore). Nel 1949 collaborò come geologo con il Gruppo

di ricerche del Club Alpino Svizzero; nel 1951 fu nominato direttore scientifico del Gruppo Speleologico dell'Hölloch, del quale è divenuto direttore nel 1959, carica che mantiene tuttora. Grazie alle esplorazioni da lui dirette l'Hölloch è ora esplorato e rilevato per uno sviluppo di 103,705 Km ed un dislivello di 740 m, il che ne fa, per estensione, la seconda cavità del mondo.

Con l'esperienza acquisita nelle ricerche all'Hölloch BOGLI è divenuto uno specialista a livello internazionale sui fenomeni carsici; la sua *teoria sulla corrosione per miscela di acque* è divenuta universalmente nota in pochi anni. Dal 1956 è membro della Commissione per i fenomeni carsici dell'Unione Geografica Internazionale e dal 1960 della Cave Research Foundation di Washington (unico membro straniero). Nelle aree carsiche degli Stati Uniti e della Giamaica ha compiuto numerose ricerche e mantiene stretti contatti con gli studiosi americani.

Dal 1968 è membro della Commissione per la terminologia carsica dell'Union Internationale de Spéléologie; all'U.I.S. ha anche fornito il sistema dei segni convenzionali per i rilievi topografici.

Innumerevoli sono le sue pubblicazioni, in lingua tedesca e francese. Alcune si ritrovano sugli Atti dei congressi internazionali di speleologia.

Indirizzo: CH 6285 Hitzkirch (Luzern, Svizzera)

Dott. Ing. GIULIO CAPPÀ (Italia)

Nato a Milano nel 1932, si è laureato nel 1955 presso il locale Politecnico in Ingegneria meccanica. Lavora dal 1956 presso la Sezione Ricerche e Sviluppo di un'importante azienda nel settore della gomma.

Si occupa di speleologia dal 1950, quando è entrato nel Gruppo Grotte Milano C.A.I.-S.E.M., di cui è stato per alcuni anni presidente ed animatore. Ha svolto un'intensa attività di campagna, che tuttora continua, in quasi tutte le regioni italiane. Si interessa in particolare di speleogenesi, idrologia, topografia e fotografia ipogea, esplorazioni subacquee, catasto grotte, problemi tecnici ed organizzativi delle esplorazioni.

È istruttore nazionale nelle Scuole di Speleologia del C.A.I., volontario dalla fondazione del Soccorso Speleologico, socio da vecchia data della Società Speleologica Italiana (di cui è stato consigliere dal 1966 al 1969 e nel 1973), della Società Italiana di Scienze Naturali, del Cave Research Group of Great Britain. Dirige attualmente l'Ufficio del Catasto delle Grotte d'Italia della S.S.I.

Ha al suo attivo numerose pubblicazioni di vario argomento su riviste italiane.

Indirizzo: Piazza VIII Novembre 6, 20129 Milano

Dott. Prof. ARRIGO CIGNA (Italia)

È nato a Milano nel 1932. Si è laureato in Fisica presso quell'Università nel 1958; nel 1966 ha conseguito la libera docenza in Fisica sanitaria e nel 1968 quella in Speleologia. Dal 1961 dirige il Laboratorio di Radioattività Ambientale del C.N.E.N. a Roma.

Dal 1948 è socio del Gruppo Grotte Milano; ha svolto in particolare la propria attività speleologica in Lombardia, Liguria, Sardegna e Puglia. Si occupa principalmente di meteorologia ipogea, idrologia, speleologia fisica, speleogenesi e di problemi organizzativi.

È socio fin dalla fondazione della Società Speleologica Italiana: ne è stato consigliere dal 1964 al 1969 e dal 1970 ne è presidente. Dal 1957 fa parte della redazione di *Rassegna Speleologica Italiana*. È socio inoltre della Società Italiana di Scienze Naturali, del Cave Research Group of Great Britain e della National Speleological Society (U.S.A.) Come presidente della S.S.I. è stato delegato titolare italiano presso l'Union Internationale de Spéléologie; ha ricoperto la carica di segretario della Commissione di speleocronologia. Nel 1973 è stato eletto presidente generale dell'U.I.S.

Per la sua partecipazione a congressi e riunioni internazionali e la collaborazione a riviste di lingua inglese è tra gli speleologi italiani più conosciuti all'estero.

Annovera al suo attivo una trentina di pubblicazioni, riguardanti soprattutto la meteorologia ipogea e la speleologia fisica, su riviste italiane e straniere.

Indirizzo: Viale Medaglie d'Oro 285, 00136 Roma

Dott. Prof. GIUSEPPE DEMATTEIS (Italia)

Nato a Cagliari nel 1935, si è laureato nel 1962 in Scienze Politiche presso l'Università di Torino; nel 1968 ha conseguito la libera docenza in Geografia economica. Attualmente dirige il Laboratorio di Geografia Economica presso la Facoltà di Economia e Commercio della stessa Università.

Ha cominciato ad occuparsi di speleologia nel 1949 e nel 1953 ha fondato con altri il Gruppo Speleologico Piemontese C.A.I.-U.G.E.T., del quale è stato animatore e presidente per molti anni. Per oltre un decennio ha svolto una intensissima attività — esplorativa, tecnica e scientifica — in molte regioni italiane, prendendo parte ad importanti spedizioni. Ha svolto anche escursioni di studio in aree carsiche dell'Austria, Francia, Stati Uniti e Canada.

Si interessa in particolare di morfologia carsica e speleogenesi ed è autore di importanti studi sull'*erosione regressiva* delle grotte. E' autore inoltre di uno dei migliori manuali speleologici pubblicati nel nostro Paese.

E' socio da vecchia data della Società Speleologica Italiana e ne è stato anche consigliere dal 1967 al 1969. E' da anni membro del Comitato Scientifico Centrale del C.A.I. e del Comitato dei Geografi Italiani.

Ha pubblicato molti lavori di argomento speleologico, tra cui una monografia sulla zona del Marguareis, i primi due volumi della serie Speleologia del Piemonte e il già citato manuale (due edizioni).

Indirizzo: Strada Tetti Gramaglia 19, 10133 Torino.

Dott. LAMBERTO LAURETI (Italia)

Nato nel 1936 a Roma, ha conseguito la laurea in Scienze Geologiche nel 1960 presso quell'Università e nel 1963 l'abilitazione all'insegnamento della Geografia Economica.

Ha svolto il servizio di leva presso l'Istituto Geografico Militare, compiendo ricerche applicate di geografia e geologia militari, geotecnica e cartografia. Nel 1963 ha ottenuto una borsa di studio del C.N.R. presso l'Istituto di Geografia dell'Università di Firenze per ricerche di geomorfologia sui monti pistoiesi, nel 1965 una borsa del Ministero Industria per ricerche presso il Laboratorio di Fotointerpretazione dell'AGIP Mineraria a S. Donato Milanese e nell'anno successivo una borsa del Ministero Pubblica Istruzione per ricerche sul fenomeno carsico nel Bresciano.

E' stato assistente volontario dal 1963 al 1969 presso la cattedra di Geografia all'Università Cattolica di Milano e assistente incaricato nel 1969 e 1970 presso quella dell'Università di Genova. Dal 1973 è assistente ordinario alla cattedra di Geografia (Facoltà di Lettere) dell'Università di Napoli.

Si occupa di speleologia dal 1957, per due anni come socio del Circolo Speleologico Romano, poi dal 1959 come socio fondatore dello Speleo Club Roma. E inoltre socio dal 1963 della Società Speleologica Italiana, in cui è responsabile della Commissione Scientifica, dal 1966 del Gruppo Grotte Milano e dal 1967 è membro della Commissione Scientifica della Società Svizzera di Speleologia. Ha svolto attività pratica in molte regioni italiane ed inoltre in Francia, Spagna, Svizzera e Jugoslavia.

Si interessa in particolare del carsismo di superficie. Ha al suo attivo numerose pubblicazioni, soprattutto su riviste geografiche e naturalistiche.

Indirizzo: Via Nevio 84, 80122 Napoli.

Dott. Prof. WALTER MAUCCI (Italia)

E' nato a Vienna nel 1922, ma è sempre vissuto a Trieste. Nel 1946 si è laureato in Scienze Naturali all'Università di Torino, discutendo una tesi sul fenomeno carsico;

nel 1959 ha conseguito la libera docenza in Speleologia, svolgendo in seguito corsi liberi presso le Università di Bologna e Trieste. Dal 1957 è professore ordinario di Scienze, Chimica e Geografia in un liceo scientifico di Trieste.

Ha cominciato ad occuparsi di speleologia fin da giovanissimo, entrando nel 1938 nella Commissione Grotte dell'Alpina delle Giulie di Trieste. Nel 1950 è stato tra i fondatori della Sezione Geospeleologica della Società Adriatica di Scienze, della quale è stato vicepresidente fino al 1960 e presidente dal 1961 in poi.

E' stato socio fondatore e consigliere della S.S.I., nonché segretario dal 1964 al 1969. E' stato delegato supplente per l'Italia presso l'Union Internationale de Spéléologie e delegato nella Commissione per le maggiori grotte.

Ha svolto la propria attività, sia scientifica che esplorativa, in varie regioni d'Italia e all'estero, ma soprattutto nel Carso triestino, di cui è profondo conoscitore. Ha diretto anche importanti spedizioni, tra cui alcune alla Spluga della Preta ed all'Anfro del Corchia, oltre alle prime esplorazioni subacquee nel corso del Timavo.

E' senz'altro uno dei maggiori esponenti della scuola speleologica triestina del dopoguerra e lo si può annoverare tra i più qualificati studiosi di speleogenesi, tra i pochi nomi italiani conosciuti all'estero: deve la sua fama principalmente alla ben nota *teoria dell'erosione inversa*. Assai interessanti anche i suoi studi sulla paleoidrografia del Carso triestino ed i contributi alla terminologia speleologica, che costituiscono l'oggetto di numerose pubblicazioni.

Indirizzo: Via F. Severo 39, 34133 Trieste.

Dott. GIANCARLO PASINI (Italia)

E' nato nel 1940 a Bologna, dove si è laureato in Scienze Geologiche nel 1966. Nello stesso anno ha ottenuto una borsa di studio presso l'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Bologna per ricerche di geomorfologia e di geologia del Quaternario, ed ha iniziato a collaborare con l'Istituto Italiano di Speleologia per il quale cura la redazione della rivista « Le Grotte d'Italia ». Nel 1970 è passato come specialista in geologia del Quaternario al Laboratorio di Geologia Marina del C.N.R. (Bologna), presso il quale lavora tuttora.

Ha iniziato ad interessarsi di speleologia nel 1955 ed è stato per un decennio uno dei maggiori animatori del Gruppo Speleologico Bolognese del C.A.I. Si è dedicato principalmente alla speleologia esplorativa, partecipando a molte delle più importanti spedizioni italiane del periodo 1958-1965, tra cui quelle che raggiunsero per la prima volta il fondo della Spluga della Preta (Prealpi venete), dell'Anfro del Corchia (Alpi Apuane), dell'Abisso R. Gaché (Alpi Marittime) e della Voragine del Bifurto (Gruppo del Pollino, Calabria). Per alcuni anni è stato responsabile del Soccorso Speleologico del C.A.I. per l'Emilia e la Toscana.

La sua attività scientifica ha avuto prevalentemente come oggetto le grotte nei gessi del Pedepennino bolognese, nelle quali ha effettuato ricerche di carattere morfologico e scavi paleontologici. I risultati di queste ricerche costituiscono l'argomento di alcune pubblicazioni, tra cui ricordiamo quella illustrante la sua *teoria dell'erosione antigravitativa*. Da tempo è impegnato con l'Unione Speleologica Bolognese nell'installazione di un laboratorio sperimentale sotterraneo nella Grotta Novella (uno dei pochi finora esistenti in cavità gessose), dove sono già in corso ricerche sull'accrescimento delle concrezioni alabastrine in funzione delle oscillazioni stagionali e climatiche.

Indirizzo: Istituto di Geologia e Paleontologia, Via Zamboni 67, 40127 Bologna.

Dott. GIORGIO PASQUINI (Italia)

Nato a Roma, vi ha conseguito nel 1959 la laurea in Geografia. Dal 1961 al 1970 è stato assistente di Geografia fisica all'Università di Roma; nel 1971 è passato come ordinario di Geografia a Genova; attualmente lavora presso la Scuola di Geografia dell'Università di Oxford.

Ha iniziato a fare speleologia una ventina di anni or sono nel Circolo Speleologico Romano, passando poi, nel 1959, allo Speleo Club Roma, di cui è stato socio

fondatore e presidente fino al 1969. Come consigliere della S.S.I. dal 1964 al 1969 e dal 1971 al 1973 si è occupato in particolare delle scuole di speleologia. Dalla sua costituzione al 1971 è stato responsabile del Soccorso Speleologico del C.A.I. nell'Italia centro-meridionale. E' stato inoltre segretario organizzativo del X Congresso Nazionale di Speleologia (Roma, 1968) e della Tavola Rotonda sulla Sicurezza in Grotta (Montecompatri, 1971).

Si è sempre occupato in particolare di speleologia esplorativa, svolgendo principalmente la propria attività nelle regioni centrali e meridionali dell'Italia. Ha fatto anche parte della squadra italiana nella spedizione internazionale che per prima toccò il fondo del Gouffre Berger (Francia); ha partecipato inoltre a campagne esplorative in Bulgaria e Spagna.

E' autore di alcune pubblicazioni, soprattutto descrittive.

Indirizzo: School of Geography, University of Oxford, Mansfield Road, Oxford, OX1 3 T.B.

Prof. Ing. GIULIANO PERNA (Italia)

E' nato a Gorizia nel 1928; si è laureato dapprima in Ingegneria Mineraria a Bologna nel 1954, poi, nel 1957, in Scienze Geologiche presso la stessa Università.

Dopo alcuni anni dedicati a ricerche geofisiche e sugli idrocarburi, è passato nel 1958 al Distretto Minerario del Trentino-Alto Adige, che dirige dal 1961. Dal 1962 è membro del Consiglio Miniere e dal 1969 dirige il Laboratorio Geominerario della Regione, convenzionato col C.N.R. e da lui fondato.

Dal 1970 al 1972 è stato presidente della Commissione Giacimenti Minerari del C.N.R. Sempre nel 1972 ha conseguito la libera docenza in Giacimenti Minerari e dallo stesso anno è professore incaricato di Petrografia alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

Ha partecipato a corsi, viaggi di studio e congressi minerari in Italia ed all'estero, curandone anche, in qualche caso, l'organizzazione. In campo minerario, al quale ha dedicato la maggioranza dei suoi studi, conta numerosissime pubblicazioni. Nel 1967 gli è stato conferito il titolo di Commendatore al merito della Repubblica.

I suoi contatti con la speleologia risalgono alla prima giovinezza e le sue esplorazioni sono sempre state accompagnate da attività di ricerca, sintetizzate spesso in pubblicazioni. Ha partecipato a numerosi congressi nazionali ed internazionali di speleologia ed è socio della S.S.I. da vecchia data.

In campo speleologico conta diverse pubblicazioni, dedicate in particolare a grotte trentine ed alle concrezioni ipogee.

Indirizzo: Via Marsala 13, 38100 Trento.

Prof. HENRI ROQUES (Francia)

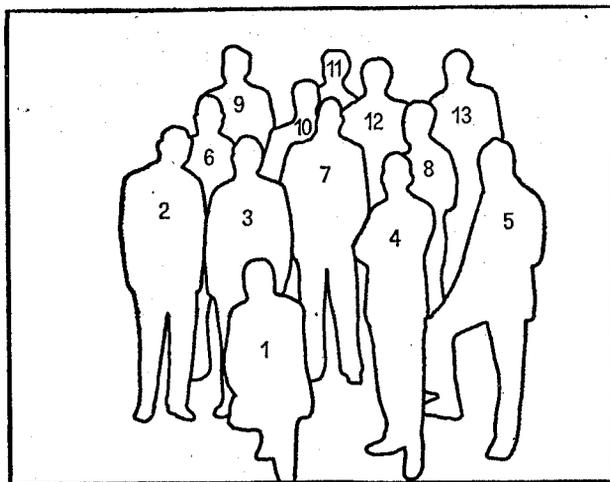
E' nato nel 1933 a Gramat (Lot, Francia). Ha compiuto gli studi superiori alla Scuola Nazionale Superiore delle Arti e Mestieri (Aix, Parigi, 1956) ed all'Università della Sorbona (1956-1958).

Dal 1961 al 1964 ha prestato servizio come ingegnere di ricerche presso il Laboratorio Sotterraneo di Moulis (Ariège, Francia) del C.N.R.S. Si è laureato con una tesi su « Lo studio statico e cinetico dei sistemi carbonati $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ». Dal 1964 è stato assistente prima e professore poi presso il Dipartimento di Chimica Industriale dell'Istituto Nazionale di Scienze Applicate (Tolosa), presso il quale lavora tuttora.

Ha compiuto diversi lavori di ricerca ad indirizzo chimico, svolgendo contemporaneamente attività didattica. Dal 1967 è l'animatore di un gruppo di ricerca sui trattamenti delle acque.

E' autore di numerose pubblicazioni, per la maggior parte su riviste francesi, dedicate in particolare ai problemi chimici della speleogenesi, di cui è uno specialista a livello internazionale.

Indirizzo: Département de Chimie, Institut National des Sciences Appliquées, Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse Cedex (Francia).

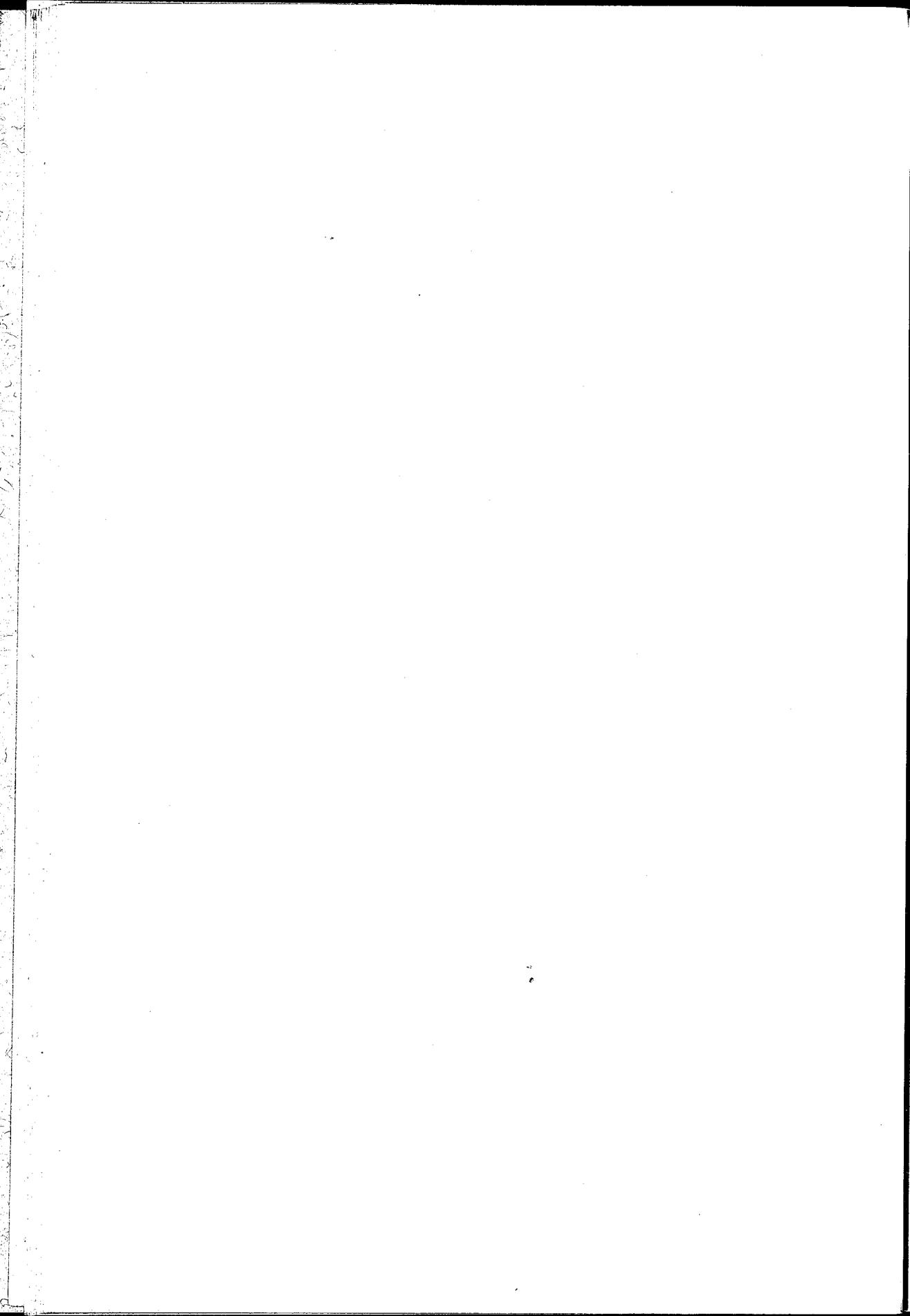


Organizzatori e relatori del Seminario di Speleogenesi:

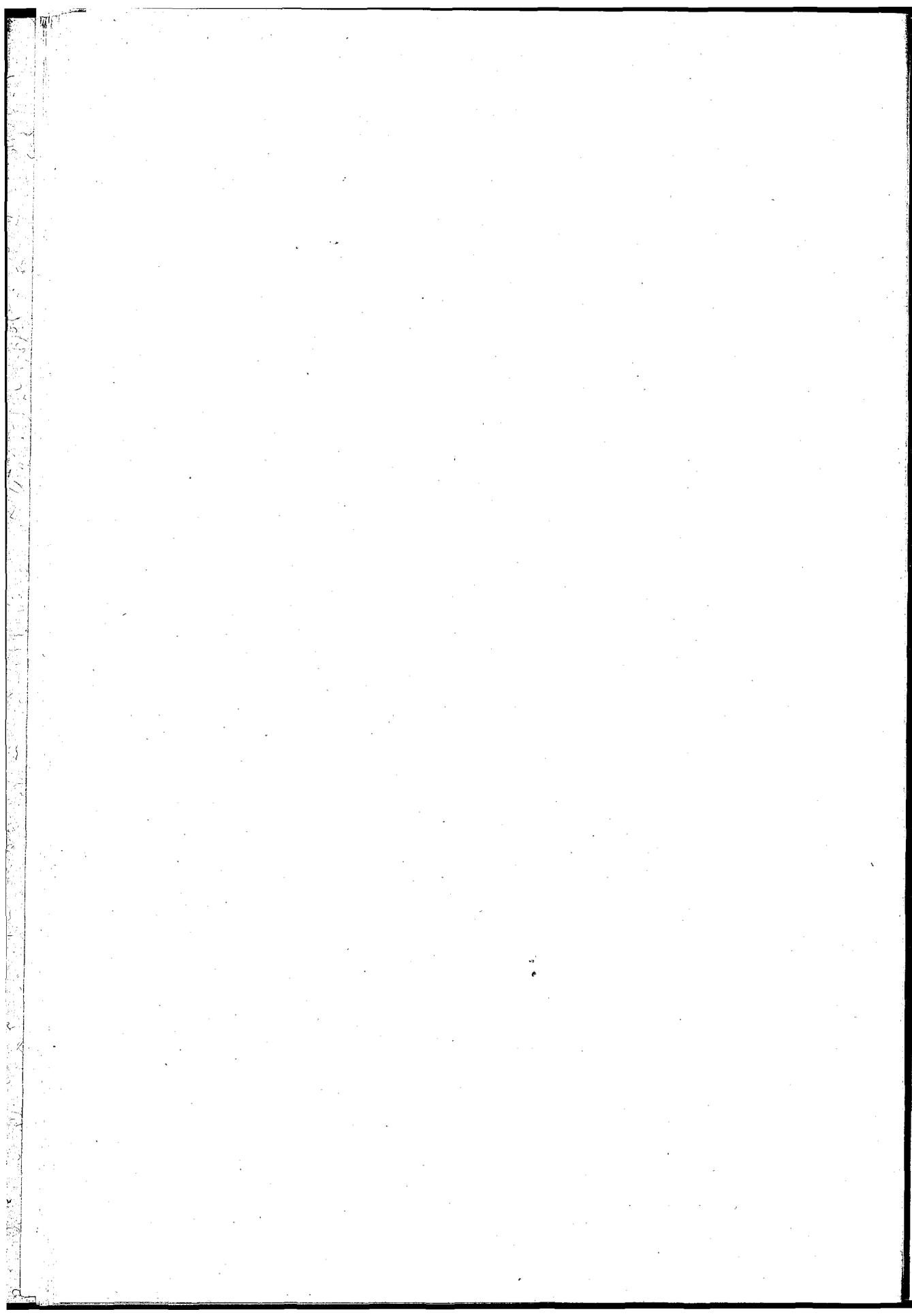
1 - LAMBERTO LAURETI - 2 ALFRED BOGLI. 3 - FRANCO ANELLI. 4 - ARRIGO CIGNA. 5 - GIORGIO PASQUINI. 6 - HENRI ROQUES. 7 - GIULIANO PERNA. 8 - WALTER MAUCCI. 9 - MARIO BERTOLANI. 10 - GIANCARLO PASINI. 11 - GIULIO CAPPÀ. 12 - GIULIO BADINI. 13 - GIUSEPPE DEMATTEIS.

[Foto A. Piciocchi]



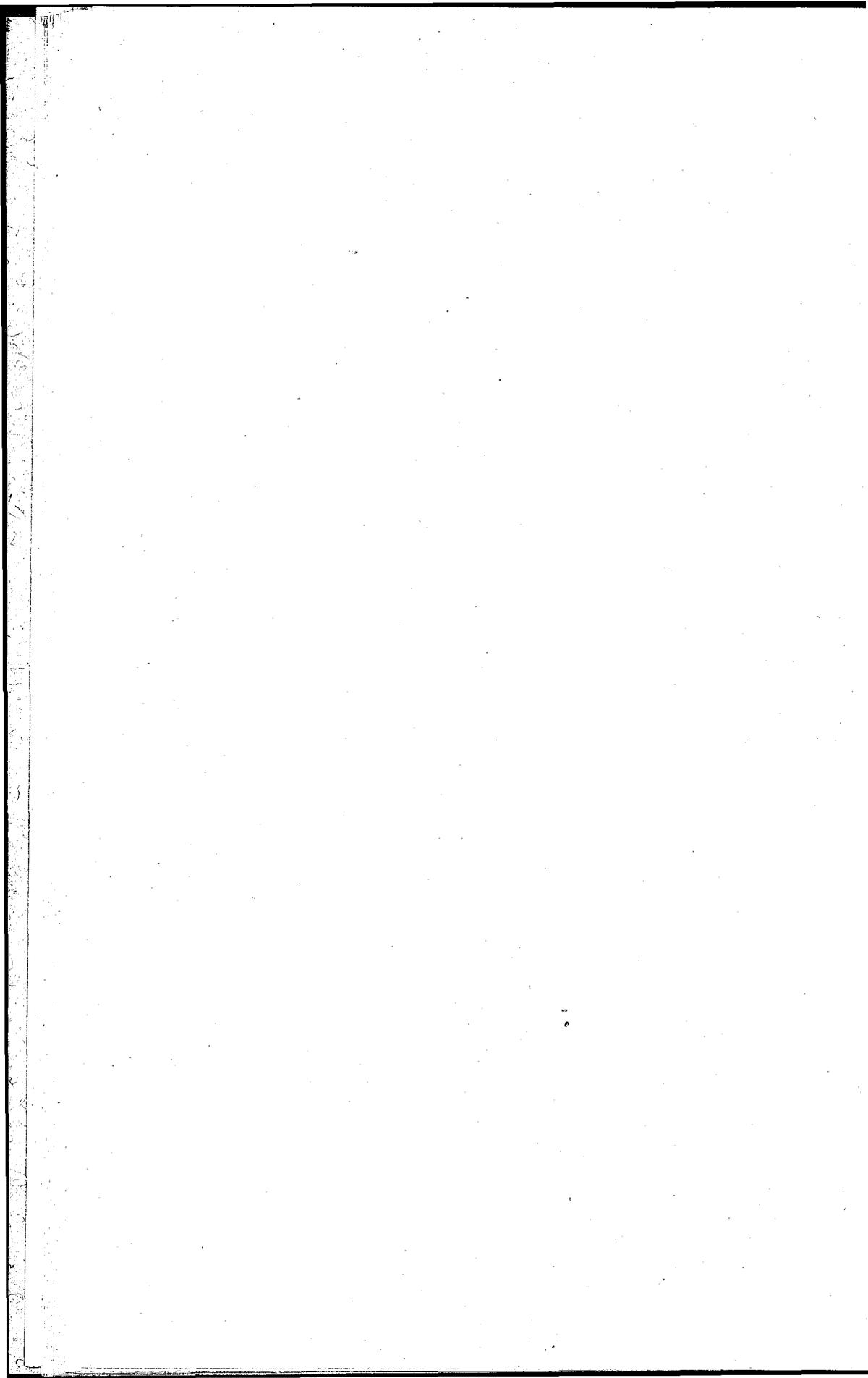


ATTI DEL SEMINARIO



SEDUTA INAUGURALE

Mattino del 5 Ottobre 1972



PROF. ARRIGO CIGNA, DIRETTORE DEL SEMINARIO

Desidero aprire questo Seminario a nome della Società Speleologica Italiana. Il presente corso è stato infatti voluto ed organizzato dalla S.S.I. nello scorso anno, sebbene l'idea iniziale risalga ancor più indietro nel tempo.

Lo scopo che ci prefiggiamo è di approfondire la conoscenza di uno degli aspetti più importanti della speleologia, di sondare ulteriormente nei problemi che sono alla base dell'esistenza stessa delle grotte.

Mi è quindi gradito porgere a tutti il benvenuto, ringraziare quanti hanno in vario modo contribuito alla riuscita di questa iniziativa e ringraziare tutti voi per aver accolto il nostro invito.

Dò lettura di due telegrammi appena pervenutici e che ci fanno particolarmente piacere; il primo è dell'Onorevole ROMITA, Ministro della Ricerca Scientifica:

« Rammaricato di non poter partecipare al Seminario di Speleogenesi, invio mio saluto augurale ai partecipanti Seminario et a lei migliori saluti. Pier Luigi Romita ».

L'altro telegramma è del Senatore SPAGNOLLI, Presidente del Club Alpino Italiano:

« Vivamente spiacente precedenti impegni impediscanmi presenziare inaugurazione Seminario Speleogenesi, desidero inviare mia piena adesione et solidarietà ad validissima iniziativa. Beneaugurando svolgimento lavori, saluto cordiamente, grato se potrò ricevere poi Atti Seminario. Giovanni Spagnoli ».

Passo ora la parola al Dottor FORNI, assessore alla Pubblica Istruzione di Como, e colgo l'occasione per ringraziare le autorità locali per quanto hanno fatto a nostro favore.

DOTT. LUCIANO FORNI, ASSESSORE ALLA PUBBLICA ISTRUZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI COMO

Porgo al direttore del Seminario, al chiarissimo prof. NANGERONI ed a tutti i partecipanti il saluto augurale dell'Amministrazione Provinciale di Como, del suo presidente Giovanni Fiammenghi — che è anche presidente dell'Ente Villa Monastero — nonché mio personale. Noi siamo onorati di potervi ospitare qui a Villa Monastero, in questo luogo che vede ogni anno radunati studiosi delle più varie discipline.

Non intendo addentrarmi in temi specifici, desiderando solo augurarvi un felice soggiorno — che, per quanto in nostro potere, abbiamo fatto in modo sia il migliore possibile — ed auspicare che le vostre discussioni sfocino in positive conclusioni, in quanto i vostri studi sono del massimo interesse non solo per la scienza, bensì anche per le amministrazioni locali, date le loro molteplici implicazioni pratiche nei campi dell'idrologia, dell'ecologia e del turismo.

Ritengo infatti che i pubblici amministratori dovrebbero avere sempre l'occhio attento a questo tipo di iniziative, per servirsi di ogni suggerimento che ne scaturisce, al fine di impostare una saggia politica del territorio che possa veramente salvaguardare il suolo; l'ambiente e la natura in genere. Vi ringrazio pertanto per la vostra scelta, che ci onora, e vi auguro buon lavoro.

PROF. GIUSEPPE NANGERONI, CONSIGLIERE DELLA SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

Quasi esattamente dodici anni fa, in questa stessa ospitale e serena Villa Monastero, si teneva un'altro seminario di speleologia, al quale anzi qualcuno di voi ha partecipato. Il tema era allora *Riempimenti naturali di grotte*, cioè precisamente l'opposto, almeno in linea generale, del tema scelto per l'attuale seminario: *Speleogenesi*. Si è cominciato dalla malattia e dalla morte di una grotta per giungere ora allo studio dei vari modi in cui una grotta, un vuoto nelle viscere dei monti, può nascere ed evolversi nei suoi aspetti morfologici.

Da varie parti la Società Speleologica Italiana era stata sollecitata a sviluppare iniziative intese all'approfondimento scientifico dei problemi riguardanti la speleologia. Per questa ragione il Consiglio della S.S.I. ha ritenuto opportuno di organizzare un seminario dedicato all'argomento che, per così dire, stà alla base di qualsiasi studio delle grotte: la speleogenesi.

Per la sede del corso la scelta è caduta subito su Varenna, che univa ai vantaggi della posizione centrale, e facilmente raggiungibile, il prestigio di un nome che richiama alla mente ENRICO FERMI e la sua scuola. Per questo, dopo un primo contatto iniziato nel maggio 1971 con l'Ente Villa Monastero, nell'ottobre dello stesso anno si fissava definitivamente la data.

Intanto, fin dal giugno 1971, erano stati invitati come relatori ufficiali i Proff. ROQUES, ANELLI, MAUCCI e BOGLI, che accoglievano di buon grado questo invito. L'aver potuto riunire questi studiosi dava sicura ga-

ranza di poter svolgere un ottimo lavoro nell'illustrazione delle moderne teorie speleogenetiche.

A fianco dei relatori principali venivano successivamente invitati altri specialisti che, presentando alcune comunicazioni, dovevano sviluppare temi specifici che allargassero ed approfondissero così l'interesse sull'argomento.

All'inizio del 1972 l'Union Internationale de Spéléologie, attraverso i colleghi Proff. GÈZE e TRIMMEL, rispettivamente presidente e segretario generale dell'Unione, che qui vivamente ringraziamo, poneva sotto i suoi auspici il corso che era stato denominato ufficialmente « Seminario di Speleogenesi ». Il direttore del corso, CIGNA, libero docente in speleologia ed infaticabile presidente della Società Speleologica Italiana, si è occupato del programma scientifico, mentre il segretario organizzativo, BADINI, consigliere della S.S.I., si è sobbarcato l'ingente mole di lavoro necessaria per la realizzazione dell'iniziativa. A CIGNA e a BADINI va il nostro cordiale ringraziamento.

Credo di poter esprimere a nome di tutti i più vivi ringraziamenti all'Ente Villa Monastero che generosamente ci ospita; poi a quegli Enti che, con i loro contributi, hanno risolto il problema finanziario, se non integralmente, almeno per gran parte, e cioè: la Società Speleologica Italiana, il Ministero della Pubblica Istruzione, l'Amministrazione Provinciale di Como, la Cassa di Risparmio delle Province Lombarde e la Banca Popolare di Lecco. Hanno poi contribuito, mettendo a disposizione materiale vario, la Società Kodak, la Compagnia Lombarda di Assicurazione, la Società Assicuratrice Industriale, la Pro Loco di Varenna e l'Ente Provinciale Turismo di Como, a cui va la nostra riconoscenza. E un ringraziamento vivissimo va anche all'Istituto Italiano di Speleologia nelle persone dell'amico comune FRANCO ANELLI, del Prof. RAIMONDO SELLI e del Dott. GIANCARLO PASINI, che ha curato la stampa dei Preprints e che si occuperà della redazione degli Atti di questo Seminario.

Permettete ora che io legga i nomi dei relatori che ci intratterranno in questi giorni.

Nel pomeriggio di oggi abbiamo una relazione e due comunicazioni: il Prof. ROQUES ci parlerà, con tutta la sua esperienza, della chimica dei carbonati e dell'idrologia carsica, due problemi nettamente fondamentali; il Prof. PERNA illustrerà le relazioni intercorrenti tra fenomeni carsici (spesso molto antichi) e giacimenti minerali; il Dott. BERNASCONI presenterà invece una comunicazione sul *mondmilch* (che volentieri tradurrei in italiano con *latte di luna*, piuttosto che con *latte di monte*).

Il Prof. ANELLI esprimerà domani mattina il suo pensiero sulla distinzione tra fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici; questa relazione contribuirà, tra l'altro, a rendere più chiara e univoca la terminologia, che ha il suo valore, anche se non rappresenta l'essenziale della scienza. Seguirà il Prof. BERTOLANI, profondo conoscitore del territorio preappenninico, presentando sue considerazioni sul fenomeno carsico nei gessi. Infine il Dott. LAURETTI comunicherà alcuni suoi pensieri sul fenomeno carsico di

superficie; la terminologia del fenomeno carsico superficiale è assai interessante poiché in essa convergono termini di lingue e dialetti diversi, come il germanico *Kar* e il latino *lapis*, lo sloveno *dolina* e il lombardo-bresciano *violet*, il serbo-croato *polje* e l'italiano *campo* o *piano*, ecc.

Nel pomeriggio di domani abbiamo un'altra fondamentale relazione del Prof. MAUCCI sulla notissima teoria dell'erosione inversa o dei « fusi », mentre il dott. PASINI ci parlerà della sua teoria sull'erosione antigravitativa ed il dott. PASQUINI ci intratterà sull'importanza della condensazione e della percolazione.

Sabato il Prof. BOGLI riserva per noi le conclusioni di un altro argomento fondamentale, nel quale egli si è particolarmente specializzato: quello della corrosione per miscuglio di acque; tali conclusioni aprono la via a spiegazioni di fenomeni fino ad ora difficilmente comprensibili. Sulle forme vadose ci parlerà invece il Prof. DEMATTEIS, che dalla geografia economica ogni tanto evade per tornare al suo primo amore, la speleologia. L'Ing. CAPPA discuterà poi dell'applicabilità delle teorie evolutive del fenomeno carsico in zone a forte perturbazione tettonica. Concluderà infine il prof. CIGNA con una sintesi sulle principali teorie speleogenetiche.

Il Seminario si chiuderà con l'escursione al Buco del Piombo, sopra Erba, una delle grotte suborizzontali più interessanti della Lombardia, data anche la complicata tettonica del massiccio in cui è scavata.

Sono convinto che questi tre brevi giorni serviranno ad illuminarci sempre meglio sui vari aspetti e sulle cause del fenomeno speleogenetico; aspetti e cause che vanno dagli elementi meteorici — o addirittura climatici e microclimatici — agli elementi litici e tettonici, in funzione diretta od indiretta, variabili gli uni e gli altri nello spazio e nel tempo. Oggi si chiedono dati precisi, tanto da aver bisogno dell'aiuto del matematico e della statistica per i necessari calcoli, mentre prima ci si poteva accontentare anche della pura e semplice analisi morfologica. Le osservazioni debbono sempre essere accompagnate dalla conoscenza di una fitta casistica e da un notevole senso critico.

Io però vedo tra voi anche degli « esploratori puri », cioè degli amici che vanno di grotta in grotta quasi solo perché esistono le grotte, come un alpinista puro va sulle cime solo per conquistarle, « perché le vette sono là ». Cari amici esploratori, voi avete il compito dei pionieri. Il laboratorio ha molta importanza, ma il lavoro di campagna ne ha per lo meno altrettanta, ed è veramente di pochi entusiasti il privilegio di scoprire le vie aperte dalla natura negli abissi terrestri. Le scoperte che voi potete compiere non solo serviranno per la soddisfazione del vostro spirito e del vostro intelletto, ma anche per la scienza.

Ringrazio voi, cari colleghi ed amici, che avete voluto accettare l'invito del presidente CIGNA e del Consiglio della Società Speleologica Italiana — certamente anche con un po' di sacrificio — di partecipare a questo Seminario e di illuminarci con la vostra parola, che esprime tutta la vostra esperienza di laboratorio e di campagna. Non mi resta che augurare un ottimo esito di questo Seminario, perché tale fu il desiderio e l'intendimento dei suoi promotori nel periodo di preparazione. Vogliate scusare

le imprevedibili deficienze, che non vanno però tutte imputate agli organizzatori.

E il più grande augurio che a tutti porgo è che, tornando al nostro lavoro quotidiano, possiamo ricordare queste giornate come un periodo lieto e fecondo, e che da questo Seminario si esca con qualcosa di concreto per la parte scientifica, con qualche grammo in più di entusiasmo nelle nostre ricerche e con molti chilogrammi in più di amicizia e di stima reciproca; amicizia fattiva, che si realizzi non solo in parole o complimenti, ma anche in attiva collaborazione, nonostante che le esigenze dei tempi attuali comportino, purtroppo, eccessivi impegni di lavoro e frustrazioni e sacrifici: ma è col sacrificio che si crea qualche cosa di valido e duraturo.

DOTT. HUBERT TRIMMEL, SEGRETARIO GENERALE DELL'UNION INTERNATIONALE DE SPÉLÉOLOGIE

Signore e signori, ho l'onore di portarvi i migliori auguri per i lavori di questo Seminario, quale membro del Consiglio dell'Union Internationale de Spéléologie e, in questo momento, quale suo rappresentante ufficiale.

Questa manifestazione, senza dubbio molto importante per lo sviluppo della speleologia, si svolgerà sotto gli auspici dell'U.I.S. Lo sviluppo della speleologia e degli studi scientifici su questo argomento in una nazione sono sempre il segno di un progresso dal punto di vista internazionale. Per questa ragione l'Union Internationale de Spéléologie ha accettato con entusiasmo di dare il suo patrocinio a questo Seminario.

Permettete infine che io esprima il ringraziamento dell'U.I.S. alla Società Speleologica Italiana, agli organizzatori ed a tutti i partecipanti per averci dato l'occasione di discutere le teorie sulla formazione e sullo sviluppo delle grotte. Si tratta di uno dei problemi più importanti della speleologia e sono certo che le discussioni saranno molto fruttuose. Mi auguro anche che, in occasione del prossimo Congresso Internazionale di Speleologia che avrà luogo l'anno prossimo in Cecoslovacchia, si possano già avere i primi frutti delle discussioni di questi giorni, su un piano internazionale e per il progresso della speleologia in tutto il mondo.

GIULIO BADINI, SEGRETARIO ORGANIZZATIVO DEL SEMINARIO

Permettete anche a me, come responsabile dell'organizzazione, di porgervi, dopo le illustri persone che mi hanno preceduto, il mio saluto ed il mio benvenuto.

Desidero informarvi velocemente di una constatazione, certo esulante dai temi del Seminario, che ho potuto rilevare nella mia posizione di segretario. A questa iniziativa, promossa dalla Società Speleologica Italiana ma aperta a tutti ed alla quale avete risposto in numero superiore al previsto, solo una parte dei partecipanti è iscritta alla S.S.I. Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, io ritengo ciò un fatto positivo, per almeno tre ordini di ragioni: 1) perché molti, che hanno finora guardato con un certo scetticismo alla S.S.I., potranno toccare con mano un'altra

delle sue non indifferenti realizzazioni; 2) perché ciò dimostra che esiste ancora un certo potenziale speleologico che la S.S.I. potrà acquisire solo con la propria tangibile attività; 3) perché i positivi risultati fin qui conseguiti dalla S.S.I. con i mezzi e gli uomini di cui disponeva potranno essere in futuro notevolmente ampliati, se riusciremo a potenziare — anche quanto a numero di soci — la S.S.I., convogliandovi tutte le forze attive della speleologia italiana.

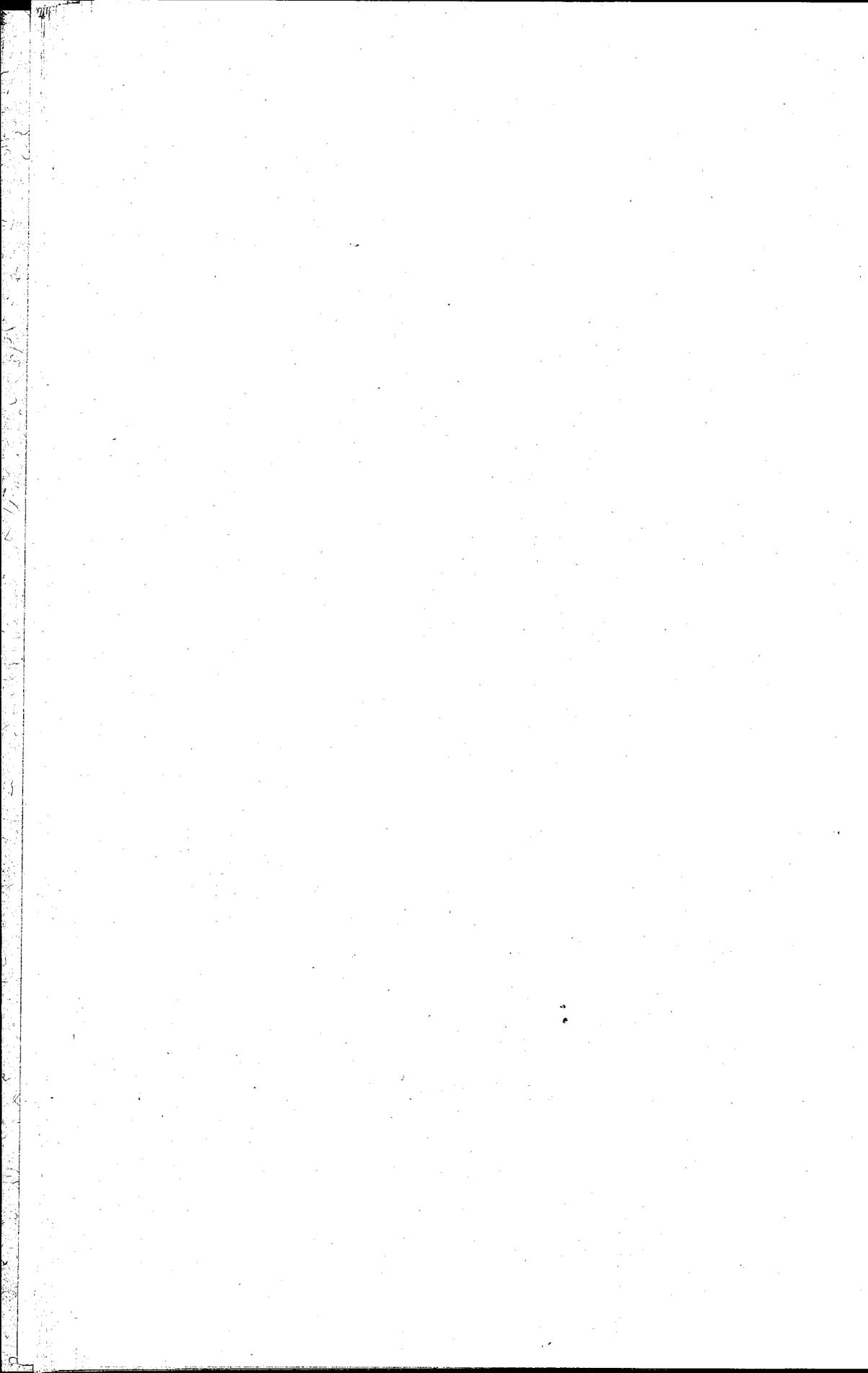
Detto questo, spero che abbiate tutti avuto una soddisfacente sistemazione: in caso negativo la responsabilità è unicamente mia, e vi prego pertanto di volermi perdonare. Purtroppo non era facile conciliare tante diverse esigenze e, per giunta, io mi sono trovato alla prima esperienza in tal senso.

Avremmo voluto potervi offrire più di quanto siamo riusciti a darvi ed accogliervi in modo migliore, ma le limitate disponibilità finanziarie — causa il mancato appoggio, salvo alcune lodevoli eccezioni, di molti Enti centrali e locali — non ce lo hanno permesso.

Non mi resta che rinnovarvi l'augurio di un buon soggiorno e di buon lavoro.

SECONDA SEDUTA

Pomeriggio del 5 Ottobre 1972



HENRI ROQUES (*)

CHIMICA DEI CARBONATI ED IDROGEOLOGIA CARSICA (1)

RIASSUNTO - Il fenomeno carsico è grandemente condizionato dalle reazioni chimiche che avvengono nelle zone calcaree. La chimica dei carbonati è pertanto fondamentale in ogni studio sulla chimica del carso.

Le acque carsiche giocano inoltre un ruolo importante negli equilibri delle reazioni sopra indicate. Sono state prese in considerazione anche le influenze dei solfati, dei cloruri e del magnesio nonché della temperatura.

È stata infine discussa anche l'evoluzione degli equilibri in funzione dei diversi parametri.

SUMMARY - The karstic phenomenon is considerably influenced by the chemical reactions taking place in the limestone area. The chemistry of the carbonates is therefore predominant in any chemical study of the karst.

The karstic waters play also a fundamental role in the equilibria of the above recalled reactions. The influences of sulfates, chlorides and magnesium are taken into account as well as that of temperature.

The evolution of the equilibria in function of the different parameters is also discussed.

Il fenomeno carsico è in gran parte dovuto ad azioni chimiche di cui è responsabile l'anidride carbonica e il cui veicolo è l'acqua. Esso interessa rocce i cui componenti essenziali sono dei carbonati alcalino-terrosi.

Il sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-carbonato}$ rappresenta dunque l'elemento di base di tutti gli studi carsochimici: al fine di dare un carattere di maggiore generalità alle note che seguono considereremo in primo luogo un carbonato di comodo che chiameremo MeCO_3 .

(*) Département de Chimie, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse Cedex (Francia).

(1) Ristampato da: Mémoires et Documents, a. 1967 - nouv. série, vol. 4, Phénomènes Karstiques, Ed. C. N. R. S., Paris 1968. Traduzione: Daria Cabassi Clò.

Il simbolo Me rappresenterà un metallo bivalente fittizio che servirà a stabilire le equazioni fondamentali della chimica dei carbonati. In seguito applicheremo questi risultati ai carbonati dei due metalli che interessano per gli studi carsici: il calcio e il magnesio.

Parleremo con maggiore ampiezza del carbonato di calcio che presenta la particolarità di essere sia il più abbondante in natura sia il meno solubile fra i sali abitualmente presenti nelle acque naturali. Per tali ragioni esso rappresenta l'impurità principale, suscettibile di precipitare per prima e nei confronti della quale gli altri ioni presenti svolgono il ruolo di ioni secondari estranei al sistema di base.

Lo studio delle acque naturali presenta attualmente un grande interesse. Per lungo tempo considerato come una risorsa inesauribile questo liquido banale diventa ogni giorno più prezioso via via che aumentano le esigenze di un'umanità in aumento esplosivo. Tale situazione è favorevole allo sviluppo di nuovi studi e in effetti le pubblicazioni sull'argomento si moltiplicano. Le idee e i dati numerici sui quali lavorano i professionisti del condizionamento delle acque mutano rapidamente e cercheremo qui di fare il punto sulle acquisizioni più recenti, in particolare per quanto attiene la valutazione degli equilibri.

Ciò non significa che tutti i problemi siano risolti. Le condizioni per la formazione della dolomia restano oscure come le condizioni esatte di equilibrio del CaCO_3 in ambiente marino. La genesi delle formazioni del tipo *mondmilch* resta parimenti inspiegata, vale a dire che nuove ricerche sono ancora necessarie. Cercheremo quindi in questa sede di identificare gli interrogativi che rimangono da risolvere e le vie di esplorazione che si aprono all'indagine scientifica. Non si tratta di presentare in questa sede uno studio esauriente di questi sistemi, ma cercheremo di operare una messa a punto chiara e precisa che verta sulle idee più che sulle formule. Vorremmo quindi che ci venissero scusate le approssimazioni che opereremo a favore di una maggiore semplificazione.

I-1-STUDIO DEL SISTEMA $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-MeCO}_3$

Il sistema comporta tre fasi:

- 1) una fase gassosa, rappresentata da un miscuglio aria- CO_2 e caratterizzata dalla pressione parziale di CO_2 nel miscuglio che chiameremo P_{CO_2} .

Questa pressione parziale va in media dalle 3 alle $4 \cdot 10^{-4}$ atm nel-

l'atmosfera terrestre. Nella rizosfera essa può raggiungere valori considerevolmente più alti in funzione della attività biologica esistente a questo livello. Tale attività dipende dalla latitudine e dall'altitudine del luogo considerato, dall'umidità e dalla temperatura medie, dal tipo di terreno, dalla vegetazione che lo ricopre, dalla stagione ecc. Pressioni parziali di CO_2 che vanno da $2 \cdot 10^{-2}$ a $2 \cdot 10^{-3}$ atm sono normali nei terreni ben formati (DUCHAUFOUR 1960, POCHON & DE BARJAC 1958). Tuttavia, in alta montagna, il terreno agricolo può essere inesistente ed essere sostituito da affioramenti diretti della roccia su superfici notevoli in cui la pressione parziale del CO_2 quasi raggiunge le $3 \cdot 10^{-4}$ atm.

La fonte di CO_2 responsabile di tutti i fenomeni di carsificazione chimica si localizza essenzialmente a questo livello.

Le quantità di CO_2 apportate direttamente dalle acque piovane o di ghiacciaio, così come le tracce di acidi vari dissolte col passaggio nell'atmosfera e contenute in queste stesse acque meteoriche sono sempre del tutto trascurabili nei confronti della CO_2 di origine rizosferica (ROQUES 1962, EK 1964). I vari acidi organici liberati a contatto delle radici possono introdurre in sede strettamente locale aspetti di corrosione particolari ma, quantitativamente, sono anch'essi sempre trascurabili.

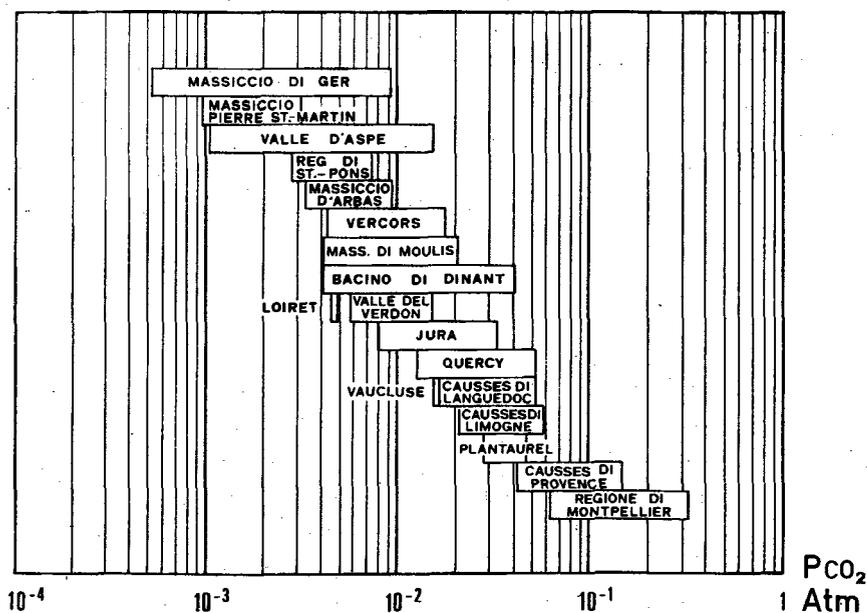


Figura 1

L'acqua acquisisce dunque la sua aggressività a livello del terreno e comincia immediatamente a sciogliere il carbonato di calcio. A questo livello il suo progredire è lento e il suo stato di dispersione assai notevole; è in questo momento che essa acquista assai rapidamente la maggior parte della sua mineralizzazione dal momento che è nelle condizioni di maggiore velocità di reazione.

Sotto il terreno propriamente detto l'acqua è generalmente raccolta da una rete di fratture in cui la produzione di CO_2 è pressochè completamente bloccata. Gli scambi di CO_2 fra l'acqua e l'atmosfera racchiusa in questa rete portano assai rapidamente all'instaurarsi di una fase gassosa praticamente ricca come la rizosfera e il cui notevole volume serve da tampone nei confronti delle sue variazioni col passare del tempo (variazioni stagionali o collegate alla piovosità). A questo livello la fase liquida è ancora assai dispersa, il suo rapporto superficie/volume è alto e la mineralizzazione prosegue ma in maniera molto più lenta.

Nei drenaggi rilevanti l'acqua prosegue il suo cammino in reticoli di condotti. Il rapporto superficie/volume della fase liquida diminuisce, aumenta la velocità di circolazione e la mineralizzazione prima notevole porta a delle velocità di dissoluzione della fase solida molto più scarse. Tutto ciò fa sì che l'erosione chimica a questo livello perda molta della sua importanza a favore dell'erosione meccanica. La pressione parziale di CO_2 nel sistema di condotti può, nella migliore delle ipotesi, essere pressochè eguale alla pressione parziale di CO_2 della rizosfera sottostante. In generale, e soprattutto nel caso di tutte le cavità accessibili la possibilità di scambi gassosi con l'atmosfera esterna porterà a pressioni parziali di CO_2 nettamente inferiori. Nel caso di reticoli a grande sviluppo verticale si potrà perfino giungere, con l'instaurarsi di correnti d'aria in comunicazione con l'esterno, ad una vera e propria estrazione che comporta pressioni parziali di CO_2 estremamente basse.

I fenomeni di riprecipitazione del CaCO_3 all'origine dei concrezionamenti vengono prodotti da questa diminuzione della pressione parziale di CO_2 nella fase gassosa che inverte il senso degli scambi di CO_2 all'interfaccia liquido-gas.

Se si fanno delle misurazioni su acque direttamente provenienti da reti di fratture o da reti di condotti relativamente ben isolate dall'esterno (vere risorgenti) si può ammettere che esse sono più o meno in equilibrio in rapporto alla pressione parziale di CO_2 nella fase gassosa e si può così avere una misura indiretta delle potenzialità di corrosione di questi sistemi carsici (ROQUES 1959 e 1963). È così possibile stabilire una classi-

ficazione dei carsi secondo le pressioni parziali di CO_2 medie interne crescenti (fig. 1). Il confronto con le caratteristiche geomorfologiche mostra che la diminuzione di questa pressione parziale di CO_2 dipende in particolare dall'aumento dell'altitudine e dalla pendenza media delle circolazioni (le due funzioni essendo in generale collegate). Tale pressione parziale media caratteristica della CO_2 controlla tutta la cinetica delle reazioni di dissoluzione o di deposito e in una certa misura la natura cristallografica di quest'ultimo, la sua importanza e la sua morfologia.

2) una fase solida rappresentata dai carbonati contenuti nella roccia madre nel caso di acqua aggressiva o dal deposito in corso di formazione nel caso di acqua incrostante. Le rocce carsogene sono ricche di carbonato di calcio al quale si associano talvolta il carbonato di magnesio (Nesquehonnite; $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e il carbonato doppio di calcio e di magnesio (dolomite: $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). La presenza di altri carbonati è eccezionale e può essere generalmente trascurata.

Le varie possibilità di combinazione fra gli ioni presenti nella fase liquida portano a supporre a priori diverse possibilità di precipitazione:

a) l'idrossido $\text{Me}(\text{OH})_2$ se gli ioni Me^{++} e OH^- sono assai abbondanti (pH della soluzione elevato) potrà precipitare se il suo prodotto di solubilità

$$(\text{Me}^{++})(\text{OH}^-)^2 = H \quad (1)$$

viene raggiunto prima di quello degli altri sali che si possono formare. Questo caso non si avrà mai nei sistemi naturali $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ a causa dell'altissima solubilità dell'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Per contro, in presenza del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-MgCO}_3$ la precipitazione dell'idrossido, associato al carbonato nell'idromagnesite $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ è possibile per pH osservabili nell'evoluzione di certe acque sotterranee;

b) il carbonato molto più frequentemente sarà il sale il cui prodotto di solubilità:

$$(\text{CO}_3^{--})(\text{Me}^{++}) = \pi \quad (1')$$

sarà raggiunto per primo nelle condizioni di evoluzione normale delle acque naturali incrostanti;

c) il bicarbonato molto più solubile nel caso di acque naturali non ha praticamente alcuna possibilità di apparire.

Bisogna considerare non soltanto la composizione chimica del precipitato ma anche la sua struttura cristallografica, quando uno stesso composto chimico può esistere allo stato stabile o metastabile sotto parecchie forme allotropiche a contatto con l'acqua. Sarà questo il caso del CaCO_3 le cui due varietà, calcite e aragonite, hanno prodotti di solubilità differenti. Sarà anche il caso dei carbonati di magnesio di cui si conoscono parecchi gradi di idratazione.

3) una fase liquida che è generalmente la sola ad esser presa in considerazione, il che porta a ragionamenti speciosi e ad una concezione totalmente errata dall'aspetto fisico dei fenomeni in gioco.

Nell'interfaccia liquido-gas si genera uno scambio di CO_2 per tendere verso un equilibrio tra la quantità di CO_2 disciolta nel liquido e la pressione parziale di CO_2 nel gas. Tale equilibrio è espresso dalla legge di HENRY:

$$P_{\text{CO}_2} = D(\text{CO}_2) \quad (2)$$

La CO_2 disciolta si idrata dando ciò che si suole chiamare acido carbonico, la cui esistenza si manifesta con l'apparire in soluzione degli ioni HCO_3^- e CO_3^{--} .

Le due funzioni acide liberate sono di forze diseguali e portano alle equazioni di dissociazione seguenti:

$$\frac{(\text{HCO}_3^-)(\text{H}^+)}{(\text{CO}_2)} 10^{-\kappa_1} \quad (3)$$

$$\frac{(\text{CO}_3^{--})(\text{H}^+)}{(\text{HCO}_3^-)} 10^{-\kappa_2} \quad (4)$$

Fisicamente, ciò significa che quando il pH della fase liquida sarà basso, ci saranno assai pochi ioni CO_3^{--} (il loro numero è trascurabile nei confronti di quello degli ioni HCO_3^- quando il pH è inferiore a 8,3) e molti ioni HCO_3^- e CO_2 non idratata, semplicemente sciolta (CO_2 libera).

A pH elevati (superiori a 8,3) al contrario, sarà la CO_2 libera ad essere trascurabile e gli ioni CO_3^{--} e HCO_3^- predomineranno. La ripartizione del carbonio tra queste tre forme può essere rappresentata graficamente come riportato in fig. 2. Per altro, in tutti i casi pratici, gli ioni H^+ liberati mediante idratazione della CO_2 saranno in numero trascurabile in rapporto agli ioni HCO_3^- . La stessa cosa accade per gli ioni OH^- prove-

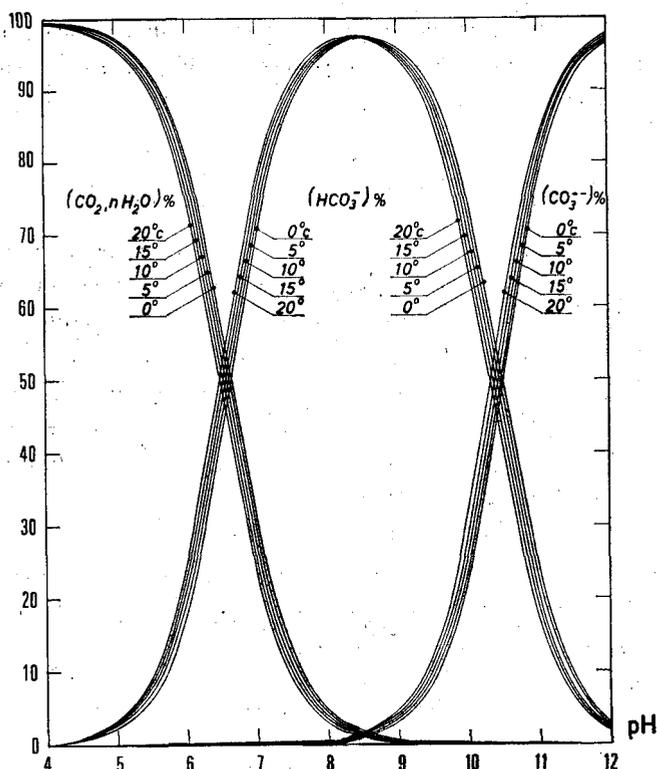


Figura 2

nienti dalla dissociazione spontanea dell'acqua secondo la relazione:

$$(\text{OH}^-)(\text{H}^+) = 10^{-K_w} \quad (5)$$

che, per le acque naturali, saranno sempre in numero trascurabile in rapporto agli ioni HCO_3^- .

Il catione Me^{++} è introdotto nell'interfaccia solido-liquido per passaggio in soluzione della fase solida. Per spiegare alcune particolarità dei diagrammi di saturazione rilevati sperimentalmente si è stati spinti a considerare (GREENWALD 1941) che una certa frazione del catione così introdotto si combini con gli ioni HCO_3^- e CO_3^{--} presenti per dare:

— da un lato uno ione « complesso » MeHCO_3^+ la cui concentrazione può essere dedotta da

$$\frac{(\text{HCO}_3^-)(\text{ME}^{++})}{(\text{MeHCO}_3^+)} = 10^{-K_4} \quad (6)$$

— dall'altro delle molecole, libere in soluzione, di carbonato non dissociate e designate con MeCO_3° , a proposito delle quali si può scrivere una nuova relazione:

$$\frac{(\text{CO}_3^{--})(\text{Me}^{++})}{(\text{MeCO}_3^\circ)} = 10^{-K_s} \quad (7)$$

Nel caso del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ queste due forme sono trascurabili. Nel caso del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-MgCO}_3$ al contrario, una frazione importante del Mg^{++} passato in soluzione si trova fissata in questo tipo di associazioni. In molte acque di regioni carsiche che si possono considerare come sistemi $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ contenenti un certo numero di ioni estranei, vedremo che la presenza di ioni Mg^{++} si tradurrà in un aumento apparente della solubilità del CaCO_3 a causa della cattura di una frazione di questi ioni Mg^{++} da parte degli ioni CO_3^{--} e HCO_3^- presenti.

All'interfaccia solido-liquido diffondono anche gli ioni CO_3^{--} liberati insieme ai cationi mediante la solubilizzazione del carbonato solido. La maggior parte di questi ioni viene trasformata in HCO_3^- dalla CO_2 uscita dalla fase gassosa secondo lo schema generale:



e non si differenzia più dagli ioni HCO_3^- risultanti dall'idratazione e dalla ionizzazione della CO_2 disciolta. La dissoluzione cessa (punto di saturazione) quando, essendo il liquido in equilibrio con la fase gassosa, il prodotto di solubilità del sale solido meno solubile viene raggiunto nelle condizioni presenti.

Va notato che l'equilibrio realizzato così dipende soltanto dalla pressione parziale della CO_2 nella fase gassosa e che si ottiene lo stesso risultato utilizzando come fase solida l'idrossido, il carbonato o il bicarbonato quando esiste in condizioni normali. La sola differenza riguarda la *quantità* di CO_2 fornita alla fase liquida dalla fase gassosa, che è maggiore se la fase solida è l'idrossido invece di essere il carbonato o il bicarbonato.

La determinazione del punto di saturazione di un sistema così concepito è il problema fondamentale della chimica delle acque carsiche. Questo problema comporta 9 incognite: le concentrazioni nel liquido di H^+ , OH^- , CO_2 , CO_3^{--} , HCO_3^- , Me^{++} , MeHCO_3^+ , MeCO_3° e la pressione parziale di CO_2 nella fase gassosa. Si dispone a questo scopo delle equazioni dalla 1 alla 7 alle quali si può aggiungere una ottava verificata

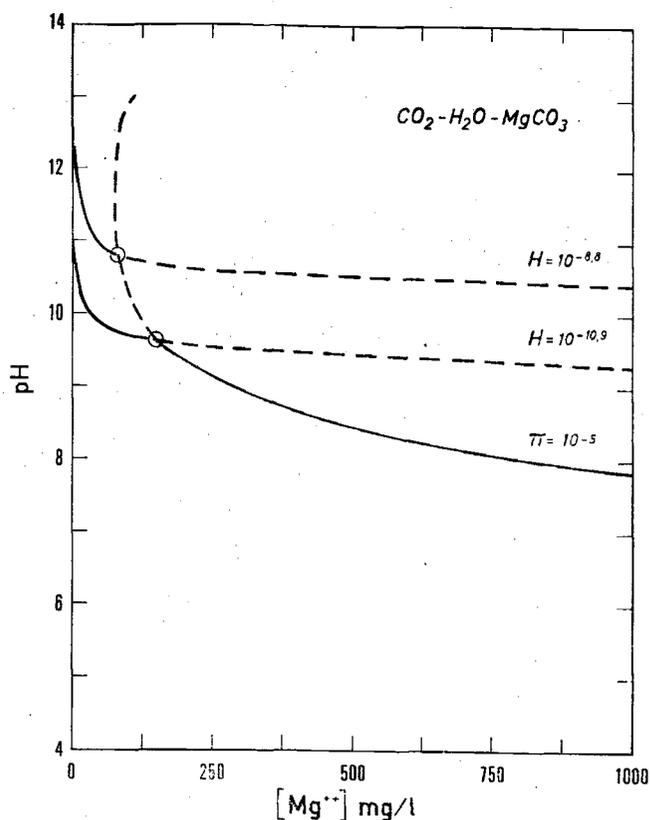


Figura 3

costantemente poichè essa traduce la neutralità elettrica della soluzione, cioè:

$$\begin{aligned} 2[CO_3^{--}] + [HCO_3^-] + [OH^-] &= \\ &= 2[Me^{++}] + [H^+] + [MeHCO_3^+] \end{aligned} \quad (8)$$

Si dovrà evidentemente utilizzare successivamente le relazioni (1) e (1') per definire i campi di precipitazione dell'idrossido e del carbonato.

È consuetudine utilizzare come variabili indipendenti nei calcoli di questo tipo:

- la pressione parziale di CO_2 nella fase gassosa e la quantità di catione solubilizzata, ottenuta mediante titolazione e che indicheremo con $(Me^{++})_T$
- il pH della fase liquida e $(Me^{++})_T$.

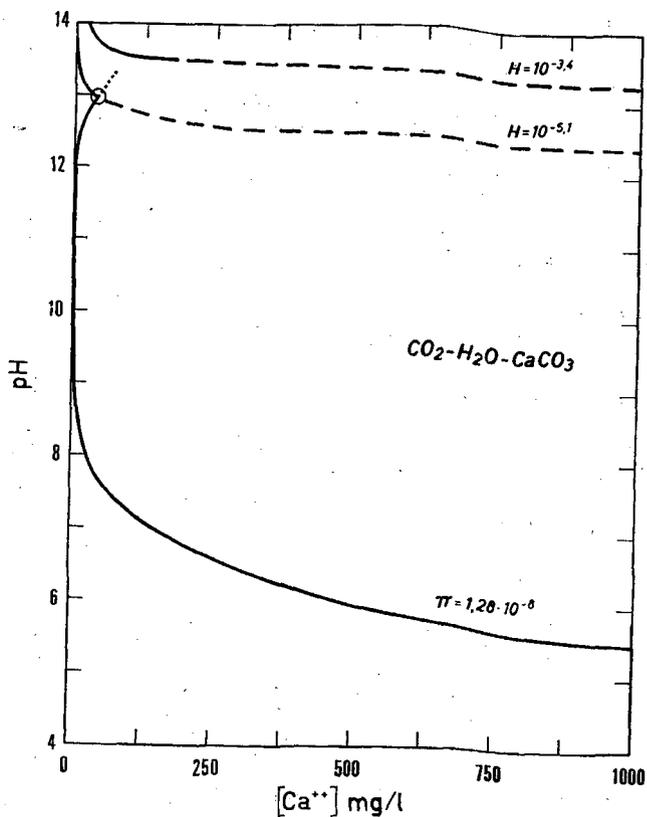


Figura 4

Se il primo metodo ha in se stesso la logica di una corrispondenza fisica tra la causa prima della solubilizzazione dei carbonati, la quale è la esistenza di una certa pressione di CO_2 nella fase gassosa, e il risultato, che è una misura della quantità di carbonato solubilizzata, il secondo ha il merito della semplicità e della precisione delle misurazioni del pH per via elettrica.

È importantissimo insistere molto sul fatto che questo calcolo non è rigidamente valido se non per un sistema completo le cui tre fasi siano bene in equilibrio, in particolare le fasi gassosa e liquida. Nella pratica questa condizione non si realizza se non assai raramente. Le acque sulle quali si fa la misurazione del pH non sono, nella maggior parte dei casi, in equilibrio con l'atmosfera che le sovrasta e che è in generale l'atmosfera esterna. In queste condizioni, le misure saranno corrette solo se

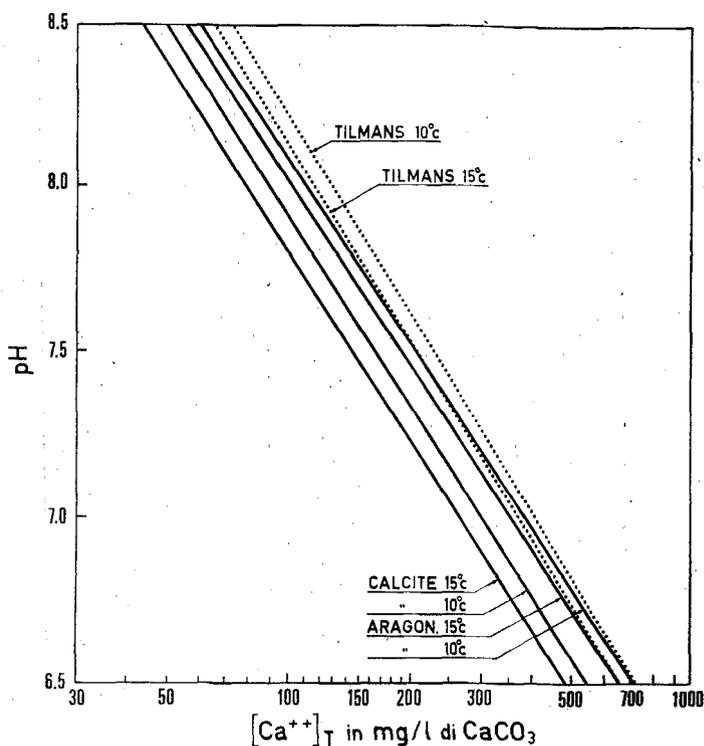


Figura 5

si prendono delle precauzioni eccezionali per evitare gli scambi di CO_2 fra l'acqua e l'atmosfera esterna. Fortunatamente questo scambio è assai lento e tutta la tecnica verterà sulla realizzazione rapida di condizioni operative che rallentino ulteriormente e al massimo questo scambio (agitazione ridotta, misura rapida sul luogo stesso della raccolta dell'acqua, rapporto superficie/volume il più scarso possibile per il campione prelevato). È essenziale comprendere bene queste nozioni se si vogliono fare delle misurazioni corrette.

Per i sistemi $CO_2-H_2O-CaCO_3$ e $CO_2-H_2O-MgCO_3$ che sono i soli ad avere un interesse generale nello studio del carsismo, il risultato di questo calcolo porta ai diagrammi di equilibrio delle figure 3 e 4. Tutti i prodotti di solubilità utilizzati non sono conosciuti con grande precisione, perciò questi diagrammi sono puramente indicativi e le due curve della parte superiore, corrispondenti alla limitazione di solubilità dovuta alla precipitazione dell'idrossido, sono state tracciate a partire dai due valori limite trovati nella letteratura.

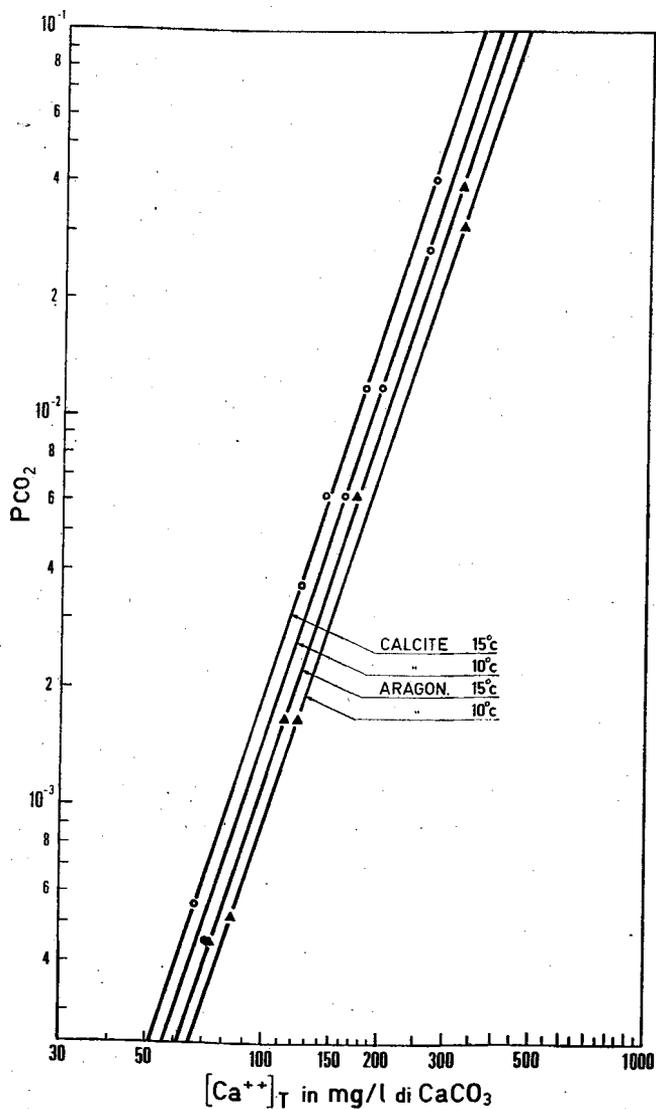


Figura 6

Per le utilizzazioni a proposito delle acque carsiche si farà riferimento di preferenza alle curve 5 e 6 che sono curve sperimentali precise, limitate al settore effettivamente riscontrato in questo tipo di acque, vale a dire da 6,5 a 8,5 per il pH e da $3 \cdot 10^{-4}$ a 10^{-1} atmosfere per la pressione parziale di CO₂.

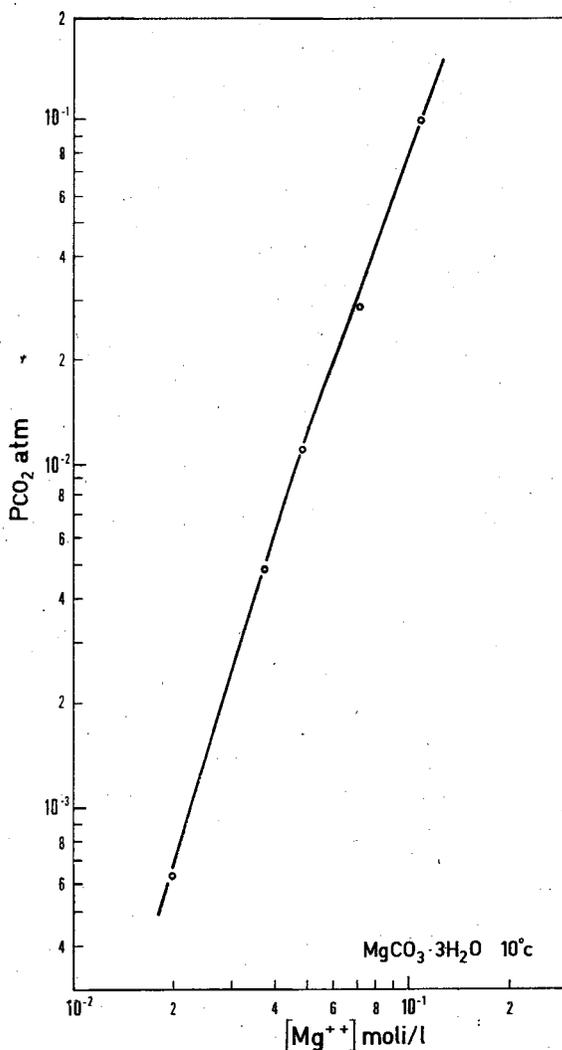


Figura 7

Nella figura 5 sono presentate a titolo di raffronto le curve date dal TILLMANS 1932 che servono ancora talvolta di riferimento a taluni Autori. La curva 7 che riguarda il sistema $CO_2-H_2O-MgCO_3$ può essere utile per studiare l'evoluzione delle acque ricche di magnesio.

Si può anche studiare l'equilibrio ottenuto, fra fase liquida e gassosa del sistema, quando la fase solida è esaurita (totalmente disciolta) prima che il punto di saturazione venga raggiunto. Le acque così otte-

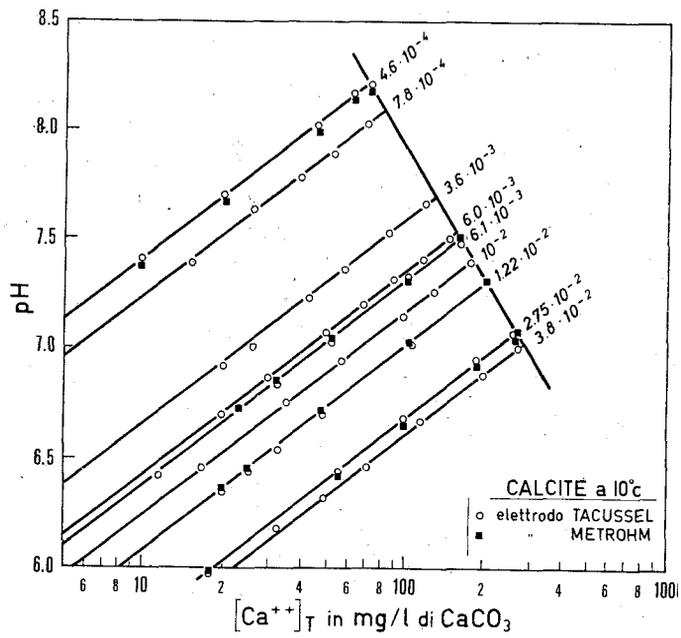


Figura 8

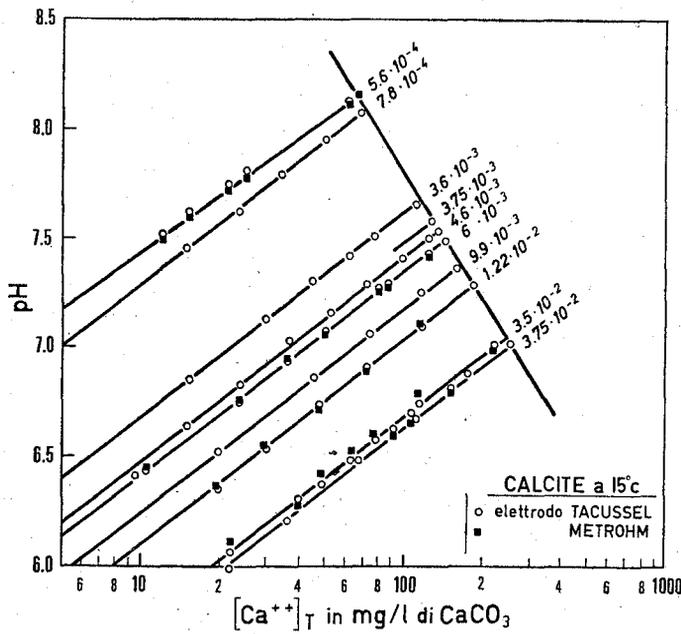


Figura 9

nute costituiscono sistemi sottosaturi all'equilibrio. L'esperienza dimostra che la maggior parte delle acque di vere risorgenti possono essere assimilate a tali sistemi. In effetti, nelle condizioni di circolazione delle acque carsiche, gli scambi all'interfaccia liquido-gas sono considerevolmente più rapidi degli scambi all'interfaccia solido-liquido. Per lo studio di tali acque si utilizzeranno dunque con profitto dei diagrammi come quelli delle figure 8 e 9 che danno sia la pressione parziale di CO_2 , il pH e $[\text{Ca}^{++}]_T$ per i punti di saturazione sia la pressione parziale di CO_2 della fase gassosa in equilibrio con un'acqua sottosatura. Va notato che finché le acque avanzano nella rizosfera o nelle reti di fratture, si può considerare che la loro evoluzione verso il punto di saturazione avvenga a pressione parziale di CO_2 costante. Di conseguenza, si può assai facilmente valutare il punto rappresentativo che corrisponderebbe alla saturazione totale (velocità nulla di attraversamento della rizosfera) tracciando, attraverso il punto rappresentativo dell'acqua considerata, una retta parallela alle rette di evoluzione a pressione parziale di CO_2 costante. Il punto di saturazione limite, corrispondente a un tempo di residenza infinito, si trova all'intersezione di questa retta con la retta di saturazione.

Nel caso di un'acqua messa in flacone sigillato a contatto con un eccesso di CaCO_3 (prova al marmo standard) l'evoluzione si produce al contrario secondo un altro percorso, dal momento che non c'è più apporto di CO_2 mediante la fase gassosa. In questo caso è la CO_2 libera eccedente (CO_2 aggressiva) ad essere la responsabile dell'evoluzione. Il sistema trova il suo equilibrio quando questa CO_2 eccedente viene interamente consumata.

L'evoluzione delle acque sotterranee in reticoli di condotti sembra intermedia tra i due casi precedenti. Lo scambio di CO_2 fra liquido e gas non è nullo, ma il rapporto interfaccia gas-liquido/volume, relativamente scarso in questo caso, rende gli scambi molto più lenti e difficili. L'agitazione dovuta alla turbolenza dello scorrimento viene a correggere più o meno il ruolo di questo rapporto superficie/volume.

A questo punto si pone un problema importante: in quale misura si ha il diritto di assimilare un'acqua naturale a un sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ e di conseguenza di utilizzare questi grafici per il suo studio? L'esperienza mostra che molte acque raccolte in terreni carsici contengono pochissimi ioni estranei a questo sistema e possono perciò essergli assimilate. Quando invece ce ne sono, gli ioni estranei più frequentemente rilevati sono:

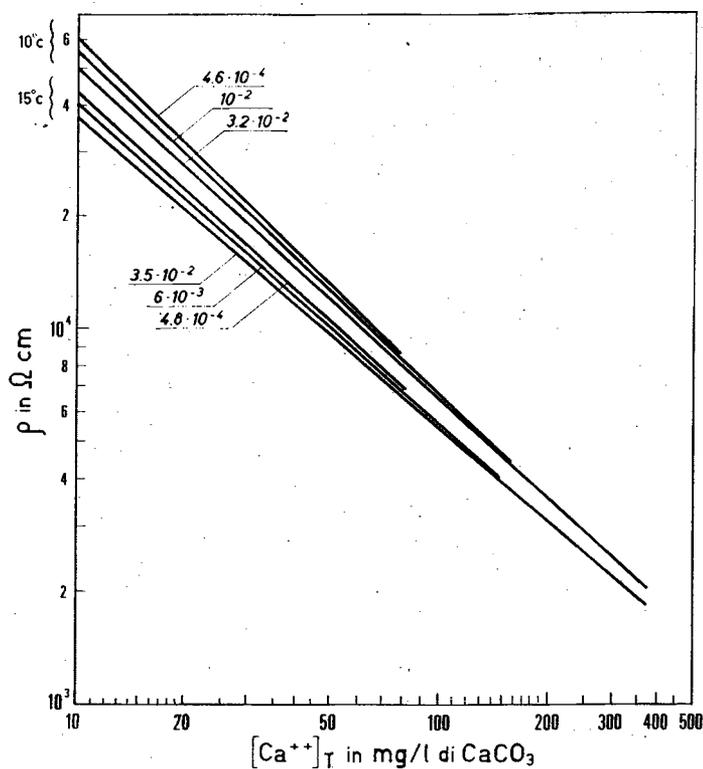


Figura 10

1) *per gli anioni*: i solfati e i cloruri. I solfati danno un precipitato bianco trattando con cloruro di bario in ambiente cloridrico concentrato. I cloruri danno un precipitato bianco che si annerisce assai rapidamente alla luce con aggiunta di nitrato d'argento. Queste reazioni sono specifiche e possono essere realizzate in pochi minuti perfino sul terreno;

2) *per i cationi*: il magnesio. Il suo dosaggio può essere effettuato assai semplicemente in laboratorio mediante *complexsoni* dopo precipitazione del calcio mediante l'ossalato di ammonio in ambiente tamponato a pH 10. Il sodio e il potassio raggiungono assai raramente concentrazioni sufficienti ad interferire.

Prima di intraprendere una identificazione di tali elementi, esistono due criteri estremamente semplici che permettono di sapere se è il caso di cercarli e se essi si trovano in quantità tali da risultare fastidiosi.

1) La resistività dà un'indicazione sulla mineralizzazione totale dell'acqua. È utile misurarla su di un'acqua riportata alla temperatura di riferimento. Una resistività che si differenzi nettamente da quella del sistema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ corrispondente allo stesso tenore di calcio (fig. 10) è indice della presenza di ioni estranei. La differenza non deve superare il 2-3%.

2) La non concordanza della durezza totale e del titolo alcalino completo (TAC) è nella maggior parte dei casi indice della presenza di SO_4^{--} o di Cl^- . Questa prova è significativa quando la differenza supera 1° idrotimetrico.

A questo punto si può tracciare un elenco di parametri a partire dai quali si può dare il via allo studio delle acque carsiche. Questo elenco comprende:

- temperatura;
- pH (misurato sul posto tutte le volte che ciò sia possibile);
- resistività;
- durezza totale (generalmente espressa in gradi idrotimetrici), in assenza di Mg questa misura dà $[\text{Ca}^{++}]_T$.

Se tali elementi non sottolineano la presenza di alcun ione estraneo l'utilizzazione dei grafici sopra citati è generalmente sufficiente per avere una idea precisa del comportamento *statico* di tali acque. Questo aspetto è tuttavia insufficiente se non gli si associano i parametri che permetteranno di determinare il suo comportamento *dinamico* e che saranno oggetto della seconda parte di questo studio.

Se la presenza di elementi estranei al sistema viene invece messa in evidenza, possono essere introdotte nel calcolo degli equilibri importanti correzioni alle quali è dedicato il paragrafo che segue.

I-2. - STUDIO DEL SISTEMA $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$ IN PRESENZA DI IONI ESTRANEI

Le modifiche di equilibrio dovute alla presenza di ioni estranei al sistema possono essere di tre tipi:

1) Azione sulla forza ionica della soluzione. Tutte le equazioni che abbiamo considerate nel paragrafo precedente sono stabilite in attività e non in concentrazioni.

Ricordiamo in breve che l'attività di uno ione si ottiene, a partire

dalla sua concentrazione nella soluzione, dopo averla moltiplicata per un coefficiente di attività sempre inferiore a 1, per esempio:

$$(Ca^{++}) = [Ca^{++}] \cdot f_{Ca^{++}}$$

Fisicamente, gli equilibri chimici sono ottenuti quando la velocità di formazione in un composto a partire dall'incontro degli ioni liberi e la velocità di dissociazione spontanea del composto così formato sono eguali. Queste velocità di reazione sono proporzionali alla probabilità di incontro degli ioni. Qualunque azione che tenderà a diminuire questa probabilità avrà dunque un'influenza sull'equilibrio che tende ad instaurarsi. Sarà in particolare il caso delle azioni che frenano la velocità di spostamento degli ioni che reagiscono in soluzione. Ora, un'azione di freno notevole viene introdotta dalle interazioni elettrostatiche fra i vari ioni presenti. Si suppone che a livello di uno ione la libertà di movimento sia tanto più grande quanto meno numerosi sono i vicini portatori di cariche elettriche, per attrarlo o respingerlo in direzioni diverse dalla sua propria direzione di spostamento. Questa opera di frenamento aumenta dunque quando aumenta la concentrazione ionica, sia che si tratti di ioni estranei o meno al sistema.

Senza entrare nei particolari dei calcoli necessari, ammetteremo che l'azione della concentrazione ionica globale può introdursi mediante la « forza ionica » definita da:

$$\mu = 1/2 \sum v_i^2 C_i$$

essendo la somma estesa all'insieme degli ioni presenti in cui v_i è la valenza e C_i la concentrazione dello ione indicato con l'indice i .

Il coefficiente di attività si deduce da questa forza ionica mediante la relazione di DEBYE e HÜCKEL, se l'ambiente non è troppo concentrato:

$$-\log f = \frac{B v_i \sqrt{\mu}}{1 + A \sqrt{\mu}}$$

I coefficienti A e B dipendono dalla natura dello ione, essi sono dati dalle tavole di costanti elettrochimiche.

Così la presenza di sali estranei, aumentando le concentrazioni ioniche, diminuisce l'attività degli ioni propri del sistema e di conseguenza impone loro delle concentrazioni maggiori per verificare le equazioni di equilibrio. Ciò significa che la quantità limite di carbonato solubilizzato si trova *aumentata* a temperatura e pressione parziale di CO_2 costanti.

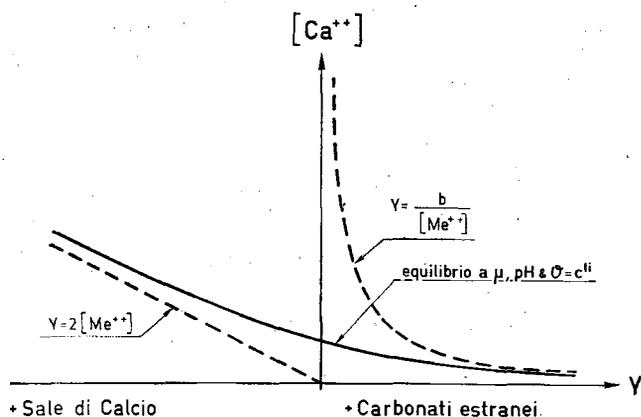


Figura 11

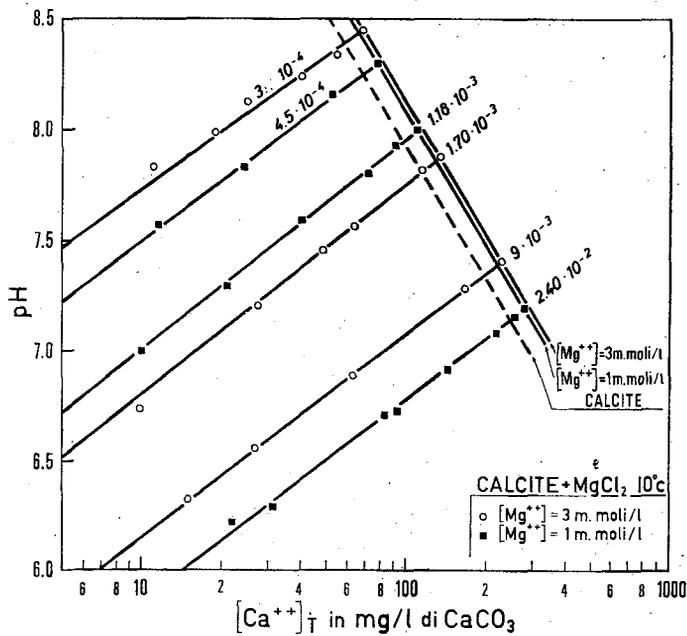
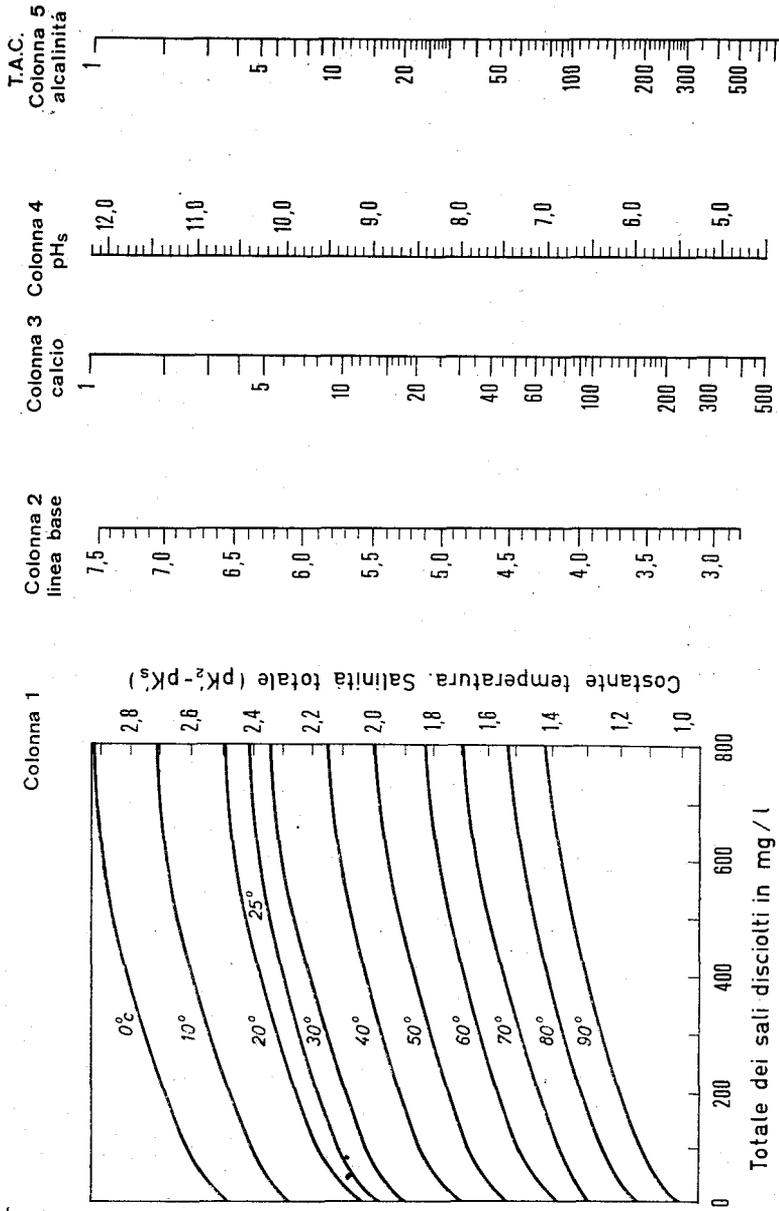


Figura 12

Per le acque molto mineralizzate, le acque di mare in particolare, questo effetto non è affatto trascurabile.

2) Azione degli omoionici. Può accadere che un sale estraneo presente in soluzione dia per dissociazione uno ione comune a quelli del si-

GRAFICO HOOVER LANGELIER



stema $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$. È il caso ad esempio delle acque che abbiano circolato in terreni contenenti gesso (presenza in soluzione di CaSO_4) o CaCl_2 . I calcari piritiferi portano egualmente, dopo ossidazione dei solfuri, al solfato di calcio. Lo ione comune è in questo caso il catone Ca^{++} . In certi casi può essere un anione. Accade così che la dissoluzione dei calcari dolomitici o magnesiferi porti all'introduzione di MgCO_3 , vale a dire di ioni CO_3^{--} e HCO_3^- estranei al sistema.

Poiché l'ottenimento dei vari equilibri e in particolare il rispetto del prodotto di solubilità $(\text{CO}_3^{--})(\text{Ca}^{++}) = \pi$ si produce indifferentemente a partire dagli ioni propri del sistema (cioè corrispondenti ad una dissoluzione effettiva della fase solida) e dagli ioni della stessa natura portati dai sali estranei, si può prevedere che la quantità limite di carbonato solubile per ottenere l'equilibrio dipenderà strettamente dalla natura e dalla concentrazione di questi sali estranei.

Per esprimere in cifre questo effetto si può partire per esempio dalla condizione di neutralità elettrica della soluzione. Trascurando gli ioni H^+ , OH^- e CaHCO_3^+ rispetto a HCO_3^{--} e CO_3^{--} , si otterrà:

$$2[\text{Ca}^{++}] + \sum \nu_c C_c \approx 2[\text{CO}_3^{--}] + [\text{HCO}_3^-] + \sum \nu_a C_a$$

in cui $\sum \nu_c C_c$ è la somma delle cariche elettriche portate dai cationi estranei al sistema oltre a Ca^{++} e $\sum \nu_a C_a$ la somma delle cariche elettriche portate dagli anioni estranei al sistema oltre a CO_3^{--} e HCO_3^- .

Ponendo:

$$Y = \sum \nu_c C_c - \sum \nu_a C_a$$

ed introducendo l'espressione del prodotto di solubilità si può assai facilmente arrivare alla forma:

$$Y = \frac{b}{[\text{Ca}^{++}]} - 2[\text{Ca}^{++}]$$

dove:

$$b = \frac{\pi}{f_{\text{Ca}^{++}}} \left\{ \frac{10^{K_2 - \text{pH}}}{f_{\text{HCO}_3^-}} + \frac{2}{f_{\text{CO}_3^{--}}} \right\}$$

Espressione che si può utilizzare sotto forma di parametro per determinare l'equilibrio alla saturazione poichè, a pH, temperatura e forza ionica costanti, b è una costante. La figura 11 dà l'andamento della curva ottenuta.

Si constata che a pH, forza ionica e temperatura costanti:

— la presenza di un sale di calcio *augmenta* la solubilità limite di CaCO_3 ;

— la presenza di un altro carbonato *diminuisce* la solubilità limite di CaCO_3 .

Questa azione degli omoionici può essere molto importante.

3) azione « complessante » di certi ioni estranei. Abbiamo visto che se la formazione di complessi del tipo CaHCO_3^+ e MgCO_3^0 era trascurabile, non altrettanto era per MgHCO_3 e MgCO_3 .

Con altri cationi come Co^{++} o Ni^{++} questa azione può essere ancora più importante. Tuttavia, fra i cationi suscettibili di portare a queste formazioni di complessi, solo il Mg^{++} si trova correntemente nelle acque cariche.

Se prendiamo in considerazione quest'ultimo caso vedremo che:

1) la formazione di MgCO_3^0 assorbe una certa quantità di ioni CO_3^{--} presi dal sistema e di conseguenza la loro sostituzione, perché l'espressione del prodotto di solubilità di CaCO_3 resti verificata, richiederà una solubilizzazione supplementare della fase solida. Ciò si traduce dunque in un *aumento* della solubilità limite di CaCO_3 ;

2) parimenti, la formazione di MgHCO_3^+ porta alla sparizione di un certo numero di ioni HCO_3^- che sarà compensata da una nuova solubilizzazione della fase solida. Si avrà dunque ancora un *aumento* della solubilità limite di CaCO_3 .

Il risultato globale di questi effetti complessanti può essere importante come dimostra la figura 12 nella quale si sono riportati gli spostamenti successivi del limite di solubilità per un'acqua contenente 1 poi 2 millimoli/l di magnesio.

Questi complessi sono stati introdotti per spiegare un certo numero di anomalie osservate sui diagrammi di solubilità rilevati sperimentalmente in presenza di sali estranei. Non sono i soli che teoricamente siano possibili. In presenza di Na in particolare, alcuni Autori (SVERDRUD et al. 1942) hanno proposto di considerare anche le forme NaHCO_3^0 , $\text{Na}(\text{HCO}_3)_2^-$ o $\text{Na}(\text{HCO}_3)^{--}$.

Questo aspetto non è stato ancora sufficientemente studiato perchè si possano suggerire dei risultati definitivi, ma sembra che nei prossimi anni potranno essere ottenuti dei miglioramenti teorici importanti in questo settore.

A breve scadenza, il problema che si pone può essere così enunciato: come utilizzare praticamente questo insieme di dati nello studio di un'acqua naturale e come introdurre facilmente queste varie correzioni?

Le due prime correzioni, cioè l'effetto sale e l'azione degli omoionici, possono essere introdotte utilizzando i diagrammi di HOOVER-LANGELIER (figura 13). La correzione non è rigorosa per quanto riguarda l'effetto sale, poichè, invece di considerare la forza ionica, la correzione viene introdotta a partire dal tenore totale di sali disciolti (residuo secco). Per le esigenze pratiche questa approssimazione è peraltro più che sufficiente. Per contro, le costanti di equilibrio che sono servite a stabilire questo diagramma sembrano un po' eccessive. È così che a 10°C gli Autori utilizzano un fattore $pK_2 - pK_s$ uguale a 2,26 per una forza ionica nulla, mentre il calcolo di questo stesso coefficiente, a partire da dati più recenti (ROQUES 1964) porta al valore 2,03 (in rapporto alla calcite).

Una certa prudenza è quindi assolutamente necessaria nell'utilizzazione di questo diagramma.

Non c'è ancora alcun documento che consenta di determinare graficamente e in maniera rapida la correzione totale tenendo conto dei tre effetti. Ciò è dovuto in primo luogo alla conoscenza ancora troppo imperfetta e frammentaria delle costanti di equilibrio relative ai complessi formati.

Nelle acque carsiche si può considerare che i complessi possono formarsi essenzialmente a partire da Mg^{++} . Si potrà dunque calcolare questa correzione a partire dai seguenti valori:

$$\begin{cases} K_4 = 1,10 \\ K_5 = 3,305 \end{cases} \quad \text{a } 10^\circ\text{C}$$

e aggiungere questa correzione alle concentrazioni di equilibrio determinate a partire dal diagramma di HOOVER-LANGELIER che varrà la pena, di modificare per riadeguare correttamente il coefficiente $pK'_2 - pK'_s$.

Per le acque di mare, in cui i complessi di Na^+ possono assumere una importanza considerevole e in cui la mineralizzazione totale è assai elevata, non sembra che possano essere ottenute delle correzioni perfettamente esatte allo stato attuale delle cose.

II-1 - CINETICA DELLE EVOLUZIONI DEI SISTEMI $CO_2-H_2O-CaCO_3$.

Nel capitolo precedente abbiamo esclusivamente considerato sistemi le cui tre fasi erano perfettamente in equilibrio le une rispetto alle altre.

Sfortunatamente, le acque carsiche non rispondono se non assai rara-

mente a queste condizioni ideali. Nella stragrande maggioranza dei casi, le acque carsiche appaiono aggressive, o incrostanti sui diagrammi di equilibrio. Ciò significa dunque che esse sono in corso di evoluzione e solo la lentezza talvolta considerevole di queste evoluzioni può giustificare in parte le conclusioni che si traggono dal confronto delle loro caratteristiche sui diagrammi di solubilità. Il che viene ad essere l'applicazione delle equazioni di equilibrio a sistemi che non sono in equilibrio. Gli studi precedenti sono dunque insufficienti. Bisogna completarli introducendo il tempo come variabile supplementare. Inoltre, dal momento che queste acque sono generalmente in movimento, se si vogliono analizzare le modificazioni che la loro evoluzione farà subire al substrato solubile che serve loro da supporto, è necessario conoscere la cinetica dei fenomeni fisico-chimici cui esse sono sottoposte.

In prima analisi si può considerare che queste modificazioni possano essere ricondotte a tre gruppi di fenomeni susseguentisi strettamente:

- gli scambi di CO_2 all'interfaccia liquido-gas;
- le reazioni chimiche in soluzione;
- gli scambi di carbonato all'interfaccia liquido-solido.

Convieni considerare successivamente ognuno di questi punti prima di tracciare una sintesi delle loro evoluzioni combinate.

1) Cinetica degli scambi di CO_2 all'interfaccia gas-liquido.

Fisicamente, ogni volta che un'acqua cambierà condizioni di percorso (passaggio da una rete di fratture a una rete di condotti in comunicazione con l'esterno — risorgenza all'aria aperta ecc. —), essa si troverà messa in contatto con una nuova atmosfera nella quale la pressione parziale di CO_2 è diversa. Avrà dunque tendenza in primo luogo a riequilibrare il suo tenore di CO_2 disciolta, dunque a scambiare della CO_2 con questa nuova atmosfera.

La velocità alla quale questo scambio avverrà può variare moltissimo. Si capisce agevolmente come l'agitazione dell'ambiente liquido e la sua geometria (stato di dispersione caratterizzato dal rapporto superficie/volume) siano dei parametri essenziali. Un'acqua sotterranea risorgente a media altezza da una scogliera e che precipiti a cascata per parecchie decine di metri si metterà assai rapidamente in equilibrio nei confronti della pressione parziale di CO_2 atmosferica, cosa che si potrà constatare misurando l'evoluzione del suo pH. Un'acqua di caratteristiche simili che riappaia con una portata notevole sotto forma di una risorgente di tipo valchiusano

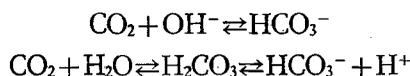
assai calma, richiederà invece parecchi km di percorso perchè il riequilibrio del suo tenore di CO_2 divenga nettamente percettibile.

Uno scorrimento particolarmente interessante è quello goccia a goccia che si trova all'origine di un gran numero di costruzioni cristalline. Uno studio sperimentale (ROQUES 1964) mostra che il riadattamento del tenore di CO_2 viene raggiunto al 90% per periodi di caduta delle gocce intorno alle 4 ore. Torneremo su questo dato in seguito.

A parte l'agitazione e la geometria del sistema, la temperatura influisce anche sulla velocità di scambio di CO_2 un aumento della temperatura porta infatti ad un incremento della velocità di scambio. Le teorie classiche dei fenomeni di trasferimento di massa utilizzate in ingegneria chimica permettono di esaminare teoricamente queste cinetiche (ROQUES 1969).

2) Cinetica delle reazioni chimiche in soluzione.

La variazione del tenore di CO_2 disciolta si ripercuote sulla concentrazione di ioni HCO_3^- e CO_3^{--} . Senza entrare nei particolari delle reazioni si può supporre in prima approssimazione che l'acquisto e la perdita di CO_2 disciolta è compensata dall'evoluzione verso destra o verso sinistra degli equilibri



Queste reazioni sono relativamente lente mentre le trasformazioni ulteriori di HCO_3^- in CO_3^{--} sono assai rapide. Esse implicano la partecipazione degli ioni H^+ e OH^- da cui risultano delle variazioni sincrone del pH della soluzione. È quindi possibile seguire assai agevolmente la loro evoluzione mediante pHmetria.

Supponendo una variazione istantanea del tenore di CO_2 disciolta si può stabilire con il calcolo la variazione nel tempo del pH della soluzione che ne risulta. Per una perturbazione che si debba infine tradurre in una variazione di 0,5 del pH di equilibrio, la velocità di risposta dipende dal pH nei dintorni del quale si produce la variazione. La figura 14 dà l'andamento di queste curve. Si vede che il tempo di risposta di queste reazioni chimiche è dell'ordine di

1 minuto	a pH intorno a 6
5 minuti	a pH » a 8
1 ora	a pH » a 9
3 ore	a pH » a 10

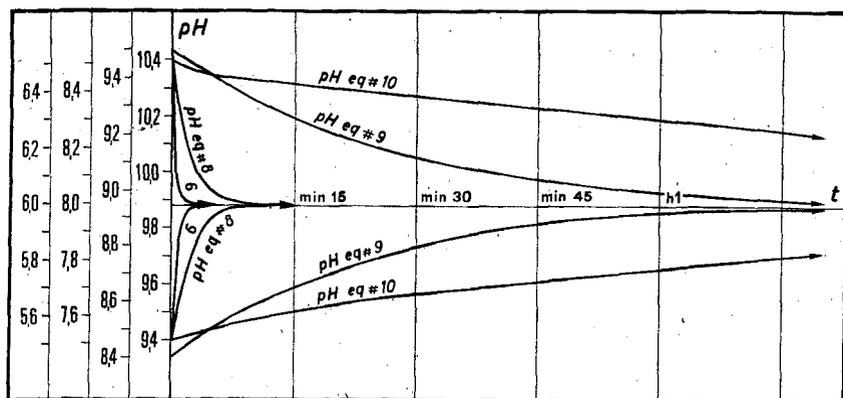


Figura 14

3) Cinetica degli scambi di carbonato all'interfaccia liquido-solido.

A questo livello si introduce una dissimmetria che non si era manifestata finora. In effetti, se gli scambi di CO_2 , così come le reazioni erano perfettamente reversibili, ciò non vale per quanto riguarda la dissoluzione e il deposito del carbonato.

La dissoluzione è un'operazione omogenea che si produce senza discontinuità in tutto il campo della sotto-saturazione comprese le regioni più vicine alla curva di equilibrio. La precipitazione al contrario è caratterizzata da parecchi periodi successivi e può portare, secondo la posizione del punto rappresentativo dell'acqua sul diagramma di equilibrio, a cristalli di nature diverse.

La prima fase della precipitazione consiste in un periodo di germinazione. La formazione dei germi avverrà soltanto se viene raggiunto un certo grado di sovrasaturazione. Nell'immediata vicinanza della curva di equilibrio la durata della germinazione è talmente lunga che praticamente non si ha alcuna possibilità di osservare l'apparizione di cristalli. Più ci si allontana dalla curva di equilibrio e più questa fase germinativa diviene breve. I cristalli così ottenuti sono costituiti da calcite. Se si aumenta ancora il grado di sovrasaturazione la durata di germinazione finisce col diventare impercettibile all'osservatore normale e tutto accade come se si avesse una precipitazione istantanea di calcite. Per gradi di sovrasaturazione leggermente più alti ancora, la precipitazione istantanea porta alla vaterite. Questa vaterite, instabile a contatto con l'acqua, si trasforma rapi-

damente in aragonite, metastabile nelle stesse condizioni (aragonite secondaria).

Tali conclusioni riassunte nella figura 15 sono valide per 10° C in un ambiente abbondantemente agitato. A temperature diverse esse sono suscettibili di subire modifiche importanti, in particolare ad una temperatura maggiore, l'aragonite è suscettibile di apparire direttamente.

L'agitazione dell'ambiente ha una grande importanza e la velocità di germinazione risulta considerevolmente aumentata quando la turbolenza della soluzione aumenta. Le condizioni di scorrimento sembrano perciò rappresentare un fattore essenziale sia per la cinetica della precipitazione sia per la cinetica degli scambi di CO₂ (GIROU 1970).

Si constata sperimentalmente che il limite della metastabilità della vaterite, come viene rappresentata nel diagramma 15, corrisponde in effetti ad una velocità iniziale di precipitazione di circa 40 mg/1/h di CaCO₃. In realtà è questa velocità di precipitazione che fisicamente determina la natura cristallografica del precipitato.

Se l'agitazione dell'ambiente è insufficiente per raggiungere e superare tale velocità iniziale di precipitazione, il precipitato sarà rappresentato da calcite anche se il punto rappresentativo del sistema si trova, sulla figura 15, nel settore della precipitazione della vaterite.

Appare verosimile che all'inizio della precipitazione dei germi delle tre varietà cristalline appaiano simultaneamente ma che le loro probabilità di passare allo stato surcritico, e di apparire infine allo stato di cristalli nel precipitato finale, dipendono strettamente dalla velocità di precipitazione.

La figura 16 schematizza questa relazione tra velocità di precipitazione e determinismo cristallino. A 10° C il campo di velocità che porta all'aragonite interessa valori estremamente bassi che sfuggono all'osservazione. Il settore più esteso è quello della calcite. È questa la varietà più tipica a questa temperatura.

Durante questa fase di germinazione gli ioni estranei ai sistemi possono svolgere un ruolo assai importante. Certi cationi come Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, Ni⁺⁺, Zu⁺⁺, Cu⁺⁺ e Fe⁺⁺ possono adsorbirsi sui germi di calcite e, poiché essi hanno energie di disidratazione superiori a Ca⁺⁺, rallentano considerevolmente la crescita. In queste condizioni i germi di aragonite che normalmente non aumentano abbastanza in fretta per fare concorrenza a quelli della calcite e per dare dei macro-cristalli, possono svilupparsi e costituire una frazione notevole del precipitato finale (aragonite primaria).

Mediante un processo di questo tipo che faccia intervenire lo ione

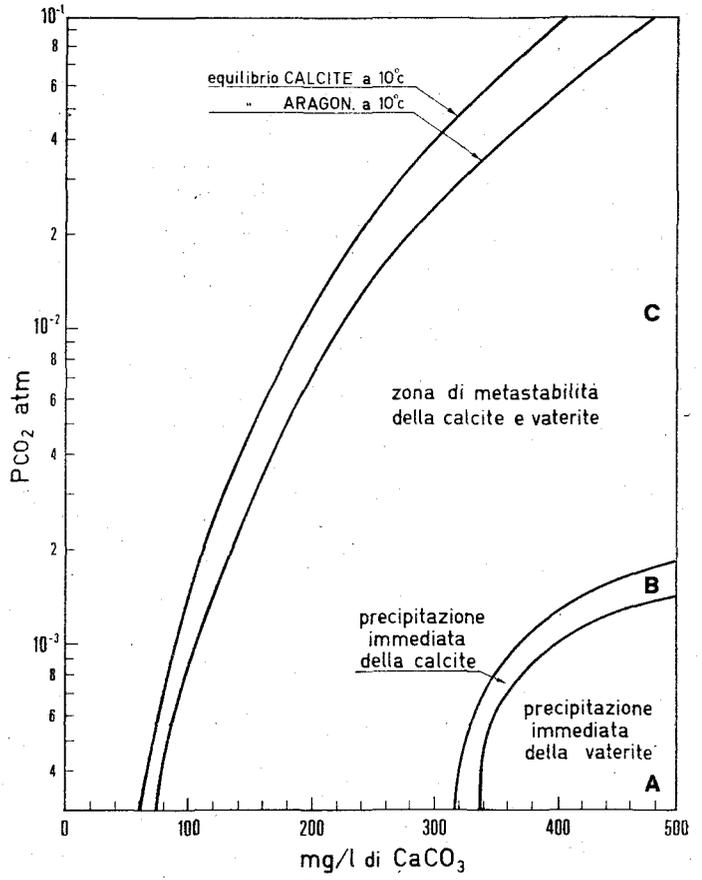


Figura 15

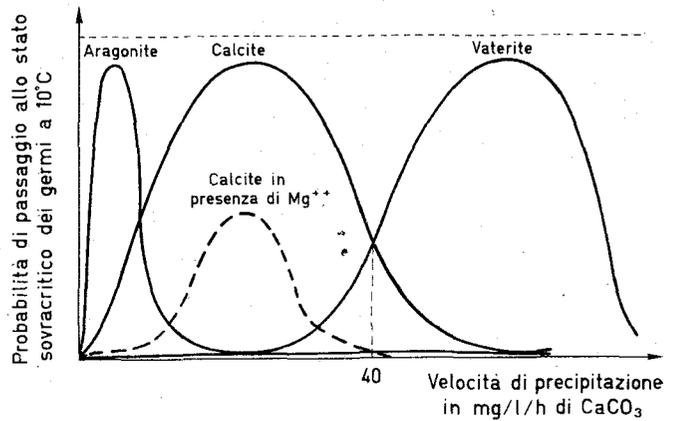


Figura 16

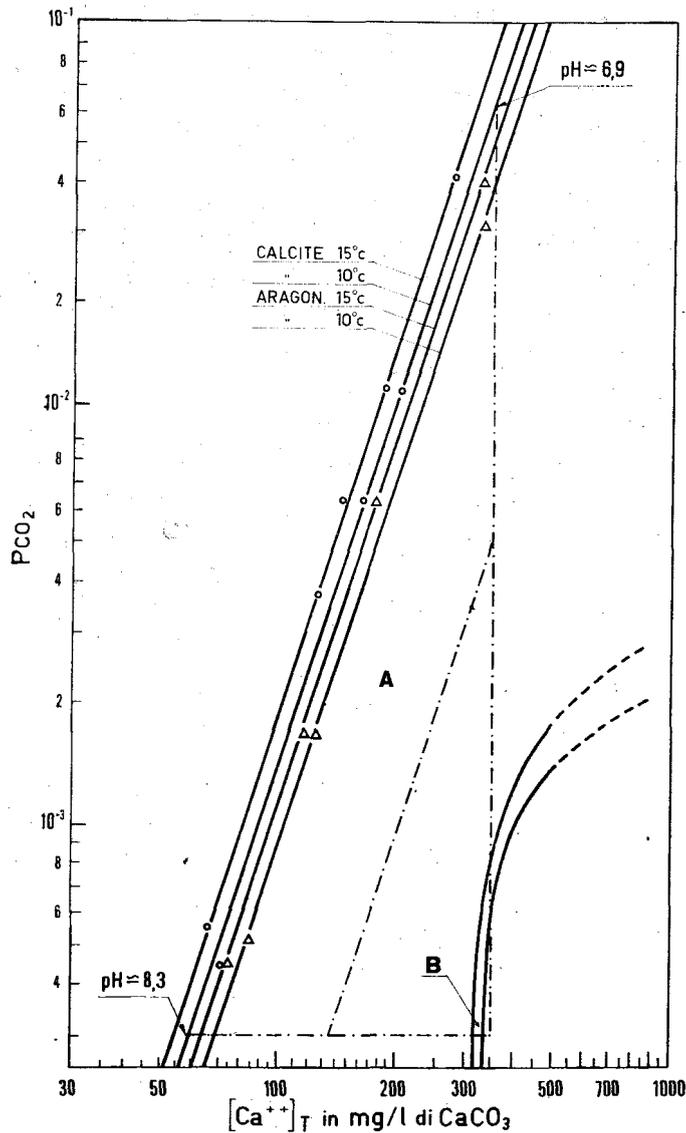


Figura 17

Mg^{++} si può così spiegare la genesi delle formazioni aragonitiche riscontrate in alcune cavità (ROQUES 1965).

Parimenti non bisogna trascurare il fatto che la fase germinativa può essere profondamente perturbata per apporto esterno di germi o di

cristalli che ne possono fare le veci. Accade così che soluzioni assai scarsamente sovrasature, il cui potere germinativo è quasi nullo intorno ai 10° C, siano per altro suscettibili di nutrire cristalli portati a loro contatto fino a farne degli enormi mono-cristalli, come si può vedere in alcune concrezioni eccentriche.

Questo brevissimo esame dei parametri che sono alla base della germinazione dà un'idea della complessità di questa prima fase.

La crescita propriamente detta che si sovrappone alla germinazione, a partire dal momento in cui quest'ultima inizia, obbedisce a leggi diverse, ancora poco note.

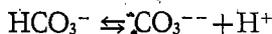
Le teorie relative alla crescita dei cristalli sono molto numerose. Esse suppongono in generale che il processo si suddivida in due fasi:

1) migrazione degli ioni dall'interno della soluzione fino al contatto con il cristallo. Questa migrazione si produce soprattutto per convezione finchè gli ioni considerati restano lontani dal cristallo da nutrire. Essa si produce invece per diffusione in vicinanza immediata del cristallo, con il passaggio attraverso uno strato di acqua adsorbita alla sua superficie e il cui spessore può essere valutato intorno a qualche micron.

2) Disidratazione e inserzione degli ioni nel reticolo cristallino.

Questa è ben inteso la più lenta delle due fasi, variabili a seconda delle condizioni idrauliche dello scorrimento, che condiziona la cinetica globale della precipitazione.

Durante la loro crescita, i cristalli di carbonati si differenziano dagli altri sali perchè i loro ioni costitutivi: CO_3^{--} e Ca^{++} per esempio, figurano in soluzione con concentrazioni assai diverse. In effetti, come abbiamo visto, la solubilizzazione di un carbonato in presenza di CO_2 è caratterizzata dalla trasformazione dello ione CO_3^{--} in ione HCO_3^- in una proporzione vicina al 98% a pH 8,3 e che aumenta ancora quando diminuisce il PH. Per contro, nessuna modifica influenza il catione liberato. Bisogna dunque considerare la sola velocità di migrazione dello ione CO_3^{--} ovvero se si tengono in considerazione le trasformazioni



che avvengono nell'immediata vicinanza del cristallo, la velocità di migrazione inversa dello ione H^+ . È del resto verosimile che questi due scambi di senso opposto si producano simultaneamente.

Il materiale sperimentale attualmente raccolto non sembra avere vo-

lume sufficiente per consentire il calcolo delle costanti di velocità per ogni processo elementare tra quelli citati. Essendo le curve di velocità di precipitazione molto influenzate dalle condizioni di agitazione dell'ambiente non è sempre agevole collegarle ad una definizione rigorosa degli spostamenti relativi liquido-solido (Numero di REYNOLDS). Ciò fa sì che i dati sperimentali raccolti abbiano soprattutto un interesse qualitativo. Essi possono però portare a conclusioni pratiche essenziali nella misura in cui essi consentono di fare un raffronto tra la cinetica degli scambi all'interfaccia solido-liquido e la cinetica degli altri due processi precedentemente presi in considerazione.

Durante il periodo di crescita l'azione degli ioni estranei può manifestarsi mediante modifiche di aspetto del precipitato. Accade così che i polifosfati siano suscettibili di adsorbirsi di preferenza su alcuni piani reticolari della calcite bloccando la loro crescita. Si tratta di micro-epitassi spiegabili con l'eguaglianza fra la distanza che separa due ioni fosfato nelle catene polifosfatate e lo spaziamento di due ioni calcio in un piano perpendicolare all'asse A_3 della calcite. Appaiono così sui cristalli delle troncatore perpendicolari a questo asse che portano al pinacoide di base. Tale fenomeno conosciuto da tempo viene utilizzato per impedire le incrostazioni nelle tubazioni industriali.

Dal canto suo lo ione magnesio può portare all'apparizione di un aspetto particolare della calcite, costituito da tavolette esagonali allungate la cui descrizione mineralogica esatta rimane ancora da fare.

Per le altissime velocità di precipitazione si produce un fenomeno nuovo: l'apparizione di una fase intermedia, particolarmente instabile, costituita da un gel che si può considerare come carbonato amorfo. Questo fenomeno non è proprio dei carbonati, esso è frequentemente osservato durante la precipitazione della maggior parte dei sali.

Si ha ragione di pensare che questa fase sia amorfa nella misura in cui essa non dà alcuna birifrangenza al microscopio polarizzante né alcun raggio di diffrazione ai raggi X. Sembra tuttavia assai verosimile che non sia costituita da molecole intieramente libere allo stato solido ma da microcristalli disposti anarchicamente gli uni rispetto agli altri e che trattengono grandi quantità di acqua adsorbita superficialmente. Le precipitazioni di questo tipo possono essere descritte mediante equazioni costruite sul modello delle reazioni chimiche in fase omogenea supponendo che la reazione più lenta sia la formazione di molecole libere in soluzione di tipo $CaCO_3$. Precipitazioni di questo tipo possono essere osservate su soluzioni naturali alla fine dell'evaporazione, se il sistema non contiene

ioni estranei in quantità rilevante. L'evoluzione di questa fase amorfa avviene assai rapidamente a contatto con l'acqua verso la calcite e verso la vaterite, quest'ultima si trasforma quindi a sua volta assai rapidamente in aragonite. I fenomeni di dissoluzione sono ben paragonabili allo stadio di crescita propriamente detta e presa in considerazione precedentemente. Si riconducono anch'essi a due stadi successivi: liberazione degli ioni alla superficie del cristallo e migrazione di questi ioni verso la fase liquida. Anche qui i due fenomeni sono in competizione e secondo le condizioni operative le loro velocità rispettive possono variare entro intervalli considerevoli.

Questa dualità è sottolineata da una serie di lavori sull'argomento dovuti in particolare a GORTIKOV & PANTELEVA 1937, WEYL 1958, ERGA & TERJESSEN 1956. A seconda che i dispositivi utilizzati realizzino rapporti dell'interfaccia liquido-solido/volume liquido deboli e spostamenti relativi liquido-solido corrispondenti ad un moto turbolento o al contrario rapporti superficie/volume elevati e moti laminari, l'interpretazione dei risultati sperimentali mostra che la velocità di dissoluzione è controllata dalla velocità di liberazione degli ioni o dalla loro velocità di diffusione attraverso lo strato di acqua adsorbita che circonda i cristalli.

Questi due stadi elementari possono essere descritti con equazioni di 1° grado e quindi l'evoluzione globale è essa stessa assimilabile ad una reazione di 1° grado la cui costante di velocità sarebbe funzione della geometria del sistema. Non possediamo ancora valori numerici sicuri in numero sufficiente per utilizzare praticamente tali equazioni.

4) Cinetica delle evoluzioni globali dei sistemi $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$.

Se si prende innanzi tutto in considerazione il caso di una evoluzione del sistema nel senso di una precipitazione, le misurazioni sul terreno mostrano che le soluzioni naturali che concorrono alla formazione delle cristallizzazioni sotterranee si localizzano intorno a curve di equilibrio, in una regione che si può grosso modo delimitare con la zona A della fig. 17. In questa zona il pH non supera quasi mai l'8,5 e di conseguenza i tempi di risposta delle reazioni chimiche saranno inferiori a 15 minuti.

Non è possibile dare la valutazione assoluta dei tempi di risposta degli scambi di CO_2 perchè dipenderanno strettamente dalla geometria e dall'agitazione delle soluzioni ma, di regola, si può ammettere che saranno nettamente inferiori ai tempi di risposta degli scambi di carbonato

all'interfaccia liquido-solido. Se si riprende in considerazione ad esempio il caso degli scorrimenti a goccia a goccia in merito ai quali abbiamo visto dei tempi di risposta allo scambio di CO_2 dell'ordine di 4 ore, possiamo ammettere che il tempo di risposta degli scambi di carbonati sarà dal canto suo di parecchi giorni ovvero anche di parecchie settimane. Tutto lo svolgersi del fenomeno sarà quindi controllato in effetti dalla sola cinetica di deposito del carbonato.

In questo caso si vede in particolare che se il periodo di caduta delle gocce è troppo breve in confronto al tempo di risposta della precipitazione nessun deposito apprezzabile avrà il tempo di effettuarsi e la crescita sarà praticamente nulla. Per periodi di caduta più grandi, il potere germinativo resterà assai debole, ma un certo deposito avrà il tempo di prodursi sui cristalli che fungono da germe e il sistema si evolverà nel senso dello sviluppo lentissimo di grossi cristalli isolati ovvero di un monocristallo. Una stalagmite potrà svilupparsi in corrispondenza al punto di caduta poichè la maggior parte del carbonato di sovrasaturazione resta ancora disponibile in queste acque.

Per periodi di caduta dell'ordine del tempo di risposta della precipitazione, l'aumentato potere germinativo orienterà il sistema verso edifici policristallini e la velocità di crescita dell'edificio sarà massima. L'importanza della stalagmite associata tenderà a zero. Per periodi di caduta ancora maggiori, l'orientamento rimarrà policristallino ma la velocità di crescita dell'edificio diminuirà tanto più quanto più lungo sarà il periodo di caduta.

Le misurazioni sono ancora troppo scarse perchè sia possibile trarre una conclusione definitiva, ma sembra che il controllo dei depositi ad opera della cinetica di precipitazione del carbonato sia la norma in tutti i processi di cristallogenesi sotterranei.

L'esame della fig. 17 mostra che anche su sistemi assai agitati, la formazione di vaterite non è possibile nella zona A. L'apparizione di vaterite o di aragonite secondaria appare dunque assai poco probabile sottoterra. Effettivamente nella quasi totalità dei giacimenti conosciuti, l'associazione calcio-magnesio nelle acque di alimentazione permette di concludere che la formazione di aragonite primaria si ha secondo il processo analizzato precedentemente.

Nel caso di acque risorgenti all'aria libera assai mineralizzate, il grado di sovrasaturazione potrebbe essere assai notevole e portare all'apparizione di vaterite se l'agitazione dell'ambiente assicurasse una velocità iniziale di precipitazione superiore a 40 mg/l/h di CaCO_3 . Sarebbe interes-

te ricercarne traccia nei depositi di tufo associati alle risorgenze che presentano tali caratteristiche. Purtroppo queste ultime sono assai rare.

Se si prende ora in considerazione il caso dell'evoluzione del sistema nel senso di una dissoluzione, devono essere presi in considerazione due casi limite:

1) Se si parte da acqua pura, che contenga inizialmente una certa quantità di CO_2 e la si mette a contatto con un carbonato, il passaggio in soluzione di questo carbonato è estremamente rapido all'inizio. Il pH, inizialmente inferiore a 7, favorisce reazioni chimiche assai rapide. In qualche secondo la CO_2 disciolta disponibile è utilizzata, il pH sale allora intorno a 10 e tutto il ritmo dell'evoluzione ulteriore dipenderà essenzialmente dalla velocità con la quale un nuovo apporto di CO_2 verrà dato al sistema.

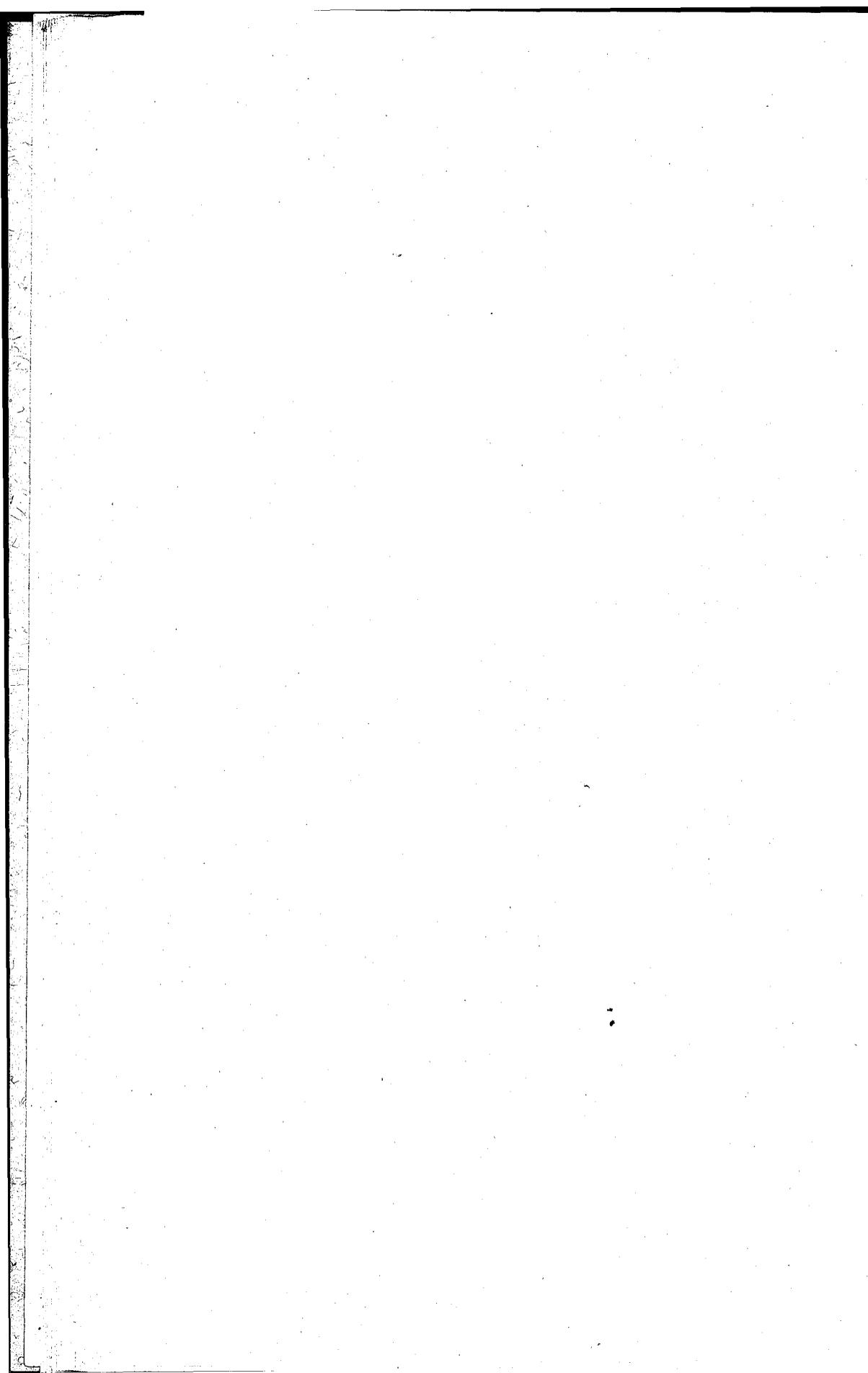
Ciò significa che in questo caso saranno la cinetica di scambio della CO_2 e la cinetica delle reazioni chimiche (tempo di risposta 3 ore a $\text{pH} \approx 10$) che controlleranno l'evoluzione ulteriore del sistema. Sarà fra l'altro il caso dell'attacco delle rocce carbonatiche da parte di acque meteoriche (formazione di lapiaz, mineralizzazione dei torrenti provenienti dallo sciogliersi di nevai e ghiacciai).

2) Se si considera ora un'acqua naturale già assai carica di carbonato che rappresenti un sistema prossimo alla saturazione, la velocità di passaggio in soluzione del carbonato sarà fortemente rallentata in rapporto al caso precedente. Se l'agitazione della fase liquida è importante e il rapporto dell'interfaccia liquido-solido/volume liquido è debole, l'evoluzione globale del sistema avrà tutte le possibilità di essere controllata, al contrario, dalla sola velocità di passaggio in soluzione degli ioni CO_3^{--} e Ca^{++} . Molti torrenti sotterranei esogeni rispondono a queste condizioni di scorrimento.

In questo ultimo capitolo abbiamo cercato di presentare un metodo di studio più che dei risultati definitivi. L'insieme delle costanti cinetiche è assai meno conosciuto di quello delle costanti di equilibrio. È perciò difficile, allo stato attuale delle conoscenze, trattare numericamente i problemi di cinetica cui abbiamo accennato. Per altro la velocità di queste reazioni è sempre condizionata dalla geometria del sistema; ora, le configurazioni presentate dai sistemi naturali sono sempre complesse e alcuni problemi, risolvibili per configurazioni ideali riconducibili a volumi semplici, non lo sono per volumi reali. Un certo empirismo rimarrà dunque sempre a caratterizzare questi studi che devono essere presi in considerazione come problemi di chimica applicata.

BIBLIOGRAFIA

- DUCHAUFOUR P., 1960 - *Précis de Pédologie*. Masson & C. Ed., Paris.
- ERGA O. & TERJESSEN S. G., 1956 - *Kinetics of the heterogeneous reaction of calcium bicarbonate formation, with special reference to copper ion inhibition*. Acta Chem. Scand., 10, pp. 872-884, Copenhagen.
- EK C., 1964 - *Note sur les eaux de fonte des glaciers de la Haute Maurienne. Leur action sur les carbonates*. Rev. Belge de Géographie, 1, pp. 127-156.
- GIROU A., 1970 - *Etude de la cinétique de précipitation des carbonates de calcium en phase aqueuse*. Thèse 3ème cycle, Toulouse.
- GORTIKOV V. M. & PANTELEVA L. I., 1937 - *Kinetics of solvation of calcium carbonate*. J. Gen. Chem USSR, 7, p. 56, (A. T. S. translation 99 EIR).
- GREENWALD I., 1941 - *The dissociation of calcium and magnesium carbonates and bicarbonates*. J. Biol. Chem., 141, pp. 789-796, Baltimore.
- POCHON J. & DE BARJAC R., 1958 - *Traité de microbiologie des sols*. Dunod Ed., Paris.
- ROQUES H., 1959 - *Sur la répartition du CO₂ dans les karts. (1)*. Ann. Spéléologie, 14, pp. 9-22, Moulis.
- ROQUES H., 1962 - *Considérations théoriques sur la chimie des carbonates*. Ann. Spéléologie, 17, pp. 463-467, Moulis.
- ROQUES H., 1963 - *Sur la répartition du CO₂ dans les karts. (2)*. Ann. Spéléologie, 18, pp. 141-184, Moulis.
- ROQUES H., 1964 - *Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes gaz carbonique — eaux — carbonate*. Ann. Spéléologie, 19, pp. 255-484, Moulis.
- ROQUES H., 1965 - *Sur la genèse des formations aragonitiques naturelles*. Ann. Spéléologie, 20, pp. 47-54, Moulis.
- ROQUES H. 1969 - *Problèmes de transferts de masse posés par l'évolution des eaux souterraines*. Ann. Spéléologie, 24, pp. 455-494, Moulis.
- SVERDRUD H. U. JOHNSON M. W. & FLEMING R. H., 1942 - *The Oceans*. Prentice Hall Inc., New York.
- TILLMANS J., 1932 - *Die chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser*. 2^e Ed., Knappe, Halle.
- WEYL P. K., 1958 - *The solution kinetics of calcite*. J. Geology, 66, pp. 163-176, Chicago.



DISCUSSIONE SULLA RELAZIONE

DI

H. ROQUES

CIGNA. Ringrazio molto il Prof. ROQUES per la sua esposizione; l'abbiamo ascoltato con grande interesse perché ha messo in evidenza molte peculiarità che abbiamo notato tante volte in grotta osservando concrezioni ed altri fenomeni; direi che il Prof. ROQUES ha dato parecchi spunti che potranno essere utili anche per ricerche future in vari campi. Ho l'impressione che nella discussione che seguirà dovremo approfondire alcuni interrogativi che sono stati appena posti.

ROQUES. Vorrei aggiungere una breve considerazione, sulla formazione di concrezioni di aragonite. Si è infatti potuto osservare su delle concrezioni isotubolari di calcite delle ramificazioni aghiformi di aragonite. Questo fenomeno è dovuto al fatto che la soluzione alimentante la concrezione principale contiene una certa percentuale di magnesio (50% nella dolomia pura, dal 20 al 40% nei calcari magnesiaci); la parte che percorre il canale interno arriva all'estremità senza rilasci di CO_2 e, successivamente, la goccia si stacca senza che si sia avuta la possibilità di soprassaturazioni. Il velo d'acqua che ricopre l'esterno della stalattite, invece, è soggetto all'evaporazione e si giunge pertanto ad una soprassaturazione con conseguente deposizione di calcite in quanto il carbonato di calcio ha una concentrazione maggiore di quello di magnesio. La soluzione viene però ad arricchirsi di quest'ultimo, per cui il carbonato di calcio rimane condizionato a precipitare sotto forma di aragonite. Al limite si può arrivare alla deposizione del sale di magnesio all'estremità dell'aghetto di aragonite, sotto forma di idromagnesite. Nella Grotta di Moulis si sono effettivamente ritrovate queste condizioni e gli aghetti di aragonite che partono da alcune concrezioni sono orientati nella direzione della corrente d'aria dominante.

Desidero tuttavia aggiungere che circa un anno fa ho ritrovato in una grotta una concrezione massiccia di aragonite, in contraddizione con lo schema prima esposto. Tale concrezione potrebbe essere una testimonianza di un paleocarsismo in un periodo in cui la temperatura era maggiore di 30°C . Successivamente ho trovato altre concrezioni di questo tipo: mi domando ora se anche in Italia vi sono concrezioni massicce di aragonite.

SALVATORI. Vorrei fare due domande al Prof. ROQUES. Consideriamo un condotto carsico in cui fluisca dell'acqua. In questo caso l'acqua con una certa concentrazione iniziale di CO_2 sarà isolata dalla fase gassosa, e raggiungerà ad un certo punto una certa concentrazione che supponiamo sottosatura, cioè non raggiunge le condizioni di equilibrio. Io domando, è possibile che per motivi idrodinamici nell'acqua si possa raggiungere uno stato tale per cui si abbia la precipitazione nonostante che non si sia raggiunto l'equilibrio?

La seconda domanda è questa: sempre in questo stesso condotto immaginiamo che si depositi dell'argilla nella parte sottostante. Ora, che effetto può avere questa argilla sulla soluzione a contatto?

BALBIANO D'ARAMENGO. E' possibile per gli speleologi dilettanti domenicali quali siamo noi usare un metodo molto semplice per stabilire l'aggressività o meno di un'acqua? Se io prendo un campione di acqua in una grotta, misuro il pH, poi vi metto dentro un pezzetto di calcare, dopo alcuni giorni misuro nuovamente il pH, dalla variazione riscontrata è possibile stabilire se l'acqua è aggressiva oppure no, cioè se è sovra- o sottosatura?

Seconda domanda sull'aragonite massiccia di cui lei ci parlava poco fa. Forse questa esiste, e molti di noi l'hanno vista senza sapere di che si trattasse. Vorrei che ci desse la descrizione più dettagliata possibile per poterla riconoscere.

BOEGLI. In alcuni casi di carso alpino sono state misurate delle pressioni parziali della CO_2 di circa 0,01%, cioè ben inferiori alla pressione parziale (0,03%) che si misura nell'atmosfera. Questo fatto, a prima vista inesplicabile, può essere invece dovuto ad una sorta di lavaggio in controcorrente dell'aria che circola nella grotta da parte dell'acqua carsica. Quest'acqua discioglie via via la CO_2 dell'aria dando poi luogo a fenomeni di corrosione. Si spieghano così le concentrazioni così basse che sono state misurate.

CAPPA. Il Prof. ROQUES si è soffermato sull'influenza di elementi perturbanti l'equilibrio o la dinamica dei sistemi nel caso della deposizione di concrezioni calcitiche o aragonitiche. Io vorrei sapere quali alterazioni subisce questa dinamica o questo equilibrio nel caso di soluzione di una roccia calcarea contenente elementi « perturbanti », elementi che evidentemente possono essere profondamente diversi da quelli che troviamo nelle soluzioni teoriche e che, in parte, addirittura possono essere scarsissimamente solubili. Grazie.

PASINI. Il Prof. ROQUES ci ha chiesto se nelle grotte italiane si rinvenivano concrezioni massicce di aragonite. Io ho trovato della aragonite massiccia in pisoliti dell'Antro del Corchia (Galleria delle Stalattiti); la parte centrale di queste pisoliti è costituita da aragonite, la più esterna da calcite, come è risultato da analisi diffrattometriche ai raggi X. Sempre nella stessa zona dell'Antro del Corchia speleologi cecoslovacchi hanno rinvenuto stalattiti aragonitiche accanto a numerose altre concrezioni calcitiche (KRÁLÍK F. & SKŘIVÁNEK F., *Ceskoslov. Kras*, 16: 87/107, 1964).

A proposito dell'aragonite mi pare di aver capito che il Prof. ROQUES nelle sue esperienze di laboratorio ha riscontrato come la temperatura necessaria per la precipitazione di aragonite sia di circa 30°C. Ricordo che, in base ad osservazioni di G. W. MOORE (*Am. J. Science*, 254: 746/753, 1956), è stata riscontrata la precipitazione in atto di aragonite in grotte degli U.S.A. con temperature costanti superiori a 15,5°C, ma spesso assai inferiori ai 30°C determinati in laboratorio.

BRANCACCIO. Vorrei riattaccarmi brevemente all'intervento del Prof. BOEGLI. Volevo ricordare che in una stessa località ha anche notevole importanza la copertura vegetale. La pressione parziale della CO_2 a livello del suolo varia tra il giorno e la notte, come è noto, per l'esplicazione della funzione clorofilliana; di ciò si deve tener conto nella misurazione delle pressioni parziali dell'anidride carbonica nell'aria ed anche delle pressioni parziali dell'anidride carbonica disciolta nell'acqua.

ANELLI. Vorrei sapere che origine possono avere certe stralangiamenti forate lungo il loro asse che ho trovato anche nella Grotta di Castellana.

CIGNA. A mia volta vorrei fare un'ultima brevissima domanda. E' possibile misurare il pH invece della concentrazione della CO_2 , determinando però in modo univoco le condizioni di equilibrio?

ROQUES. Rispondo prima di tutto a CAPPA. L'alterazione degli equilibri a causa di elementi estranei insolubili può avvenire soltanto al momento della precipitazione, in quanto possono favorire una particolare forma di cristallizzazione. Gli

elementi solubili possono invece intervenire in vari modi anche sugli equilibri: effetto dello ione comune (diminuzione della solubilità), effetto dello ione estraneo (aumento della solubilità). Si può pure riscontrare un terzo effetto dovuto alla presenza di molecole di carbonato di calcio non dissociato, tuttavia si è osservato che nel caso del calcio l'influenza è praticamente trascurabile. Altrettanto non può dirsi però per il magnesio: in presenza di molecole indissociate di sali di magnesio si può osservare un aumento non trascurabile di solubilità del carbonato di calcio.

Per quanto si riferisce alla domanda di BALBIANO D'ARAMENGO per la determinazione dell'aggressività delle acque col metodo della polvere di marmo, vorrei osservare che è più semplice arrivare ad una determinazione mediante la misura in loco del pH e la misura differita della concentrazione del calcio. Mi spiace invece non avere un campione di aragonite massiccia: per il suo riconoscimento è necessario all'inizio un microscopio polarizzatore; successivamente con un po' di pratica si arriva ad una sua identificazione ad occhio.

Sono d'accordo con la spiegazione di BOEGLI a proposito dei valori osservati per le concentrazioni di CO_2 in varie situazioni. Le stalagmiti perforate cui si riferiva ANELLI possono essere dovute sia ad una precipitazione delle goccioline di rimbalzo in seguito alla caduta di gocce primarie di acqua satura oppure, nel caso di acque non sature, di un semplice fenomeno di corrosione di una stalagmite già formata.

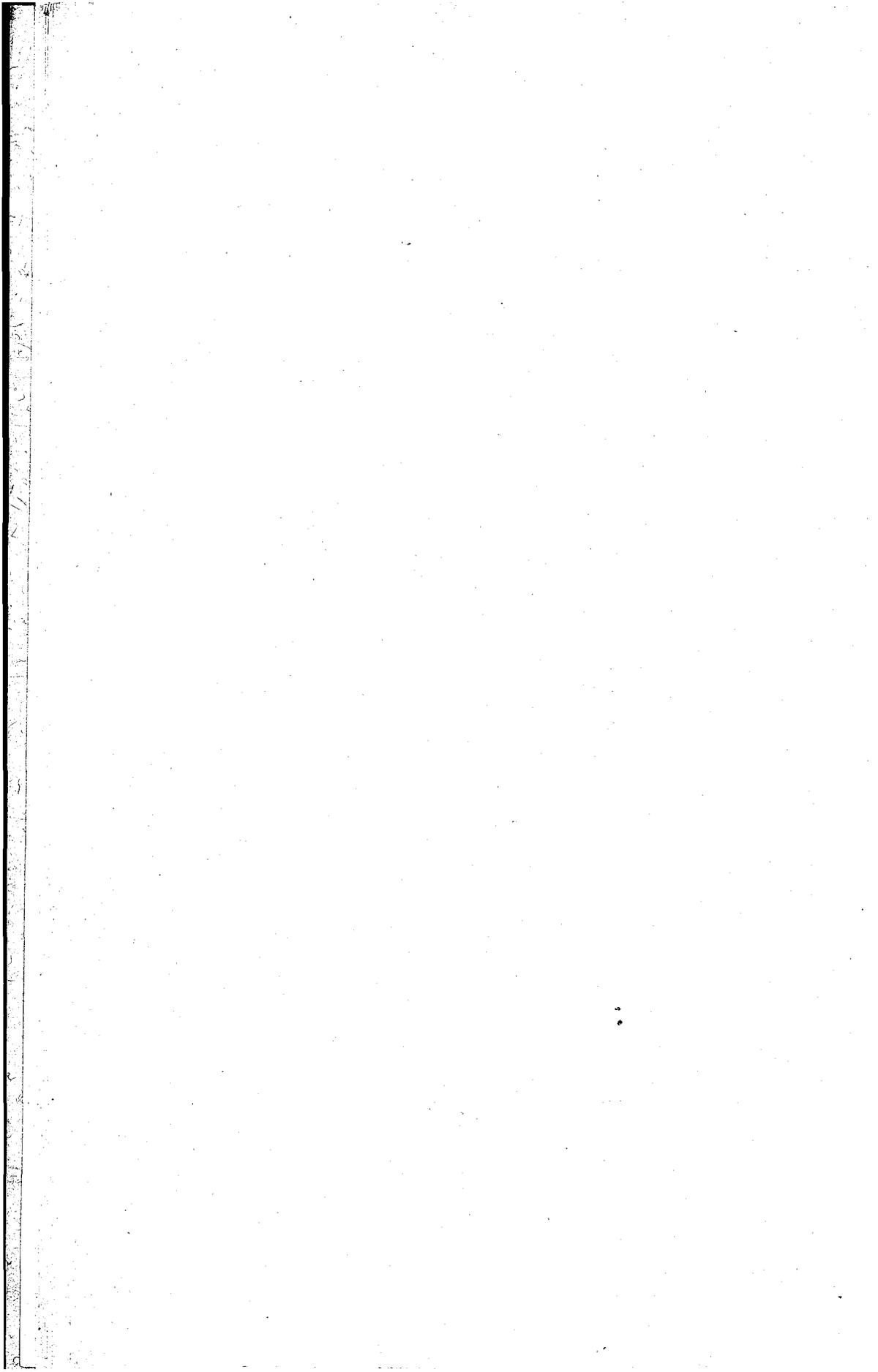
Il caso ipotizzato da SALVATORI, cioè dell'esistenza di acqua insatura di carbonato di calcio in grado di depositare del carbonato di calcio, non mi pare possibile. Il deposito argilloso sul fondo di gallerie potrebbe agire da supporto per delle condizioni di germinazione eterogenea rispetto alle condizioni normali della soluzione. Devo tuttavia osservare come, nella realtà, non sia mai riuscito a rivelare un tale effetto.

A proposito delle pisoliti di calcite con un nocciolo di aragonite cui si riferiva PASINI, sarebbe interessante l'età di formazione di tali pisoliti: potrebbe darsi che si siano verificate delle variazioni nelle condizioni di deposito della parte centrale e di quella periferica.

L'effetto dovuto alla variazione della CO_2 atmosferica tra il giorno e la notte, citato da BRANCACCIO, viene completamente assorbito dal fatto che le acque carsiche hanno un tempo di soggiorno all'interno del massiccio calcareo di parecchi giorni. Si ha pertanto una integrazione delle variazioni giornaliere e le nostre misure, effettuate su acque carsiche, rappresentano valori medi.

Per quanto riguarda infine la domanda di CIGNA desidero precisare che la correlazione tra pH e concentrazione di CO_2 è valida soltanto in condizioni di equilibrio. Purtroppo in natura è difficile riconoscere l'esistenza di tali condizioni di equilibrio e non sembra pertanto possibile sostituire la misura della concentrazione della CO_2 mediante quella del pH.

CIGNA. Ringrazio molto il Prof. ROQUES, anche per gli ultimi chiarimenti che ci ha dato. Passiamo ora alla comunicazione del Prof. PERNA sui fenomeni carsici e i giacimenti minerari.



GIULIANO PERNA (*)

FENOMENI CARSICI E GIACIMENTI MINERARI (1)

RIASSUNTO - L'Autore prende in esame innanzitutto i giacimenti di bauxite nelle rocce carbonatiche, che risultano notoriamente legati al ciclo carsico. La bauxite è il residuo della dissoluzione dei calcari e dolomie (giacimenti autoctoni e parautoctoni) depositata in corrispondenza di depressioni carsiche. In altri giacimenti la bauxite deriva invece dalla lateritizzazione di rocce cristalline ed il carsismo costituisce solo una zona favorevole all'accumolo (giacimenti alloctoni). La stessa genesi hanno alcuni giacimenti di minerali di ferro e manganese e di fosforiti. Molti giacimenti di piombo, zinco, (fluorite e barite), in rocce carbonatiche sono, secondo i più recenti studi, anche essi strettamente legati al ciclo carsico; più raramente, o meglio occasionalmente, lo sono i giacimenti di altri minerali (uranio, vanadio, lignite, ecc.). I minerali possono deporsi non solo in doline, polje ma anche in vere e proprie grotte e non sono rari i ritrovamenti di cavità nelle miniere, sia quale testimonianza del ciclo carsico legato alla mineralizzazione, che di uno successivo.

Viene proposta la seguente classificazione dei *giacimenti carsici*:

— *Giacimenti di ciclo carsico* o *giacimenti carsici autoctoni e parautoctoni* quando il minerale è il residuo della dissoluzione delle rocce carbonatiche ed il luogo di deposizione un karst (dolina, grotta, voragine, ecc.).

— *Giacimenti nei karst* o *giacimenti carsici alloctoni*, quando il minerale, derivante da rocce cristalline o comunque non legato alle rocce carbonatiche stesse, è localizzato nei karst.

— *Giacimenti di arricchimento carsico*, quando la roccia carbonatica, debolmente mineralizzata, subisce una dissoluzione carsica superficiale della frazione carbonatica con conseguente arricchimento relativo in minerale utile (*giacimenti residuali*). Si può avere una dissoluzione e riprecipitazione dei minerali utili (*giacimenti supergenici*) oppure una alterazione e concentrazione di elementi.

(*) Laboratorio Geominerario della Regione Trentino-Alto Adige, S. Michele all'Adige. Istituto di Giacimenti Minerari della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna.

(1) Lavoro finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (Comitato per le Scienze Geologiche e Minerarie), contratto n. 70.00347.05.

utili (*giacimenti di alterazione*). Più raramente può intervenire un arricchimento relativo per circolazione di acque in pressione che asportano la frazione carbonatica (*giacimenti freatici*).

Viene infine fatto cenno della petrografia dei depositi e delle modalità di trasporto dei metalli.

RÉSUMÉ - L'auteur examine tout d'abord les gisements de bauxite dans les roches carbonatées, notoirement associées au cycle karstique. La bauxite est le résidu de la dissolution des calcaires et des dolomies (gisements autochtones et paraautochtones) déposé en relation avec des dépressions karstiques. Dans d'autres gisements par contre, la bauxite provient de la latéritisation de roches cristallines et le karst ne constitue qu'un lieu favorable à l'accumulation (gisements allochtones). On retrouve le même processus de formation pour quelques gîtes minéraux de fer et de manganèse, et de phosphorites. De nombreux gîtes minéraux de plomb, de zinc, (barytine et fluorine) dans les roches carbonatées sont également, d'après les études plus récentes, étroitement reliées au cycle karstique; ce qui est plus rare pour les gisements d'autres minéraux (uranium, vanadium, lignite, etc.). Les minéraux peuvent se déposer non seulement dans les dolines, les poljes, mais encore dans de véritables grottes et il n'est pas rare de retrouver des cavités dans les mines soit comme témoins d'une cycle karstique lié à la minéralisation soit d'un cycle postérieur.

On propose la classification suivante des *gisements karstiques*:

— *Gisements de cycle karstique*, ou *gisements karstiques autochtones et paraautochtones*, lorsque le minéral est le résidu de la dissolution des roches carbonatées, et le lieu du dépôt est un karst (doline, grotte, gouffre, etc).

— *Gisements dans le karst* ou *gisements karstiques allochtones*, lorsque le minéral, dérivé de roches cristalline ou de toute façon non relié aux roches carbonatées elles-mêmes, est localisé dans un karst.

— *Gisements d'enrichissement karstique*, quand la roche carbonatée, faiblement minéralisée, subit une dissolution karstique superficielle de la partie carbonatée, avec comme conséquence, un enrichissement relatif en minéral (*gisements résiduels*). On a soit une dissolution et reprécipitation des minéraux utiles (*gisements supergènes*) soit une altération et une concentration des éléments utiles (*gisements d'altération*). Plus rarement il peut y avoir enrichissement relatif par circulation d'eaux sous pression qui entraînent la fraction carbonatée (*gisements phréatiques*).

On donne, enfin, un aperçu de la pétrographie des dépôts et des modalités de transport des métaux.

INDICE

1. PREMESSA	pag. 79
2. GIACIMENTI DI BAUXITE	» 80
3. GIACIMENTI DI MINERALI DI FERRO, MANGANESE, FOSFATI	» 88

4. GIACIMENTI DI MINERALI DI PIOMBO, ZINCO, BARITE, FLUORITE	pag. 99
5. GIACIMENTI DI ALTRI MINERALI	» 118
6. FENOMENI CARSIICI NEI GIACIMENTI DI PIOMBO E ZINCO NELLE ROCCHE CARBONATICHE, CONCREZIONAMENTI	» 120
7. FENOMENI CARSIICI NEI FILONI IDROTERMALI	» 125
8. PETROGRAFIA DEI DEPOSITI	» 126
9. GENESI DEI GIACIMENTI CARSIICI	» 131
10. CONCLUSIONI	» 140
11. BIBLIOGRAFIA	» 141

1. PREMESSA

La definizione di *giacimento minerario* è essenzialmente utilitaria, intendendosi con questo termine tecnico *una massa di sostanza minerale suscettibile di essere coltivata* (ROUTHIER 1963).

La coltivabilità dipende da molti fattori: tenore e dimensione del giacimento, trasporti, condizioni climatiche, costo della manodopera, possibilità di arricchimento dei minerali e loro metallurgia e, non ultimo, il regime politico del paese ove è ubicato. Tenuto conto della mutabilità di queste componenti, la disciplina dei giacimenti studia anche quelle concentrazioni di minerali che potrebbero essere sfruttate in un futuro qualora le condizioni dovessero modificarsi: si parla in questo caso di indizi o manifestazioni minerarie.

I giacimenti minerari possono avere svariate origini: qualsiasi processo geologico che porti alla formazione di rocce e minerali può portare, in particolari condizioni, alla formazione di giacimenti, cioè di concentrazioni *anomale* di un determinato minerale utile. Così si hanno giacimenti magmatici, metasomatici, idrotermali, sedimentari, metamorfici, di alterazione e altri, a seconda della loro origine. Gran parte dei minerali, od elementi, sono preferibilmente legati ad uno o pochi processi geologici, essendo condizionati da una serie complessa di fattori.

Tra i vari processi geologici che possono portare alla formazione di giacimenti vi è anche il fenomeno carsico, e se è noto da tempo il legame con le bauxiti, relativamente nuova è la scoperta che importanti concen-

trazioni di ferro, piombo, argento e zinco, ecc. sono state indubbiamente condizionate dalla evoluzione carsica.

Darò qui di seguito alcuni esempi nei quali il legame tra giacimenti e carsismo è particolarmente evidente. Descriverò poi alcune strutture e situazioni tipicamente carsiche nei giacimenti e accennerò al problema della petrogenesi dei depositi.

Nelle conclusioni cercherò di fornire una sintesi della genesi dei giacimenti correlati con il carsismo.

Voglio qui ringraziare il dott. F. BACCOS ed il dott. C. BRUSCA, che mi hanno dato alcuni chiarimenti, l'ing. E. STEFANI per le fotografie della Grotta di S. Barbara e l'ing. B. LOPEZ per i rilievi dei giacimenti di terre coloranti di Verona.

Dopo la presentazione della presente relazione a Varenna come pre-stampa, ho potuto prendere visione di alcuni ulteriori lavori sull'argomento, di cui ho voluto tener conto ad evitare che la nota apparisse già superata al momento della stampa.

2. GIACIMENTI DI BAUXITE

Tralasciando il caso ovvio della calcite sfruttata come alabastro, e di breccie ossifere per fertilizzanti, inizierò con la illustrazione dei giacimenti di bauxite, per i quali è più evidente la connessione con l'evoluzione carsica.

La bauxite non è una specie minerale, ma una roccia sedimentaria, costituita da ossidi ed idrossidi di Al (gibbsite, boehmite, diasporo), di Fe (oligisto, goethite, lepidocrocite), minerali argillosi (essenzialmente caolinite) ed altri costituenti minori, tra i quali MnO_2 , TiO_2 , ecc.

Si forma per alterazione e dilavamento sia di rocce cristalline ricche in alluminio e povere o prive di quarzo (sieniti, adesiti, tonaliti, dioriti, gabbri, gneiss, ecc.) o sedimentarie calcaree.

Le prime prendono il nome di *bauxiti lateritiche* (o *lateriti alluminifere*) mentre le seconde, sulle quali fermeremo l'attenzione, sono dette *bauxiti carsiche* (o *bauxiti propriamente dette*), che sono poi delle particolari « terre rosse » molto ricche in allumina.

Vi era stato in passato chi aveva ipotizzato per le bauxiti una origine idrotermale o da eruzioni sottomarine, da polvere cosmica od eolica, ma le più recenti ricerche (DELL'ANNA 1966, CRESCENTI & VIGHI 1970) confermano l'ipotesi già prospettata da molti autori che si tratti del residuo

insolubile di formazioni calcaree nelle quali il CaCO_3 è stato portato in soluzione ed allontanato dalle acque carbonicate circolanti (ipotesi della autoctonia). Ritenendosi che le modeste quantità di impurità dei calcari non fossero sufficienti a giustificare depositi di qualche consistenza, ha trovato credito l'ipotesi della alloctonia dei giacimenti di bauxite sulle rocce carbonatiche.

Particolarmente indicativi sono i dati ottenuti da DELL'ANNA, nel confronto tra composizione chimica delle terre rosse ed i residui insolubili dei calcari della regione pugliese, che presentano strette analogie, sia come composizione mineralogica che chimica. I calcari contengono un residuo insolubile tra 0,1 ed eccezionalmente l'1%, per cui si richiederebbe la demolizione sul posto di uno strato troppo potente di roccia per portare alla formazione delle *terre rosse*; è qui che interviene il dilavamento che asporta le frazioni argillose della dissoluzione dei calcari e le rideposita nelle zone depresse (autoctonia relativa).

Il quadro delle ipotesi della formazione dei depositi bauxitici su rocce calcaree è pertanto il seguente:

- 1) *Ipotesi della autoctonia assoluta*, quando i giacimenti sono formati in posto per decalcificazione.
- 2) *Ipotesi della autoctonia relativa (parautoctonia)*, quando il prodotto della decalcificazione è una bauxite, che viene dilavata e deposta in depressioni carsiche, oppure quando si forma una laterite bauxitica, che subisce una ulteriore evoluzione dopo la deposizione in depressioni soggette ad essere inondate.
- 3) *Ipotesi della alloctonia*, quando la bauxite si forma su altre rocce (cristalline), ed è trasportata e deposta in depressioni carsiche, potendo subire un ulteriore processo di bauxitizzazione.

Per i giacimenti del bacino del Mediterraneo, gli studi più recenti concordano per una genesi alloctona o autoctona relativa.

2.1. Giacimenti di bauxite dell'Italia meridionale

Per i giacimenti di bauxite del Casertano e del Matese (CRESCENTI & VIGHI 1970), in posto si è avuta la formazione di terra rossa. Solo nelle zone depresse l'acqua permaneva sufficientemente a lungo da permettere ai processi di alterazione di portare in soluzione, dalla terra rossa che si accumulava, l' SiO_2 e Fe_2O_3 , per giungere alla formazione della bauxite.

Tuttavia i giacimenti di queste zone sono di scarsa importanza, in quanto troppo limitati per le caratteristiche dei calcari di letto, sui quali non si svilupparono fenomeni carsici di qualche entità ed i giacimenti risultano estesi ma poco potenti. Questi depositi sono presenti nella zona di trasgressione tra Cretaceo superiore e Cretaceo inferiore.

Anche nel Gargano e nelle Murge tra il Cretaceo medio e il Cretaceo superiore si ebbe una fase di emersione, con erosione carsica ed accumulo nelle depressioni di terra rossa e bauxite, a S. Giovanni Rotondo ed al Lago di S. Egidio. La superficie che delimita il calcare di letto del giacimento di S. Giovanni Rotondo è molto irregolare, con spuntoni, selle e dossi che talvolta si trovano a diretto contatto con il tetto costituito da breccie, conglomerati e calcari ad andamento regolare, dolcemente ondulato (CRESCENTI & VIGHI 1964) (Fig. 1).

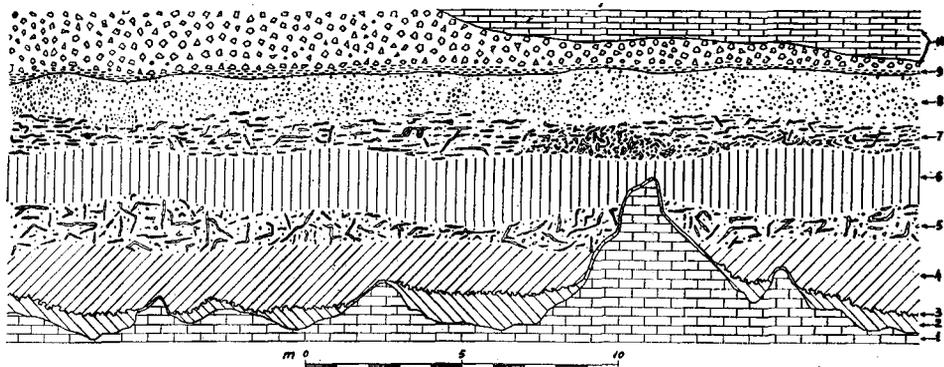


Fig. 1 - Posizione ed andamento dei vari tipi di minerale bauxitico della miniera di S. Giovanni Rotondo. (Da CRESCENTI & VIGHI 1964).

Spiegazione dei numeri: 1: Calcari di letto; 2: Argille di letto; 3: Gallone (argilla di letto biancastra); 4: Argilloso; 5: Variiegato di letto; 6: Oolitico; 7: Variiegato di tetto; 8: Calcarizzato di tetto; 9: Argille giallognole; 10: Sedimenti di tetto (breccie, conglomerati e calcari).

A Spinazzola nelle Murge, le sacche bauxitiche sono raccolte in cavità carsiche le cui pareti calcaree si presentano corrose e lisce dal passaggio delle acque (ANELLI 1958), e pertanto il controllo paleogeografico risulta ancora più evidente che nel Gargano.

Sostanzialmente diversi sono i depositi bauxitici del Salento. Innanzitutto il minerale è costituito da noduli bauxitici, a struttura concentrica, frammisti a terra rossa nella quale il tenore in SiO_2 è molto più elevato, mentre nel Gargano ed a Spinazzola quest'ultima è assente nel giacimento.

La superficie ricoperta è vastissima nel Salento ed a tetto del giacimento si trova spesso un deposito organico o di lignite in ambiente lacustre o salmastro.

I depositi bauxitici si sono formati durante il periodo di emersione dal Cretaceo superiore al Terziario superiore o al Pleistocene. La bauxite venne asportata e rideposta dalle alluvioni, assieme a terra rossa, su vaste superfici nelle depressioni, manca pertanto la connessione tra adunamenti e topografia carsica tipica.

2.2. Giacimenti di bauxite della Sardegna

PECORINI 1965 prospetta per le bauxiti della Nurra (Sardegna NW) una ipotesi di autoctonia relativa. Le bauxiti sarebbero derivate dalla alterazione lateritica dei prodotti residuali dei calcari giuresi e urgoniani o dalla decalcificazione dei calcari marnosi purbeckiani-neocomiani. Anche la giacitura, oltre che la genesi, è analoga a quella delle bauxiti del Gargano e della zona di Spinazzola.

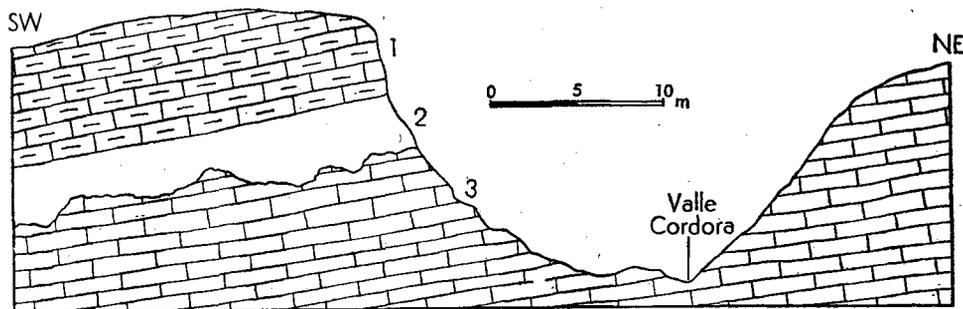


Fig. 2 - Giacimento bauxitico di Rocca di Mezzo negli Abruzzi.
Spiegazione dei numeri: 1) calcare marnoso lastroide, 2) bauxite, 3) calcare di scogliera del Cretaceo Superiore (« biancone »). (Da CAVINATO 1964).

2.3. Giacimenti di bauxite della Francia

In Francia i giacimenti di bauxite sono situati nel Sud del paese, lungo una fascia che va dall'Ariège, al bordo dei Pirenei, sino al dipartimento del Var, a SE delle Alpi.

In un recente studio, NICOLAS 1968 dimostra che queste bauxiti derivano da lateriti ferruginose ed alluminifere, smantellate, trasportate

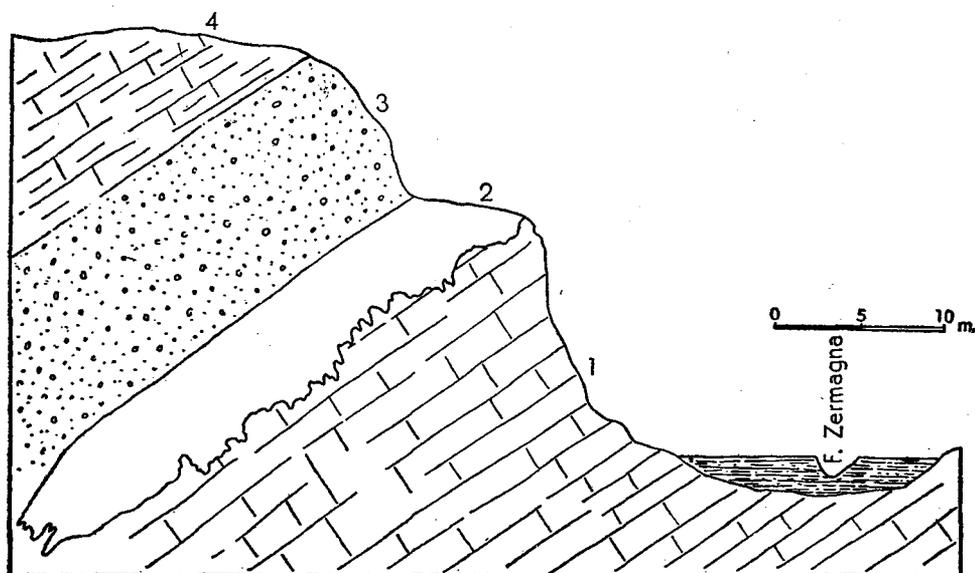


Fig. 3 - Profilo di un giacimento bauxitico di Ervenico (Dalmazia).

Spiegazione dei numeri: 1) calcare titonico; 2) bauxite; 3) conglomerato a cemento bauxitico; 4) calcare cretacico (« biancone »). (Da CAVINATO 1964).

e deposte in mezzo acquoso nelle depressioni carsiche, continuando a subire, dopo la deposizione, una ulteriore evoluzione con deferrizzazione, risilicificazione, calcificazione.

Il periodo di formazione varia da zona a zona e corrisponde comunque al Cretaceo inferiore, in corrispondenza di una lunga stabilità della zona, che ha consentito i fenomeni di laterizzazione.

2.4. Giacimenti di bauxite della Jugoslavia e del Montenegro

I giacimenti di bauxite sono numerosi in Jugoslavia, nei rilievi calcareo-dolomitici nella fascia prospiciente l'Adriatico. La genesi di questi giacimenti è quella classica: la piattaforma calcarea, erosa e incarsita nei periodi di emersione, ha dato luogo ad argille residuali, dalle quali sarebbero derivate, per ulteriore evoluzione, le bauxiti.

In Croazia e Bosnia i livelli bauxitici sono intercalati tra i calcari del Cretaceo superiore e dell'Eocene medio, nel Montenegro sono presenti ben 9 orizzonti di cui 4 di maggiore importanza industriale:

- 1) tra il Trias medio e il Trias superiore;
- 2) tra il Trias superiore e il Titoniano-Valanginiano;
- 3) tra il Lias e il Titoniano-Valanginiano;
- 4) tra il Titoniano e il Cretaceo.

Tutti hanno in comune l'origine carsica; da notare che qui vi sono giacimenti di bauxite bianche povere di ferro e di bauxiti rosse. Queste ultime sono state deposte in ambiente ossidante, le prime in ambiente riducente e sono spesso accompagnate da livelli di lignite (RIBACCHI 1965) (Fig. 4).

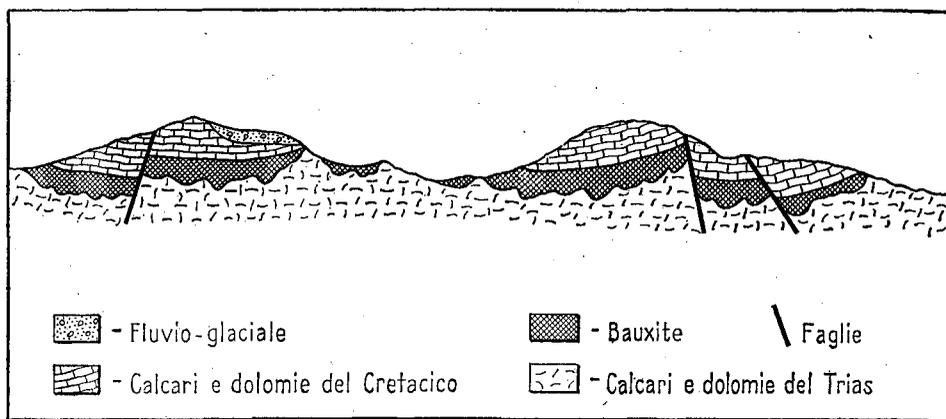


Fig. 4 - Schema geologico indicativo di un giacimento di bauxite del Montenegro. (Da RIBACCHI 1965).

D'AMBROSI 1943 in un suo lavoro sulle bauxiti nel Cretaceo dell'Istria, confuta l'ipotesi di una genesi idrotermale di questo *minerale* ⁽¹⁾ dimostrando che si tratta di resti di paleosuoli generatisi in seguito allo svolgersi di normali processi pedoclimatici, durante le due prime fasi di continentalità della regione istriana.

La presenza di pirite in alcune sacche di bauxite dimostra che la

⁽¹⁾ *Minerale* nel senso di minerale utile, roccia mineralizzata.

deposizione è avvenuta in una fase ingressiva del mare, con il conseguente risalire dell'acqua di fondo nelle depressioni e cavità carsiche.

Gli apporti terrigeni dai rilievi circostanti impermeabilizzarono le depressioni, con creazione di paludi e svolgimento di composti solforati legati alla attività organica.

Le due fasi di incarsimento, quella del Cretaceo inferiore (trasgressione di Orsera) e quella del Senoniano, alle quali sono legati i giacimenti bauxitici dell'Istria, si sono arrestate in uno stadio iniziale e non hanno raggiunto l'entità della terza fase, quella attuale (Fig. 5).



Fig. 5 - Sezione geologica attraverso l'Istria da Orsera ad Albona (secondo D'AMBROSI).

Spiegazione dei numeri: 1) Giurese sup.: calcari oolitici e corallini, 2) Cretaceo inf.: orizzonte di breccie calcaree a cemento bauxitico; fase di continentalità sul Giurese, a cui segue la trasgressione del Neocomiano; 3) Cretaceo sup.: calcari a Rudiste; 4) fine del Cretaceo: orizzonte bauxitico; fase di continentalità sul Senoniano; 5) Eocene inf. e medio: calcari. (Da CAVINATO 1964).

Giacimenti carsici di bauxite sono noti e descritti in tutto il mondo: ricordo ancora, per fare un altro esempio, quelli di Gant in Ungheria, ove il minerale utile giace sulle dolomie triassiche incarsite ed il giacimento paleozoico di Krasnaia Chapotchka negli Urali (URSS) (DOROKHINE & al. 1967).

Gli enormi giacimenti di bauxite della Giamaica giacciono su calcari bianchi (Eocene medio-Miocene inferiore) estremamente puri. Ciò ha indotto molti autori a ritenerli alloctoni, di derivazione da rocce andesitiche, ma studi sugli elementi in traccia nei calcari e nelle bauxiti dimostrerebbero la loro intima connessione (PARK 1970).

2.5. Giacimenti di lignite

Nei giacimenti di bauxite si riscontrano talora livelli carboniosi derivanti da resti vegetali fuitati nelle depressioni carsiche; altre volte i giacimenti di bauxite passano lateralmente a depositi di lignite.

A San Martino di Arco (Trento) la lignite assume potenza consistente, sino a 70 centimetri, tanto che fu coltivata durante la guerra, con alcune gallerie in località Pianaura.

Nella parte superiore del Lias si è verificata una fase di emersione della zona, a seguito della riattivazione della faglia sinsedimentaria di Balino (che passa poco più di un chilometro ad Ovest) (CASTELLARIN 1972). Nelle zone depresse si depositò argilla azzurrastra e detriti vegetali che hanno dato luogo al banco di lignite.

Questo giacimento ha la caratteristica, comune ai giacimenti bauxitici, di avere il letto calcareo molto irregolare, mentre il tetto è pianeggiante. Gli ingrossamenti riscontrati talora dai minatori corrispondono alle zone depresse.

La lignite si è deposta in ambiente palustre al bordo di un mare aperto (« marsh ») in acque poco ossigenate, come dimostra il colore dell'argilla e la conservazione della sostanza organica. Per questo giacimento pertanto è dubbio se il fenomeno carsico abbia giocato o meno un ruolo nel determinare una situazione favorevole all'accumulo.

I giacimenti del bacino lignitifero dell'Arsa (Istria), sembrano invece poggiare sopra una superficie irregolare che ricorda molto da vicino l'analoga situazione dei giacimenti di bauxite (fig. 8).

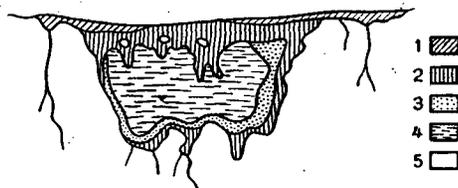


Fig. 6 - Sezione schematica di un giacimento di bauxite dell'Istria del Cretaceo superiore. La giacitura della bauxite, dislocata, dà l'impressione di un rimaneggiamento, provocato dall'abbassamento continuo del fondo della tasca per dissoluzione.

Spiegazione dei numeri: 1) Humus, 2) Terra rossa passante bruscamente a calcare, 3) Bauxite gialla, 4) Bauxite rossa, frammentata in blocchi angolosi, 5) Calcare a Rudiste, pulverulento. (Da DE WIESSE in ROUTHIER 1963).

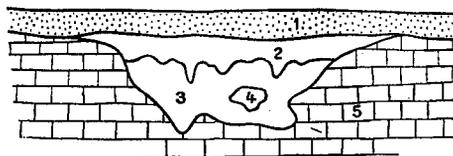


Fig. 7 - Sezione schematica di una tasca di bauxite della regione di Bédérieux (Hérault).

Spiegazione dei numeri: 1) Sabbie e conglomerati dell'Eocene inferiore (tetto del giacimento), 2) Bauxite bianca, refrattaria, spesso rimaneggiata, 3) Bauxite rossa, 4) Bauxite poco refrattaria, in esili lenti, 5) Calcare dolomitico del Trias medio e forse superiore (letto del giacimento). (Da ROUTHIER 1963).

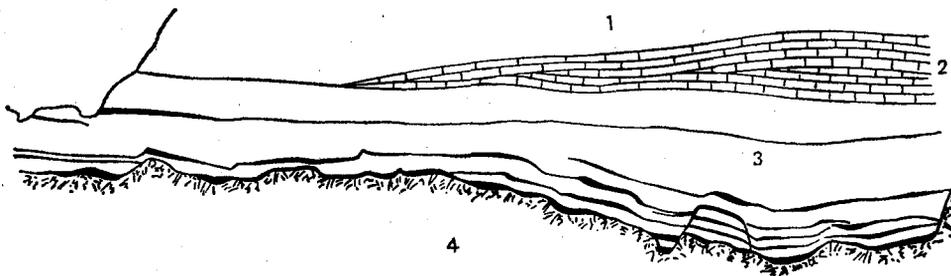


Fig. 8 - Bacino lignifero dell'Arsa (Istria).

Spiegazione dei numeri: 1) Calcari eocenici ad alveoline, 2) calcari eocenici a miliolidi, 3) base dell'Eocene (Strati a Cosina: calcari marnosi, marne, ligniti - in nero), 4) calcari cretacei. (Da PETRASCHKE in CAVINATO 1964).

3. GIACIMENTI DI MINERALI DI FERRO, MANGANESE, FOSFATI

I giacimenti di minerali di ferro, possono avere genesi magmatica, idrotermale o sedimentaria; quelli carsici importanti sono nel complesso rari.

3.1. I giacimenti di minerali di ferro del Marquesado

Il giacimento di ferro del Marquesado (Sierra Nevada, Spagna) è situato sul versante N del massiccio della Sierra Nevada all'estremità S della pianura diluviale del Marquesado del Cenete.

Il minerale è costituito da 60% di ematite e 40% di goethite. Il giacimento è composto da masse irregolari incassate nei calcari metamorfici della *Mischungzone*. Queste masse corrispondono a cavità carsiche prodotte

nei calcari durante fasi di emersione che segnano la fine della formazione di scogliera (Fig. 9).

La deposizione del minerale è avvenuta in una successiva fase di approfondimento del fondo marino, che precede una nuova fase di deposizione di calcari. L'origine del giacimento può essere ricondotta a fenomeni vulcanici caratteristici del Trias, oppure a fenomeni di alterazione pedogenetica (lateritizzazione) di rocce ferrifere nel Trias inferiore (anfiboliti) (PERNA 1970).

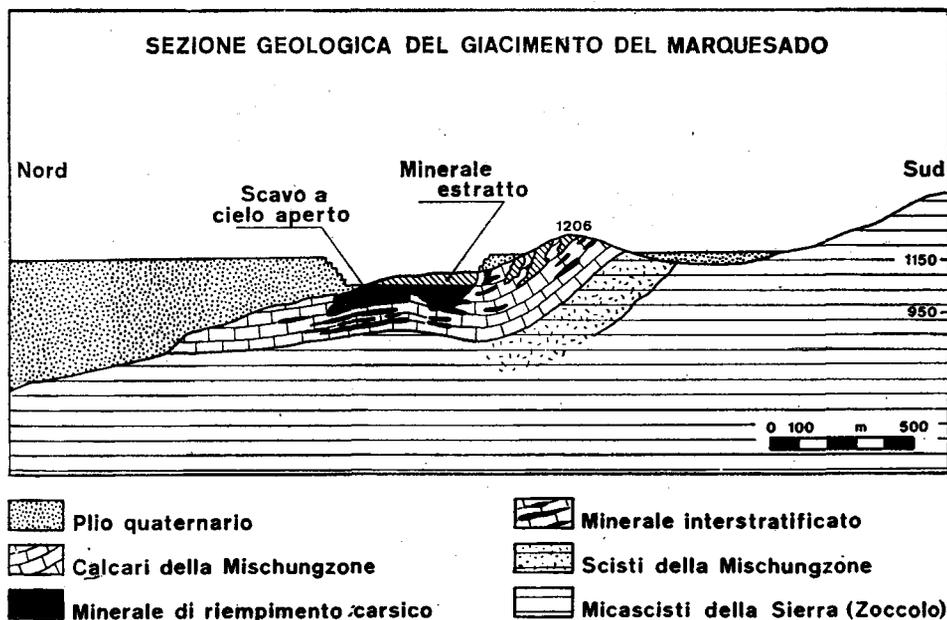


Fig. 9 - Sezione geologica del giacimento di minerali di ferro del Marquesado (Sierra Nevada, Spagna) insediato in un karst (Da PERNA 1970).

3.2. I giacimenti limonitici ed ematitici dell'Istria

Un notevole interesse, ai fini del presente studio, rivestono i modesti depositi limonitici ed ematitici dell'Istria, descritti nella nota di D'AMBROSI già citata (1943). Infatti essi costituiscono un collegamento genetico con i giacimenti bauxitici della stessa regione.

Si tratta di « filoni » contenuti in spaccature dei calcari o sacche di minerale meno puro con ocre miste a pisoliti limonitiche, talvolta molto grosse. Questi minerali ferrosi sarebbero derivati dalle bauxiti, per un

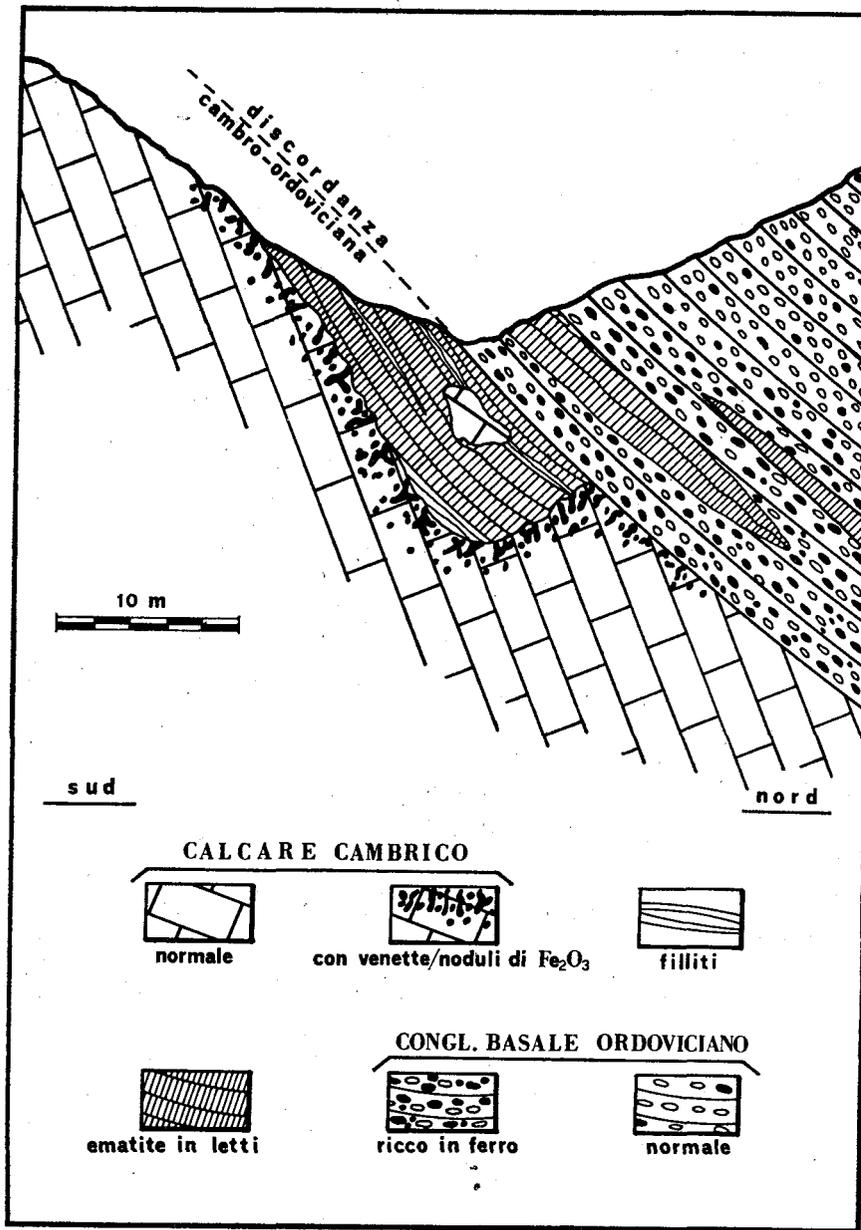


Fig. 10 - Giacimento carsico di ematite di Fluminimaggiore (Sardegna).
(Da PADALINO & al. 1972).

particolare tipo di alterazione, e la loro formazione sarebbe pressoché contemporanea od immediatamente successiva a quella dei giacimenti bauxitici.

3.3. Il giacimento di ematite del Monte Gennargentu

Il giacimento di ematite ubicato sulle falde settentrionali del Monte Gennargentu (Sardegna), già interpretato dubitativamente come sedimentario in ambiente marino (ZUFFARDI 1953), ad un più attento esame è ora definito come deposito carsico (PADALINO & al. 1972).

La mineralizzazione, che ricorre al contatto discordante tra calcare cambrico e conglomerato basale ordoviciano, è di età cambro-ordoviciano (Fig. 10).

3.4. I giacimenti di terre coloranti del Latemar e di Verona

CROS & LAGNY, nel loro lavoro del 1969 sui paleokarst nel Trias medio-superiore delle Dolomiti e delle Alpi Carniche Occidentali, descrivono alcuni esempi di paleokarst del Gruppo del Latemar (Dolomiti).

Si tratta di doline, superfici di erosione e grotte vere e proprie a sviluppo orizzontale, od inghiottitoli, riempiti di materiale calcareo-dolomitico, da arenarie, da breccie tufacee e lave vere e proprie del vulcanesimo triassico basico (Fig. 11).

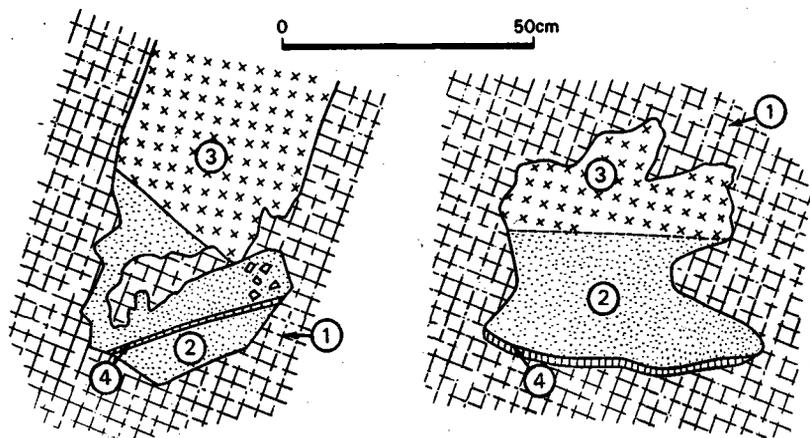


Fig. 11 - Gruppo del Latemar, fianco SE del Cornon (m 2.730).

Spiegazione dei numeri: 1) Calcare del Cornon; 2) Riempimento di dolomia verdastra od ocra, 3) Riempimento di lava, 4) Incrostazioni stalattitiche di calcite cristallina. (Da CROS & LAGNY 1969).

Nel massiccio del Latemar, in diverse località, ad iniziare dal 1500 al 1936 (quando una frana distrusse il cantiere principale di Knappenstube, sul versante settentrionale delle Torri del Latemar), vennero coltivati dei giacimenti di ematite e terre coloranti. I giacimenti erano ritenuti di contatto tra filoni porfiritici e dolomie; alla luce delle nuove scoperte si possono ora interpretare come giacimenti di materiale derivanti dalla alterazione delle lave, accumulati in cavità carsiche.

I fenomeni carsici hanno le dimensioni di qualche metro, impostati in un ampio intervallo dei calcari dolomitici del Latemar. I riempimenti sono ematite ed ocre ematitiche e limonitiche e sono da interpretare forse come prodotti di alterazione subaerea dei materiali effusivi, trascinati dalle acque dilavanti nelle depressioni e nei condotti verticali, associati talora ai filoni porfiritici stessi, e nelle cavità orizzontali.

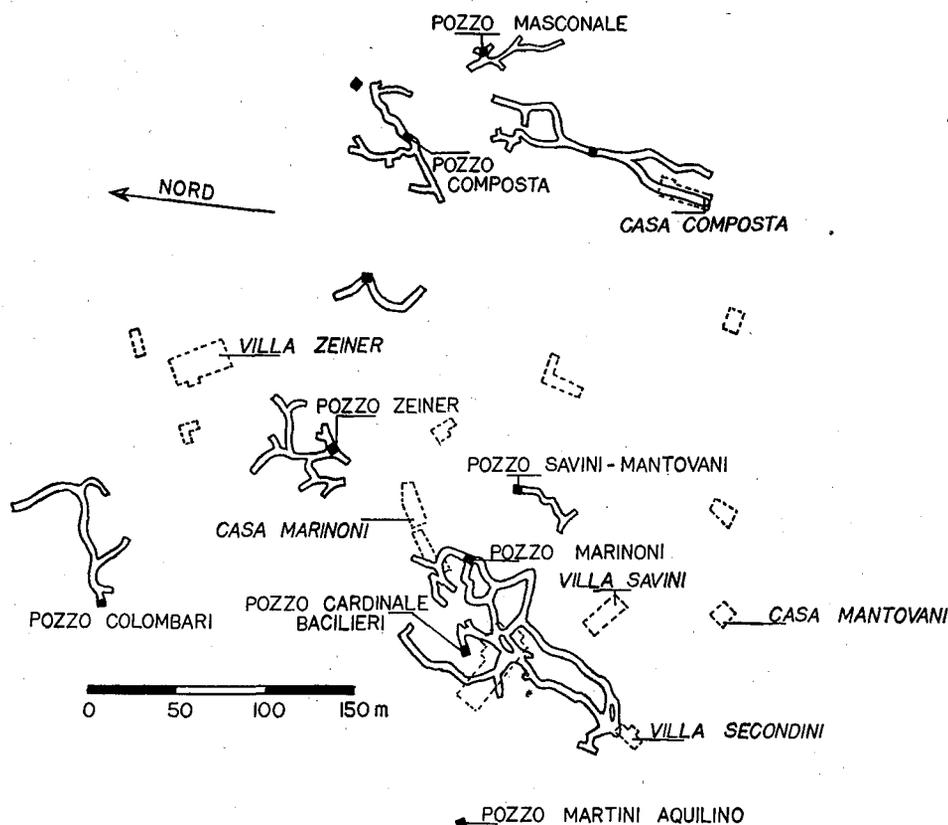


Fig. 12 - Planimetria di alcune gallerie per lo sfruttamento delle « Terre gialle » presso Verona. (Rilievo fornito dal Distretto Minerario di Padova).

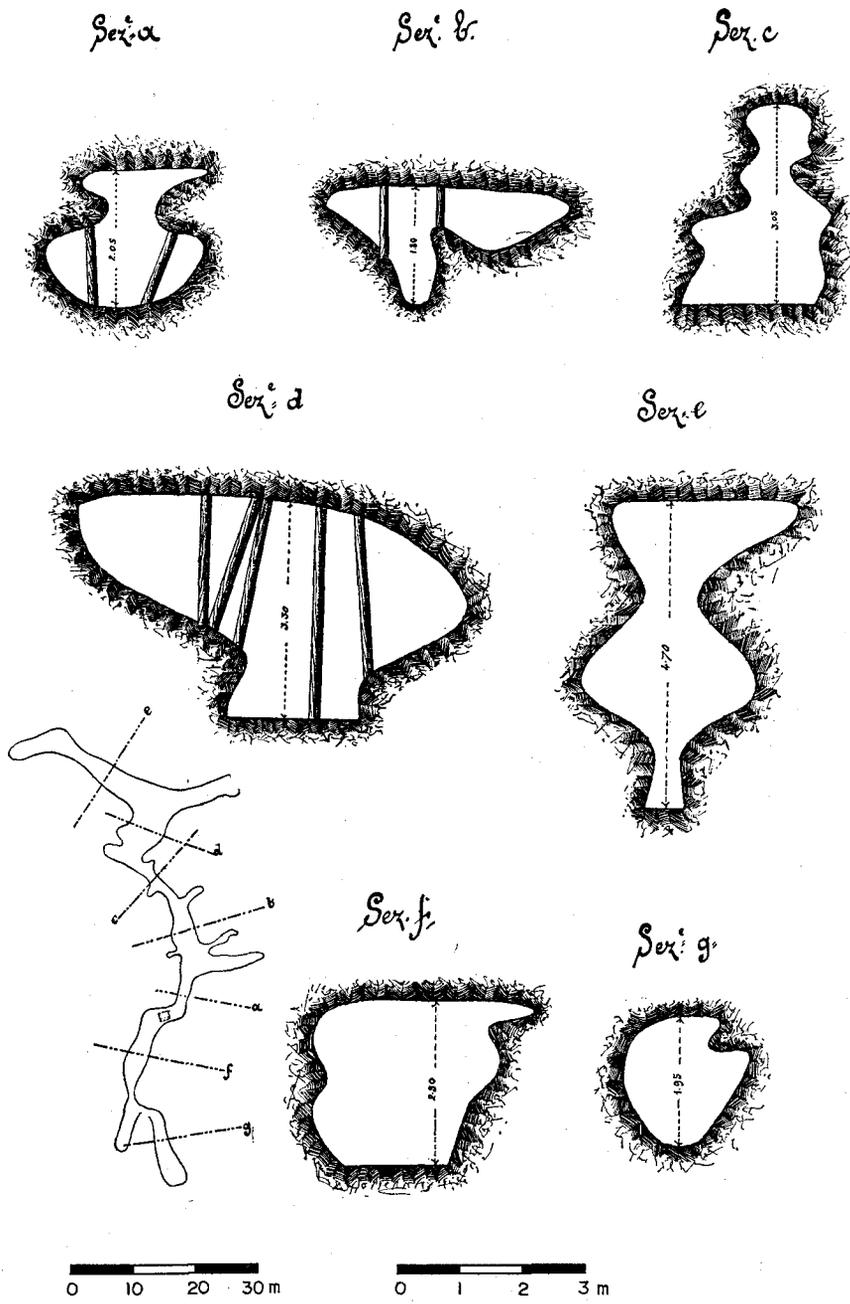


Fig. 13 - Andamento planimetrico e sezioni della miniera di «Terre gialle» in località Fondo Orti di Valdonega (Verona). Le sezioni sono tipiche di condotti carsici. (Rilievo fornito dal Distretto Minerario di Padova).

I giacimenti di « *Terra Gialla di Verona* » che sono stati intensivamente sfruttati a N di Verona, fra la Valle di Avèsa e la Valpantena, derivano dalla dissoluzione per carsismo quaternario dei calcari dell'Eocene superiore, ricchi di pirite, i cui prodotti di alterazione furono deposti in cavità e spaccature entro i calcari marnosi del Priaboniano. Si tratta di vere e proprie grotte ad andamento orizzontale, il cui riempimento è costituito da ocre (Figg. 12 e 13).

Altri giacimenti si trovano al Ponte di Veja (Alta Valpantena) nei calcari eocenici, e nell'Alta Valle di Illasi nei calcari giuresi (BOSELLINI & al. 1967).

Sempre nella Valle di Illasi (Miniera Cà Vecchia a SE di S. Andrea - Badia di Calavena), presso Vestena Nuova e S. Giovanni Ilarione (Valle dell'Alpone) ed in Val Tramigna, vi sono giacimenti di *terra rossa* in spaccature e sacche nei calcari del Giurese, di origine identica a quella della *terra gialla* (BOSELLINI & al. 1967).

Nei dintorni di Bourges vi sono numerosi giacimenti di ferro costituiti da tasche irregolari scavate nei calcari, in prossimità della superficie, e riempiti di argilla rossa a grani pisolitici di idrossidi di ferro. Questi calcari giurassici sono ricoperti da calcari lacustri sannoisiani (Oligocene) (DE LAUNAY, 1913).

3.5. Giacimenti di manganese

Spesso i giacimenti residuali di ferro contengono manganese o sfumano in veri e propri giacimenti di manganese. Un esempio, tratto dal ROUTHIER 1963 (pag. 1065), si ha nella Francia meridionale.

Negli Alti Pirenei, nel massiccio del Monthoument e nelle Montagne Nere, si conoscono numerosi piccoli giacimenti, di forma molto irregolare, appartenenti alla cosiddetta *provincia manganesifera e ferrifera della Francia meridionale*.

Nel Devoniano superiore, durante una fase di emersione del Mezzogiorno della Francia, si è avuta l'erosione ed incarsimento dei calcari e successiva deposizione di minerali residuali nella zona litorale, preferibilmente nei karst e di silice derivante da emissioni vulcaniche.

Posso citare qui i giacimenti di ferro di Motauch (Monthoument) di manganese a La Ferronier (Monthoument) e Las Cabasses (Ariège, Pirenei).

Nel massiccio del Matese, oltre ai giacimenti di bauxite, si trovano anche manifestazioni di manganese, che hanno dato luogo, a cavallo della seconda guerra mondiale, ad una modesta attività estrattiva.

Dai pochi dati di cui si dispone, si deduce che le mineralizzazioni

sono di due tipi. Nella zona di S. Gallo Letino-Boiano vi sono straterelli di *terra rossa* con noduli di minerali di manganese molto puri e corrispondono ad una fase di emersione del Cretaceo: nelle depressioni carsiche la potenza aumenta. I giacimenti del secondo tipo, nella zona di San Massimo a Campochiaro, sono nei calcari fliscioidi dell'Eocene e consistono di minerali di manganese con silice, interstratificati ai diaspri. Sembra che i depositi più importanti corrispondano a zone di arricchimento supergenico in depressioni carsiche attuali.

3.6. I giacimenti di fosfati

Le rocce fosfatiche sono enormemente varie per origine, composizione e proprietà fisiche: per quanto i principali giacimenti abbiano origine per sedimentazione sulle piattaforme o nelle aree continentali o siano di origine magmatica, è frequente la concentrazione per dissoluzione della roccia carbonatica nella quale il minerale è contenuto in tenori per lo più modesti.

La fosforite, come la bauxite, non è un minerale ma una roccia sedimentaria contenente fosforo sotto forma soprattutto di collofanite (apatite) minerale di formula complessa, con fluoro, ossidrili e carbonati. Si presenta sotto forma amorfa, colloidale o criptocristallina, con aspetto terroso, cellulare, nodulare o concrezionato.

L'apatite è solubile in acqua neutra od alcalina e la sua solubilità aumenta in ambiente acido; è scarsamente solubile nell'acqua marina.

DE LAUNAY 1913 distingue tre tipi di giacimenti di fosfati strettamente correlati con il ciclo carsico:

- 1) Formazione di concentrazioni fosfatiche nelle rocce calcaree leggermente fosfatiche: tipo Carolina, Florida, isole del Pacifico.
- 2) Riempimenti di tasche ed inghiottitoi, di preferenza nei terreni calcarei compatti ma anche in altre rocce (scisti, graniti, basalti): tipo Quercy, Tunisia, Estremadura, Nassau.
- 3) Concentrazioni attuali di fosfati sul suolo o nelle grotte, per decomposizione diretta di materie organiche: tipo grotte d'Hérault e d'Algeria, giacimenti equatoriali di guano.

3.6.1. I giacimenti del primo tipo sono quelli più estesi, sono di origine primaria nei calcari e craies (calcareniti organogene) di origine marina, omogeneamente mineralizzati nella loro massa. La ulteriore concentrazione è dovuta ad una regressione ed erosione del calcare più solubile.

I giacimenti della Carolina (USA) sono il risultato di una concentra-

zione continentale operante su calcari e marne oligoceniche a debole tenore. Il minerale è in noduli di volume anche notevole (sino ad una tonnellata), talvolta di rimaneggiamento fluviale.

In Florida (USA) i giacimenti sono nei calcari oligocenici e miocenici, sono dovuti alla riconcentrazione in posto per alterazione superficiale del calcare, e per circolazione carsica.

I giacimenti di fosforiti del Tennessee derivano dalla alterazione quaternaria, in clima tropicale ad alta piovosità, dei calcari ordoviciani, lievemente fosfatici (5,5% di P_2O_5) (RIOS 1970).

Nelle isole dell'Oceano Pacifico di Christmas (a S di Giava), Anguar (Arcipelago Palu, ad E delle Filippine), Ocean e Naurou (tra le isole Marshall e le Salomone) e Makatea (Isole della Società), si hanno depositi superficiali di fosfati in sabbia e noduli nelle depressioni, dovuti a concentrazioni in posto per dissoluzione della frazione carbonatica.

Il calcare corallino contiene dal 0,25 a 0,8% di fosfati ed in fase di emersione si ha una alterazione della roccia con formazione di minerale residuale. La presenza di fosfato primario nei calcari può essere attribuita ad antichi giacimenti di guano, poi asportati, e conseguente fosfatazione della roccia sottostante.

3.6.2. I giacimenti di fosforite di Quercy (Francia) sono certamente il più tipico riempimento di minerale fosfatico in sistemi carsici evoluti. La genesi è stata correttamente interpretata da tempo (si veda DE LAUNÉY 1913, vol. I, pag. 704); è stata più recentemente ripresa da GÈZE 1938.

I giacimenti si trovano compresi, in numero di circa 150, approssimativamente in un ampio triangolo con vertici in Figeac, Cahors (Lot) e Gaillac (Tarn-et-Garonne), furono coltivati dal 1870 e sono molto noti per i vertebrati fossili che vi furono rinvenuti, rappresentanti una fauna dal Luteziano superiore al Cattiano-Aptiano.

Il minerale è costituito da argilla rossa ricca in limonite pisolitica e concentrazioni di fosforite e calcite, più raramente di ciottoli quarzosi e gres passante ad arkose e conglomerati a cemento fosfatico. La forma è a tasche (Fig. 14), cavità verticali talora molto profonde (sino a 75 m), e « *filoni* », fessure più lunghe che larghe; generalmente meno profonde delle tasche. Le prime evidentemente sono doline o più frequentemente inghiottitoi e voragini, i secondi gallerie costituenti antichi percorsi di acque sotterranee in profonde diaclasi.

I giacimenti furono interpretati via via come idotermali, organici (ma le ossa presenti non giustificano tutto il minerale dei singoli giaci-

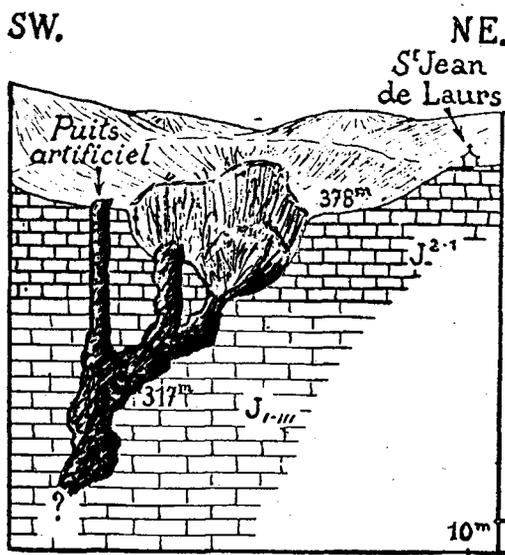


Fig. 14 - Tasca di fosforite di Saint-Jean-Lours (da GÈZE 1938). E' una dolina inghiottitoio riempita da minerale; per facilitare la coltivazione fu scavato un pozzo artificiale.

menti) ed infine carsici. Le cavità sono scavate nel calcare oolitico giurassico, la genesi del deposito è analoga a quella delle bauxiti. Sul penepiano emerso dal Giura all'Oligocene, si accumularono argille sia di decalcificazione, che provenienti dalle regioni orientali, costituite da rocce sedimentarie e granitiche. Sotto l'azione del clima tropicale dell'Eocene, le argille subirono una evoluzione di tipo lateritico (Fig. 15).

La fosforite, solubilizzata come fosfato bicalcico, andò a riempire, assieme al ferro, al manganese, alle argille rosse ed al materiale clastico, i numerosi karst della zona.

Si tratta pertanto di giacimenti carsici nei quali il minerale ha origine mista, alloctona e autoctona, ed ha subito una evoluzione lateritica sul posto.

Tra i giacimenti di questo tipo ricorderò ancora quelli di Nassau (Germania) (DE LAUNAY 1913), nei quali le fosforiti sono presenti in tasche argillose dei calcari eifeliani (Devoniano medio). La loro formazione è in rapporto a fenomeni di alterazione continentale, probabilmente eocenica, che ha portato anche alla formazione, nella medesima regione, di giacimenti di manganese. Oltre a questi due minerali vi sono concentrazioni di bario, cobalto, zinco e rame nelle diaclasi allargate dei calcari assieme ad argille

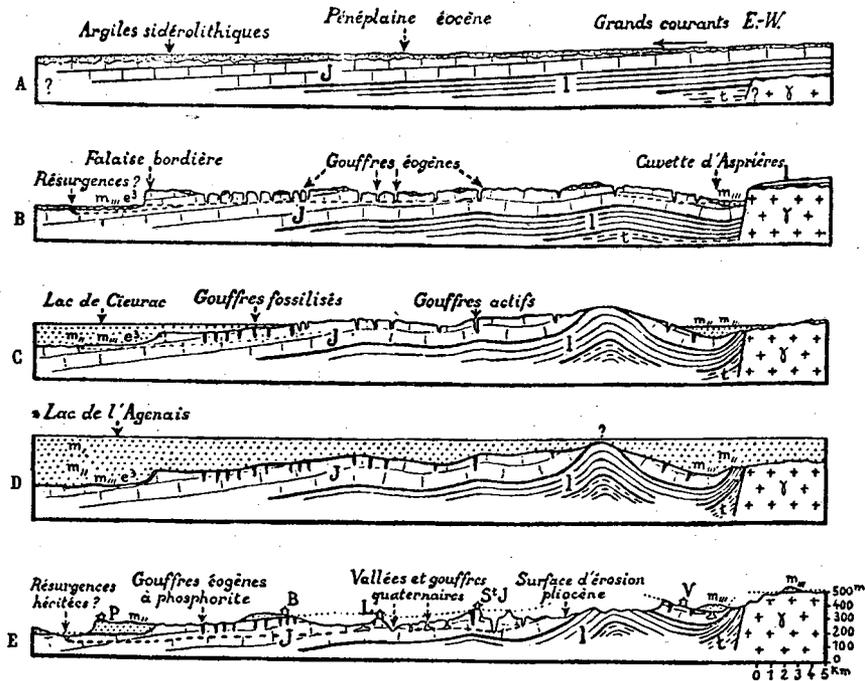


Fig. 15 - Schema della evoluzione delle fosforiti di Quercy, sezione WNW-ESE (da GEZE 1938).

Spiegazione dei simboli: m_1 = Aquitaniano; m_2 = Stampiano; m_3 = Sannoisiano; m_4, e^3 = Siderolitico; J = Oolitico; l = Lias; t = Trias; γ = Granito; P = Puy le Rocque, B = Bach; L = Limogne; StJ = Saint-Jean-de-Lours; V = Villeneuve d'Aveyron. A — Eocene (Pre-Luteziano). Penepiano ricoperto di argille di decalcificazione e di alluvioni in via di laterizzazione: solubilizzazione del fosfato residuale. B — Eocene ed Oligocene (da Bortoniano a Sannoisiano). Il Penepiano piegato e sollevato è preda dell'erosione carsica: inizio della deposizione delle fosforiti nei karst. C — Oligocene (Stampiano sup.). Trasgressione del lago di Cieurac susseguente al piegamento di Quercy: inizio della fossilizzazione degli inghiottiti a fosforite. D — Miocene (Pre Pontico). Trasgressione del lago di Agenais che ricopre interamente la regione. E — Emergenza ed erosione pliocenica, nuova erosione e carsismo quaternario: riapparizione e rimaneggiamento parziale degli inghiottiti a fosforite.

prodotte dalla decalcificazione dei calcari erosi. Le sacche sono ricoperte da un livello di limo con lignite.

I giacimenti della Tunisia hanno scarsa importanza, quelli dell'Estremadura sono idrotermali, con riconcentrazioni nelle zone calcaree.

3.6.3. Nell'Hérault (Francia) vi sono grotte nei calcari eocenici al contatto con il Devoniano, con riempimenti di fosforite, trasportata e deposta dalle acque; l'origine recente, da guano, è testimoniata dalla presenza di nitrati.

Di importanza limitata sono i giacimenti che si trovano insediati nelle

fessure e grotte nei calcari elveziani (Miocene) presso Orano (Algeria), formati nel Quaternario per decomposizione di materia organica.

I depositi di guano delle isole equatoriali sono dovuti all'accumulo di escrementi di uccelli, quelli nelle grotte da escrementi di pipistrelli; anche questi ultimi giacimenti possono raggiungere volumi notevoli, come ad es. a Mixnitz in Stiria (Austria), ove furono estratte 30.000 t di fosforite ad un tenore del 13,5% di P_2O_5 da un'unica grotta (DE LAUNAY 1913).

4. GIACIMENTI DI MINERALI DI PIOMBO E ZINCO, DI BARITE E FLUORITE

La genesi dei giacimenti di minerali di piombo e zinco nei calcari e nelle dolomie è sempre stata oggetto di discussioni; le ipotesi sulla loro formazione sono sostanzialmente di due tipi: sedimentaria ed idrotermale.

Nell'ambito di ciascuna vi è poi tutta una serie di sfumature e differenze, né manca chi ha cercato di conciliarle, prospettando la possibilità di soluzioni idrotermali mineralizzanti uscenti sui fondi marini (teoria dei giacimenti estrusivo-sedimentari). Non è qui il caso di entrare nei dettagli sui giacimenti così detti di « *tipo alpino* » o estensivamente « *tipo Valle del Mississippi-Bleiberg-Slesia (M.B.S.)* » in quanto si trovano anche in altre parti del mondo ed in terreni di età diversa da quelli delle Alpi (dolomie e calcari triassici). Rimando per chi voglia approfondire l'argomento, a qualcuno dei lavori citati in bibliografia: BROWN 1966, DI COLBERTALDO 1967, OMENETTO 1970, AMSTUTZ 1971.

Mentre per i giacimenti di bauxite la connessione tra carsismo e mineralizzazione era nota ed accettata da tempo, per quelli di Pb, Zn ed associati, tranne qualche Autore che aveva notato la presenza di grotte o concrezioni in miniera (e di cui tratterò più avanti) solo in tempi molto recenti si è pervenuti a considerare l'erosione carsica come un possibile fattore genetico.

Qui di seguito ricorderò i primi lavori sull'argomento; passerò quindi in rassegna una serie di giacimenti per mettere in evidenza alcuni dati di rilievo.

VARDABASSO, in una sua nota del 1955 sulla Sardegna speleologica, ricorda la presenza di cavità carsiche, riempite di minerali di zinco e piombo, solforati e poi ossidati, nella formazione calcareo-dolomitica cambrica dell'Iglesiente. Le cavità sarebbero dovute al lungo periodo di emersione

tra Cambriano superiore e Paleozoico. In questi complessi incarsiti avrebbero circolato non solo acque meteoriche discendenti, ma anche acque endogene ascendenti, a diversa termalità, sature di minerali, sprigionatesi dal magma granitico ercinico. « I minerali hanno occupato il posto lasciato libero per dissolvimento delle rocce carbonatate ad opera delle soluzioni metallifere circolanti entro queste rocce permeabili e facilmente attaccabili ».

LUZAC 1965, nella sua relazione sul giacimento di San Giovanni (Iglesias), afferma che gli ossidati della « Massa Riccardo » fanno pensare ad una deposizione di calamine riciclate entro una cavità carsica, che la barite dell'altopiano in vicinanza dei lavori pisani della zona dei « Ricchi in Argento » è di neoformazione in mezzo alle terre rosse carsiche e che i « Ricchi in Argento » stessi sono cavità carsiche riempite di minerale.

BENZ 1965, nella sua nota sul giacimento di Arenas (Iglesiente), ricorda la presenza di terre residuali, accumulate al fondo di un karst pre-siluriano, mineralizzate a galena e blenda.

Sono questi gli Autori che per la prima volta, a quanto mi risulta, accennano timidamente a giacimenti carsici di Pb-Zn nel Cambrico della Sardegna. VARDABASSO tuttavia rimane ancorato ad una genesi idrotermale, essendo le cavità carsiche soltanto localizzazioni di più agevole deposizione dei minerali; LUZAC si occupa di riconcentrazione di minerali in karst, mentre infine BENZ lega la mineralizzazione, sia pure una parte solo di essa, al ciclo carsico.

L'esistenza di giacimenti ossidati di Pb, Zn legati ai karst è nota da tempo (FUCHS & DE LAUNAY 1893), quella dei giacimenti a solfuri è scoperta recentissima.

Tra i primi lavori citerò quello di CALLAHAN 1964, che interpreta le strutture brecciolari sotto una discordanza stratigrafica, come legate a fenomeni carsici, dovuti, secondo l'A., a soluzioni idrotermali mineralizzanti di origine profonda.

Lavori fondamentali sono quelli di BRUSCA & DESSAU 1968 per il giacimento di San Giovanni in Sardegna, di LELEU 1966 e 1969 per Laurium in Grecia, di LAGNY 1968 e 1969 per Salafossa in Cadore ⁽¹⁾ e di ROUVIER 1971 per Djebel Hallouf in Tunisia. Questi Autori non

⁽¹⁾ Il precursore della teoria della genesi carsica del giacimento di Salafossa è il dott. CARLO BRUSCA, geologo della Società Pertusola, che già nel 1967 agli scettici visitatori della miniera enunciava la sua idea che il giacimento doveva essere il riempimento di un karst.

invocano più le soluzioni idrotermali per spiegare i giacimenti nei karst.

I primi tentativi di inquadramento del fenomeno sono nei lavori di PADALINO & al. 1972, BERNARD 1972 e soprattutto LELEU 1969, tutti apparsi negli ultimi tre anni.

Attualmente i più convinti assertori di una genesi carsica per la maggior parte dei giacimenti tipo B.M.S. sono soprattutto alcuni gruppi di studiosi italiani e francesi.

4.1. Il giacimento di San Giovanni

Nei giacimenti a Pb-Zn, barite ed associati del Cambrico sardo, i fenomeni minerogenetici sono molti complessi, il carsismo ha prodotto concentrazioni ed arricchimenti notevoli. Darò qui un cenno del giacimento di San Giovanni (Iglesias) desumendo i dati dal fondamentale lavoro di BRUSCA & DESSAU 1968.

Nel giacimento di S. Giovanni si riconoscono tre cicli carsici con connesse mineralizzazioni riferibili alle orogenesi che hanno interessato la zona.

Le mineralizzazioni connesse al carsismo proverrebbero da originarie mineralizzazioni primarie sedimentarie singenetiche nelle dolomie cambriche. Queste mineralizzazioni primarie costituiscono due orizzonti: uno a prevalente blenda, in qualche zona visibile (« massa Pozzo 3 »), insediato circa a metà della serie carbonatica del « metallifero ». Il secondo, a prevalente galena con poco argento, è ubicato alla fine della serie carbonatica, poco prima della deposizione terrigena degli scisti cambrici.

Una prima fenomenologia carsica è legata al periodo di continentalità che ha fatto seguito alla fase sarda e ad essa sono connesse mineralizzazioni a galena e ad ossidati di Pb, spesso associati a barite (vena di tetto di San Giovanni, Arenas, Su Sollu). Questo periodo di continentalità è caratterizzato da una intensa silicizzazione climatica che interessa anche le zone mineralizzate.

Durante il periodo di continentalità, che ha fatto seguito ai corrugamenti caledonico ed ercinico, ha avuto luogo la peneplanazione, proseguita sino all'orogenesi alpina. In questo lungo periodo si sono sovrapposti diversi fenomeni carsici, in particolare nella miniera di San Giovanni è riconoscibile un carsismo profondo le cui cavità riempite di breccie e di sedimenti prevalentemente carbonatici, successivamente dolomitizzati, ospitano una mineralizzazione blendosa (ossidata nelle parti più alte: massa Idina, massa NE, ecc.) ed un carsismo più superficiale con cavità più

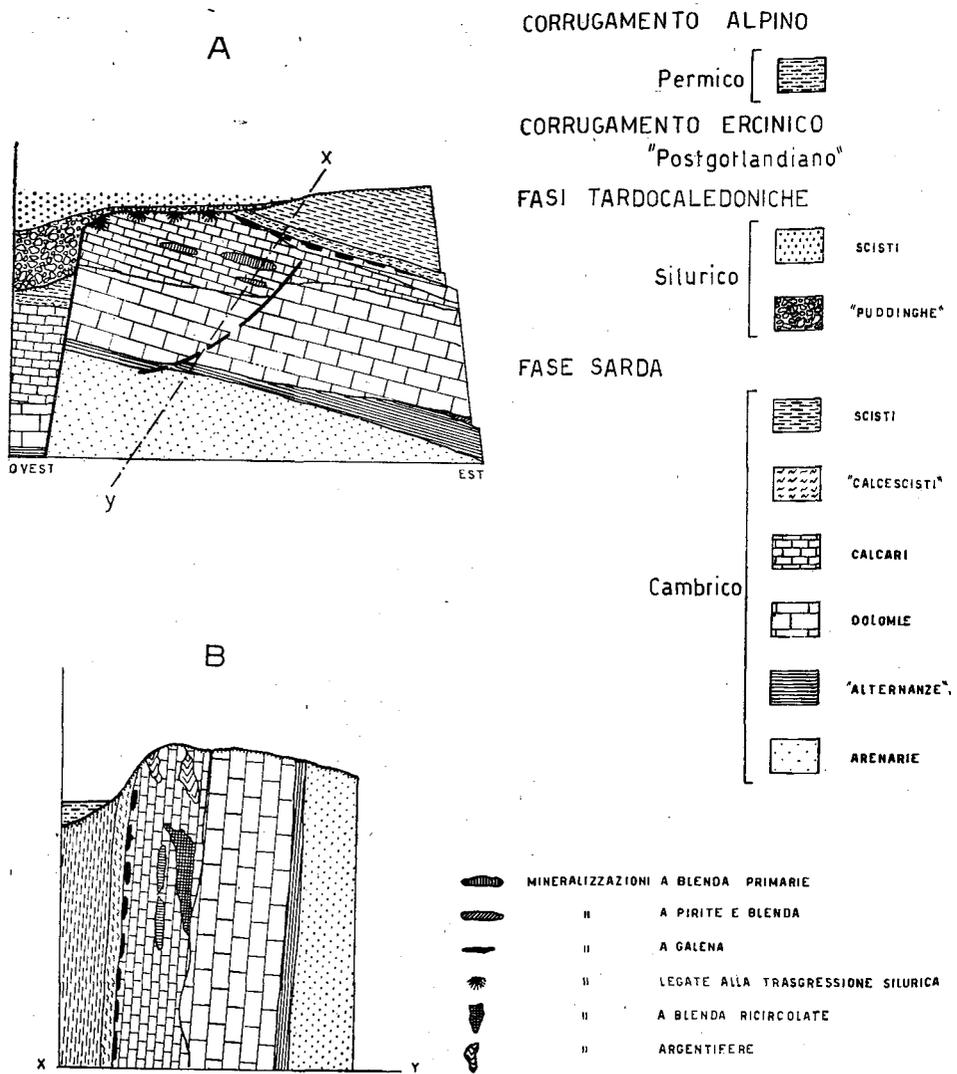


Fig. 16 - Serie stratigrafica, localizzazione delle mineralizzazioni ed assetto dei terreni prima e dopo le fasi orogeniche tarso-caledoniche.

Spiegazione delle lettere: A) Assetto dei terreni paleozoici dopo la fase sarda, B) Assetto dei medesimi dal corrugamento ercinico ad oggi. (Da BRUSCA & DESSAU 1968).

caratteristiche, riempite in parte da sedimenti mineralizzati a solfuri, in parte da breccie a cemento di barite, quarzo e galena. Nelle prime il minerale potrebbe provenire dalle mineralizzazioni primarie blendose, nelle seconde (« ricchi in argento ») dalla lisciviazione delle mineralizzazioni

primarie prevalentemente galenose, che in questo caso appaiono arricchite in sali d'argento, evidentemente più mobili di quelli di Pb.

Legate al carsismo più recente, forse post-alpino, sono invece le cavità con riempimento prevalentemente calcitico, in qualche caso anche baritico, e senza solfuri, di cui il più tipico esempio è la Grotta S. Barbara della miniera di San Giovanni.

4.2. Il giacimento di Salafossa

Nella miniera di Salafossa, che si trova nelle Alpi Carniche Occidentali nei pressi di Sappada, si coltiva un grande giacimento di Pb e Zn scoperto molto recentemente.

La sua genesi, interpretata da DI COLBERTALDO & FRANCESCHETTI 1960 come una breccia tettonica cementata da una mineralizzazione idrotermale e da ESPOURTEILLE, FOGlierINI & LAGNY 1966 come una breccia sedimentaria mineralizzata sulla scarpata di una scogliera triassica, è stata riconosciuta, a seguito di ulteriori studi, come una mineralizzazione in un paleokarst (LAGNY 1966, CROS & LAGNY 1969).

Nella zona della miniera sul basamento cristallino di filladi quarzifere probabilmente siluriane, si sviluppa in discordanza una serie ridotta che inizia nel Permiano medio con conglomerati ed arenarie della formazione delle *Arenarie di Val Gardena* con una potenza di una ventina di metri, cui seguono m 1,50 di dolomie e argilliti bituminose del Permiano superiore (*formazione a Bellerophon*), mentre manca completamente il Werfeniano e si sviluppano indi le dolomie ed i calcari del Trias medio. Ad iniziare dal Ladinico superiore, la zona ha conosciuto una fase di instabilità tettonica, che ha portato certe aree ad emergere, così che i calcari del Ladinico superiore ⁽¹⁾ furono oggetto di una erosione di tipo carsico. Le dolomie carniche ricoprono poi in discordanza le formazioni sottostanti.

Le dolomie anisiche furono profondamente erose; la fratturazione ha

(1) Il giacimento di Salafossa si trova pertanto nello stesso orizzonte stratigrafico che ospita i più noti giacimenti piombo-zinciferi dell'arco alpino (Mežica, Raibl, Bleiberg, Gorno). A differenza di questi però, che appaiono in relazione a particolari aspetti della discontinuità stratigrafica conosciuta al limite tra Ladinico e Carnico, Salafossa sembrerebbe situata un po' più in basso e quindi lontano da detta superficie che del resto nella zona non appare perché asportata dall'erosione. LAGNY riferiva il giacimento all'Anisico; più attenti studi del dott. BRUSCA, che mi ha anticipato la scoperta, hanno consentito di riconoscere che la datazione va spostata al Ladinico superiore.

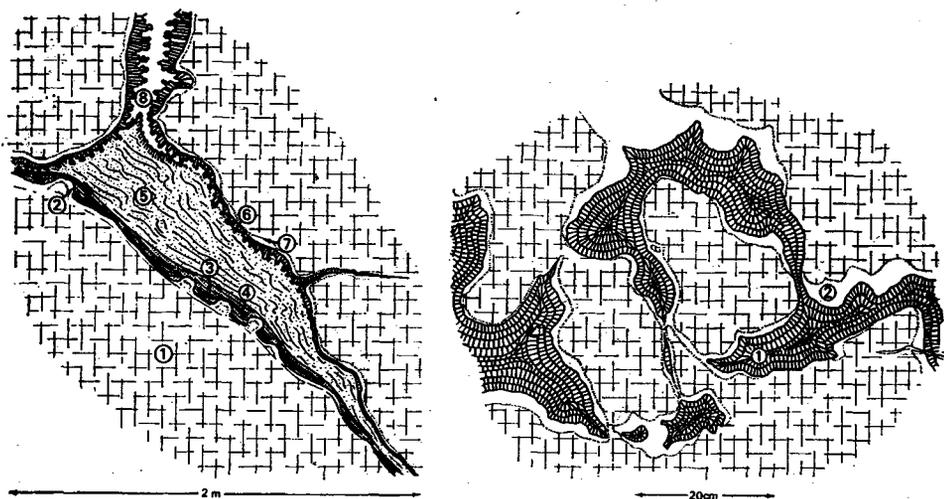


Fig. 17 - Cavità a riempimento complesso nelle dolomie anisiche della miniera di Salafossa.

Spiegazione dei numeri: A sinistra: cavità a riempimento complesso nelle dolomie anisiche (1). A seguito dei movimenti orogenetici alpini, la grotta ha subito una rotazione (in senso orario); 2) Accrescimenti dolomitici di aspetto stalagmitico; 3) Dolomie baritiche nere con concrezionamenti discontinui di solfuri (4). 5) Dolomie blendose con brecciazione sin-diagenetica. A tetto delle cavità si riscontrano concrezionamenti stalattitiformi a solfuri (6). Lungo il contatto si è avuta una ricristallizzazione della dolomia incassante (7), la cavità superiore è riempita da dolomia spatica bianca (8). A destra: complesso di piccole cavità relativamente isolate le une dalle altre, nelle quali i riempimenti sono esclusivamente a solfuri concrezionati (1), essenzialmente a marcasite e pirite, subordinatamente a blenda; (2) Dolomia spatica bianca. (Da Cros & LAGNY 1969).

permesso l'instaurazione di un carsismo che si è spinto sino al contatto con il Permiano. Il riempimento di questi karst è avvenuto in una fase tardiva del ciclo carsico, quando iniziarono le infiltrazioni di acque marine, ad opera di sedimenti contenenti il Pb, Zn, Fe e Ba (Fig. 17).

La mineralizzazione è costituita da dolomie baritiche nere finemente listate e dolomie blendose, concrezioni a solfuri e breccie a solfuri con elementi delle precedenti e dolomitici. Sono presenti galena (1%), blenda (6%) e tracce di pirite, marcasite e barite.

La cavità carsica è di dimensioni ragguardevoli: lunghezza oltre 700 m, da 100 ÷ 150 m di larghezza ed alta 50 ÷ 100 m; le strutture e tessiture sono tipiche dei riempimenti di grotte.

4.3. Il giacimento di Mezica

Durante le visite di studio del II Symposium Internazionale sui Giacimenti Minerari delle Alpi, tenutosi a Bled in Jugoslavia, dal 4 all'8 otto-

bre 1971, i congressisti hanno potuto visitare la miniera di Mežica, che si trova sul versante settentrionale delle Karavanke, lungo il quale si allinea una serie di giacimenti di Pb e Zn che va da Bleiberg (Austria) a Mežica stessa.

La serie stratigrafica triassica è discordante sul basamento metamorfico paleozoico, ed è essenzialmente calcareo-dolomitica, con episodi marnosi o bituminosi, ed arenacei alla base. Si hanno mineralizzazioni filoniane nello zoccolo metamorfico e giacimenti nella serie triassica nell'Anisico, nel Ladinico (le più importanti) ed infine manifestazioni nel Carnico. Queste mineralizzazioni di tipo alpino sono sia stratiformi che discordanti (PERNA 1972). Durante la visita gli studiosi hanno potuto vedere esempi di mineralizzazioni sedimentarie, tra le quali una struttura, da molti ritenuta tipicamente carsica (Fig. 18).

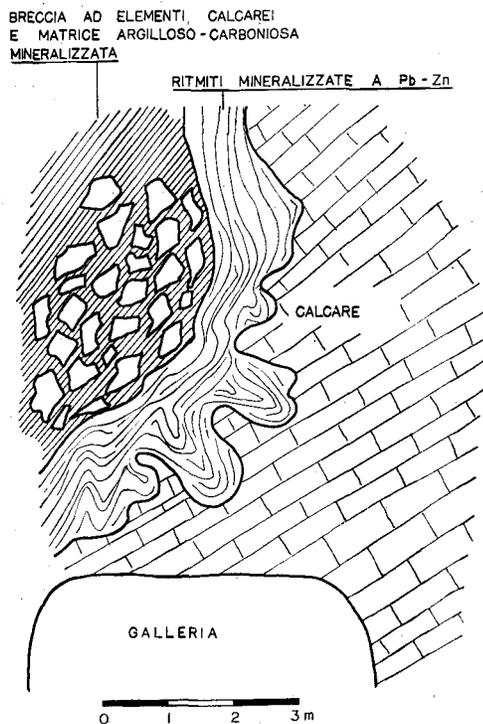


Fig. 18 - Sezione di una mineralizzazione della zona Graben della miniera di Mežica (Jugoslavia), interpretata come riempimento carsico. In una fase successiva alla mineralizzazione la zona ha subito una rotazione in senso antiorario. (Disegno originale).

4.4. Il giacimento di Djebel Hallouf

La presenza di fenomenologie carsiche nel giacimento di Djebel Hallouf è ricordata da VIOLO 1966 e da NICCOLINI 1970. Una descrizione di alcune stalattiti provenienti da questo giacimento, è contenuta in un lavoro di SUPERCHI 1970. Dal confronto tra un campione di roccia mineralizzata ed alcune stalattiti costituite da galena, blenda colloidale e würtzite, jordanite e calcite, l'Autrice conclude che esse non sono affatto mobilizzazioni dei solfuri del giacimento, ma una variante della deposizione primaria in spazi vuoti da parte delle stesse soluzioni idrotermali che hanno dato origine al deposito.

Questa interpretazione viene criticata da ROUVIER 1971 in uno studio monografico del giacimento, di cui darò qui un breve sunto.

Nel giacimento di Djebel Hallouf la totalità della mineralizzazione a solfuri risulta quale riempimento di un complesso carsico. Le cavità si sono sviluppate a partire da fratture che sono state in parte colmate da depositi chimici o dai loro prodotti di rimaneggiamento. La paragenesi che ne risulta è a calcite, blenda, galena, jordanite e pirite in microsferi. I metalli provengono dall'alterazione superficiale della mineralizzazione piombo-zincifera legata agli strati del Miocene.

In questo giacimento si hanno differenti tipi di riempimenti di cavità carsiche. Si hanno ritmiti di solfuri e calcite microcristalline: i grani di galena sono sia di deposizione chimica che detritica. Queste ritmiti si rinvencono alla base di cavità della grandezza da qualche decimetro a qualche metro. Al di sopra di queste ritmiti si hanno depositi chimici sotto forma di concrezioni miste a calcite o di alternanze di incrostazioni di calcite, galena, jordanite e blenda. Incrostazioni di questi minerali si riscontrano pure sulle pareti e sulla volta delle cavità: in certi casi queste assumono la forma di stalattiti vere e proprie. Le dimensioni di queste concrezioni sono al massimo di qualche decina di centimetri: in certe stalattiti predomina la galena, in altre la blenda, altre contengono molta pirite sotto forma di microsferi associate alla blenda.

4.5. Il giacimento di Laurium

Nella zona di Laurium nell'Attica si hanno due serie di terreni, separati da una lacuna stratigrafica; la formazione inferiore (serie di Kamareza) costituita da tre termini, dal basso all'alto: marmi K₃, micascisti K₂ e marmi K₁; e quella superiore (serie di Plaka) con calcari P₁, scisti P₂ e

calcari P₃. Il contatto tra le due formazioni è anormale ed è una discordanza stratigrafica secondo alcuni, falda di sovrascorrimento secondo altri. Anche l'età delle due formazioni è controversa: la serie di Kamareza sarebbe paleozoica, quella di Plaka va dal Trias-Giura sino al Cretaceo superiore.

Ambedue le serie hanno subito, nel Miocene superiore, un metamorfismo epizonale.

Le mineralizzazioni sono complesse; si conoscono:

- giacimenti di solfuri di Pb, Zn, Fe alla sommità dei micascisti K₂ nella serie di Kamareza e nei calcari P₁;
- giacimenti di solfuri ed ossidati di Fe, Mn alla base dei calcari P₁;
- giacimenti di magnetite nei micascisti K₂ e scisti P₂;
- giacimenti ossidati di Zn, Pb, Fe nei marmi della serie di Kamareza.

Le mineralizzazioni erano state messe in relazione ad un corpo intrusivo granodioritico e classificate come idrotermali di sostituzione.

Secondo gli studi di LELEU 1969 i giacimenti di solfuri misti (blenda, pirite, galena) situati nei calcescisti della serie di Kamareza costituiscono la fonte primaria dei metalli, di genesi vulcano-sedimentaria; gli altri giacimenti sono un rimaneggiamento dei precedenti e nella loro formazione il carsismo ha giocato un ruolo di primaria importanza.

Tratterò ancora del giacimento di Laurium nel paragrafo 8 sulla petrografia dei depositi.

4.6. Altri giacimenti di Pb, Zn

CRAWFORD & HOAGLAND 1968 ricordano la presenza di un sistema carsico maturo nei giacimenti del distretto zincifero di Mascot-Jefferson City (Tennessee, U.S.A.) nelle rocce carbonatiche del Cambriano superiore-Ordoviciano medio. Il minerale preponderante è la blenda estremamente pura con meno dello 0,5% di Fe, con tracce di pirite e sporadica galena, in ganga dolomitica. La mineralizzazione singenetica è diffusa nella roccia, si arricchisce epigeneticamente in corrispondenza di breccioni, ritenuti derivanti dal collasso a seguito di dissoluzione carsica (Fig. 19).

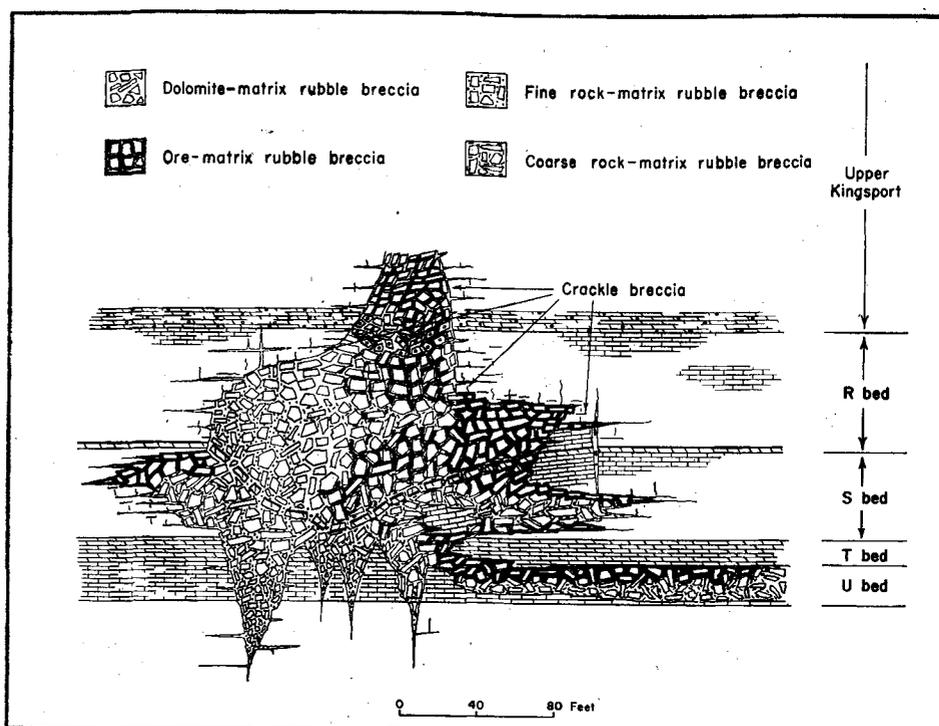


Fig. 19 - Sezione dimostrativa attraverso una porzione del giacimento di Jefferson City, (Tennessee, USA). La forma del corpo mineralizzato suggerisce l'ipotesi che la circolazione di acque freatiche profonde abbia provocato i fenomeni di crollo e brecciazione e l'arricchimento della mineralizzazione. (Da CROWD & HOAGLAND 1970).

Secondo CROS & LAGNY 1969, anche le mineralizzazioni dell'Argentina, di Grigna, Ferrera e Pian del Barco presso Auronzo e del Passo di Giau sono in karst.

Una superficie di erosione sembra presente nella *formazione a Belleophon*, sul Calisio presso Trento, mineralizzata a galena argentifera.

Il giacimento di Atchana nell'Alto Atlante Orientale è il riempimento di una cavità carsica verticale ad opera di blocchi di galena immersi nella argilla (Fig. 20).

Carsico sarebbe, secondo una comunicazione verbale di BRUSCA, anche il giacimento di Pb, Zn di Tinny in Irlanda, nei calcari carboniferi.

Se si riprendessero in esame altri depositi, si troverebbe che l'ipotesi del carsismo chiarisce molto bene certi dubbi che lasciano le attuali spiegazioni genetiche. Del resto basta sfogliare i lavori sui giacimenti di Pb

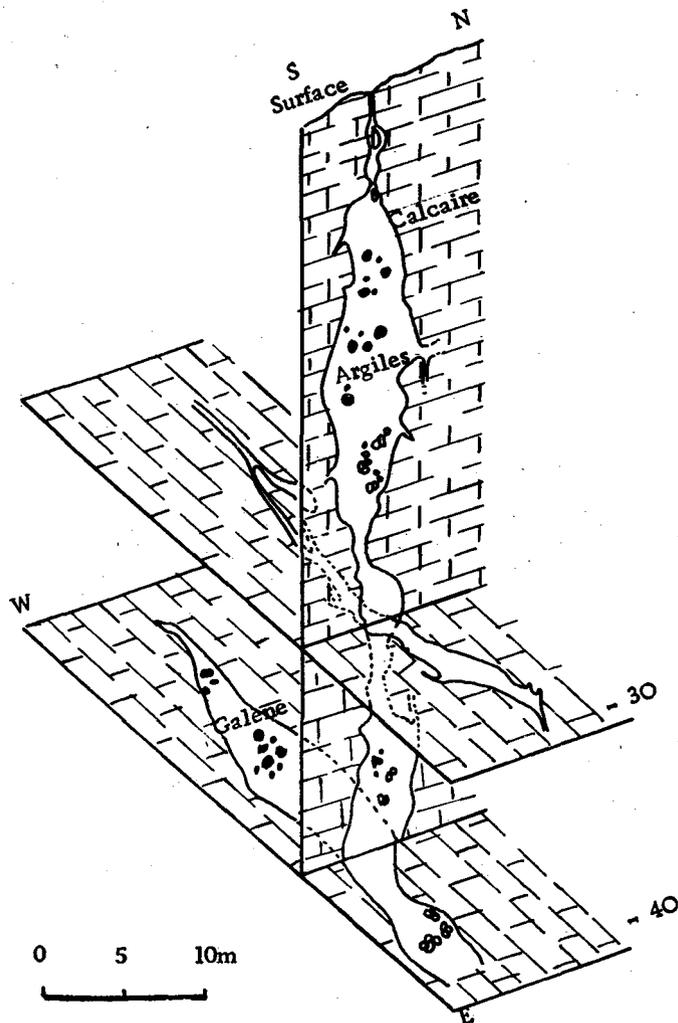


Fig. 20 - Andamento del giacimento di Atchana (Jbel bon Arhous, nell'Alto Atlante Orientale - Nord Africa). La mineralizzazione è costituita essenzialmente da blocchi di galena disseminati nell'argilla costituente un riempimento di una cavità di origine carsica. (Da NICCOLINI 1970).

e Zn di tipo M.B.S. per accorgersi, dalle sezioni, planimetrie e dalle descrizioni ⁽¹⁾, che molti di essi sono verosimilmente insediati in karst: ad es.

(1) Vedere ad es. i trattati del DE LAUNAY 1913, NEWHOUSE 1969, RIDGE 1968.

il giacimento di Les Malines (Gard, Francia), a mio avviso, potrebbe agevolmente trovare una spiegazione come giacimento di riempimento di karst (Fig. 21).

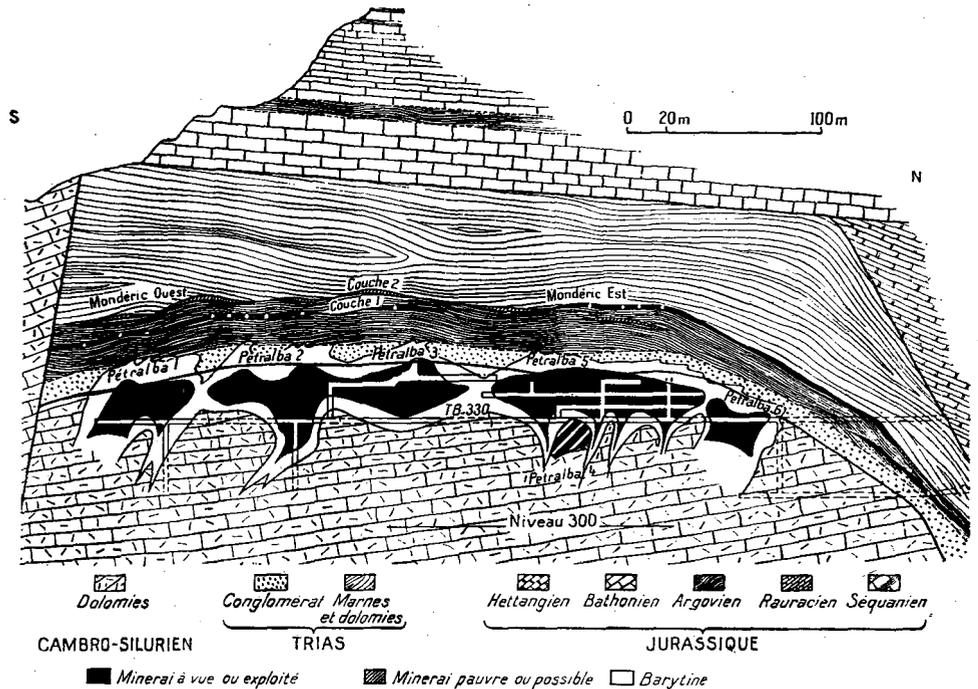


Fig. 21 - Giacimento piombo-zincifero di Les Malines (Gard, Francia), Sezione NS attraverso gli ammassi Petralba. (Da ROUTHIER 1963).

4.7. Giacimenti di barite

La barite è considerata uno dei minerali meno solubili, tuttavia sono noti tubi di eduazione dell'acqua, lampade, ecc., provenienti da vecchi lavori minerari ed incrostati di barite. In effetti sembra che il bario passi facilmente in soluzione come cloruro e bicarbonato, passando a solfato e cristallizzando a contatto con acqua contenente gli ioni SO_4^{--} .

LINDGREEN 1933 cita un esempio di una sorgente della miniera di Clausthal (Germania), che conteneva in soluzione:

NaCl	. . . . .	67,555 g/l
CaCl ₂	. . . . .	10,509 g/l

MgCl ₂	. . . . .	4,360 g/l
KCl	. . . . .	0,350 g/l
BaCl	. . . . .	0,314 g/l
SrCl	. . . . .	0,854 g/l

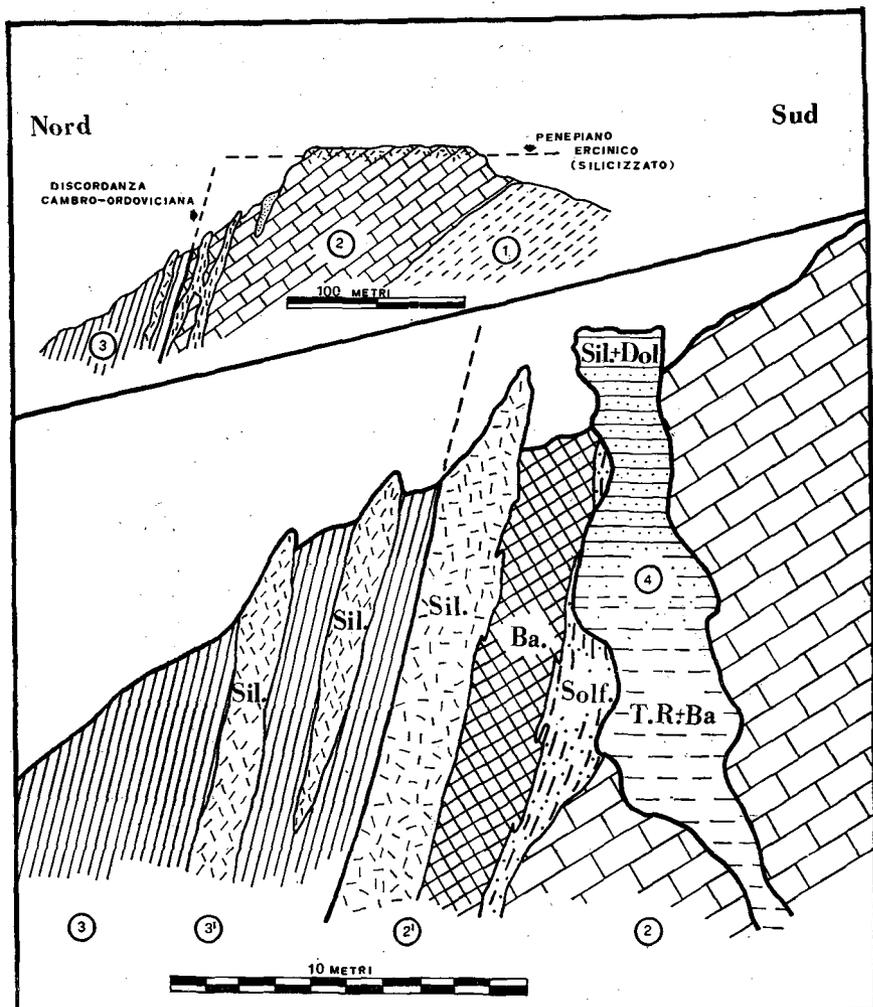


Fig. 22 - Sezioni dimostrative del giacimento di solfuri in karst (pirite, marcassite, blenda e galena) di Concac de Sinui (Sulcis). (Da PADALINO & al. 1972).

Spiegazione dei numeri: 1) Arenarie cambriche, 2) Calcari e dolomie cambriche, 3) Scisti ordoviciani, 2' Karsts fossili legati alla trasgressione cambro-ordoviciane: Sil = silice in letti con poca barite e tracce di solfuri; Ba = barite molto pura; Solf = pirite + marcassite + poca blenda (e galena) in ganga silicea, 3' Letti di silice, vedi Sil, intercalati agli scisti ordoviciani, presso la base, 4) Karst correlato al peneplano ercinico. Sil+Dol = dolomia silicea con poca barite. -TR+Ba = "terra rossa" con barite detritica.

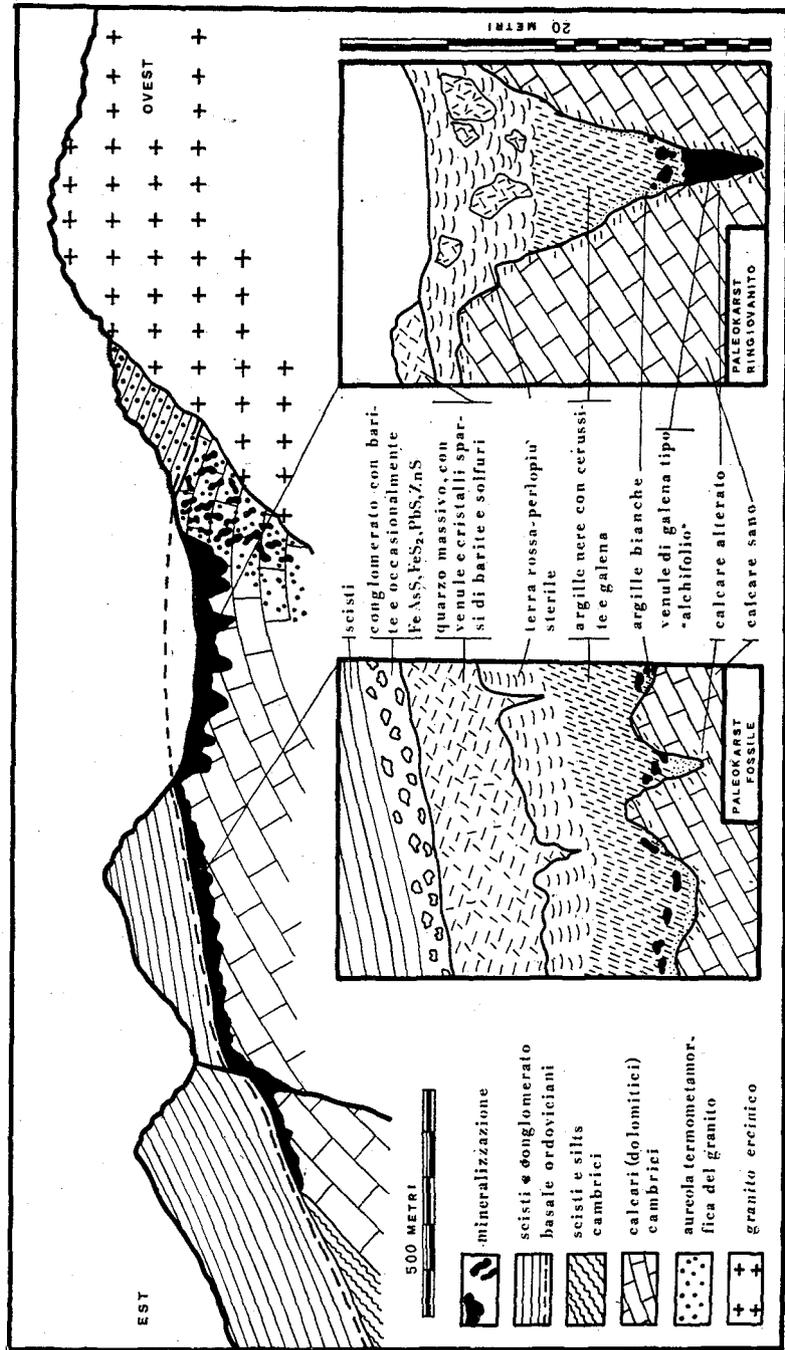


Fig. 23 - Sezioni dimostrative del giacimento di Pb, Zn di Arenas, con i rapporti tra mineralizzazioni e karst. (Da PADALINO & al., 1972).

All'incontro di queste acque con quelle della miniera contenenti solfati precipitava il BaSO_4 e SrSO_4 che ostruiva rapidamente i condotti di eduazione. Il precipitato conteneva il 92,44% di BaSO_4 ed il 4,32% di SrSO_4 .

Molte acque solfate e bicarbonate contengono bario. È stato dimostrato che i bicarbonati alcalini con un eccesso di CO_2 possono portare in soluzione il bario (LINDGREEN 1933, pag. 71).

Nella bibliografia sono descritti, specialmente per la Sardegna, numerosi giacimenti connessi con il ciclo carsico. In un suo recente lavoro TAMBURRINI 1968 rileva come le mineralizzazioni baritiche della Sardegna, ritenute in passato generalmente epigenetiche ipogeniche (di provenienza profonda e successive alle rocce incassanti) sono invece da attribuirsi a ben undici eventi metallogenici distribuiti nella serie dal Cambrico al Quaternario: tra queste vi sono mineralizzazioni carsiche. Esse sono insediate nel calcare cambrico incarsito, in cavità imbutiformi, nelle quali si riscontrano, dal basso all'alto riempimenti di *terre rosse* ricche di manganese, ferro e barite clastica e sono ricoperte da una coltre varvata, potente sino a 60 m, di barite in straterelli (1 ÷ 3 cm) alternati a silice porosa e carbonati di calcio e magnesio, di tipo spatico, bianco latteo, in aree mineralizzate varianti da 5 a 200 m² e sviluppantesi in profondità da 2 a 60 m.

Descrizioni di queste mineralizzazioni baritiche carsiche si trovano in numerosi lavori; citerò alcuni dei più importanti.

Giacimenti di barite alluvionale in cavità carsiche, nei calcari cambrici tra il Marganai e Baueddu (Iglesias), sono descritti da VALERA 1964. Oltre alla barite in ciottoli ben arrotondati è stata rinvenuta anche ematite e galena, fortemente alterata in superficie, il tutto immerso nella *terra rossa*.

TAMBURRINI 1966 descrive un esempio di deposizione supergenica ⁽¹⁾ di baritina della miniera di Barega (Iglesiente, Sardegna), in « crevasse » carsiche del calcare dolomitico cambrico (Fig. 24).

BRUSCA, PRETTI & TAMBURRINI 1967 descrivono per il Monte Sa Bagattu, cavità imbutiformi profonde da 1 a 10 m riempite da *terre rosse* ed inglobanti clasti, noduli, bocce, filetti e croste di barite molto pura, per lo più di colore bianco latteo, localizzate nella parte superiore del calcare cambrico fortemente incarsito. La barite ricorre anche nel cemento e deriva dal dilavamento dei finitimi corpi minerali del complesso carbo-

(1) Mineralizzazione formatasi o arricchitasi ad opera di acque discendenti.

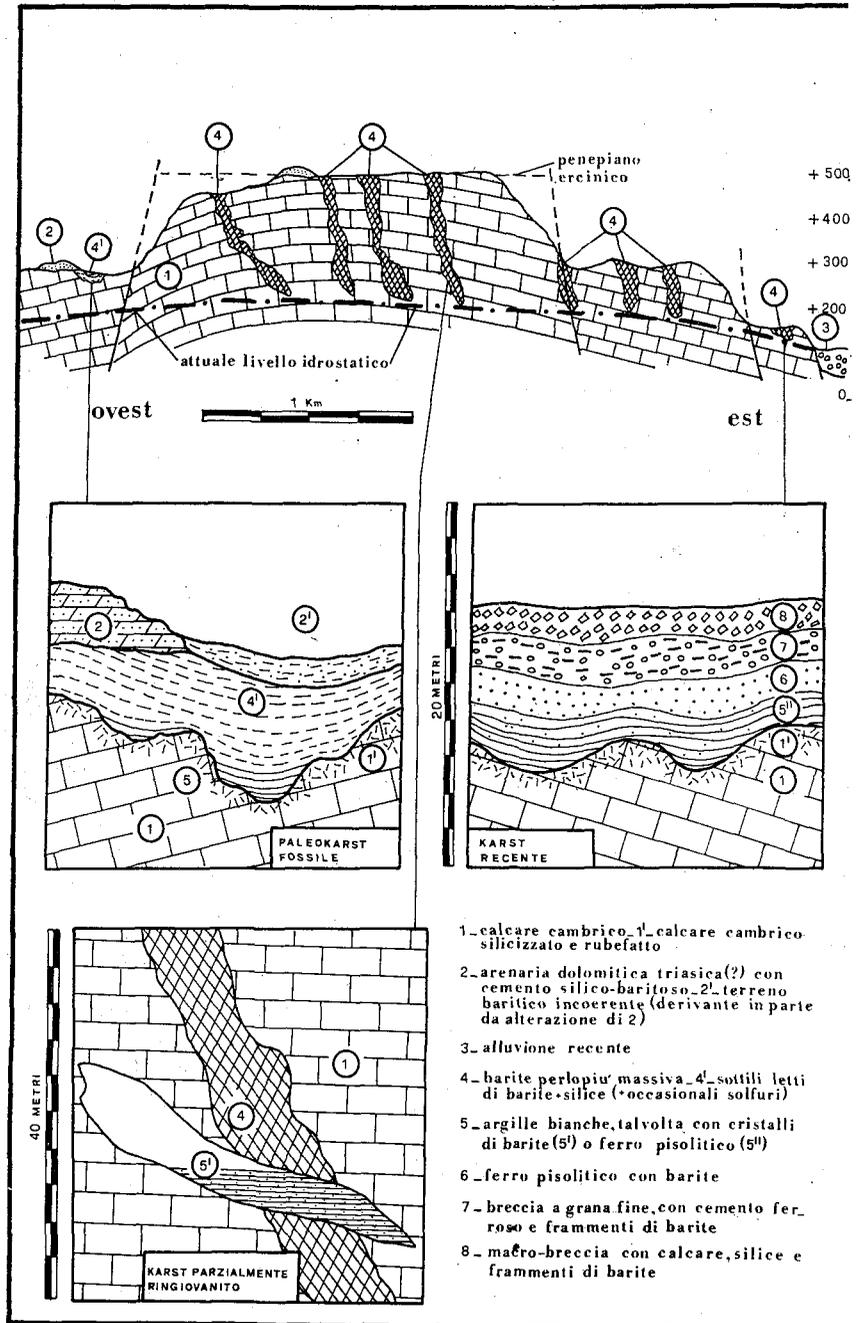


Fig. 24 - Sezioni schematiche del giacimento di barite di Barga (Iglesias), mostrandote i vari tipi di giacimenti nei karst. (Da PADALINO & al. 1972).

natico cambrico, il Ba è trasportato in soluzione presumibilmente come cloruro o bicarbonato.

Per le mineralizzazioni baritose di Monte Arcu Sa Gruxi (Sulcis settentrionale), PRETTI & TAMBURRINI 1967, tra le altre formulano l'ipotesi « che siano mineralizzazioni riconcentrate per descensum dagli imponenti fenomeni carsici impostati lungo le fratture stesse ».

Altri giacimenti in ambiente carsico sono descritti da PADALINO, TOCCO & VIOLO 1969, per la zona di Masua, ove si hanno mineralizzazioni nelle dolomie cambriche. Vi sono due carsismi: uno fossilizzato in ambiente riducente, anche con solfuri, un secondo attuale in ambiente ossidante.

Gradualmente si fa strada l'idea dell'importanza del fenomeno carsico nella comprensione della metallogenesi sarda ed in un recente lavoro (PADALINO & al. 1971) vengono forniti diversi esempi, sia della Sardegna che della Polonia, Tunisia — che ho già citato — e dell'Inghilterra, nella miniera di Golconda nel Derbyshire. Una descrizione di cavità presenti in questa miniera, è contenuta in una nota di WARWICK 1968, di cui farò cenno nel paragrafo 6. Di notevole importanza è infine un lavoro di PADALINO & al. 1972 già citato. Lo schema di fig. 25, desunto da tale

TAVOLA DEI MINERALI CORRELATI AI KARSTS IN SARDEGNA						
TIPO DI KARST TIPO DI MINERALE	CORRELATI ALLA DISCORDANZA CAMBRO-ORDOVICIANA			CORRELATI AL PENEPIANO ERCINICO		CORRELATI AL SOLLEVAMENTO ALPINO
	FOSSILE	RINGIOVANITO	TERMOMETAMORFICO	FOSSILE	CONTINUAMENTO RINGIOVANITO	
BAUXITE						OLMEDO
LIMONITE + Zn & Pb OSSIDATI					IGLESIAS	
EMATITE	FLUMINIMAGGIORE					
GALENA+CERUSITE+BARITE	ARENAS IGLESIAS-SULCIS	ARENAS ORIDDA	ARENAS ORIDDA	NORD SULCIS	RICCHI IN Ag IGLESIAS-SULCIS	IGLESIAS
BARITE	SULCIS	SULCIS		SA BAGATTU	BAREGA	BAREGA ORIENTALE
SOLFURI MISTI Fe, Zn, Pb	CONCAS DE SINUI					IGLESIAS
FLUORITE	NARCAO					ORIDDA
CUBAGGIO TOTALE	< 100 000 tons			< 1 000 000 tons		milioni di tons

Fig. 25 - Tabella schematica dei vari tipi di giacimenti nei kars della Sardegna, dalla quale risulta la grande importanza economica di questo tipo di mineralizzazioni. (Da PADALINO & al. 1972).

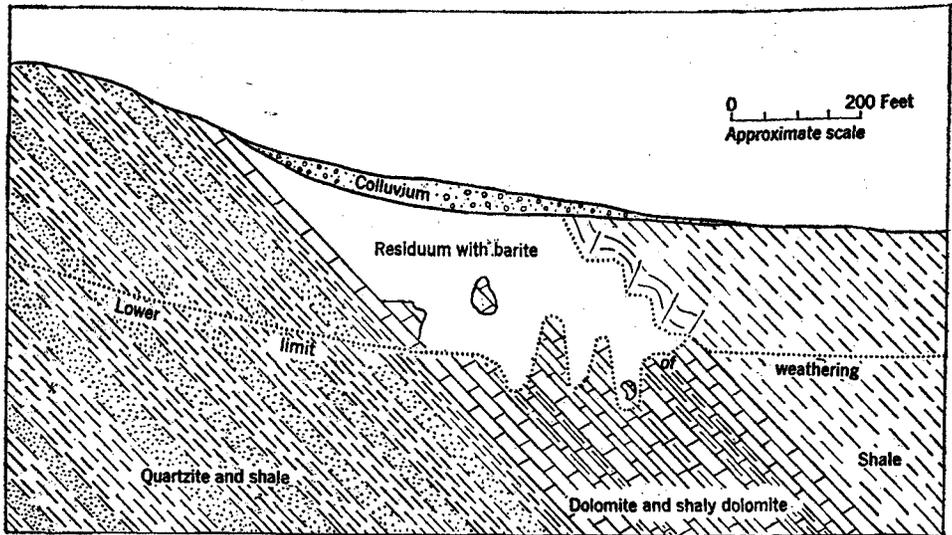


Fig. 26 - Giacimento residuale di barite a Cartersville, Georgia (USA). La cavità riempita da barite residuale, è dovuta all'alterazione e dissoluzione di un banco di dolomie e dolomie argillose con barite, interstratificate tra quarziti e scisti. (Da BROBST 1958).

nota, dimostra che si tratta di giacimenti di notevole importanza economica.

I giacimenti di barite della Virginia si trovano in una zona nella quale le rocce hanno subito una profonda alterazione superficiale. I giacimenti sono presenti in diversi terreni, anche in giaciture carsiche residuali nei calcari. Nella Bennet mine la barite è in tasche nei calcari associata ad ocre, ed alla base delle cavità (LINDGREEN 1913).

4.8. I giacimenti di fluorite

La fluorite è un tipico minerale di ganga dei giacimenti idrotermali; negli ultimi anni ha acquistato una notevole importanza per l'industria ceramica, dell'alluminio, dei composti organici del fluoro. L'Italia è forte produttrice di questo minerale ed ha scorte notevoli in particolare in Sardegna, nel Lazio (ove vi sono vasti giacimenti lacustri) e nelle Alpi Centro-Orientali, ove i giacimenti sono sia idrotermali classici, che sedimentari nelle rocce carbonatiche. I più recenti studi hanno stabilito l'origine carsica per questi ultimi, di cui darò una breve descrizione.

Il giacimento di Paglio Pignolino è ubicato in Val Brembana, presso Camerata Cornello; la mineralizzazione interessa la formazione del *Metal-*

lifero bergamasco per uno spessore di 60÷70 m e localmente il tetto del *calcare di Esino* sia in modo concordante che peneconcordante, che in cavità carsiche e faglie e fratture. I minerali prevalenti sono fluorite, quarzo e calcite con, del tutto subordinati, blenda, galena, pirite, calcopirite, bournonite e greenockite.

La mineralizzazione della Presolana è situata a q. 1.900 sul versante settentrionale del monte omonimo, è incassata in modo peneconcordante nella *formazione di Breno* e comprende due orizzonti: l'inferiore è localizzato presso il tetto della formazione di Breno ed ha potenza limitata; quello superiore, ubicato 20 m più sopra, a letto degli scisti marnosi scuri (base della *formazione di Gorno*) è attualmente di maggiore interesse minerario. Anche qui la ganga a fluorite, quarzo, calcite e barite prevale sui metalli, presenti soprattutto nella parte orientale del giacimento, e rappresentati da blenda, galena, pirite, marcasite, arsenopirite, bournonite, jamesonite e greenockite.

Il meccanismo di formazione di questi giacimenti è stato recentemente messo in evidenza dal MARTINA 1972. Durante la sedimentazione si è verificata una fase di emersione, ed in concomitanza una diagenesi con forte espansione dei sedimenti, formazione di grandi fratture poligonali nella parte superficiale e con incipiente carsificazione. In una successiva fase di immersione le cavità hanno costituito una trappola per la precipitazione dei minerali.

A Camissinone, in comune di Zogno (Bergamo) vi sono modeste mineralizzazioni a fluorite e quarzo prive di minerali metallici, ubicate in seno alla Dolomia Principale (Trias sup.). Si tratta di corpi irregolari, sia concordanti che discordanti, che alla base iniziano con deposizioni di quarzo, cui segue la fluorite molto pura. Manifestazioni minori si incontrano sul Monte Albenza, posto una decina di chilometri più a SW, sia nella Dolomia Principale che nei calcari bruni dell'Hettangiano.

L'origine di queste mineralizzazioni può essere ancora ascritta ad una fase di emersione, con incarsimento e deposizione di fluorite sia nei karst che nelle fratture. Da notare che vi sono, come del resto anche negli altri giacimenti già descritti, mineralizzazioni discordanti, dovute probabilmente a ricircolazioni in fase di diagenetica.

Nella *Catena Paleocarnica*, sviluppantesi dal Passo di Monte Croce Comelico sino a Tarvisio ed oltre, in Slovenia, vi sono numerose mineralizzazioni al limite tra serie carbonatiche devoniche e formazioni trasgressive argillitico-arenacee del Carbonifero. Alcune di queste mineralizzazioni erano già note da tempo, come quelle del Monte Avanza e di

Comeglians, altre sono di recente scoperta. Si tratta di mineralizzazioni a solfuri e solfosali di rame, galena, blenda in ganga di quarzo, barite e fluorite. Quest'ultima diviene importante nella zona del Monte Dolce Monte Cavallo (a-NE di Pontebba) (BRIGO & DI COLBERTALDO 1971).

Questi giacimenti sono situati sotto la trasgressione del Carbonifero superiore ed interessano il Mesodevónico di scogliera. Si tratta di mineralizzazione legata agli strati, in cavità paleocarsiche, in filoni e vene confinate in uno spessore di circa 50 m a partire dal paleorilievo; la provenienza dei metalli può essere legata al vulcanesimo carbonifero od alla lisciviazione delle rocce affioranti.

Le mineralizzazioni fluoritiche della Val d'Aupa nelle Alpi Carniche sono comprese nel calcare metallifero del Ladinico superiore (o dello Schlern), e sono sotto forma di sacche nei karst, di solito localizzati subito al di sotto di straterelli scistososi, o negli scisti intercalati nella massa calcarea. I minerali sono fluorite bianca oppure grigia (per pigmenti di origine organica), calcite, quarzo, blenda, galena, pirite, goethite e marcasite.

In Sardegna sono carsici i giacimenti della zona di Perda Niedda, ove si hanno cavità carsiche doliniformi di modeste dimensioni riempite da fluorite e barite e che in profondità si chiudono con *terre rosse*; il finitimo granito ercinico ha prodotto un intenso metamorfismo termico delle rocce carbonatiche.

5. GIACIMENTI DI ALTRI MINERALI

I giacimenti che possono avere una genesi legata al fenomeno carsico sono essenzialmente quelli di bauxite, fosforite, minerali di Fe, Mn, Pb, Zn, fluorite e barite. Giacimenti di altri minerali nei karst sono accidenti geologici, estremamente rari.

Riporto qui di seguito i pochi esempi che sono riuscito a ricavare nella bibliografia.

Il giacimento di uranio di Tyuya-Muyun (Ferghana, U.R.S.S.), è un riempimento di cavità carsiche dei calcari devoniani in vicinanza di scisti carboniosi a Graptoliti. Il minerale utile, costituito da vanadati di uranio, radio e rame, è sotto forma di concrezioni concentriche (vedere fig. 27, tratta da ROUTHIER 1963, pag. 235) depositate da acque vadose ascendenti (o forse discendenti), che hanno lisciviato gli scisti.

Nei calcari carboniferi a Voel Hiraddog, presso Rhyl nel Flintshire

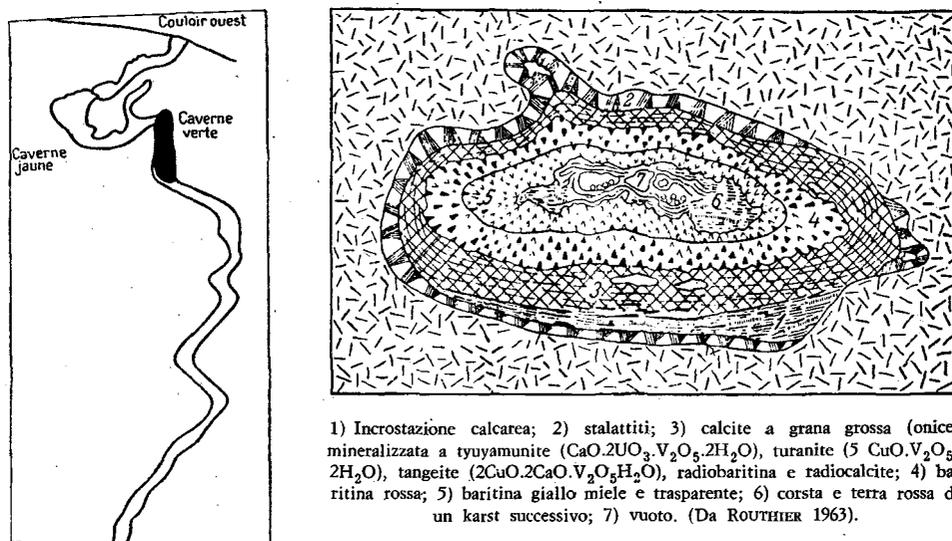


Fig. 27 - Giacimento di Tyuja Muyun (Ferghana, URSS). A sinistra: sezione verticale di un karst mineralizzato. A destra: sezione schematica di un corpo mineralizzato.

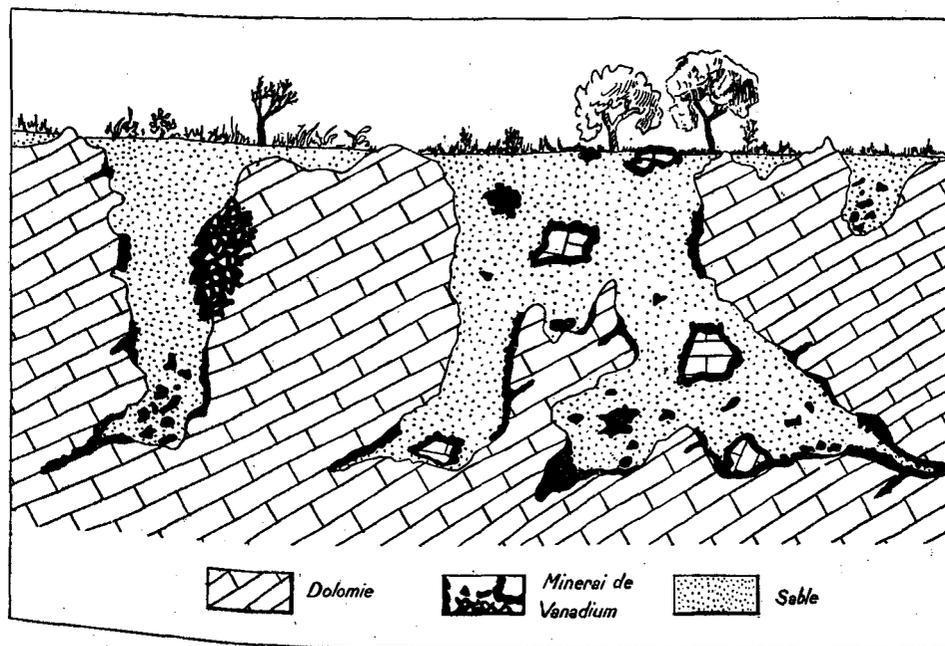


Fig. 28 - Giacimenti di vanadio dell'Africa Sud Ovest, insediato in un karst. (Da NICCOLINI 1970).

(Inghilterra), vi sono « crevasse » e tasche riempite di minerale di ferro, manganese, nichel e cobalto sotto forma di ossidi neri (asbolano). Il cobalto proviene da filoni piritosi incassati nei calcari stessi (DE LAUNAY 1913).

NICCOLINI 1970 riporta lo schema, riprodotto in fig. 28, di un giacimento di minerali di vanadio di Abenab nel sud-ovest dell'Africa, tipicamente carsico.

6. FENOMENI CARSICI NEI GIACIMENTI DI PIOMBO E ZINCO NELLE ROCCE CARBONATICHE E CONCREZIONAMENTI

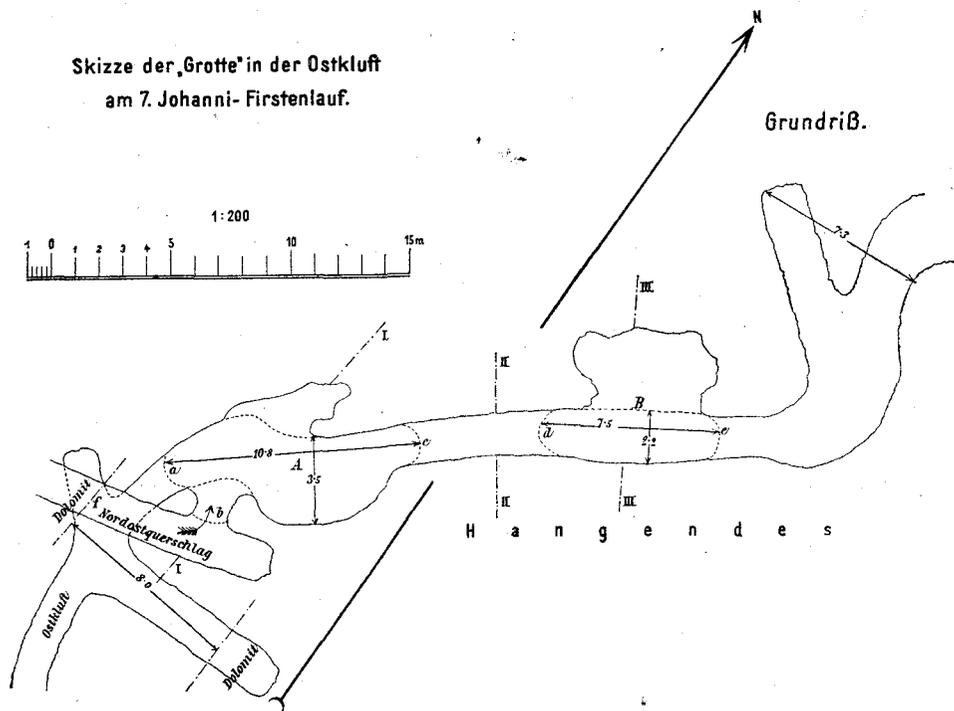
Parlando di giacimenti di Pb-Zn, barite e fluorite nelle formazioni calcareo-dolomitiche ho già messo in evidenza il legame tra cavità carsiche e riempimenti ad opera di sedimenti mineralizzanti.

Vi sono numerosi esempi di cavità aperte, anche di notevoli dimensioni, incontrate nei lavori minerari: alcune sono certamente successive e sono più o meno riempite di minerali con paragenesi diversa da quella del resto del giacimento; altre invece contengono, o sono tappezzate, di minerali la cui paragenesi è identica a quella del giacimento. Nel primo caso si tratta di erosione carsica recente sia pure facilitata dalle acque aggressive che conseguono all'alterazione dei solfuri. Nel secondo caso si tratta di cavità primarie, nelle quali si è depositato il minerale, con riempimenti parziali o totali di sedimenti argillosi e carbonatici poi asportati. Altre cavità, caso più raro, possono essere rimaste sempre aperte.

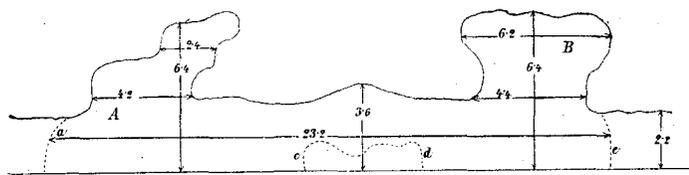
Darò qui una serie di esempi di rinvenimenti di grotte e concrezioni, desunti dalla bibliografia.

POŠEPNÝ 1873 descrisse formazioni tubolari, cave, costituite da involucri successivi di galena, blenda e pirite, interpretandole come stalattiti, nelle quali i minerali metallici si sarebbero depositi attorno ad un involucro calcareo stalattitico. La presenza di queste concrezioni sul fondo delle grotte sarebbe dovuta al distacco delle stalattiti a seguito dell'aumento di peso. GÖBL 1903 descrive accuratamente due di queste cavità incontrate nel dicembre 1892 nei lavori minerari al VII livello Giovanni, tappezzate di tutti i minerali che si trovano nella miniera di Raibl, e da stalattiti e stalagmiti (Fig. 29). Secondo GÖBL le soluzioni idrotermali avrebbero sciolto le zone calcaree, lasciando dei vuoti nei quali si sarebbero depositi i minerali: galena, blenda, cerussite, smithsonite, ecc.

Skizze der „Grotte“ in der Ostkluff
am 7. Johanni-Firstenlauf.



Aufriß.



Schnitt.

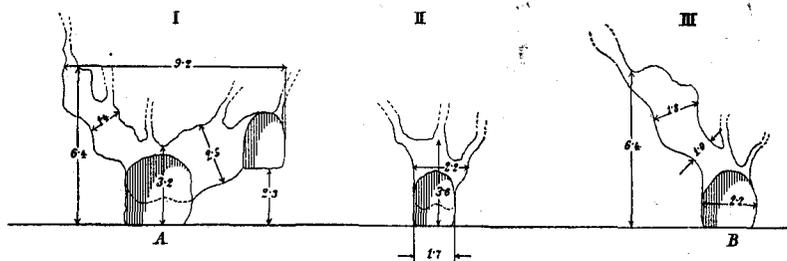


Fig. 29 - Pianta (in alto), sezione longitudinale (in mezzo) e sezioni trasversali (in basso) della grotta trovata nel 1892 nella miniera di Raibl. (Da GÖBL 1903).

In un più recente lavoro, nel quale vengono studiate sia le concrezioni ritrovate da POŠEPNÝ e GÖBL e conservate nel museo della miniera, che analoghe forme, rinvenute nel Cantiere Colonna Principale, nel tratto compreso tra i livelli Madonna e Giovanni, DI COLBERTALDO & FERUGLIO 1963 giungono alla conclusione che *i minerali tubolari di Raibl altro non sono che coccarde formatesi attorno a steli corallini per sostituzione del calcare incassante* e che la loro genesi può essere quindi ricondotta ad un processo di sostituzione selettiva. L'ipotesi è basata sul rinvenimento di ceppi di coralli in altro luogo della miniera, sulla forma delle stalattiti, e sull'età della loro formazione. La spiegazione più logica sembra però essere quella di una cavità esistente antecedentemente alla mineralizzazione, incrostata di minerali durante il riempimento che si è completato in tutto o in parte con dolomia cristallina poi asportata da una ripresa dei fenomeni di dissoluzione. In tal modo si dà ragione del fatto che sia le concrezioni che la mineralizzazione principale abbiano la stessa paragenesi.

Nel giacimento dell'Argentiera di Auronzo si rinvennero concrezioni stalattitiche costituite da involucri di blenda e würtzite, con accessoriamente pirite, marcasite, galena, barite, ecc. che risultano inglobate e cementate da roccia dolomitica. Le concrezioni, studiate da FERUGLIO 1969, sono state correttamente interpretate appunto come stalattiti formatesi in piccole cavità della roccia. Secondo i geologi della miniera il giacimento sarebbe insediato in un karst.

URAS 1957 descrive una cerussite stalattitica nella miniera di Arenas (Sardegna). HEIL 1968 rammenta la presenza di concrezioni cave di solfuri nelle cavità incontrate nelle miniere del distretto dell'Upper Mississippi Valley, ma contro ogni evidenza ritiene improbabile che abbiano origine come stalattiti. In questi giacimenti si incontrano anche caverne riempite da blenda granulata classata (NICCOLINI 1970).

VIOLO 1966 rammenta la presenza nel Senoniano superiore di Djebel Hallouf di vuoti con fenomenologie di riempimenti carsici. BECK 1909 riferisce delle concrezioni stalattitiche di Raibl e ricorda poi altri casi, quali quelle blendose del giacimento di Schmalgraf presso Moresnet nella zona di Aachen (Germania), quelle di blenda e galena di Wiesloch nel Baden.

Nelle collezioni di Freiberg era conservata una stalattite di blenda, sottile e lunga 25 cm proveniente dalla miniera di Catavera in Spagna.

Stalattiti di psilomelano ($(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})_2 \text{Mn}_5\text{O}_{10}$) si rinvennero nella miniera Luise presso Horhausen e nei giacimenti di Schwarzenberg nell'Erzgebirge (Monti Metalliferi), altre di limonite si trovarono nelle gallerie

della zona di Siegener e presso Aue nell'Erzgebirge.

Stalattiti di pirite furono segnalate nella zona di Freiberg, di marcasite nel giacimento di Drei Prinzen, a grande profondità nel sottosuolo.

In Ungheria, presso Matyas Kiraly (Varespatak), vennero rinvenute stalattiti di calcite e rodonite con oro nativo, tappezzate all'esterno di quarzo.

Nei filoni cobaltiferi di Schneeberg (Germania) furono rinvenute stalattiti di calcedonio (BECK 1909).

Nel paragrafo 4.4. ho già citato l'esempio delle concrezioni stalattitiche di galena, blenda colloidale, ecc. rinvenute nella miniera di Djebel Hallouf in Tunisia.

Pur essendo molto rari i rinvenimenti di concrezioni stalattitiche e stalagmitiche non calcitiche, se ne trovano altri cenni in bibliografia: DI COLBERTALDO & FERUGLIO 1963 citano ad es. il giacimento di Les Malines in Francia.

La miniera di Stari Trg, presso Trepča che si trova in Serbia (Jugoslavia) in prossimità di Kosovska Mitrovica, non è solo una delle più importanti e ricche miniere del mondo ($Pb+Zn \approx 10\%$), ma anche una delle più note, per gli spettacolari cristalli che si rinvencono nelle geodi ⁽¹⁾. Nella zona vi è un complesso di rocce, probabilmente del Paleozoico antico, costituito da filladi, filladi quarzifere, sericitiche e cloritiche, marmi, calcari, rocce verdi e serpentine, ripiegato a stretta anticlinale immergentesi a NW di $40 \div 45^\circ$ e lungo l'asse della quale si è intruso un filone di quarzolatite di età terziaria che ha determinato una breccia di esplosione con frammenti di calcari e filladi. La mineralizzazione è metasomatica. Nella miniera si incontrano enormi geodi, di decine di metri di diametro, corrispondenti forse ad originarie cavità carsiche o, più probabilmente, di dissoluzione ad opera delle soluzioni idrotermali, parzialmente riempite di acqua tiepida e tappezzate di cristalli, per lo più calcite, quarzo e pirite. La visita a questa miniera lascia un ricordo indimenticabile ed è uno degli spettacoli più singolari e rari che si possa ammirare.

(1) Minerali metalliferi: magnetite, pirrotina, pirite, calcopirite, cubanite, marmatite, sfalerite (blenda), arsenopirite, galena, tetraedite, pirargirite, marcasite, bournonite, jamesonite, boulangerite, antimonite, enargite, ecc.. Minerali di ganga: granati, epidoto, salite, hedembergite, ilvaite, quarzo, siderite, rodocrosite, calcite, aragonite, ankerite, barite, oligonite, ecc.. Minerali secondari: cerussite, anglesite, limonite, psilomelano, melanterite, colcofanite, vivianite, ecc. (KOVAČINA & al. 1967).

FORD & SARJEANT 1964 descrivono della barite stalattitica del Derbyshire (Inghilterra), deposta in piccole cavità dei calcari dolomitici del Carbonifero. Questi Autori, contro l'evidenza, ritengono che si tratti di concrezioni che si sono formate da soluzioni idrotermali (1).

Si cita il ritrovamento di cristalli di galena di neoformazione tappezzanti le tracce lasciate dai picconi dei minatori e le ripene, senza dubbio di epoca romana, e l'interno dei fori da mina della miniera di Djolta in Tunisia (ROUTHIER 1963, pag. 360).

Io ho trovato spesso sul Caliso, nella *formazione a Bellerophon*, cristalli ottaedrici di galena di un paio di millimetri in cavità della roccia e certamente di deposizione supergenica.

In una nota di WARWICK 1968 si ricorda che nel Galles Nord-Occidentale molti lavori minerari incontrarono cavità, alcune riempite di frammenti di tronchi d'albero fluitati dalla superficie, altre di argilla e sabbia con ciottoli di galena. L'eduazione dell'acqua da queste miniere nei calcari viseani (Carbonifero) ha mostrato che la circolazione era tipicamente carsica. Le cavità sarebbero in connessione sia con la circolazione superficiale, che con acque profonde freatiche.

WARWICK nella stessa nota ricorda ancora che nel Derbyshire furono rinvenute molte caverne durante i lavori minerari, alcune presso la superficie, altre, come nelle miniere di Golconda, Mill Close e Riber, a profondità considerevoli. Nella prima la mineralizzazione (principalmente a barite e galena) si trova nei calcari dolomitizzati del Carbonifero. Qui vi è una serie di caverne isolate, poste 90 ÷ 120 m al di sotto della superficie, alcune delle quali sono riempite con sabbia dolomitica, barite e galena detritiche. Alcune di queste cavità sono accuratamente descritte dall'Autore.

Nella miniera di Mill Close, in alcune cavità vi sono deposizioni di galena ricoperta da cristalli di calcite a dente di cane. La carsificazione sembra essere avvenuta, per alcune cavità, in una fase antecedente la mineralizzazione.

Ho già citato la Grotta di S. Barbara, il più bell'esempio di cavità incontrata con lavori minerari. Nel 1952 nella miniera di San Giovanni (Iglesias, Sardegna), durante lo scavo di un fornello nella « vena principale », nella zona del Pozzo Carolina, si sbucò a quota 167 s.l.m. in una notevole cavità, sviluppatasi in direzione della zona mineralizzata.

(1) Nella Blue-John-Mine nel Derbyshire, la fluorite si presenta sia in stalattiti pendenti dalla volta, che in letti orizzontali con baritina, od in noduli nelle argille (DE LAUNAY 1913).

La grotta è completamente rivestita da concrezioni: vi sono lamelle di barite, di color marron e semitrasparenti, ricoperte da calcite ed aragonite (Tavv. I e II). Vi sono inoltre stalattiti, stalagmiti e colonne, ed il fatto che siano perfettamente verticali dimostra che sono certamente successive agli ultimi movimenti tettonici alpini. Nella stessa miniera sono frequenti altre « crevasse », aventi dimensioni dell'ordine di 50 x 20 m, alte una trentina, rivestite di concrezioni calcitiche.

Il problema da risolvere è quello della modalità con cui i minerali, soprattutto i solfuri, vengono portati in soluzione ed indi ridepositati nei karst; ritornerò sull'argomento nel capitolo 8.

7. FENOMENI CARSICI NEI FILONI IDROTERMALI

Nei filoni idrotermali, incassati in rocce cristalline, si possono avere fenomeni di dissoluzione carsica, quando sono presenti minerali solubili.

Un esempio è dato dalle miniere di fluorite della Vallarsa che prendono il nome dalla omonima valle, stretta e profonda forra che sbocca a Laives a mezza strada tra Trento e Bolzano ed impostata in una faglia E-W, che taglia le vulcaniti della « *piattaforma porfirica atesina* ».

Sui due opposti versanti vi sono due filoni di fluorite di recente scoperta e sfruttati industrialmente. Il filone « Vallarsa Nord » si trova sul fianco N della valle, ha una potenza considerevole ed è noto per oltre un chilometro. È incassato nelle rioliti e si trova nella parte più alta del complesso effusivo, ha direzione N 20° E, immersione di 70° ÷ 80° prima a SE, poi a NW.

I minerali sono: fluorite, barite, galena e calcite tardiva in vene, presente generalmente nella parte centrale del filone e più abbondante nella zona S. La calcite cementa spesso una breccia di fluorite con potenza sino a 5 m.

La dissoluzione carsica della calcite determina la presenza di vuoti, in genere riempiti di argilla rossa di provenienza sia dai porfidi che dalla superficie. Queste zone creano tra l'altro problemi per la coltivazione: sono stati trovati anche condotti vuoti, percorsi dalle acque e tappezzati da calcite in cristalli scalenoedrici.

Il carsismo si nota su un dislivello di 80 m, seguendo grosso modo l'andamento della superficie topografica, è particolarmente vistoso in corrispondenza delle parti alte, in prossimità di una zona paludosa.

Le acque connesse ai giacimenti minerari, in genere acide, sono in grado di portare in soluzione ed attaccare intensamente le rocce ed i minerali; non entrerà qui nel dettaglio di questi problemi, che vengono studiati nell'ambito dei fenomeni di alterazione.

8. PETROGRAFIA DEI DEPOSITI

Il problema dello studio dei giacimenti minerari è complesso a causa della estrema varietà di ambienti e situazioni che si possono presentare, anche in un ristretto ambito. I depositi possono essere distinti, da un punto di vista petrografico, in meccanici e chimici, a seconda del tipo di trasporto che hanno subito i materiali.

Con velocità dell'acqua molto piccole vengono trasportate solamente le sostanze in soluzione e si ottengono tessiture a bande od a listato, crostoni, concrezioni e, molto raramente, stalattiti vere e proprie.

Anche per i colloidali non si richiedono velocità sensibili di trasporto e si hanno depositi stratificati in cui si alternano materiali di diversa composizione: la precipitazione è condizionata dalla presenza di flocculanti o dal concentrarsi della soluzione per evaporazione.

Nei giacimenti bauxitici sono frequenti le strutture pisolitiche e nodulari; nei giacimenti a solfuri, quelle colloformi.

Quando la velocità dell'acqua è sufficiente, vengono trasportati o trascinati anche materiali grossolani, quali sabbie e ghiaie ed in tal caso avremo giacimenti con strutture detritiche, con i minerali gradati non solo in funzione delle dimensioni, ma anche del peso.

Sono frequenti poi tessiture in cui i depositi di trasporto chimico si alternano a quelli di trasporto colloidale o meccanico, come del resto avviene nelle grotte normali, in cui sabbie, argille, depositi terrigeni e crostoni stalagmitici si susseguono in un medesimo ambiente.

Le breccie mineralizzate che si rinvengono molto di frequente si sono formate in posto per crolli della volta. Si hanno sia breccie con il minerale nel cemento (tessiture a coccarda) che nei frammenti (tessiture brecciate) od, infine, in ambedue.

Se per i materiali di trasporto meccanico e per le breccie il processo di formazione è analogo sia che si tratti di minerale utile o di normali sedimenti sterili, ben diverso è il discorso per i depositi di trasporto chimico. La modalità di dissoluzione, trasporto e deposizione del carbonato di calcio è ben diverso da quello dei minerali metalliferi e di ganga, e gli

studi degli equilibri chimico-fisici del carbonato di calcio non si applicano alla formazione di un giacimento minerario *supergenico*.

La maggior parte dei minerali non è solubile in acqua, tuttavia quando sono presenti altre sostanze, con formazione di ioni complessi, si ha un incremento di solubilità anche di molte volte. Così ad esempio la presenza di ioni Cl^- , HS^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , ecc. può spiegare, secondo molti Autori, la dissoluzione della galena, blenda, barite e la loro rideposizione.

Per la fluorite LELEU 1969 ha dimostrato che può essere portata in soluzione come composto silico-fluorurato del tipo SiF_n . Del resto tra i fluoruri, quello di calcio è l'unico insolubile.

La dissoluzione di minerali può forse avvenire (in analogia alla teoria della mescolanza delle acque di BOEGLI) anche per l'incontro di soluzioni a diversa concentrazione.

Il problema non si pone quando i minerali subiscono un'alterazione cambiando la composizione chimica. Così ad es. il Pb della galena può trasformarsi in cloruro solubile, la pirite in idrossidi di ferro, ecc. È ben noto che i giacimenti minerari subiscono un'alterazione nella parte superficiale (*zona di ossidazione*) ed una concentrazione nella parte inferiore (*zona di cementazione*).

Questi minerali ossidati si trovano molto frequentemente in sacche, in cavità delle rocce carbonatiche e dei filoni idrotermali od in vere e proprie grotte: tra i minerali che si rinvencono nei giacimenti piombo-zinciferi ricorderò innanzitutto le calamine, prodotto di alterazione della blenda. Si tratta di miscele di minerali zinciferi più o meno complesse, in cui prevale la smithsonite (ZnCO_3) e la emimorfite ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), con idrossidi di ferro. La galena è meno alterabile e dà la cerussite (PbCO_3), la calcopirite dà l'azzurrite ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) e la malachite ($\text{Cu}_2[(\text{HO}_2/\text{CO}_3)]$).

Durante l'alterazione la galena e la cerussite rimangono in posto, mentre la smithsonite scende nelle parti inferiori del giacimento e sostituisce la dolomite.

I minerali di alterazione sono numerosissimi: ricordo che nell'alterazione dei solfuri si produce acido solforico che accelera la carsificazione delle rocce carbonatiche. In questo caso la mineralizzazione può essere antecedente alla carsificazione e si ha così un rapporto temporale invertito tra mineralizzazione e carsificazione.

I minerali che rimangono dopo la dissoluzione ed alterazione della roccia sono i minerali residuali.

La deposizione di minerali può avvenire per commistione di soluzioni diverse non sature. Così ad es. il bario, che passa in soluzione come cloruro, precipita all'incontro con acque solfate (si veda il paragrafo 4.4.). Ancora, può essere presente nella roccia come solfuro e come tale circolare, passando a solfato al momento della percolazione in cavità nelle quali siano presenti acque superficiali ossigenate (si veda ad es. lo studio di TRENER 1908).

Questa ipotesi della precipitazione dei minerali all'incontro di soluzioni diverse, può essere invocata anche per la formazione di giacimenti idrotermali, nei quali le acque termali mineralizzate salienti vengono a contatto con acque superficiali di diversa composizione.

Il problema più complesso è quello di spiegare la paragenesi a solfuri nei giacimenti carsici. Perché si formi galena, blenda, pirite è indispensabile la presenza di H_2S , che può aversi per decomposizione delle proteine o dai solfati per riduzione ad opera di sostanze organiche o ad opera dei batteri anerobi.

Il ruolo dei batteri anerobi per la formazione dei solfuri è da tempo riconosciuto, ma vi è anche una recente dimostrazione del loro intervento nella precipitazione della galena nei karst. DÉVIGNE 1968, avendo potuto assistere all'apertura di una cavità carsica nella miniera piombo-zinco di Djebel Azared (Tunisia), poté raccogliere la terra, localizzata attorno ai cristalli di galena formanti ammassi e tappezzante localmente pareti della cavità stessa. In questo materiale poté isolare un micrococco, la *Sarcina flava* BARY, in grado di precipitare da una soluzione di ioni Pb^{++} il solfuro di piombo (1).

Lo studio degli equilibri chimico-fisici dei minerali dei giacimenti minerari è estremamente difficile, tuttavia è stato affrontato e risolto in alcuni casi, così da dimostrare la possibilità di deposizione dei solfuri in ambiente carsico.

La precipitazione degli ioni è condizionata da molteplici fattori: variazione di temperatura e pressione, evaporazione del solvente, incontro di soluzioni diverse, pressione parziale dei gas disciolti nell'acqua ed assorbimento ad opera delle argille o della roccia carbonatica. Il problema è aperto alla investigazione ma è molto complesso anche per una reazione molto semplice (quale quella classica della deposizione della calcite da

(1) Il prof. ANELLI mostra nelle Grotte di Castellana stalattiti calcitiche corrose per azione di micro-organismi.

un'acqua carbonicata) quando siano presenti altri ioni.

Nel lavoro di LELEU & MORIKIS 1967 sui solfuri di bassa temperatura della miniera di Laurium sono descritte mineralizzazioni a solfuri costituite da una serie di noduli allungati e suborizzontali delle dimensioni da 10 a 50 cm. Il centro è formato da bande di solfuri in forma sinuosa o digitata attorno ad un sottile foglietto di calcare dello spessore da 0,2 a 0,5 mm e l'involucro esterno, di qualche centimetro di spessore, è di calcite, in involucri concentrici di scalenoedri di qualche millimetro, di colore da bianco a bruno. Talvolta si notano solfuri, per lo più galena, sulle facce degli scalenoedri o al loro interno. La sezione di questo cantiere si presenta pertanto con tessiture a coccarde.

La successione paragenetica è alquanto complessa ed è la seguente: pirite, galena, calcopirite, blenda, cerussite, calcite e galena. La ipotesi che i due Autori fanno sulle condizioni di formazione è che la deposizione sia avvenuta a partire da una soluzione a bassa temperatura ruscillante sulle pareti inclinate di una cavità carsica. La presenza di anidride carbonica favorisce la formazione di un ambiente riduttore che facilita la precipitazione dei solfuri. La successione paragenetica sarebbe poi dovuta alle variazioni del potenziale di ossidoriduzione:

- una variazione continua da un Eh inferiore a $-0,2$ V sino a passare a positivo rende conto della formazione della galena, indi della cerussite ed infine della calcite;
- una variazione discontinua da un Eh positivo ad un Eh negativo spiega la seconda generazione della galena sugli scalenoedri di calcite.

In un successivo lavoro monografico di LELEU 1969 sul giacimento di Laurium, vengono descritte le tessiture carsiche, che si presentano in modo molto vario:

- a) *crostoni stalagmitici* di calcite associata a solfuri, oppure di smithsonite associata a gesso; le concrezioni stalattitiformi sono rare;
- b) *brecce di tetto*, con elementi di marmi del tetto che mostrano di essere stati corrosi e sostituiti dalla matrice carbonatica cementante, con calcite, fluorite, cerussite e quarzo;
- c) *coccarde o noduli di blenda* (talvolta di microgranito) con un'aureola di blenda, cementati da dolomia, disposte a formare un livello suborizzontale dell'ordine di 30 m², e potenza da 20 a 150 cm;
- d) *brecce di riempimento*, con elementi arrotondati sino a 5 cm, cemen-

- E
- tati da una breccia più fine, accompagnata da idrossidi di ferro e minerali argillosi, con lamelle di barite;
- e) *suoli residuali*, costituiti da sottili letti di apparenza argillosa alternati a fluorite;
- f) *strutture di gradiente* con blenda, siderite, fluorite e calcite;
- g) *strutture ritmiche* con alternanze di siderite, blenda, galena, calcite e fluorite.

I crostoni stalagmitici, le coccarde, noduli, brecce, ritmiti, sono dovuti al ruscellamento di soluzioni ioniche sulle pareti e sul pavimento delle cavità carsiche e deposizione, sulle superfici o attorno a centri di cristallizzazione, dei vari minerali. La diffusione e reazione tra substrato e soluzioni dà luogo alle strutture di gradiente.

Le associazioni paragenetiche sono principalmente:

- calcite - calcite ricca in Fe e Zn;
- calcite - smithsonite - gesso;
- calcite - quarzo;
- quarzo - galena - fluorite;
- galena - blenda - carbonati.

Nel giacimento di Laurium sono poi presenti riempimenti di ossidati (cerussite e smithsonite), cui si accompagnano una ventina di minerali di alterazione.

Un caso molto particolare è quello della deposizione di elementi nativi dalle soluzioni circolanti nei giacimenti minerari per azioni elettrochimiche.

Nel giacimento di Predoi in Valle Aurina, si formano concrezioni stalattitiche di rame metallico, interpretate (PERNA 1961) come accrescimenti elettrolitici da soluzioni contenenti ioni Cu^{++} a causa di correnti elettriche vaganti.

Nella miniera di Apliki (Cipro), sono segnalate scagliette millimetriche di rame metallico nei legni delle armature delle antiche miniere fenicie.

Non è certo escluso che anche altri minerali, quali solfuri, vengano ridepositi per l'intervento di azioni elettrochimiche.

Le nostre conoscenze delle modalità di dissoluzione e rideposizione dei solfuri, delle paragenesi, strutture, tessiture e giaciture dei giacimenti carsici sono ancora in uno stadio embrionale: è tutto un campo aperto alla investigazione. Per ora gli argomenti a favore dell'origine carsica (nel

senso più esteso del termine) dei giacimenti di tipo alpino — od almeno di molti di essi — sono soprattutto geologici: a mio parere tuttavia sono decisivi.

Debbo ricordare poi che questi giacimenti possono aver subito, dopo la deposizione dei minerali, una dolomitizzazione ed intensi fenomeni diagenetici, che ne hanno alterata la fisionomia originaria. È anche questo un aspetto che merita un approfondimento; del resto anche per il semplice carbonato di calcio delle grotte non si hanno molti dati. Voglio citare a questo proposito la Grotta di Castellana, ove si rinvennero tre tipi di concrezioni:

- 1) ad involucri successivi concentrici, ove ogni singolo involucro è costituito da cristallini di calcite con l'asse A_3 disposto normalmente alla superficie. Lo strato successivo è costituito da un'altra serie di cristalli e manca la continuità con quello più interno;
- 2) ad involucri successivi concentrici, ove però vi è continuità tra i cristalli di calcite, dal centro sino alla superficie esterna. Gli anelli, più radi, sono ancora visibili ma sono costituiti da bande di impurezze;
- 3) monocristalline, costituite da un unico cristallo, anche di qualche metro, disposto con l'asse A_3 verticale, a sezione triangolare o quadrata e, non di rado, con un foro al centro e prive di anelli concentrici.

Non è agevole fornire una spiegazione di come possa avvenire la diagenesi in condizioni di temperatura e pressione ambiente, in tempi geologici brevi, né è chiaro il meccanismo di espulsione delle impurità.

Nel caso dei giacimenti carsici invece, i tempi sono molto lunghi e temperature e pressioni potevano essere anche elevate. Infatti, completato il ciclo carsico, la deposizione dei sedimenti riprende e la zona mineralizzata viene a trovarsi a profondità anche di 1÷2 km, con pressioni di 100÷200 bar e temperature del campo idrotermale, che determinano ricristallizzazioni diagenetiche, ricircolazioni e metasomatismi (DEAL 1968).

La teoria carsica dei giacimenti è pertanto in grado di dare ragione delle strutture, tessiture, successioni paragenetiche, anche se l'intimo meccanismo della formazione dei depositi non è ancora del tutto chiarito.

9. GENESI DEI GIACIMENTI CARSICI

L'uomo primitivo ha attribuito la presenza dei giacimenti minerari ad eventi soprannaturali, subendo il fascino dei tesori nascosti della terra.

Nella lunga evoluzione del pensiero scientifico l'idea ancestrale ha

condizionato inconsciamente le teorie sulla genesi dei giacimenti, sino ai tempi più recenti, per cui la spiegazione più ovvia era che gli adunamenti minerali fossero legati ai fenomeni magmatici ed i metalli potessero provenire solo dal più profondo della terra.

La scienza moderna ha finalmente riconosciuto che i giacimenti non sono altro che concentrazioni anomale di un determinato minerale, formatosi secondo uno qualsiasi dei processi geologici che presiedono alla formazione delle rocce: magmatismo, metamorfismo, alterazione, ecc.

Anche tra fenomeno carsico e giacimenti minerali, come si è visto, ci può essere pertanto un legame; quello che risulta inaspettato è invece il numero eccezionalmente elevato di giacimenti carsici per cui la conoscenza dell'erosione carsica, dei meccanismi di dissoluzione, di circolazione e rideposizione delle soluzioni e sostanze trasportate, riveste una notevole importanza agli effetti della conoscenza della formazione e struttura dei depositi utili.

Il primo problema da affrontare è quello della origine degli elementi utili nel ciclo sedimentario, essendo il carsismo essenzialmente un fenomeno sedimentario di erosione, degradazione, trasporto e deposizione.

I metalli dei giacimenti sedimentari non provengono in genere dalla demolizione di giacimenti preesistenti, quanto piuttosto dal fondo geochimico delle rocce in via di smantellamento. Le dolomie e i calcari contengono in genere poche decine di ppm di Pb+Zn; tale fondo aumenta considerevolmente nelle rocce magmatiche raggiungendo ad es. le 2.700 ppm di Pb+Zn delle daciti di Touissit in Algeria (OMENETTO 1970) ⁽¹⁾. È agevole calcolare che già con tenori anche di poche decine di ppm è possibile, con la degradazione di una potenza non notevole di rocce, ottenere concentrazioni imponenti di minerale.

L'arricchimento si può spiegare in vari modi: concentrazioni di ioni nel mare per evaporazione, precipitazione da parte di microorganismi,

⁽¹⁾ Il rapporto percentuale con cui un determinato elemento si presenta sulla crosta terrestre è detto *clarke*, quello di un elemento in una data formazione od in una ristretta zona della litosfera è il *fondo geochimico*, che può anche essere mediamente più alto del primo, come dimostra l'esempio citato. L'iniziale sovrabbondanza di un elemento in una certa porzione di litosfera (anomalia geochimica), è legata ai grandi processi geologici, quali differenziazione primaria durante il raffreddamento della terra, celle di convezione del mantello ecc., e tende a mantenersi per uno o più periodi geologici. I processi geologici locali, quali magmatismo di anatessi, erosione e sedimentazione, ecc., possono produrre una ulteriore concentrazione di determinati elementi, sino a giungere ai giacimenti: tra questi processi trova collocazione il ciclo di erosione carsica.

flocculazione a causa di commistioni di acque mineralizzate con acque salate o di diversa composizione, ecc. Bisogna tuttavia tener presente che se una formazione viene semplicemente smantellata e ridepositata insieme agli altri materiali degradati, in un bacino chiuso, il contenuto medio in metalli non può variare di molto.

Molto spesso si ha una preconcentrazione dei metalli sul continente, coperto dalla vegetazione che protegge il suolo da una erosione troppo intensa, in clima caldo umido ed ambiente acido, umico. Vengono sciolti ed asportati gli ioni Ca^{++} , Mg^{++} , la silice, ecc. mentre si concentrano gli ioni metallici (Pb, Zn, Fe, Mn) e i minerali residuali (fluorite, barite, fosfati, bauxite). Quando una variazione climatica fa sparire la foresta, l'erosione asporta le croste lateritiche, bauxiti e minerali di Pb, Zn, ecc., a seconda del tipo di alterazione e soprattutto a seconda delle rocce di partenza (teoria bio-resististica di ERHART in ROUTHIER 1963, pag. 200).

La deposizione può avvenire in vari ambienti: fosse oceaniche, basifondi euxinici, bacini epicontinentali, depressioni, ecc. È evidente che in quest'ultimo caso le polje, le doline ed i solchi carsici sono luoghi favorevoli all'accumulo.

La relazione tra fenomeno carsico e giacimenti di bauxite è già stata esaminata da ANELLI nel suo lavoro del 1958, nel quale il fenomeno minerogenetico è inquadrato nel contesto dell'evoluzione carsica della regione, e secondo gli schemi di LLOPIS-LLADO 1953.

ANELLI 1958, per la zona di Spinazzola, distingue le seguenti fasi del processo genetico:

- 1) Emersione dell'area considerata per movimenti di orogenesi determinanti estese e profonde diaclasi nelle rocce sedimentarie in sollevamento.
- 2) Inizio di un primo ciclo carsico favorito dalla fratturazione della roccia emersa.
- 3) Formazione di depositi eluviali climatici di alterazione sulla superficie del suolo carsificato.
- 4) Dilavamento della superficie dei terreni eluviali e riempimento delle cavità carsiche.
- 5) Trasgressione marina sulla superficie carsificata, ricoprimento della cavità con sedimenti marini o lacustri.
- 6) Ripresa dell'orogenesi e nuova fase della continentalità dell'area emersa.
- 7) Smantellamento del deposito marino, esumazione dell'antica superficie carsificata, affioramento delle sacche bauxitiche.

8) Inizio di un secondo ciclo carsico.

Ho riportato qui integralmente il discorso di ANELLI, perché sintetizza in modo perfetto i fenomeni che portarono alla formazione dei giacimenti bauxitici di Spinazzola. Il ragionamento si può estendere non solo agli altri tipi di giacimenti di bauxite (soprattutto dell'area mediterranea), ma anche a quelli di altri minerali, aventi la medesima giacitura.

Ovviamente l'evoluzione si può fermare ad uno stadio intermedio: con la fase 4) si può considerare ultimato il processo minerogenetico.

La formazione di un giacimento minerario di ciclo carsico si può riassumere in due momenti distinti:

- a) Arricchimento di minerali per dissoluzione carsica delle rocce carbonatiche (fase 3 di ANELLI).
- b) Deposizione dei minerali nelle cavità carsiche (fase 4 di ANELLI).

A questo punto la formazione del giacimento è completa e la eventuale trasgressione, depositando altri sedimenti, preserva il giacimento da una ulteriore evoluzione. A tal proposito il tipo di carsismo può essere inquadrato nello schema di LLOPIS-LLADO e potremo distinguere:

- 1) karst olofossile
- 2) karst merofossile
- 3) karst ringiovanito

a seconda che si abbia il riempimento totale della cavità (1) oppure parziale (2). Se infine si è avuta una ripresa dell'erosione con asportazione prevalente di carbonati, fenomeni di alterazione od, in genere, di riconzentrazione, si parlerà di karst ringiovanito (3). Possiamo aggiungere a questi tre tipi di carsismo un quarto:

- 4) neokarst

quando si ha un nuovo ciclo carsico, che non ricalca quello precedente ma si sviluppa in modo autonomo.

Circa la *provenienza dei minerali* si possono fare, come già detto, tre distinzioni:

- 1) autoctona
- 2) parautoctona
- 3) alloctona

a seconda che provengano: 1) dalle rocce carbonatiche stesse; 2) dalle rocce carbonatiche circostanti; 3) da altre rocce, cristalline, per processi

di lateritizzazione per biorexistasi o da soluzioni idrotermali sfocianti nel fondo marino.

Da notare che i minerali arricchiti per processi eluviali su terreni carbonatici o cristallini possono deporsi in altri ambienti: marino, lacustre, deltizio ecc. dando luogo ad altri tipi di giacimenti.

Le modalità di trasporto possono essere diverse:

- 1) trasporto ionico
- 2) trasporto meccanico.

Nel primo caso le sostanze trasportate sono sotto forma di soluzioni ioniche sia semplici che complesse, nel secondo il minerale viene trasportato dalle acque sotto forma di frammenti (minerali residuali) oppure sotto forma di gel.

Ulteriore distinzione può essere fatta basandosi sul *tipo di riempimento*, che può essere:

- 1) clastico
- 2) chimico
- 3) organico

a seconda che il sedimento sia costituito: 1) da minerali clastici; 2) da depositi chimici per precipitazione (ad es. a causa della miscelazione di due acque di composizione chimica diversa); od, infine, 3) organico, come è il caso dei carboni.

Altra distinzione è quella basata sul *chimismo dell'ambiente di deposizione* che può essere:

- 1) ossidante
- 2) rilucente.

Nel primo caso precipitano minerali ossidati, quali bauxite rossa, limonite, ematite, ecc.; nel secondo caso la bauxite bianca, solfuri (galena, blenda, pirite), lignite, barite, ecc.

In merito al *rapporto temporale tra mineralizzazione e carsismo*, si può distinguere:

- 1) mineralizzazione successiva
- 2) mineralizzazione penecontemporanea
- 3) mineralizzazione antecedente.

La mineralizzazione è successiva quando dapprima si ha la formazione dei karst ed il riempimento avviene in un secondo tempo; quella

penecontemporanea è dovuta alle acque aggressive che alterano e solubilizzano i carbonati, depositando contemporaneamente il minerale. Infine si può avere anche una mineralizzazione antecedente e l'erosione carsica asporta i carbonati provocando un arricchimento relativo.

I giacimenti possono formarsi in una qualsiasi delle zone in cui si suole suddividere il fenomeno carsico:

- 1) nella zona di percolazione
- 2) nella zona di circolazione permanente
- 3) nella zona di imbibizione generale.

Nel primo caso si hanno soprattutto giacimenti residuali o giacimenti di alterazione, nel secondo concrezioni, coccarde, breccie, ecc., mentre nel terzo caso soprattutto breccie di collasso per dissoluzione.

Ulteriore distinzione è quella che tiene conto del *tipo di fenomeno carsico* entro cui si insedia la mineralizzazione:

- a) doline, uvale, polje
- b) inghiottitoi
- c) gallerie orizzontali
- d) superfici di erosione carsica.

I vari aspetti del problema della connessione tra mineralizzazione e giacimenti che ho esaminato consentono di dare una ragione della grande varietà di situazioni che si possono presentare. È da notare che le precedenti elencazioni hanno intenti schematici e che generalmente i vari fattori interagiscono e si sovrappongono. Così ad es. la mineralizzazione, pur essendo successiva, può proseguire ancora con l'evolversi del carsismo. I riempimenti possono essere di prevalente trasporto chimico, ma anche meccanico; ad un apporto autoctono della mineralizzazione se ne può aggiungere uno alloctono, e così via.

Si possono distinguere tuttavia tre classi fondamentali di giacimenti minerali legati al carsismo, dando prevalenza al criterio genetico, cioè alla provenienza del minerale in funzione dell'evoluzione del fenomeno mineralizzante:

- 1) *Giacimenti di ciclo carsico o giacimenti autoctoni e parautoctoni.* La deposizione di una serie carbonatica si interrompe per emersione. La roccia è degradata e dissolta dai fenomeni carsici ed i minerali ed elementi contenuti in tracce (e sulla cui provenienza non indagheremo) si concentrano e si depositano indi nei karst. La mineralizzazione trae origine cioè dalla

erosione carsica ed il luogo di deposizione è un karst (dolina, grotta, pozzo). Sono questi i giacimenti carsici veri e propri.

2) *Giacimenti di deposizione nei karst o giacimenti carsici alloctoni*. Nelle rocce carbonatiche emerse si instaura un carsismo; dal continente provengono i minerali che si depositano nei karst.

3) *Giacimenti di arricchimento carsico*. Sono quelli in cui la roccia carbonatica debolmente mineralizzata subisce una dissoluzione carsica superficiale della frazione carbonatica, con conseguente arricchimento relativo in minerale (*giacimenti residuali*). Oppure si può avere la dissoluzione e precipitazione degli elementi utili (*giacimenti supergenici*) oppure una alterazione e riconcentrazione dei minerali utili (*giacimenti di alterazione*). Più raramente può intervenire un arricchimento relativo per circolazione di acque in pressione nella compagine stessa dello strato mineralizzato, che asportano la frazione carbonatica (*giacimenti freatici* ⁽¹⁾).

Attualmente nella letteratura si utilizza solo il termine generico di giacimento in karst (nella grafia anglosassone più usata), mentre è opportuno operare una distinzione nelle tre classi, notevolmente diverse.

Naturalmente non bisogna commettere l'errore di considerare carsici *tutti* i giacimenti sedimentari nelle rocce carbonatiche, in quanto si possono avere, ed anzi sono statisticamente più frequenti, accumuli di minerali in altre situazioni, dovendosi inquadrare il carsismo in un più ampio contesto geologico.

A questo proposito si possono citare, quale esempio acclarante, i giacimenti del tipo Valle del Mississippi - Appalchiani, negli USA ed in Canada (CALLAHAN 1967). Questi giacimenti coprono una vastissima estensione, sono localizzati in rocce carbonatiche di età dal Cambriano al Carbonifero, in corrispondenza di situazioni stratigrafiche molto varie. I giacimenti, stratoconcordanti, sono localizzati in letti praticamente orizzontali, comunemente sotto ad argille o marne, nelle seguenti situazioni:

a) al di sopra di una discordanza stratigrafica di rocce sedimentarie su un basamento di rocce magmatiche, sedimentarie o metamorfiche, in varie situazioni stratigrafiche, quali reefs e variazioni di facies, ondulazioni e strutture di compattazione, riduzioni di potenza, detriti e brecce di franamento sottomarino;

(1) Il termine è improprio; segue tuttavia l'uso di distinguere i fenomeni carsici della zona di percolazione da quelli di imbibizione generale detti freatici.

- b) sotto una discordanza stratigrafica, sia in brecce di collasso connesse a topografia carsica della superficie della discordanza stessa (ad es. nel distretto del Tri-State del Missouri, Kansas ed Oklahoma) sia connesse all'assottigliamento degli strati sottostanti a causa di dissoluzione per sistemi di drenaggio;
- c) a variazioni di facies verificatesi nel bacino di sedimentazione.

Come si vede i giacimenti carsici sono solo quelli di tipo b; essi sono connessi con una trasgressione e sono localizzati immediatamente al di sotto di essa.

Risulta evidente la grande importanza delle zone di erosione carsica, come controllo paleogeografico per la deposizione di minerali utili. In una serie normale i minerali utili si depositano assieme ai sedimenti ed il fattore di arricchimento è limitato. Quando si ha una serie ridotta o in parte rierosa, i minerali utili si concentrano più agevolmente. Infine le zone incarsite quali polje, doline, valli carsiche, zone calcaree peneplanate, inghiottitoi e grotte, sono luogo di possibile accumulo dei minerali metalliferi.

Questi riempimenti possono avvenire in una fase matura dell'erosione carsica ed ingressione di acque marine: in tal modo si spiega l'elevato contenuto di NaCl presente nelle inclusioni fluide delle blende ed i fenomeni di ricircolazione di galena e blenda in presenza di ioni Cl^- (ROEDDER 1967, BROWN 1967). Anche le tessiture, quali brecce mineralizzate costituite da elementi appartenenti alla copertura o da elementi delle rocce incassanti, si spiegano agevolmente con l'interpretazione carsica dei giacimenti.

Il ricorrere di mineralizzazioni piombo-zincifere in seno ad una formazione carbonatica subito al di sotto di livelli marnosi, ha dato molto da pensare ai giacimentologi idrotermalisti, che hanno tentato di spiegare questo fatto in vari modi. Così ad es. si è supposto che gli strati marnosi meno permeabili possano aver esercitato un rallentamento delle soluzioni, che permanevano più a lungo a contatto con le rocce carbonatiche, permettendo le azioni di sostituzione metasomatica.

Per MACKY (in DI COLBERTALDO 1967) gli strati marnosi vanno considerati alla stregua di una membrana semipermeabile nei confronti di una soluzione. Se da una parte della membrana vi è una soluzione e dalla altra dell'acqua pura, questa passa attraverso la membrana stessa sino ad equilibrare la pressione (pressione osmotica). Se si esercita una congrua pressione sulla soluzione, si ha il passaggio del solvente attraverso la mem-

brana e la concentrazione della soluzione aumenta. Nel caso di strati marnosi semipermeabili sovrapposti alle rocce carbonatiche, gli ioni si concentrano, si depositano e si formano i giacimenti minerali (teoria dell'*impounding*). Le soluzioni mineralizzanti sarebbero connesse con plutoni e quando questi mancano si suppone che siano presenti in profondità.

Vi sarebbe pertanto una analogia tra giacimenti idrotermali e giacimenti di idrocarburi. Come è noto per questi ultimi si riconosce una fase di lenta migrazione che porta all'accumulo degli stessi al di sotto di strutture impermeabili ad anticlinale o in altri tipi di *trappole*.

Molto spesso anche gli strati marnosi sono debolmente mineralizzati a galena, blenda, pirite, ecc. Per gli idrotermalisti la soluzione ha sostituito livelli carbonatici oppure le sostanze organiche hanno agito da catalizzatori provocando la precipitazione dei minerali. Secondo i sedimentaristi invece, i metalli nei livelli marnosi sono sedimentari e le acque in lento movimento nella fase diagenetica hanno provocato la *ricircolazione* dei minerali, che si depongono, riconcentrati, in corrispondenza di faglie, per caduta di pressione o per azioni elettrochimiche. Tuttavia se si ammette generalmente la possibilità di una ricircolazione sulla scala dei decimetri o dei metri (come è agevole constatare nell'ambito dei giacimenti), è molto più difficile credere ad una ricircolazione su scala maggiore, delle centinaia o migliaia di metri, come richiesto da un bilancio geochimico dei metalli.

Nella teoria dei giacimenti *estrusivo-sedimentari* si suppone che, in connessione con attività vulcaniche testimoniate dalla presenza di tufiti, vi siano soluzioni idrotermali sfocianti in mare. Tuttavia spesso queste tufiti mancano o sono indice di attività effusiva molto lontana.

Non voglio qui entrare nei dettagli di teorie, non di rado artificiali, che hanno trovato accessi sostenitori ed attirato notevoli critiche, perché il discorso mi porterebbe troppo lontano. Posso solo rilevare che la teoria dei giacimenti carsici (sempre intensa nel senso più ampio di interruzione del ciclo sedimentario, di erosione e di concentrazione di alcuni minerali) è molto più naturale e consente di spiegare in modo logico posizione stratigrafica, strutture, paragenesi di alcuni giacimenti alpini, che altrimenti sarebbero inspiegabili.

Nello studio dei giacimenti minerali una teoria deve non solo dare una spiegazione dei fatti osservati ma deve consentire anche il ritrovamento di nuovi depositi o costituire una guida per la ricerca.

I giacimenti carsici si possono rinvenire in rocce carbonatiche, subito sotto ad uno hiatus stratigrafico o ad una trasgressione (denunciati da

una discordanza angolare, da brecce, conglomerati, rocce marnose, argillose od arenacee). In corrispondenza di questa si cercheranno minerali, anche in tracce minime. Si tenterà di individuare poi i carsismi sia superficiali (doline, polje) che profondi (inghiottitoi, grotte): se questi non affiorano per erosione la ricerca è molto aleatoria, potendosi adottare come guida unicamente i sistemi di fratture antecedenti alla emersione, in corrispondenza dei quali si insediano di preferenza i fenomeni carsici.

I criteri di ricerca di nuovi giacimenti carsici in zone nuove sono alquanto labili e nel complesso difficili da applicare, soprattutto perché, come ben sanno gli speleologi, i karst notevolmente sviluppati sono rari. Invece per quello che riguarda la guida nell'ambito della ricerca in miniera, il riconoscere che il giacimento è, o meno, carsico può essere di grandissima utilità.

10. CONCLUSIONI

Gli argomenti in comune tra giacimentologia e fenomeni carsici sono numerosi; in questa sede ho cercato di mettere in luce alcuni di tali aspetti, ma altri ancora potrebbero essere trattati.

Primo fra tutti la circolazione di acque nelle miniere nelle rocce carbonatiche. Noto è l'esempio dell'Iglesiente ove nei calcari cambriaci si ha una imponente venuta d'acqua, in parte proveniente dal mare, che condiziona la coltivazione delle nostre più importanti miniere di Pb e Zn. Altri casi noti sono quelli della circolazione di acque nei marmi cristallini di Lasa (Bolzano) e nelle Apuane.

Nel Trentino le decine di migliaia di pozzi minerari sull'altipiano del Monte Calisio, in gran parte franati, hanno conferito al paesaggio un aspetto tipicamente carsico, a doline. Le acque superficiali sono assorbite nel sottosuolo nel dedalo di gallerie, per la massima parte ancora aperte.

Voglio ribadire che la teoria dei giacimenti carsici (fatta esclusione per quelli di bauxite) è recentissima. Ancora nel 1953 LLOPIS-LLADO ebbe ad affermare che le conoscenze di karst olofossili erano in effetti teoriche, non conoscendosene esempi.

Molto cammino ci resta da compiere; ritengo tuttavia definitivamente sfatato il luogo comune della poca utilità pratica e scientifica della speleologia.

Uno spunto che mi preme di mettere in chiaro è quello della utilità

di una interconnessione delle due discipline che studiano i giacimenti ed il carsismo. Solo in una miniera infatti lo speleologo potrà vedere un carsismo olfossile completo, mentre molti giacimentologi farebbero bene a studiare il carsismo per rendersi conto dei processi secondo i quali si ha la formazione dei depositi. Nei tagli delle cave è spesso possibile studiare carsismi embrionali e microkarst.

Ancora più proficuo potrà essere l'esame delle modalità di rimobilizzazione e diagenesi dei minerali per i quali molti aspetti rimangono da chiarire, sia in speleologia che in giacimentologia: certe strutture e tessiture offrono analogie sorprendenti e vengono tuttavia spiegate ed interpretate in modo totalmente diverso nelle grotte e nei giacimenti.

Un più stretto legame interdisciplinare tra studi geologici e studi giacimentologici potrà pertanto apportare utili conoscenze alle sue discipline.

BIBLIOGRAFIA

- ABELSON P. H., 1959 - *Researches in Geochemistry*. 511 pp., ill., J. Wiley & Sons, London.
- AMSTUTZ G. C., 1971 - *Observational Criteria for the Classification of Mississippi Valley-Bleiberg-Slesia Type Deposits*. 2nd Inter. Symp. Mineral Deposits of the Alps (Bled, 4-8 oct. 1971), prestampe, pp. 1-6, Ljubljana.
- ANELLI F., 1958 - *Le cavità di riempimento bauxitico di Spinazzola (Bari). Forme paleocarsiche bicicliche nelle Murge Nord-occidentali*. Atti XII Congr. Intern. Speleolog. (Bari-Lecce-Salerno 1958), vol. 1, sez. 1, pp. 201-215, figg. 2, Putignano.
- BARNES H. L., 1967 - *Sphalerite solubility in ore solution of the Illinois-Wisconsin district*. In: *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits*, Econ. Geol. Monogr., 3, pp. 326-332, 1 fig., Lancaster.
- BARNES H. L. Ed., 1967 - *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, XVI+670 pp., ill., Holt Rinehart and Winston Inc., New York.
- BASTIN E. S., 1960 - *Interpretation of ore textures*. Geol. Soc. of America, Mem. 45, 101 pp., ill., reprint, New York.
- BECK R., 1909 - *Lehre von Erzlagerstätten*. 2 voll., XI+540 e X+542 pp., figg. 318, 1 tav., Borntraeger, Berlin.
- BENZ J. P., 1965 - *Nouvelles observations sur le gisement d'Arenas*. Atti Symp. Problemi Geominerari Sardi, pp. 231-242, figg. 2, Cagliari.
- BERNARD A., 1972 - *Le karst et les métallisations sulfurées*. Conference et Seminaires de Recyclage, Metallogenie, 5-9 Juin 1972, Nancy, pp. 1-54, figg. 23.
- BOSELLINI A., CARRARO F., CORSI M., DE VECCHI G. P., GATTO G. O., MALARODA R., STURANI C., UNGARO S. & ZANETTIN B., 1967 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 49 - Verona*. Min. Ind. Comm. Art., Dir. Gen. Miniere, Serv. Geol. d'Italia, 61 pp., 2 tavv., Roma.

- BRETZ J. H., 1954 - *Caves of Phreatic Origin*. Scientia, a. 48, vol. 89, ser. VI, fasc. 1, pp. 13-18, 1 fig., Milano.
- BRIGO L., 1969 - *Sulla visita di studio ai giacimenti cupriferi di Bor e Majdanpek ed al giacimento piombo-zincifero di Trepča in Jugoslavia*. Boll. Ass. Mineraria Subalpina, a. VI, n. 4, pp. 776-782, Torino.
- BRIGO L. & DI COLBERTALDO D., 1971 - *Un nuovo orizzonte metallifero nel Paleozoico delle Alpi Orientali*. 2nd Intern. Symp. Mineral Deposits of the Alps (Bled, 4-8 Oct. 1971), pp. 9-16, prestampate, Ljubljana.
- BRÖST D. A., 1958 - *Barite Resources of the United States*. Geol. Survey Bull., 1072-B, pp. 67-130, 1 tav., Washington.
- BROWN J. S. Ed., 1967 - *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Fluorite deposits (Mississippi Valley type deposits)*. A symposium. Econ. Geol. Monogr., 3, X+443 pp., ill., Lancaster.
- BRUSCA C. & DESSAU G., 1968 - *I giacimenti piombo-zinciferi di S. Giovanni (Iglesias) nel quadro della geologia del Cambrico sardo*. L'Industria Mineraria, Serie II, a. 19, n. 9, pp. 470-494; n. 10, pp. 553-556; n. 11, pp. 597-609, 19 figg., 1 Carta geol. 1:10.000, Roma.
- BRUSCA C., PRETTI S. & TAMBURRINI D., 1967 - *Le mineralizzazioni delle coperture di M.te Sa Bagattu (Iglesiente - Sardegna)*. Rend. Ass. Min. Sarda, a. 72, n. 7, pp. 89-106, figg. 13, Cagliari.
- CADROBBI M., 1961 - *Guida Geologica del Basso Sarca, Arco Riva e dintorni*. 72^a Pubbl. Soc. Museo Civico di Rovereto, pp. 1-131, figg. 10, tavv. 11, Rovereto.
- CALLAHAN W. H., 1965 - *Paleophysiological premises for prospecting for stratabound base metal mineral deposits in carbonate rocks*. Symp. mining Geol. base Metals (Ankara sept. 1964), CENCO Treaty Organiz., pp. 191-248, figg. 32, Ankara.
- CALLAHAN W. H., 1967 - *Some spatial and temporal aspects of the localization of Mississippi Valley-Appalachian ore deposits*. In: *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits*, Econ. Geol. Monogr. 3, pp. 14-19, 1 figg., Lancaster.
- CASTELLARIN A., 1972 - *Evoluzione paleotettonica sinsedimentaria del limite tra «Piattaforma veneta» e «Bacino lombardo» a Nord di Riva del Garda*. Giorn. Geol., ser. II, vol. 38, fasc. I, pp. 11-212, figg. 12, tavv. 20, Bologna.
- CAVILLE A., 1963 - *L'age des grottes du Quercy*. Third International Congress of Speleology, b. II, sek. 1, pp. 153-165, figg. 3, Wien.
- CAVINATO A., 1947 - *Geologia e genesi delle bauxiti*. Mem. Istituto Geol. Univ. Padova, vol. IV, pp. 1-50, figg. 12, Padova.
- CAVINATO A., 1953 - *Il deposito di bauxite di S. Giovanni Rotondo*. L'Industria Mineraria, a. IV, n. 11, pp. 497-503, Roma.
- CAVINATO A., 1964 - *Giacimenti minerali*. pp. XXII+686, 108 figg., UTET, Torino.
- COCCO G. & PECORINI G., 1959 - *Osservazioni sulle bauxiti della Nurra (Sardegna nord-occidentale)*. Acc. Lincei, Mem. Sc. fis., mat., s. 8, vol. V, sez. II, n. 7, pp. 175-213, figg. 20, Roma.
- COMEL A., 1943 - *Appunti sulle terre rosse dell'Albania*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. LXI, fasc. 3, pp. 400-404, Roma.
- COTECCHIA V. & DELL'ANNA L., 1959 - *Contributo alla conoscenza delle bauxiti e terre rosse del Salento*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Univ. Napoli, vol. VII, pp. 1-20, figg. 12, tav. 1, Napoli, 1960.
- CREMA C., 1932 - *I giacimenti di bauxite della Puglia*. Relaz. Servizio Min. nell'anno

- 1930, Min. Corporaz., Dir. Gen. Miniere, a. XLI, n. 55, pp. CCCXXI-CCCXXIV, fig. 1, tavv. 2, Roma.
- CRAWFORD J. & HOAGLAND A. D., 1968 - *The Mascot-Jefferson City Zinc District, Tennessee*. In: RIDGE J. D., *Ore Deposits of the United States*, vol. 1, pp. 242-256, figg. 6, New York.
- CRESCENTI U. & VIGHI L., 1964 - *Caratteristiche, genesi e stratigrafia dei depositi bauxitici cretacei del Gargano e delle Murge; cenni sulle argille con pisoliti bauxitiche del Salento (Puglie)*. Boll. Soc. Geol. Ital., vol. 83, n. 1, pp. 285-338, figg. 2, tavv. 11, Roma.
- CRESCENTI U. & VIGHI L., 1970 - *Risultati delle ricerche eseguite sulle formazioni bauxitiche cretacee del Casertano e del Matese, in Campania*. Mem. Soc. Geol. Ital., vol. 9, pp. 401-434, figg. 8, tavv. 7, Roma.
- CROS P. & LAGNY Ph., 1969 - *Paléokarst dans le Trias moyen et supérieur des Dolomites et des Alpes Carniques occidentales. Importance stratigraphique et paléogéographique*. Science de la Terre, t. XIV, n. 2, pp. 139-195, fig. 20, tav. 3, Nancy.
- D'AMBROSI C., 1943 - *Intorno alla genesi del saldame, della bauxite e di alcuni minerali di ferro nel Cretaceo dell'Istria*. Boll. Soc. Geol., Ital., a. LXI, fasc. 3, pp. 411-431, tav. 1, Roma.
- D'AMBROSI C., 1954 - *Nuovi ragguagli in merito alla stratigrafia del Cretaceo istriano, con particolare riguardo all'età, genesi e giacitura delle bauxiti di Orsera, in risposta al De Weisse*. Boll. Soc. Adriatica Sci. Nat., vol. XLVII, pp. 82-98, Trieste.
- DEAL D. E., 1968 - *Origin and secondary mineralization of caves in the Black Hills of South Dakota, U.S.A.* Proceed. 4th Int. Congr. Speleology, vol. III, pp. 67-70, tavv. 2, Ljubljana.
- DE LAUNAY L., 1913 - *Gîtes Minéraux et Metallifères*. 3 voll., 838, 801, 934 pp., 557 figg., Béranger, Paris.
- DELL'ANNA L., 1966 - *Ricerche su alcune terre rosse della regione pugliese*. Ist. Mineral. e Petrogr., Univ. Bari, pp. 1-62, Bari.
- DERRY D. R., 1969 - *Supergene remobilization at the Tynagh Mine, Ireland, of Northgate Exploration*. Remobilization of Ores and Minerals, pp. 205-209, Cagliari.
- DÉVIGNE J. P., 1968 - *Une bactérie saturnophile, Sarcina flava BARY 1887*. Archives de l'Institut Pasteur de Tunis, a. 45, pp. 341-358, Tunis.
- DI COLBERTALDO D., 1967 - *Giacimenti minerali*. Vol. 1, 383 pp., 231 figg., CEDAM, Padova.
- DI COLBERTALDO D., 1972 - *Il 2° Simposio Internazionale sui giacimenti delle Alpi svoltosi a Bled (Jugoslavia) dal 4 all'8 ottobre 1971*. Geologia Tecnica, a. 19, n. 2, pp. 55-60, figg. 2, Roma.
- DI COLBERTALDO D. & FERUGLIO Gb., 1963 - *I minerali tubolari di Raibl*. Atti Soc. It. Sci. Nat. e Museo Civico St. Nat. Milano, vol. 102, fasc. 1, pp. 53-73, figg. 3, tavv. 2, Milano.
- DI COLBERTALDO D. & FRANCESCHETTI G., 1960 - *Il giacimento piombo-zincifero di Salafossa nelle Alpi Orientali Italiane*. XX Congr. Geol. Int., part. 16, pp. 126-137, figg. 7, Copenhagen.
- DOROKHINE I., BOGATCHEVA E., DROUGININE A., SOBOLEVSKY V. & GORBUNOV E.,

- 1967 - *Gisements de minéraux utiles et leur prospection*. 410 pp., ill., Éditions « École Supérieure », Moscou.
- EMBERGER A., 1969 - *Problème des remobilisations dans les gîtes de plomb et zinc*. Remobilization of Ores and Minerals, Ass. Min. Sarda, pp. 37-57, figg. 10, Cagliari.
- ESPOURTEILLE F., FOGlierINI F. & LAGNY Ph., 1966 - *Le gisement plomb-zincifère de Salafossa (Alpes Carniques Occidentales - Italie): une brèche sédimentaire minéralisée sur le talus d'un récif triasique*. Atti Symp. Int. Giac. Min. Alpi, Trento-Mendola 11-18 sett. 1966, pp. 83-95, figg. 5, Trento, 1968.
- FERUGLIO Gb., 1969 - *Blenda stalattitica nel giacimento dell'Argentiera (Auronzo)*. Museo Friulano Storia Nat., pubbl. n. 13, pp. 3-28, tavv. 5, Udine.
- FOGLIERINI F. & BERNARD A., 1967 - *L'histoire géologique d'un gisement stratiforme plombo-zincifère: Les Malines*. In: *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits*. Econ. Geol. Monogr. 3, pp. 294-307, figg. 6, Lancaster.
- FORD T. D. & SARJEANT W. A. S., 1964 - *The « Stalactitic » Barytes of Derbyshire*. Proc. Yorkshire Geol. Soc., vol. 34, part. 4, n. 19, pp. 371-386, tavv. 2.
- FORTI F., 1971 - *Segnalazione del ritrovamento della « Breccia bianco-rosea » nella zona tra Sistiana e Duino (Carso triestino)*. Atti e Mem. della Commis. Grotte « E. Boegan », vol. X, pp. 45-61, figg. 3, Trieste.
- FUCHS Y., 1969 - *Quelques exemples de remobilisations dans le domaine épicon-tinental (Sud Massif Central)*. Remobilization of Ores and Minerals, pp. 161-183, figg. 3, Cagliari.
- FUCHS E. & DE LAUNAY L., 1893 - *Traité des Gîtes minéraux et métallifères*. 2 voll., pp. CXII-1004, ill., Béranger, Paris et Liège.
- GÈZE B., 1938 - *Contribution a la connaissance des phosphorites du Quercy*. Bull. Soc. Geol. France, VIII, pp. 122-246, figg. 4, Paris.
- GÖBL W., 1903 - *Geologisch - Bergmännische Karten mit Profilen von Raibl nebst Bildern von den Blei - und Zink-Lagerstätten in Raibl*. K.K. Ackerbauministerium, 39 pp., 75 tavv., Wien.
- HALL W. E. & FRIEDMAN I., 1963 - *Composition of fluid inclusions, Cave-in-Rock fluorite district, Illinois, and upper Mississippi Valley zinc-lead district*. Econ. Geol., a. 58, pp. 886-911, Lancaster.
- HELGESON H. C., 1964 - *Complexing and Hydrothermal Ore Deposition*. XIV+128 pp., 48 figg., Pergamon Press, Oxford.
- HEYL A. V., 1968 - *The Upper Mississippi Valley Base-Metal District*. In: RIDGE J. D., *Ore Deposits of the United States*. Vol. 1, pp. 431-459, figg. 14, New York.
- HUVELIN P., 1966 - *Karst minéralisés en barytine au Jebel Irhoud (Jebilet, Maroc)*. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 263, sér. D, pp. 328-331, Paris.
- JACQUIN J. P., 1970 - *Contribution a l'étude géologique et minière de la Sierra de Gador (Almería, Espagne)*. Tome II - *Géologie minière*. Fac. des Sci. Nantes, pp. 309-501, ill., Nantes.
- KOVAČINA S., KOČOVIC S. & RADONJIC R., 1967 - *Trepča*. 24 pp., ill., Zagreb.
- LAGNY Ph., 1967 - *Sur quelques aspects sédimentologiques et lithologiques d'une émerision récifale*. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 265, Sér. D., pp. 858-861, Paris.
- LAGNY M. Ph., 1968 - *Emerisions successives et instabilité tectonique au Trias moyen dans la région de Sappada (province de Belluno, Italie)*. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 267, pp. 1918-1920, Paris.

- LAGNY M. Ph., 1969 - *Minéralisation plombo-zincifère triasique dans un paléokarst (gisement de Salafossa, province de Belluno, Italie)*. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 286, Ser. D, pp. 1178-1181, Paris.
- LELEU M., 1966 - *Le karst et ses incidentes métallogéniques*. Sci. Terre, vol. 11, n. 4, pp. 385-413, fig. 8, Nancy.
- LELEU M., 1969 - *Essai d'interprétation thermodynamique en métallogénie: les minéralisations karstiques du Laurium (Grèce)*. Bull. B.R.G.M., sér II, sec. II, n. 4, pp. 1-62, figg. 44, tavv. 4, Paris.
- LELEU M. & MORIKIS A., 1967 - *Sur des sulfures de basse température aux mines du Larium (Attique)*. Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., vol. XC, pp. 241-245, fig. 6, Paris.
- LINDGREEN W., 1933 - *Mineral Deposits*. XVII+930 pp., Mc GRAW-HILL BOOK Co., New York-London.
- LLOPIS-LLADO N., 1953 - *Karst holofofosile et mérofofosile*. I^{er} Congr. Int. Spéléologie, tome II, pp. 41-50, figg. 5, Paris.
- LUZAC F., 1965 - *Il giacimento piombo-zincifero di S. Giovanni (Iglesias, provincia di Cagliari - Italia)*. Atti Symp. Problemi Geominerari Sardi, pp. 155-172, figg. 18, Cagliari.
- MAGGIORE L., 1938 - *Il Matese metallifero*. L'Ind. Min. d'Italia e d'Oltremare, n. 7, p. 235-246, figg. 8, Roma.
- MAGGIORE L., 1941 - *Relazione sul Servizio Minerario e statistica delle industrie estrattive in Italia nell'anno 1938. Distretto Minerario di Napoli*. Min. Corporazioni, Dir. Gen. Miniere, a. XLIV, n. 64, pp. 779-828, Roma.
- MAGGIORE L., 1945 - *Relazione sul Servizio Minerario e statistica delle industrie estrattive in Italia nell'anno 1940. Distretto Minerario di Napoli*. Min. Corp., Dir. Gen. Miniere, a. LI, n. 66, pp. 777-844, Roma.
- MARCELLO A., 1969 - *Déposition supergénique de galène: les exemples de la Sardaigne*. Remobilization of Ores and Minerals, pp. 293-303, fig. 9, Cagliari.
- MENEGANTI S., 1960 - *La meccanizzazione dell'estrazione della bauxite in sottterraneo nell'Italia Meridionale*. Centenario del Corpo delle Miniere, pp. 133-138, figg. 6, Roma.
- MOSCHETTI A., 1929 - *I giacimenti di bauxite in Italia e l'industria dell'alluminio*. Relaz. Servizio Min. nel 1927, Min. Econ. Naz., a. 38, n. 49, pp. CCXLIX-CCLX, fig. 1, tavv. 2, Roma.
- NEWHOUSE W. H. Ed., 1969 - *Ore Deposits as Related to Structural Features*. 280 pp., ill., Hafner Publ. Co., New York.
- NICCOLINI P., 1970 - *Gîtologie des concentrations minérales stratiformes*. XLI+792 pp., 41 tavv., 234 figg., Gauthier-Villars, Paris.
- NICOLAS J., 1968 - *Nouvelles données sur la genèse des bauxites à mur Karstique du sud-est de la France*. Mineral. Deposita, a. 3, pp. 18-33, figg. 11, Berlin.
- OMENETTO P., 1970 - *Revisione dei metodi di studio dei giacimenti stratiformi a Pb-Zn (con esempi delle Alpi orientali e del Marocco)*. Boll. Ass. Miner. Subalpina, a. 7, n. 1-2, pp. 101-129, fig. 1, Torino.
- PADALINO G., PRETTI S., TAMBURRINI D., TOCCO S., URAS I., VIOLO M. & ZUFFARDI P., 1972 - *Carsismi e mineralizzazioni*. Rend. Soc. It. Mineral. Petr., vol. 28, n. 5, pp. 215-230, figg. 7, Pavia.
- PADALINO G., PRETTI S., TOCCO S. & VIOLO M., 1971 - *Some Examples of Lead-*

- Zinc-Barite-Depositions in Karstic Environment*. 2nd Int. Symp. Miner. Deposits of the Alps (Bled, 4-8 Oct. 1971), pp. 109-113, (preprint).
- PADALINO G., TOCCO S. & VIOLÒ M., 1969 - *Studi sulla mobilitazione dei metalli. Nota II. Fenomenologie di dilavamento e concentrazione del Pb e Zn in ambiente marino e carsico*. Res. Associaz. Miner. Sarda, a. 75, nn. 1-2-3, pp. 1-22, Cagliari.
- PECORINI G., 1965 - *Stratigrafia e distribuzione delle bauxiti nella Nurra (Sardegna Nord-Occidentale)*. Atti Symp. Problemi Geominerari Sardi, pp. 417-431, figg. 11, Cagliari.
- PELISSONIER H., 1967 - *Analyse paléohydrogéologique des gisements stratiformes de plomb, zinc, baryte, fluorite du type «Mississippi Valley»*. In: *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits*. Econ. Geol. Monogr. 3, pp. 234-252, figg. 11, Lancaster.
- PERNA G., 1961 - *Concrezioni in cavità artificiali*. Symposium Int. Speleolog., Varenna, 1960, Rassegna Speleolog. It., Mem. V, Tomo II, pp. 225-234, figg. 6, Como.
- PERNA G., 1970 - *Relazione sulla visita alle miniere della Sierra de Cartagena, del Marquesado e di Almadén in occasione del VI Congresso minerario internazionale di Madrid - Giugno 1970*. Boll. Ass. Miner. Subalpina, a. 7, n. 3, pp. 496-510, figg. 7, Torino.
- PERNA G., 1972 - *Il II Symposium Internazionale sui Giacimenti Minerari delle Alpi, Bled, 4-8 ottobre 1971*. La Ricerca Scient., Roma (in stampa).
- POŠEPNÝ F., 1873 - *Die sogenannten Röhrenzerze von Raibl*. Verh. k.k. Geol. Reichsanst., 1873, n. 5, pp. 84-87, Wien.
- PRETTI S. & TAMBURRINI D., 1967 - *Le mineralizzazioni di Monte Arcu Sa Gruxi (Sulcis Settentrionale - Sardegna)*. Res. Ass. Min. Sarda, a. 72, n. 6, pp. 98-140, figg. 35, Cagliari.
- RIBACCHI R., 1965 - *Notizie e considerazioni su alcune miniere della Jugoslavia (Dakovica, Trepča, Obelac, Nikšić)*. L'Industria Mineraria, a. XVI, n. 2, pp. 71-82, figg. 11, Roma.
- RIDGE J. D. Ed. 1968 - *Ore Deposits in the United States, 1933-1967*. 2. voll., 1880 pp., ill., AIME, New York.
- RIOS J. M., 1970 - *Yacimientos y criaderos de fosfatos y sus genesis*. Ist. Nacional de Industria, ill., Madrid.
- ROEDDER E., 1967 - *Environment of deposition of stratiform (Mississippi Valley type) ore deposits, from studies of fluid inclusions*. In: *Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits*. Econ. Geol. Monogr. 3, pp. 349-362, fig. 1, Lancaster.
- ROUTHIER P., 1963 - *Les gisements métallifères*. 2 voll., 1282 pp., 411 figg., 51 tavv., Masson, Paris.
- ROUVIER H., 1971 - *Minéralisations plombo-zincifères*et phénomène karstique. Exemple tunisien: Le gisement du Djebel Hallouf*. Mineral. Deposita, a. 6, n. 3, pp. 196-208, figg. 9, Berlin.
- ROUVIER H., 1972 - *Discussion. Les stalactites de galène et de jordanite du gisement du Djebel Hallouf (Tunisie)*. Response. Mineral. Deposita, a. 7, n. 2, pp. 228-229, Berlin.
- SAWKINS F. J., 1964 - *Lead-zinc ore deposition in the light of fluid inclusions*

- studies, Providencia Mine, Zacateca, Mexico. Econ. Geol.*, a. 59, n. 5, pp. 883-919, figg. 16, Lancaster.
- SUPERCHI M., 1970 - *Su alcune stalattiti di Galena e Jordanite del Djebel Hollauf (Tunisia). Rend. Acc. Sci. Lett. dell'Istituto Lombardo, Cl.A.*, vol. 104, pp. 71-90, figg. 5, tavv. 2, Milano.
- SUPERCHI M., 1972 - *Discussion. Les stalactites de galène et de jordanite du gisement du Djebel Hallouf (Tunisie). Mineral. Deposita*, a. 7, n. 2, pp. 227-228, Berlin.
- TAMBURRINI D., 1966 - *Un esempio di deposizione supergenica di baritina. Periodico Mineral.*, a. 35, n. 2, pp. 403-418, figg. 4, tavv. 6, Roma.
- TAMBURRINI D., 1968 - *I giacimenti baritici sardi: caratteri geo-giacimentologici e minerari. Ass. Miner. Sarda, Symposium sulle bariti della Sardegna*, pp. 17-30, figg. 3, Cagliari.
- TAMBURRINI D. & URAS I., 1967 - *Le mineralizzazioni a barite e fluorite della zona di Monte Ega (Sulcis - Sardegna S-W). Res. Ass. Min. Sarda*, a. 57, n. 7, pp. 21-54, figg. 23, Cagliari.
- TAMBURRINI D. & VIOLO M., 1965 - *Un esempio di deposizione supergenica di galena. Res. Ass. Min. Sarda*, vol. 70, n. 5, pp. 24-36, Cagliari.
- TAMBURRINI D. & VIOLO M., 1965 - *Il giacimento di baritina di Monte Barega - Monte Arcau (Iglesiente - Sardegna). La Ricerca Scientifica*, a. 35, serie 2, parte II-A, vol. 8, n. 4, pp. 814-848, figg. 32, tavv. 2, Roma.
- TAMBURRINI D. & ZUFFARDI P., 1969 - *Field evidences of supergene remobilization of Barium (and possibly of Barite) in Sardinia. Remobilization of Ores and Minerals, Ass. Min. Sarda*, pp. 305-314, fig. 4, Cagliari.
- TRENER G. B., 1908 - *Die Baritvorkommnisse von M.te Calisio bei Trient und Darzo in Judikarien und die Genesis des Schwerspates. Jahrb. k.k. Geol. Reich.*, vol. 58, n. 3, pp. 387-468, figg. 14, Wien.
- URAS I., 1957 - *Su una cerussite stalattitica della Mimiera di Arenas. Res. Ass. Miner. Sarda*, a. 41, n. 5-6, pp. 5-12, tavv. 4, Iglesias.
- VALERA R., 1967 - *I ciottoli di galena di Campi Elisi (Iglesias, Sardegna Sud-Occidentale). Res. Ass. Min. Sarda*, a. 72, n. 7, pp. 3-20, figg. 10, Cagliari.
- VALETON I., 1966 - *Sur la genèse des gisements de bauxite du Sud-Est de la France. Bull. Soc. Geol. de France*, (5), vol. 8, pp. 685-701, figg. 4, Paris.
- VARDABASSO S., 1955 - *Sardegna speleologica. Rass. Speleol. It.*, a. 7, n. 3, pp. 117-135, figg. 21, Como.
- VARDABASSO S., 1957 - *Il carsismo nella fascia costiera della Sardegna. Atti XVII Congr. Geogr. It.*, vol. II, pp. 124-136, figg. 1, Bari.
- VIOLO M., 1965 - *Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni nel Cambrico Sardo: la zona di M.te Onixeddu - Uda. Atti Symp. Problemi Geom. Sardi*, pp. 190-227, figg. 48, Cagliari.
- VIOLO M., 1966 - *I giacimenti piombo-zinciferi di Ain Nouba e Dyebel Hamra (Tunisia). Notizie geogiacimentologiche. Res. Ass. Miner. Sarda*, a. 71, n. 8, pp. 51-89, figg. 21, Cagliari.
- WARWICK G. T., 1968 - *Some Primitive Features in British Caves. Act. IV^e Congr. Intern. Spéleol. t. III*, pp. 239-252, figg. 4, Ljubljana.
- WHITE D. E., 1967 - *Outline of thermal and mineral waters as related to origin of Mississippi Valley ore deposits. In: Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barite-Fluorite deposits. Econ. Geol. Monogr. 3*, pp. 379-382, Lancaster.

- ZUFFARDI P., 1953 - *Alcune caratteristiche dei giacimenti minerari sardi in relazione ai problemi della loro coltivazione e della meccanizzazione del lavoro*. Atti Convegno Studi Industrializz. Sardegna, Ass. Naz. Ing. Arch., vol. II, pp. 177-216, figg. 22, Roma.
- ZUFFARDI P., 1962 - *Fenomeni di ricircolazione nel giacimento di Montevecchio e la evoluzione in profondità della sua mineralizzazione*. Res. Ass. Min. Sarda, a. 56, nn. 1-2, pp. 17-73, figg. 11+36 f.t., Cagliari.
- ZUFFARDI P., 1969 - *Remobilization in Sardinia Lead-Zinc deposits*. Remobilization of Ores and Minerals. Ass. Min. Sarda, pp. 283-291, fig. 2, Cagliari.

TAVOLA I

Spiegazione della Tavola I

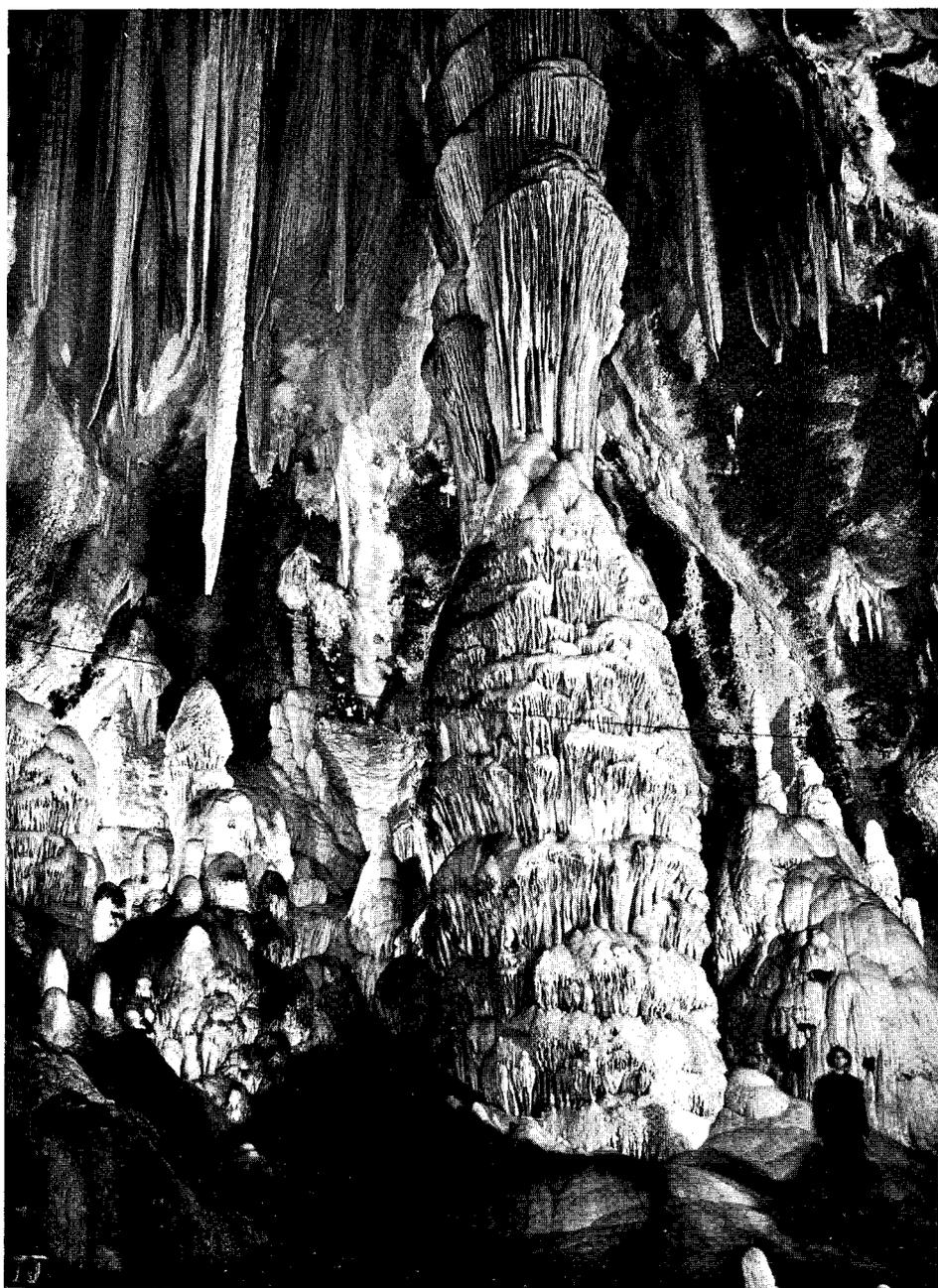
Grotta S. Barbara nella miniera di S. Giovanni (Iglesias). In primo piano a sinistra: lamelle marron di barite, talvolta ricoperte di calcite. (Per cortesia della Soc. Piombo-Zincifera Sarda).



TAVOLA II

Spiegazione della Tavola II

Grotta S. Barbara nella miniera di S. Giovanni (Iglesias). Altra veduta, con le imponenti concrezioni calcitiche. (Per cortesia della Soc. Piombo-Zincifera Sarda).



DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

G. PERNA

CIGNA. Ringrazio l'amico PERNA per la sua relazione. Direi che ha messo in risalto un aspetto abbastanza insolito, perché sinceramente devo dire che sono andato in grotta molte volte e non avevo pensato a questa connessione con i giacimenti minerari. Credo che questo sarà successo anche a molti di voi. Probabilmente è legato un po' al concetto di grotta, che l'amico CAPPA in questi giorni cerca di definire per ragioni catastali. Noi parliamo di grotta quando si ha una cavità praticabile dall'uomo, ecco la ragione che mette un po' in contrasto il concetto di grotta dello speleologo con il concetto di grotta esposto dall'amico PERNA. E' chiaro che da un punto di vista speleogenetico il fatto che lo speleologo, l'uomo, possa entrare o no importa assolutamente niente. Si ha una grotta anche quando la cavità è virtuale, non esiste più, essendo riempita con qualcos'altro. Naturalmente noi siamo condizionati anche da quello che vediamo, per noi la grotta è invece qualcosa dove possiamo entrare e in genere dove possiamo entrare non ci sono i giacimenti. Comunque penso che da un punto di vista sia speleogenetico, sia di tutti i problemi connessi con questo tipo di ricerche, i concetti esposti dal prof. PERNA sono fondamentali. Vorrei aprire adesso la discussione.

FASQUINI. Vorrei chiedere al prof. PERNA che venisse chiarita meglio la distinzione tra giacimento carsico vero e proprio e giacimento in *karst*. Ho notato inoltre che, nelle relazioni presentate a questo seminario sulla speleogenesi, non si parla di speleogenesi ad opera di azioni che non siano quelle classiche del carsismo, quali appunto le acque termali e mineralizzate, cioè dove siano in gioco agenti diversi dal normale CO₂ delle acque. A questo proposito vorrei citare che ho avuto occasione di osservare recentemente nella parte inferiore della Grotta del Fiume nelle Marche la presenza di acque solforose, che certamente hanno agito in una maniera particolare nella formazione della parte bassa della cavità. E' un fenomeno questo che merita di essere approfondito.

BOEGLI. Vorrei sapere se i giacimenti carsici di cui ci ha parlato il Prof. PERNA sono, in gran parte, dei giacimenti metasomatici. In caso affermativo si tratta solamente di giacimenti nel carso, non di « giacimenti carsici ».

CAPPA. Vorrei chiedere a PERNA a proposito della sua esposizione se sono state fatte osservazioni sulle formazioni speleogenetiche ed evolutive delle cavità successivamente riempite con giacimenti mineralizzati e se queste forme evolutive, che evidentemente si riferiscono a periodi molto anteriori a quello in cui viviamo, sono analoghe o presentano delle differenze rispetto alle forme evolutive che studiamo nelle grotte classiche dove andiamo noi speleologi.

ANELLI. L'amico PERNA ha ricordato il giacimento di Raibl, dove ho trascorso tre anni e mezzo come geologo di miniera. Ricordo le grandi caverne, che io tuttavia non ho mai visto, e di cui parlavano i vecchi minatori. Quindi sono d'accordo con PERNA, queste caverne ci sono.

In un inquadramento del fenomeno carsico esse potrebbero entrare forse tra le grotte pseudocarsiche, se sono prodotte da acque mineralizzate termali calde, assieme a quella famosa che c'è nell'Iglesiente, la Grotta di S. Barbara.

Sono d'accordo poi di includere le cave di bauxite di Spinazzola, che io ho studiato nel 1958, tra i fenomeni carsici, essendo in effetti niente altro che dei grandi « puli » riempiti.

Devo infine ricordare un problema che mi si è posto a Castellana: nella penultima grotta abbiamo delle concrezioni stalagmitiche sfioracchiate. Le gocce d'acqua che in un primo tempo hanno costruito le concrezioni, ora tendono a distruggerle. Io nella mia guida sulle grotte ho spiegato il fenomeno in questo modo: le acque che penetravano dall'esterno scioglievano il calcare nelle fratture attraverso cui passavano, deponendolo nel contempo nella grotta. Quando le fratture si sono allargate, le acque non si saturavano più, così da esercitare una azione aggressiva nelle stalagmiti.

BERTOLANI. Volevo segnalare all'ing. PERNA che un fenomeno abbastanza semplice ed elementare di giacimento legato al carsismo si riscontra nelle miniere di cinabro di Abbadia San Salvatore. C'è il cinabro in giacitura primaria, ma c'è anche il cinabro in giacitura secondaria, che si è accumulato nei cunicoli, in certe tasche che sono legate a un carsismo molto recente, dove vi è una sabbia cinabriferà che per il suo peso specifico si è trattenuta entro questi condotti carsici che si riscontrano nei calcari nummulitici nella miniera di Abbadia San Salvatore.

Vorrei aggiungere un'altra cosa: non vorrei si pensasse che tutte le masse mineralizzate nei calcari si possono riportare a delle caverne riempite. Ossia, sappiamo che effettivamente le mineralizzazioni seguono sempre delle fessurazioni, abbiamo prima una fase tettonica, poi una fase mineralizzante, almeno quando si tratta di riempimento. Ma in certo qual modo, se c'è una certa fessura e abbiamo una fratturazione dei calcari, se abbiamo una soluzione mineralizzante, questa salirà da questa fessura nelle zone fratturate. Abbiamo così una forma che può sembrare quella di un cavernone riempito, viceversa c'è anche un'azione metasomatica che ha allargato queste fratture, c'è una sostituzione. Non vorrei che si facesse di ogni erba un fascio perché è una teoria molto interessante che spiega molte cose, ma c'è sempre il rischio di generalizzare; specialmente quando un'idea è nuova e moderna, fa sempre piacere applicarla a tutto quello che si vede. E' una precisazione che volevo fare, ma che forse era inutile.

PASINI. Vorrei richiamare l'attenzione dei colleghi sul fenomeno osservato dal Prof. PERNA alle Grotte di Castellana, ma che ho potuto verificare personalmente in molte altre grotte: la presenza cioè di concrezioni alabastrine mostranti diversi tipi di struttura interna. Per intenderci potremmo chiamare:

zonato-concentriche le concrezioni formate da sottilissime lamine parallele, che al microscopio risultano costituite ciascuna da cristallini di calcite allungati perpendicolarmente alle superfici delle lamine. Queste lamine cristalline sono spesso separate da bande criptocristalline o amorfe molto più sottili; di regola non c'è continuità tra i cristalli di una lamina e quelli delle contigue;

fibroso-raggiate le concrezioni costituite da cristalli allungati di calcite, generalmente visibili ad occhio nudo e talora lunghi alcuni cm, che partono dall'asse (nel caso di stalattiti o stalagmiti), dal centro (nel caso di pisoliti) o dal substrato (nel caso di crostoni stalagmitici) e proseguono ininterrotti fino alla superficie esterna della concrezione. Nelle concrezioni fibroso-raggiate si osservano molto spesso bande colorate che simulano una struttura zonato-concentrica, ma che in realtà interrompono solo di rado la continuità cristallina;

macrocrystalline romboedriche le concrezioni costituite da cristalli romboedrici di calcite con spigoli dell'ordine di grandezza del centimetro, parzialmente compe-

netrati tra loro. Si hanno anche concrezioni formate da un unico cristallo di calcite, spesso di eccezionali dimensioni, che si spezzano secondo piani nettissimi. (piani di sfaldatura del cristallo) e possono essere facilmente frammentate in romboedri;

saccaroidi le concrezioni simili alle precedenti, ma formate da cristalli molto più piccoli, con spigoli dell'ordine di grandezza del millimetro.

In diverse concrezioni macrocristalline provenienti dalla Voragine di Piaggia Bella, dalla Voragine del Ferà (entrambe nel gruppo del M. Marguareis, sulle Alpi Marittime), dalla Grotta del Bue Marino, dal Grottone di Biddiriscottai (situati lungo la costa del Golfo di Orosei, in Sardegna), da grotte abruzzesi e pugliesi ho potuto osservare tracce di struttura fibroso-raggiata e tracce di struttura zonato-concentrica all'interno dei cristalli romboedrici. Questo ci indurrebbe a pensare che la struttura macrocristallina romboedrica non sia primaria, ma derivi per ricristallizzazione dalle strutture fibroso-raggiate e zonato-concentriche.

Tale ipotesi sembrerebbe convalidata da altre osservazioni che ho potuto effettuare in grotte della Sardegna e delle Alpi Marittime. Nel ramo fossile della Grotta del Bue Marino, ad esempio, le uniche concrezioni a struttura macrocristallina sono sicuramente anteriori all'interglaciale Riss-Würm, essendo state perforate da Litodomi durante la trasgressione tirreniana, e quindi hanno un'età minima di circa 100.000 anni; le numerose concrezioni post-würmiane di questa grotta presentano invece strutture che possono rientrare in uno degli altri tre tipi sopra descritti. Analogamente, nella Voragine di Piaggia Bella le uniche strutture macrocristalline che ho potuto osservare sono quelle di alcune enormi concrezioni crollate che si rinvergono nella « Grande Salle »; esse sono verosimilmente molto più antiche di altre concrezioni in posto della stessa grotta, che presentano altri tipi di struttura.

Sempre a questo proposito si potrebbe avanzare un'altra ipotesi. Considerando che le concrezioni fibroso-raggiate mostrano molto spesso bande colorate similiti a una struttura zonato-concentrica, si potrebbe pensare che nemmeno la struttura fibroso-raggiata sia primaria, ma derivi a sua volta, per ricristallizzazione, dalla zonato-concentrica. I dati in mio possesso non consentono di suffragare o meno questa ipotesi; in effetti ho riscontrato strutture fibroso-raggiate in concrezioni di età sicuramente anteriore al Riss-Würm, come pure in concrezioni post-würmiane; si può osservare tutt'al più che questa eventuale ricristallizzazione potrebbe richiedere tempi relativamente brevi, e manifestarsi quindi anche in concrezioni oloceniche.

Si tratta comunque soltanto di ipotesi, che potranno essere eventualmente verificate attraverso ricerche più sistematiche e datazioni assolute (cfr. ad es.: FORNACA RINALDI G., 1968, Boll. Geofis. Teor. e Appl., X; NGUYEN HUU V. & LA LOU C., 1969, VIII^e Congr. INQUA, Résumés). Qualora tali ipotesi si rivelassero, almeno in parte, fondate, resterebbe da risolvere il problema delle cause che determinerebbero questi fenomeni di ricristallizzazione.

TRIMMEL. Permettetemi di ritornare sulla questione dei giacimenti di tipo alpino.

Si è detto che una grande parte dei giacimenti di minerali del tipo alpino sono legati a delle formazioni carsiche. Per quanto concerne le Alpi a Nord dell'Austria preferirei dire che essi sono legati, sotto l'una o l'altra forma, alla distribuzione dei calcari. Ma, per quanto riguarda le Alpi dell'Austria, ho l'impressione che non si possa dire nello stesso tempo che essi sono legati a delle formazioni carsiche. Essi sono legati ai calcari, ma il carsismo in questi calcari è una fase di evoluzione successiva, che si verifica molto più tardi della fase di mineralizzazione. Penso per esempio ai giacimenti di piombo paragonabili a quelli di Raibl che noi abbiamo a Bleiberg presso Villach, o a Bleiburg; è una regione calcarea, e ho l'impressione che la mineralizzazione, cioè la formazione di piombo, la formazione dei minerali metalliferi, sia una fase, e che molto più tardi sia cominciato un carsismo al quale vanno riferite le grandi grotte visibili in queste miniere. Ci sono grandi grotte in queste miniere, della stessa grandezza di quelle di Raibl, ma la formazione di queste grotte e i minerali che si trovano in queste

grotte (le stalattiti, le stalagmiti, ecc.) non hanno, a mio avviso, alcuna relazione con la formazione dei minerali metalliferi.

BRANCACCIO. Volevo dare un contributo alla domanda che faceva l'Ing. CAPPA poco fa circa le forme carsiche in cui si trovano i depositi mineralizzati. Per quanto mi consta, nel Matese le bauxiti ad esempio si trovano in una lacuna stratigrafica mesocretacea e in una lacuna stratigrafica paleogenica. C'è da dire che le forme carsiche superficiali in cui sono raccolte le bauxiti sono prevalentemente, in linea generale, piuttosto larghe e poco profonde (diametri dell'ordine di 40-50 m, profondità di qualche metro).

I motivi di questo stato di cose potrebbero essere due. Innanzitutto una tettonizzazione scarsa dell'assise calcarea del Cretaceo inferiore e del Giurassico. Nel Cretaceo medio non si erano ancora verificate le grandi traslazioni che hanno portato la piattaforma carbonatica ad accavallarsi — sono le ipotesi più recenti — sui terreni terziari. Quindi naturalmente il substrato non era sufficientemente tettonizzato per permettere un approfondimento del fenomeno carsico. Naturalmente ci può essere anche una seconda ragione di natura climatica. Non dimentichiamo che i climi mesocretacei dovevano essere piuttosto caldi e certamente non dovevano favorire il progredire rapido del fenomeno carsico.

PERNA. Mi sarà difficile essere conciso nella risposta in quanto mi è stata posta una serie di domande che imporrebbero una lunga esposizione: mi limiterò pertanto ai punti fondamentali.

PASQUINI rileva giustamente l'importanza di distinguere i giacimenti nei quali il fenomeno carsico è anche l'agente che provoca l'arricchimento, da quelli nei quali la morfologia carsica è solamente un luogo di accumulo di minerali provenienti da altri ambienti. In pratica però non è sempre agevole chiarire la provenienza dei metalli che si sono concentrati nei *karst*: a volte tutta la roccia carbonatica è debolmente mineralizzata ed allora con l'erosione carsica si allontanano i carbonati e si ha un arricchimento in posto di minerale utile. Altre volte, come per es. per i giacimenti di Salafossa, la roccia non contiene mineralizzazione e perciò i metalli sono alloctoni e sono qui giunti in forma di soluzioni, in quanto mancano assolutamente i minerali detritici quali il quarzo.

PASQUINI cita poi la Grotta del Fiume, che io studiai assieme all'amico POZZI nel 1959. Indubbiamente l'evoluzione del pozzo terminale è connessa con le acque solfuree e le concrezioni di gesso si formano per azione dei vapori solforosi sul calcare.

Vengo ora all'intervento di BOEGLI. Tutti i giacimenti di piombo e zinco nelle formazioni calcaree e dolomitiche sono stati interpretati come metasomatici, dovuti a soluzioni idrotermali provenienti dal basso, che sciolgono la roccia carbonatica e la sostituiscono con galena e blenda. Tuttavia questa interpretazione ha sollevato dubbi e non da ora: l'ipotesi sedimentaria dei giacimenti alpini è altrettanto vecchia, se non di più, di quella idrotermale.

Bisogna tuttavia ricordare che i giacimenti come noi li vediamo oggi hanno subito delle trasformazioni. Infatti dopo il riempimento delle cavità carsiche (ma ciò vale per qualsiasi giacimento sedimentario) è ripresa la sedimentazione che ha deposto sopra queste una serie di rocce della potenza di almeno 2000+3000 metri, dove le temperature e pressioni sono elevate, raggiungendo quelle del campo idrotermale. Non va dimenticato che ci troviamo in aree di geosinclinale, per le quali il gradiente geotermico è più elevato del normale. Ciò può spiegare le ricristallizzazioni, sostituzioni, metasomatismi, ecc. che si riscontrano in questi giacimenti.

Voglio ricordare che le blende della miniera di Salafossa, come del resto i minerali di ganga di molti altri giacimenti di questo tipo, hanno inclusioni fluide contenenti cloruro di sodio. Ciò si spiega agevolmente se si suppone che la deposizione sia avvenuta all'incontro di acque dolci mineralizzate con acque marine di fondo.

CAPPA vuole sapere se ci sono analogie o meno tra questi fenomeni carsici, riempiti di minerale, e quelli attuali. I giacimenti di bauxite della zona di Spinazzola

sono doline, quelli di S. Giovanni Rotondo sono polje, con il letto costituito da una tipica superficie carsica, i giacimenti di fosforite di Quercy sono inghiottitoi o condotti orizzontali. Qui il carsismo è del tutto analogo a quello attuale. Il giacimento di Salafossa ha una forma di corpo tondeggiante allungato nel quale la mineralizzazione cementa una breccia: non è perciò una grotta come la intendiamo noi. E' stato definito un « karst poco evoluto ».

Mi sembra che tuttavia non ci si debba legare alla visione dell'equazione carsismo = grotta. Carsismo, almeno per me, è la dissoluzione delle rocce carbonatiche per azione delle acque meteoriche superficiali o profonde. Basti pensare all'azione delle acque superficiali e freatiche in seno alle rocce carbonatiche immediatamente dopo la sedimentazione, per avere una visione più ampia di quello che è il fenomeno carsico. In sedimentologia si tende oggi a dar un maggior rilievo a questi problemi.

ANELLI ricorda di aver sentito parlare delle grotte della miniera di Raibl. L'importanza di queste cavità è che la paragenesi delle concrezioni è identica a quella del giacimento e ciò vuol dire che queste grotte già esistevano al momento della mineralizzazione. A me sembra che non si debba parlare di fenomeni pseudocarsici, ma di fenomeni carsici veri e propri. Anche i giacimenti di bauxite nelle zone carbonatiche sono da definire come carsici.

Non conoscevo invece, avendo visitato il giacimento di Abbadia San Salvatore solo superficialmente, la presenza di sabbie cinabrifere in condotti carsici, di cui riferisce BERTOLANI. Per il cinabro i fenomeni possono essere ancora più complessi che per gli altri minerali, data la sua mobilità. Sono descritte ripiene mineralizzate e fu trovato persino un teschio umano rivestito di cinabro.

Per quanto riguarda il metasomatismo debbo mettere in evidenza che si tratta di problemi molto delicati, come del resto abbiamo potuto sentire ad un recente convegno sull'argomento a Padova. Comunque sono d'accordo che non tutti i giacimenti in rocce carbonatiche sono sedimentari, sarebbe una generalizzazione eccessiva; sono però comunque legati ad un periodo di emersione ed erosione, ad uno *hiatus* stratigrafico, o ad una riduzione di potenza della serie: in queste condizioni può instaurarsi un carsismo, che sarà fattore di maggior arricchimento. Così ad es. nei giacimenti di galena argentifera del Monte Calisio, presso Trento, che ho studiato, non si vedono fenomeni carsici veri e propri (ma l'esposizione del giacimento è precaria): comunque è presente una notevole riduzione di potenza ed anche, a luoghi, una superficie di erosione, in corrispondenza della quale vi è il minerale.

Per quanto riguarda l'intervento di PASINI, precisazione di quanto ho esposto sulle concrezioni di Castellana, ho poco da aggiungere, se non che questi fenomeni diagenetici su concrezioni relativamente recenti, in ambiente poco diverso dall'attuale, sono difficili da spiegare.

Analogamente forse andrebbe rivisto il problema della paragenesi dei giacimenti metalliferi, delle ricristallizzazioni, ricircolazioni, tessiture, strutture ecc. L'ipotesi della genesi carsica dei giacimenti alpini è essenzialmente basata su criteri geologici, ed è quella che, secondo molti giacimentologi, è la più adatta a spiegare queste mineralizzazioni.

Secondo TRIMMEL le grandi grotte che si incontrano nei giacimenti piombo-zinciferi del versante austriaco delle Alpi sono di una fase successiva alla mineralizzazione. Non conoscevo l'esistenza di cavità anche nella miniera di Bleiberg; voglio qui ricordare ancora che bisogna distinguere il carsismo antecedente la mineralizzazione da quello successivo. Mentre nel primo la mineralizzazione del giacimento ha la stessa paragenesi delle concrezioni, nel secondo è molto diversa. Così le cavità della miniera di Raibl sono antecedenti, mentre quelle nella Grotta di S. Barbara a S. Giovanni sono successive, ed infatti si hanno concrezioni di sola calcite e barite.

Non conosco il giacimento di Bleiberg se non superficialmente e pertanto non sono in grado di giudicare se sia o meno carsico. Voglio tuttavia ricordare che i giacimenti alpini di Bleiberg, Raibl e Mezica sono estremamente complessi e comprendono certamente una mineralizzazione primaria singenetica delle rocce, cui si accompagna una mineralizzazione discordante, che potrebbe essere, almeno in

qualche caso od in parte, legata al carsismo. Bisognerà attendere che i giacimentiologi controllino in miniera la validità dell'ipotesi carsica, prima di esprimere un giudizio definitivo. Certo è che già da ora si può affermare che alcuni giacimenti piombo-zinciferi, ad es. S. Giovanni, Salafossa, sono certamente e tipicamente carsici.

CIGNA. Ringrazio di nuovo il Prof. PERNA. Ci sarebbe ora la comunicazione del Dr. BERNASCONI sul *mondmilcb*: poiché l'autore non ha potuto purtroppo partecipare a questo Seminario, dò per letta la sua comunicazione, che tra l'altro è già stampata sui preprints che avete ricevuto.

RENO BERNASCONI (*)

IL MONDMILCH: UNA MESSA A PUNTO

RÉSUMÉ - Mise au point des aspects physico-chimiques, microbiologiques, génétiques et historiques du mondmilch.

SUMMARY - Restatement of physico-chemical, microbiological, genetic and historical view of moonmilk.

L'eccellente revisione delle nostre conoscenze sul mondmilch, o latte di luna, presentata da GÈZE e POBEGUIN al II Congresso Internazionale di Speleologia a Bari ha ormai 14 anni; i numerosi lavori sul mondmilch che nel frattempo sono stati pubblicati e che peraltro non hanno ancora esaurito il tema, ci permettono oggi di rivedere la questione aggiornandola.

Del mondmilch si può fornire la definizione seguente: formazione pastosa biancastra, molle e plastica al tatto, localizzata in cavità sotterranee, composta da microcristalli di carbonati di calcio o di magnesio e da acqua, eccezionalmente sostituiti in parte o totalmente da altri sali quali fosfati o solfati.

Fisicamente il mondmilch rappresenta un sistema eterogeneo a due fasi: una fase acquosa ed una fase solida composta da un aggregato cristallino le cui particelle misurano da 1 a 1000 μm , in media 50-100 μm . L'aggregato microcristallino è capace di assorbire e ritenere acqua fino a saturazione in funzione della porosità dell'aggregato, il cui valore medio si

(*) Società Svizzera di Speleologia 3053 Münchenbuchsee (Svizzera), Hofwilstrasse 9.

aggira sul 40%. A partire dal 30% d'acqua circa il sistema diventa plastico; le forze di coesione tra le due fasi sono di natura capillare. Ad un grado di saturazione di 0,9 corrispondente solitamente ad un tenore in acqua tra 37 e 40%, la plasticità raggiunge il massimo con forze di coesione superiori a 80.000 dyn/cm². Oltre questo grado di saturazione la coesione decresce di colpo e l'eccedente d'acqua trasforma successivamente il sistema pastoso in una sospensione. A partire dal 60% d'acqua circa la fase acquosa si comporta da fase mobile responsabile di fenomeni di percolazione.

L'aggregato cristallino più comune consta di calcite sotto forma di cristalli o granuli, di cristalli aciculari (lublinita) o di cristalli cilindrici-filiformi, spesso con tracce di carbonato di magnesio (0,05-2%); finora, a quel che mi consta, non si è ancora riscontrata l'aragonite.

In cavità dolomitiche l'aggregato cristallino consta di carbonati di calcio (calcite) o di magnesio (idromagnesite o giobertite) o di miscugli (carbonato di calcio con 5-30% di carbonato di magnesio) o di combinazioni (huntite o dolomite).

Questi carbonati contengono quali impurezze 0,2-8% di silicati acido-insolubili identificabili comunemente come illite.

Formazioni pastose simili al mondmilch calcitico nelle quali l'aggregato cristallino è formato da fosfati sono eccezionali e limitate a cavità a guano o a giacimenti ossiferi. In questi casi si possono riscontrare fosfo-carbonati, fosfati idrati di calcio (brushite o monetite), eventualmente associati a fosfati idrati di alluminio.

La fase acquosa del mondmilch calcitico contiene per lo più tracce di solfati, nitrati, fosfati, sodio, potassio, ferro, manganese, succinati, tartrati e altre materie organiche.

Essa permette l'insediamento di una biocenosi composta da batteri cellulolitici, ammonificanti e nitrificanti, da asco- e ficomiceti, da alghe (*Syneccoccus*) e portozoi (*Cyrtolophosis*, *Bodo*, *Oicomonas*), da batteri autotrofi ferro-ossidanti; in certi casi vi si associano altre Tiobatteriacee del genere *Macromonas* il cui metabolismo è accompagnato da una precipitazione di carbonato di calcio. Diffusi nelle cavità a clima temperato come pure a clima tropicale sembrano essere comunque i cicli dell'azoto (vari ammonificanti), dello zolfo (Tiobatteriacee) e del ferro (Tiobatteriacee e Siderocapsacee).

Altrettanto diversi come i tipi di mondmilch sono i modi formazione dello stesso. I mondmilch calcitici sono dovuti a neogenesi o ad alterazione di concrezioni o substrati calcarei. Sembra oggi certo che nella genesi del mondmilch siano implicati alternativamente i diversi modi di formazione. Le alterazioni di concrezioni e substrati calcarei sono dovute principalmente alla corrosione biochimica, attiva soprattutto al livello dei sedimenti argillosi e connessa al ciclo dello zolfo. Una fermentazione riduttrice dei solfati libera dapprima solfuri immediatamente fissati dal ferro; il solfuro di ferro in presenza di bicarbonato di calcio viene ossidato chimicamente o biologicamente in solfato di calcio e ossido di ferro.

In sedimenti saturati d'acqua e quindi deossigenati può subentrare nuovamente una fermentazione riduttrice dovuta a *Desulfovibrio* che trasforma il solfato di calcio in solfuro. Si stabilisce così uno scambio del calcio tra roccia e sedimento.

Una neogenesi di carbonato di calcio avviene sia per via fisico-chimica classica — decarbossilazione del bicarbonato di calcio — sia per via biochimica — reazione dell'ammoniaca prodotta da batteri ammonificanti sul bicarbonato di calcio, oppure precipitazione di carbonato di calcio da parte di *Macromonas* a partire da sali organici di calcio prodotti dagli organismi autotrofi.

La genesi dei mondmilch magnesiaci sembra essere simile a quella valevole per i mondmilch calcitici.

La genesi dei mondmilch fosforici è invece dovuta a reazioni di scambio tra carbonato di calcio del substrato e fosfato d'ammonio del guano o fosforiti.

Le trasformazioni possibili di un mondmilch sono l'essiccazione, con o senza fase di cristallizzazione e consolidazione, e la percolazione che può provocare per esempio un arricchimento in magnesio della parte inferiore di un giacimento.

Resta da sfiorare l'aspetto etimologico e storico. La prima menzione attribuibile con certezza al mondmilch risale ad AGRICOLA nel 1546 che lo chiama « stenomarga ». Il termine « Monmilch » o « lac lunae » (latte di luna) appare nel 1555 in un'opera di GESSNER. Termini come « Montmilch » o « Bergmilch » (latte di monte) sono più recenti poichè risalgono al « lac montis » di BRUCKMANN del 1728 e sono perciò da considerare come semplici sinonimi. In tempi remoti il mondmilch venne considerato

come « agarico sassatile », cioè un'escrescenza fungosa della roccia, da GESSNER (1555) e da CYSAT (1661). WORMIUS (1655) e MAJOR (1667) ammisero che il mondmilch provenisse dalla condensazione di vapori d'argento nelle parti fredde delle cavità. Finalmente LANGH attribuì nel 1708 la formazione del mondmilch alla corrosione della roccia da parte di acqua di condensazione.

Nel medioevo si fece ampio uso del mondmilch nella medicina umana e veterinaria quale siccativo, emostatico e galattagogo: a causa di quest'ultimo uso venne chiamato polvere delle nutrici nel 17° secolo.

BIBLIOGRAFIA

- BERNASCONI R., 1959 - 2° contributo allo studio del mondmilch: studio storico. Rass. spel. ital., 11(2), pp. 39-56, Como.
- BERNASCONI R., 1961 - 4ème contribution à l'étude du mondmilch: l'évolution physico-chimique du mondmilch. Rass. spel. ital., Mem. 5, vol. 2, pp. 75-100, Como.
- CAUMARTIN V., 1971 - Interprétation biologique du pouvoir corrodant des argiles. Actes 4e. congrès national de spéléologie (Neuchâtel 1970), pp. 88-93.
- CAUMARTIN V. & RENAULT PH., 1958 - La corrosion biochimique dans un réseau karstique et la gènèse du mondmilch. Notes biospéol., 13, pp. 87-109, Paris.
- DAVIES W. E. & MOORE G. W., 1957 - Endellite and hydromagnesite from Carlsbad Caverns. Bull. Nat. Spel. Soc., nr. 19, pp. 24-27, Vienne (Virginia).
- GÈZE B. & POBEGUIN TH., 1962 - Contribution à l'étude des concrétions carbonatées. Actes 2e. congrès international de spéléologie (Bari 1958), vol. 1, pp. 396-414.
- HABE F., 1969 - Jamsko mleko v Breznu za Hramon v Hrusici. Nase Jame (Ljubljana), 11, pp. 73-81.
- HELLER F., 1966 - Mondmilch oder Montmilch. Geol. Bl. NO Bayern (Erlangen), 16(1), pp. 56-66.
- JATON C., POCHON J., DELVERT J. & BREDILLET M., 1966 - Etude du mondmilch de grottes du Cambodge. Ann. Inst. Pasteur (Paris), 110(6), pp. 912-919.
- MASON WILLIAMS M. A., 1961 - Biological aspects of calcite depositions. Rass. spel. ital., Mem. 5, vol. 2, pp. 235-238, Como.
- MELON J. & BOURGUIGNON P., 1962 - Etude du mondmilch de quelques grottes de Belgique. Bull. soc. franç. minéral. crist., 85, pp. 234-241, Paris.
- MINIERI V., 1957 - Sulla genesi del bergmilch rinvenuto in una grotta della provincia di Taranto. Boll. soc. nat., 65, pp. 79-83, Napoli.
- POBEGUIN TH., 1960 - Sur l'existence de giobertite et de dolomite dans les concrétions du type mondmilch. C. R. Acad. Sci., 250, p. 2389, Paris.
- SZTRÓKAY K., 1959 - Mineralogische Beobachtungen aus der Aggteleker Tropfsteinhöhle. Földtani Közlöny, 89(3), p. 280, Budapest.
- TRIMMEL H., 1962 - Die Arzberghöhle bei Wildalpen (Steiermark): Ein Beitrag zu den Problemen der Höhlensedimente, der Bergmilchbildung und der Speläogenese. Actes 2e. congrès international de spéléologie (Bari 1958), vol. 1, pp. 330-340.

TERZA SEDUTA

Mattino del 6 Ottobre 1972

FRANCO ANELLI (*)

NUOVE OSSERVAZIONI SUI FENOMENI CARSICI, PARACARSI E PSEUDOCARSICI

RIASSUNTO - La presente nota, a circa dieci anni dalla prima trattazione dello stesso tema, pubblicata nel XXXI volume (1963) del Giornale di Geologia di Bologna, considera ancora una volta la opportunità di dare un preciso significato ai termini di *fenomeni carsici*, *paracarsici* e *pseudocarsici* indicanti manifestazioni di varia natura in rocce litologicamente diverse, soggette quindi a difformi processi di alterazione.

Richiamandosi ancora una volta ai fondamentali concetti enunciati dal Prof. Michele Gortani al I Congresso Speleologico Nazionale Italiano (Trieste 1933), L'Autore conferma la necessità di una netta distinzione dei fenomeni carsici nei tre tipi ricordati; a convalidare le considerazioni esposte viene presentata una più vasta casistica dei fenomeni indicati nella nota e sono portati più numerosi esempi di forme del suolo originate sia dai processi carsici propriamente detti, sia dai processi carsici meno sviluppati, rappresentati da forme ridotte, attenuate rispetto a quelle comunemente note, sia infine dai processi dai quali derivano forme aventi un'affinità esteriore, esclusivamente morfologica, con quelle riferibili all'attività solvente delle acque meteoriche.

ABSTRACT - This paper deals with a problem of terminology firstly considered ten years ago in the XXXI volume of the « Giornale di Geologia » (Bologna, 1963). It is considered the opportunity to give a precise definition of the terms *Karst*, *parakarst* and *pseudokarst* referring to the different features in various lithostratigraphic complexes and therefore depending upon different alteration processes.

Recalling to the fundamental concepts reported by professor M. Gortani at the first Italian Speleological Congress (Trieste, 1933) on the Karst processes, the Author emphasizes the importance of a clear classification of the karstic phenomena in the three groups above mentioned. To confirm such a classification a wide list

(*) Direttore delle Grotte di Castellana (Bari). Istituto Italiano di Speleologia e Società Speleologica Italiana.

of karst features and many examples of peculiar forms are reported. These examples refer to initial and fully developed features originated both by water solution processes in water soluble rocks and in insoluble rocks having only a morphological (but not genetical) analogy with the former.

In una mia nota di dieci anni fa (ANELLI 1963) ho avuto occasione di ricordare le prime esortazioni rivolte agli speleologi italiani dal compianto Maestro Prof. Michele Gortani (GORTANI 1933, 1937) al fine di stabilire chiare premesse nella classificazione dei processi carsici in rapporto con la natura geolitologica dei terreni, ma principalmente con la solubilità delle rocce tenendo presente l'originaria morfologia precarsica dei massicci rocciosi, le passate condizioni climatiche e le oscillazioni del livello di base orogenetico ed eustatico-glaciale.

Partendo dalle considerazioni sopra esposte, proponevo ai cultori dei nostri studi di tenere ben distinti i fenomeni carsici propriamente detti sia dai fenomeni carsici meno sviluppati, meno tipici, per i quali ho proposto il termine di *fenomeni paracarsici*, sia soprattutto dai fenomeni che col carsismo hanno in comune solamente una più o meno forte analogia nei caratteri morfologici esteriori; trattandosi di processi nei quali l'alterazione chimica prescinde dall'azione solvente delle acque meteoriche ho giudicato opportuno di riunirli in un gruppo distinto dai due precedenti e di indicarli col termine più appropriato di *fenomeni pseudocarsici*, già noti, come tali, agli speleologi.

Su proposta del Presidente della nostra Società speleologica, ho giudicato opportuno di tornare sull'argomento in occasione del presente Seminario di speleogenesi portando qualche nuovo elemento alla complessa casistica delle forme carsiche, dalle forme più tipiche a quelle minori, starei per dire attenuate, alle forme che con quelle carsiche hanno soltanto un'apparente analogia esteriore.

In tema di forme carsiche, a cominciare dalle più manifeste, non sarà mai abbastanza affermato il principio che la ricca nomenclatura dei termini fondamentali si fonda essenzialmente sul principio sempre valido che la circolazione idrica carsica è un caso particolare della circolazione in rocce più o meno fessurate nelle quali è però diverso il grado di solubilità rispetto alle acque meteoriche penetranti dalla superficie esterna del suolo ed è diversa la potenza dei massicci rocciosi.

Al grado di solubilità delle rocce carsificabili, determinato dalla natura litologica — che può variare anche in complessi rocciosi apparentemente omogenei — concorrono, come è noto da tempo, la stratificazione

e la fessurazione dei massicci carsici, le cosiddette condizioni predisponenti della speleogenesi (KYRLE 1923).

La stratificazione è estremamente varia e variano pertanto le superfici di discontinuità dei nostri tavolati calcarei, delle bancate gessose selenitiche tosco-emiliane, per il succedersi dei piani o giunti di strato. Estese fratture e faglie, principali ed accessorie, solcano i massicci rocciosi associate a comminate reti di sottili diaclasi che favoriscono lo svolgimento del ciclo carsico dai suoi stadi iniziali — a cominciare dall'erosione in superficie compiuta dalle acque cadenti — fino alla loro penetrazione e al loro deflusso in profondità in reticolati idrografici di canali di varia sezione in rapporto col richiamo verso il basso, verso il livello di base.

Sfugge talora agli osservatori l'importanza delle variazioni climatiche locali avvenute nel tempo, principalmente le variazioni della temperatura (della temperatura media e dell'escursione annue), della nebulosità atmosferica, della piovosità; si tratta di elementi climatici i quali, legati principalmente a fattori terrestri⁽¹⁾ possono aver favorito o attenuato la dissoluzione dell'anidride carbonica contenuta, con tensione immutata, nel miscuglio atmosferico.

Meritano la nostra attenzione i diversi lineamenti morfologici originari di una regione anteriori all'incarsimento, la conoscenza dei quali consente un'analisi dei processi genetici delle forme carsiche in aree già soggette ad azioni di spianamento, all'erosione normale precarsica in dipendenza principalmente, come ho ricordato nella premessa introduttiva, delle oscillazioni del livello di base.

In tema di analisi genetica delle aree carsiche del nostro paese si rivela indispensabile l'opportunità di non limitare l'esplorazione sotterranea e lo studio geomorfologico alle sole parti più note per le caratteristiche salienti della circolazione idrica profonda e per la grande varietà delle forme, ma di estendere l'esplorazione e lo studio alle parti meno note sia per il minor grado di sviluppo delle singole forme, sia per la relativa scarsità delle forme stesse specialmente delle più tipiche come le cavità

(1) Preziose indicazioni sulle variazioni climatiche in periodi geologici relativamente recenti, come quelli che maggiormente interessano le nostre ricerche, sono fornite dagli studi di paleoclimatologia sulle glaciazioni quaternarie i quali hanno consentito valutazioni molto soddisfacenti in base a ricostruzioni naturalistiche, come quelle relative alla natura delle varve, nelle quali si alternano materiali organici a materiali minerali (compresi i carbonati), alle analisi polliniche, alle cerchie anulari del legno di grossi alberi esumati da torbiere, da depositi lacustri.

sotterranee. Nelle aree carsiche apparentemente meno importanti le forme presentano sovente aspetti meritevoli di attento esame come le questioni relative ai problemi pratici di idrogeologia ipogea fra i quali lo studio delle sorgenti carsiche appenniniche.

FENOMENI CARSIICI

Sono da comprendere in questo primo e più importante gruppo esclusivamente i fenomeni aventi spiccate caratteristiche morfologiche note da tempo agli studiosi, oggetto di elaborate memorie e di relazioni anche per quanto riguarda la terminologia corrente nelle principali lingue d'Europa. Un primo tentativo di elencare i termini carsici nella nostra lingua è stato da me pubblicato vari anni fa (ANELLI 1957-1958) seguito dall'ottimo contributo di W. MAUCCI (1960). I termini carsici si riferiscono alle forme tipiche, comuni nei terreni carsioi calcarei; in minor misura in quelli calcareo-dolomitici, nei terreni gessosi e nei terreni alcalini (cloruri e solfati) la cui estensione nel nostro Paese è notoriamente molto limitata.

Lo studio delle principali aree carsiche italiane ha veduto in questo ultimo decennio il contributo dei nostri più valorosi studiosi specialmente nella parte rimasta all'Italia della Venezia Giulia. Meritano d'essere ricordati quelli del nostro MAUCCI, dei quali ci parlerà domani, degli amici D'AMBROSI, FORTI, FINOCCHIARO, TOMASINI. Per le aree carsiche dei gessi emiliani meritano d'essere segnalati i pregevoli studi di GIANCARLO PASINI (1967, 1967a) sulle particolari caratteristiche morfologiche dell'estinta canalizzazione carsica sotterranea nelle estese masse gessose messiniane. Un mio contributo alle conoscenze geomorfologiche speleocarsiche dell'altopiano calcareo delle Murge è in preparazione. L'esplorazione dell'altopiano del Gargano, del tavolato murgiano e del Salento è stata assiduamente condotta con lodevole passione da FRANCO OROFINO (1965), mio collaboratore prezioso presso la sede tecnica e organizzativa dell'Istituto Italiano di Speleologia presso le Grotte di Castellana. Da F. OROFINO (1972) è stata raccolta una copiosa bibliografia speleologica regionale pugliese.

Sulle manifestazioni carsiche del Gargano sono recenti i contributi di A. PAGLIANI (1972), A. BINI & G. JUNGINGER (1972), A. A. BISSANTI (1966).

Campagne esplorative e ricerche geospeleologiche sono state compiute in varie regioni italiane: per alcune di esse i risultati sono stati lusinghieri,

basti ricordare le profonde voragini del Canin nelle Alpi Giulie, prima fra tutte l'Abisso Michele Gortani, il piú profondo d'Italia scendendo di ben 920 m nel cuore del massiccio del Canin che ci fa ricordare il sacrificio di tre giovani amici dell'Alpina delle Giulie.

Sono in corso le esplorazioni in due importanti sistemi carsici sotterranei nell'Appennino Umbro-Marchigiano, il complesso della Grotta del Fiume-Grotta del Vento e la Grotta del Monte Cucco per i quali si parla di notevoli estensioni e di incomparabili concrezioni cristalline calcitiche: si parla per entrambi di uno sviluppo di oltre 12 km.

Nuove esplorazioni sono nei programmi dei nostri Gruppi speleologici nell'Italia centro-meridionale e in Sardegna dei quali non sarà mai sufficientemente apprezzata l'infaticabile attività.

Merita ricordare che nello studio dei tipi morfologici carsici la geochimica e la geofisica sono entrate a buon diritto a guidare le ricerche sui processi speleogenetici: la prima nelle indagini sull'azione solvente delle acque circolanti nelle grotte per lenta penetrazione dall'esterno o incanalate in alvei sotterranei e nell'azione di deposito e di dissoluzione delle acque di lenta percolazione: concrezioni cristalline, depositi di degradazione chimica o biochimica (latte di monte), depositi argillosi da fluitazione esterna (terre rosse, bauxiti). La geofisica può validamente collaborare nelle indagini sulle azioni fisico-meccaniche delle acque in movimento nei canali sotterranei, sui materiali solidi trasportati e successivamente depositi (CIGNA 1961) dalle acque stesse, sull'azione cinetica della gravità dalla quale hanno origine i maggiori vuoti sotterranei, le piú ampie cavità naturali delle quali le Grotte di Castellana nelle Murge di Bari offrono esempi chiarissimi.

Sono ricordati frequentemente dai cultori dei nostri studi carsici, dei processi speleogenetici, i tipi morfologici fondamentali introdotti da MONTORIOL POUS (1951) e LLOPIS LLADO (1951): il *tipo gliptogenico* per indicare le forme di erosione in generale, il *tipo litogenico* per i depositi di riempimento derivati da processi costruttivi di origine chimica come le concrezioni cristalline e il *tipo clastico* per tutte indistintamente le forme di demolizione interna. LLOPIS LLADO (1952) ha successivamente distinto, nel tipo speleomorfologico clastico, altri tipi speleogenetici: il *tipo chemioclastico*, comprendente i processi di decalcificazione dovuti alla ricordata azione solvente compiuta dalle acque meteoriche circolanti in diaclasi delle masse rocciose calcaree, il *tipo gliptoclastico* comprendente le forme di erosione fisica dell'acqua (marmitte di evorsione e di efforazione), i tipi *gravioclastico* e *meccanoclastico* indicanti l'ampliamento delle cavità per la

caduta di lembi rocciosi e di massi di varie dimensioni lungo giunti di stratificazione delle rocce o secondo piani di frattura o litoclasti.

FENOMENI PARACARSICI

Accanto ai fenomeni ricordati nel precedente capitolo, aventi cospicue caratteristiche morfologiche, quali si possono osservare nelle più importanti aree carsiche di casa nostra, oggetto di studio con esplorazioni di grande impegno per l'esteso sviluppo dei canali sotterranei ed i considerevoli dislivelli non sempre di facile percorso, meritano la nostra attenzione ed un attento studio alcune modeste manifestazioni del fenomeno carsico le quali assumono non comune importanza speleogenetica per le particolari condizioni in cui si sono originate e successivamente sviluppate.

Si tratta, è opportuno precisare, di manifestazioni che non escono dal quadro noto agli speleologi ma che si sono svolte in passato e si svolgono tuttora in complessi rocciosi meno tipici di quelli calcarei, con un minor grado di solubilità rispetto ai calcari puri, in rocce che il GORTANI (1937) ha indicato col termine di *rocce semicarsiche* o debolmente carsiche. Di fronte a fenomeni osservati nelle Murge e nel Salento in Puglia rappresentati da forme carsiche poco marcate in calcari arenacei, talora argillosi, i *tufi delle Murge* (VALDUGA 1965), ho creduto opportuno di suggerire un termine nuovo, quello di *fenomeni paracarsici*, che mi è sembrato più rispondente a indicare, anche nel significato letterario della parola, forme carsiche attenuate rispetto a quelle tipiche dei calcari; si è di fronte, come ho già accennato, a forme che hanno gli stessi caratteri generali di quelle carsiche tipiche, ma hanno un più ridotto sviluppo, uno sviluppo talora ridottissimo per la più breve durata del ciclo carsico svolto in complessi geolitologici di limitata potenza, di più recente età come i calcari miocenici del Salento, la notissima *pietra leccese* e i tufi delle Murge depositi sui calcari cretaci essenzialmente neritici dall'ingressione quaternaria sulla superficie di abrasione marina, successivamente ridotti a placche isolate ed a cimose litoranee dall'erosione esogena; non mancano nelle calcareniti pugliesi sottili falde freatiche (AZZAROLI, RADINA, RICCHETTI & VALDUGA, 1968) che alimentano talora spontanei affioramenti d'acqua, detti localmente *marane*. Fenomeni carsici di scarsa entità si osservano anche nelle panchine quaternarie di grossolani detriti a cemento calcitico che si osservano lungo gli antichi lidi costieri pugliesi.

Il termine di fenomeni paracarsici, che ho introdotto per indicare le

manifestazioni ricordate, corrisponde in certo senso ai termini di *aree semicarsiche* ⁽¹⁾, di *aree a carsicità mediocre* o a *carsicità meno sviluppata* suggeriti dal GORTANI 1937 sottolineando la loro importanza derivante dai lineamenti generali morfologici che illuminano chiaramente, come ho già rilevato (ANELLI 1963), gli aspetti genetici del carsismo quali, ad esempio:

1 - il formarsi di esili falde idriche freatiche poco profonde affioranti da sorgenti di emergenza al fondo di depressioni del suolo carsificato;

2 - il formarsi, talora molto rapido, di doline e di cavità sotterranee da suberosione, seguito da un progressivo e non meno rapido ampliamento delle cavità per scoscendimenti interni;

3 - il conseguente accumularsi di depositi di riempimento, non di rado di notevole importanza per contenere resti faunistici fossili, testimoni di lontane condizioni fitoclimatiche locali.

Nella mia nota più volte citata (ANELLI 1963) ho giudicato opportuno d'includere nei fenomeni paracarsici le manifestazioni dell'azione solvente ed erosiva delle acque meteoriche su rocce arenacee a cemento calcareo o siliceo, sui calcari dolomitici limitatamente, questi ultimi, a forme di superficie o profonde poco estese, escludendo beninteso le aree carsiche delle estese masse calcareo-dolomitiche precretacee come quelle di alcune zone del Carso carniolico (e mi riferisco in modo particolare alle ampie cavità sotterranee del Cavernone di Planina confluenti al sistema delle Grotte di Postumia).

In un'attenta disamina dei fenomeni carsici e paracarsici della Venezia Giulia e del Friuli D'AMBROSI & FORTI 1967, concordando sul termine da me proposto di fenomeni paracarsici, riconoscono il valore discriminatorio del termine stesso per indicare i fatti di alterazione che si sviluppano sulle rocce carbonatiche meno solubili e in molte arenarie che si presentano — sono parole degli AA. — come fenomeni attenuati, atipici e comunque *difformi*, riconoscibili in alcune rocce carbonatiche impure, a irregolare stratificazione, a fratturazione comminuta, dell'Istria settentrionale e Sud-occidentale, nel Carso di Buie, presso Trieste (nella serie calcarea del Paleocene ed Eocene), nei conglomerati calcarei del Flysch eocenico presso Pisino in Istria, nella località Draga S. Elia nelle arenarie eoceniche

⁽¹⁾ Il termine italiano di *aree semicarsiche* concorda con quello di *HalbKarst* proposto da GRUND (1914).

su calcari paleocenici. Nel Friuli sono ricordate dagli AA. le cavernosità nei calcari della conca cadorina di Sappada e nel Veneto in formazioni analoghe all'imbocco della Val Visdende.

Anche per i fenomeni paracarsici si parte sempre, all'inizio del ciclo genetico carsico, da una circolazione ipogea in sottili meati, in minute fratture, in canali di ridottissime sezioni lungo diaclasi o giunti di stratificazione.

Dall'accorto esame dei profili idromorfi nelle cavità sotterranee è facile riconoscere il prevalere ora dell'erosione meccanica (marmitte di evorsione e di efforazione), ora dell'alterazione chimica, della dissoluzione attestata dai residui argillosi e sabbiosi lasciati dalle acque lungo le vie di deflusso sotterraneo in rocce arenacee a cemento calcareo. Ricordiamo per l'Italia i fenomeni carsici di modesto sviluppo nelle arenarie calcaree dell'Appennino Emiliano messi in luce già nel 1943 dal compianto MALAVOLTI.

Nella mia nota (1963) con la quale ho aperto la discussione intorno alla sistematica e alla terminologia delle forme carsiche sotterranee e di superficie, ho incluso nel tipo dei fenomeni paracarsici anche quelle dei terreni arenacei a cemento siliceo per i quali RENAULT 1953 ha introdotto i termini: *karst gréseux*, *lapiaz gréseux*, *grottes gréseuses*, *grottes du gara d'Inselberg*, *grottes de falaise*; i termini relativi alle grotte si riferiscono a cavità naturali nelle pareti di uno spuntone roccioso, un Inselberg arenaceo cambrico-siluriano a cemento siliceo del Tassili d'In Guezzam nell'Hoggar algerino (Sahara meridionale). Le cavità delle falesie sono scavate in arenarie poco cementate, sottostanti ad uno strato di quarziti non alterate dall'erosione; alcune grotte contengono piccoli bacini d'acqua alimentati dalle forti precipitazioni esterne attraverso brevi gallerie naturali e da acque subalvee di un bacino di raccolta circostante. Una grotta, scavata interamente nelle arenarie a cemento siliceo, ha la tipica sezione ogivale che ricorda le cavità carsiche dei terreni calcarei, ma è alta appena m 2,6 ed è lunga meno di 4 m; piccole stalattiti silicee scendono dalla volta.

Il RENAULT (1953) osserva che la loro origine e il loro sviluppo sono analoghi a quelli delle cavità nei terreni dolomitici e nelle arenarie a cemento calcareo. Le grotte nelle arenarie sahariane ricordano, per la loro struttura, le grotte tipicamente carsiche diaclasiche nelle quali la distinta fratturazione delle masse calcaree ha avuto parte preponderante nella loro genesi e nel loro sviluppo per l'ampliamento dei vani interni conseguente a scoscendimenti lungo le pareti e distacchi dalle volte. Le stesse cause

hanno determinato evidentemente l'accumulo di imponenti conii detritici interni.

Quale significato possono avere i termini di karst gréseux, lapiaz gréseux, grottes gréseuses e grottes de falaise? L'Autore crede che questi termini meritino d'essere conservati pur facendone tuttavia un gruppo a parte; per la particolare natura geolitologica dell'edificio roccioso i fenomeni ricordati — assimilabili come ho ricordato poco sopra a quelli delle arenarie a cemento calcareo — possono senz'altro essere compresi tra i fenomeni paracarsici.

Cavità sotterranee naturali in arenarie quarzose triassiche, debolmente cementate e attraversate da vene ferrifere, sono state segnalate da SOMMARUGA 1949 nell'*Antro delle Gallerie* (2001 Lo) in Valganna a Nord di Varese. Il banco arenaceo, di una quarantina di metri di potenza, è delimitato inferiormente da porfidi permiani e superiormente da calcari dolomitici dell'Anisico (Trias medio).

Nell'interno delle cavità si osservano sottili colate stalagmitiche di qualche centimetro di spessore sul fondo e veli aragonitici con efflorescenze coralloidi sulle pareti e sotto le volte. L'origine delle cavità naturali, che non presentano particolari caratteristiche morfologiche, è attribuita dal SOMMARUGA ad azioni idrodinamiche erosive favorite da estese fratture e da faglie non escludendo tuttavia la possibilità di un'azione solvente dell'acqua sul cemento calcareo dell'arenaria quarzosa.

Merita di ricordare a questo punto il pensiero del collega GÈZE (1951) secondo il quale i processi di erosione e di corrosione nelle arenarie silicee a cemento calcareo molto fessurate sono analoghi a quelli che si svolgono nelle rocce calcaree; le forme che ne derivano sono tuttavia molto ridotte richiamando quelle delle arenarie silicee di Fontainebleau dove le modeste cavità scavate dalle acque di lenta penetrazione dall'esterno compiono un'azione erosiva e solvente, limitatamente quest'ultima alla calcite epigenetica ricoprente le arenarie.

Ho già richiamato (ANELLI 1963) quanto sia spontaneo a questo punto un raffronto del termine paracarsico con quello di *Merokarst* proposto, or è mezzo secolo, dal CVIJIĆ (1925, 1960) per indicare un *carso parziale* o *carso imperfetto*, in modo particolare quello delle aree carsiche a nord della catena alpina, nell'Europa centro-settentrionale (Francia settentrionale, Belgio, Inghilterra) in calcari marnosi e bituminosi paleozoici, nelle dolomie molto magnesiache triassiche e giurassiche, nei calcari marnosi della Podolia e di altre località d'Europa. L'Autore, che può a buon diritto essere considerato il fondatore degli studi carsici, contrappone il

Merokarst al *Holokarst* o *carso completo* delle regioni calcaree, tipicamente ad alcune regioni del Carso dinarico. Non ci sentiamo di seguire il CVIJIC in tutte le sue considerazioni a cominciare dal concetto di Merokarst esteso a forme tipiche di erosione carsica subdetritica rappresentate da depressioni chiuse doliniformi in terreni detritici eluviali o alluvionali o di altra origine ricoprenti terreni carsici per lo più calcarei.

Fra il *Holokarst* e il Merokarst il CVIJIC colloca un tipo intermedio che indica col termine di *type de transition* nel quale distingue poi due sottotipi o tipi secondari, il *type des Causses* e il *type karstique du Jura* (CVIJIC, 1960, p. 142). Nel Carso di transizione il livello di base carsico — contrariamente a quanto si riscontra nel Carso completo — non si trova a profondità sconosciuta o addirittura sotto il livello del mare, ma è riconoscibile ad una profondità limitata per essersi costituito in corrispondenza di una falda idrica sostenuta da uno strato di roccia impermeabile. Dei due sottotipi del Carso di transizione il primo, il Carso delle Causses, si distingue per avere il livello di base a profondità riconoscibile, ma tuttavia sempre notevole, per cui si accosterebbe maggiormente al *Holokarst* che al Merokarst. L'evoluzione carsica raggiunge pertanto più rapidamente gli stadi finali di maturità e di senilità. L'Autore riferisce a questo sottotipo di transizione gran parte delle regioni calcaree carsiche della Francia, le Alpi Svizzere, le Alpi Orientali Bavaresi e Austriache (Dachstein, Tennenberge), le Dinariche, il Montello, le aree carsiche dei Balcani, dei Carpazi, della Moravia. Nel secondo sottotipo, di transizione, nel Carso del Giura, per l'alternarsi con maggior frequenza degli strati marnosi impermeabili con gli strati calcarei, i massicci carsici si presentano con limitata potenza rispetto a quelli delle Causses. L'erosione normale precarsica su rocce facilmente erodibili come le rocce marnose ha favorito l'affondamento della rete idrica fluviale e il conseguente smembramento in blocchi isolati dell'originaria superficie di emersione separati gli uni dagli altri da solchi vallivi poco profondi. Oltre che in Provenza e in parte del Carso dinarico, il tipo del Giura è riconoscibile nei Balcani occidentali, in singoli massicci isolati d'Albania, della Crimea. Al tipo di transizione giurassico il CVIJIC ascrive le aree carsiche appenniniche italiane, il Gargano e le Murge.

Non è possibile concordare con l'eminente studioso sulle sue considerazioni intorno ai due tipi del Carso di transizione; è discutibile la validità di alcuni caratteri estremamente variabili e non sempre di facile riconoscimento sui quali si fonda la complessa classificazione. Molte riserve ad esempio possono essere avanzate per le aree carsiche italiane a cominciare da quelle pugliesi del Gargano e delle Murge.

A chiusura di questo capitolo sui fenomeni paracarsici mi sia consentito di aprire una parentesi per richiamare l'attenzione sulle particolari forme carsiche, e sulla loro genesi, di una regione tanto diversa dalle nostre e tanto lontana. Mi riferisco ad un esteso altopiano emergente dalla Grande Savana venezuelana nella fascia equatoriale a 5° 34' di latitudine settentrionale, costituita da un'ortoquarzite proterozoica (precambriana) detta di Roraima, di natura arenacea, di colore rosso, fortemente degradata in superficie. Il punto più elevato dell'altopiano, il Monte Auyan-Tepui (Monte del diavolo) raggiunge i 1000 m. La temperatura media annua è molto elevata, la temperatura esterna del suolo raggiungerebbe i 50° C; notevole è l'altezza delle precipitazioni, esclusivamente piovose, è inutile dirlo, che nelle parti più elevate è di ben 7.600 mm annui. Nella regione è nota la famosa cascata Angel, dal nome dell'aviatore che per primo l'ha riconosciuta volando sul territorio con un apparecchio da turismo. È la seconda del mondo per altezza raggiungendo con due salti (il primo, il più alto, di 800 m, il più basso di 180 m) i 980 m.⁽¹⁾ Le acque della cascata Angel defluiscono al fiume Caroni affluente dell'Orinoco. Rimando, per maggiori dati, alla nota di WHITE, JEFFERSON & HAMAN 1967. Mi limito ad un breve riassunto.

Le acque della cascata Angel escono da una galleria naturale e sono lo sbocco di una canalizzazione idrica sotterranea attraverso profonde fratture nella ricordata massa di ortoquarziti, è una sorgente che potremmo chiamare di vetta (GORTANI 1948), alimentata dalle acque di condensazione del vapore contenuto nelle masse d'aria calda e umida portate dagli alisei Nord-orientali. L'altezza delle precipitazioni sull'altopiano Auyan-Tepui è tra le più alte della Terra raggiungendo, come ho già ricordato, i 7.600 mm annui. La caduta delle acque ha scavato un solco verticale posteriore alla lama liquida di 900 m di altezza.

Sulla superficie dell'altopiano è l'alterazione della quarzite che determina un complesso di caratteri superficiali i quali ricordano alcuni aspetti morfologici dei terreni carsici calcarei. Alla sommità dell'altopiano si aprono infatti solchi carsici di frattura (i *Kluftkarren* della letteratura carsica in lingua tedesca); le numerose fratture ampliate dalle acque hanno un'ampiezza fra i tre e i cinque metri e sono profonde fino a tre metri con ripide pareti; si osservano anche piccoli canyons in fondo ai quali si hanno

(1) La cascata più alta del mondo sarebbe, secondo recenti statistiche, la Cascata Tyssestrengle le cui acque cadono da un'altezza di 1083 m nell'affluente del Tyssa nel Söfior-Ostufør nella Norvegia sud-occidentale.

ristagni d'acqua che aumentano nei periodi maggiormente piovosi dell'anno al punto da alimentare numerose sorgenti sgorganti da fenditure marginali, formando cascate, scavando docce dietro la lama liquida e caldaie di evorazione al piede.

Non sono ricordate dagli AA. ma non si possono escludere eventuali cavità sotterranee per degradazione esogena termoclastica o da dissoluzione. È nota la possibilità del quarzo di trasformarsi in opale, idrogel di silice arrossato da patine di ematite deposta sui granuli quarzatici. Non mancano in alcune fessure colaticci di silice simili a rudimentali stalattiti. In base agli aspetti esteriori dell'altopiano, è facile riconoscere la possibilità di trasformazione — in favorevoli condizioni climatiche — del quarzo cristallino in un idrogel colloidale, in opale, e la successiva trasformazione dell'opale che, coagulando infine per lenta evaporazione, cementa i granuli di quarzo e di calcedonio.

Non va dimenticato che il colore rosso bruno in superficie della quarzite favorisce il riscaldamento della roccia esposta a forte insolazione per tutta la mattina seguita da piogge torrenziali nel primo pomeriggio. Tali condizioni favoriscono l'alterazione in superficie della quarzite con la formazione di una crosta porosa d'aspetto arenaceo permeabile all'acqua, la quale evaporando lascia in sito la silice colloidale come residuo secco disciolto ed asportato dalle piogge successive. Alla rapida alterazione fisica superficiale non corrisponde alcuna alterazione nell'interno della massa di quarzite escludendo quindi la possibilità della formazione di cavità sotterranee.

Il grado di solubilità sia pure poco elevato della quarzite ⁽¹⁾ consente di riconoscere un certo carattere di carsicità alle forme di erosione sull'altopiano del Monte del Diavolo nel Venezuela per cui si può senz'altro accettare il nuovo termine di *carsismo delle quarziti*, proposto da WHITE, JEFFERSON & HAMAN, il quale si accosta al termine di Karst gréseux proposto da RENAULT per le arenarie sahariane. Si tratta, in altre parole, di un nuovo termine da inserire nella nomenclatura relativa ai fenomeni carsici valevole per l'azione esercitata dalle acque cadenti indipendentemente da reazioni chimiche (MAUCCI 1961) e può figurare a mio avviso nel quadro dei fenomeni paracarsici esaminati in questo capitolo.

(1) Secondo KRAUSKOPF 1956, citato da WHITE, JEFFERSON & HAMAN 1967, la solubilità della silice amorfa, che è di appena 100 ppm a 25°C, raggiunge 400 ppm alla temperatura di ebollizione dell'acqua, superiore a quella della calcite.

FENOMENI PSEUDOCARSICI

Il termine di fenomeni pseudocarsici non è nuovo. Ho già avuto occasione di ricordare che venne introdotto nella nomenclatura geografica da G. KRAMER in uno studio sul carsismo delle isole britanniche compiuto nel 1936, e rimasto inedito. Anteriore di un anno è il termine *suffosional Karst* usato dal geologo russo F. P. SAVARENKY nel 1935.

Col termine di fenomeni pseudocarsici devono essere indicati esclusivamente i fenomeni della degradazione esogena fisico-chimica su rocce geologicamente insolubili o pochissimo solubili, indipendentemente quindi sia dall'azione solvente delle acque meteoriche contenenti in soluzione anidride carbonica, sia dall'azione diretta di questo gas presente nel miscuglio atmosferico (carbonatazione). Le manifestazioni dei fenomeni pseudocarsici hanno solamente un'analogia morfologica esteriore, talora molto spiccata, con le manifestazioni carsiche più note sia di superficie, sia profonde; si tratta di fenomeni sia di alterazione fisica, sia di alterazione chimica su diversi tipi di roccia, esclusa, è opportuno insistere, l'azione solvente delle acque meteoriche. Le forme derivate dai ricordati processi di alterazione fisico-chimica combinate sono note, comprendono forme di degradazione selettiva, solchi e nicchie di disfacimento meteorico, sculture alveolari, figure di erosione e di disfacimento.

Sono da ricordare tra le forme di superficie le depressioni doliniformi negli scisti, nei tufi e nelle porfiriti della Carnia orientale descritte dal GORTANI 1909. Alcune sono doline di corrosione suballuvionale nei gessi permiani coperti da terreni alluvionali o detritici. Non mancano doline negli scisti, ma si tratta di formazioni scistose ricoperti terreni calcarei devoniani o intercalati ad essi.

Forme di tipo carsico in terreni cristallini della Venezia Tridentina sono brevemente ricordate da TRENER 1933, il quale segnala due laghetti in Val Sopranes presso Merano, il Lago di Lavagna e il lago Nero, alimentati in parte da emissari scavati in marmi cristallini intercalati a scisti cristallini. L'A. accenna inoltre ad alcune doline scavate in calcari cristallini e in rocce filladiche a Sud-Est di Brunico in Val Pusteria.

Depressioni doliniformi, e tutta una tormentata morfologia di superficie da richiamare le più comuni forme del paesaggio carsico dei terreni calcarei, sono note nella Valle Rezzolo in Valtellina sui pianori dolcemente ondulati di gneiss ghiandolari molto fratturati e pertanto permeabili (DESIO 1945).

Analoghe a quelle della Valtellina ora ricordate sono le depressioni

negli scisti, nelle ofioliti ed arenarie a grana grossolana con noduli argillosi feldspatici e miche del Monte Penna e del Monte Orsaro nella Val Dordogna nell'area compresa fra l'Appennino Ligure e l'Appennino Parmense descritte dal LOSACCO 1942. L'intensa fratturazione delle rocce affioranti consente una circolazione idrica di tipo carsico nelle arenarie, mentre i depositi argilloso-sabbiosi rimasti in situ, quali residui dell'alterazione chimica o disfacimento delle rocce arenacee, simulano le coltri di terra rossa eluviale che si accumulano al fondo delle depressioni carsiche nei terreni calcarei.

Sia pure con qualche dubbio, sono da ascrivere al tipo dei fenomeni pseudocarsici le *pietraie* e le poche cavità sotterranee naturali scavate nelle arenarie quarzitiche, nelle anageniti e scisti anagenitici del Verrucano (Permiano) del Monte Pisano descritte dal nostro GIANNOTTI 1955-1956. Nonostante che la loro estensione raggiunga al massimo una ventina di metri, la loro origine è dovuta, in massima parte, a processi di disgregazione termoclastica come già il TONIOLO 1906 aveva supposto.

Sempre in Toscana, nei Monti della Calvana, MANCINI 1951 ha riconosciuto fenomeni di aspetto carsico in calcari quasi puri e in calcari marnosi con interstratificazioni di scisti e di arenarie. Nelle doline scavate in questi ultimi terreni l'accumulo di depositi argillosi, rimasti dal disfacimento delle rocce non calcaree, rende lento lo smaltimento delle acque meteoriche dando origine a raccolte d'acqua sul fondo, sul quale prospera una rigogliosa vegetazione.

Pseudocarsiche sono le doline del Herault in Francia descritte da GÈZE 1951, scavate in formazioni scistoso-arenacee del Cambriano e del Carbonifero inferiore per alcune delle quali si è avanzata, sia pure con qualche riserva, l'ipotesi di un'origine meteoritica e quella meno inverosimile di cavità da sprofondamento di strati in masse calcaree molto profonde del Dinantiano (Carbonifero inferiore). La forma, quale appare dalle nitide illustrazioni fotografiche, ricorda quella dei puli del Carso Murciano.

Credo che si possano ascrivere al gruppo dei fenomeni pseudocarsici le ampie cavità di sprofondamento in scisti argillosi e arenarie, rocce evidentemente non carsiche, permeabili per estesa fratturazione, ricoprenti, con notevole potenza (fino a 200 m), le masse di salgemma e di gesso della Conca di Mansfeld presso Rollsdorf in Turingia. La progressiva dissoluzione in profondità del salgemma e del gesso, compiuta dalle acque di penetrazione dall'esterno, ha dato origine ad ampi vuoti sotterranei nei quali sprofondarono le soprastanti rocce scistose ed arenacee (KAMMHOLZ

1968). Come le vaste doline di sprofondamento della Turingia, così quelle di Rollsdorf, Eisleben e Westeregeln nel Harz, corrispondono allo sprofondamento di lembi della superficie del suolo in ampi vuoti originati dalla dissoluzione in profondità di notevoli masse saline e gessose raggiunte dalle acque penetrate dall'esterno attraverso terreni di natura non carsica. KAMMHOLZ 1968 ha introdotto il termine di *Halit- und Sulfatkarst* per indicare i processi di dissoluzione del salgemma e del gesso.

Il PINNA (1958) ha descritto fenomeni analoghi, ma di più modesta entità, nel Volterrano in corrispondenza della formazione di salgemma alla profondità di pochi metri dalla superficie del suolo. L'estrazione del sale, sciolto con getti d'acqua attraverso apposite trivellazioni, crea vuoti sotterranei; il cedimento della volta di questi vuoti si ripercuote in superficie formando depressioni doliniformi generalmente poco profonde e poco estese da comprendere nel tipo delle cosiddette *doline suballuvionali* o *subdetritiche* secondo la nota classificazione del GORTANI (1948, p. 262).

In una diligente rassegna delle grotte ticinesi COTTI 1963 ricorda che il 17% delle cavità sotterranee esplorate si aprono in terreni non calcarei, bensì in rocce eruttive, in gneiss, porfidi, avvertendo che si tratta di grotte diaclasiche in corrispondenza di fratture tettoniche. Il loro sviluppo è talora notevole; il *Büc ad Pilat*, ad esempio, si estende su una lunghezza complessiva di 1.300 m con numerose diramazioni laterali minori lungo diaclasi secondarie, con vaste cavità interne al fondo delle quali sono accumulati enormi massi staccati dalla volta con breccie minuto. La grotta è percorsa da un fiume sotterraneo, l'*Acqua del Pavone*. Il Buco di Pilato è una delle più tipiche grotte di frattura delle quali è ricca d'esempi la letteratura speleologica, a cominciare dalla notissima grotta di Fingal nell'isola di Staffa nelle Ebridi interne (Scozia occidentale)⁽¹⁾.

Il collega LEANDER TELL, eminente studioso ed instancabile esploratore delle grotte svedesi, ha presentato, or sono pochi anni, uno schema di classificazione delle grotte scandinave nel quale ha dato preminente importanza alle grotte di frattura tettonica (*dia - and paraclases or other wide tectonical fissures*) in rocce eruttive. Al secondo posto fra le grotte svedesi l'A. pone le grotte di degradazione esogena da gelivazione negli

⁽¹⁾ Nelle dioriti quarzifere della Punta di Stiletti presso Copanello, sul lido ionico di Catanzaro, si apre la *Grotta di San Gregorio* lunga una trentina di metri e larga circa 20. È una cavità naturale di frattura ampliata dall'erosione marina; il fondo è coperto da uno spesso strato di sabbia portata dal moto ondoso. Nelle immediate vicinanze si aprono piccoli antri di abrasione marina. Una nota descrittiva seguirà la presente segnalazione.

gneiss (in *gneiss freezed in the winter*). Entrambi i tipi si possono senz'altro comprendere tra le grotte pseudocarsiche come le grotte *connected with the glacial phenomena*, le più comuni della penisola scandinava (TELL 1962, 1965).

Sono brevemente ricordate da WOJCİK 1961 dieci piccole cavità naturali (da 2 a 15 m di lunghezza) nel massiccio granitico fratturato di Cubryna presso Morschie Oko negli Alti Tatra in Polonia. L'A. attribuisce la loro origine all'azione corrosiva carsica lungo vene sideritiche che attraversano in varie direzioni le masse granitiche dei Tatra. L'asportazione, durante il Terziario, di una parte dell'originaria copertura sedimentaria espose le vene sideritiche alla degradazione meteorica esogena aprendo in tal modo la via, durante il Quaternario, all'alterazione chimica compiuta dalle acque di penetrazione dall'esterno.

Ricordano i *tafoni* del Massiccio granitico sardo-corso le nicchie e le numerose altre cavità parietali scavate nei graniti riccamente feldspatici di Karkonosze presso la Jelina Gora, delle quali il WOJCİK 1961 dà un breve cenno riassuntivo. L'A. ascrive l'origine di queste cavità alla degradazione meteorica nel corso del Terziario e nel Quaternario fino ai giorni nostri. Le cavità si aprono dove ancor oggi le acque più ricche di anidride carbonica sono particolarmente attive.

In entrambe le località ricordate si tratta di processi di degradazione meteorica in generale, nei quali ha parte predominante l'alterazione chimica della dissociazione idrolitica dell'acqua e sono pertanto da includere tra i fenomeni pseudocarsici come altre manifestazioni analoghe che saranno descritte in seguito.

In alcuni blocchi isolati del Mottarone, il notissimo massiccio granitico che separa il lago d'Orta dal lago Maggiore, il NANGERONI 1950 ha osservato singolari forme di erosione per lo più molto arrotondate testimoni di una progredita fase di degradazione meteorica esogena lungo estese linee di frattura. Accanto a queste forme l'Autore ha notato minuscole depressioni a contorno subcircolare, scavate nel granito, aventi un diametro massimo di 70 cm ed una profondità non superiore ai 60 cm. Alcune di tali *scodelle* — così le ha denominate il NANGERONI — sono isolate, altre sono allineate (evidentemente lungo fratture), altre sono disposte a raggiera e confluenti le une nelle altre, altre infine, le maggiori, mostrano sul fondo cavità minori secondarie. Non mancano esempi di scodelle con un breve solco emissario e con un solco immissario le quali ricordano le analoghe forme dei terreni carsici. Il NANGERONI riconosce in queste cavità scodelliformi l'azione chimica delle acque meteoriche (es-

senzialmente la scissione idrolitica dell'acqua sui silicati) seguita, in un secondo tempo, da processi fisici di gelivazione.

Di vari anni posteriore a quella del NANGERONI è la segnalazione di RASMUSSEN 1959 relativa a forme di erosione, molto simili a quelle del Mottarone, osservare nei graniti del Fichtelgebirge in Baviera, presso Waldstein. Anche in questa regione granitica si notano — accanto a forme di erosione d'aspetto fantastico — modeste cavità poco profonde, a contorno subcircolare il cui diametro oscilla fra i 25 e i 50 cm., raggiungendo raramente un metro. Come le scodelle del Mottarone, ricordano per il loro aspetto generale le *kamenice* dei terreni calcarei del Carso Triestino, del Carso Dalmato, e della Serbia (CVIJIC 1960; GAVRILOVIC 1968; BELLONI & OROMBELLI 1970)⁽¹⁾. Dall'orlo esterno delle cavità più ampie si dipartono solchi di erosione, simili a scannellature carsiche, profondi circa 20 cm ed ampi altrettanto, i quali hanno un andamento meandriforme all'inizio e rettilineo in seguito per l'aumentare della pendenza del terreno roccioso.

Il RASMUSSEN 1959 attribuisce l'origine di queste cavità nei graniti all'azione della vegetazione in periodi climatici caldo-umidi. Pur non escludendo l'attività biochimica degli organismi vegetali, compresa quella derivata dalla decomposizione batterica, è da tener presente soprattutto, nei processi di naturale disfacimento dei graniti, la scissione idrolitica compiuta dall'acqua sui silicati alluminiferi, feldspati e feldspatoidi, la quale aumenta con l'aumentare della superficie rocciosa esposta e con l'aumentare delle precipitazioni.

Presentano un'evidente analogia con le ricordate cavità di disfacimento nei graniti del Fichtelgebirge i cosiddetti *Opferkessel*, segnalati per la prima volta da HEDGES con una sua breve comunicazione personale in data 23 gennaio 1966 e successivamente descritti dallo stesso A. in una sua importante nota del 1969. Col termine di *Opferkessel*, d'ispirazione mitologica germanica, avente significato di bacino offertoriale (per offerte propiziatorie), J. HEDGES illustra cavità naturali poco ampie scavate in rocce di varia natura, anche nei graniti; il diametro medio di queste cavità si aggira sui 2-3 m mentre la loro profondità supera raramente i 30 cm.

(¹) A proposito di queste minuscole cavità nei calcari il D'AMBROSI 1972 osserva che i termini *kamenitze* e *kamenice*, ormai entrati nell'uso, sono del tutto impropri avendo, nella lingua d'origine, il significato di *pietruzze*. E' infatti frequente il caso di notare piccoli frammenti calcarei al fondo delle cavità che l'A. indica molto opportunamente col nome di *vaschette di corrosione* poiché tale è la loro origine.

Oggetto di studio dell'A. sono le cavità nei graniti in località varie degli Stati Uniti d'America delle quali ricordo le principali: Bear Mountain a Sud di Newburg nello Stato di New York, l'Enchantated Rock presso Fredricksburg e le Davis Mountains nel Texas come i Monti Quitman, Yosemite Valley nella California, la Front Range nel Colorado, la Stone Mountain e la Flat Rock nella Georgia.

L'A. si pone il problema, e lo poniamo anche noi, se queste cavità possano entrare nel novero delle forme carsiche. È impossibile una risposta positiva se vogliamo riservare il termine *carsico* alle sole forme originate dall'azione solvente delle acque meteoriche, delle precipitazioni in senso lato, delle piogge, delle condensazioni superficiali (le cosiddette precipitazioni occulte), su rocce più o meno solubili come le carbonatiche, i gessi, i cloruri e i solfati alcalini. Tra i fenomeni paracarsici ho incluso nel precedente capitolo i vistosi fenomeni dell'azione solvente delle acque delle piogge sulle quarziti e arenarie quarzose di Roraima nel Venezuela. È ben diversa invece l'azione delle acque meteoriche sulle rocce eruttive, come i graniti, i cui prodotti di disfacimento restano in minima parte in sito; una notevole parte è dilavata e portata lontano specialmente se è accentuata l'inclinazione del pendio delle superfici rocciose esposte. L'analogia con le forme carsiche dei terreni calcarei, coi solchi, con le kamenitze, è soltanto un'analogia esteriore di forme, non è affatto un'analogia genetica, nonostante sia impossibile prescindere in senso assoluto dalla solubilità di alcuni minerali componenti dei graniti come il quarzo.

In appendice agli Opferkessel, HEDGES descrive altre cavità scavate nel suolo, le *tinajitas* (dallo spagnolo *tinaja* = giara) le quali, già ricordate mezzo secolo fa da alcuni AA. (BRYAN 1920, HUDDEN 1925, KING 1927) e recentemente da BELLONI & OROMBELLI (1970), hanno un'evidente concordanza morfologica con gli Opferkessel. Contrariamente alle kamenitze, che sono esclusive dei terreni calcarei puri, le tinajitas si trovano anche in rocce carbonatiche a struttura microcristallina come nel Texas e in calcari stratificati con banchi di varia potenza alternati a sottili strati di calcare marnoso. Nel Kansas centrale le tanajitas sono scavate in arenarie quarzose omogenee a cemento calcitico o dolomitico, mentre nei monti del Missouri si trovano nelle dolomie. Le loro dimensioni sono pressoché uguali a quelle degli Opferkessel, le maggiori hanno una lunghezza di 3 m, una larghezza di 2 m e una profondità massima di 60-70 cm. Dal fondo liscio emergono elementi rocciosi meno solubili, più resistenti, presenti nella roccia madre. Le pareti interne sono verticali o leggermente aggettanti verso l'alto. Sovente le singole cavità sono collegate fra

loro da solchi irregolari poco profondi; la fusione di due o più cavità vicine dà luogo a forme irregolari ameboidi, come si esprime l'Autore.

Negli Stati Uniti le tinajitas si trovano in regioni aride o semiaride, con moderate precipitazioni piovose (fra 250 e 850 mm annui di pioggia), contrariamente ai bacini offertoriali che sono più frequenti nelle regioni caldo-umide tropicali.

Recentissime osservazioni geomorfologiche di GODARD & coll. 1972 sui processi di degradazione meteorica selettiva nello zoccolo cristallino del Massiccio Centrale francese, segnalano importanti depressioni di varia estensione nei graniti porfiroidi della regione del Morvan Sud-occidentale, noto anche come *Morvan troué* e in quella della Margeride (*Margeride trouée*), altopiano di Sauges (Limousin) e nel Livradois. Alcune depressioni, come quelle di Redon, a Sud-Ovest di Clermont, indicate dagli AA. col nome di *alveoli semplici*, hanno contorno sub-circolare o ellittico della lunghezza intorno agli 800 m ed una larghezza che si aggira sui 200-300 m.

Accanto alle depressioni sopra ricordate se ne trovano altre di molto maggiori dimensioni, il cui asse principale è dell'ordine di vari chilometri; hanno contorno lobato, sinuoso e conservano al fondo resti di paleosuoli terrazzati, come quelle di St. Hilaire nel Morvan scavate nei graniti a biotite.

Nell'altopiano che separa fra loro le maggiori depressioni se ne trovano alcune di minori dimensioni il cui asse è tuttavia di un chilometro di lunghezza, come quella nelle rioliti di Poussignol e quella nei graniti porfiroidi di Petit-St.-Git.

Alcune delle depressioni minori sembrano corrispondere, secondo gli AA., ad intersezioni di linee di frattura e di faglia, come numerose doline carsiche, mentre le depressioni maggiori sono in relazione principalmente con la diversa natura litologica del terreno, come la Conca di Veinezèz (Châtaigneraie cantaliene), corrispondente ad un nucleo granitico di 15 km di lunghezza affiorante da micascisti. Non escludono gli AA. che, in alcuni casi, possa trattarsi di una fossa tettonica svuotata dell'originario riempimento.

Indagando sull'età delle depressioni, nel quadro dell'evoluzione morfologica dello zoccolo granitico del Massiccio Centrale francese, gli AA. riferiscono le depressioni maggiori alla metà del Terziario (dovevano essere definite già nel Neogene) e le conche minori al Pliocene superiore, al Villafranchiano.

Nell'importante nota sono ricordate alcune forme di disfacimento meteorico selettivo, come pinnacoli, funghi, caos di sferoidi, cataste di blocchi,

che costituiscono motivi di curiosità naturali lungo gli estesi costoloni delimitanti le varie depressioni scavate nei graniti a biotite. Alcune delle ricordate forme di disfacimento nei massi granitici sono sfiorate o scalinate lungo le pareti mentre, alla loro sommità, si notano cupole, vasche e tafoni, testimoni di una progredita degradazione esogena superficiale. Ai bordi del Plateau des Dômes presso Etang si osservano vasche in posizione anomala, in blocchi granitici rovesciati e inglobati in masse argillose in lento movimento gravitativo.

Nella genesi di queste forme di degradazione meteorica entrano in gioco processi di alterazione fisica (non esclusi i fenomeni crioclastici) e i processi chimico-biologici come l'azione delle alghe, dei licheni, dei muschi. Sulle pareti granitiche molto inclinate sono riconoscibili solcature parallele che ricordano, nel loro aspetto esteriore, quelle ben note dei terreni carsici calcarei e sono indicate dagli AA. quali *pseudo-lapiés* o *pseudo-karren*. È evidente che non si tratta di processi di dissoluzione idrica superficiale, bensì di disfacimento delle rocce granitiche conseguente all'azione selettiva determinata dalla scissione idrolitica dell'acqua sui silicati di alluminio, come in altre forme di disfacimento dei graniti a cominciare dai notissimi tafoni. Anche nelle regioni del Massiccio Centrale francese le solcature sono frequenti sulle pareti granitiche molto umide da prolungato gemitio di acque non contrastato da eccessivo disseccamento per forte insolazione.

Particolare considerazione meritano i *pozzi di erosione costiera* ricordati dal GORTANI 1953, originati dall'azione solvente delle acque vadose agenti dall'alto in basso, alla quale si associa preminentemente l'erosione marina che si compie dal basso verso l'alto con azione fisico-meccanica compiuta dall'alternarsi di energiche, subitanee compressioni dell'aria in fenditure naturali della roccia con repentine espansioni durante la risacca. È il noto meccanismo dei cosiddetti pozzi soffiati dei nostri litorali marini come quelli dell'isola di Capri (KYRLE 1946-47 e WALDNER 1939), delle isole Tremiti (SQUINABOL 1908), della costa di Polignano a Mare nel Basso Adriatico (BALDACCIO 1961) e della costa palermitana fra la Cala dell'Acqua Santa e la Cala dell'Arenella (CALDO 1970).

Nella letteratura speleologica sono ricordati i pozzi soffiati in rocce geologicamente insolubili come quelli di Kilkee sulla costa dell'Irlanda Sud-occidentale aperti in scisti ardesiaci; evidentemente l'origine di queste forme è legata in massima parte ad azioni fisico-meccaniche (GORTANI 1953).

Alle ricordate azioni essenzialmente fisiche sono da ricondurre le cavità doliniformi originate dallo sprofondamento della volta di sottostanti

grotte scavate dal moto ondoso nei conglomerati di scogliera lungo la costa occidentale della California che HALLIDAY 1960 indica col nome di *litoral pseudokarst* ⁽¹⁾.

Lo stesso Autore ricorda depressioni del suolo e modeste cavità sotterranee in terreni incoerenti (*poorly compacted sediments*) della Carolina negli Stati Uniti d'America, in depositi argillosi e scistosi; analoghi fenomeni si osservano nelle argille scagliose di Figno, presso Scandiano nell'Emilia, descritti da BERTOLANI 1962; si tratta di modeste nicchie formate dal disseccamento, a partire dall'esterno, di umide masse argillose e dal successivo distacco graduale degli strati disseccati dalla volta e dalle pareti. Sono cavità di effimera durata, avviate inesorabilmente alla totale demolizione.

Manifestazioni di degradazione essenzialmente fisica, con forme di diroccamento, sono state riconosciute in terreni argillosi della Sicilia da FLORIDIA 1941, che per primo ha introdotto il termine *pseudocarsico* per questo gruppo di fenomeni.

Rientrano in questo gruppo di processi demolitori della degradazione meteorica esogena le cavità nei detriti di falda cementati dalle acque salienti per capillarità e nei depositi di valanga come i *Forans* della Val Pesarina in Carnia (ANELLI 1933).

Sono evidenti forme pseudocarsiche quelle del deserto sahariano descritte da CONRAD, GÈZE & PALOC 1967 in rocce silicate, fessurate, di natura arenaceo-quarzosa del Cambriano e del Devoniano; alcuni sono profondi solchi di erosione, testate vallive, valli morte con tracce di un'estinta circolazione idrica subalvea. Più evidenti i tafoni, che ricordano quelli della Corsica e della Sardegna, scavati nei graniti a grana molto grossa dalla desquamazione termoclastica procedente dal basso verso l'alto. Nelle regioni desertiche, soggette a forti escursioni termiche diurne, alla energica azione termoclastica si associa la corrasione e la deflazione eoliche che rimuovono i resti dell'alterazione chimica e fisica con formazione di ripari sotto roccia e, non di rado, anche di ampie caverne. Per tali azioni il TRICART 1953 ha proposto il termine di *Termokarst*, accanto a quello di *Cryokarst* scelto per indicare forme pseudocarsiche riferibili esclusivamente ad alterazioni fisiche di disgregazione per gelivazione nelle regioni periglaciali.

(1) Riferendosi ad osservazioni di C. A. COTTON 1945 (p. 291), HALLIDAY 1960 istituisce il termine di *glacier pseudokarst* per indicare i notissimi fenomeni di ablazione sulle masse di ghiaccio con formazione di depressioni in superficie (simili a doline carsiche), di inghiottitoi, pozzi glaciali, crepacci, generati questi ultimi da tensioni per sforzi di trazione nelle masse di ghiaccio in movimento.

Sempre nelle distese desertiche sahariane meridionali, nella zona del Lago Ciad, si hanno affioramenti di acqua alla base di picchi di riolite (corrispondente effusivo dei graniti). Enormi cupole attraversate da fratture primarie in dipendenza della loro fessurazione prismatica colonnare sono qua e là sfiorate da modeste cavità sotterranee naturali. Il raccogliersi di vene idriche in queste rocce vulcaniche può dare l'impressione di una rete idrica sotterranea di tipo carsico come nei calcari.

È discutibile l'inclusione delle grotte vulcaniche tra i fenomeni pseudocarsici: la loro origine deriva da processi costruttivi, sia che si tratti di grotte originate dall'espansione di gas e vapori in magmi intrusivi ancora in fase di consolidamento, sia che si tratti di grotte di scolamento lavico in magmi effusivi. Siamo ben lontani, in entrambi i casi, da processi solventi o idrolizzanti delle acque meteoriche. Non si hanno pertanto aspetti morfologici esteriori e ancor meno nessi genetici coi fenomeni carsici o di tipo carsico. Ho già avuto occasione (ANELLI 1963) di esprimere, a questo proposito, un forte dubbio sull'azione solvente invocata da PALMER 1927 sulla formazione dei *lapies-like features* nelle lave basaltiche delle Hawaii.

Non lascia invece alcun dubbio assegnare al tipo pseudocarsico la caratteristica morfologia delle distese laviche di colore bruno nerastro con superfici molto accidentate, caotiche, come le descrisse il compianto collega CORBEL 1957 illustrando l'arido suolo dell'Islanda Sud-occidentale nella sua pregevole monografia sulle regioni carsiche dell'Europa Nord-occidentale. Si tratta di un'analogia molto spiccata morfologica e strutturale, tuttavia puramente esteriore, coi tipici aspetti dei paesaggi carsici dei tavolati calcarei più importanti d'Europa. Cavità sotterranee, scrive l'Autore, voragini, fiumi sotterranei che alimentano grosse risorgenti, pseudo-stalattiti e stalagmiti nelle grotte laviche creano una perfetta illusione, per cui, prosegue il CORBEL, non si può fare a meno di dare al paesaggio *l'épîtète de sub-karstique*. Si osservano le caratteristiche *pietraie* o *campi di pietrisco*, ma sono generati da processi di degradazione fisica, da intensa gelivazione; sono conseguenti a forti tensioni meccaniche gli estesi e profondi crepacci attraverso i quali le acque meteoriche alimentano un'attiva circolazione idrica accusata da sorgenti d'impragnazione sgorganti lungo i margini settentrionali delle colate laviche tabulari della grande isola.

Un posto speciale, tra le cavità pseudocarsiche, spetta alla *Voragine di Golgo* o *Cratere Vecchio* nell'Ogliastra (Sardegna Sud-orientale); è una dolina imbutiforme a sezione trasversale ellittica del diametro massimo di 70 m che scende per 30 m in una colata basaltica di pochi chilometri

quadrati di estensione ricoprente i calcari mesozoici. Le acque delle precipitazioni meteoriche, attraversate le fratture che solcano le lave basaltiche, hanno continuato la loro discesa lungo le litoclasti delle sottostanti bancate calcaree scavandovi una voragine profonda 240 m, in asse verticale con la soprastante dolina (FURREDDU 1962, FURREDDU & MAXIA 1964).

Anche in questo secondo contributo alla conoscenza del fenomeno carsico mi sono limitato alle linee generali dell'importante tema di studio; altri esempi, altre considerazioni potevano essere presentati, anche di casa nostra, a chiarimento di alcune particolari manifestazioni che, non lo nascondo, mi hanno lasciato talora giustificate perplessità nella loro assegnazione all'uno o all'altro dei tre fondamentali gruppi dei fenomeni carsici considerati.

Una più ampia casistica avrebbe sicuramente portato più validi argomenti al riconoscimento delle forme, a cominciare da quelle carsiche propriamente dette, dalle più tipiche, originate, com'è noto ai cultori dei nostri studi, dalla dissoluzione compiuta dalle acque meteoriche su rocce geologicamente solubili come i calcari puri o quasi puri, i gessi. Per questo primo e più importante gruppo di manifestazioni morfologiche e idrologiche molto si è scritto e si è discusso in questi ultimi anni nelle riunioni nazionali e internazionali di speleologia e di geografia. Non è mancato il confortante contributo dei nostri giovani allievi e collaboratori, che hanno talora presentato idee nuove fondate su più recenti concezioni della complessa morfogenesi carsica in relazione con le condizioni climatiche, con la natura geolitologica del suolo, come ho ricordato all'inizio di questa mia nota; il campo della ricerca si allarga sempre più.

Dal primo nostro Congresso nazionale di Speleologia, tenuto a Trieste nel giugno del 1933, al nostro Seminario di Speleogenesi di questi giorni molto cammino si è compiuto; conoscenze nuove si sono aggiunte a quelle di una quarantina d'anni fa, si è notevolmente ampliato il già vasto campo delle nostre ricerche grazie anche al contributo non indifferente di varie scienze come la geochimica, la fisica terrestre, anche della biologia. È noto che la vita vegetale, dalle crittogame alle fanerogame superiori, concorre, sia pure in misura non predominante e in ogni caso più lenta, allo sviluppo di particolari forme di corrosione superficiale in regioni di alta piovosità e con elevate medie termiche annuali e diurne (DE FANTI 1971).

L'attivo contributo di volenterosi collaboratori può dare nuovi preziosi risultati ai nostri studi sul carsismo, se guidato da vera passione,

da mente aperta alla ponderazione dei molti problemi costituenti gli aspetti positivi delle nostre conoscenze.

Anche lo studio dei fenomeni paracarsici e pseudocarsici meno complessi, poco vistosi rispetto a quelli dei calcari, merita la nostra attenzione per i particolari aspetti morfologici coi quali essi si manifestano, per i problemi idrologici che possono presentare in alcune regioni anche del nostro Paese.

BIBLIOGRAFIA

- ANELLI F., 1933 - *Le grotte della Val Pesarina*. Le Grotte d'Italia, VII, 1, p. 3-22, Trieste.
- ANELLI F., 1957-1958 - *Nomenclatura italiana dei fenomeni carsici*. Le Grotte d'Italia, (3), II, p. 5-36, Castellana-Grotte.
- ANELLI F., 1963 - *Fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici*. Giornale di Geologia, (2), XXXI, p. 11-25, Bologna.
- ANELLI F., 1963a - *Fenomeni paracarsici nei calcari grossolani terziari e quaternari delle Murge e del Salento in Puglia*. Dritter Intern. Congr. f. Speläol., 2, p. 139-206, Wien.
- AZZAROLI A., RADINA B., RICCHETTI G. & VALDUGA A., 1968 - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia, F. 189, Altamura*. Serv. Geol. Italia, p. 1-20, Roma.
- AZZAROLI A. & VALDUGA A., 1967 - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia, F. 177-178, Bari e Mola di Bari*, p. 1-26, Roma.
- BALDACCÌ O., 1961 - *Un «soffio-cannone» a Polignano a Mare (Puglia)*. Boll. Soc. Geogr. Ital., p. 624-626, Roma.
- BELLONI S. & OROMBELLI G., 1970 - *Osservazioni e misure su alcuni tipi morfologici nei campi solcati del Carso triestino*. Atti Soc. It. Sc. Nat. e Museo Civ. St. Nat., 110, f. 4, Milano.
- BERTOLANI M., 1962 - *Particolare ambiente minerogenetico di una grotta nelle argille scagliose emiliane*. Actes II Congr. Int. Spéléol. (Bari, Lecce, Salerno 1958) p. 220. 225, Castellana-Grotte.
- BINI A. & JUNGINGER G., 1972 - *Il fenomeno carsico costiero di Testa del Gargano*. Il Grottesco (Boll. interno G. G. M. - S. E. M.), XXV, 26, p. 31-50, Milano.
- BISSANTI A. A., 1966 - *La Dolina Pozzatina nel Gargano*. Riv. Geogr. Ital., LXXIII, 3, Firenze.
- BOUQUET C., MARTI A. & MICHEL J., 1962 - *Cavités en terrain non calcaire*. Actes II Congr. Int. Spéléol. (Bari, Lecce, Salerno 1958), Tome I, p. 143-149, Castellana-Grotte.
- BRYAN K., 1920 - *Origin of Rock Tanks and Charcos*. Am. Journ. Sci., 4, 50, p. 188-206, New Haven.
- CALDO C., 1970 - *Un «soffio cannone» suborizzontale nella costa a nord di Palermo*. Boll. Soc. Geogr. Ital., (IX), XI, 1-3, p. 110-113, Roma.
- CIGNA A., 1961 - *La meteorologia nelle grotte*. Atti Conv. Speleol. «Italia 61», p. 89-98, Torino.

- CONRAD G., GÈZE B. & PALOC H., 1967 - *Phénomènes karstiques et pseudokarstiques du Sahara*. Revue Géogr. Phys. et Géol. Dynam., (2), IX, 5, p. 357-370, Paris.
- CORBEL J., 1957 - *Les Karsts du Nord-Ouest de l'Europe et de quelques régions de comparaison*. Inst. Etudes Rhodaniennes Univ. Lyon, Mem. et. Docum., 12, p. 258-263.
- COTTI G., 1963 - *Le grotte non calcaree nel Canton Ticino*. Rass. Speleol. Ital., XV, 3, Como.
- COTTON C. A., 1945 - *Geomorphology*. 4th Ed., Whitcomb & Tombs, Christchurch (N. Zelanda).
- CVIJIC J., 1925 - *Types morphologiques des terrains calcaires*. C. R. Acad. Sciences, T. 180, p. 592, 757, 1038.
- CVIJIC J., 1960 - *Le géographie des terrains calcaires*. Monogr. Acad. Serbe Sciences et Arts, T. CCCXLI, Cl. Sc. matem. et nat., n. 26, Belgrad.
- D'AMBROSI C. & FORTI F., 1967 - *Prime osservazioni discriminatorie tra fenomeni carsici e paracarsici nella Regione Friuli-Venezia Giulia*. Le Grotte d'Italia, (IV), I, p. 109-129, Castellana-Grotte.
- D'AMBROSI C., 1972 - *Il « metodo della ricerca integrale sul carsismo » a proposito dei fenomeni carsici, paracarsici e pseudocarsici con particolare riguardo al Carso di Trieste*. Atti Museo Civico di Storia Nat., XXVIII, I, 5, p. 111-136, Trieste.
- DE FANTI A., 1971 - *Forme di corrosione dovuta a microrganismi osservate nel Gruppo del Civetta (Alpi Dolomitiche)*. Boll. Soc. Geogr. Ital., (IX), XII, 10-12, p. 605-618, Roma.
- DESIO A., 1945 - *Sull'origine delle sorgenti « Le Gande » in Valle di Rezzato (Valtellina) e sulla presenza di forme di tipo carsico negli gneiss*. Rend. Ist. Lomb. Scienze e Lett., LXXVIII, p. 15-20, Milano.
- FLORIDIA G. B., 1941 - *Un particolare fenomeno pseudocarsico manifestato da alcune argille*. Boll. Soc. Scienze Nat. Econ., 23, Palermo.
- FRANC C., 1953 - *Sur la formation des gouffres de bas en haut*. Actes I Congr. Int. Spéléol., Tome II, p. 33-34, Paris.
- FURREDDU A., 1962 - *Ultime scoperte in Sardegna*. Actes II Congr. Intern. Spéléol. (Bari, Lecce, Salerno 1958), T. I. p. 226-232, Castellana-Grotte.
- FURREDDU A. & MAXIA C., 1964 - *Grotte della Sardegna*. Ed. Sarda, Frat. Fossataro, pp. 310, Cagliari.
- GAVRILLOVIČ D., 1968 - *Kamenice, kleine Korrosionsformen im Kalkastein*. Actes IV Congr. Intern. Spéléol., T. III, p. 127-133, Ljubljana.
- GÈZE B., 1951 - *Sur la genèse des cavités souterraines et des dolines dans les roches non karstiques*. Annales d. Spéléol., IV, f. 2-3, p. 63-66, Moulis (Ariège).
- GIANNOTTI R., 1955-56 - *Cavità nel Verrucano del Monte Pisano*. Le Grotte d'Italia, (3), 1, p. 26-29, Castellana-Grotte.
- GODARD A. et coll., 1972 - *Quelques enseignements apportés par le Massif Central Français dans l'étude Géomorphologique des socles cristallins*. Revue Géogr. Phys. et Géol. Dyn., (2), XIV, 3, p. 265-296, Paris.
- GORTANI M., 1909 - *Fenomeni carsici nei terreni paleozoici della Carnia orientale*. Mondo Sotterr., V, p. 3-5, Udine.
- GORTANI M., 1933 - *Per lo studio idrologico e morfologico delle regioni carsiche e semicarsiche italiane*. Atti I Congr. Speleol. Naz., p. 102-115, Trieste.
- GORTANI M., 1937 - *Per lo studio delle aree carsiche e semicarsiche italiane*. Atti XIII Congr. Geogr. Ital., p. 122-126, Udine.

- GORTANI M., 1948 - *Compendio di Geologia per Naturalisti e Ingegneri. Vol. II, Geodinamica esterna (Geologia esogena)*. P. 292, Del Bianco Ed., Udine.
- GORTANI M., 1953 - *Appunti sulla classificazione dei pozzi naturali*. Actes I Congr. Intern. Spéléol., T. II, sect. I, p. 25-28, Paris.
- GORTANI M., 1965 - *Le doline alluvionali*. *Natura e Montagna*, 5, 3, p. 120-128, Bologna.
- GORTANI M., 1966 - *Doline alluvionali in Carnia*. *Mondo Sott.*, Num. unico, pp. 7.
- GRUND A., 1914 - *Der Geographisches Zyklus im Karst*. *Zeitschr. d. Gesell. f. Erdkunde*, p. 621-640, Berlin.
- HALLIDAY W. R., 1954 - *Pseudokarst*. *Nat. Spel. Soc. Salt Lake Grotto. Tech. Note*, 25 Nov.
- HALLIDAY W. R., 1960 - *Pseudokarst in the United States*. *Bull. Nation. Speleol. Soc.*, 22, 2, p. 109-113.
- HEDGES J., 1969 - *Opferkessel*. *Zeitschr. f. Geomorph. (N. F.)*, 13, 1, p. 22-55, Berlin-Stuttgart.
- KAMMHOLOZ H., 1968 - *Intensität der Karstprozesse. Halit- und Sulfatkarst und seine Erscheinungsformen aus der Erdoberfläche*. Actes IV Congr. Internat. Spéléol., T. 3, p. 161-164, Ljubljana.
- KING P. B., 1927 *Corrosion and corrasion on Barton Creek, Austin, Texas*. *J. Geol.*, 35, p. 631-638, I Reprint (1964), Johnson Reprint Corp., New York-London.
- KNEBEL W., 1906 - *Höhlenkunde*. F. Vieweg u. S. ed., Braunschweig.
- KOSAK H. P., 1952 - *Die Verbreitung der Karst und Pseudokarst-erscheinungen über die Erde. Ein Beitrag zur Karstforschung und Hydrographie*. *Petermans Geogr. Mitteil.*, 96 Jahrg., p. 16-22.
- KRAUSKOPF K. B., 1956 - *Dissolution and Precipitation of Silica at low temperature*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 10, p. 1-26.
- KYRLE G., 1923 - *Theoretische Speläologie*. *Monogr. Speläol. Institut*, pp. 353, Österreich. Staatsdruck., Wien.
- KYRLE G., 1946-1947 - *Le grotte dell'isola di Capri. Studio sul carsismo dell'isola con riguardo ai movimenti di spiaggia*. Versione dal tedesco di F. Anelli. *L'Universo*, XXVI, 2, XXVII, 1, 2, pp. 104, Firenze.
- LEHMAN O., 1932 - *Die Hydrographie des Karstes*. *Enzyklopädie d. Erdkunde F. Deuticke*, edit. Leipzig e Wien, 212 pp.
- LLOPIS LLADO N., 1952 - *Sobre algunos principios fundamentales de morfología e hidrología carstica*. *Speleon*, III, p. 1-2, Oviedo.
- LLOPIS LLADO N., 1953 - *Karst holofofosile et merofosile*. 1^{er} Congrès Internat. Spéléol., II, p. 44-50, Paris.
- LOSACCO U., 1942 - *Fenomeni pseudocarsici nell'Appennino Settentrionale*. *L'Universo*, XXIII, 6, p. 325-343, Firenze.
- MAGNANI M. J., 1962 - *Fenomeni carsici e pseudocarsici, depressioni chiuse grotte e cavità naturali in rocce non calcaree o gessose del territorio argentino* (Riassunto). Actes II Congr. Int. Spéléol. (Bari, Lecce, Salerno 1958), Tome I, p. 369, Castellana-Grotte.
- MALAVOLTI F., 1943 - *Fenomeni carsici nei calcari del Miocene medio emiliano*. *Atti Soc. Naturalisti e Matematici di Modena*, LXXIV.
- MANCINI F., 1951 - *Contributo alla conoscenza dei fenomeni carsici nei Monti della Calvana*. *Atti V Congr. Naz. Speleol. (Salerno)*, p. 108-119, Tip. F.lli Di Giacomo, Salerno.

- MARTEL E. A., 1921 - *Nouveau traité des eaux souterraines*. Doin, Paris.
- MAUCCI W., 1960 - *Contributo per una terminologia speleologica italiana*. Boll. Soc. Adriatica di Scienze, 51, p. 203-228, Trieste.
- MONTORIOL POU S. J., 1951 - *Los procesos clásticos hipogeos*. Rass. Speleol. Ital., III, 4, p. 119-129, Como.
- NANGERONI G., 1950 - *Forme di degradazione meteorica nei graniti del Mottarone (Lago Maggiore)*. Natura, XLI, 3-4, p. 59-74, Milano.
- OROFINO F., 1972 - *Primo saggio di bibliografia speleologica pugliese*. Rass. Speleol. Ital., XXIV, 1, p. 1-17, Como.
- PAGLIANI A., 1972 - *Note sul fenomeno carsico nel Comune di Sannicandro Garganico*. Il Grottesco (Boll. interno G.G.M.-S.E.M.), XXV, 26, p. 7-30, Milano.
- PALMER H. S., 1927 - *Lapiés in Hawaii basalts*. Geogr. Rev., V, 19, p. 627.
- PASINI G., 1967 - *Osservazioni sui canali di volta delle grotte bolognesi*. Le Grotte d'Italia, (4), I, p. 17-74, Castellana-Grotte.
- PASINI G., 1967a - *Nota preliminare sul ruolo speleogenetico dell'erosione antigravitativa*. Le Grotte d'Italia, (4), I, p. 75-88, Castellana-Grotte.
- PINNA M., 1958 - *Modificazioni morfologiche superficiali in rapporto con l'estrazione del salgemma in Val di Cecina*. Ist. Geogr. Univ. Pisa, Pubbl. 6, p. 67-86.
- RASMUSSEN G., 1959 - *Karstformen in Granit des Fichtelgebirges*. Die Höhle, 10, 1, p. 1-5, Wien.
- RENAULT P., 1953 - *Caractères généraux des grottes gréseuses du Sahara meridional*. Actes I Congr. Int. Spéléol., Tome II, p. 275, Paris.
- REUTER F., 1968 - *Ein Beitrag zur Klassifizierung von Karsterscheinungen in Salz- und Gipsgebieten*. Actes IV Congrès Internat. Spéléol. T. III, p. 205-211, Ljubljana.
- SEGRE A. G., 1948 - *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*. Pubbl. Ist. Geogr. Univ. Roma, (A), 7.
- SOMMARUGA C., 1949 - *Cavità sotterranee naturali in arenarie permo-triassiche*. Rass. Speleol. Ital., I, 2-3, p. 26-27, Como.
- SQUINABOL S., 1908 - *Riassunto di uno studio geofisico sulle isole Tremiti*. Atti Accad. Sc., 43, p. 576-581, Torino.
- TELL L., 1962 - *Die Höblentypen Schwedens*. Archives Swedish Speleology, 3, pp. 23, Norrköping.
- TELL L., 1965 - *Some remarks on Swedish speleology*. Geografiska Annaler, 47, Ser. 1, p. 61-64.
- TONIOLO A. R., 1906 - *Cavità di disfacimento meteorico nel Verrucano del Monte Pisano*. Riv. Geogr. Ital., XII.
- TRENER G. B., 1933 - *La distribuzione geologica e geografica dei fenomeni carsici nella Venezia Tridentina*. Atti I Congr. Spel. Naz., p. 97, Trieste.
- TRICART J., 1953 - *Cours de Géomorphologie. II Partie. Géomorphologie climatique*, C.D.U. Tournier et Coustant, Paris.
- UDDEN J. A., 1925 - *Etched Potholes*. Univers. Texas Bull., 2509, pp. 9, Austin.
- VALDUGA A., 1965 - *Contributo alla conoscenza geologica delle Murge Baresi*. Ist. Geol. Paleont. Univ. Bari, I, p. 1-14, Bari.
- WALDNER F., 1939 - *Über Spritzlöcher an Steilküsten*. Mitteil. ü. Höhlen- u. Karstforschung., p. 87-89, Wien.

- WHITE W. B., JEFFERSON G. L. & HAMAN J. F., 1967 - *Quarzit Karst in Southeastern Venezuela*. Intern. Journ. Speleology, II, p. 4, p. 309-314.
- WOJCIK Z., 1961 - *Caves in granites in the Tatra Mountains*. Akten Dritten Intern. Kongr. Speläol., Bd., A, p. 43-44, Wien.
- WOJCIK Z., 1961a - *Karst Phenomena and Caves in the Karkonosze Granites*. Akten Dritten Intern. Kongr. Speläol., Bd. A, p. 44, Wien.

DISCUSSIONE SULLA RELAZIONE

DI

F. ANELLI

CIGNA. Sono particolarmente grato al Prof. ANELLI per la sua relazione, che è il frutto, il condensato (i chimici direbbero il residuo secco) di anni ed anni di esperienze. Quindi quello che il Prof. ANELLI ha esposto in tempo così breve in realtà è una massa di dati, una massa di notizie veramente considerevoli: soltanto uno studioso con un'esperienza come la sua poteva portare qui un contributo di questo tipo.

Passiamo ora alla discussione.

PERNA. Il Prof. ANELLI ha parlato di carsismo nelle dolomie ricordando il Cavernone di Planina presso Postumia. Voglio ricordare che nel Trentino abbiamo la Grotta della Vallesinella, la Grotta della Bigonda e la Grotta del Calgeron aventi complessivamente uno sviluppo di 10-15 km. Sono forse le più estese grotte delle Alpi e sono interamente scavate nella Dolomia principale superiore. Si tratta di dolomie purissime. Della dolomia della Vallesinella è stata eseguita l'analisi chimica, è risultato che si tratta di una dolomia stechiometrica. Bisognerebbe studiare un po' l'equilibrio della dolomia in presenza di CO_2 ed affrontare poi i problemi relativi alla solubilità della roccia.

Per quanto riguarda il carsismo nelle quarziti della Grande Savana venezuelana, bisognerebbe vedere se si tratta di quarziti pure o di quarziti contenenti, ad esempio, carbonato di calcio. Comunque più che un problema di temperatura, è un problema di acidità della soluzione; non dobbiamo dimenticare che nei paesi tropicali la presenza di abbondante vegetazione determina un aumento dell'anidride carbonica nel miscuglio atmosferico, mentre vari sali sono disciolti nelle acque di deflusso superficiale.

BOEGLI. Una breve risposta al Prof. PERNA: La Grotta di Vallesinella è lontana dall'essere la più estesa grotta delle Alpi, poiché noi abbiamo in Svizzera la Hölloch con 115,3 km e l'Eisriesenwelt in Austria con 42 km.

Per il Prof. ANELLI ho tre appunti. Primo: se ho ben compreso, c'è una difficoltà di definizione. Purtroppo la definizione per i fenomeni *paracarsici* dev'essere la stessa dei fenomeni carsici, con la differenza che per il termine paracarsico la definizione ha valore più ristretto; paracarso è quindi un vero carso, ma con forme poco sviluppate perché originate in rocce meno solubili. Aggiungo che il disfacimento compiuto dalle acque delle precipitazioni meteoriche è più rapido nelle rocce paracarsiche che nei comuni calcari.

Ma io conosco grotte molto sviluppate in arenarie e conglomerati, per esempio a Majorca, con elementi di rocce silicee e calcaree. In queste rocce si hanno sovente forme paracarsiche; c'è un *lapiéz* molto noto, con tipiche scanalature scavate in rocce contenenti elementi silicei, lavici e di altra natura. Dov'è allora la differenza nella definizione proposta per i fenomeni paracarsici se non possiamo considerare la natura litologica della roccia e la sua solubilità? Si dovrebbe in-

troddurre l'elemento velocità del disfacimento per degradazione meteorica per avere una definizione valida.

Veniamo al secondo punto: mi riferisco al termine *Merokarst* del CVJIČ. Se *Merokarst* significa carsificazione parziale, cosa si deve intendere per carsismo completo? Se ci riferiamo, ad esempio, ai *polja* o ai *lapiéz*, si è di fronte a un *Merokarst* secondo il CVJIČ. Egli considera in questo caso il Carso jugoslavo come carso completo mentre tutti gli altri tipi sarebbero *Merokarst*. Ciò non sarebbe esatto, poiché il Carso jugoslavo rappresenta una determinata forma climatica e si sa d'altra parte che non esiste un carso, ma molti carsi: ad esempio il carso d'alta montagna (come sulle Alpi), il carso jugoslavo, il carso costiero, il carso tropicale, come pure il carso tipico delle Murge in Puglia (dove le Grotte di Castellana attestano che si tratta di un vero carso).

Il terzo piccolo punto è costituito dalle grotte laviche; se queste cavità vengono incluse nella speleologia, si dovrebbe parlare di *vulcano-speleologia*. Per alcuni Paesi questa distinzione è molto importante, poiché noi dovremmo distinguere allora la vulcano-speleologia dalla carso-speleologia.

TRIMMEL. Permettete che io aggiunga qualche osservazione sul problema del paracarsismo, che mi sembra interessante dal punto di vista delle difficoltà che si incontrano nella terminologia. E' una considerazione che si aggiunge agli interventi del collega BOGLI. Cos'è il *paracarlo*? Il collega ANELLI ha distinto i fenomeni carsici dai fenomeni paracarsici. Ci sono pertanto, mi sembra, due diverse possibilità d'interpretazione. Abbiamo ora discusso che tra i fenomeni carsici noi comprendiamo anche un carsismo incompleto e tra i fenomeni paracarsici un carsismo parziale.

In un caso le forme superficiali del carso sono ben sviluppate, sono forme tipiche. Nell'altro caso invece le forme carsiche di superficie non sono complete, mancano ad esempio le tipiche doline. Si tratta in entrambi i casi di una roccia che può essere molto carsificabile (può trattarsi, ad esempio, dello stesso calcare): in una regione ci sono però forme superficiali complete, mentre in un'altra si hanno forme incomplete. E' un punto di vista. A mio giudizio in entrambi i casi si tratta di autentici fenomeni carsici e non paracarsici.

Esiste una difficoltà nel definire il termine carso. Carso e carsismo sono caratterizzati soprattutto dall'idrologia sotterranea. Le forme superficiali tipiche sono un secondo aspetto, che mi sembra meno importante del fenomeno relativo all'idrologia sotterranea tipica del carso; se l'idrologia sotterranea di tipo carsico è sviluppata in una regione, si tratta di una regione con fenomeni carsici, anche nel caso che le forme superficiali non siano sviluppate completamente.

Il secondo punto di vista si riferisce al termine «paracarlo»; noi abbiamo fenomeni carsici in rocce carsificabili o rocce molto carsificabili, e fenomeni in rocce poco carsificabili. Si tratta di due diverse terminologie. Le rocce poco carsificabili sono le rocce che hanno una solubilità minore di quella delle tipiche rocce carsificabili, e che quindi non consentono lo sviluppo dell'insieme dei fenomeni superficiali e sotterranei veramente tipici del carsismo. E' il caso, ad esempio, dei calcari marnosi, di talune brecce; soltanto in queste rocce si riscontra un paracarlo, nel senso al quale io penso si debba limitare questo termine.

Forse — io vorrei venisse discusso questo mio punto di vista — si possono anche definire le rocce poco carsificabili nel senso che si tratta di rocce nelle quali lo sviluppo dell'idrologia sotterranea non è condizionato tipicamente da faglie e diaclasi, come nelle comuni rocce carsiche. Si potrebbe forse dire d'altro canto che le rocce nelle quali si possono riscontrare fenomeni di tipo paracarsico hanno un certo grado di porosità. Anche nelle rocce porose c'è un'idrologia sotterranea, ma questa è di un altro tipo rispetto a quella carsica normale. Questa distinzione merita forse d'essere discussa, potendo costituire la fondamentale differenza fra carso e paracarlo.

PASQUINI. Faccio una considerazione sul *carso completo*. Nel carso completo, è stato detto, le forme di superficie hanno raggiunto completo sviluppo. Mi sembra però che sia una definizione parziale. Si dovrebbe prendere in esame l'intero

massiccio carsico indagando sul ciclo di evoluzione carsica anche in rapporto con l'idrologia sotterranea, per la quale si può avere un carsismo completo anche sotto una copertura boscosa o di altro tipo, che superficialmente non dia affatto l'impressione di una completa carsificazione. Venendo all'esposizione del Prof. ANELLI, io pongo una domanda: possiamo chiamare *morfologie paracarsiche* quelle che si manifestano in rocce non facilmente carsificabili, nelle quali sono scavati alcuni tratti di cavità sotterranee, ma che non presentano le tipiche forme carsiche di superficie? Sono note gallerie naturali, prive delle caratteristiche morfologiche carsiche, scavate in rocce scistose, in arenarie. In queste cavità si incontrano frane che ricordano sia quelle delle cavità carsiche, sia quelle esterne. Potremmo includere queste cavità nel gruppo delle forme paracarsiche?

PASTORINO. Sto studiando da alcuni anni cavità naturali in conglomerati dell'entroterra genovese. Si tratta di puddinghe a cemento quasi esclusivamente calcareo, con elementi sia calcarei, sia ofiolitici. In questi massicci conglomeratici si formano, soprattutto verso le parti periferiche, ma talora, in seguito a grandi movimenti tettonici, anche nelle zone interne, delle grandi spaccature entro cui il materiale di frana viene a costituire delle cavità. Non credo che si possano includere queste cavità, che sono in fondo di frattura e di crollo, fra le grotte pseudocarsiche in quanto, se ho capito bene, il concetto di pseudocarso implica sempre un'azione di modellamento da parte delle acque meteoriche, cosa che in questi casi non si verifica. In quale gruppo possiamo quindi includere queste cavità naturali?

Una seconda domanda. All'interno di queste cavità si osservano evidenti segni litogenetici, poiché il cemento calcareo delle puddinghe spesso dà origine a concrezioni parietali talora di potenza considerevole. Per questi ultimi fenomeni, che non mi sembrano neppure pseudocarsici, si può parlare di paracarsismo?

CAPPA. All'esposizione del Prof. ANELLI sui fenomeni *pseudocarsici* vorrei aggiungere qualche mia considerazione relativa a fenomeni in terreni non completamente carsificati.

In Sardegna, ove mi reco ogni anno, mi sono dedicato anche ad osservazioni sulle cavità delle rocce vulcaniche, in particolar modo su quelle delle isole di Sant'Antioco e di San Pietro: si tratta di decine di cavità la cui lunghezza raggiunge i 70-80 m, talora anche 100 m. A differenza però delle grotte dell'Islanda, non si tratta di grotte a scolamento lavico, ma di fratture tettoniche ampliate dall'abrasione marina, e probabilmente anche dalle acque meteoriche con processi analoghi a quelli pseudo-carsici. Cito ad esempio la Grotta del Bue Marino dell'isola di San Pietro, in cui si osservano distintamente le due fratture lungo le quali è stata scavata la cavità, lunga un'ottantina di metri e attualmente allagata dal mare per circa due terzi della sua lunghezza. Nel tratto non invaso dal mare c'è una spiaggia di massi. La cavità ha una forma cilindroide, che non può essere attribuita alla sola abrasione marina.

In questa grotta si rinvennero bellissime concrezioni calcitiche: la grotta è scavata in rocce laviche molto acide (si tratta di lave liparitiche o commenditiche ad altissima acidità e di tufi della stessa natura) e in essa si verificano fenomeni di dissoluzione, che interessano in parte elementi calcitici. Si tratta quindi di fenomeni che si accostano a quelli carsici; nel suo insieme comunque la cavità è classificabile come pseudocarsica.

Nell'isola di San Pietro si osservano inoltre dei *tafoni*, cavità di degradazione meteorica nella quale c'è un componente dovuto all'acqua delle precipitazioni. Si tratta di gallerie naturali che talora attraversano interamente, da una parte all'altra, qualche quinta rocciosa. Per queste forme non si può parlare di fenomeno carsico; tuttavia non siamo di fronte alle tipiche forme della Sardegna settentrionale. Vi mostro ora una serie di diapositive fatte all'Isola di S. Pietro (costituita quasi esclusivamente da colate laviche e da tufi), in cui potete vedere la Grotta delle Oche, larga localmente 20-30 m, con volte altrettanto alte, parzialmente navigabile; tratti di costa estremamente ricchi di cavità scavate in rocce laviche, sovrastati da zone pianeggianti che facilitano naturalmente la penetra-

zione dell'acqua in profondità attraverso le fratture e lo sviluppo dei fenomeni paracarsici; cavità di abrasione marina sviluppatasi nella zona di contatto tra le rocce laviche e i tufi; faraglioni molto simili a quelli che frequentemente si trovano lungo le coste calcaree; forme di erosione nei tufi litoidi compatti tipiche delle arenarie calcaree affioranti in altre isole del Mediterraneo, come a Favignana, nelle Egadi; gallerie scavate nei tufi litoidi lunghe 50-60 m e che scendono fino a 10-15 m sotto il livello marino; colonne e pilastri di abrasione marina lungo le falesie tufacee del Golfo di Mezzaluna.

Concludendo, vorrei attirare la vostra attenzione sul fatto che i fenomeni pseudocarsici nelle regioni laviche e tufacee della Sardegna, finora trascurate dagli speleologi, meritano veramente di essere studiati.

MAUCCI. Vorrei fare alcune osservazioni di carattere generale. Noi abbiamo una spiccata tendenza a fare delle precisazioni terminologiche, delle classificazioni sistematiche. Cerchiamo di ricordarci che queste terminologie, queste sistematiche, devono essere uno strumento e non facciamocene schiavi. Quindi lasciamo ampia possibilità di fluttuazione da un termine all'altro.

La seconda osservazione che volevo fare si riferisce ai fenomeni *pseudocarsici*, per i quali io proporrei un po' di limitazione; noi speleologi, considerando le grotte come l'aspetto forse più tipico e più classico del fenomeno carsico, siamo portati a chiamare pseudocarsico qualsiasi tipo di grotta, e quindi anche le grotte laviche, le grotte di abrasione marina, ecc. Io penso che il concetto di pseudocarsico dovrebbe essere ristretto a quelle forme che non sono carsiche, cioè non si ricollegano alla genesi tipica dei fenomeni carsici, ma che a un esame superficiale potrebbero essere scambiate per tali. Perché dove la differenza è chiara, palese, lampante, l'introduzione di questo concetto di pseudocarsico rischierebbe quasi di creare delle confusioni, di creare dei ravvicinamenti di ordine generico e morfologico assolutamente infondati. Quindi limitiamo il significato di carso, di paracarso e anche soprattutto di pseudocarso, perché altrimenti non si finirebbe più; a un certo punto una cantina, essendo una cavità, potrebbe diventare un fenomeno pseudocarsico!

Volevo poi ricordare (noi lo sappiamo benissimo, ma a volte si rischia di dimenticarlo, soprattutto quando parliamo in teoria e non di un singolo determinato fenomeno, di un singolo paesaggio) che anche quando consideriamo un carso in pieno o *olocarso* nel senso più stretto del termine, in realtà non tutte le caratteristiche morfologiche di questo paesaggio sono carsiche. Noi abbiamo delle morfologie che sono pre-carsiche, sopra le quali il carsismo si è poi instaurato; e abbiamo anche delle morfologie post-carsiche, cioè che si sono sovrapposte alla carsificazione stessa. Questa distinzione è abbastanza importante perché una delle caratteristiche più generali del carsismo è proprio quella di conservare in notevole grado le morfologie precedenti (morfologie tettoniche, piani di abrasione marina, morfologie fluviali precarsiche ecc.). Per cui noi dobbiamo senz'altro considerare nel tempo il fenomeno. Accanto alla distinzione di carso, paracarso e pseudocarso ricordiamo quindi anche la distinzione fra *carso*, *precarso* ed eventualmente anche *protocarso*, inteso come situazione morfologica che inizia e che determina la formazione del carsismo.

Ne consegue che noi potremmo arrivare alla definizione del concetto di *paracarso* in un modo ancora diverso, oltre alle due accezioni che ha proposto l'amico TRIMMEL, e cioè anche in senso cronologico. Potrebbe definirsi paracarso infatti anche un carso in fase embrionale, un carso nel quale il rapporto fra il complesso delle morfologie precarsiche e l'insieme delle morfologie carsiche vere e proprie è ancora abbastanza spostato verso le morfologie precarsiche. Tuttavia in questi casi il termine *protocarso* secondo me sarebbe più esatto.

In definitiva io non limiterei il concetto di carso in senso stretto soltanto a quei paesaggi, a quei terreni in cui il fenomeno carsico ha raggiunto il pieno svolgimento, il pieno sviluppo nel senso classico della parola; noi potremmo parlare di carsismo vero e proprio anche laddove questo svolgimento è in fase embrionale o non ha ancora raggiunto il suo culmine, purché ci si trovi di fronte a un tipo di roccia in cui il fenomeno carsico ha la possibilità di raggiungere un pieno e

completo sviluppo. Riserverei invece il termine paracarso a fenomeni simili a quelli carsici, ma sviluppatosi in zone in cui, a prescindere dal momento evolutivo in cui si trova il paesaggio, noi sappiamo a priori, dalla natura litologica, morfologica, tettonica, ecc., che un pieno carsismo, un nuovo carso nel senso stretto della parola non potrà mai essere raggiunto. Se noi precisiamo questa limitazione allora evitiamo il rischio di confondere un protocarso con un paracarso. Vorrei chiedere al Prof. ANELLI se è d'accordo con questa impostazione del problema.

ANELLI. Spero di riuscire a rispondere in breve tempo a tutte le domande. L'amico PERNA mi parla del fenomeno carsico nelle dolomie nelle Alpi Tridentine. E' difficile stabilire una netta separazione fra paracarsismo e carsismo vero e proprio. Abbiamo imponenti fenomeni carsici nelle dolomie: non mi sento di collocarli, l'ho detto prima, tra i fenomeni paracarsici nel senso da me indicato. Il Cavernone di Planina, presso Postumia, è un esempio evidentissimo di carsismo completo anche se l'esteso complesso sotterraneo e le forme di superficie sono scavate nelle dolomie triassiche. Ha ragione PERNA di osservare che ci troviamo in una regione dolomitica in uno stadio avanzato di erosione carsica, dove l'anidride carbonica delle acque penetranti e circolanti è stata predominante. Ma io non sono un chimico per affrontare particolari problemi stechiometrici.

Nell'azione solvente dell'acqua sulle quarziti della Grande Savana venezuelana interviene l'anidride carbonica? Lo chiedo ai colleghi chimici presenti. Io lo escluderei. Siamo di fronte esclusivamente a fenomeni fisici, al passaggio del quarzo ad opale ed alla dissoluzione dell'opale compiuta dalle acque meteoriche.

Una risposta esauriente alle osservazioni del collega Prof. BOGLI è meno semplice. Riconosco che la velocità dell'azione solvente svolta dall'acqua ha notevole importanza in relazione soprattutto col più importante fattore climatico, con la temperatura.

Come è detto nel testo della mia relazione, le grotte laviche non possono essere considerate grotte pseudocarsiche, il loro studio spetta ai vulcanologi, i quali sono liberi di chiamare vulcano-speleologia questo capitolo della loro scienza. La scienza delle grotte, la speleologia, le annovera fra le grotte primarie o sin-genetiche secondo la nota classificazione del KYRLE.

C'è in effetti una grande difficoltà nella terminologia, lo ha giustamente osservato il Prof. MAUCCI, e la difficoltà è maggiore per i fenomeni paracarsici. E' difficile una separazione netta fra merocarso o carso parziale e paracarso. A mio avviso i fenomeni paracarsici si accostano a quelli tipicamente carsici; anche per i fenomeni paracarsici si parte infatti dall'azione solvente delle acque meteoriche, contenenti anidride carbonica in soluzione, su rocce carsogene o carsificabili sia pure in grado minore per le loro particolari caratteristiche geolitologiche, per la loro limitata estensione, per la molto minore potenza rispetto ai tavolati calcarei. Mi riferisco principalmente alle calcareniti (i cosiddetti tufi di Bari) che costituiscono lungo l'Adriatico una estesa cmosa costiera al tavolato murgiano.

Accennando qualche mio dubbio al sempre compianto Prof. HERBERT LEHMAN in una riunione della I^a Sezione (speleologia fisica) al 3^o Congresso Internazionale di Speleologia (Vienna, settembre 1961), proposi di chiamare pseudocarsici i fenomeni carsici attenuati, ridotti a forme poco sviluppate. Ricordo che l'autorevole nostro collega mi avvertì che trattandosi di un'azione solvente delle acque meteoriche su rocce calcaree sia pure porose, meno compatte dei comuni calcari, non si può parlare, a rigore di termini, di fenomeni pseudocarsici. Nel 1963 ho proposto per la prima volta il termine paracarsico per indicare i fenomeni di dissoluzione dell'acqua meteorica su rocce poco carsificabili. La presenza di litoclasti (fratture, faglie) costituisce un elemento favorevole all'instaurarsi di forme carsiche sia di superficie, sia profonde, a cominciare dai canali naturali di lento drenaggio e di rapido deflusso sotterraneo. La mia proposta può comunque essere ancora motivo di discussione.

PASQUINI propone di chiamare paracarsiche le grotte che ricordano quelle carsiche. Sono in parte d'accordo con lui, si tratta di cavità sotterranee che si accostano, per i loro caratteri morfologici, alle tipiche grotte dei terreni calcarei e

dei terreni gessosi. Accettando il termine di *paracarsismo ipogeo* si complichebbe ancor più la terminologia.

Rispondo al Dott. PASTORINO e all'Ing. CAPPÀ. Se abbiamo grotte in corrispondenza di fratture primarie, senza processi di ampliamento dovuti all'azione di disfacimento dell'acqua, è evidente che non si può allora parlare di pseudocarsismo. Si tratta di semplici grotte di frattura. Se invece alle fratture si associa un'azione di disfacimento chimico, che non sia l'azione solvente, si può ben parlare di fenomeni pseudocarsici.

Le fotografie di CAPPÀ sono splendide; la prima proiezione mi è sembrata quella di una grotta in terreni calcarei, quindi di una grotta carsico-marina, di una grotta carsica con sbocco al mare, che il mare ha successivamente invaso per l'avvenuto innalzamento del livello di base, come si riscontra nelle grotte di Capri, di Amalfi e nella Grotta di Nettuno nella Nurra in Sardegna. In una mia recente nota sulle oscillazioni della linea di riva in due grotte della Puglia durante il Quaternario, ho ricordato che nella Grotta Zinzulusa, sulla costa salentina di Otranto, le prove sono inconfutabili. Al di là di un piccolo bacino interno di acque salmastre è stata scoperta da sommozzatori una vasta grotta sommersa nella quale si eleva dal fondo una grossa stalagmite alta circa 5 m deposta evidentemente in una fase di lontano e prolungato periodo di prosciugamento della cavità.

I fenomeni lungo le coste della Sardegna sud-occidentale, così chiaramente illustrati dall'Ing. CAPPÀ, sono riferibili a processi meccanici, alle oscillazioni termiche, al *termokarst* del RENAULT, favoriti da un'estesa fratturazione delle rocce eruttive. Li includiamo fra i fenomeni paracarsici o pseudocarsici? Avrei qualche perplessità, ascolterò volentieri il vostro pensiero. Trattandosi di forme aventi soltanto un'analogia esteriore con le forme carsiche che ci sono note, le cavità così chiaramente illustrate dall'Ing. CAPPÀ potrebbero essere riferite al tipo pseudocarsico, specialmente se nei processi genetici delle cavità illustrate non sono estranei azioni chimiche come quelle dell'acqua meteorica sui minerali silicati costituenti principali delle rocce eruttive.

Al Prof. MAUCCI rispondo che un fenomeno carsico in fase iniziale può ben chiamarsi protocarsico o di carsismo embrionale. Il termine è più felice di *microcarso*, da me ricordato in una nota del 1939 e attinto dalla monografia del collega SEGRE sul carsismo del Lazio, per indicare fenomeni carsici in stadio iniziale. Siamo d'accordo con MAUCCI: abbandoniamo il termine di microcarso nel senso improprio di paracarsismo o carsismo ridotto, ed introduciamo pure i termini protocarso, o carso embrionale, e precarso da lui proposti.

CIGNA. Ringrazio molto il Prof. ANELLI per le risposte che ci ha dato; se qualche argomento rimane in sospeso potremo eventualmente riprenderlo l'ultimo giorno: il programma prevede infatti che sabato pomeriggio venga dedicato prevalentemente alla discussione generale.

Vorrei ora pregare il Prof. BERTOLANI di presentarci la sua comunicazione.

MARIO BERTOLANI (*)

ASPETTI DEL FENOMENO CARSICO NEI GESSI

RIASSUNTO - Vengono prese in considerazione due formazioni gessose italiane: quella messiniana e quella mesozoica.

Nei gessi messiniani si ha la prevalenza di un carsismo normale, con inghiottimento di corsi d'acqua, percorsi sotterranei e risorgenti.

Viene posto in evidenza un fenomeno molto caratteristico: quello di fasi di riempimento con clastici a diversa granulometria e successivo svuotamento.

Nei gessi mesozoici il fenomeno carsico ha evoluzione rapidissima e consiste di solito in anse sotterranee di corsi d'acqua che vengono a contatto con le sponde gessose fratturate.

ABSTRACT - This paper deals with two gypseous formations in Italy: the first one belonging to the Messinian Age and the second one to Mesozoic Age.

A normal karstification is prevailing in the Messinian Gypsum with ponors, underground streams and karst-springs.

A very typical phenomenon is pointed out: caves have been filled by clastic deposits with clays, sands, gravels and they have been emptied afterwards.

Karstification has a very rapid evolution in Mesozoic Gypsum and usually consists of underground meanders of surface streams whose gypsous banks are strongly fractured.

PREMESSA

È noto che la roccia gessosa è una delle più solubili in acqua. Non occorre la presenza di anidride carbonica, come nel caso dei calcari e delle dolomie, per portare a soluzione il gesso; basta l'acqua distillata. Però la presenza di sali disciolti, cosa abbastanza comune in natura, accelera il processo (BERTOLANI 1948).

(*) Istituto di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Modena - Comitato Scientifico C.A.I., Sez. di Modena.

Non sempre le formazioni gessose sono pure; spesso in esse il gesso si alterna con strati argillosi, come nei gessi miocenici, o con strati di dolomia e anidrite, come nelle evaporiti triassiche, o con calcari, come nei gessi siciliani.

Nel primo caso alla dissoluzione si aggiunge l'ablazione della parte argillosa; talvolta prevale la prima, talaltra la seconda. Nel secondo caso si ha una solubilità decrescente dal gesso, all'anidrite, al calcare, alla dolomia.

Il fatto che in Italia esistano due formazioni diverse, non solo per età, ma per associazione petrografica, porta alla suddivisione del fenomeno carsico nei gessi in due diverse tipologie: quella dei gessi miocenici e quella dei gessi triassici.

GESSE MIOCENICI

I gessi miocenici si trovano quasi al margine dell'Appennino, sia sul versante adriatico, sia su quello tirrenico. Non si tratta di una fascia continua, ma di lenti e bancate, spesso interrotte anche per lunghi tratti. Il loro maggiore sviluppo è nel Monferrato, nel Bolognese, nella Romagna, nelle Marche, in Abruzzo, in Sicilia.

La loro posizione è diversa nelle varie zone: in Sicilia sono associati ai calcari solfiferi; in Romagna appoggiano al letto sulla formazione marnoso-arenacea romagnola, di età miocenica e a struttura flyschoidale, con al tetto, molto spesso, brecce travertinose; nella maggior parte dei casi essi stanno però tra formazioni argillose. Di solito hanno argille tortoniane al letto e argille plioceniche al tetto, oppure al letto vengono a contatto tettonicamente con le Argille scagliose. Questo fatto fa sì che i gessi, meno erodibili delle argille, sorgano dalle colline argillose e, con morfologie più ripide e dirupate, rappresentino un motivo paesaggistico suggestivo della zona marginale appenninica.

La stratificazione è talvolta evidente e netta, talaltra male riconoscibile. L'inclinazione degli strati passa dalla orizzontalità alla quasi verticalità. L'inclinazione è spesso in direzione perpendicolare a quella appenninica e rivolta verso la pianura.

Il gesso di solito è macrocristallino, in cristalli grandi, trasparenti, spesso geminati a ferro di lancia, col vertice del complesso geminato rivolto verso la pagina inferiore dello strato. La composizione chimica è quella di un gesso notevolmente puro, come indicano alcune analisi riportate nella tabella 1, desunte da precedenti lavori.

TABELLA 1. Analisi di gesso miocenico.

1) Vezzano sul Crostolo (Reggio E.); 2) Rio Vendina (Reggio E.); 3) Grotta della Gaibola (Bologna); 4) Grotta Gortani (Bologna). tr = tracce; nd = non determinato.

	1	2	3	4
SiO ₂	tr	0.28	0.68	2.42
TiO ₂	nd	nd	0.01	tr
Al ₂ O ₃	—	0.14	0.44	0.83
Fe ₂ O ₃	—	0.06	tr	0.23
MnO	nd	nd	nd	tr
CaO	33.00	32.88	32.59	31.44
MgO	tr	0.29	0.85	0.50
Na ₂ O	nd	nd	tr	0.02
K ₂ O	nd	nd	tr	0.15
SO ₃	45.56	45.45	44.52	43.20
P ₂ O ₅	nd	nd	0.02	0.02
CO ₂	—	—	—	0.14
H ₂ O	21.04	20.92	21.39	21.35
	99.60	100.02	100.50	100.30

Gli interstrati argillosi sono perfettamente concordanti con quelli del gesso; la frequenza e la potenza sono variabili. Da ricerche effettuate nei gessi bolognesi, risulta che queste argille sono in effetti argille marnose e il carbonato in esse predominante è la dolomite. La composizione mineralogica indica, oltre alla dolomite, a poca calcite e a gesso, probabilmente secondario, caolinite, montmorillonite, illite, poca clorite, quarzo e feldspato (BERTOLANI 1966). Al tetto di questi interstrati il gesso forma caratteristiche protuberanze mammellonari.

Le cavità che si formano in questo complesso gessoso sono di vario tipo, ma quelle più frequenti e caratteristiche sono legate a un sistema carsico che inizia coll'inghiottimento di un corso d'acqua al contatto tra formazioni argillose e gessi e termina con risorgenti poste ugualmente al contatto tra gessi e argille, ma, spesso, sul lato opposto. Questi sistemi carsici si formano con estrema facilità, perché un'idrografia superficiale, già sviluppata in terreni impermeabili (marne tortoniane o messiniane o argille scagliose), incontra la roccia gessosa, permeabile per fessurazione e solubile, e vi penetra, sviluppandosi in profondità. La potenza, di solito modesta, delle bancate gessose, fa sì che l'acqua ritrovi le argille impermeabili non molto più a valle, che creano le condizioni di una ripresa dell'idro-

grafia di superficie. Alcune volte questi sistemi carsici, come alla Grotta del Farneto, nel sistema Spipola-Acqua Fredda e alla Grotta Gortani, attraversano la formazione gessosa in direzione della sua maggior lunghezza, arrivando a sviluppi notevoli, di alcuni chilometri.

Di solito, quando si forma un corso d'acqua principale, esso diventa il collettore di tutte le altre acque della zona. Ossia tutti gli altri inghiottimenti d'acqua, di solito in corrispondenza di doline, confluiscono, dopo un percorso più o meno lungo e complesso, nel corso d'acqua principale. Ciò non avviene però quando gli strati sono molto inclinati, come ad esempio nella zona del Farneto. Gli interstrati argillosi possono compiere la funzione di diaframmi impermeabili e in tal caso si formano sistemi carsici paralleli ma indipendenti (SCAGLIONI 1963, GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO et al. 1966).

Naturalmente il livello base di questi sistemi carsici ha subito variazioni in dipendenza dell'abbassamento o dell'innalzamento del livello base della rete idrografica esterna.

Vi è stato un graduale abbassamento, posto in evidenza dai numerosi solchi erosivi sovrapposti nei cunicoli sotterranei e dallo sviluppo su vari piani delle principali cavità, mi vi è stato anche un innalzamento. A questo periodo d'innalzamento corrisponde il riempimento quasi totale della cavità. Il fenomeno, almeno per quel che riguarda l'Emilia-Romagna, è generale; perciò non si può pensare a un fatto occasionale, ad esempio una frana che ostruisce la risorgente o un crollo interno, ma a profonde variazioni delle condizioni climatiche e morfologiche regionali.

Il riempimento delle grotte rappresenta una delle principali caratteristiche del carsismo in molti gessi miocenici, perchè ha provocato fenomeni morfologici del tutto particolari. Questo riempimento è in parte ciottoloso, in parte sabbioso, in parte argilloso. Ma, solitamente, le ghiaie stanno alla base o, tutt'al più, vi è una ripresa del deposito ghiaioso circa a metà del sedimento; le argille stanno nella parte superiore, al contatto con la volta.

Dato che, durante il riempimento, la grotta ha seguito a funzionare come sistema carsico, le acque inghiottite hanno trovato, per la circolazione, limitatissimo spazio tra la volta e le argille di riempimento. Naturalmente, anzichè a libera canalizzazione, la circolazione dell'acqua è divenuta forzata e, piuttosto che incidere le argille, l'acqua ha attaccato la volta gessosa, procedendo con l'erosione verso l'alto e formando quei canali di volta che indicano, con la loro larghezza ridotta, diminuzione di portata, ma continuazione dell'attività idrica (PASINI 1968, GRUPPO SPELEOLOGICO

EMILIANO 1972, BERTOLANI & ROSSI 1972 a). In qualche caso l'acqua ha trovato possibilità di passaggio tra le fratture del gesso della volta, che, se numerose, hanno portato alla formazione, abbastanza frequente e caratteristica, dei pendenti di gesso.

Alla fase di riempimento è subentrata quella di svuotamento. I depositi sono stati intaccati, erosi, asportati; tuttavia la ripulitura della grotta non è mai stata completa, sono rimaste parti del riempimento o sulle pareti o nei cunicoli stessi, specialmente quando i sedimenti sono stati protetti da crostoni travertinosi. È così possibile studiare questi sedimenti, trovarne la provenienza e, qualche volta, arrivare all'epoca della deposizione.

Sarebbe suggestivo correlare queste fasi di riempimento e di erosione con periodi climatici noti e con variazioni erosive esterne, ma ancora gli elementi non sono sufficienti per poterlo fare.

Le grotte nei gessi miocenici non si limitano a torrenti sotterranei attivi con sovrapposti livelli fossili, ma si compongono di molte diramazioni, che spesso provengono da inghiottimenti d'acqua, frequentemente in corrispondenza di doline, dove può mancare un torrente o torrentello, ma dove l'acqua penetra nel sottosuolo sotto forma di stillicidio o di veli che scorrono sulle pareti e portano alla formazione di fusoidi in modo spesso analogo a quanto accade nelle formazioni calcaree (MAUCCI 1951-52). Questi tipi morfologici sono abbastanza diffusi; basti ricordare i fusoidi della Grotta Novella nel Bolognese, quelli dell'Inghiottitoio di Cà Poggio in Romagna, quelli dell'Inghiottitoio di Cà Speranza nel Reggiano.

Molto spesso le sale che si formano in corrispondenza di questi fusoidi sono concrezionate. Non si tratta quasi mai, specialmente quando esse assumono sviluppo stalattitico, di concrezioni di gesso, ma di carbonato di calcio. La provenienza di questo carbonato di calcio è ancora controversa: potrebbe provenire con le acque da vicine zone calcaree, oppure dai terreni di copertura, ma è anche probabile che si liberi nei riempimenti sabbioso-ciottolosi. Si nota infatti che questi depositi hanno subito, in maniera più o meno grande, ma sempre, un processo di decalcificazione. A questo processo sembrerebbe legata anche la produzione, abbastanza frequente, di mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) in feltri di cristalli sericei (BERTOLANI & ROSSI 1972 a).

La morfologia delle grotte nei gessi miocenici è completata da fasi di crollo. Ciò avviene molto spesso in corrispondenza di anse e meandri del corso d'acqua sotterraneo, che crea molto spazio alla base del gesso, che, se fratturato, a un certo punto crolla. Si nota a questo proposito che le

grandi sale, come il salone Giordani alla Spipola, il salone interno del Farneto, dove si raggiunge il torrente, la sala del Guano della Grotta Gortani, presentano il pavimento ingombro di massi di crollo.

L'andamento delle grotte nei gessi miocenici è influenzata principalmente da tre fattori: il sistema di fratture, la giacitura degli strati, la presenza di interstrati argillosi. Un recente studio ha posto in luce come l'andamento della Grotta del Farneto segua fedelmente tre sistemi principali di frattura e come il suo spostamento verso il basso avvenga lungo i piani di stratificazione (BERTOLANI & ROSSI 1972 b).

Analoga aderenza dello sviluppo della cavità con la tettonica regionale è stata riscontrata nella complessa Grotta di fianco alla Chiesa di Gaibola (GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO 1972).

Quando la stratificazione è vicina all'orizzontalità, le cavità tendono a svilupparsi in larghezza, come alla Pispola, alla Risorgente dell'Acqua Freda, al Buco del Belvedere, in quanto spesso l'ablazione degli strati argillosi diviene più rapida della soluzione e abrasione del gesso. L'altezza in tal caso è spesso modesta poichè dipende in parte dalla potenza dell'interstrato argilloso soggetto all'ablazione.

Nel caso di strati verticali o quasi, assumono più importanza nella speleogenesi i piani di frattura e la grotta presenta maggiore irregolarità.

L'evoluzione di una grotta nei gessi è certamente più rapida che nei calcari, tuttavia la fase di riempimento prolunga la sua vita, evitando che la continua erosione dei corsi d'acqua sotterranei acceleri i crolli, che preludono alla sua scomparsa. Anche la compattezza del gesso miocenico favorisce una sua lunga conservazione. Una cavità idrograficamente non attiva può prolungare la sua esistenza per periodi molto lunghi. Lo stanno a dimostrare i ritrovamenti archeologici, che talvolta superano i 9000 anni di età e che sono stati trovati in posto in caverne tutt'ora solide, come nella Grotta del Farneto, nella Tanaccia, nella Tana della Mussina (SCARANI 1963, SCARANI & MANSUELLI 1961), nella Grotta di Gaibola (GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO 1972).

All'esterno l'erosione dei gessi è molto rapida. Non è difficile trovare cavità a pozzo, che non rappresentano fusoidi sezionati, ma inghiottitoi, che si aprono su alture, anzichè al fondo di doline, indicando un'inversione del rilievo, come al Buco del Belvedere e all'inghiottitoio fossile della cava del filo elicoidale alla Croara presso Bologna. Questo accade specialmente quando l'inghiottitoio si ostruisce e l'acqua deve ricercare altre vie per penetrare nel sottosuolo.

Tranne che per alcune cavità relitto e per poche cavità fossili, le

grotte dei gessi miocenici sono caratterizzate dalla presenza di fango, e ciò non dipende solamente dal fatto che intercalati ai gessi vi sono interstrati argillosi, ma anche perchè queste grotte inghiottono frequentemente acque torbide o addirittura colate di fango provenienti dalle marne tortoniane, dalle argille marnose plioceniche e dalle argille scagliose.

La temperatura, specialmente nei grandi sistemi carsici tipo Pispola-Acqua Fredda, Rio Stella-Rio Basino, Grotta Gortani, Gaibola, si mantiene pressochè costante nelle varie stagioni, con escursione di pochi gradi. Nelle parti più profonde delle grotte emiliano-romagnole si hanno 9-10°C, in quelle superiori 12-13°C.

La fauna complessivamente è scarsa, specialmente quella troglobia. Su quella delle cavità bolognesi è stato eseguito recentemente un compendio da MOSCARDINI (1972) e ad esso rimando per maggiori particolari.

Sulla flora interna si hanno pochissimi dati, mentre è stato scritto sia sulla flora ambientale dei gessi della Romagna e dell'Emilia, sia sull'influenza microclimatica su essa da parte delle cavità aperte (ZANGHERI 1959, COBAU 1932, PASQUINI 1944, GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO 1959-60, BERTOLANI MARCHETTI 1961, CORBETTA 1972).

Attualmente la richiesta di gesso da parte dell'industria e il conseguente incremento dell'attività estrattiva minacciano seriamente l'esistenza, non solo di qualche grotta, ma dell'intera formazione gessosa sub-appenninica. Ci si rende conto dell'importanza del gesso nell'economia nazionale, soprattutto per l'uso nei cementifici, ma si auspica che vengano preservate quelle zone la cui importanza è indiscussa non solo dal punto di vista speleologico, ma archeologico, botanico, turistico e paesaggistico e la cui scomparsa arrecherebbe un gravissimo danno al patrimonio nazionale.

GESSI MESOZOICI

Si trovano in alcune zone alpine, in Toscana e, limitatamente all'Appennino Reggiano, in Emilia. La situazione litologica e quella tettonica sono molto diverse da quelle dei gessi miocenici. Le rocce presenti, come si è già accennato, sono: il gesso, l'anidrite, la dolomia, più o meno calcarea.

Non è possibile stabilire se tutto il gesso deriva dall'idratazione dell'anidrite; è certo però che tale trasformazione è avvenuta su larga scala. Il gesso è solitamente microcristallino, ma non mancano gessi macrocristallini; è variamente colorato e zonato, di solito per sali di ferro. Spesso

all'interno del gesso vi sono nuclei di anidrite a struttura saccaroide, bianca o grigia e numerosi cristalli piccoli e spesso neri di quarzo.

La dolomia è grigio scura, fetida per la presenza di sostanze bituminose. Spesso è fratturata e ricementata da gesso, che può arrivare anche a sostituire il carbonato.

Lo stato di tettonizzazione di solito è molto avanzato, minuto, diffuso. Non è possibile stabilire se questa forte tettonizzazione è conseguenza dell'aumento di volume nel passaggio da anidrite a gesso o è anche frutto di azioni dinamiche esterne. Nelle formazioni dell'Appennino tosco-emiliano, triassiche, s'inseriscono tra gessi, anidriti e dolomie altre rocce, come la scaglia e il calcare alberese. I gessi triassici emiliani, e in parte quelli toscani, sono a contatto con argille scagliose, perciò sono considerati da molti come lembi alloctoni sradicati e inglobati in esse. Tale ipotesi però merita conferma. In altre parti della Toscana e nelle Alpi, questi gessi si trovano alla base della serie sedimentaria mesozoica.

Come si è detto, la solubilità del gesso è superiore a quella dell'anidrite, che, a sua volta, è più solubile della dolomite.

Le valli sono ampie, con caratteristica forma a U, nelle quali serpeggia il corso d'acqua. Spesso si forma sui ripidi fianchi delle valli un detrito di falda, anch'esso molto ripido, ricementato.

La formazione delle doline è frequente, ma non è facile trovare inghiottitoi aperti. Il fenomeno più caratteristico è però la cattura di corsi d'acqua esterni. Quando il filone di corrente di un corso d'acqua principale si avvicina a una parete rocciosa di gesso, causa l'intensa tettonizzazione, è facile che penetri all'interno della formazione o, per lo meno, riversi in essa parte delle sue acque. Si forma così un ramo sotterraneo del corso d'acqua esterno, che MALAVOLTI (1949 a, b) chiamò « ansa ipogea ». Una volta entrato nella montagna, il corso d'acqua sotterraneo assume facilmente un andamento parallelo alla sua parete, ossia parallelo alla valle e ritorna all'esterno dopo un corso più o meno lungo e da una sola uscita o da risorgenti diverse. Il sistema carsico smaltisce l'acqua inghiottita a monte, ma funziona anche da drenaggio per le acque di percolazione. Spesso meandrizza e, in corrispondenza dei meandri, forma sale, che si sviluppano rapidamente per crolli successivi, dando luogo anche a saloni di 70-80 metri di lunghezza e 25-30 di larghezza. Non esistono livelli diversi, ciò che indica una età giovane del fenomeno; tuttavia possono confluire nel ramo sotterraneo vie d'acqua superiori, in corrispondenza di doline o di caverne di crollo.

Non esistono concrezioni di carbonato di calcio sulle pareti e sulla volta,

probabilmente per la rapidissima evoluzione, che fa registrare continui crolli; invece si formano, perchè di genesi più rapida, efflorescenze di gesso.

Oltre alle «anse ipogee» sono frequenti nei gessi mesozoici le cavità esclusivamente tettoniche. Si tratta di cavità verticali in corrispondenza di fratture beanti. Anche in questo caso l'evoluzione della grotta è rapida; sono sufficienti i veli di umidità per portare la roccia al completo disfacimento. I crolli sono frequenti, le pareti instabili, per cui di solito questo tipo di cavità risulta estremamente pericoloso.

Comunque tutto il carsismo nei gessi mesozoici è in rapidissima evoluzione. Nel corso di poco più di un quarto di secolo, nell'alta valle del Secchia, l'unica zona emiliana col Trias affiorante, si sono registrati crolli che hanno completamente distrutto grotte di rilevante sviluppo, come il Tanone di Secchia, dove ora è visibile una grande frana di blocchi; oppure crolli della volta hanno ostruito importanti sistemi carsici, come quello di Monte Rosso (BERTOLANI 1964).

In compenso si sono aperte nuove vie, come quella che porta al fiume sotterraneo esistente sotto il monte Cafaggio, che inghiotte le acque del Rio di Sologno e le porta nel fiume Secchia.

Ciò spiega perchè le grotte nei gessi triassici non assumono interesse archeologico.

Le grotte di questa zona speleologica a noi ben nota, hanno temperature notevolmente basse (8-9°C) (GAMBIGLIANI ZOCOLI 1949), e ospitano una abbondante fauna troglobia (GUARESCHI & MOSCARDINI 1949).

Anche la flora assume un rilevante interesse, non tanto per l'influenza delle grotte, che anche qui creano un loro microclima, con spostamenti dei tempi di fioritura, ma per il particolare ambiente ecologico, che ha permesso l'insediamento di specie rare della flora italiana (BERTOLANI MARCHETTI 1949).

La qualità più scadente del gesso mesozoico, l'ha preservato fino ad ora da minacce di distruzione da parte delle cave.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BADINI G., 1967 - *Le grotte bolognesi*. Tip. Meroni, Albese (Como).
BERTOLANI M., 1948 - *Ricerche sulla formazione gessoso-calcareo dell'alta val di Secchia (Appennino Emiliano)*. L'Universo, A. XXVIII, n. 3, Firenze.
BERTOLANI M., 1964 - *Evoluzione della grotta di M. Rosso (Appennino Reggiano) dal 1945 al 1964*. Speleologia Emiliana, 2, n. 1, Bologna.

- BERTOLANI M., 1966 - *La composizione mineralogica degli interstrati argillosi nei gessi del Farneto (Bologna)*. Atti IV Conv. Spel. Emilia-Romagna, Scuola Grafica Salesiana, Bologna.
- BERTOLANI M. & ROSSI A., 1972 a - *La Grotta Michele Gortani (31 E) a Gessi di Zola Predosa (Bologna)*. Rass. Spel. It. Mem. X. (Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna), pp. 206-245, Como.
- BERTOLANI M. & ROSSI A., 1972 b - *Osservazioni sui processi di formazione e di sviluppo della Grotta del Farneto (Prov. di Bologna)*. Rass. Spel. It., Mem. X. (Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna), pp. 127-136, Como.
- BERTOLANI MARCHETTI D., 1949 - *Aspetti della vegetazione dell'alta valle del Secchia*. Mem. Com. Scient. Centr. C.A.I., 1, Tip. Tamari, Bologna.
- BERTOLANI MARCHETTI D., 1961 - *Aspetti mediterranei della vegetazione dei Gessi Bolognesi*. Atti Soc. Nat. e Mat. di Modena, 92, Modena.
- COBAU R., 1932 - *Sulla flora dei gessi bolognesi*. Nuovo Giorn. Bot. Ital., n. ser., XXXIX (2), Firenze.
- CORBETTA F., 1972 - *Lineamenti della flora e della vegetazione dei gessi bolognesi*. Rass. Spel. It., Mem. X. (Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna), pp. 161-167, Como.
- GAMBIGLIANI ZOCOLI A., 1949 - *Note di Meteorologia ipogea*. Mem. Com. Scient. Centr. C.A.I., 1, Tip. Tamari, Bologna.
- GRUPPO SPELEOLOGICO CITTÀ DI FAENZA & GRUPPO SPELEOLOGICO VAMPIRO, 1964 - *Le cavità naturali della Vena del Gesso tra i fiumi Lamone e Senio*. Stamp. in proprio, Faenza.
- GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO, 1972 - *La Grotta di fianco alla Chiesa di Gaibola*. Rass. Spel. Ital., a. IV, fasc. 2, Como.
- GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO, in coll. con GRUPPO SPELEOLOGICO M. GORTANI, 1959-60 - *Le cavità naturali dell'Emilia-Romagna - I. Le grotte del territorio gessoso tra i torrenti Savena e Zena (Prov. di Bologna)*. Le Grotte d'Italia, s. 3, 3, Castellana-Grotte (Bari).
- GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO, in coll. con GRUPPO SPELEOLOGICO BOLOGNESE, SPELEO-CLUB ENAL, UNIONE SPELEOLOGICA BOLOGNESE & GRUPPO GROTTI F. ORSONI, 1966 - *Le cavità naturali dell'Emilia-Romagna - II. Le grotte del territorio gessoso tra i torrenti Zena e Olmatello (Prov. di Bologna)*. Rass. Spel. Ital., 18, Como.
- GUARESCHI C. & MOSCARDINI C., 1949 - *Fauna della Formazione gessoso-calcareo dell'alta valle del Secchia con particolare riguardo a quella cavernicola*. Mem. Com. Scient. Centr. C.A.I., 1, Tip. Tamari, Bologna.
- MALAVOLTI F., 1949 a - *La zona carsica dell'alta valle del Secchia. Ricerche 1945-1946 del Gruppo Speleologico Emiliano*. Atti XIV Congr. Geogr. Ital. (Bologna 1947), Ed Zanichelli, Bologna.
- MALAVOLTI F., 1949 b - *Morfologia carsica del Trias gessoso-calcareo nell'alta val di Secchia*. Mem. Com. Scient. Centr. C.A.I., 1, Tip. Tamari, Bologna.
- MALAVOLTI F., TRANI R., BERTOLANI M., BERTOLANI MARCHETTI D. & MOSCARDINI C., 1956 - *La zona speleologica del basso Appennino Reggiano*. Atti VI Congr. Naz. di Speleol., (Trieste 1954), Le Grotte d'Italia, s. 3, 1, Castellana-Grotte (Bari).
- MANSUELLI G.A. & SCARANI R., 1961 - *L'Emilia prima dei Romani*. 360 pp., Il Saggiatore, Milano.

- MAUCCI W., 1951-52 - *L'ipotesi dell'erosione inversa come contributo allo studio della speleogenesi*. Boll. Soc. Adr. di Sc. Nat., 46, Trieste.
- MOSCARDINI C., 1972 - *Fauna cavernicola delle cavità bolognesi*. Rass. Spel. It., Mem. X. (Atti VII Conv. Spel. Emilia-Romagna), pp. 153-157, Como.
- OGNIBEN L., 1957 - *Petrografia della serie solfifera siciliana e considerazioni geologiche relative*. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, 33, Serv. Geol. d'Italia, Roma.
- PASINI G., 1968 - *Osservazioni sui canali di volta delle grotte bolognesi*. Le Grotte d'Italia, s. 4, 1, Castellana-Grotte (Bari).
- PASQUINI D., 1944 - *La vegetazione dei gessi reggiani*. Atti. Soc. Nat. e Mat. di Modena, 75, Modena.
- SCAGLIONI A., 1963 - *La Grotta del Farneto (Prov. di Bologna). Morfologia e genesi*. Atti IX Congr. Naz. Spel. (Trieste), Rass. Spel. It., Mem. 7, t. 2, Como.
- SCARANI R., 1963 - *Repertorio di scavi e scoperte dell'Emilia-Romagna*. Doc. e Studi Dep St. patria per le prov. di Romagna, 8, A. Forni Ed., Bologna.
- ZANGHERI P., 1959 - *Flora e vegetazione della fascia gessoso-calcareo del basso Appennino Romagnolo*. Forlì.

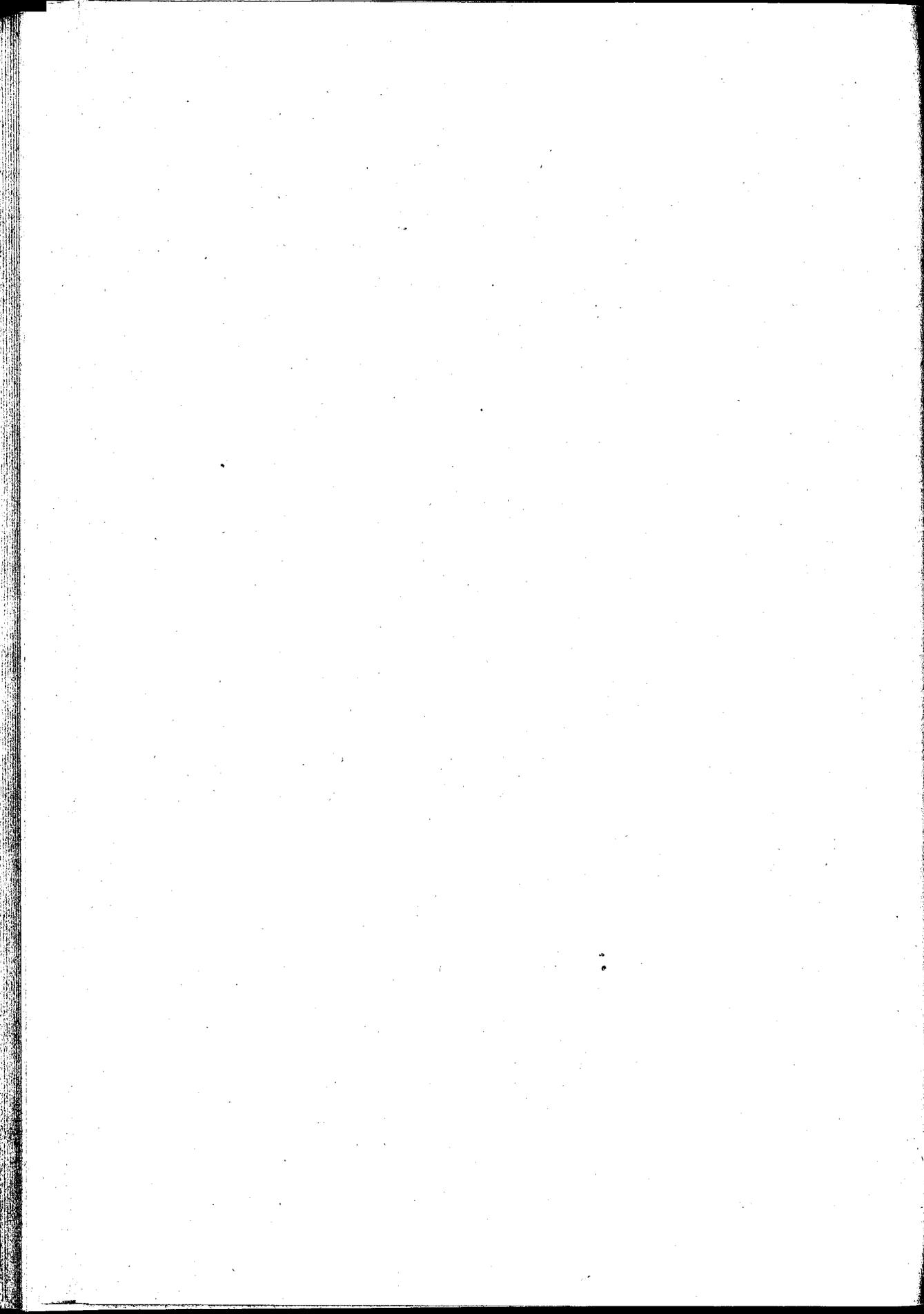


TAVOLA I

Spiegazione della Tavola I

- Fig. 1 - Condotta forzata nel gesso massiccio della Grotta M. Gortani, presso Gessi di Zola Predosa (Bologna).
- Fig. 2 - Frammenti prismatici dolomitici (grigio-scuri) nel gesso ricristallizzato. Tanone Grande della Gacciola, nel Trias dell'alta valle del Secchia



1



2

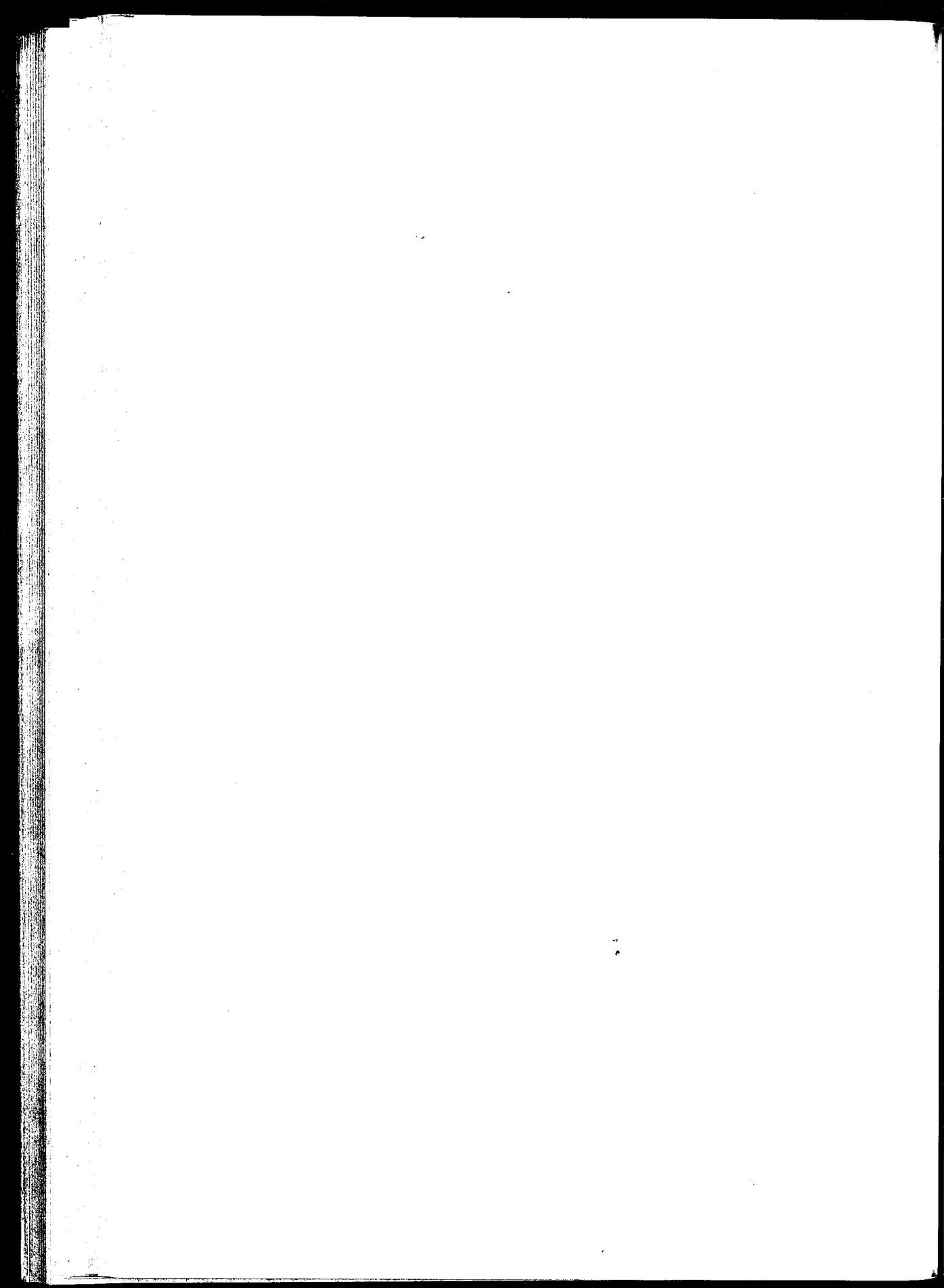
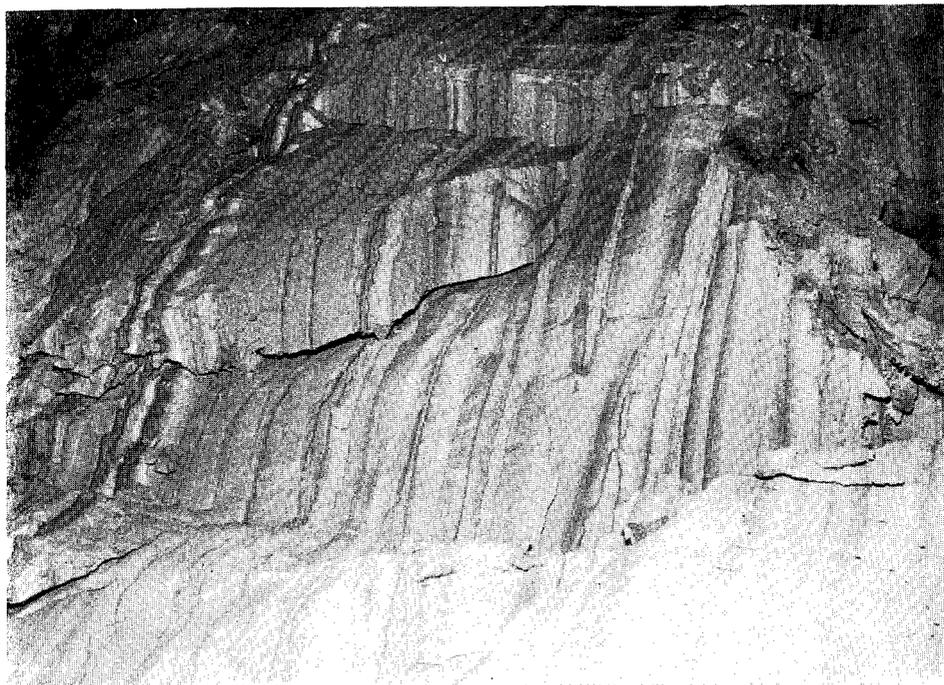


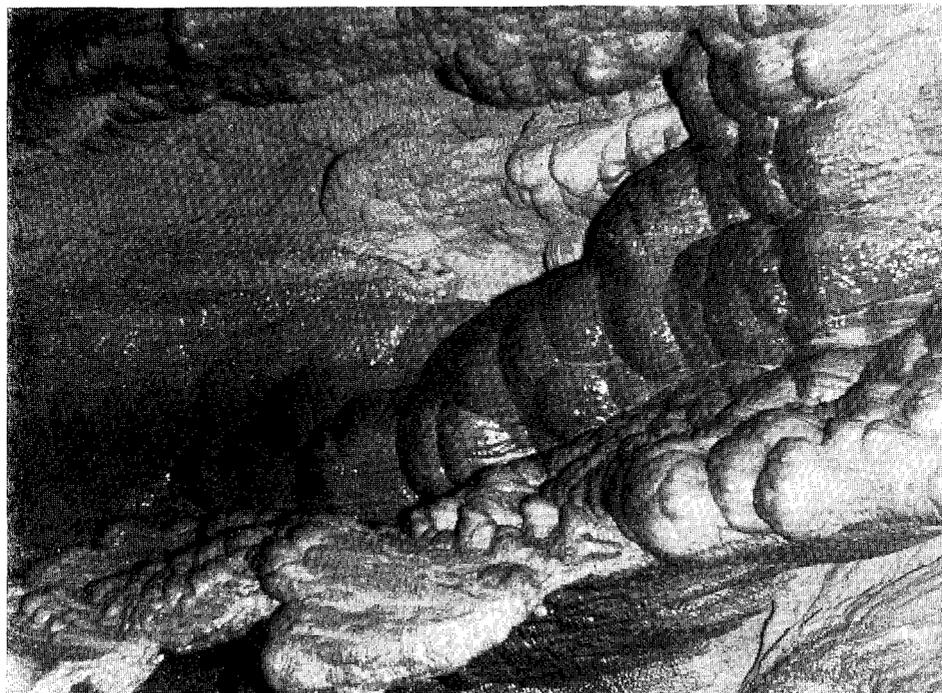
TAVOLA II

Spiegazione della Tavola II

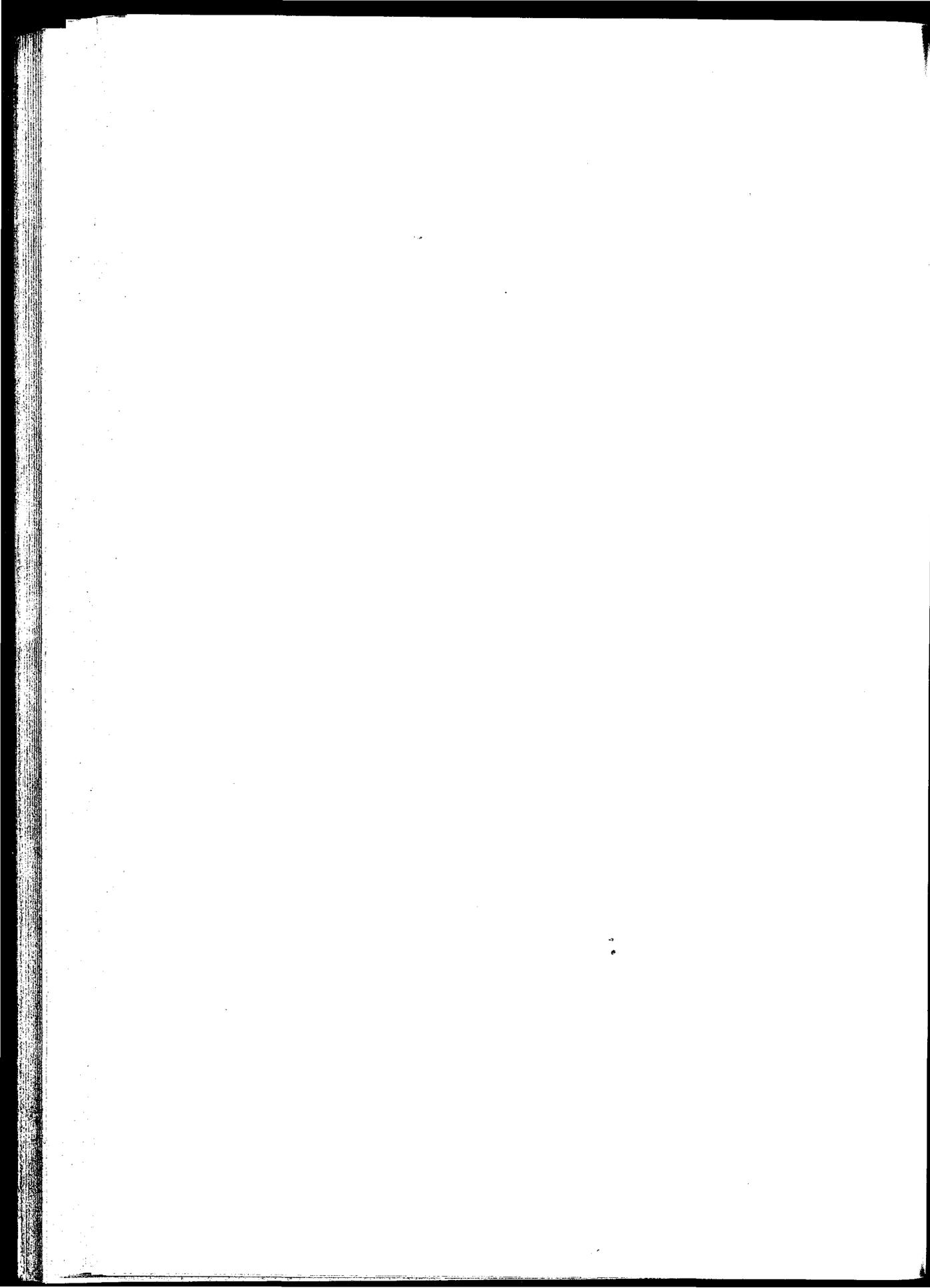
- Fig. 1 - Concrezioni calcaree a superficie ferruginosa della Grotta Novella, nei gessi miocenici del Farneto (Bologna).
- Fig. 2 - Serie zonata di riempimenti argilloso-limoso-sabbiosi nei livelli inferiori della Grotta M. Gortani, presso Gessi di Zola Predosa (Bologna).



2



1



DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

M. BERTOLANI

CIGNA. Ringrazio il Prof. BERTOLANI, che è riuscito veramente a contenere in un tempo perfetto la sua interessante comunicazione. Evidentemente i gessi presentano una quantità considerevole di fenomeni peculiari, che molti di noi non conoscono; vi sono quindi ottimi spunti per la discussione, a cui propongo di dare inizio.

PERNA. Il Prof. BERTOLANI non ha esaminato il problema dei fenomeni carsici dei gessi nelle Alpi. Voglio esporre qualche dato per quanto riguarda il Trentino. Noi abbiamo nel Trentino tre formazioni gessose: la prima, cominciando dal basso, è alla sommità dell'Arenaria di Val Gardena; la seconda nella formazione a Bellerofon; la terza nel Werfeniano. Queste due ultime sono date da gessi in straterelli molto sottili, intercalati nelle marne, quindi non danno fenomeni carsici. Li danno invece quelli nell'Arenaria di Val Gardena. Si tratta di colline di gesso purissimo di colore bianco o rosa, ricoperte da morene che le hanno preservate dalle erosioni. Sono coltivate per ricavarne gesso pregiato per stucchi. I fenomeni carsici vengono posti in luce dal procedere delle coltivazioni stesse. Per esempio si vedono enormi campi solcati quando viene asportata la copertura morenica, e all'interno grotte piccolissime, del diametro di 20-30 cm. Quello che è curioso è che queste grotte hanno delle stalattiti dell'altezza di 2 cm. e del diametro di $\frac{1}{2}$ mm; non si tratta di singoli cristalli ma di stalattiti vere e proprie, di cui non si riesce a capire bene la genesi. Inoltre vi sono concrezioni di onice molto belle, anche di 10/15 cm. Infine esistono circolazioni di acque in fratture, sempre a scala molto ridotta.

BOEGLI. Il Prof. BERTOLANI ha mostrato dei « pendenti » e ha detto che le punte dei « pendenti » hanno lo stesso livello. Non potrebbe essere il livello del piano di stratificazione? Si sono avute qui le prime forme di corrosione, che sono divenute maggiori dopo la corrosione del resto del gesso.

Il Prof. BERTOLANI ha detto inoltre che la presenza di concrezioni carbonatiche in cavità gessose è un po' strana. Credo che si possa affermare che si hanno nelle soluzioni di gesso ioni calcio, ioni SO_3 e inoltre ioni CO_3 se c'è anidride carbonica nell'aria della grotta. Ciò porta alla formazione di CaCO_3 , che è assai meno solubile del gesso, perciò inizialmente sono le concrezioni di carbonati che si depositano; successivamente precipita il solfato di calcio, formando concrezioni.

TRIMMEL. Ringrazio per le interessanti informazioni sui fenomeni carsici nei gessi in Italia. Vorrei confermare che si tratta di veri fenomeni carsici. Anche se il meccanismo di dissoluzione è diverso da quello del calcare, esistono delle regioni gessose con un carsismo completo: doline, grotte, carsismo di superficie. Per esempio in regioni limitate delle Alpi settentrionali si hanno nel Werfeniano austriaco zone carsiche complete nel gesso, con doline, risorgenti e grotte. Si tratta

sempre di forme paragonabili a quelle del calcare e ho l'impressione che lo sviluppo di queste forme sia lo stesso che nei calcari, solo la velocità dello sviluppo è qui più rapida.

Sarà interessante paragonare i risultati degli studi in Italia con quelli dei terreni carsici classici nel gesso, ad esempio l'ovest della Germania, l'Hartz. Vi sono là grandi zone gessose con tipiche forme carsiche; inoltre, per quel che riguarda la trasformazione dell'anidrite in gesso, si hanno là dei risultati significativi. Vi sono in Germania grandi estensioni di anidrite permiana: in queste zone si trovano tutti i fenomeni carsici tipici e la superficie di questa anidrite è trasformata in gesso. L'aumento di volume per questa trasformazione ha portato alla formazione di un tipo di grotta molto particolare, che si è sviluppata tra anidrite e gesso (in tedesco si chiama « Quellungshöle »); sarebbe interessante avere informazioni in proposito dall'Italia.

Vorrei aggiungere due cose: voi sapete certamente che le maggiori grotte del mondo nel gesso si trovano in Podolia (URSS); la più grande misura attualmente 60 Km. Ve ne sono poi altre due di 40 Km in zone in cui il gesso è molto fessurato; la pianta di queste ultime, secondo le recenti esplorazioni, è circa un quadrato.

Un'ultima cosa. Noi abbiamo in Austria una grotta che credo sia pressoché unica: è nei calcari, ma in essa si trova un deposito di gesso di circa 2 metri di spessore; vi sono grotte simili in Italia? La formazione del gesso è un problema che è stato discusso fino dal 1890, ma che è tutt'ora aperto.

PASINI. Vorrei fare una precisazione. Il Prof. BERTOLANI ha ricordato che nelle grotte gessose si notano talora strane concrezioni a forma di lama verticale. In particolare il Prof. BERTOLANI ha fatto riferimento alla Grotta Novella, presso Bologna, dove, dalla base di un pozzo, si innalza una « lama » di alabastro calcareo alta una decina di metri, larga 4-5 m e dello spessore di pochi dm. Secondo il Prof. BERTOLANI tali lame erano un tempo concrezioni parietali che rivestivano sedimenti molto erodibili (ad es. argille) addossati alla roccia gessosa; il loro attuale isolamento sarebbe dovuto all'asportazione, ad opera delle acque, dei sedimenti interposti tra la concrezione e la roccia gessosa.

Indubbiamente questa spiegazione è valida in molti casi. In altri però (e quasi certamente anche nel caso della Grotta Novella) è abbastanza evidente che non ci furono mai sedimenti di altra natura interposti fra la concrezione calcarea e il gesso, e la spiegazione del fenomeno deve essere pertanto diversa. Le concrezioni calcaree parietali, cioè, ricoprivano direttamente il gesso, ed il loro successivo isolamento è dovuto in questi casi — a mio avviso — al fatto che, in determinate condizioni, l'acqua che scorre nelle grotte è aggressiva nei confronti del gesso, mentre non può sciogliere il carbonato di calcio delle concrezioni: si verifica quindi una specie di *dissoluzione selettiva*. In queste condizioni può venire gradualmente asportato il gesso immediatamente a contatto con la concrezione parietale, che rimane perciò isolata formando una specie di lama.

Probabilmente questo fenomeno è legato a particolari condizioni climatiche; è noto infatti che, mentre il gesso è discretamente solubile in acqua pura, la solubilità del carbonato di calcio è invece legata praticamente alla quantità di CO₂ disciolta nell'acqua. Tale quantità diminuisce coll'aumentare della temperatura: pertanto, durante periodi climatici relativamente caldi, le acque sotterranee possono essere in grado di sciogliere il gesso, ma essere troppo povere in CO₂ per sciogliere il carbonato di calcio.

BERTOLANI. Il mio desiderio di essere veloce ha fatto tralasciare molte cose che avevo in animo di dire. Ringrazio il Prof. PERNA per le indicazioni che mi ha dato sui gessi delle Alpi. Io ho visto alcuni fenomeni da lui illustrati, ma pensavo di non avere sufficiente esperienza per poterli inserire in questa relazione. Ad esempio, oltre i gessi trentini, anche quelli della Foresta Nera presentano fenomeni analoghi. Si tratta di gessi di solito di derivazione anidritica, simili in qualche aspetto a quelli delle nostre formazioni mesozoiche, dove è molto difficile poter stabilire se tutto il gesso esistente sia derivato da anidrite oppure se esista

una deposizione originale. Per quello che ho potuto vedere, almeno dal punto di vista litologico, sembrerebbe che l'anidrite dovesse essere prevalente in queste formazioni. Comunque questo sarebbe un argomento da ampliare, da generalizzare, da studiare per poter avere un quadro generale dei fenomeni carsici esistenti nel gesso.

Il Prof. BOEGLI chiedeva se quei «pendenti» di gesso potevano rappresentare con le loro estremità un livello di strato. Penso che, nelle osservazioni fatte nelle grotte emiliane, romagnole, marchigiane, abruzzesi, si tratti di solito del piano della volta e non di un piano di strato. Questo si desume specialmente dai pendenti ancora a contatto con la superficie superiore dei riempimenti pelitici, perché dove il sedimento è stato asportato, i pendenti hanno avuto un'ulteriore evoluzione.

Riguardo la seconda osservazione del Prof. BOEGLI, ossia che le concrezioni calcaree nelle grotte di gesso possono derivare dalla reazione dell'anidride carbonica dell'ambiente con gli ioni calcio delle soluzioni gessose, la possibilità certamente esiste e il non averla elencata è dipeso solo dal desiderio di accelerare l'esposizione. Di questa possibilità abbiamo anche scritto nei nostri lavori su grotte nei gessi del Bolognese.

Diceva il Prof. TRIMMEL che esistono nelle Alpi delle regioni carsiche complete nei gessi. Direi che anche gli esempi che ho portato si riferiscono a regioni dove il carsismo è completo. Valga per tutte la zona del Farneto nei gessi bolognesi dove esistono grandi doline con doline avventizie; carsismo superficiale a campi solcati; inghiottimenti di acque, corsi d'acqua sotterranei, risorgenti. Ciò accade anche nei gessi mesozoici, dove però il carsismo superficiale per alcuni aspetti è diverso da quello dei gessi messiniani. Nei gessi messiniani si hanno solchi più profondi, più grandi, nei gessi mesozoici si hanno piccoli solchi che danno una superficie minutamente scanalata.

Credo di aver solo accennato alla maggiore velocità di soluzione dei gessi rispetto a calcari e dolomie. Abbiamo anche dati originali, che ricavai parecchi anni fa, con prove di laboratorio sia su gessi messiniani che mesozoici. Essi sono riportati in lavori miei del 1948.

Non ho detto, sempre per non abusare del tempo concessomi, altre cose che sono state richiamate dal Prof. TRIMMEL: l'importanza che ha la trasformazione dell'anidrite in gesso, nei gessi mesozoici, che ha portato a una tettonizzazione completa della formazione. Però spesso non sappiamo se questa tettonizzazione sia dovuta soltanto all'aumento di volume della trasformazione dell'anidrite in gesso, oppure se sono due tettonizzazioni combinate, quella dell'aumento di volume e quella legata a movimenti tettonici di corrugamento. Aggiungerò che questa litologia a gesso, anidrite e dolomia condiziona le grotte; ossia la formazione delle grotte è strettamente legata alla presenza alternante o caotica di questi diversi tipi litologici. Ad esempio le strettoie che troviamo nelle grotte dei gessi mesozoici sono di solito in corrispondenza di strati di dolomia a solubilità più lenta. Anche le fasi di crollo avvengono preferibilmente nella dolomia, di solito minutamente fratturata, che quando, per dissoluzione del gesso o dell'anidrite sottostante, si trova a formare la volta della cavità, può cadere improvvisamente. Per tale ragione le grotte nei gessi mesozoici sono pericolose. Ad esempio in una cavità dei gessi triassici reggiani si sono formate delle sale di alcune decine di metri di lunghezza e di larghezza e di 15-20 metri di altezza; in esse si sono verificati in questi ultimi anni crolli improvvisi.

Preciserò ora, dato che non l'ho fatto nella relazione, che nel Mesozoico a me noto le grotte sono giovanissime, appunto perché la vita di una grotta in queste formazioni gessose è estremamente rapida. Dal 1945, anno in cui abbiamo iniziato le ricerche nella zona gessosa della val di Secchia, nell'Appennino reggiano, ad ora, abbiamo visto cambiamenti enormi, di solito di tipo involutivo, nelle cavità. Per tale fatto non vi sono reperti archeologici, mentre nelle grotte dei gessi messiniani dell'Emilia-Romagna sono stati trovati reperti archeologici databili a 5000-6000 anni a. C.

Ringrazio il Prof. TRIMMEL dell'informazione sulle grandi grotte nei gessi della Podolia e, passando ai riempimenti di gesso in grotte nei calcari, debbo precisare

che ciò esorbita dal compito affidatomi, che era quello di riferire sulle grotte nei gessi e non sul gesso nelle grotte. Tuttavia posso citare il più volte ricordato sistema carsico presso Ancona: Grotta grande del Vento-Grotta del Fiume, dove vi sono depositi di gesso secondario anche nei livelli alti, legati, sembra, ad acque sulfuree. Sono depositi veramente potenti, la cui formazione è in atto anche attualmente nei livelli inferiori.

Sono d'accordo con PASINI che nella Grotta Novella anche la soluzione del gesso può aver contribuito all'isolamento della lamina di concrezione; non credo però che il fenomeno possa essere attribuito ad oscillazioni climatiche postglaciali, data la loro modesta entità. Tuttavia, generalizzando il fenomeno, è molto più frequente avere queste concrezioni a rivestimento dei sedimenti di riempimento, piuttosto che trovarle sulla roccia gessosa.

CIGNA. Ringrazio il Prof. BERTOLANI e tutti gli intervenuti; passo la parola al Dr. LAURETI, che ci esporrà alcune sue considerazioni sul carsismo superficiale.

LAMBERTO LAURETI (*)

CONSIDERAZIONI SUL CARISMO SUPERFICIALE

RIASSUNTO - Nel presente contributo l'Autore si propone di fare il punto sull'attuale grado di conoscenza delle fenomenologie carsiche superficiali, ponendo in evidenza i problemi che tuttora riguardano l'origine e la classificazione di alcune forme più tipiche, come nel caso delle doline. Una particolare attenzione è rivolta all'esame dei fattori genetici di alcuni tipi di karren sulla base della più recente letteratura.

SUMMARY - The Author points out the actual knowledge of surface karst phenomena, underlining the problems concerning the origin and classification of some typical ones, as far as the dolinas. In regard to the karren morphology, a special attention is devoted to the analysis of its genetic factors, according to the most recent literature.

La letteratura relativa alle forme carsiche in genere è, certamente, una delle più copiose, anche se non eccessivamente abbondanti appaiono i contributi veramente originali, per lo meno sul piano dell'inquadramento teorico e sistematico. Ed anche il presente contributo non presume di apportare alcunché di nuovo sull'argomento, limitandosi invece a puntualizzare l'attuale grado di conoscenza delle fenomenologie carsiche superficiali, ponendo nello stesso tempo in evidenza i problemi sui quali sarà opportuno che insistano le discussioni e le ricerche.

Da un punto di vista generale, quando si parla di morfologie carsiche s. str. ci si riferisce a fenomeni che si verificano in quelle rocce tipicamente carsogene (ma non le sole) costituite dalle formazioni calcaree.

(*) Istituto di Geografia dell'Università di Napoli, Società Speleologica Italiana.

Ciò non significa, tuttavia, che un rilievo calcareo sia necessariamente un rilievo carsico. In effetti il rilievo calcareo si distingue, rispetto agli altri, per una sua spiccata originalità, come ebbe già a rilevare acutamente il DE MARTONNE 1958 (« Ce sont partout les mêmes murailles abruptes, les mêmes gorges étroites aux parois percées de grottes, les mêmes plateaux sans eaux courantes, crevés de gouffres béants »). Solo in determinate circostanze, tuttavia, esso assume una sua precisa fisionomia, quella carsica appunto, che ne caratterizza così profondamente il paesaggio al punto stesso da influire in maniera determinante anche sulle condizioni dell'ambiente umano.

I tipi morfologici che contraddistinguono il paesaggio carsico, almeno in ambiente climatico dove si sviluppano i processi dell'erosione cosiddetta normale, sono costituiti da forme di particolare rilevanza o macroforme (come doline, uvala, polje, cañons, hums, ecc.) e da microforme che, nella maggior parte dei casi si possono riunire nel caratteristico « lapiéz » (corrispondente al tedesco « karren » e più impropriamente all'italiano « campo solcato »).

Le macroforme del carso superficiale sono fin troppo note a tutti perchè se ne debba dare in questa sede un'ulteriore descrizione. Ci limiteremo pertanto a prendere in esame alcuni aspetti evolutivi e le idee interpretative finora esposte sulla loro genesi. Della dolina, che è la forma classica del carsismo ed anche la più comune, sono stati riconosciuti e descritti numerosi tipi. Nota è la classificazione del GORTANI 1905 (doline a piatto, a scodella, a imbuto, ecc.) che in Italia è particolarmente adottata: essa si basa essenzialmente sulla loro forma, considerando il rapporto tra la profondità e il diametro dell'apertura superiore. Per ciò che riguarda la loro genesi sono state fatte numerose supposizioni tra le quali è sufficiente ricordare quelle del MARUSSI 1941 e del D'AMBROSI 1961. L'ipotesi del primo, come è noto, era legata alla presenza di una copertura clastico-alluvionale che avrebbe messo in moto non solo la formazione delle stesse doline (per percolamento diffuso attraverso gli strati di alluvioni), ma anche dello stesso carsismo profondo. Sull'influenza esercitata sui sottostanti calcari da parte di coperture clastiche, sono tornati anche altri, come il DEMANGEOT il quale trattando dello sviluppo del carsismo nell'Italia centrale, invoca a giustificazione del maggior grado di carsificazione di certi massicci calcarei del versante tirrenico l'azione di coperture vulcaniche provenienti dai vicini vulcani campano-laziali. Secon-

do il DEMANGEOT 1963, l'attraversamento delle formazioni piroclastiche renderebbe più aggressive le acque superficiali, grazie anche alla possibilità della silice, contenuta nelle prime, di entrare in soluzione. Anche se non ci sentiamo di generalizzare una simile ipotesi, come pure l'altra del MARUS-SI, non saremmo propensi ad ignorare un'influenza da parte delle coperture clastiche sull'attività delle acque sotterranee facilitata, come ebbe già a rilevare anche il PASQUINI 1963, « dall'azione meccanica esplicata dalle sabbie da essa trascinate in sospensione ».

Sempre a tale riguardo vogliamo accennare a quanto abbiamo direttamente riscontrato sul Plateau du Sornin, nel Vercors, dove si apre il Gouffre Berger (LAURETI 1967a) Qui, i calcari urgoniani, sede di una intensa carsificazione ipogea, sono ricoperti da formazioni dell'Aptiano e del Senoniano. Là dove la copertura senoniana è relativamente sottile, i calcari urgoniani, a causa delle loro condizioni strutturali e tettoniche che favoriscono una attiva circolazione idrica, sono in grado di esercitare una forte azione idrovora verso l'alto, al punto tale che la tenera roccia senoniana a composizione prevalentemente arenacea, viene facilmente disgregata dalle acque meteoriche che vi penetrano e che sono attivamente richiamate verso il basso dai meati urgoniani. Ne deriva, come conseguenza, la formazione di una serie di doline, assai numerose, all'interno della stessa formazione senoniana, analogamente a quanto avviene nelle coperture molassiche delle formazioni calcaree abruzzesi dell'Italia centrale.

Tornando al problema della genesi delle doline, resta da dire dell'ipotesi del D'AMBROSI 1961: egli ne imputa la formazione alla presenza di un solo punto di assorbimento paragonandone forma e processo a quanto analogamente si verifica per l'incisione di un solco torrentizio, con la sola differenza che nel caso di un torrente si hanno infiniti punti di assorbimento allineati tra loro.

Per quanto suggestiva e ingegnosa possa essere questa ipotesi, non ci sentiamo di accettarla, in quanto nell'incisione di un solco torrentizio, in condizioni normali, prevale soprattutto un'erosione di tipo meccanico e la sezione del solco è, in condizioni ideali, in stretta relazione con la velocità dei filetti idrici della corrente, maggiore verso il centro che non ai lati.

Inoltre, in tal caso, tutte le doline dovrebbero avere la stessa forma, non solo, ma la loro formazione verrebbe ad imputarsi ad azione prevalentemente meccanica piuttosto che a semplice dissoluzione. Ancora ci sembra improprio parlare di punti di assorbimento nel caso di un torrente, le cui acque in tal caso una volta penetrate in profondità non potrebbero più scorrere in superficie.

A questo punto crediamo, senza voler presumere di rigettare quanto di positivo è contenuto nelle varie ipotesi prospettate finora sulla genesi delle doline, che una risposta potrebbe venire da un esame comparativo del fenomeno stesso, considerato anche in altri ambienti climatici, come le regioni fredde e quelle tropicali. In queste ultime, come ha osservato il LEHMANN 1960 a Portorico e a Cuba, « la forme correspondant à la doline présente en général des contours anguleux et des courbes de niveau concaves », al contrario degli spuntoni (« pitons ») calcarei che invece, diversamente da quanto si verifica in ambiente normale, « offrent des contours bien ronds et généralement réguliers ». Come si può arguire, forme simili in ambiente normale farebbero suggerire ipotesi ben diverse sulla loro genesi, anche se nelle regioni tropicali, sia umide che asciutte, l'azione meccanica non sembra da meno di quella chimica.

Sorvolando su altri esempi, non meno interessanti, delle macroforme superficiali, come uvala e polje⁽¹⁾, consideriamo brevemente il caso dei cañons. Il DERRUAU 1967 ha definito il cañon come una « vallée à flancs raides, une véritable trait de scie entre des plateaux calcaires ».

Senza voler entrare nel merito delle cause genetiche di questa particolare forma, ci è sufficiente rilevare come essa non sia tipica solo di formazioni calcaree, riscontrandolasi anche in quelle arenacee, conglomeratiche, cristalline, ecc. Nella formazione di un cañon, a nostro parere, sono soprattutto i fattori meccanici che prevalgono, coadiuvati da preesistenti situazioni tettoniche e strutturali.

Inoltre ci sembra che la formazione di un cañon vada inquadrata in vicende di dimensioni regionali, quali un sollevamento tettonico o comunque un abbassamento cospicuo del livello di base. Su un piano locale, un cañon può formarsi anche in seguito ad una cattura. E non è raro il caso di cañon che si possano considerare come delle morfologie ereditate, specialmente quando essi presentino un percorso meandriforme o comunque non conforme alle direttrici tettoniche localmente dominanti.

Passando a considerare il più ristretto campo delle microforme, assai più complessi appaiono i problemi che vi sono connessi, anche perchè nella loro genesi intervengono fattori di altro tipo.

(1) A proposito di questi ultimi ricorderemo che tra le regioni ad erosione normale e quelle tropicali ci sono forme analoghe ma sostanzialmente differenti, come le « Karstrandebene » del KAYSER 1955 e i « poljés marginaux » del LEHMANN 1960.

Come si è già accennato all'inizio, il complesso delle microforme viene indicato con il nome di « *lapiéz* » equivalente di « *karren* ».

Secondo i vecchi Autori, come il DE MARTONNE 1958, ma anche per il DERRUAU 1967, il *lapiéz* tipico è costituito dall'insieme di « *ciselures à la surface des roches calcaires* ». Oggi, invero, anche dopo gli accurati lavori del CVIJC 1924, si tende a dare al termine di *lapiéz* un significato più estensivo (analogo a quello del tedesco « *karrenfeld* »), e cioè quello di una superficie calcarea denudata e variamente incisa da molteplici processi di corrosione. In un tentativo di sistemazione della terminologia speleologica, il MAUCCI 1961 aveva da parte sua distinto vari tipi di *lapiéz*: tipico, relitto, ruiniforme, di stratificazione, anarchico, di pendio, nivale, semicoperto, ecc., senza tuttavia entrare nel merito della genesi di queste forme. Si può rilevare in proposito che nella succinta descrizione fatta dal MAUCCI 1961 dei vari tipi di *lapiéz*, non sempre ne vengono chiariti gli aspetti dimensionali, per cui si potrebbe ingenerare una certa confusione tra lo spuntone di *lapiéz* ruiniforme e l'emergenza di un « *hum* », pur piccolo che questo sia. Ci rendiamo conto, tuttavia, come non sempre, in tali casi, sia possibile una distinzione ben netta.

È quanto è accaduto a noi stessi (LAURETI 1967) in un recente lavoro sul carsismo dell'Altopiano di Serle, nelle Prealpi Bresciane, dove abbiamo equiparato a degli « *hums* » tanto le collinette del Paitone e del Budellone, direttamente visibili dalla strada pedemontana, quanto una serie di grossi spuntoni calcarei che si elevano ad oltre 900 metri di altitudine sull'altopiano, emergenti da una superficie intensamente carsificata con una fitta successione di doline (se ne contano fino a una sessantina per km²), di campi solcati e di chiazze di terra rossa.

Esaminando con maggiore attenzione i vari tipi di *karren*, non è difficile notare come alla superficie di molte emersioni rocciose sia impostata tutta una serie di piccole forme (le « *ciselures* » dei vecchi Autori francesi) dall'aspetto e dall'andamento più vari. È proprio per il loro carattere dimensionale che a suo tempo avevamo suggerito per queste forme il termine di « *microkarren* », rilevando contemporaneamente la necessità di disporre di una precisa metodologia circa lo studio dei problemi connessi sia con la loro distinzione morfologica, sia con la loro natura genetica.

Senza ripetere quanto avevamo scritto allora, ricorderemo che ancora in quella sede avevamo accennato al problema tassonomico di queste forme (che vanno dalle scannellature, ai solchi meandriiformi, alle strigilature, alle incisioni scodelliformi, alle creste dentellate, ecc.), che alcuni

hanno cercato di impostare su un piano morfologico, come il LEHMANN 1960, altri, come il BÖGLI 1960 e 1961 (che può senza subbio considerarsi come il più autorevole studioso di esse), su un piano più specificamente genetico.

Ai fini di una maggiore comprensione di questi fenomeni, ci sembra che debbano essere intensificate le loro osservazioni, procedendo ad una accurata e sistematica localizzazione geografica, oltre che al riconoscimento del maggior numero possibile di forme. Purtroppo bisogna riconoscere che in Italia le ricerche e gli studi relativi a questo tipo di fenomenologie hanno avuto quasi sempre un carattere frammentario. Ma anche fuori del nostro paese, in verità, esse sono state scarsamente coordinate e comunque legate all'iniziativa e all'interesse di singoli studiosi, forse anche per il loro aspetto non sempre appariscente. E non sembri che si tratti di forme poco frequenti, verificandosi invece un pò dovunque in quasi tutte le aree carsificate.

Circa i fattori genetici o comunque concomitanti nello sviluppo di queste microforme, da non molto tempo ci si è accorti dell'influenza esercitata su di esse dagli organismi vegetali ed animali.

L'azione dei primi fu già ipotizzata dal MARCACCINI 1964 nelle sue osservazioni sul carsismo superficiale delle Alpi Apuane dove è stata dimostrata l'esistenza di una copertura forestale sull'altopiano della Vestricia, oggi, come molti sanno, notevolmente carsificato sia in superficie (con bellissime microforme) sia in profondità (con abissi di centinaia di metri).

Più recentemente il DE FANTI 1971, giovane ricercatore padovano, ha osservato, nei calcari liassici del gruppo del Civetta, nelle Dolomiti Orientali, una stretta interrelazione tra le forme del karren e la presenza di microrganismi (come Rivulariacee e Crococcacee). La stessa cosa, del resto, era già stata messa in evidenza, qualche anno prima, da SMYK & DRZAL 1964, nelle loro ricerche effettuate in varie parti d'Europa, in base alle quali avevano prospettato l'apporto determinante della flora batterica aerobia e anaerobia, particolarmente aggressiva, con il suo metabolismo, nella trasformazione dei calcari.

Nel corso di una recente ricerca, effettuata nel carso triestino da parte di BELLONI & OROMBELLI 1970, sono state compiute, per la prima volta, delle serie e complete analisi morfometriche di alcuni di questi karren.

I due Autori, sulla traccia delle classificazioni proposte dal BÖGLI 1961, per cui vengono distinte delle forme semplici (a loro volta suddi-

vise in *lapiéz* liberi, semiliberi, coperti e di grotta) e delle forme complesse, hanno anche prospettato delle ipotesi circa i loro rapporti evolutivi. A prescindere da certi fattori costanti (inclinazione delle superfici rocciose, caratteri chimici e litologici della roccia, ecc.), in particolare, a partire da una diaclasi, procederebbe la formazione di scannellature oppure di « *kamenitza* » (forma attentamente studiata dai due Autori) e quindi di docce e meandri.

Implicitamente, l'azione della vegetazione è adombrata anche da BELLONI & OROMBELLI 1970, quando fanno derivare le forme del *lapiéz* libero da quelle del *lapiéz* coperto in seguito ad erosione del suolo, con asportazione della cotica vegetale, e conseguente abbassamento del piano di campagna. Pertanto l'inizio dell'impostarsi di fenomenologie di tipo *karren* (in specie quelle arrotondate) avverrebbe in condizioni sottocutanee, proseguendo poi, a diretto contatto dell'atmosfera, con una evoluzione verso forme a spigoli vivi. In proposito si possono ricordare le ricerche sull'influenza dell'anidride carbonica a livello e all'interno del suolo (ADAMS & SWINNERTON 1937, PITTY 1966, ecc.).

La presenza di molte di queste forme ad alte quote, anche fin oltre i 2000 metri, ha indotto a pensare ad un'azione nei riguardi della loro formazione, anche delle acque di fusione nivale.

L'importanza di queste ultime, è stata recentemente dimostrata indirettamente dall'Ex 1964 e 1966, con le sue osservazioni sui ghiacciai della Haute Maurienne (Alpi Graie) e della Marmolada, dove ha potuto rilevare la scarsissima aggressività delle acque di fusione glaciale. Ciò conforta le ipotesi di quanti pensavano che in regioni sottoposte a glaciazioni i processi carsici si sarebbero arrestati o comunque attenuati.

L'importanza di questo fatto ci sembra sia da mettere in relazione soprattutto con la possibilità di giungere ad una ricostruzione cronologica (del resto già tentata da vari autori come MARCACCINI 1964, BELLONI & OROMBELLI 1970, KNUCHEL 1967, ecc.) dell'evoluzione non solo delle forme carsiche superficiali ma anche di quelle profonde. Con la conseguenza che sarebbe più che legittimo sostenere la ciclicità del fenomeno carsico in generale, per il quale, ritenendo come costanti certe situazioni litologiche e tettoniche in cui esso può svilupparsi, sarebbero da considerarsi come primari, nella sua genesi e nella sua evoluzione, i fattori climatici, specialmente se legati alle grandi alternanze climatiche che hanno caratterizzato le varie parti della terra. Secondari potrebbero invece ritenersi tutti gli altri fattori (compresi quelli biochimici) la cui presenza riveste un carattere più contingente (si pensi alle coperture forestali di-

strutte ad opera dell'uomo e alla conseguente degradazione pedologica) e la cui scomparsa, se pure improvvisa, potrà tuttalpiù modificare lo sviluppo del fenomeno carsico, ma non certo arrestarlo.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS C. S. & SVINNERTON A. C., 1937 - *The Solubility of Limestone*. Trans. Amer. Geophys. Univ., 18, New York.
- ANELLI F., 1957-58 - *Nomenclatura italiana dei fenomeni carsici*. Le Grotte d'Italia, s. 3, Vol. I, Castellana-Grotte (Bari).
- BELLONI S. & OROMBELLI G., 1970 - *Osservazioni e misure su alcuni tipi morfologici nei campi solcati del carso triestino*. Atti Soc. It. Sc Nat. e Museo Civ. St. Nat. di Milano, Vol. CX, f. IV, Milano.
- BOEGLI A., 1960 - *Les phases de la dissolution calcaire et leur importance pour les problèmes karstiques*. Rass. Spel. It., Vol. 4, Como.
- BOEGLI A., 1961 - *Karrentische ein Beitrag zur Karstmorphologie*. Zeit. für Geomorph., 5, Berlin.
- CORRÀ G., 1967 - *Campi solcati e monoliti carsici nei Lessini centrali*. I Quattro Vicariati, Bibl. Ala, XI, I, Trento.
- CVIJC J., 1924 - *The evolution of Lapiés*. Geogr. Rev., XIV, New York.
- CVIJC J., 1960 - *La Géographie des terrains calcaires*. Monogr. Acad. Serbe des Sc. et Arts, t. CCCXLI, 26, Beograd.
- D'AMBROSI C., 1961 - *Sull'origine delle doline carsiche nel quadro genetico del carsismo in generale*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., LI, Trieste.
- DE FANTI A., 1971 - *Forme di corrosione dovute a microrganismi osservate nel gruppo del Civetta (Alpi Dolomitiche)*. Boll. Soc. Geogr. It., Ser. IX, Vol. XII, n. 10-12, Roma.
- DEMANGEOT J., 1963 - *Karst et Volcanisme en Italie Centrale*. Rév. de Géogr. Alpine, 2, Grenoble.
- DE MARTONNE E., 1958 - *Traité de Géographie Physique*. 10 ed., A. Colin, Paris.
- DERRUAU M., 1967 - *Précis de Géomorphologie*. 5 ed., A. Colin, Paris.
- EK C., 1964 - *Note sur les eaux de fonte des glaciers de la Haute Maurienne. Leur action sur les carbonates*. Rév. Belge de Géogr., 88, 1-2, Bruxelles.
- EK C., 1966 - *Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers: l'exemple de la Marمولade (Dolomites)*. Annales de la Soc. Belge de Géol., 89, 5-10, Bruxelles.
- FÉNELON P., 1954 - *Le relief Karstique*. Norois, 1, Poitiers.
- GORTANI M., 1905 - *Appunti per una classificazione delle doline*. Mondo sotterraneo, IV, Udine.
- INGLE SMITH D. & MEAD D. G., 1962 - *The solution of Limestone*. Proc. Univ. of Bristol Spel. Soc., Vol. 9, n. 3, Bristol.
- KAYSER K., 1955 - *Karstrandebene und Poljeboden*. Erdkunde, IX, 1/4, Bonn.
- KNUCHEL F., 1967 - *Beobachtungen im karrenfeld der Sieben Hengste*. Actes III Congr. Nat. Spél., Soc. Suisse de Spél., Interlaken.
- LAURETI L., 1964 - *Problemi e metodi nello studio dei fenomeni carsici superficiali*. Atti VI Conv. Spel. It. Centro-Merid., Firenze.

- LAURETI L., 1967 - *Carta dei fenomeni carsici dell'altopiano di Cerle (Brescia)*. Atti XX Congr. Geogr. It., Roma.
- LAURETI L., 1967a - *Primi risultati della spedizione italiana al Gouffre Berger (Vercors, Francia)*. Actes III Congr. Nat. Spél., Soc. Suisse de Spél., Interlaken.
- LEHMANN H., 1960 - *La terminologie classique du karst sous l'aspect critique de la morphologie climatique moderne*. Rév. de Géogr. de Lyon, Vol. XXXV, n. 1, Lyon.
- LEHMANN H., 1970 - *Über Verzüberte Städte in Carbonat-Gestein Südwest-Europas*. Sitzungsab. der Wissensch. Gesell., J. W. Goethe Univ., Frankfurt am Main.
- MARCACCINI P., 1964 - *Fenomeni carsici di superficie nelle Alpi Apuane*. Riv. Geogr. It., LXXXI, I, Firenze.
- MARUSSI A., 1941 - *Ipotesi sullo sviluppo del carsismo*. Giorn. di Geologia, Ser. 2, Vol. XV, Bologna.
- MAUCCI W., 1961 - *Contributo per una terminologia speleologica italiana*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., LI, Trieste.
- NANGERONI G., 1961 - *Doline, pòlja, e altri fenomeni carsici di superficie*. Atti Conv. Spel. Italia '61, Torino.
- PASQUINI G., 1963 - *Osservazioni morfologiche sull'inghiottitoio di Val di Varri e sul suo bacino di alimentazione*. Atti IX Congr. Naz. Spel., Trieste.
- PITTY A. F., 1966 - *An Approach to the Study of Karst Water*. Univ. of Hull. Occ. Papers in Geogr., 5, Hull.
- RENAULT P., 1970 - *La formation des cavernes*. P.U.F., Paris.
- SMYK B. & DRZAL M., 1964 - *Untersuchungen über den Einfluss von Mikroorganismen auf das Phänomen der Karstbildung*. Erdk. XVIII, Bonn.

DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

L. LAURETI

CIGNA. Ringrazio l'amico LAURETI e apro la discussione.

PASQUINI. Dovrei fare alcune osservazioni sulla terminologia adoperata dall'amico LAURETI. La parola *macroforme* per polje, valli carsiche e canyon va benissimo, ma che per *microforme* si intendano anche interi Karren non direi; microforme sono le scanalature, le vaschette, le cesellature che costituiscono gli aspetti di dettaglio di un Karren, il quale non è una microforma, bensì una macroforma. Inoltre non mi sembra corretto chiamare *carso coperto* un carso rivestito da vegetazione, da boschi. L'espressione « carso coperto » è usata in genere per indicare qualcosa di ben diverso da una copertura vegetale: in questo caso sarebbe quindi meglio usare l'espressione *carso verde*.

La terza osservazione riguarda la teoria delle doline di D'AMBROSI, che mi sembra venga accusata per un equivoco. L'equivoco è che quando si parla di dolina si parla di un fenomeno misto: un fenomeno che è di normale erosione superficiale per quello che riguarda i versanti, e che è invece carsico per quello che riguarda l'assorbimento. Una delle differenze fondamentali tra una dolina e una valle fluviale è che nel primo caso l'acqua di ruscellamento finisce in un inghiottitoio, nel secondo caso in un fondovalle; inoltre nel primo caso abbiamo un versante chiuso, circolare, nell'altro un versante aperto. Pertanto tutta la classificazione delle doline (a piatto, a ciotola, a scodella, ecc.) si regge benissimo nell'ipotesi del D'AMBROSI proprio perché noi vediamo l'allargarsi normale di una valle fluviale con spalle, terrazzi, ringiovanimenti, e ritroviamo le stesse cose all'interno delle doline.

Per quanto riguarda i *polje*, io sarei del parere di non chiamare polje il lago Matese. Per me sarebbe corretto (anche se so che non è condiviso da altri) chiamare polje soltanto quelle depressioni dove l'erosione carsica ha smantellato il complesso del massiccio, creando un piano in prossimità del livello di base; tale piano è caratterizzato dalla presenza di cavità a doppio funzionamento, che cioè in certi periodi emettono acqua (allagando il polje), in altri la riassorbono. Il polje sarebbe quindi un punto di arrivo della erosione carsica, e avrebbe spesso il fondo coperto da alluvioni di origine carsica, come le terre rosse. In casi analoghi, dove però le cavità sul fondo della depressione non presentano il doppio funzionamento a cui sopra accennavo, si potrebbe parlare di *bacino chiuso* o *bacino carsico*. A questa categoria va attribuito appunto il lago Matese, che sta scomparendo a causa dell'ampliamento delle cavità che si trovano sul suo fondo, e che funzionano esclusivamente da inghiottitoi.

MAIFREDI. Vorrei chiedere se, magari alla fine di questa discussione, il Prof. TRIMMEL vorrà definire il termine tedesco *Karren*. Abbiamo già parlato molto di Karren, e sarebbe interessante sentire qual'è, per uno studioso di lingua tedesca, la definizione di questo termine.

Ho notato che, benché molti di noi abbiano spesso occasione di effettuare osservazioni sui fenomeni carsici superficiali, su tale argomento esistono pochi lavori italiani. Forse sarebbe opportuno, quando capita di notare una forma peculiare che probabilmente non si studierà mai a fondo, segnalarela con un disegno e qualche riga di commento a un membro designato dalla Società Speleologica Italiana, il quale potrebbe poi diffondere la scheda agli interessati. Si potrebbe così raccogliere una casistica di numerosissime forme interessanti, ed effettuare eventualmente una discussione su questo tema. Sottopongo questa proposta alla vostra attenzione.

CIGNA. E' una proposta che può essere accolta. Naturalmente il risultato dipende molto dalla collaborazione che daranno i singoli studiosi.

BRANCACCIO. Volevo fare qualche precisazione sul bacino del Matese di cui ha parlato il collega LAURETI. Io condivido pienamente l'interpretazione di LAURETI, cioè di un bacino che ha subito uno sprofondamento di tipo tettonico, sulle cui faglie marginali si è insediato il fenomeno carsico che ha poi portato alla formazione di emissari sotterranei, ecc.

Ma ciò che è molto interessante è che le faglie marginali del bacino del Matese — come risultava chiaramente dalle diapositive proiettate — hanno nettamente troncato delle forme carsiche preesistenti, pretettoniche. Vale a dire: noi abbiamo in maniera evidentissima la presenza di due cicli carsici, di due momenti di carsificazione, uno precedente alla tettonica che ha portato allo sprofondamento del bacino del Matese, l'altro successivo. Tra l'altro, alcuni studi che stiamo conducendo sul carsismo e sulla neotettonica nel Matese ci hanno permesso di riconoscere l'età di questa tettonica, che risulta fini-villafranchiana. Si rinvennero infatti a S. Gregorio Matese delle breccie crioclastiche, le cui caratteristiche sedimentologiche indicano che la loro formazione è avvenuta in un sistema morfogenetico crionivale o periglaciale; le breccie di S. Gregorio sono chiaramente dislocate addirittura in strutture monoclinali molto ben evidenti, su cui tra l'altro si è insediato anche il fenomeno carsico sotto forma di polje, successivamente catturati dall'erosione torrentizia superficiale. Le breccie, qui, sono interessate dalle stesse faglie lungo cui è avvenuto lo sprofondamento del bacino del Matese: le faglie sono perciò sicuramente di età quaternaria, in quanto interessano breccie crioclastiche connesse a episodi glaciali.

Questa tettonica ci permette di distinguere finalmente i due cicli o i due momenti della evoluzione carsica del Matese: lateralmente al polje del Matese si hanno infatti superfici alte con chiare tracce del carsismo antico, pre-quaternario; nella zolla centrale, ribassata, si è sviluppato invece il carsismo quaternario.

Naturalmente esiste un problema di terminologia cui accennava PASQUINI: come chiamare questi bacini. Teniamo presente che in questo caso la profondità del bacino è dovuta ad un rigetto tettonico.

CAPPA. Una breve osservazione sulle forme carsiche superficiali. Presso la conca di Dondena nel massiccio del Gran Paradiso ho potuto osservare grandi massi costituiti da scisti cristallini e altre rocce non carsificabili, in cui le superfici a debole pendenza erano solcate da piccole canalizzazioni morfologicamente molto simili alle classiche forme che si trovano sulle spianate calcaree: meandri, canali confluenti, ecc. E' evidente che in qualunque roccia, se il fenomeno dissolutivo o corrosivo prevale sulla degradazione meteorica, come velocità, si devono poter formare dei solchi simili a quelli che troviamo sul calcare. Naturalmente non si parla in questo caso di corrosione carsica; corrosione carsica è soltanto quella in cui l'azione della CO_2 dà luogo a fenomeni diversi dalla semplice dissoluzione o dalla semplice erosione meccanica.

Sarebbe interessante sviluppare questo studio, facendo per prima cosa dei confronti tra quanto avviene comunemente nella roccia calcarea e quanto avviene molto più raramente nelle rocce non calcaree; secondariamente si dovrebbe osservare quali sono le forme tipiche del vero carsismo superficiale, che lo differenziano non quantitativamente, ma qualitativamente, sostanzialmente dai fenomeni

che possiamo riscontrare dove invece agisce semplicemente la soluzione di tipo fisico.

FORTI. Da alcuni anni sto studiando le forme carsiche in genere nella regione Friuli-Venezia Giulia e nel Trentino-Alto Adige; ho notato che l'estrema variabilità qualitativa e quantitativa di tutte le forme carsiche epigee, nelle stesse condizioni di disposizione della compagine carbonatica e di esposizione topografica, è determinata dalla natura litologica della roccia. Spesso noi, parlando di forme carsiche, parliamo genericamente di calcari; ma di calcari ce ne sono di molti tipi: calcari fossiliferi, calcari lamellari, calcari detritici, ecc. Variando il calcare, variano completamente le forme carsiche, sia le piccole forme di corrosione che le grandi.

Vorrei anche riferire un'informazione che ho ricevuto dai colleghi jugoslavi sul celebre polje del Circonio. Mentre i versanti di questo polje sono calcarei, il fondo è dolomitico, per cui esso può essere considerato come una « finestra morfologica ».

LAURETI. Comincio col rispondere a PASQUINI. Per quanto riguarda la distinzione fra macro- e microforme, avevo già detto che l'uso di questi termini ha un valore soltanto strumentale, serve cioè per poter distinguere forme che in media hanno grandi dimensioni da altre molto più piccole.

Per quanto riguarda il carso coperto, devo dire anzitutto che non sono stato io a coniare questa espressione. Io comunque intendevo carso coperto non da vegetazione, ma da suolo; se poi sul suolo c'è una vegetazione è un'altra faccenda, ovviamente.

Per quanto riguarda le doline, effettivamente nel lavoro che ho ricordato si dice che in un corso d'acqua si possono considerare infiniti punti di assorbimento. In realtà il tipo di erosione che porta alla formazione di un corso d'acqua, di un torrente, mi sembra piuttosto diverso da quello che porta alla formazione di una dolina, specialmente quando la dolina si forma in condizioni « sottocutanee ».

Per il polje, posso anche essere d'accordo con PASQUINI; penso comunque che sarà molto difficile accordarci sulla definizione del termine polje. Perciò potremmo parlare, più genericamente, di bacino chiuso. Quello del Matese è un bacino chiuso, siamo d'accordo, però è un bacino chiuso anche il cratere di un vulcano dove c'è un lago; in casi come quello del Matese è quindi importante specificare che si tratta di un bacino *carsico* chiuso.

Per quanto riguarda la proposta di MAIFREDI io sono il primo a sottoscrivere. Adesso che finalmente c'è una commissione scientifica della Società Speleologica Italiana, la si deve mettere al lavoro anche per stimolare queste cose.

D'accordo anche con l'amico BRANCACCIO e con quanto ha accennato CAPPA. Condivido pienamente anche ciò che ha detto FORTI sul fattore litologico: in effetti le differenze di litologia hanno una importanza notevolissima per la morfologia carsica superficiale.

CIGNA. Ringrazio LAURETI per le risposte. I nostri ospiti stranieri TRIMMEL e BOEGLI hanno preparato la definizione di *Karren* secondo la richiesta presentata da MAIFREDI. Pregherei il Prof. BOEGLI di darci la definizione di *Karren* secondo gli studiosi di lingua tedesca.

BOEGLI. Il mio amico TRIMMEL mi delega a rispondere perché io ho studiato in modo abbastanza approfondito il fenomeno dei *Karren* fin dal 1951, come sa bene anche il Prof. MAUCCI.

Diciamo subito che i *Karren* non sono delle microforme; sono forme piccole, in un certo senso intermedie, come è stato detto (anche se da noi non si usa il termine « intermedio » in questi casi). Esistono altre forme ancora più piccole, cioè delle vere microforme. Non si deve dimenticare, tuttavia, che ogni definizione costituisce di per sé un'astrazione; è molto difficile infatti trovare una definizione che sia onnicomprensiva senza essere troppo larga, nel qual caso non è utile.

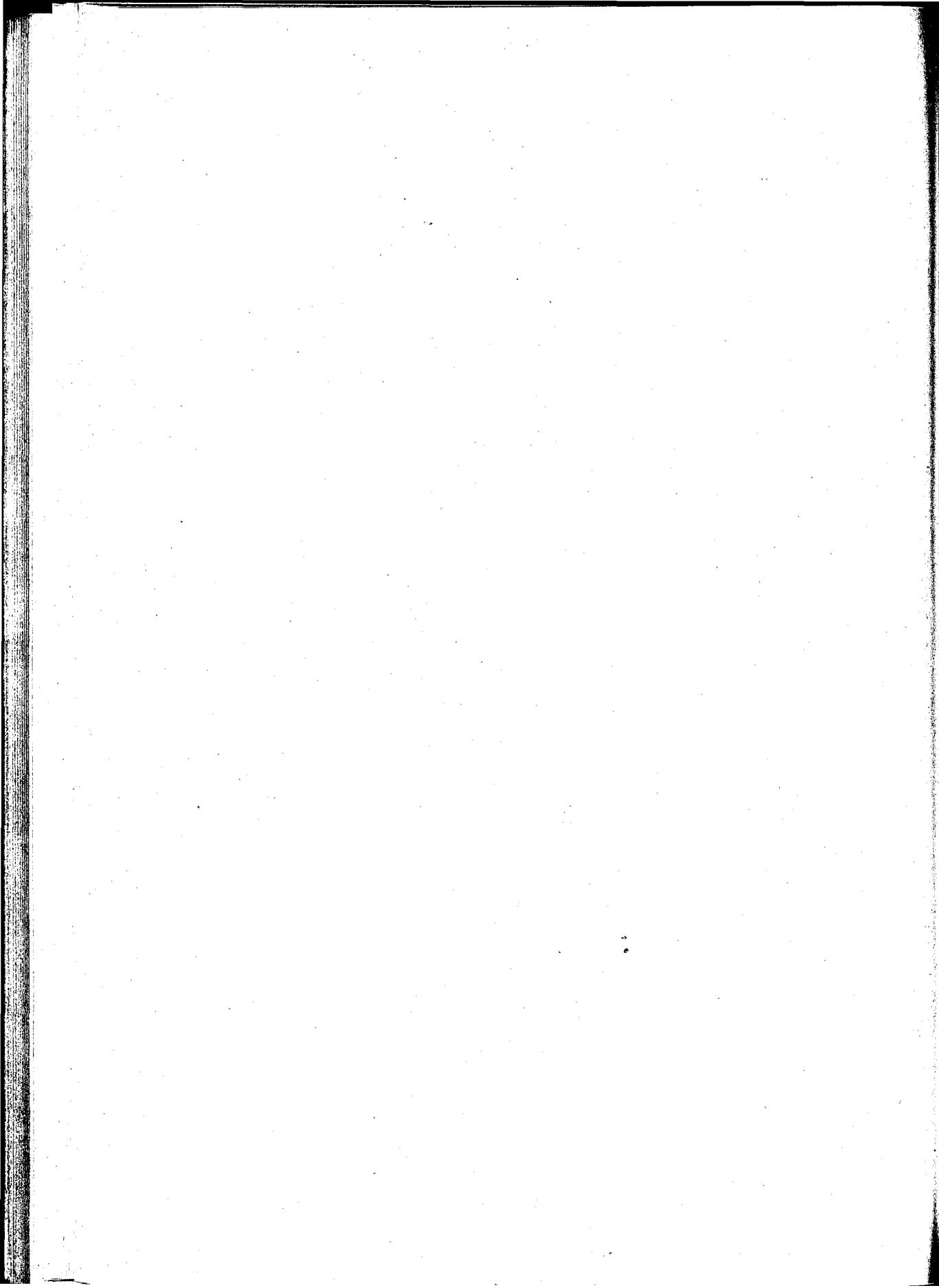
Tornando alla definizione di Karren, di cui mi sono già occupato in due miei lavori, devo affermare anzitutto che *Karren* e *lapiaz* hanno lo stesso significato, mentre cosa ben diversa sono i *campi di lapiaz* ed i *Karrenfelder*, anche se molto spesso questi quattro termini vengono tra loro confusi. Devo anche dire che in Italia ho sentito usare talvolta per questi fenomeni il termine *gane*, o qualcosa di simile.

Per concludere, i Karren sono delle piccole forme di corrosione ad opera dell'acqua che si originano sulla superficie delle rocce carbonatiche e dei gessi, provocate dalle precipitazioni e dal ruscellamento conseguente alle precipitazioni, ma anche da tasche di neve e di suoli humici o dall'acqua che filtra attraverso il suolo. Ad esse si possono aggiungere le similari forme di corrosione che si osservano in grotta.

CIGNA. Ringrazio a nome di tutti il Prof. BOGLI per le chiarificazioni.

QUARTA SEDUTA

Pomeriggio del 6 ottobre 1972



WALTER MAUCCI (*)

L'IPOTESI DELL'« EROSIONE INVERSA »,
COME CONTRIBUTO ALLO STUDIO
DELLA SPELEOGENESI (1)

RIASSUNTO - Il presente lavoro espone una ipotesi speleogenetica, dedotta da osservazioni condotte soprattutto sul Carso Triestino, ma confermata da dati relativi ad altre zone carsiche. Tale ipotesi si articola sui seguenti punti:

- 1) La speleogenesi è un fenomeno attuale, non fossile;
- 2) Le acque percolanti in zona vadosa, di origine meteorica, sono sufficienti per spiegare il meccanismo di genesi delle cavità sotterranee;
- 3) La speleogenesi è un fatto ipogeo, che trova i suoi inizi in profondità, non in superficie;
- 4) La forma embrionale dalla quale si evolve la maggior parte delle cavità carsiche è un vano verticale, a forma di fusoidi;
- 5) Le cavità composte risultano dal congiungimento di diversi vani a fusoidi;
- 6) Nelle cavità funzionanti da inghiottitoio, l'origine inversa si accompagna, di regola, con la retroversione del corso;
- 7) Nel caso di forti quantità di acqua inalveata, può verificarsi un meccanismo speleogenetico differente: la speleogenesi diretta.

ABSTRACT - The present work displays a speleogenetic hypothesis as deduced from observations performed especially in the Carso around Trieste, but confirmed by data referring to other carsic areas. This hypothesis can be summarized as follows:

- 1) Speleogenesis is a recurring, and not fossil, phenomenon;
- 2) The percolating waters in vadous conditions, of meteoric origin, suffice to explain the mechanism of the genesis of underground caves;
- 3) Speleogenesis is an underground phenomenon originating from the depth and not from the surface;
- 4) The embrionic stage from which most Karstic caves evolve, is a vertical spindle-shaped hollow;

(*) Via F. Severo 39, 34133 Trieste. Società Speleologica Italiana.

(1) Ristampato dal « Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali », vol. XLVI (1951 - 1952), Trieste.

6) In the caves acting as sinkholes, the reverse origin is followed as a rule by the retroversion of the course of the river;

7) In the case of large quantities of canalized water, a different speleogenetic mechanism may occur, i.e. the direct speleogenesis.

I. PREMESSA

Il presente lavoro è un tentativo di inquadrare sinteticamente il problema speleogenetico, per arrivare ad una teoria che permetta di interpretare in modo unitario la genesi e l'evoluzione delle cavità naturali carsiche.

Una teoria speleogenetica unitaria è infatti la premessa fondamentale per arrivare ad una classificazione naturale delle cavità, non potendosi limitare un raggruppamento sistematico ai soli caratteri morfologici, prescindendo da criteri evolutivi. E questa classificazione naturale è, a sua volta, premessa indispensabile per avviare quella « speleologia comparata » attualmente pressoché inesistente.

Si potrà facilmente obiettare che una sintesi speleologica è a sua volta subordinata ad uno studio comparato delle cavità, e che quindi quanto ho qui sopra enunciato costituisce soltanto un chiuso circolo vizioso. Non lo nego.

Lo studio da me compiuto, basato su ricerche bibliografiche e soprattutto sull'esame di un gran numero di cavità, non costituisce certo ancora una vera « speleologia comparata » ed è perciò che l'ipotesi speleogenetica enunciata in queste pagine va considerata appena come un primo tentativo. Oso affermare che essa è suffragata da una grande mole di osservazioni e di prove, ma tuttavia sono certo che essa sarà suscettibile in futuro di perfezionamenti, modifiche e aggiornamenti. Inoltre essa si limita attualmente alla sola regione del Carso Triestino, per quanto alcune isolate osservazioni mie, nonché l'esame di dati bibliografici attinenti ad altre regioni, mi facciano supporre la possibilità di una più vasta applicazione.

Resta tuttavia il fatto che questa ipotesi mi ha permesso di giungere ad una prima classificazione naturale delle cavità carsiche, e pertanto oso sperare che essa non rimarrà sterile.

Nel presente lavoro cercherò di esporre nei suoi dettagli questa ipotesi, e mi dilungherò nell'esporre le prove e le osservazioni su cui le mie deduzioni sono basate.

Bisogna però fin d'ora accennare ad un problema di grande importanza pratica: il problema della terminologia. Una uniformità di termini è

cui significati siano esattamente definiti manca del tutto, e ciò costituisce un ostacolo non indifferente, tale da rendere spesso difficilmente utilizzabile la stessa bibliografia. Questa confusione terminologica è dovuta essenzialmente al fatto che le ricerche speleologiche furono finora dirette quasi esclusivamente alla conoscenza di singoli fenomeni, topograficamente e geograficamente delimitati, nella cui descrizione non è facile prescindere da voci terminologiche locali e spesso dialettali, le quali, entrando nell'uso e trascinandosi da un lavoro all'altro, hanno dovuto fatalmente soggiacere ai punti di vista ed alle interpretazioni più diverse da parte dei vari Autori. Naturalmente la confusione si accresce ancor più quando si superino i limiti linguistici di una qualsiasi scuola speleologica nazionale, e si confrontino lavori fra di loro stranieri.

Ho trovato necessario perciò appoggiarmi ad una terminologia strettamente locale, quella cioè in uso nella scuola speleologica triestina, cui tuttavia ho dovuto aggiungere o modificare qualche termine. La terminologia qui usata potrà quindi non concordare con le voci usate in altre regioni d'Italia, ma non credo che ciò sia un inconveniente grave. I termini controversi (come « abisso », « voragine », « antro » ecc.) hanno infatti un significato strettamente descrittivo, che è puramente convenzionale. E del resto ho cercato il più possibile di evitarli, introducendo invece termini e definizioni, in buona parte nuovi, i quali, per essere legati ad un'ipotesi genetica ed evolutiva generale, assumono un significato che prescinde da una pura e semplice interpretazione morfologica.

Una prima, breve, enunciazione della presente ipotesi, formò, nel 1948, l'oggetto di una mia comunicazione presentata al II Congresso Nazionale di Speleologia, ad Asiago. Inoltre accenni preliminari ad essa sono contenuti in alcuni miei lavori, per i quali rimando all'appendice bibliografica.

II. CARSISMO COME FENOMENO VIVENTE

Il concetto di « ciclo carsico », che introduce nella speleologia un criterio evolutivo, già affermatosi in tutte le scienze della natura, contro lo staticismo delle vecchie teorie, va evidentemente riferito non soltanto alla storia geologica di una intera regione carsica, ma anche ad ogni singola manifestazione del fenomeno carsico, sia essa una dolina, un « polje » o una grotta. Ed è quindi generalmente accettata ed entrata nell'uso la distinzione fra grotte giovanili, mature e senili (anche se non sempre risulta

chiaro quali criteri determinino questa distinzione). Questa distinzione, eminentemente evolutiva, presenta tuttavia una importante lacuna. Essa considera infatti tutta la storia di una cavità ... tranne la sua genesi. Numerosi Autori hanno studiato il processo di invecchiamento delle grotte, ed i fattori che lo determinano, ma si tratta sempre di grotte intese come già esistenti. La speleo-evoluzione conduce cioè dalla fase giovanile alla fase di senilità e di obliterazione, mentre manca qualunque dato preciso sulla fase precedente ed iniziale: la fase « embrionale ». E noi possiamo infatti osservare che gli studi dei vari Autori presentano quasi tutti questa lacuna così caratteristica: qualche osservazione sulla fessurazione dei calcari, sull'azione solvente ed erosiva delle acque, intesa in senso molto generico ... poi si salta senz'altro alla (per dirla col KYRLE 1923) « Raumerweiterung », la quale presuppone la preesistenza di una cavità, sulla cui origine ben poca luce possono dare i dati precedentemente esposti.

Si presenta quindi questa importante domanda: *esistono attualmente grotte embrionali?*

Se noi ammettiamo l'ipotesi corrente, secondo cui le cavità si formano per l'ampliamento dei vani ad opera delle acque, con un procedimento estendentesi *dall'alto in basso*, cioè dalla superficie verso il sottosuolo, le « grotte embrionali » dovrebbero essere rappresentate da strettissime cavità, verticali o orizzontali, aperte in superficie, cioè i termini di passaggio intermedi fra litoclasti e vere grotte. Queste « micro-grotte » dovrebbero avere tutte le caratteristiche di vere cavità naturali, nel loro andamento, rapporto fra profondità ed ampiezza, forma dei vani ecc. Dovrebbero essere cioè delle vere e complete grotte in miniatura, naturalmente però inaccessibili all'indagine diretta.

L'esperienza però ci dimostra che queste « micro-grotte » non esistono. Le cavità naturali, orizzontali o verticali, sono sempre vere grotte, nel senso più comune di questa parola, cioè vani nei quali il rapporto fra profondità (o lunghezza) e ampiezza è tale da renderle accessibili all'indagine diretta. Naturalmente bisogna prescindere da strettoie localizzate, interne o in superficie, che possono rendere necessario un lavoro di allargamento per essere rese accessibili: esse non tolgono validità al fatto generale che, *in superficie*, i termini intermedi fra grotte e litoclasti non esistono. Inoltre le stesse grotte più piccole (pozzetti di pochi metri, antri e nicchie in parete) sono quasi sempre cavità di relitto, cioè resti di più vasti complessi sotterranei, distrutti dallo spianamento superficiale.

Il diagramma della fig. 1 mostra con evidenza la mancanza di « microgrotte ». Esso è ricavato dall'esame di 184 pozzi semplici del Carso

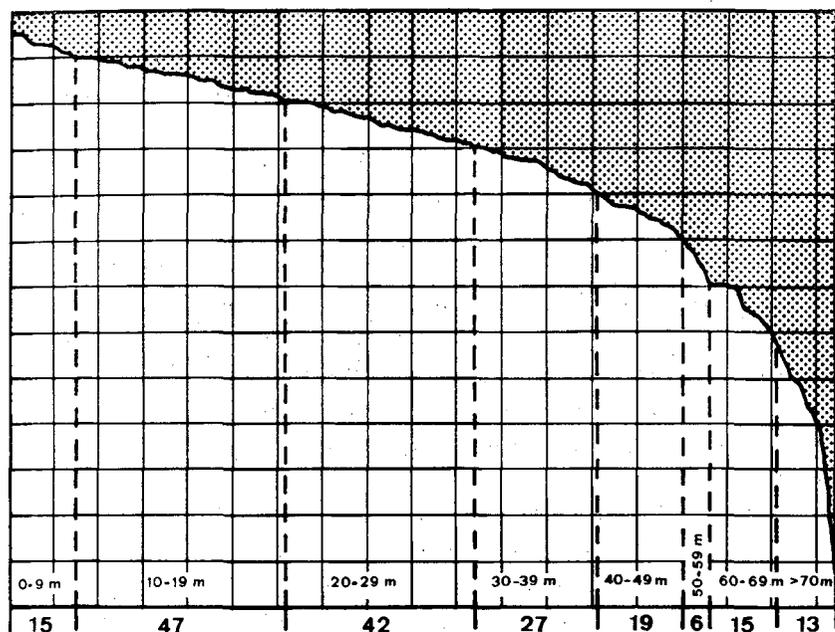


Fig. 1. - Frequenza delle profondità su 184 pozzi semplici del Carso Triestino.

Triestino. Osserviamo che la curva della profondità segue un andamento spiccatamente regolare, ma il massimo della frequenza non si verifica fra le profondità 0-9 metri (come si potrebbe supporre da una estrapolazione su un diagramma che consideri solo le profondità superiori ai 10 metri), anzi in questo intervallo la frequenza è appena pari a quella che si riscontrano fra 60 e 69 metri.

Che cosa si può dedurre da queste considerazioni? Le deduzioni possibili sono due:

- 1) Non esistono attualmente grotte embrionali.
- 2) Le grotte embrionali esistono, ma la loro struttura non è quella di una « micro-grotta », e quindi la loro genesi non si concilia con l'ipotesi di un ampliamento di fessure dall'alto in basso.

La prima deduzione implicherebbe l'ipotesi che le forze speleogenetiche siano attualmente scomparse, e che il carsismo sia un fenomeno, per così dire « fossile », la cui genesi va ricercata in epoche geologiche passate.

Questa ipotesi di un carsismo « fossile » è accettata da alcuni Autori (GRUND, CVJICH, LEHMANN), e recentemente è stata ancora ripresa dal MARUSSI 1941a che considera le grotte come originate dall'azione dei « paleofiumi » del Terziario.

Esiste in questi Autori la evidente preoccupazione di spiegare la constatata mancanza di « micro-grotte » embrionali, spostando il fenomeno in epoche diverse dalle attuali: nei periodi glaciali o interglaciali o addirittura al Miocene (MARUSSI 1941b). Se però si potesse dimostrare l'esistenza attuale di grotte embrionali, queste ipotesi dovrebbero automaticamente cadere. Viceversa se si potesse dimostrare l'esistenza di un processo speleogenetico attualmente in atto, bisognerebbe cercare le grotte embrionali attualmente esistenti e si giungerebbe a dimostrare valida la seconda delle due deduzioni più sopra esposte. Ambedue queste vie, come si vedrà, ci portano alla medesima conclusione.

L'evoluzione di una cavità carsica, dalla fase giovanile alla fase senile si manifesta con vari caratteri distintivi che permettono di collocare le varie grotte al loro posto nella serie evolutiva. Fra questi caratteri possiamo osservare anzitutto l'attività idrica: grotte percorse perennemente o periodicamente da corsi d'acqua, vanno considerate come giovanili. Del pari giovanili sono poi quelle grotte che, pur non presentando vere correnti sotterranee sono tuttavia percorse da grandi quantità di acque di infiltrazione.

Un altro carattere molto vistoso è dato dalla presenza o assenza, e dalla relativa abbondanza di sedimenti calcarei cristallizzati: l'assenza o la scarsità di concrezioni è una caratteristica costante ed evidente nelle grotte giovanili.

Tutto ciò è ben noto. Noi possiamo però constatare che attualmente si trovano forme giovanili accanto a forme senili, non soltanto in regioni diverse di uno stesso territorio carsico, ma anche nella medesima regione. Non solo, ma perfino in una stessa grotta, accanto a tratti senili possiamo trovare tratti decisamente giovanili.

In questi casi possiamo ammettere due interpretazioni, ambedue possibili, e certo di volta in volta potremo accettare come valida l'una o l'altra. Può darsi infatti che i tratti di diversa evoluzione nella medesima grotta abbiano avuto origine separatamente e in epoche diverse, e che il loro collegamento, tale da formare una sola cavità, sia avvenuto successivamente, e forse a volte del tutto casualmente. Tale è per esempio, il caso dell'Abisso di Opicina Campagna (N. 3783 V.G.) (MAUCCI 1950 b).

Oppure può darsi che in una cavità, formante un tutto unico, per

genesi ed evoluzione, una volta raggiunto uno stadio senile, si manifestino fenomeni di nuove penetrazioni idriche e di riassetamenti, in singoli tratti, riportando a questi dei caratteri decisamente giovanili. Un fenomeno di questo tipo si osserva, per esempio, nella Grotta Vittoria di Aurisina (N. 2744 V.G.) (MAUCCI 1950 a).

Si tratta cioè, in questo caso, di quel fenomeno che è detto « ringiovanimento dei fenomeni carsici » e che sostituisce al concetto di « evoluzione carsica » (irreversibile), quello di « ciclo carsico » (reversibile). Il « ringiovanimento » di una cavità significa però che le forze speleogenetiche, temporaneamente sopite durante il progredire della maturità e della senilità, hanno ripreso il sopravvento e che quindi il ciclo evolutivo della cavità stessa ritorna alle origini. Ciò sarebbe evidentemente impossibile, se i fattori speleogenetici fossero stati esclusivi di epoche antiche, comunque delimitate.

Aggiungiamo inoltre un'altra considerazione di grande importanza. Si constata infatti con notevole frequenza che grotte si aprono all'improvviso in superficie per cause accidentali, e ciò denota che pur essendosi già formata la cavità, l'ultima fase della genesi, cioè l'apertura all'esterno va ricercata in epoche recenti, anzi attuali. Si potrebbe obiettare, in questi casi, supponendo che la apertura improvvisa non sia la prima in ordine di tempo. Che cioè queste cavità primitivamente comunicanti coll'esterno, (e quindi già giunte al termine della loro genesi) si siano in seguito chiuse per effetto di frane o altri fenomeni. Questa supposizione però, quasi sempre non può reggere alla critica, poiché l'esame della coltre rocciosa sovrastante la grotta, dimostra con evidenza trattarsi di roccia viva, situata nel suo giacimento primario.

Sarà opportuno citare qui un elenco di cavità aperte in tempi recenti, limitato alla sola Venezia Giulia.

N. 47 V. G. - *Grotta presso Padriciano*
Apertasi in un prato, nel febbraio 1894

N. 146 V. G. - *Pozzo presso l'abbeveratoio di Villa Opicina*
Apertosi accidentalmente nel 1897

N. 1478 V. G. - *Grotta Blazina*
Apertasi improvvisamente nel 1923

N. 137 V. G. - *Pozzo di Basovizza*
Apertosi improvvisamente nel 1905

N. 26 V. G. - *Pozzo presso Padriciano*
Apertosi nel 1892

- N. 138 V. G. - *Pozzo presso Sesana*
Apertosi improvvisamente, dopo insistenti piogge, nel 1895
- N. 144 V. G. - *Abisso E. A. Martel* (presso Prosecco)
Apertosi intorno al 1890
- N. 591 V. G. - *Abisso di Ferneti*
Apertosi accidentalmente nel 1922
- N. 739 V. G. - *Pozzo a Ovest di Villa Opicina*
Apertosi intorno al 1920
- N. 29 V. G. - *Grotta ai piedi del Monte Concusso*
Apertasi improvvisamente nel 1895
- N. 453 V. G. - *Pozzetto di Corite*
Apertosi in una trincea nel 1916
- N. 363 V. G. - *Grotta sullo stradone di Basovizza*
Apertasi accidentalmente nell'aprile 1911
- N. 604 V. G. - *Pozzo presso S. Croce di Trieste*
Apertosi accidentalmente nel 1923
- N. 409 V. G. - *Pozzo presso Villa Opicina*
Apertosi nel 1913
- N. 161 V. G. - *Pozzo del Cane presso Gropada*
Apertosi improvvisamente il 2 febbraio 1894
- N. 347 V. G. - *Grotta sopra le sorgenti di Aurisina*
Apertasi improvvisamente nel gennaio 1907
- N. 312 V. G. - *Abisso della Cava Boschetti*
Apertosi nel febbraio 1906
- N. 280 V. G. - *Pozzo di Dignano*
Apertosi nel 1892
- N. 87 V. G. - *Pozzo presso il casello ferroviario di Ferneti*
Apertosi improvvisamente nel 1894
- N. 292 V. G. - *Pozzo presso il M. Castellier di Umago*
Apertosi nel marzo 1904
- N. 311 V. G. - *Pozzo nella Cava Scalmanini di S. Croce*
Apertosi nel 1888
- N. 350 V. G. - *Grotta presso Capodistria*
Apertasi accidentalmente nel 1910
- N. 1926 V. G. - *Grotta della sorgente II di Bisterza*
Apertasi nel 1922
- N. 2748 V. G. - *Grotta a NO di Aurisina*
Apertasi nel 1928

- N. 2944 V. G. - *Grotta presso la polveriera di Sesana*
Apertasi nel 1930
- N. 2992 V. G. - *Pozzo di S. Daniele del Carso*
Apertosi nel 1920
- N. 3150 V. G. - *Pozzetto sul Colle Pauliano*
Apertosi improvvisamente nel 1935
- N. 3683 V. G. - *Inghiottitoio di Dolegna*
Apertosi improvvisamente, nel letto di un torrente, intorno al 1920
- N. 3874 V. G. - *Grotta a E di S. Pelagio*
Apertasi accidentalmente intorno al 1917

Si tratta, come si vede, di ben 29 casi conosciuti, in poco più di 60 anni. E certo molto più numerosi devono essere i casi non conosciuti.

Da questa constatazione potremo trarre, in seguito, altre importanti deduzioni. Basti per ora aver citato questi 29 casi, per ricavarne la conclusione che le forze speleogenetiche non hanno cessato di agire, e che quindi la formazione di nuove cavità avviene anche attualmente.

Nei capitoli V e VI vedremo del resto che le condizioni attuali delle regioni carsiche sono sufficienti a spiegare la speleogenesi, senza che sia necessario ricorrere né alle precipitazioni pleistoceniche, né a ricoprimenti alluvionali, né agli antichi fiumi miocenici.

« Carsismo attuale » quindi, e non « carsismo fossile », determinato cioè da fattori speleogenetici attualmente attivi.

III. CAVITÀ SEMPLICI E COMPOSTE

È noto che la terminologia speleologica, specialmente per quanto riguarda la trattazione più strettamente morfologica, è molto confusa e contraddittoria. Vari Autori hanno tentato di giungere ad una classificazione delle varie forme di cavità, seguendo essenzialmente criteri morfologici, ma con scarso successo, tanto che nessuna di queste classificazioni è riuscita ad imporsi con valore generale.

Migliori risultati si sono ottenuti introducendo nella classificazione concetti genetici ed evolutivi (KYLE 1923, KNEBEL 1906), ma resta tuttavia il fatto che forma, aspetto ed andamento delle cavità sembrano ancor oggi sfuggire a qualsiasi tentativo di ordinamento sistematico e terminologico.

In questa apparente estrema multiformità è tuttavia possibile riconoscere alcuni tipi fondamentali, non solo, ma questi tipi *sono pochi e chiarissimamente delimitati*. A questo risultato si può giungere prendendo in esame, anzitutto, un solo carattere, chiaro, misurabile ed esprimibile numericamente e graficamente: *l'angolo formato dall'asse longitudinale dei vani col piano orizzontale*.

Possiamo subito osservare che in molte grotte tale asse è unico e continuo, e quindi esiste un unico angolo di inclinazione, valido per l'intera cavità. In altre, invece, l'asse è spezzato, ed i vari tratti di esso presentano angoli diversi. Potremo chiamare le prime « cavità semplici », le seconde « cavità composte ».

Lo studio comparato delle cavità semplici ci porta poi ad altre interessanti conclusioni.

Il diagramma della fig. 2 rappresenta la distribuzione di detto angolo di inclinazione in 525 cavità semplici della Venezia Giulia. Una constatazione balza subito agli occhi con evidenza: *quasi metà delle cavità semplici sono assolutamente verticali, un buon numero si raccoglie intorno alle inclinazioni da 0° a 30° e sono molto rare nelle cavità con inclinazioni medie 35.-70°*.

Ciò vale per le grotte della Venezia Giulia: in altre regioni carsiche il rapporto fra grotte verticali e suborizzontali può variare. Ciò che rimane comunque valido è però la rarità di cavità intermedie (fig. 3).

Ci troviamo quindi di fronte a due tipi di cavità, nettamente distinti e chiaramente identificabili, e per essi si adattano con precisione i termini « pozzo » e « galleria ».

Se esaminiamo ora le cavità composte, vediamo che la suddetta distinzione può essere ulteriormente estesa, fino ad assumere un valore generale. Dobbiamo premettere però una osservazione, del resto ovvia: l'asse della cavità deve intendersi riferito alla vera cavità originaria, limitata dalla roccia in sito (« Evakuationsraum » di KYRLE 1923), prescindendo naturalmente dai riempimenti detritici o argillosi, che sono frequenti nelle

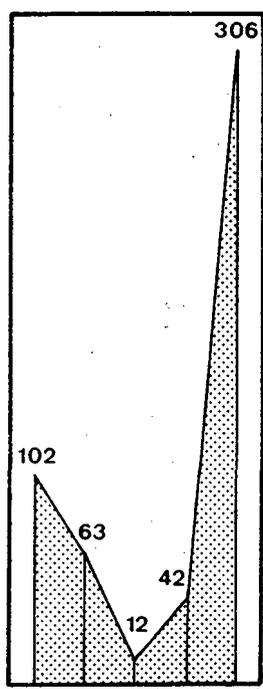


Fig. 2 - Diagramma delle inclinazioni su 525 cavità semplici (in gradi, dalla orizzontale).

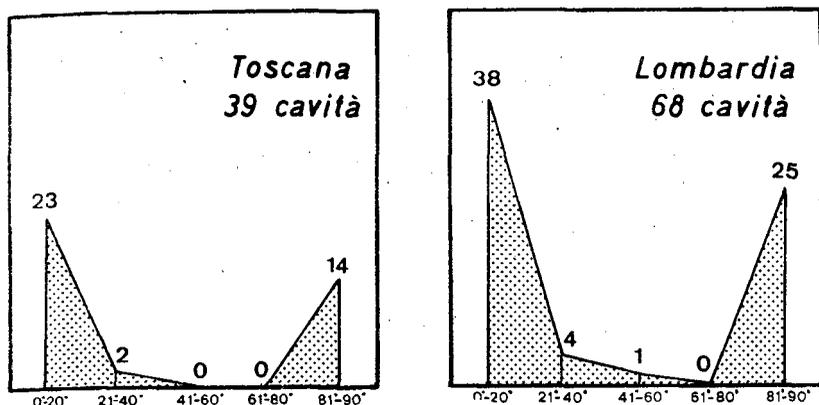


Fig. 3 - Diagramma delle inclinazioni su 39 cavità semplici della Toscana e 68 della Lombardia.

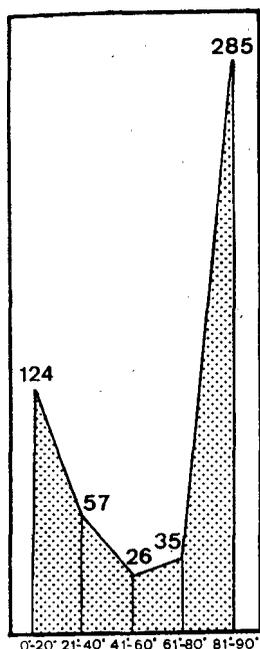


Fig. 4 - Diagramma delle inclinazioni su 527 tratti isolati di cavità composte.

cavità suborizzontali e ne possono alterare la effettiva inclinazione. Quindi i frequenti ripidi piani inclinati formati da detriti ammassati alla base dei pozzi, dovranno essere ricondotti al loro substrato roccioso originale. Naturalmente non sempre ciò sarà facile, ma tuttavia è possibile in un numero di casi sufficiente a dedurre il diagramma della fig. 4.

Questo diagramma, la cui somiglianza con quello della fig. 2 è evidente, ci porta alla conclusione che la distinzione fra « pozzo » e « galleria » rimane pienamente valida anche se riferita ai singoli elementi di cui è formata una grotta composta.

Possiamo quindi enunciare una legge generale, derivata dalle suddette considerazioni:

« In tutti i tipi di cavità carsica si riscontrano soltanto due forme elementari, da sole o variamente combinate, con esclusione di forme intermedie: « pozzo », ad andamento verticale, e « galleria » ad andamento suborizzontale ».

Contro questo enunciato si potrà obiettare col fatto che esistono alcuni casi (non numerosi in verità) che non rientrano nelle due categorie

indicate, come per esempio certi antri o certe voragini, o altre forme più complicate. Posso rispondere che mai come in questo caso si constata la esattezza del detto « l'eccezione conferma la regola », in quanto questi casi eccezionali possono agevolmente essere ricondotti al loro posto nella suesposta legge, ove si consideri non il loro aspetto attuale bensì la loro genesi ed evoluzione. Anzi, sulla base della suddetta legge, la storia di una cavità, comunque complessa, può essere spesso delineata con grande semplicità, chiarezza ed evidenza.

Si presenta ora una domanda:

È possibile che la distinzione fra pozzo e galleria sia puramente morfologica, e non piuttosto espressione di una differenza genetica?

Il KYRLE, per esempio, nella sua « Theoretische Speläologie » (1923) dedica ai pozzi solo qualche incidentale accenno, considerandoli semplicemente come « senkrecht oder steil stehende Höhlenstrecken ». Secondo questa concezione i pozzi non sarebbero che casi particolari di gallerie, e l'inclinazione avrebbe una importanza del tutto trascurabile. Ma contro questa interpretazione sta l'evidenza del diagramma 2. Non è possibile ammettere una identità sostanziale fra due forme strutturali che non risultano collegate da termini intermedi. Bisogna, al contrario considerare le due forme come nettamente distinte, e la loro differenza è talmente spiccata che diventa necessario interpretarle riferendole a processi speleogenetici diversi. Questo risulterà del resto con maggiore evidenza da quanto sarà esposto nel capitolo VI. Quanto è stato detto fin qui è sufficiente per giungere ad un enunciato, dal quale si potranno poi trarre ulteriori deduzioni: *« le due forme elementari di cavità, pozzo e galleria, non rispondono soltanto ad una distinzione puramente morfologica, e quindi di importanza soltanto terminologica, bensì sono espressione di una diversità genetica, e quindi naturale e sistematicamente valida ».*

È opportuno comunque precisare che tale diversità genetica non significa considerare i pozzi come « non grotte », come vorrebbe il KNEBEL 1906, il quale li considera come un tipo particolare di dolina (« Brunnenförmige Dolinen »), e spinge questa concezione fino a considerare come tali anche i pozzi composti. Per cui KNEBEL giunge all'estremo di classificare l'Abisso di Trebiciano (N. 17 V. G.) come « der beste Vertreter jenes zuletzt genannten Typus brunnenförmiger Dolinen » (!). È evidente che i pozzi sono fenomeni carsici sotterranei e non superficiali, né più né meno di tutte le altre manifestazioni del carsismo sotterraneo, e non possono quindi aver nulla in comune con le doline, che sono fenomeni superficiali.

Ciò risulta ancor più chiaramente quando si osservi che i cosiddetti « pozzi interni », facenti parte di sistemi di grotte composte, e quindi situati ben sotto terra, non presentano sensibili differenze morfologiche con i pozzi aperti all'esterno.

Esaminiamo ora separatamente i due tipi di cavità:

1) *Pozzi*: Nei pozzi semplici l'andamento è molto uniforme. Di regola esso è rigidamente verticale, e solo in pochi casi esso si scosta di pochissimo (2° - 5°) dalla verticale. Questo andamento, congiunto ad una spiccata uniformità di forma, fa sì che il pozzo sia il tipo di cavità meglio delineato e precisato nel suo significato.

La profondità è naturalmente molto varia, e così pure il rapporto fra profondità e larghezza. I pozzi più piccoli conosciuti sono profondi 4-5 metri, ed è interessante osservare, come già si è detto, che, per quanto piccoli, questi pozzi sono di regola accessibili direttamente, anche se a volte può essere necessario allargarne l'apertura. In realtà la profondità minima di un pozzo naturale è ancora maggiore, in quanto i dati di profondità rilevabili da qualunque catalogo speleologico si intendono naturalmente calcolati dalla sommità del pozzo fino al vertice del cono detritico che sempre ne occupa il fondo. Prescindendo da questi materiali detritici e considerando solo la cavità delimitata dalla roccia viva, la profondità viene molto aumentata, e per i piccoli pozzi di solito quasi raddoppiata, per cui si può dire che sono molto rari i pozzi profondi meno di 10 metri.

I pozzi più profondi conosciuti superano i 200 metri di profondità, ma sono casi rari, e in certe regioni del tutto eccezionali.

Se si esaminano, anche superficialmente, i grafici di numerosi pozzi semplici, si osserva facilmente che esiste una forma caratteristica che si ripete, con lievi varianti, in un numero talmente grande di pozzi, da poter essere considerata senz'altro come assolutamente tipica.

Questa forma può essere definita come un imbuto capovolto, molto allungato. Osserviamo cioè che, dall'ingresso fino al fondo le pareti divergono gradatamente, per cui la larghezza del pozzo va progressivamente aumentando.

Se osserviamo la fig. 5, vediamo che questa forma è indipendente dalla profondità. I quattro pozzi raffigurati, di profondità ben diversa (rispettivamente 10, 43, 90 e 162 metri) possono essere tutti agevolmente ricondotti alla forma tipica.

L'esistenza, intorno all'orifizio del pozzo, di una dolina, può trasformare la forma a imbuto in una forma « a clessidra », ma in questi casi si

può agevolmente distinguere la parte « dolina » dalla parte « pozzo », per cui quest'ultimo mantiene anche in questo caso la sua forma tipica.

Variazioni sensibili dalla forma a imbuto nei pozzi semplici sono rare. Tranne qualche singolo caso eccezionale, qualsiasi forte variazione dalla

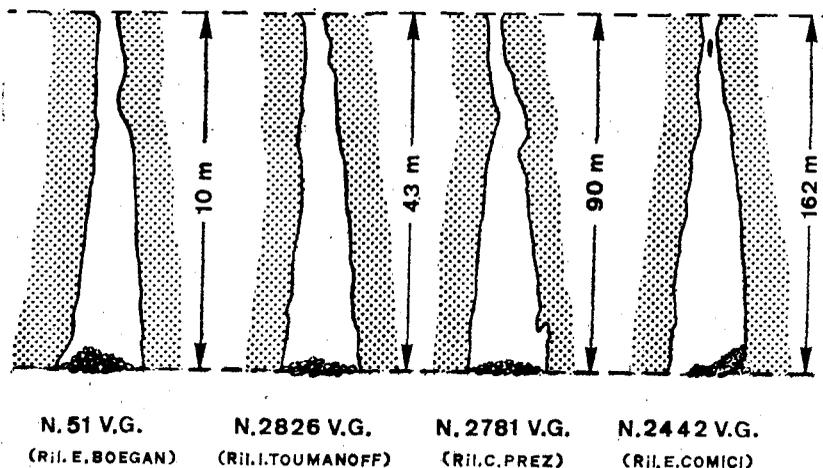


Fig. 5 - Grafico di quattro pozzi semplici (dal catasto delle cavità naturali della Venezia Giulia).

norma è indizio che non si tratta di un pozzo semplice, bensì di un pozzo composto, i cui diversi elementi (quasi sempre più o meno riconoscibili) ripetono, ciascuno per conto suo la forma tipica.

Naturalmente, nell'esaminare la forma tipica dei pozzi, bisogna tener conto delle variazioni dovute a processi erosivi posteriori alla genesi della cavità. Ma anche queste variazioni sono in genere poco vistose, e permettono di ricondurre agevolmente alla forma primitiva.

Aggiungiamo ancora che a volte si nota verso il fondo del pozzo un nuovo riavvicinamento delle pareti, per cui il diametro massimo non si trova sul fondo, bensì spostato alquanto verso l'alto, e la forma complessiva risulta « a fuso ». Questa constatazione è importante per le deduzioni che saranno esposte nel capitolo VI.

Un'altra caratteristica che non manca mai nei pozzi semplici (e in genere anche nei pozzi composti) è la presenza sul fondo, di un cono detritico formato dall'accumulo di pietrisco di varie dimensioni, che impedisce sempre di riconoscere il substrato roccioso del fondo stesso. Questo « cono detritico » (che naturalmente non ha necessariamente la forma di un

cono) si trova sempre nei pozzi aperti all'esterno, ma è riscontrabile anche nei pozzi interni, nei quali la provenienza esterna dei detriti può essere spesso del tutto esclusa. Ciò induce a ritenere che il materiale del cono detritico è soltanto in piccola parte proveniente dall'esterno, mentre per la maggior parte deriva dallo sfaldamento delle pareti del pozzo. E anche questa, come si vedrà nel capitolo VI, è una constatazione non priva di importanza.

2) *Gallerie*: La estrema e multiforme varietà delle gallerie, per forma, dimensione e andamento è ben diversa dalla schematica unicità del tipo « pozzo ». Già nel diagramma della fig. 2 osserviamo che mentre nei pozzi l'andamento è quasi sempre rigorosamente verticale, nelle gallerie l'andamento, che tipicamente dovrebbe essere orizzontale, se ne discosta, assumendo inclinazioni fino ai 25°-30°.

Questo fatto induce a formulare la definizione di galleria, come « cavità ad andamento *suborizzontale* » e rende più difficile una descrizione schematica di questo tipo di cavità.

Tuttavia, se si considerano le sezioni delle gallerie, è possibile distinguere fin d'ora tre tipi principali. Di essi, i primi due furono già distinti dal KYRLE 1923, il terzo invece (talvolta non facilmente riconoscibile) non è stato finora descritto da alcun Autore.

- 1) « Galleria a pressione » (« Efforationsgang »).
- 2) « Galleria gravitazionale » (« Gravitationsgang »).
- 3) « Galleria inversa » (o « Pseudogalleria »).

I primi due sono dovuti all'azione erosiva di un corso d'acqua che le percorre longitudinalmente, e possono perciò essere definite « gallerie dirette ».

Nella « galleria a pressione » l'acqua agisce direttamente sull'intero lume della cavità, scorrendo sotto pressione. La sezione della galleria è quindi circolare, oppure semicircolare in seguito a un parziale riempimento di materiale di trasporto. Nella « galleria gravitazionale » invece l'acqua non agisce su tutto il lume della cavità, bensì soltanto alla sua base. In seguito ai normali processi erosivi, la sezione risulterà perciò a V (fig. 6).

Un caso particolare di galleria diretta (a pressione o gravitazionale) è indicato dalla fig. 7. In esso la sezione è caratterizzata da due serie di costoloni orizzontali che costituiscono altrettante strozzature longitudinali. Questo tipo, frequente in molti inghiottitoi, si ritrova, sia pure molto trasformato, anche in cavità decisamente senili. Lo chiamerò provvisoriamente sezione « tipo Vittoria », avendone constatato un esempio molto vistoso nella Grotta Vittoria di Aurisina (N. 2744 V. G.).

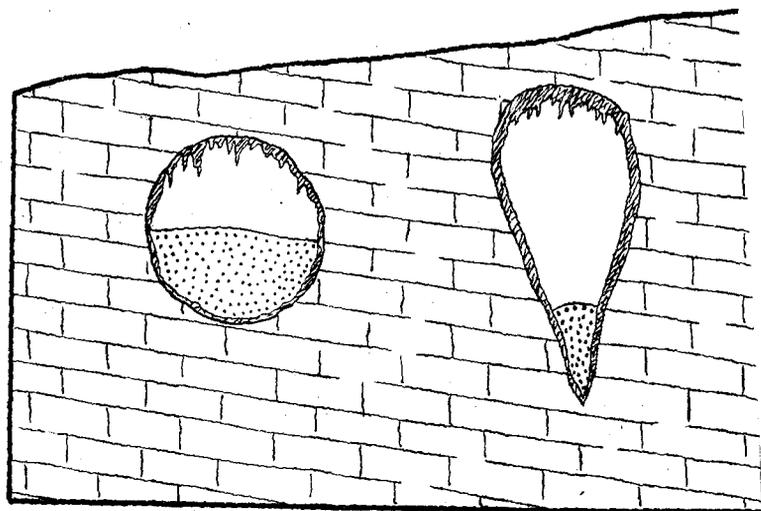


Fig. 6 - Galleria a pressione e galleria gravitazionale.

Più complesso è il tipo di « galleria inversa » ⁽¹⁾. La caratteristica più sensibile è costituita dalla grande varietà di ambienti, che si manifesta solitamente in un seguito di caverne più o meno ampie, separate da strettoie. Spesso tale varietà è ancor più accentuata da diversità nell'aspetto, nel tipo di erosione, nei riempimenti concrezionati ecc. Frequenti in questo tipo di galleria sono i camini verticali, mentre il suolo è di regola coperto da argilla o detriti, spesso ricoperti da uno straterello di concrezione (fig. 8).

Nel complesso le gallerie risultano alquanto meno frequenti dei pozzi. Gallerie semplici di una certa lunghezza (oltre i 100-150 metri) sono anzi notevolmente rare (nella Venezia Giulia). Possiamo rilevare

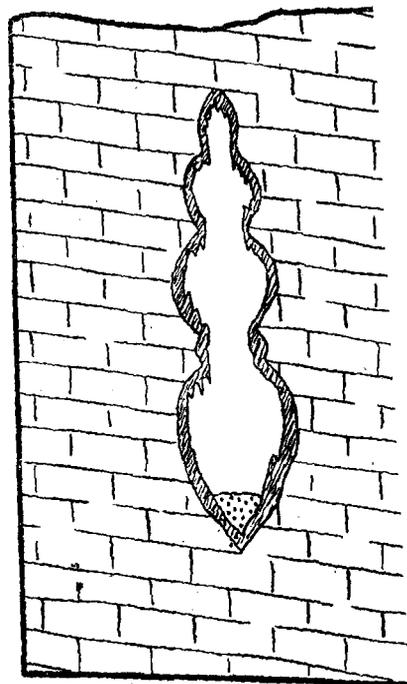


Fig. 7 - Galleria tipo Vittoria.

(1) Il significato del termine troverà la sua spiegazione nel cap. VI.

che le gallerie dirette sono quelle che possono raggiungere le maggiori lunghezze, mentre le gallerie inverse sono in genere piuttosto brevi, spesso

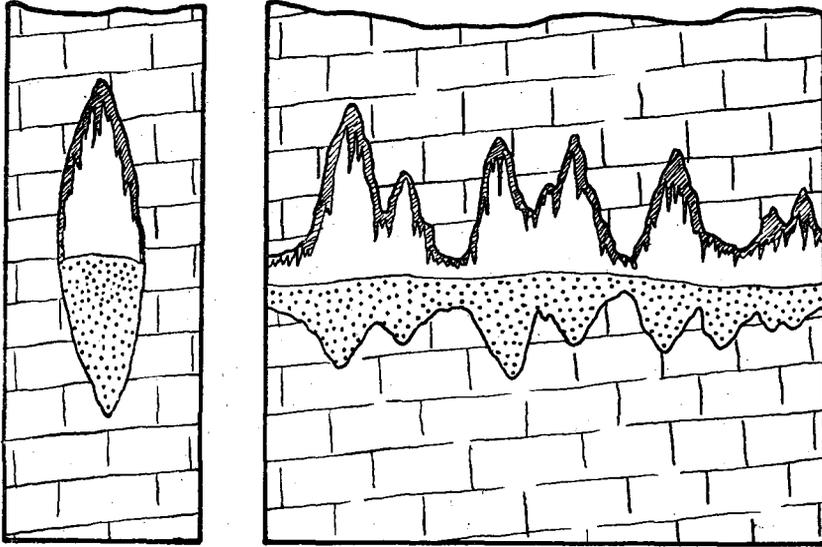


Fig. 8 - Sezione e profilo di *pseudogalleria*.

interrotte da pozzi, e in genere si ritrovano di solito come elementi di grotte composte, piuttosto che come grotte semplici.

Nella distribuzione delle gallerie dirette troviamo tre distinti tipi:

I tipo). Gallerie dirette semplici, collegate con un reticolo idrografico superficiale, attuale o estinto, e quindi funzionanti da veri inghiottitoi. Gallerie di questo tipo si trovano di solito riunite in numero più o meno grande su una superficie non molto estesa e formano il sistema assorbente di « valli chiuse ». Quando funzionano da inghiottitoio attivo la loro relazione col reticolo idrografico superficiale è naturalmente evidente. Più difficile è invece stabilire tale relazione quando le grotte sono già senili e la idrografia superficiale è scomparsa. In questo caso però la presenza di un certo numero di gallerie dirette aventi caratteri comuni, può permettere a volte, attraverso uno studio comparato della loro posizione ed andamento, di ricostruire le caratteristiche dell'antica idrografia subaerea (fig. 9).

II tipo). Gallerie dirette facenti parte di sistemi di grotte composte. Questo caso, che a prima vista sembra molto comune, è in realtà piuttosto

raro, pur presentando alcuni esempi molto vistosi e caratteristici. Nella maggior parte dei casi di grotte composte comprendenti uno o più tratti di gallerie, si tratta di « pseudo-gallerie » più o meno chiaramente distinguibili. Vere gallerie dirette in grotte composte si possono trovare in due forme:

a) grotte ad andamento prevalentemente orizzontale: si tratta, in effetti, di gallerie dirette di I tipo, interrotte da uno o più pozzi (fig. 10);

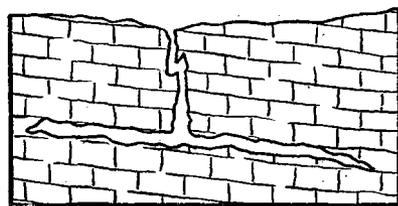
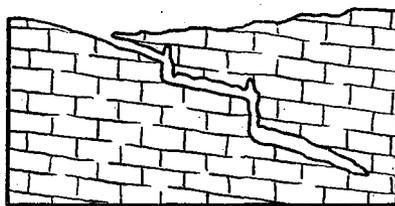


Fig. 10 - Schemi di gallerie dirette di II tipo.

b) grotte composte prevalentemente verticali. Qui noi troviamo la galleria diretta, quasi sempre a rilevante profondità, in relazione ad una via di drenaggio di acque sotterranee, o con l'acqua di fondo.

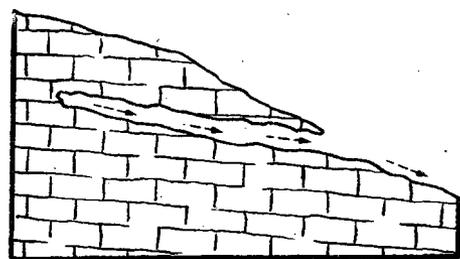


Fig. 11 - Schema di galleria diretta di III tipo (risorgiva).

III tipo). Risorgive. Rappresentano la via di ritorno in superficie di corsi d'acqua sotterranei (fig. 11).

Grotte composte: La prima constatazione che risulta evidente dall'esame delle grotte composte è che la distinzione fra pozzo e galleria non si limita soltanto alle grotte semplici, ma va estesa a ogni singolo elemento di qualsiasi grotta.

Anche nelle grotte composte infatti mancano o sono rarissimi i tratti con pendenze intorno ai 45° , e quindi ogni tratto della cavità riveste de-

cisamente carattere di galleria suborizzontale o pozzo verticale. Possiamo quindi considerare le grotte composte come « associazioni di pozzi e di gallerie, collegati fra loro in modo da formare una cavità unica ad andamento ininterrotto ».

È importante osservare che i singoli elementi in cui una grotta non semplice può essere scomposta, conservano, ognuno per conto suo la forma caratteristica, e possono essere considerati e studiati separatamente l'uno dall'altro. Così le gallerie mantengono la loro struttura che permette di identificarne il tipo, e i pozzi presentano di regola la forma tipica a imbuto capovolto, mentre la loro sommità si restringe e si innalza spessissimo a camino. Tale forma, e la presenza del camino sono anzi caratteri così costanti che (a meno che non si siano verificati fenomeni secondari di assestamento) devono essere considerati come indicativi nell'individuazione degli elementi della grotta composta. Scoscendimenti verticali in grotte composte, di forma irregolare e privi di camino, devono in genere essere considerati come dovuti a fenomeni locali di crollo, e non possono essere omologati ai veri pozzi. Per essi si potrà adottare il termine « salti ». Essi però sono molto meno frequenti di quanto potrebbe sembrare ad un esame superficiale.

IV. INGHIOTTITOI

Particolare interesse hanno quelle cavità che, per essere attualmente percorse perennemente o temporaneamente da acque correnti, dimostrano di trovarsi ancora in una fase vicina alla loro genesi.

Le grotte che ricevono un corso d'acqua superficiale e ne sono percorse prendono, com'è noto, il nome di *inghiottitoi*, ed in questo senso sarà qui usato il termine, prescindendo dal suo significato più lato (e più esatto), secondo il quale « inghiottitoio » è qualunque punto della superficie carsica in cui avviene una cattura di acque superficiali, anche se non risulta direttamente accessibile.

Si è tentato più volte di giungere ad una classificazione di vari tipi di inghiottitoio, ma con risultati tutt'altro che soddisfacenti.

In realtà è possibile distinguere due tipi di inghiottitoi che costituiscono veramente una distinzione razionale, in quanto basata su concetti genetici, oltre che morfologici. Per quanto mi consta si tratta di un concetto nuovo, non citato da alcun Autore, e che acquista un particolare interesse alla luce della teoria speleogenetica che esporrò nel capitolo VI.

Secondo quanto ho potuto constatare, gli inghiottitoi si dividono cioè in due gruppi, nettamente distinti, che si potrebbero chiamare: « inghiottitoi diretti » e « inghiottitoi inversi ».

Il carattere principale che distingue questi tipi è dato dall'andamento della cavità. Negli inghiottitoi diretti, la cavità si estende in continuazione, con la stessa direzione del primitivo corso d'acqua superficiale; negli inghiottitoi inversi (che sono più frequenti, almeno nella Venezia Giulia), avviene invece generalmente quella che io chiamo « retroversione del corso », in quanto la cavità si estende in direzione contraria a quella del corso d'acqua superficiale.

Che questa diversità di andamento corrisponda effettivamente ad una vera differenza sistematica è dimostrato dal fatto che anche per altri caratteri si distinguono questi due tipi di inghiottitoi. Il tipo diretto ha di solito un andamento suborizzontale, senza forti dislivelli, le sue gallerie hanno forma e dimensioni notevolmente regolari e costanti, mancano strozzature, allargamenti, camini verticali, ecc., appaiono invece spesso più marcati i segni di una energica azione erosiva, per cui le pareti appaiono fortemente accidentate e fessurate, oppure esageratamente levigate, e sono molto frequenti infine abbondanti materiali di trasporto. Si tratta cioè generalmente di « gallerie dirette », di I tipo, gravitazionali o « a pressione » (fig. 9).

Nel tipo inverso invece si ha generalmente un andamento più vario, con frequenti salti verticali, alternati con gallerie orizzontali o variamente inclinate, sono molto frequenti i camini verticali, sormontanti i pozzi, si hanno frequenti strozzature, spesso molti ponti naturali di roccia in sito, l'erosione sulle pareti appare molto varia, talora eccezionalmente intensa, talvolta quasi nulla, tanto da potersi avere anche tracce di concrezioni, e perfino stalattiti e stalammiti, e questo anche in tratti diversi della medesima grotta (fig. 12).

Come si vede si tratta di differenze molto spiccate, che, grosso modo, si possono così riassumere: gli inghiottitoi diretti sono quasi sempre grotte semplici, quelli inversi sono quasi sempre cavità composte. Ma, come ho detto, la distinzione si basa anche (anzi principalmente) su motivi genetici. I due tipi di cavità hanno infatti una origine diversa, della quale sarà trattato nel capitolo VI. E allo stesso capitolo rimando pure per quanto riguarda il problema del come e perché si manifesti la caratteristica « retroversione del corso » degli inghiottitoi inversi.

Questi inghiottitoi retroversi sono i più frequenti, e fra essi si anno-

verano gli abissi più profondi e più noti del Carso. Cito, per esempio, l'Abisso Bertarelli, in Istria, l'inghiottitoio di Odolina, la voragine di Ocicla e gli altri inghiottitoi vicini, la foiba Colinassi, nel Carso di Rozzo, ecc.

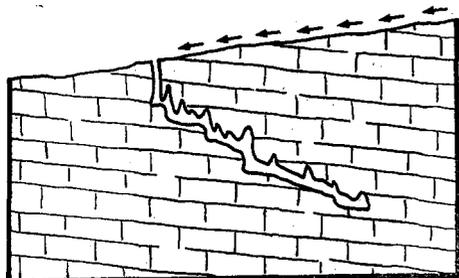


Fig. 12 - Schema di inghiottitoio inverso.

Quasi tutti questi inghiottitoi presentano in comune la caratteristica di aprirsi con un pozzo verticale di varia profondità, ed anche dove questo pozzo manca (Abisso Bertarelli) abbiamo però un avvallamento imbutiforme, a pareti molto ri-

pide. Al pozzo iniziale segue una galleria suborizzontale, oppure più spesso una serie di altri pozzi, di varia profondità, alternati talvolta con tratti di galleria più o meno lunghi. Il complesso si dirige direttamente in direzione contraria al corso d'acqua, passando quindi sotto di esso, oppure descrive una curva, più o meno ampia, venendo a disporsi esattamente sotto al corso d'acqua, oppure parallelamente ad esso, sempre però nelle sue immediate vicinanze. Molte volte si hanno comunicazioni con esso, attraverso fessure più o meno strette, che raccolgono le perdite del corso d'acqua e le convogliano verso uno o più camini verticali della volta della cavità.

Quando, invece di un corso d'acqua, l'inghiottitoio raccoglie gli alvei di vari torrenti permanenti o periodici, il corso sotterraneo si dispone al di sotto del più ampio di essi, come è il caso, per esempio, dell'Abisso Bertarelli.

I camini, cui ho accennato più sopra, sono una delle caratteristiche più costanti di questo tipo di inghiottitoi. Si può dire che, salvo rare eccezioni, in generale tutti i pozzi interni sono sormontati da un camino, a volte piccolo, a volte invece imponente, tanto che non ne è visibile la sommità. Spesso da questi camini scendono copiose infiltrazioni d'acqua o di fango umido, e delle vere cascatelle, che dimostrano l'esistenza di comunicazioni col corso d'acqua superficiale. Qualche volta queste infiltrazioni sono tanto abbondanti, che attraverso ad esse si perde l'intero corso di acqua, prima ancora di raggiungere il vero ingresso dell'inghiottitoio: si ha cioè quello che viene chiamato inghiottitoio interno, in quanto l'ingresso naturale non è più percorso dalle acque ed il primo tratto della cavità va assumendo pertanto lentamente i caratteri di grotta senile. Risulta comunque evidente, di solito, che la condizione di inghiottitoio interno, in questi

casi, è secondaria, la primitiva attività assorbente essendosi stabilita attraverso l'ingresso naturale.

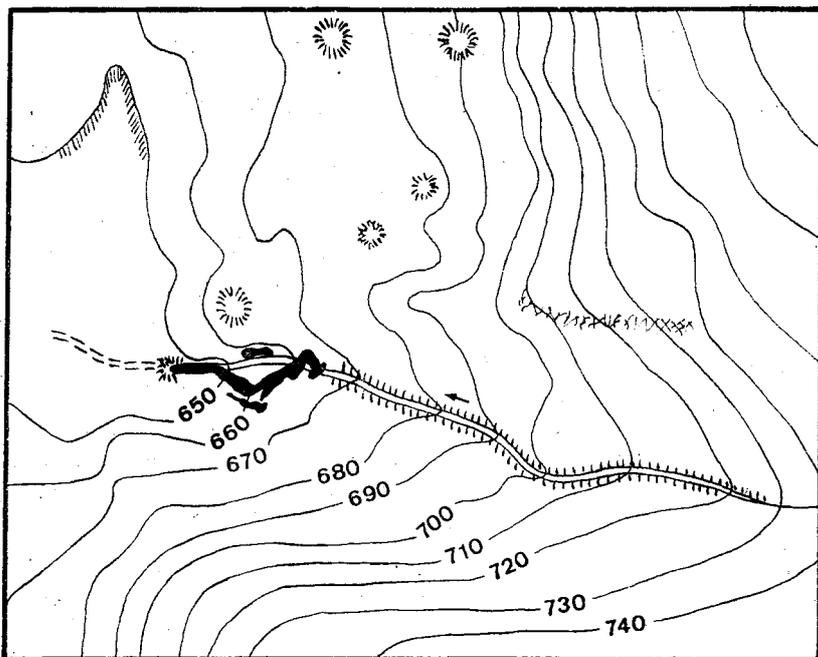


Fig. 13 - Inghiottitoio retroverso: l'inghiottitoio di Dolegna (N. 3683 V. G.), in Istria. Situato a m. 2450 NE + 19° E da Dolegna (25000 IGM, F. XXX, III SE - Lanische Mont'Aquila).

A valle dell'ingresso dell'inghiottitoio si osserva molto spesso la continuazione dell'alveo del corso d'acqua, che però, quando l'inghiottitoio è abbastanza esteso da assorbire l'intero corso (come avviene nella maggior parte dei casi), risulta completamente abbandonato, e va incontro ad una più o meno rapida obliterazione. La presenza di tale alveo abbandonato dimostra che l'apertura dell'inghiottitoio è molto più recente che non il corso d'acqua stesso, in molti casi è recentissima, e si è verificata improvvisamente (l'inghiottitoio di Dolegna, per esempio, si è aperto improvvisamente, intorno al 1920).

Nello stesso inghiottitoio di Dolegna (fig. 13) ho potuto notare inoltre con grande evidenza le notevoli differenze di intensità dell'erosione, nei vari tratti del suo percorso. Il pozzo di accesso presenta le pareti eccezionali

mente tormentate, ricche di lame erose, fessurate, accidentate, con solchi profondi e separati da creste affilate e leggermente seghettate: analoga-

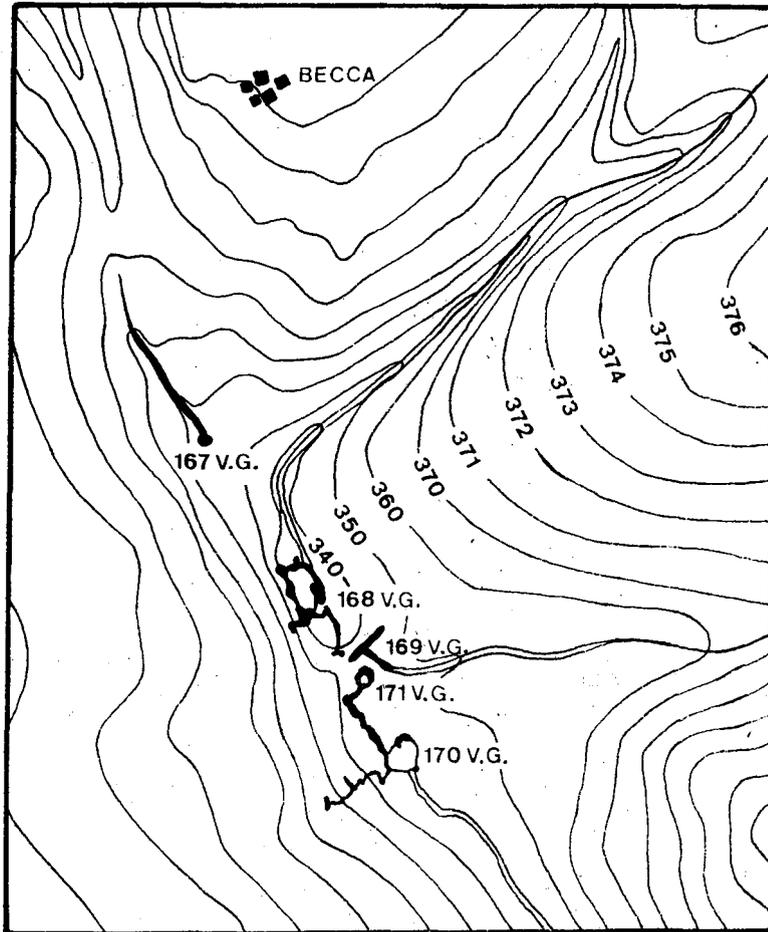


Fig. 14 - Gli inghiottitoi retroversi della zona fra Becca e Occisea, sull'Altipiano di S. Servolo (da RIECKOFF 1933).

mente, in alcuni punti della galleria terminale l'azione erosiva si manifesta con massima evidenza, con la presenza di crepacci, pareti accidentate, prive di concrezione, ecc. In altri punti invece l'azione erosiva appare quasi nulla: le pareti sono lisce, uniformi, rivestite di uno strato di concrezione, al suolo si notano depositi di fango, in una caverna ho trovato due grosse colonne stalammitiche e perfino, sulla volta, numerose stalattiti, di forma regola-

rissima. La ragione di tali apparenti contraddizioni si trova nel fatto che, secondo ogni apparenza, l'abisso si è formato con la congiunzione di varie cavità isolate preesistenti, ciascuna delle quali presentava già caratteristiche sue proprie, che sono state più o meno conservate anche dopo avvenuta la congiunzione.

Passiamo ora all'altro tipo di inghiottitoio, il tipo diretto. Come ho detto, questo tipo ha generalmente un andamento suborizzontale ed i suoi vani si susseguono con una certa regolarità, senza notevoli cambiamenti di direzione. Il profilo longitudinale sarà suborizzontale, oppure, negli inghiottitoi diretti più lunghi potrà essere quello di equilibrio di un corso d'acqua. Al tipo di-

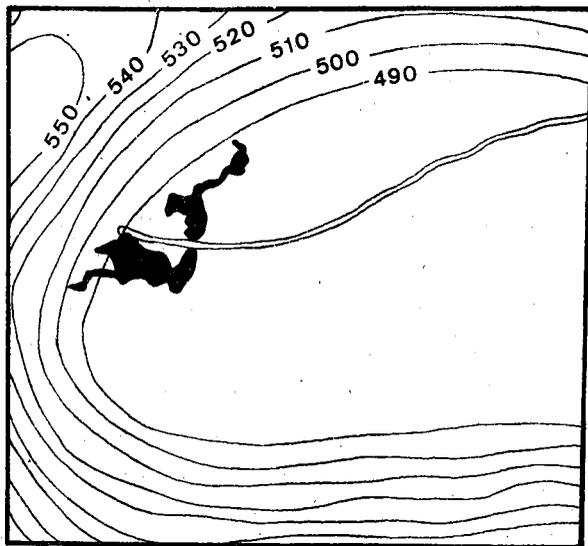


Fig. 15 - Inghiottitoio retroverso: Grotta di Odolina o Grotta Lethe (N. 128 V. G.), situata nel solco di Castelnuovo, a m. 850 S + 18° O da Odolina (25000 IGM - F. XXX, IV SO - Mattered).

retto appartengono, per esempio le grotte di S. Canziano, quelle di Postumia, l'inghiottitoio di Poniqua (N. 3020 V. G.), presso Castelnuovo d'Istria, ecc.

Come esempio tipico di inghiottitoio diretto possiamo prendere quest'ultimo, che si può dire un caso classico. La valle di Poniqua è una tipica valle chiusa facente parte del modellamento secondario del solco di Castelnuovo, bloccata verso lo sbocco da una alta parete rocciosa a picco, disposta a semicerchio. Contro questa parete viene a terminare il torrente Razzule (di notevole portata, e raramente del tutto asciutto), la cui energica azione erosiva ha forato la roccia formando una estesa galleria, che è stata esplorata da Cesca e Furlani nel 1933 (BOEGAN 1934) e da me nel 1939. Questa galleria, lunga più di 300 metri è interamente pianeggiante e si snoda regolare, senza grandi curve, con tratti rettilinei lunghi 30-60 e più metri. Il suolo è dappertutto coperto da fine ghiaia arrotondata, le pareti sono levigatissime, del tutto prive di concrezioni. La sezione della galleria

è molto uniforme, la volta si mantiene dappertutto orizzontale (seguendo in ciò la giacitura degli strati) e alta non più di un metro, in qualche punto un po' meno. Le pareti laterali, lievemente inclinate, distano fra loro da

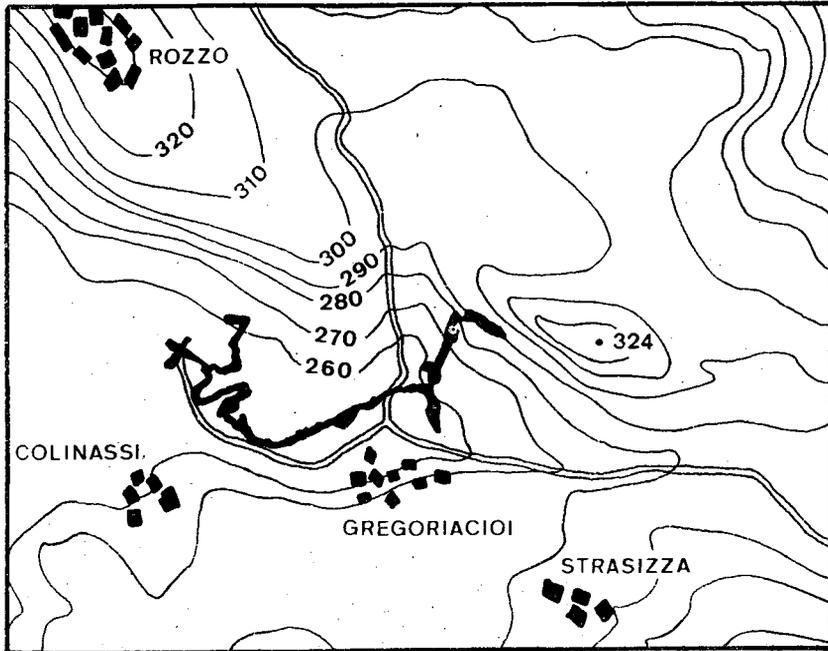


Fig. 16 - Inghiottitoio retroverso: la Foiba Colinassi (N. 1187 V. G.), situata a m. 400 SE + 30° S Da Rozzo (25000 IGM, F. XXX, III SO - Pinguente).

3 a 5 metri. Dopo 300 metri di percorso, il carattere dell'inghiottitoio cambia bruscamente: si ha un improvviso scoscendimento, accidentato, alto circa 3 metri, mentre la volta si innalza e le pareti laterali si allontanano, formando una spaziosa caverna, alta 6 metri circa, lunga 12 e larga 20. Le pareti sono qui più accidentate, e presentano nicchie e fessure laterali. Il suolo è coperto da grandissimi ammassi di fango misto a detriti vegetali. Con questa caverna l'inghiottitoio sembra aver termine.

Nella caverna finale, come pure in tutto il percorso della galleria mancano completamente camini verticali nella volta.

L'andamento dei vani è uniforme, e indica l'origine unica di tutta la cavità, dovuta ad una causa erosiva agente in continuità.

Queste caratteristiche, massimamente evidenti nella grotta descritta, si ritrovano in generale, in tutti gli inghiottitoi del tipo diretto.

V. FESSURAZIONE NEI CALCARI E ORIGINE DELLE CAVITÀ

Il KYRLE, nella sua « Theoretische Speläologie » (1923) distingue quattro fasi nella evoluzione delle cavità carsiche:

- 1) Formazione di cavità (« Raumentstehung »)
- 2) Ampliamento (« Raumerweiterung »)
- 3) Riempimento (« Raumerfüllung »)
- 4) Decadenza (« Raumverfall »).

Queste fasi non sono in realtà così nettamente separate fra di loro, come ritiene l'Autore, almeno le ultime tre, tuttavia la distinzione ha un valore chiarificatore indubbio. Particolarmente conviene mettere in rilievo la distinzione fra le prime due fasi, tenendo conto del fatto importante (già accennato) che non è possibile riconoscere, almeno in superficie, i termini intermedi fra litoclasti e vere grotte. Quindi, poiché la genesi di una grotta presuppone la preesistenza di un sistema di fessure, potremo considerare la prima fase (« Raumentstehung ») come la genesi di queste fessure, mentre la seconda (« Raumerweiterung ») sarebbe la vera speleogenesi intesa in senso stretto. In realtà nella trattazione del KYRLE la distinzione non è intesa in questo senso, in quanto l'A. usa bensì il termine « fasi », ma si sofferma poi principalmente sui « fattori » di esse, prescindendo da un concetto cronologico. Per cui la « Raumentstehung » porta già alla formazione di vere grotte e non risulta chiaro quindi dove cessi la « Entstehung » e incominci la « Erweiterung ».

Nella « formazione di cavità » l'Autore distingue:

- a) la preparazione tettonica;
- b) la corrosione.

Questa distinzione mantiene intatto il suo valore anche interpretando le « fasi » nel senso suesposto. La preparazione tettonica determina, per l'azione delle spinte orogenetiche, la comminuta fratturazione degli strati calcarei, con formazione di una vasta e fitta rete di litoclasti.

Questa fessurazione delle rocce calcaree è un fattore fondamentale nella genesi e nello sviluppo di un carsismo di profondità, in quanto le litoclasti rappresentano le vie di drenaggio delle acque nel sottosuolo.

L'andamento e le caratteristiche di questa fessurazione sono ancora in buona parte oscure, ed è dubbio se sia possibile giungere a generalizzazioni che diano una chiara sintesi del fenomeno. Nell'affrontare lo studio di questo importante problema, due sono le vie possibili:

a) L'indagine diretta attraverso l'osservazione dei grandi massicci calcarei, delle rocce scoperte nei campi solcati, delle sezioni artificiali della roccia nelle cave, ecc.

b) L'indagine indiretta, attraverso lo studio dell'andamento e della forma delle grotte, le quali, essendo evidentemente in stretta relazione con la fessurazione possono permettere di risalire ad essa.

L'indagine diretta non è facile. Infatti la maggior parte delle fessure è capillare, e come tale difficilmente, o affatto, osservabile, specialmente in superficie, dove la roccia è più o meno fortemente erosa e accidentata. Si può comunque osservare che la fessurazione forma una rete in tutta la massa della roccia, con una densità maggiore nelle zone in cui più intensi si rivelano i disturbi tettonici. Queste fessure così uniformemente e densamente distribuite sono in genere capillari, e spesso submicroscopiche, e ad esse spetterà quindi il termine « leptoclasì » che vale a distinguerle dal secondo sistema, quello delle « diaclasi ».

Possiamo infatti osservare che l'esistenza del sistema leptoclasico non è sufficiente per spiegare la genesi delle grotte, e soprattutto la loro forma ed il loro andamento. Infatti un allargamento operato dalle acque in seno alle leptoclasì può avvenire teoricamente in qualsiasi direzione, essendo pressoché uniforme la rete di fessure. Quindi le cavità così originate potrebbero avere gli orientamenti e le direzioni più varie, senza possibilità di stabilire una norma regolare. Invece, come abbiamo visto, la norma esiste, espressa con la conclusione del capitolo III:

« Le cavità naturali carsiche presentano un andamento regolare, verticale o suborizzontale, con esclusione di inclinazioni intermedie, e con prevalenza dei pozzi vicino alla superficie, prevalenza delle gallerie a quote più vicine all'acqua di fondo ».

Questo enunciato costituisce un risultato fondamentale nello studio comparato di un gran numero di cavità, come è possibile nel Carso Giuliano. Di esso bisognerà tenere ben conto in qualsiasi tentativo di spiegazione speleogenetica, e da esso potremo risalire a trarre ulteriori deduzioni sul problema della fessurazione nei calcari.

Bisogna cioè ammettere, oltre al sistema uniforme di leptoclasì, anche un altro sistema decisamente orientato, in inclinazione, di fessure alquanto

più ampie, che potremo chiamare « diaclasi », riservando il termine più generale di « litoclasti » ai due sistemi riuniti.

La distinzione fra diaclasi e leptoclasti è essenzialmente di carattere dimensionale, essendo le diaclasi più ampie (sia pure di poco) delle leptoclasti. Accanto a questa caratteristica dimensionale abbiamo però anche l'inclinazione uniforme delle diaclasi, la quale ci induce a cercare la loro origine in cause diverse da quelle che hanno originato le leptoclasti.

Dall'enunciato espresso più sopra possiamo dedurre senz'altro che il sistema di diaclasi presenta una inclinazione regolare, verticale nei pressi della superficie, suborizzontale a maggiore profondità. Questa disposizione, quale si può dedurre dall'osservazione diretta, è anche teoricamente prevedibile, come sarà detto più avanti.

Nella genesi delle diaclasi orientate entrano in gioco fattori specifici, insiti nell'azione delle acque e nella loro opera erosiva, e quindi i medesimi fattori che agiscono nella speleogenesi intesa in senso ristretto. Infatti fattori soltanto tettonici possono determinare orientamenti nelle fessure, non tanto riguardo l'inclinazione, quanto piuttosto riguardo la direzione, come si può osservare per esempio nell'evidente allineamento di grandi fenomeni carsici lungo il Vallone di Brestovizza, che segue l'asse dell'anticlinale del Carso Triestino ⁽¹⁾.

Un orientamento nel senso dell'inclinazione può quindi essere dovuto soltanto a fattori idrodinamici, e cioè ai movimenti di drenaggio delle acque, che seguono la direzione della gravità.

Queste azioni idrodinamiche presuppongono però la *preesistenza* di un sistema di fessure, il quale quindi non sarà originariamente orientato, ma in seno al quale si potranno, *in un secondo tempo*, per l'azione decalcificante delle acque carbonicate, stabilire sistemi di fessure più ampie, orientate.

Si osserva inoltre che nelle grotte si possono seguire molto spesso le tracce di evidenti diaclasi, rappresentate, in genere, nelle grotte più giovanili da fessure; in quelle più senili da vistosi allineamenti di formazioni stalattitiche. L'infiltrazione di acque che rendono costantemente umide le pareti della grotta, però, lungi dal provenire soltanto dalle diaclasi, proviene viceversa da numerosissimi punti, irregolarmente sparsi su tutta la massa rocciosa, per cui il velo d'acqua sulle pareti rimane ovunque uniforme. Ciò significa che accanto alle diaclasi, esiste, come appunto si vuol

(1) Il MARUSSI (1941 b) riconduce questo allineamento, piuttosto che a fattori tettonici, al corso subaereo di un antico fiume. L'una cosa comunque non esclude l'altra.

dimostrare, una fitta rete di minuscole leptoclasti, prive di orientamento definito.

La formazione delle diaclasi è quindi dovuta alla « Korrosion » citata dal KYRLE, come secondo fattore della « Raumentstehung ». Essa però interviene sulle leptoclasti stesse, e quindi *prima ancora* che si abbiano vere grotte, e deve essere considerata a sua volta come una *preparazione* alla speleogenesi propriamente detta.

VI. AMPLIAMENTO DELLE CAVITA': « EROSIONE INVERSA »

Lo stabilirsi dei due suddescritti sistemi di litoclasti rappresenta, come si è detto, la prima fase della speleogenesi intesa in senso lato, la « Raumentstehung » di KYRLE. A questo punto ci troviamo di fronte a estese soluzioni di continuità nella roccia, ma non abbiamo ancora vere grotte, nel senso usuale del termine. È qui dunque che dovrà intervenire la « Raumerweiterung » coi suoi fattori ed il suo meccanismo, ed i cui risultati sono quelli che ci vengono rivelati dalle esplorazioni della speleologia, dirò così, militante.

Nella fitta rete delle litoclasti noi troviamo alcuni punti più propizi a fenomeni speleogenetici ed altri meno. È chiaro che le acque di infiltrazione seguono le vie di minor resistenza, e quindi, una volta stabilitosi il sistema di diaclasi questo sarà seguito di preferenza, di fronte al più vasto e complesso, ma meno penetrabile sistema di leptoclasti. L'ampliamento delle diaclasi sarà quindi molto più rapido che non quello delle leptoclasti, anzi si raggiungerà presto il momento in cui il sistema leptoclastico dovrà rimanere pressoché stazionario, la quasi totalità del drenaggio essendo avviata nelle diaclasi. Anche nell'ambito di queste però sarà naturalmente in vigore la legge della minore resistenza. Vie di minore resistenza saranno quindi:

- a) le diaclasi più ampie in confronto di quelle meno ampie;
- b) i fasci di diaclasi più complessi in confronto alle diaclasi isolate;
- c) le linee di intersezione di diaclasi diverse;
- d) le linee di intersezione fra diaclasi e giunti di stratificazione.

Qui conviene osservare un fatto importante, troppo spesso dimenticato. Se uno di questi punti di minor resistenza si trova alla *superficie del terreno* esso potrà venir attaccato con la necessaria energia e continuità soltanto qualora le acque vi si possano riversare in quantità sufficiente. È necessario perciò che le condizioni morfologiche del terreno rendano

possibile questo afflusso, e ciò si potrà avere sul fondo di un avvallamento, oppure lungo il letto di un corso d'acqua superficiale. Nel secondo caso l'intensità dell'azione erosiva è sufficiente per svolgere una funzione speleogenetica, e si potrà formare quindi un inghiottitoio e più precisamente un inghiottitoio diretto di I tipo (vedi cap. III e IV).

Nel primo caso invece noi ci troviamo di fronte ad acque meteoriche, quindi ad una causa non agente in continuità. Queste acque inoltre devono raccogliersi in superficie e quindi prima ancora di raggiungere il punto di raccolta avranno già subito perdite attraverso altre diaclasi e attraverso le leptoclasti. L'azione sarà quindi molto lenta ed il procedere dell'erosione in profondità, avanzerà di pari passo col suo procedere in ampiezza. Ne risulterà una cavità largamente aperta in superficie, imbutiforme, in cui il rapporto fra profondità e larghezza sarà $\frac{P}{L} \leq 1$. Questa non è evidentemente una grotta bensì una dolina.

Questa constatazione potrebbe quindi portare alla conclusione che le vere grotte si possano formare soltanto in relazione con corsi d'acqua superficiali.

A questa conclusione giunge, ad esempio, il MARUSSI 1941a. Se noi osserviamo la distribuzione delle cavità in una regione intensamente carsificata come la Venezia Giulia, è però ben difficile notare allineamenti particolari nella distribuzione delle cavità, e la stessa morfologia superficiale delle regioni carsificate presenta spesso tracce, a volte molto vistose, di solchi dovuti all'incisione di fiumi che sono esistiti in una fase precedente, precarsica, mentre manca qualunque accenno di una relazione fra la distribuzione delle cavità ed i suddetti solchi. Del resto l'ipotesi del MARUSSI è contraddetta dal fatto, già ampiamente documentato, dell'apertura in superficie di nuove grotte, in epoche attuali e senza l'intervento di corsi d'acqua.

Da queste osservazioni giungiamo quindi al seguente enunciato importante:

« Soltanto gli inghiottitoi diretti si originano in superficie e proseguono il loro ampliamento verso il sottosuolo; tutti gli altri tipi di cavità trovano la loro origine in profondità e la loro apertura all'esterno è soltanto secondaria e a volte accidentale ».

Ho già esposto questo enunciato, a proposito dell'Abisso di Opicina Campagna (MAUCCI 1950) e in quella occasione ho potuto darne una prima sommaria dimostrazione. Sarà opportuno esporre qui altre osservazioni per avvalorare questo assunto.

Lasciando da parte, per ora, gli inghiottitoi diretti, che, come si è

detto hanno un andamento prevalentemente orizzontale, sono da considerare qui le vere grotte inverse, che hanno un andamento prevalentemente

verticale. Questo andamento è ovviamente in relazione con l'analogo andamento delle diaclasi ed è ad un tempo, indizio e conseguenza del drenaggio verticale delle acque meteoriche.

Nella forma dei pozzi semplici noi troviamo subito un argomento importante. Come si è detto nel cap. III, tale forma è molto costante ed è caratterizzata dal progressivo allargarsi della cavità dalla sommità verso la base. È evidente che se la genesi della cavità avesse avuto inizio in superficie la forma dovrebbe essere esattamente lo

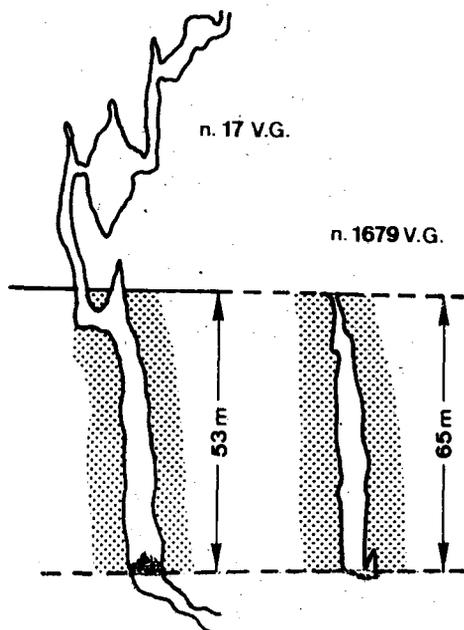


Fig. 17 - Paragone fra un pozzo interno ed un pozzo semplice superficiale. Il P. 53 della Grotta di Trebiciano (N. 17 V. G.), supposto isolato dal sistema di cavità di cui fa parte, rivela la sua somiglianza col pozzo N. 1679 V.G., superficiale.

opposto, cioè più larga alla sommità e più ristretta alla base, ma questa forma è proprio di gran lunga la più rara nei veri pozzi. Per ovviare a questa contraddizione sono state cercate varie spiegazioni, ma tutte rimangono alquanto artificiose. La spiegazione risulta molto più semplice ammettendo l'origine sotterranea del pozzo, in cui quindi l'apertura all'esterno si è verificata in un secondo tempo.

Se noi osserviamo poi le grotte composte e immaginiamo di scomporle nei loro elementi costitutivi, vediamo che i singoli pozzi interni ripetono, ognuno per conto suo una struttura che è sostanzialmente identica a quella dei pozzi semplici. Consideriamo un tipico pozzo interno, come per esempio uno di quelli della Grotta di Trebiciano (N. 17 V. G.) e supponiamo di isolarlo dal sistema sotterraneo di cui fa parte: se ora noi immaginiamo di tagliare la sommità del camino che sovrasta il pozzo col piano della superficie del terreno, otterremo un pozzo semplice della forma più classica, che non potrà distinguersi in nulla da quelli che la natura ci presenta come tali (fig. 17). Tutto ciò significa che i pozzi possono essere

considerati come un tipo ben caratterizzato di cavità carsica e raggruppati in una categoria, indipendentemente dal fatto, del tutto accidentale, che essi siano aperti in superficie o meno. Si constaterà facilmente quindi che i veri pozzi semplici, aperti in superficie, sono una minoranza rispetto ai ben più frequenti pozzi interni, il cui collegamento con la superficie è soltanto indiretto, attraverso più complessi sistemi di cavità. Ed è logico supporre che almeno altrettanto numerosi devono essere i pozzi sotterranei sconosciuti perché privi di qualsiasi comunicazione diretta e praticabile con l'esterno.

Nel capitolo III ho citato un elenco di cavità naturali della Venezia Giulia che si sono aperte spontaneamente o accidentalmente in superficie negli ultimi 60 anni. Non sarebbe necessario osservare come questo fenomeno si accordi perfettamente con la ipotesi di una origine sotterranea delle cavità. Devo soltanto aggiungere che il suddetto elenco si riferisce a cavità che si sono

aperte in superficie *senza diretto intervento dell'uomo*. Altri numerosi casi si potrebbero citare, in cui si sono svelate cavità sotterranee per opera di mine, in cave, gallerie, ecc. Il dott. D'AMBROSI mi riferisce di aver osservato ben 5 casi recenti, nelle cave di pietra dei pressi di Cittanova. Io stesso ho osservato di recente un caso analogo. A Nord di Prosecco, nel Carso Triestino, nel corso di lavori di sbancamento in roccia, fu aperta con mine una piccola cavità, che potei visitare e rilevare prima che il proseguire dei lavori ne provocasse la completa distruzione. La cavità mancava di qualsiasi comunicazione visibile con l'esterno, ed era formata da una serie di vani allineati, sormontati ciascuno da un camino. Non c'erano pozzi, ma la forma dei vani permetteva di ricondurli alla struttura verticale dei veri pozzi, come risulta dal grafico della fig. 18.

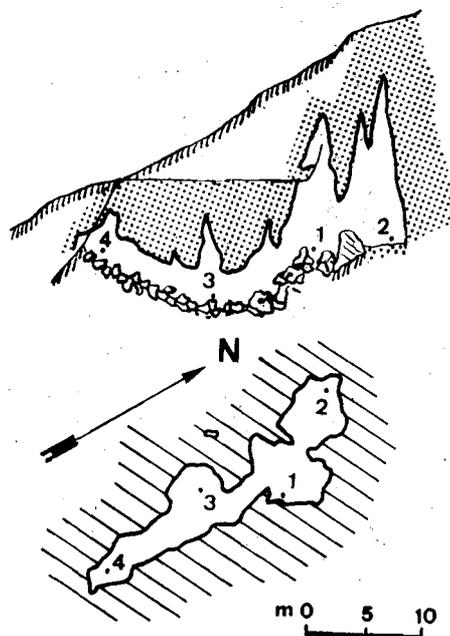


Fig. 18 - Pianta e sezione di una piccola cavità naturale nei pressi di Prosecco, oggi completamente distrutta. La cavità non aveva alcuna comunicazione diretta con l'esterno.

Altri casi analoghi si trovano citati in gran numero nella letteratura speleologica.

Aggiungiamo inoltre i numerosissimi casi di cavità il cui imbocco naturale misurava soltanto pochi centimetri, e per la cui esplorazione si rese necessario un lavoro di ampliamento. Conosco moltissimi casi, parecchi dei quali per esperienza personale, e, per quanto mi consta, all'ingresso impraticabile seguiva *sempre* una cavità più o meno estesa, ma comunque accessibile all'indagine diretta. Non sono rari i casi anzi, in cui ad un ingresso largo pochi centimetri seguono vani estesissimi, in ampiezza e profondità, tanto da essere assolutamente sproporzionati alla dimensione dell'ingresso stesso.

Se si volesse ammettere il concetto di KYRLE, condiviso anche da altri Autori che « jeder Höhlenbildungsprozess beginnt an der Oberfläche und seine Weiterentwicklung in die Tiefe hängt lediglich von der Dauer und der Intensität der höhlenbildenden Kräfte ab » (KYRLE, 1923), sarebbe ben difficile spiegare come mai questo processo speleogenetico, iniziato in superficie (qualunque esso sia) possa giungere a formare, per esempio, l'abisso di Trebiciano (N. 17 V. G.) senza riuscire nemmeno un poco ad allargarne l'apertura.

Pure frequenti sono inoltre i casi di strozzature interne, angustissime, situate a varia profondità, cui seguono ulteriori vani a volte molto spaziosi. In questi casi si potrebbe, è vero, a volte invocare una differente resistenza opposta all'azione erosiva da calcari di consistenza diversa. Ma il più delle volte questa spiegazione non riesce a reggere di fronte ad una constatata uniformità litologica.

Da tutte queste considerazioni giungiamo quindi a ritenere dimostrato l'enunciato di pag. 264. Da esso ritorniamo così, per altra via, a quella conclusione, esposta a pag. 239, cui già giungemmo a proposito del « carsismo attuale »;

« Le grotte embrionali esistono, ma la loro struttura non è quella di una micro-grotta, e quindi la loro genesi non si concilia con l'ipotesi di un ampliamento di fessure procedente dall'alto in basso ». La constatata mancanza di grotte embrionali in superficie, deriva dal fatto che le fasi embrionali della speleogenesi hanno luogo in profondità, senza nessuna comunicazione accessibile con la superficie del terreno.

Il processo per cui, partendo da una diaclasi si giunge ad una vera grotta, può essere sintetizzato come segue.

Già accennammo (pag. 263) al fatto che la sede dei processi speleogenetici va ricercata nel sistema di diaclasi, e più precisamente nei punti di

minor resistenza di queste, là dove cioè le condizioni litologiche hanno già, per così dire, predisposto la formazione di una cavità. Se uno di questi punti si trova in superficie non si formerà una grotta bensì una dolina. Se invece esso si trova in profondità, sotto forma di un punto più ampio (sia pure per pochi millimetri) nell'ambito di una diaclasi, oppure di un fascio di diaclasi più complesso, si determinerà là un drenaggio più rapido, perché le acque vi saranno attratte, sia lungo le diaclasi, sia dal sistema leptoclasico. Ne deriverà una più prolungata ed energica azione erosiva, dapprima prevalentemente chimica, poi meccanica. Di conseguenza il tratto attaccato si va rapidamente allargando e si accentua sempre più la differenza di ampiezza fra i vari tratti. Si formano quindi delle cavità più estese, orientate nel senso della diaclasi, presentanti una forma paragonabile all'incirca ad un fuso verticale, più largo al centro, affilato alle estremità. Questi « fusi » (il termine è improprio, ma lo uso per brevità, col significato di « cavità fusiforme ») possono avere naturalmente forma ed ampiezza alquanto variabile, più o meno larghi, più o meno affilati a volte asimmetrici, ma mantengono tuttavia costante il loro carattere principale.

L'acqua percorre queste cavità nel senso della loro massima lunghezza e continua quindi ad estenderle specialmente verso l'alto e verso il basso. Poiché l'ampiezza delle cavità è già notevole, i fenomeni di capillarità non possono più agire, e l'acqua scorre quindi con una certa velocità, per cui l'erosione meccanica finisce per prevalere su quella chimica, tanto più che l'acqua vi giunge dopo un certo percorso in fessure più strette, dove, per l'azione solvente esercitata, si è caricata di bicarbonato di calcio, fino a saturazione o quasi. Questa azione meccanica si esplica quindi con processi clastici, che demoliscono la roccia circostante ed asportano frammenti più o meno grossi di materiali, i quali cooperano poi a rendere sempre più intensa l'erosione stessa, per cui il processo di ampliamento va gradatamente accelerandosi.

Nelle cavità della zona più superficiale però l'acqua passa solo periodicamente, per cui generalmente esse sono quasi asciutte, e solo le pareti sono coperte da un velo d'acqua filtrante, proveniente dalle minute leptoclassi della roccia circostante. I materiali detritici provenienti dal disfacimento delle pareti si depongono quindi sul fondo della cavità dove in parte vengono cementati dal deposito di carbonato di calcio abbandonatovi dalle acque soprasature provenienti dalle leptoclassi circostanti, per cui rimane solo la forma tipica a imbuto capovolto, essendo obliterato il restringimento basale del fuso.

Il processo di ampliamento delle cavità verso il basso viene quindi notevolmente rallentato da questo materiale, mentre invece l'ampliamento verso l'alto viene al contrario accelerato, in quanto le acque provenienti dall'alto e penetranti nella cavità, tendono, con la loro azione decalcificante, a rendere gradatamente incoerente la roccia soprastante, per cui se

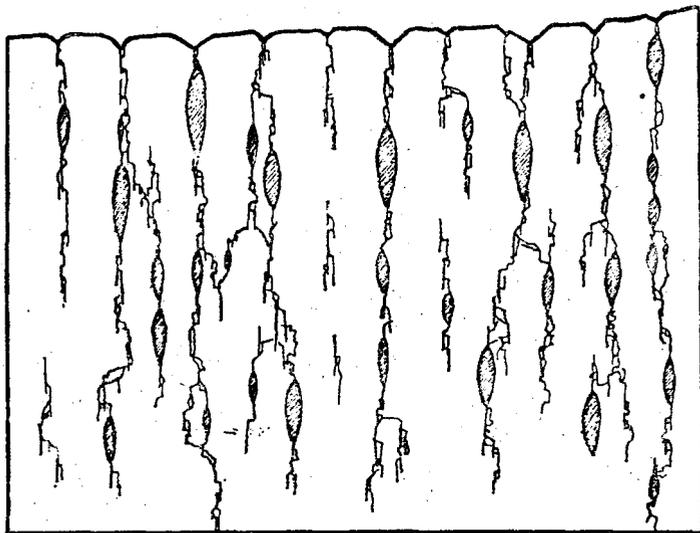


Fig. 19 - Sezione schematica di un terreno carsico, con diaclasi e cavità fusiformi.

ne staccano continuamente dei frammenti che cadono in basso, ad aumentare la massa dei detriti accumulati.

Queste cavità fusiformi sotterranee sono già delle vere grotte, mancanti però di comunicazioni visibili ed accessibili con l'esterno. Possiamo considerarle come la prima fase evolutiva e chiamarle quindi « grotte embrionali ».

Continuandosi questo processo di innalzamento della volta, la cavità si viene sempre più avvicinando alla superficie, finché finisce con lo sboccare all'aperto, attraverso un foro, dapprima piccolo, poi via via più grande, dando origine ad un tipico pozzo, che presenta quindi la forma caratteristica a imbuto capovolto nel quale il cono detritico maschera il restringimento basale. A questo punto si può già parlare di « grotta giovanile ».

Il più delle volte questa apertura si verifica sul fondo di una dolina, in quanto la cavità si estende lungo un sistema di diaclasi, che mette capo all'esterno ad una dolina. Contemporaneamente a questo innalza-

mento della cavità, si svolge però, per quanto molto meno energicamente, un processo di ampliamento laterale, ad opera delle acque scorrenti lungo le pareti. Due o più cavità fusiformi vicine possono quindi congiungersi, per distruzione dei diaframmi divisorii, dando origine ad una serie di pozzi, oppure ad una caverna. A questo punto la cavità non è più semplice bensì composta, e nei vari pozzi e caverne che la compongono sono riconoscibili i singoli fusi iniziali, ciascuno dei quali rivelerà il caratteristico cammino che lo sovrasta.

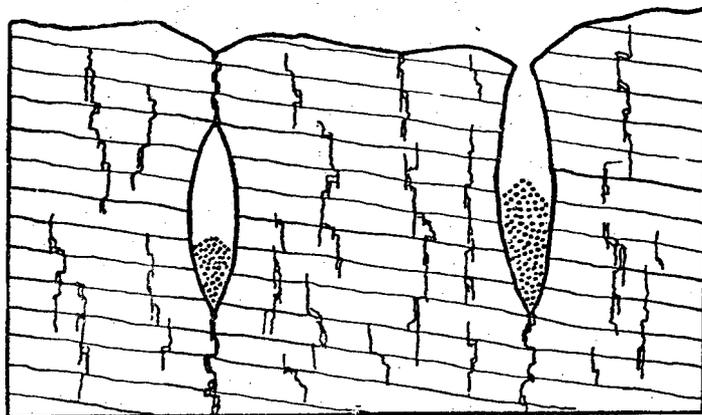


Fig. 20 - Sezione schematica di una cavità embrionale ed una giovanile.

In seno ad una vasta diaclasi possono formarsi talvolta parecchi fusi paralleli, situati pressapoco al medesimo livello. Il collegamento fra essi darà origine allora ad una vera galleria, la cui natura sarà rivelata soprattutto dai seguenti caratteri;

- a) La frequenza di camini.
- b) Il suolo formato non dalla roccia viva, bensì da materiali detritici, ricoperti a volte da uno strato di concrezione.
- c) L'aspetto, la struttura e l'ampiezza differente nei vari tratti della galleria.
- d) La frequente presenza di strozzature nei vani.

Questi caratteri sono propri di quel tipo di galleria che ho chiamato « galleria inversa » o « pseudogalleria », e questi due termini trovano quindi la loro giustificazione nella suesposta genesi, in quanto essa si ricollega alle cavità fusiformi verticali e quindi ai veri pozzi.

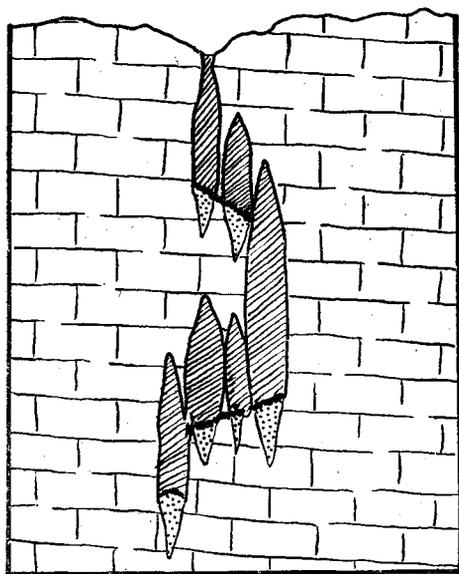


Fig. 21 - Sezione schematica di una cavità composta.

Riassumendo, il meccanismo speleogenetico testè esposto si riduce schematicamente ai seguenti punti:

1) Si svolge in seno al sistema diaclasico.

2) L'inizio si ha in profondità e non in superficie.

3) I vari elementi formanti una grotta composta si originano ognuno per conto suo e il loro collegamento è secondario e a volte casuale.

4) Il progressivo ampliamento dei vani avviene *dal basso in alto*, quindi in senso contrario all'andamento delle acque.

5) L'apertura delle cavità all'esterno è posteriore alla

sua genesi, e può avvenire anche quando la cavità ha già raggiunto uno stadio senile.

Le cavità originatesi secondo il suddetto processo sono, almeno nel Carso Giuliano, di gran lunga le più frequenti. Per esse ho introdotto il termine « *cavità inversa* », tenendo conto soprattutto della caratteristica citata nel suesposto punto 4. Esse sono in genere facilmente riscontrabili in base ad una serie di caratteristiche morfologiche, che le distinguono dalle « *cavità dirette* » sulle quali mi soffermerò più avanti. Tali caratteristiche si possono così riassumere:

1) Prevalenza dei pozzi sulle gallerie e quindi andamento di regola prevalentemente verticale.

2) Le gallerie, quando esistono, sono « pseudogallerie ».

3) Pozzi ad imbuto capovolto. Se interni, sormontati da un camino. Nelle gallerie, frequenti camini e strozzature.

4) Ingresso di regola più stretto dei vani sottostanti.

5) Frequente varietà nella conformazione dei diversi ambienti.

6) Se inghiottitoi, attivi o senili, « retroversione del corso ».

Questi dettagli morfologici sono evidenti, ed il loro collegamento interpretativo col meccanismo speleogenetico suesposto non ha bisogno di

delucidazioni (a parte il punto 6, per il quale rimando al capitolo seguente).

Quindi, quando in una cavità, in base ai caratteri suesposti si è riconosciuto il carattere inverso, lo studio potrà spesso ricostruire, a volte anche nei dettagli, la storia della grotta, individuandone le singole cavità semplici, e osservandole, dapprima isolatamente, nella loro posizione, forma, grado di evoluzione ecc., e successivamente comparandole fra di loro. L'eventuale differente grado di senilità fra i singoli elementi fornirà dati utilissimi, e sarà spesso possibile stabilire se la diversa evoluzione è dovuta alla differente età delle cavità semplici o se si tratta invece di fenomeni di ringiovanimento. Si potranno avere importanti dati sull'eventuale esistenza, in una grotta, di ulteriori vani sconosciuti, e sulla direzione nella quale si dovranno impostare le ricerche.

Infine, se si potrà riconoscere in una cavità il carattere di antico inghiottitoio, tenendo presente il fenomeno della « retroversione » si potranno trarre importanti deduzioni per la ricostruzione di un eventuale antico reticolo idrografico superficiale, ora scomparso.

A un differente processo genetico vanno invece riferite altre cavità, molto più rare (almeno nel Carso Giuliano), per le quali può essere adottato il termine « cavità dirette ».

Le caratteristiche delle cavità dirette sono essenzialmente le seguenti:

- 1) Andamento più o meno orizzontale.
- 2) Uniformità di struttura ed aspetto nei vari tratti.
- 3) Attuale o antica funzione di inghiottitoio o di risorgiva.
- 4) Sezione uniforme di tipo « gravitazionale » o di tipo « a pressione ».

Queste caratteristiche sono tutte derivanti dal fatto che le cavità di questo tipo si formano per ampliamento dei vani *nella direzione stessa delle acque*, per cui le gallerie dirette si differenziano dalle « pseudogallerie », nelle quali il percorso delle acque è verticale, e quindi trasversale all'andamento della galleria. Soltanto con un corso longitudinale delle acque si può verificare la uniformità di struttura e di aspetto nei vari tratti della galleria, uniformità che dipende dall'unicità dell'azione erosiva su tutta la cavità.

Affinché le acque siano in grado di dare origine ad una cavità, determinando un andamento suborizzontale, è necessario però che esse siano dotate di una grande forza dinamica, in quanto esse si trovano a dover lottare non soltanto contro la resistenza opposta dalla roccia, ma anche contro la gravità che tenderebbe a deviarne il percorso in senso verticale.

Questa potenza dinamica può essere data soltanto da una ingente massa di acque, dotata di una certa velocità, e quindi da un vero corso d'acqua. Se questo corso d'acqua è subaereo la galleria cui esso dà origine è dunque sempre un vero inghiottitoio.

Più facile è la genesi di gallerie dirette in zone vicine al livello di base. Alla superficie dell'acqua di fondo infatti, l'azione erosiva è determinata dalle spinte idrodinamiche tendenti al livellamento della superficie stessa, e non è soggetta alla gravità, in quanto i vani sottostanti sono tutti già imbevuti di acqua. Le risorgive rientrano in questo caso, poiché si tratta di cavità formate da correnti di acque in relazione coll'acqua di fondo. Fra una risorgiva ed una galleria diretta di II tipo non esiste quindi una vera differenza genetica: l'unica diversità è data dal fatto che la risorgiva è in comunicazione diretta con l'esterno, la galleria di II tipo invece comunica con l'esterno indirettamente, tramite una cavità inversa.

L'origine delle cavità dirette, dovuta ad un vero corso d'acqua, dà ragione della sezione dei vani, che può essere « gravitazionale » o « a pressione ». Come si è già detto nel capitolo II, la galleria « gravitazionale » è caratterizzata da una sezione a V, la galleria « a pressione » invece da una sezione circolare, che può essere ridotta a semicircolare dal deposito di materiali alloctoni. La diversa origine dei due tipi di galleria è implicita nei termini stessi che servono ad indicarle. La galleria « a pressione » si formerà là dove le acque imbevono completamente i vani e svolgono la loro azione erosiva sotto una pressione idrodinamica. Il dilavamento della roccia avviene quindi con pari intensità su tutti i punti della sezione, il cui ampliamento potrà perciò procedere in modo regolare ed uniforme. Questo tipo di galleria è quindi il più primitivo, in quanto esso si verifica quando i vani hanno ancora dimensioni tali da essere interamente imbevuti dalle acque. Perciò le gallerie « a pressione » saranno sempre di ampiezza relativamente limitata. Perché si abbia una sezione « a pressione » non è necessario comunque che le acque occupino *costantemente la cavità*: anche in grotte originate da corsi periodici è possibile trovare sezioni « a pressione », purché però le acque abbiano, o abbiano avuto, tempo di agire piuttosto a lungo in condizioni uniformi di pressione. Il carattere primitivo di questo tipo di gallerie farà sì che esse si trovino in grotte molto giovanili, oppure in grotte che il corso d'acqua ha cessato relativamente presto di percorrere.

La galleria « gravitazionale » si ha quando le acque non riescono più a riempire interamente la cavità, e pertanto l'erosione si svolge alla base della sezione, seguendo quindi le modalità della normale erosione fluviale.

Ne conseguirà una sezione a V, la volta della quale manterrà però il profilo circolare caratteristico della primitiva galleria « a pressione ».

Nelle gallerie dirette di I tipo si può constatare che l'andamento non è del tutto orizzontale, bensì presenta una certa pendenza, e a volte perfino dei salti verticali. Questa pendenza non è comunque mai superiore ai 20° - 30°, e in quanto ai salti essi non possono essere omologati ai veri pozzi (a meno, naturalmente, che non si tratti effettivamente di cavità secondarie inverse, accidentalmente incluse nel sistema diretto). Tale omologazione si può escludere soprattutto per il fatto che i « salti » (uso di proposito questo termine, in contrapposizione a « pozzi ») non presentano la regolare forma a imbuto capovolto e sono di regola privi di camino.

Queste deviazioni dalla linea orizzontale sono strettamente dipendenti dall'origine diretta della cavità e vanno ascritte all'azione erosiva delle acque: il profilo longitudinale della cavità segue infatti di regola la curva di equilibrio di un fiume.

Nelle cavità dirette di II tipo, prevale la sezione « a pressione », che diventa « gravitazionale » soltanto là dove la quantità di acque che percorrono i vani è ingente.

Nelle risorgive la sezione è in genere gravitazionale, in quanto, prima di abbandonare la cavità, le acque devono averla percorsa in quantità limitata, tale da non riuscire a riempirla completamente.

Conviene precisare che i suddetti due tipi di sezione non sono esclusivi di gallerie dirette, geneticamente intese, bensì devono essere considerati come *testimonianza di un funzionamento diretto, che può essere stato anche temporaneo*. È possibile infatti che grotte geneticamente inverse siano state per qualche tempo percorse da forti quantità d'acqua, le quali abbiano quindi impresso un carattere particolare su cavità originariamente già preformate. La presenza di gallerie « a pressione » o « gravitazionali » può quindi essere interpretata come indizio di una origine diretta della cavità, soltanto quando un attento esame avrà constatato *l'assenza di qualsiasi caratteristica delle cavità inverse*.

VII. RETROVERSIONE DEL CORSO

Il fenomeno della « retroversione del corso » che, come ho detto è, di regola, la caratteristica più notevole degli inghiottitoi inversi non può trovare una spiegazione logica al di fuori della teoria speleogenetica esposta nel capitolo precedente. Anzi esso vi si inquadra così perfetta-

mente che, si può dire, se non fosse stato direttamente constatato, avrebbe potuto essere con tutta facilità teoricamente previsto; per cui in tale fenomeno la teoria stessa trova la sua più bella conferma.

Consideriamo infatti un corso d'acqua subaereo, scorrente su un terreno carsificabile. Attraverso la fessurazione del calcare esso subirà naturalmente forti perdite, che daranno origine, nello spessore della roccia sottostante ad un sistema particolarmente fitto di diaclasi, nelle quali le solite cavità fusiformi si formeranno in numero notevole, frammiste a cavità suborizzontali, lungo l'intero corso subaereo del fiume. Ad un certo punto una delle cavità, la più vicina alla superficie, in seguito al processo di ampliamento verso l'altro, sbocca nel letto del torrente. Tale sbocco è improvviso e si manifesta con un foro, originariamente piccolo, che però in breve tempo si ingrandisce per azione delle acque che subito vi precipitano abbondanti e vorticose. Ben presto la cavità è abbastanza grande per accogliere tutto il corso d'acqua ed ha origine così il tipico inghiottitoio. A valle di esso, il corso d'acqua non scorre più ed il suo letto abbandonato ben presto si oblitera.

È facile quindi prevedere quello che avviene. Le acque che penetrano nell'inghiottitoio tendono ad ampliarlo in tutte le direzioni, e si perdono poi fra le fessure della roccia. Ma mentre le cavità poste più a valle dell'inghiottitoio, e quindi sottostanti al letto abbandonato ricevono ora acque molto meno abbondanti, quelle poste più a monte continuano ad essere alimentate come prima.

Nelle prime quindi il processo di ampliamento secondo l'erosione « inversa » subisce un brusco rallentamento, mentre nelle seconde il processo continua invariato. Il pozzo dell'inghiottitoio non tarderà quindi ad entrare in rapporto con altre cavità, in fase di ampliamento, ed è logico attendersi che queste provengano da quelle più attive e *situate cioè più a monte dell'inghiottitoio stesso*. Una volta indirizzate le acque nella loro direzione, queste continueranno ad ampliare sempre più le cavità da esse percorse, e la direzione contraria al corso superficiale si andrà sempre più estendendo e precisando.

In conclusione, la « retroversione » è dovuta essenzialmente al fatto che le varie cavità sotterranee che daranno origine al corso sotterraneo sono *preesistenti* all'apertura dell'inghiottitoio.

Ma c'è di più: la retroversione può anche ripetersi ancora una volta a maggiore profondità. Se si esaminano i grafici di qualche grande inghiottitoio, come ad esempio la Voragine di Occisla (N. 170 V.G.) o l'Abisso Sarkotich nel Montenegro, si osserva con evidenza questo ripetersi della

retroversione a maggiore profondità. Questo fenomeno è dovuto evidentemente alle medesime cause che hanno determinato la prima retroversione: al di sotto della galleria sotterranea (pseudogalleria) si formano per effetto dell'infiltrazione delle acque catturate nuove cavità fusiformi inverse, e quando una di esse raggiunge la galleria si ha una nuova cattura del corso d'acqua, che verrà così convogliata ad un ulteriore corso sotterraneo retroverso rispetto al primo.

Fra i due corsi sotterranei si possono stabilire poi ulteriori comunicazioni (sempre per erosione inversa) e si può verificare così il caso di gallerie doppie, sovrapposte e collegate da uno o più pozzi.

Queste gallerie doppie si trovano con una certa frequenza, ed hanno dato origine a vari tentativi di interpretazione. La maggior parte degli Autori ha voluto vedere in questi casi un effetto del graduale abbassamento delle acque di fondo. Le varie gallerie sovrapposte rappresenterebbero cioè livelli successivi delle acque. Ciò potrà essere vero in qualche caso, ma in linea generale è opportuno osservare che un meccanismo come quella della doppia retroversione può, in molti casi, rappresentare una spiegazione più razionale.

VIII. EVOLUZIONE DELLE CAVITÀ CARSICHE

Nelle pagine precedenti si è parlato in più occasioni di grotte embrionali, giovanili ecc. Questi termini, che implicano l'esistenza di una vera evoluzione delle cavità, sono da lungo tempo classici.

È superfluo rimarcare che detti termini hanno un significato strettamente relativo, riferito al grado di evoluzione raggiunto da una cavità, senza nessun pregiudizio sull'età assoluta della cavità stessa, per la quale, del resto, ben raramente è dato di poter trarre deduzioni sicure.

Si può constatare nello svolgimento di questa evoluzione un alternarsi, che si potrebbe quasi chiamare conflitto, di due gruppi di fenomeni diversi: gli uni, distruttivi, tendenti ad ampliare i vani, gli altri a obliterarli con riempimenti di vario genere. È chiaro che, nelle prime fasi della storia di una cavità prevalgono i fattori distruttivi, ma, sia pure sotto altra forma, essi si ripresentano spesso al termine del ciclo evolutivo, anche prescindendo da eventuali fenomeni di ringiovanimento.

Fattori distruttivi sono:

- a) corrosione

b) erosione

c) crolli.

La corrosione, cioè l'azione chimica delle acque, prevale di gran lunga nelle prime fasi della speleogenesi e della speleoevoluzione. In particolare noi troviamo nella corrosione il principale fattore che determina la formazione dei sistemi di diaclasi e successivamente dei primi fusi embrionali. Il processo è naturalmente molto lento, in quanto la solubilità del calcare è limitata ed il limite di saturazione è presto raggiunto. È noto che il carbonato di calcio è solubile in H₂O distillata, alla temperatura di 15° soltanto in proporzione di 1 : 10.000. In acque carbonicate, attraverso la reazione



la solubilità aumenta di circa dieci volte. È necessario comunque che le acque abbiano un certo tempo per agire sulla roccia e quindi la corrosione sarà scarsa o nulla ad opera di acque correnti con velocità. D'altra parte è pure necessario un ricambio di acque, perché evidentemente, una volta raggiunto il grado di saturazione, queste non saranno più in grado di svolgere azione chimica sulla roccia.

Nelle litoclasti, in seno alle quali si manifestano i primi fenomeni di una speleogenesi incipiente, la lontananza del processo sarà dovuta soprattutto allo scarso ricambio di acque, poiché i movimenti di drenaggio saranno necessariamente molto lenti, per fenomeni di capillarità. Per lo stesso motivo la maggior parte delle cavità embrionali avranno la loro origine a profondità relativamente limitate, nello spessore della roccia, perché più in basso, dopo un lungo percorso in fessure capillari o subcapillari, le acque, sature o quasi, potranno esercitare una corrosione molto meno intensa.

Questa prima azione chimica delle acque, dopo aver portato allo stabilirsi del sistema di diaclasi (fase preparatoria) conduce poi, secondo le modalità esposte nel capitolo VI, alla formazione di vere cavità, le quali, come già detto, presentano di regola una forma fusiforme, e non sono ancora aperte all'esterno (fase embrionale).

A questo punto, quando l'ampiezza del vano è tale che i fenomeni di capillarità non hanno più modo di manifestarsi, il processo di progressivo ampliamento viene gradualmente accelerato per la comparsa dell'azione meccanica delle acque.

Qualche Autore (KNEBEL 1906, p. es.) nega all'erosione qualunque importanza speleologica, ma questa concezione è indubbiamente esagerata. Egli considera infatti che soltanto per corrosione è possibile avere asporto di materiale, in quanto l'erosione non può che togliere da una parte per depositare da un'altra. Questo è evidente, però non va dimenticato che la vera grotta è quel vano delimitato dalla roccia in sito, anche se esso è in parte obliterato da detriti rocciosi o altro. Inoltre bisogna considerare che se la corrosione prevale nelle prime fasi genetiche di una cavità inversa, nel caso di una cavità diretta certamente l'erosione è un fattore attivo fin dalle primissime fasi.

È comunque difficile se non impossibile voler distinguere fra i due fenomeni, come vorrebbe qualche Autore (KYRLE 1923), in quanto certo essi agiscono in concomitanza e come non si può dire dove cessi la corrosione e cominci l'erosione, così è difficile in genere distinguere quali particolarità morfologiche siano da ascrivere all'azione dell'una e quali alla azione dell'altra.

Le due azioni riunite determinano comunque il successivo ampliarsi della cavità, e, senza ripetere quanto già esposto nel capitolo VI, si arriva infine all'apertura in superficie della cavità. Possiamo, a questo punto, parlare di cavità giovanile. Però non va dimenticato che questa apertura è spesso del tutto accidentale, può verificarsi in qualunque momento dell'evoluzione e quindi anche in uno stadio già senile, e può anche mancare del tutto. Dovremo quindi, più in generale, parlare di fase giovanile per tutto il tempo in cui i fattori distruttivi prevalgono sui fattori costruttivi.

Questi ultimi entrano in azione più tardi, e si manifestano specialmente con la sedimentazione di depositi concrezionati, i quali tendono lentamente ad obliterare la cavità.

Questa azione di riempimento è condizionata anzitutto alla diminuzione della quantità di acqua che percorre la cavità. Infatti il deposito di concrezione richiede:

- a) che l'umidità dell'aria non raggiunga la saturazione;
- b) che le acque correnti sulle pareti non siano sufficienti a demolire, per corrosione o erosione, la concrezione che si sta gradualmente formando.

La fase giovanile avrà dunque termine non appena si sarà verificata questa situazione delle acque. Nel caso di veri inghiottitoi il passaggio dalla fase giovanile alla fase di maturità sarà dunque condizionato dalla scomparsa del corso d'acqua superficiale che alimentava l'inghiottitoio stesso. Nel caso di grotte inverse, non alimentate da un vero corso d'acqua,

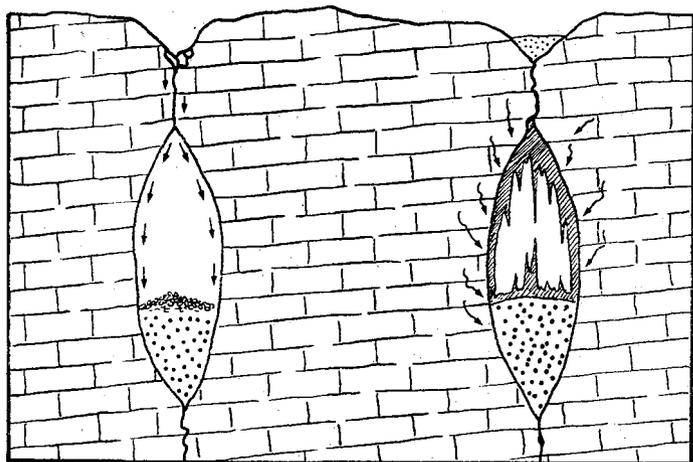


Fig. 22 - Sezione schematica attraverso un fuso giovanile ed uno in fase di maturità. Le frecce indicano la direzione delle acque.

l'apertura in superficie è, di solito, sufficiente a determinare la fase di maturità, e ciò per un complesso di fattori, basati principalmente sul fatto che in una cavità direttamente aperta alla superficie è più facile la perdita di CO_2 dalla soluzione.

Nelle cavità fusiformi inverse non comunicanti *direttamente* con l'esterno, la fase di maturità è dovuta alle condizioni del sistema di diaclasi soprastante. Infatti un limitato ma costante deposito di calcite concrezionata ha luogo anche nelle diaclasi stesse, e questa concrezione può condurre all'obliterazione totale o quasi della fenditura. Il drenaggio delle acque dovrà quindi ad un certo punto prendere un'altra via, seguendo un'altra diaclasi, se questa esiste, scavandola di bel nuovo, se essa manca, a spese del sistema di leptoclasti. Tutti i fusi che si trovano su una « ex-diaclasi » obliterata riceveranno ora soltanto le acque delle leptoclasti, sufficienti a determinare il deposito di concrezioni, ma non a demolirle per erosione.

In un fuso inverso quindi la fase giovanile si distinguerà dalla fase di maturità per la diversa via presa dalle acque che lo percorrono. In generale possiamo dire che una grotta giovanile apparirà priva o quasi di concrezioni, di stalattiti e stalammiti, molto umida, con le pareti coperte da un velo d'acqua corrente e fortemente erose. In una grotta matura invece avremo umidità minore, le pareti saranno ricoperte da uno strato di concrezione e saranno numerose le stalattiti e stalammiti. Possiamo aggiun-

gere che in una grotta giovanile la base dei fusi sarà sempre formata dal classico cono di detriti, mentre in una grotta matura possiamo anche trovare un suolo concrezionato che nasconde del tutto i detriti stessi. Inoltre nelle grotte mature i fenomeni di riempimento possono essere resi più complessi dall'apporto di materiali diversi, spesso provenienti dall'esterno: argilla, terriccio, guano, ciottoli fluitati ecc.

Il procedere di questi fenomeni di riempimento renderà naturalmente sempre più difficile riconoscere quei caratteri originali della cavità che ne permettono la classificazione, ma questi potranno quasi sempre essere ricostruiti tenendo conto degli elementi esposti nei capitoli precedenti.

Quando il riempimento sarà più spinto, tanto da nascondere pressoché del tutto i dettagli strutturali originari della cavità, e quando ad esso si aggiungeranno fenomeni elastici e di disfacimento, si arriverà alla fase senile. Naturalmente una distinzione fra fase di maturità e fase senile non può essere rigidamente definita, la diversità essendo dovuta soltanto ad una differente intensità e completezza di uno stesso fenomeno.

In conclusione possiamo riassumere l'evoluzione di una cavità come segue:

1) Fase embrionale: piccoli fusi non aperti in superficie, e isolati. Questa fase è prevedibile teoricamente ma non può in genere essere osservata, tranne in singoli casi (sezioni artificiali in cave e simili), poiché all'atto stesso in cui i fusi si rendono accessibili, passano alla fase seguente.

2) Fase giovanile: fusi aperti in superficie direttamente o indirettamente. Inghiottoi attivi. Cavità prive, o quasi, di concrezioni. Pareti fortemente erose, molto bagnate. Detriti alla base dei fusi, sempre riconoscibili.

3) Fase di maturità: cavità aperte in superficie. Poca umidità e poca acqua scorrente sulle pareti. Abbondanti stalattiti e stalammiti, le pareti sono coperte da uno strato di concrezione. La sommità del fuso presenta grandi stalattiti, la base è spesso coperta da argilla o da concrezione.

4) Fase senile: i fenomeni della fase precedente sono più accentuati. I vani sono spesso fortemente trasformati dal loro aspetto originale per effetto di crolli. I depositi di materiali alloctoni sono talvolta molto abbondanti e intere parti della cavità possono essere del tutto obliterate.

IX. CLASSIFICAZIONE DELLE CAVITÀ

Quanto è stato fin qui espresso rappresenta in sintesi il meccanismo speleogenetico quale mi sembra risultare dall'esame delle cavità del Carso Triestino e Giuliano. Da questa sintesi è possibile, come si è visto, trarre gli elementi per una speleologia sistematica, cioè per gettare le basi di un sistema naturale nel quale possano essere classificate le cavità carsiche. La posizione sistematica di una grotta potrà risultare dal complesso dei suoi caratteri morfologici attuali, attraverso i quali si può risalire alla genesi e alla evoluzione della cavità stessa.

Preciserò subito che questo sistema si riferisce naturalmente soltanto alle cavità carsiche, prescindendo quindi da tutti i vani sotterranei che non siano originati dall'azione delle acque sulle rocce calcaree carsificabili. Per le grotte non carsiche, che escono dai limiti del presente lavoro, sarà sufficiente riportare l'ottimo schema del KYRLE. Questo Autore distingue:

A) Cavità primarie: pressoché coeve con la roccia che le delimita, e legate geneticamente alla formazione della roccia stessa.

B) Cavità secondarie: più giovani della roccia delimitante e non legate geneticamente alla formazione di questa.

Le cavità primarie comprendono:

- 1) Geodi
- 2) Cavità laviche
- 3) Cavità di scogliera corallina
- 4) Cavità in travertino.

Le cavità secondarie comprendono:

- 1) Cavità tettoniche
- 2) Cavità determinate dal sovrapporsi di grandi blocchi rocciosi
- 3) Cavità di origine eolica
- 4) Cavità di erosione idrica.

Queste ultime devono la loro origine all'azione meccanica (erosione) e chimica (corrosione) delle acque. Il KYRLE distingue le cavità nella cui genesi prevalgono fattori erosivi (cavità di erosione fluviale e cavità di abrasione marina) e quelle in cui prevalgono fattori corrosivi (cavità carsiche).

Riassumendo, il sistema del KYRLE è il seguente:

Cavità primarie	{	geodi cavità laviche cavità di scogliera cavità di travertino													
Cavità secondarie	{	cavità tettoniche cavità di crollo cavità eoliche cavità idriche	<table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px; vertical-align: middle;">di erosione</td> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px; vertical-align: middle;">fluviali</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="padding-left: 5px; vertical-align: middle;">marine</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td style="padding-left: 5px; vertical-align: middle;">di corrosione = carsiche</td> <td></td> </tr> </table>	{	di erosione	{	fluviali				marine		{	di corrosione = carsiche	
{	di erosione	{	fluviali												
			marine												
	{	di corrosione = carsiche													

Il KYRLE distingue poi le cavità carsiche a seconda che esse si siano formate in seno a diaclasi, a zone di comminuta fratturazione o a giunti di stratificazione. Questa distinzione è certamente importante perché diversi dettagli morfologici possono distinguere i suddetti tre tipi di cavità. Tuttavia essa si riferisce piuttosto alle caratteristiche dell'andamento dei vani che non alle modalità della genesi, per cui ritengo opportuno anteporre la distinzione da me adottata in cavità dirette e cavità inverse.

Come già è stato ampiamente detto, chiameremo cavità dirette quelle che furono scavate dall'azione diretta di un corso d'acqua, azione procedente nella direzione stessa delle acque. In queste cavità il tratto più giovane sarà sempre quello più lontano dall'origine dell'acqua, quindi la parte più lontana dall'ingresso negli inghiottitoi, l'ingresso stesso invece nelle risorgive. In questa categoria vanno comprese anche alcune di quelle grotte che il KYRLE chiama « Uferhöhlen », cioè le grotte di erosione fluviale.

Le cavità inverse invece sono quelle originate con le modalità che ho descritto come « erosione inversa ». In esse le parti più giovani sono quelle più vicine alla superficie del terreno, quindi la sommità dei camini e l'orifizio dei pozzi.

A questi due gruppi vanno aggiunte le *cavità miste*, i cui vani hanno un'origine in parte diretta e in parte inversa.

Cavità dirette: come è detto esse sono o sono state veri inghiottitoi, nel senso stretto del termine. Potremo quindi suddividerle in categorie a seconda del loro attuale funzionamento in relazione al corso d'acqua alla cui azione devono la loro genesi. Avremo quindi:

- 1) cavità dirette tuttora funzionanti da inghiottitoio perenne;

2) cavità dirette funzionanti occasionalmente da inghiottitoio;

3) cavità dirette in cui l'azione del corso d'acqua è del tutto cessata e la cui funzione di inghiottitoio è quindi esaurita: esse sono, per così dire « inghiottitoi fossili ».

In questi ultimi prevalgono naturalmente i fattori della decadenza. Se la cessazione dell'attività è ancora recente, essi conservano le caratteristiche della loro fase giovanile, altrimenti avremo cavità mature o senili.

Cavità inverse: esse possono essere o essere state veri inghiottitoi, oppure possono dovere la loro genesi soltanto all'infiltrazione delle acque meteoriche. Questa distinzione ha però un valore sistematico molto scarso, poiché in ambedue i casi il meccanismo genetico e le particolarità morfologiche sono del tutto analoghe. Un antico o attuale funzionamento da inghiottitoio ha importanza principalmente in quanto esiste il fenomeno della « retroversione » che è proprio delle cavità inverse e caratteristico per esse.

Ai fini sistematici conviene invece individuare le diverse cavità fusiformi iniziali e distinguere quindi cavità *semplici* e cavità *composte*. Le cavità semplici inverse sono nella loro quasi totalità verticali.

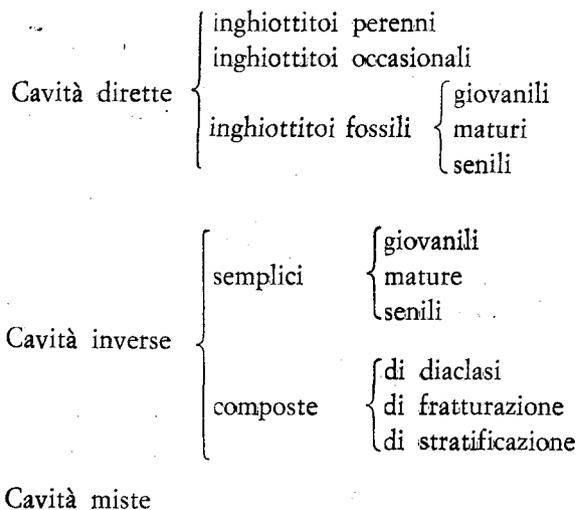
Le cavità composte possono avere andamento vario, verticale, suborizzontale o orizzontale (« pseudogallerie »), ma i loro elementi costitutivi (« fusi ») sono comunque di regola verticali.

La disposizione dei fusi ed i loro rapporti reciproci dipendono dall'andamento e dalle caratteristiche delle fratture in seno alle quali la grotta ha avuto origine, ed è a questo punto che potremo inserire la distinzione del KYRLE fra « cavità di diaclasi », « cavità di fratturazione comminuta », e « cavità di stratificazione ».

Infine si potrà considerare il grado di evoluzione raggiunto dalla cavità e distinguere quindi cavità giovanili, mature e senili. Bisogna però tenere presente che l'evoluzione dei singoli elementi di una grotta inversa procede spesso con indipendenza reciproca, per cui il grado di maturità di una cavità può variare da un punto all'altro, e ciò anche in considerazione di eventuali fenomeni di ringiovanimento. L'attribuire la cavità ad una determinata fase evolutiva può quindi spesso avere un valore soltanto grossolanamente indicativo, e deve essere seguito da una analisi dei singoli elementi della grotta.

Le *cavità miste* dovranno naturalmente essere scomposte nei loro elementi e alle loro parti dirette e inverse dovrà essere separatamente attribuita la posizione sistematica.

Riassumendo, il sistema da me proposto per le cavità carsiche è il seguente:



In base a quanto è stato ampiamente trattato nei capitoli precedenti risulterà facile collocare una qualsiasi cavità al suo posto nel sistema. Possiamo comunque riassumere brevemente le caratteristiche morfologiche delle categorie principali.

Cavità dirette: andamento prevalentemente orizzontale. Morfologia spiccatamente uniforme e del pari uniformi andamento ed ampiezza dei vani. Sezione delle gallerie di tipo « gravitazionale » o « a pressione ». Soffitti a volta. Direzione concordante con quella del corso d'acqua superficiale, di cui la grotta rappresenta la continuazione. Se la estensione è notevole, il profilo longitudinale segue spesso la curva di equilibrio di un corso d'acqua.

Cavità inverse: andamento prevalentemente verticale. Pozzi sormontati da camini. Vani fusiformi. Volta a sezione ogivale e spesso forata da camini. Morfologia varia da tratto a tratto, e così pure vario andamento e ampiezza dei vani. Nel caso di inghiottitoi, di regola « retroversione ».

Cavità di diaclasi: fusi allineati in una direzione prevalente. Frequenti le « pseudogallerie ».

Cavità di fratturazione: fusi variamente disposti. « Pseudogallerie » complesse e spesso andamento labirintico.

Cavità di stratificazione: sono casi più rari e le caratteristiche dipendono dalle particolarità tettoniche.

BIBLIOGRAFIA

- BERTARELLI L. V. & BOEGAN E., 1926 - *Duemila Grotte*. 494 pp. Tour. Club Ital., Milano.
- BOEGAN E., 1934 - *Cavità naturali sotterranee della Venezia Giulia*. Alpi Giulie, 35 (1), pp. 30-46, Trieste.
- CVIJECH J., 1918 - *Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst*. Rev. Trav. Inst. Géogr. Alp., 6 (4), Grenoble.
- GRUND A., 1903 - *Die Karsthydrographie, Studien aus Westbosnien*. Geogr. Abhandl., 7 (3), Wien.
- GRUND A., 1914 - *Der geographische Zyklus im Karst*. Zeitschr. Geogr. Ges. f. Erdk., Berlin.
- KNEBEL W., 1906 - *Höhlenkunde mit berücksichtigung der Karstphänomene*. Die Wissenschaft, 15, pp. XVI-222, Braunschweig.
- KYRLE G., 1923 - *Grundriss der theoretischen Speläologie*. Spel. Mon., 1, Wien.
- LEHMANN P., 1932 - *Die Hydrographie des Karstes*. Enzykl. d. Erdkunde, Wien.
- MARTEL E. A., 1909 - *Critique de l'ouvrage du Dr. Alfred Grund «Die Karsthydrographie»*. Not. Spéléol., Rennes.
- MARUSSI A., 1941a - *Ipotesi sullo sviluppo del carsismo*. Giornale di Geol. S. II, 15, Bologna.
- MARUSSI A., 1941b - *Il Paleotimavo e l'antica idrografia subaerea del Carso Triestino*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., 38, pp. 104-126, Trieste.
- MAUCCI W., 1950 - *La Grotta Vittoria di Aurisina (N. 2744 V. G.)*. Alpi Giulie, 51, pp. 17-22, Trieste.
- MAUCCI W., 1951a - *L'Abisso di Opicina Campagna (N. 3837 V. G.)*. Rass. Spel. Ital., 2 (1-2), pp. 11-18, Como.
- MAUCCI W., 1951b - *Studio sulla Grotta di Padriciano (N. 12 V. G.)*. Rass. Spel. Ital., 3 (4), pp. 111-116, Como.
- PREZ C., 1932 - *La Foiba Colinassi nel Carso di Rozzo (N. 1187 V. G.)*. Le Grotte d'Italia, 6 (4), pp. 196-200, Postumia.
- RIECKOFF H., 1933 - *La Grotta di Ospio e quelle dell'Altipiano di San Servolo*. Le Grotte d'Italia, 7 (2), pp. 49-68, Postumia.

DISCUSSIONE SULLA RELAZIONE

DI

W. MAUCCI

CIGNA. Ringrazio molto il Prof. MAUCCI per la sua interessante relazione. Passiamo ora alla discussione.

DEMATTEIS. Premetto che, pur apprezzando molto la teoria speleogenetica dell'erosione inversa formulata dall'amico MAUCCI, ho sempre pensato che con essa non si potesse spiegare tutto. Ad esempio ritengo che questa teoria valga per molti fenomeni del carso triestino, ma il carso di tipo alpino — che personalmente conosco molto meglio — si sviluppa, a mio avviso, anche secondo altri processi speleogenetici, che possono assumere un ruolo più importante dell'erosione inversa.

La prima osservazione che vorrei fare riguarda l'esistenza di *grotte embrionali* in superficie. Secondo me ne esistono, in quanto il carsismo può incominciare da qualunque parte si verifichi un processo di soluzione di carbonati o di solfati, in superficie come in profondità.

Vorrei citare un caso che ho visto questa estate, nel gruppo del Monte Columbia, sulle Montagne Rocciose. Si tratta di un tipo di carso che si è formato non più di 300 anni fa. L'arretramento di un ghiacciaio ed una morena stadiale consentono una datazione sicura. Ci sono qui dei banchi di calcare molto puro e fratturato e delle grottine — non freatiche bensì vadose — formate da minuscoli inghiottitoi, con scorrimento d'acqua in interstrato, risorgive e talora nuovi inghiottitoi. Si tratta senz'altro di un *carso embrionale* di superficie. Dalle cavità embrionali, molto piccole, si passa gradualmente a cavità discretamente sviluppate, che si presentano più ampie all'ingresso e vanno restringendosi verso l'interno. Vi mostro ora alcune diapositive illustranti questi fenomeni che ho osservato nelle Montagne Rocciose, e in particolare: piccoli inghiottitoi (ad ingresso talora doliniforme), pozzetti e risorgenze embrionali nella zona ricoperta dal ghiacciaio fino a 300 anni fa. A valle della morena stadiale si ha un carso post-würmiano che ha iniziato a svilupparsi circa 8000 anni fa, dove, osservando le diapositive, potete notare cavità embrionali del tutto analoghe a quelle precedentemente illustrate, ma anche inghiottitoi più grandi; uno di essi — a quanto mi hanno detto — è un tubo verticale che poi si allarga a fuso ed è praticabile fino alla profondità di circa 40 m.

La seconda osservazione riguarda il grafico delle frequenze delle inclinazioni dell'asse longitudinale dei vuoti. Ritengo che la scarsità di inclinazioni medie sia da attribuire al fatto che esse sono tipiche delle condotte di tipo freatico. E' infatti soltanto l'andamento della fratturazione e della stratificazione che condiziona i condotti freatici. Naturalmente ci mancano parecchi dati, perché le grotte freatiche sono spesso allagate, e quindi sono esplorate solo in minima parte.

C'è infine una terza osservazione. I fusoidi esistono, indubbiamente; ma io li ho visti solo in corrispondenza di grandi fratture verticali. Dove si ha una frattura inclinata invece io ho notato che l'acqua inizialmente scorre lungo la frattura,

quindi si innesca il processo di *erosione* (o corrosione, a seconda dei casi) *regressiva*, di tipo gravitazionale. In seguito all'erosione regressiva si formano pozzi ad asse verticale non coincidente con il piano della frattura (DEMATTEIS G., *Rass. Spel. Ital.*, Mem. 7, tomo II: 153-163, 1963). Si hanno così successioni di pozzi stretti in cima (cioè presso il ciglio della cascata che li ha modellati) e larghi alla base, che ho chiamato *pozzi-cascata*; sulla volta di questi pozzi è riconoscibile in genere la frattura inclinata (o, eventualmente, il giunto di strato inclinato) da cui ha preso origine il processo suddetto. Tra l'altro vorrei osservare che molti dei cosiddetti meandri altro non sono che successioni di pozzi-cascata: queste forme si possono spesso distinguere dai veri meandri per la presenza di cenge suborizzontali situate presso la sommità dei pozzi.

CAPPA. Conosco molto bene l'esistenza dei «fusi», e il fenomeno dell'erosione inversa ha avuto delle clamorose conferme, in questi ultimi anni, in Grigna, dove ho constatato con molta frequenza l'apertura di nuove cavità vetricali, non di rado profonde oltre 80 metri, con andamento complesso, parzialmente riempite di ghiaccio.

D'altra parte vorrei osservare che sulle superfici messe alla luce da sbancamenti artificiali, o da altre cause, non ho mai potuto osservare dei microfusi, e questo mi lascia un po' perplesso. Forse MAUCCI può dare qualche spiegazione, dato che l'esistenza dei fusi non la mette in dubbio nessuno.

Infine una osservazione di carattere terminologico. Un inghiottitoio si può sviluppare in direzione opposta a quella del corso d'acqua superficiale sia per erosione inversa che per altre cause: non sarebbe più appropriato chiamarlo *retroverso* in un caso, *inverso* nell'altro?

BALBIANO D'ARAMENGO. Il prof. MAUCCI deduce la sua teoria dalla forma a fusoidi, o semi-fusoidi, dei pozzi carsici. In molti casi ammetto che tale forma possa collegarsi col meccanismo dell'erosione inversa. Però dobbiamo ricordare che molti pozzi si formano per l'azione di cascate d'acqua, oppure, anche se formati per altri meccanismi, diventano poi sede di cascate che naturalmente ne modificano la morfologia. L'allargamento verso il basso di tali pozzi — simili a semi-fusoidi — può pertanto trovare nell'effetto della caduta d'acqua la sua spiegazione. A questo proposito è utile osservare la morfologia di strette forre a fondo ripido scavate dai torrenti epigei anche in rocce non carsogene; si può notare infatti che presso la soglia di ogni cascata la forra è assai stretta, ma si allarga gradualmente procedendo verso la «base» della cascata, dove assume spesso una pianta circolare.

Una seconda osservazione: mi pare che il problema se la grotta si formi in superficie o in profondità non si ponga, in quanto la grotta dovrà formarsi — più o meno rapidamente — dappertutto. Infatti perché si possa avere allargamento dei condotti occorre uno scorrimento d'acqua, e questo, a sua volta, richiede una continuità dei condotti stessi.

Quanto all'apertura in superficie di nuove grotte, bisogna considerare che può trattarsi di grotte precedentemente aperte, il cui ingresso fu però mascherato da una copertura di humus o di massi. Naturalmente possono essere ostruite da humus e massi anche grotte sviluppatesi a partire dall'esterno, per erosione diretta.

MAIFREDI. Premesso che accetto la teoria dell'erosione inversa, e che non conditudo le osservazioni di BALBIANO sulla continuità dei condotti, vorrei chiedere al prof. MAUCCI se un fusoidi può formarsi anche in condizioni freatiche. In tali condizioni si può avere infatti l'allargamento di una frattura a una certa profondità, e in seguito a tale allargamento si possono verificare crolli, con distacco di frammenti rocciosi dalle pareti e dalla volta della cavità così formata. A causa di questi crolli la cavità tende ad assumere sempre più la forma di un fusoidi mauciano, oppure di una galleria con sezione a fuso (come ho riscontrato in molte grotte liguri, per tratti della lunghezza di 200-300 metri).

Vorrei chiedere quindi al Prof. MAUCCI se, pur trattandosi di un fenomeno sviluppatosi in condizioni freatiche, considerando che l'ampliamento dei vani av-

viene anche in questo caso dal basso verso l'alto, si può parlare di erosione inversa, oppure se occorre coniare qualche nuovo termine.

PASQUINI. Nella regione dei massicci calcarei del Lazio e dell'Appennino Centrale le cavità sono fusi, chiarissimi, incontestabili, e la erosione inversa ha trovato in noi, a Roma, sostenitori entusiasti. Sui Monti Lepini e al Matese abbiamo anche osservato diverse volte piccoli diverticoli resecati dall'acqua nelle pareti di inghiottitoi, che ci sembra di poter interpretare come fusi embrionali.

Di recente sui Monti Lepini abbiamo scoperto una ventina di cavità classificabili come *metavacui*, aperte superficialmente. Il nome locale è « capravasso ». Ho in corso una pubblicazione che segnala questa scoperta.

Vorrei inoltre segnalare tre casi di doppia retroversione in inghiottitoi. Cito l'Inghiottitoio Lovido di Verrecchie (che smaltisce l'acqua di un bacino chiuso presso Tagliacozzo, iniziando con un ampio pozzo profondo 20 m), il Pozzo della Neve al Matese (presso il quale si notano anche delle doline esterne, apparentemente disposte a caso, che però coincidono con l'asse dei fusi, e rappresentano quindi i punti di assorbimento che hanno generato i fusi stessi), e l'Inghiottitoio di Sansa al Cervati.

Un'ultima cosa: anch'io (come MAIFREDI) vorrei chiedere al prof. MAUCCI se è possibile una evoluzione lineare del fuso. Ho osservato io pure dei casi interpretabili come una forma di fuso proiettata longitudinalmente lungo l'asse di una frattura preesistente. Non classificherei questi casi come pseudogalleria, quanto piuttosto come *cañon formato per erosione inversa*.

BERTOLANI. Agli esempi citati da PASQUINI di doppia retroversione posso aggiungere un altro caso: la Grotta del Baccile presso Resceto (Massa).

Vorrei poi chiedere al prof. MAUCCI se egli ritiene che la forma a fusoide sia proprio l'unica possibile. A me pare che sia più frequentemente osservabile una forma ad ogiva, o a tronco di cono. Noi spieghiamo l'assenza del restringimento basale con un riempimento di detriti. E' mai possibile che questo riempimento sia sempre così costante e regolare da obliterare esattamente mezzo fusoide?

E torno alla retroversione degli inghiottitoi. Nel caso degli inghiottitoi nei gessi, la cattura avviene di regola al contatto del gesso con banchi argillosi, e la cavità si sviluppa in senso diretto. Se abbiamo lungo il percorso della cavità degli altri inghiottitoi che vi si immettono, ciò potrebbe dare l'impressione di un progressivo arretramento dell'imbocco di un inghiottitoio inverso. In realtà gli inghiottitoi secondari si sono formati indipendentemente, per ampliamento di doline ed erosione ascendente dei fusoidi. Ne consegue che, secondo me, non è facile distinguere con sicurezza un inghiottitoio diretto da uno inverso o retroverso.

SALVATORI. Se ho ben capito, il Prof. MAUCCI ha precisato che le sue teorie riguardano soprattutto il Carso triestino, che anch'io vorrei ora prendere in considerazione.

A proposito dei *punti carsogeni embrionali*, mi domando come sia possibile in così breve tratto come può essere, ad esempio, lo spessore del Carso triestino, provenendo le acque da zone praticamente identiche per copertura vegetale e per azione carbonicante, avere delle acque già sature, e quindi applicare la teoria del prof. BOGLI. Teniamo conto che in fase freatica, cioè quando le soluzioni carbonicate si sono separate dalla fase gassosa, quello che guida soprattutto la solubilizzazione è l'idratazione dell'anidride carbonica; si tratta di un processo lentissimo, che si può compiere, alla temperatura del carso triestino, in diverse ore.

Inoltre, il fattore che guida la solubilizzazione dei calcari è la diffusione attraverso lo strato limite del flusso, cioè quella pellicola d'acqua che aderisce alle pareti dei condotti e che è praticamente immobile. Tale diffusione — come ha chiarito il Prof. ROQUES — si può compiere soltanto in teoria, in un tempo infinito: cioè in pratica non viene mai raggiunto lo stato di equilibrio. Quindi ecco che la corrosione per miscela di acque a diverso grado di saturazione non può spiegare, a mio avviso, i punti carsogeni in fase freatica.

Supponiamo invece di non essere in condizioni freatiche, cioè di poter avere una

circolazione di aria. In questo caso, con una fase gassosa in contatto con la fase liquida, è stato sperimentato da EK. e da ROQUES che il tempo necessario per effettuare il 90% del cammino verso lo stato di equilibrio è di circa 200-250 ore. Anche in queste condizioni mi sembra impossibile che in una massa calcarea avente uno spessore modesto, come è appunto il Carso triestino, le acque possano raggiungere la saturazione e quindi si possano formare questi punti carsogeni per mescolanza di acque sature.

Non è possibile piuttosto credere che il flusso freatico abbia una certa caratteristica idrodinamica in particolari punti, dove è maggiore, per esempio, la turbolenza, e che in tali punti si possano quindi determinare condizioni per una maggiore solubilizzazione della roccia? Così si potrebbe spiegare la formazione delle cavità embrionali, che prenderebbero quindi origine da flussi freatici, o anche vadosi, non saturi aventi opportune caratteristiche idrodinamiche. Queste cavità embrionali si evolvono poi — a mio avviso — non tanto per erosione inversa, quanto piuttosto secondo il processo speleogenetico dei pozzi-cascata, che dà luogo a forme spesso del tutto simili a fusoidi con la parte inferiore ostruita da detriti.

CIGNA. Vorrei dire che una risposta all'interrogativo di SALVATORI è contenuta in un lavoro di P. K. WEYL 1958 (J. Geol. 66: 163-176), dal quale risulta che in realtà — cioè nelle situazioni verificabili sul terreno o in grotta — dopo pochi centimetri, dico centimetri, di scorrimento lungo superfici calcaree le acque raggiungono la saturazione. In altre parole si constata sperimentalmente che un'acqua sotterranea è praticamente sempre satura. Interessante a questo proposito è una nota apparsa sulle Transactions del Cavern Research Group qualche anno fa, prima che BOEGLI enunciasse la sua teoria; nella nota si parla di un saturometro, cioè uno strumento per misurare mediante elettrodi il grado di saturazione e quindi l'aggressività delle acque sotterranee. Gli ideatori di tale strumento si accorsero, con grande stupore, che tutte le acque sotterranee prese in esame risultavano sature.

Aggiungerò, a proposito dei *micro-fusi embrionali*, che se ne vedono di bellissimi, alti una spanna, tagliati dallo scavo della galleria artificiale di accesso alle Grotte di Castellana.

LAURETI. MAUCCI dice che riguardo all'andamento delle cavità c'è prevalenza di pozzi vicino alla superficie, prevalenza di gallerie a quote più prossime all'acqua di fondo. In molte cavità questo è vero; ho però notato che nell'Appennino — specialmente centro-meridionale — molte grotte, molti inghiottitoi cominciano con una galleria, più o meno lunga, alla cui fine ci sono i pozzi: è il caso di Val dei Varri, del Bussento e anche, parzialmente, della Grava del Fumo. In altre grotte, come ad esempio quella di Luppa, ci sono pozzi sia nella parte iniziale che in quella terminale.

Per quanto riguarda poi la *retroversione* degli inghiottitoi, ritengo che la struttura tettonica — per esempio una stratificazione a reggipoggio — possa avere una certa influenza. Vorrei sapere inoltre come si debbono chiamare gli inghiottitoi in cui si verifica una doppia retroversione.

BRANCACCIO. Mi è parso di capire che uno dei punti più contestati, almeno in questa sede, della teoria del prof. MAUCCI sia quello dei punti carsogeni. Io proporrei di tener presente che, come afferma CORBEL in una sua nota, in un massiccio calcareo ad una certa profondità la temperatura corrisponde esattamente a quella media annua che si ha in superficie. Ora consideriamo le condizioni di climi (o paleoclimi) che abbiano precipitazioni concentrate durante il periodo estivo: nel corso delle precipitazioni estive l'acqua superficiale è calda, per cui la pressione parziale della CO_2 in essa fisicamente disciolta è piuttosto bassa. L'acqua, penetrata nelle fratture, man mano che scende va raffreddandosi, perché trova in profondità temperature più basse; in tal modo si carica di anidride carbonica, in quanto le fratture sono permeate di aria che penetra dall'esterno. Dunque le acque, che inizialmente erano poco aggressive, in profondità possono diventare fortemente aggressive. Questo potrebbe spiegare i punti carsogeni ipogei del prof. MAUCCI.

PASTORINO. Per l'esperienza che ho sulle grotte liguri, ho l'impressione che i vani a fusoidi ci siano. Tuttavia, nel caso di grotte composte, mi pare difficile ricondurre l'andamento alla sola coalescenza di fusoidi. Molto spesso i fusoidi sono distanziati fra di loro e connessi da condotti ad andamento vario, che — a mio avviso — spesso non derivano dall'erosione inversa. E' possibile che, almeno in Liguria, si possa avere una sovrapposizione di due fasi speleogenetiche, la prima caratterizzata dall'erosione inversa, la seconda dal normale allargamento di litoclasti ad opera di acque incanalate?

MAUCCI (1). Ringrazio tutti coloro che sono intervenuti in questa discussione: li ringrazio non solo per le cose interessanti che hanno detto, ma anche perché mi hanno dato lo spunto per alcune considerazioni ed alcune precisazioni che erano necessarie.

Consentitemi una premessa. Il lavoro sul quale stiamo discutendo è di oltre vent'anni fa. Vent'anni, in una scienza giovane come è la speleologia, sono molti, ed è quindi naturale che alcuni punti siano attualmente superati. Vent'anni poi, nella carriera di uno speleologo, sono moltissimi: allora ero un giovane speleologo, entusiasta — come tanti ce ne sono al giorno d'oggi — al quale era parso di aver trovato qualche cosa di interessante, e quindi con una spontanea e del tutto umana tendenza alla generalizzazione, alle affermazioni categoriche. Con l'età e l'esperienza, questa tendenza si attenua, e subentra una maggiore prudenza ed umiltà. Per questo, certe affermazioni categoriche che voi potrete trovare nel mio testo, provate a sfumarle un poco, per favore.

Con ciò non intendo naturalmente rinnegare il mio lavoro di allora: vent'anni di attività speleologica mi hanno convinto che i punti fondamentali della mia teoria reggono. E la stessa discussione di oggi, lasciatemelo dire, mi conforta.

E vengo ora alle risposte.

Un grazie all'amico DEMATTEIS, per l'interessantissimo esempio di speleogenesi superficiale da lui citato e documentato da belle fotografie. Le osservazioni di DEMATTEIS mi offrono l'occasione per una precisazione. Un punto essenziale della mia teoria è la constatazione che le fasi iniziali della speleogenesi hanno luogo non in superficie, bensì in profondità. Ora avviene talora che nella discussione — e talora perfino nelle pubblicazioni — si usino promiscuamente i termini *speleogenesi* e *carsogenesi*: è ovvio che si tratta di concetti diversi. La *carsogenesi*, cioè la genesi dei fenomeni carsici in senso lato, avviene a tutti i livelli, superficie compresa. E' la *speleogenesi*, cioè l'origine delle grotte, che va ricercata — secondo me — in profondità. Il caso citato da DEMATTEIS è stato da lui stesso giustamente denominato « carso embrionale di superficie ». Sono d'accordo. Ma, a parte il fatto che si tratta di un interessante caso particolare, difficilmente generalizzabile, mi pare che non si possa parlare qui di una effettiva speleogenesi: si tratta di micro-grotte, questo è vero, ma non di grotte embrionali, perché francamente non vedo come il fenomeno possa successivamente evolversi per dare origine a vere grotte.

Per quanto riguarda i vani con inclinazioni intermedie, in zona freatica, sono pure d'accordo con DEMATTEIS. Ancora una volta devo richiamarmi alla situazione di vent'anni fa. Allora, ricordiamo, non solo i problemi della speleogenesi freatica erano appena sfiorati, ma addirittura era oggetto di polemica l'esistenza stessa di una zona freatica nei calcari. Studiosi come BOURGIN, TROMBE, per non parlare di MARTEL, negavano l'esistenza della cosiddetta « acqua di fondo ». Oggi, al contrario c'è una certa tendenza a riportare ogni fatto di speleogenesi embrionale a condizioni di freaticità. Ora io mi guardo bene dal negare l'esistenza

(1) La comunicazione orale presentata dal Prof. MAUCCI al Seminario di Speleogenesi era più ampia ed aggiornata rispetto al testo consegnato dall'A. per la stampa su questi Atti, che è lo stesso apparso sul Bollettino della Società Adriatica di Scienze Naturali nel 1952. Perciò abbiamo ritenuto opportuno consentire al Prof. MAUCCI di ampliare in qualche punto la sua replica, inserendovi alcuni brani della comunicazione orale. [N.d.R.].

di una speleogenesi freatica. Tuttavia i miei grafici e l'obbiezione stessa di DEMATTEIS conducono ad una medesima conclusione, a cui si può arrivare ragionando in questo modo. In condizioni freatiche, è ovvio, solo l'andamento della fratturazione condiziona l'andamento dei condotti, e pertanto dovremmo trovare appunto tutte le inclinazioni, da 0° a 90°, senza inclinazioni preferenziali, salvo quelle determinate dalla situazione tettonica. D'altra parte i grafici delle inclinazioni sono dati incontestabili. DEMATTEIS chiede come sono stati ottenuti: semplicemente dall'osservazione di qualsiasi catalogo speleologico, dal vecchio « Due-mila Grotte » all'« Inventaire Spéléologique de France ». Chiunque può prendersi la briga di rifare il mio lavoro, su qualsivoglia catalogo o catasto: i risultati saranno analoghi. Che cosa significa ciò? Significa che se la parte sinistra del diagramma (v., ad es., Figg. 2, 3, 4) con inclinazioni nulle o modeste, può riferirsi a fatti speleogenetici freatici, la parte destra non può che riferirsi a condizioni vadose. Questo è appunto uno dei principi basilari dell'erosione inversa: la speleogenesi vadosa esiste, è attuale, e non di rado è nettamente prevalente su quella freatica.

La terza osservazione di DEMATTEIS mi trova pure consenziente: il meccanismo di evoluzione dei vani da lui schematizzato esiste. Ma che cosa dimostra? Anzitutto conferma la tendenza alla verticale nella speleoevoluzione vadosa, perfino quando la fratturazione non è verticale. Quanto al resto, si tratta pur sempre di erosione inversa. Non si formano fusi. D'accordo. L'amico CIGNA sa quanto io mi sia opposto — vanamente — alla definizione « teoria dei fusi », quasi che i « fusi » o « fusoidi » siano elemento essenziale della teoria stessa. Mettiamo le cose in chiaro. I fusoidi esistono: non lo dico solo io, lo dice anche CAPPÀ, lo dice BALBIANO, lo dice MAIFREDI, lo dice PASQUINI, lo dice perfino DEMATTEIS. Questa non è che la considerazione di partenza: constatata la esistenza di queste forme ho cercato di indagare il perché ed il come di esse ... e sono arrivato alla teoria dell'erosione inversa, constatando successivamente come essa possa spiegare anche forme diverse, quali, ad esempio, i mezzi fusi, privi di restringimento basale. La teoria non spiega tutto? Lo credo bene! Quando mai una teoria può pretendere di spiegare tutto? Ma è troppo semplicistico concludere: « dove non ci sono fusi non c'è erosione inversa »!

All'amico CAPPÀ, anzitutto un ringraziamento per l'interessante notizia relativa alla speleogenesi delle Grigne. Quanto all'esistenza dei microfusi embrionali su superfici di sbancamento artificiale, è vero che essi non sono molto frequenti. Esistono sì, in qualche zona di più, in qualche altra di meno. Tuttavia è più facile osservarli a maggiore profondità, sulle pareti di grotte (come ci riferisce PASQUINI) o in gallerie artificiali (come ci segnala CIGNA). La cosa è facilmente spiegabile, quando si tenga conto che le prime fasi di una speleogenesi vanno naturalmente ricondotte a fatti corrosivi (l'erosione ed i fenomeni clastici seguiranno in un secondo tempo): nella zona superficiale l'esistenza di una vascolarizzazione beante consente una circolazione di aria atmosferica, che produce piuttosto un effetto litogenico che non corrosivo. Osservo che anche sul Carso Triestino si possono notare, su pareti di sbancamento (ad esempio nella zona dei lavori per il prolungamento dell'autostrada) delle cavità che, piuttosto che embrionali, definirei abortite, in quanto la stalammitizzazione precoce ha già arrestato l'incipiente speleogenesi, sostituendola con una anticipata senilizzazione.

Infine, CAPPÀ mi pone una questione terminologica, sollevata poi anche da LAURETI. Premesso che l'esattezza terminologica è sì molto importante, ma che non dobbiamo rendercene schiavi, osserverò che i termini « inghiottitoio inverso » e « inghiottitoio retroverso » sono concettualmente differenti: il primo ha un significato genetico e morfologico, il secondo ha un significato strettamente idrografico. Ci possono essere inghiottitoi inversi, senza retroversione, come ci possono essere inghiottitoi retroversi, non dovuti all'erosione inversa.

L'amico BALBIANO si richiama ancora ai pozzi originati da cascata. E non è il solo, ne accenna anche SALVATORI. È una vecchia teoria, che risale ai tempi eroici della speleologia, ai tempi di MARTEL. Tale teoria cerca evidentemente di spiegare la forma dei pozzi più o meno stretti all'imbocco e poi ampliati verso il basso. Questa forma esiste, è frequente, è anzi la forma prevalente. Ma spie-

garla con la teoria della cascata ... mi spiace, ma qui non posso proprio essere d'accordo. Intanto, escludo i pozzi *generati* da cascata. Per avere una cascata entro un pozzo — è ovvio — deve esserci già il pozzo, altrimenti dove cadrebbe quest'acqua? Nelle leptoclasti? Quindi la genesi del vano deve essere antecedente alla cascata, e dovuta ad altri fatti. Che una cascata, in un pozzo preesistente, ne possa modificare la forma, e determinare la classica forma « a campana » siamo d'accordo. Ma sostenere che *tutti* o *molti* pozzi debbano la loro forma a tale azione, implicherebbe che la speleogenesi debba essere ricondotta all'azione di acque correnti ipogee inalveate, a fiumi sotterranei cioè, e questa mi sembra una generalizzazione eccessiva, difficilmente sostenibile.

Ciò mi dà occasione per ribadire un altro punto, che considero fondamentale, della mia teoria. In condizioni vadose (e l'erosione inversa — lo ripeto — è in tali condizioni che agisce) la speleogenesi è alimentata, tranne pochi casi particolari, dalle acque meteoriche di percolazione. L'inalveamento ipogeo — se e quando avviene — è un fatto successivo e anzi piuttosto tardivo nella evoluzione carsica. Considerando la distribuzione dei fenomeni carsici ipogei è impossibile ricondurre la speleogenesi all'azione di paleofiumi epigei, o a reticoli idrografici ipogei inalveati. Le acque di percolazione, di apporto meteorico, sono sufficienti a spiegare la genesi dei pozzi. Quindi, poiché il « pozzo a campana » è la forma di gran lunga prevalente, essa deve essere spiegata con altre ipotesi, che non siano il caso — reale, ma del tutto particolare — della cascata.

Quanto alla continuità dei condotti, necessaria per consentire lo scorrimento d'acqua, essa è ovvia. Anzi, più che di continuità dei condotti, parlerei di anastomosi della vascolarizzazione ipogea. Essa è condizione essenziale non solo per la speleogenesi, ma per la carsogenesi in generale. Ma continuità dei condotti non significa continuità della speleogenesi: questa è evidentemente e necessariamente localizzata in alcuni punti favorevoli.

MAIFREDI chiede se un fusoido può formarsi in condizioni freatiche. Direi di no: la genesi di un fusoido richiede un richiamo verticale di acque, che può aversi, di regola, solo in condizioni vadose. Le gallerie con sezione fusiforme citate vanno ricondotte, secondo me, ad una speleogenesi diretta, che può essere freatica o vadosa, ma che implica comunque — in questo caso sí — un corso d'acqua ipogeo, inalveato. E' però necessario un periodo di corrente a pelo libero. Allora il restringimento basale della sezione non è che una *Gravitationsrinne*, nel senso di KYRLE, mentre la forma della volta dipende — come dice bene MAIFREDI — da semplici motivi statici: è ben noto che la volta « a botte » e ancor più a sezione ogivale sono le forme più stabili.

Questo vale naturalmente anche per i casi citati da PASQUINI (d'accordo: non si tratta di pseudogalleria). Ringrazio PASQUINI per le interessanti notizie, e rilevo l'importanza dei casi di doppia retroversione.

Il prof. BERTOLANI ci ripropone il problema della forma dei fusoidi. Ho già detto e ripeto, sperando non sia più necessario ribadirlo, che il fusoido non è l'unica forma di vano compatibile con l'erosione inversa. In particolare esistono parecchie cause che possono impedire la formazione del restringimento basale (differenze litologiche, presenza ed accumulo di impurità insolubili, situazioni tettoniche ecc.). Tuttavia c'è da osservare che: a) la forma a fusoido è la più logica e prevedibile, *qualunque sia il meccanismo genetico* chiamato in causa; b) tale forma è chiaramente riconoscibile, e nettamente prevalente nelle micro-cavità embrionali, dove il meccanismo genetico non ha ancora avuto tempo di essere modificato per l'intervento di altri fattori: in grotte più ampie è prevedibile che la forma originale sia talora più o meno mascherata per il subentrare di altri fatti, non più speleo-genetici in senso stretto, bensì speleo-evolutivi; c) il restringimento basale del fusoido è non di rado osservabile, specialmente in fusoidi concresciuti in associazione terminale o subterminale, che determinano forme (forse non frequentissime, ma tuttavia non rare) « a clessidra »; d) BERTOLANI ci chiede: « è mai possibile che il riempimento sia sempre così costante e regolare da obliterare esattamente mezzo fusoido? ». Rispondo: sí, è possibile, anzi — direi — è normale. Di regola il riempimento non riguarderà « mezzo fusoido », bensì più della metà, tanto che non solo il restringimento basale, ma anche, per

così dire, il « ventre » di esso sarà obliterato. Non dobbiamo dimenticare che in vani di una certa dimensione (quali sono le grotte esplorabili), l'azione della corrosione non può andare disgiunta da fatti clastici: il materiale risultante dal disfacimento della sommità (evoluzione *per ascensum*) avrà comunque un volume considerevole, a causa della sua incoerenza, e pur tenendo conto dell'asporto per solubilizzazione, il volume di tale materiale difficilmente sarà inferiore alla metà del volume del vuoto risultante.

BERTOLANI osserva poi che spesso non è facile distinguere un inghiottitoio diretto da uno retroverso. Certo. La speleologia perderebbe molto del suo fascino (e noi stessi non saremmo qui oggi a discutere) se distinguere, spiegare, constatare fosse sempre facile. Nel caso citato ci troviamo solo apparentemente di fronte ad un arretramento dell'inghiottitoio, d'accordo. Ma l'arretramento è un fenomeno che non di rado si verifica, e talora è chiaramente riscontrabile per la sopravvivenza del *Thalweg* epigeo fossile. Sono lieto comunque di constatare che anche nei gessi (che non conosco per esperienza personale) il meccanismo speleogenetico dell'erosione inversa è perfettamente valido, come risulta chiaramente dalle parole del Prof. BERTOLANI.

A SALVATORI ha già, in parte, risposto CIGNA. Aggiungerò che le condizioni di saturazione delle acque freatiche, sperimentalmente constatate, hanno portato all'importante contributo per il quale la speleologia deve essere grata al collega BOEGLI. Senza la *Mischungkorrosion* oggi noi dovremmo escludere qualsiasi speleogenesi in condizioni freatiche. Vorrei tuttavia mettere in guardia i colleghi speleologi dal cadere nell'eccesso opposto: dal considerare cioè la *Mischungkorrosion* come una specie di *passepertout* che apre tutte le porte, e dal voler ricondurre di conseguenza ogni speleogenesi a condizioni di freaticità. Non sottovalutiamo la speleogenesi vadosa (secondo me nettamente prevalente, ma questa può essere una opinione personale) e teniamo presente che in condizioni vadose i rapporti fisico-chimici fra fase solida, liquida e gassosa sono così complessi e mutevoli, e dipendenti da tali e tanti fattori, da rendere ben difficilmente generalizzabile qualsiasi calcolo, e qualsiasi dato sperimentale di laboratorio.

A LAURETI posso rispondere ricordando che quando si parla di prevalenza di una data forma (nel caso specifico, cavità verticali nella zona più vicina alla superficie) si intende un dato statistico: prevalenza non vuol dire esclusività. Anch'io conosco molte grotte che iniziano con gallerie, ed hanno i pozzi al termine. Ma questi casi non alterano sensibilmente la situazione generale.

BRANCACCIO richiama un aspetto importante della speleogenesi, cioè il ruolo della temperatura. Occorre tuttavia precisare che questo ruolo appare significativo soltanto in condizioni climatiche ottimali (come giustamente rileva BRANCACCIO, parlando di climi a precipitazioni estive). Vediamo qualche cifra, che ci consentirà alcune considerazioni non prive di importanza.

Consideriamo, per esempio, un'acqua meteorica estiva a 17°. Essa contiene (a pressione ordinaria) 0,58 mg/l di CO₂, ma poiché al livello del terreno questo valore è certamente maggiore, possiamo accettare un tenore di circa 56 mg/l: in queste condizioni la solubilità del calcare sarà di circa 300 mg/l. Penetrando nelle litoclasti, l'acqua si raffredda fino alla temperatura della roccia, pari alla temperatura media annua della regione, che possiamo supporre di 10°. A questa temperatura, a una soluzione di CaCO₃ di 300 mg/l corrisponde un tenore di CO₂ d'equilibrio di soli 46 mg/l. Si avrà quindi un eccesso di CO₂ aggressivo pari a 10 mg/l, che porterà la solubilità del CaCO₃ a quasi 325 mg/l. Aumento modesto, come si vede.

E' chiaro però che la presenza di aria in cavità sotterranee introduce, negli equilibri fisico-chimici, la possibilità di scambi gassosi che modificano sensibilmente il procedimento, in quanto significano variazioni del tenore di CO₂ libera. Si abbia ad esempio, anche in questo caso, una temperatura iniziale della soluzione di 17°. Abbiamo visto che ciò può significare per l'acqua percolante un tenore di CO₂ di equilibrio di circa 56 mg/l e un tenore di CaCO₃ di 300 mg/l. Se quest'acqua, raffreddata a 10°, penetra in una cavità contenente aria, essa discioglierà dell'altra CO₂ fino ad un tenore di 70 mg/l. Ciò significa un eccesso di

24 mg/l di CO₂ aggressivo, e quindi una esaltazione del potere corrosivo della soluzione fino ad un tenore di quasi 350 mg/l.

Se paragoniamo le cifre citate nei due casi, osserviamo un fatto che considero importante: cioè il potere corrosivo dell'acqua carbonicata è nettamente maggiore in una cavità di una certa ampiezza — nella quale esiste la possibilità di scambi gassosi — che non nella rete leptoclasica.

D'altra parte le cifre succitate presuppongono una pressione parziale di CO₂ nell'aria sotterranea pari a quella che esiste al livello del suolo. Se la cavità sotterranea è aerata, cioè dispone di collegamenti con l'atmosfera tali da rendere possibile un ricambio d'aria, la percentuale di CO₂ interna non potrà che essere all'incirca pari a quella atmosferica, e cioè 3/10000. Se però la cavità sotterranea manca di sbocco esterno, o comunque se la disposizione del vano rende difficile o impossibile un ricambio d'aria, allora la quantità di CO₂ può venire sensibilmente aumentata, e ciò soprattutto nelle microcavità embrionali situate ad una distanza ottimale dalla superficie. Nelle cavità a ricambio d'aria, dove il tenore di CO₂ non supera quello atmosferico, le acque carbonicate avranno, in linea di massima, tendenza a cedere CO₂, indipendentemente dalla temperatura.

Da ciò deriva che nelle fasi protocarsiche l'incremento della vascolarizzazione ipogea per fatti chimico-fisici assume un decorso discontinuo, accentuandosi in alcuni punti, e rimanendo molto limitata in altri. E' questa quindi una delle risposte (non certo l'unica) che si possono dare al problema dei punti speleogeni.

Ultimo punto, la domanda di PASTORINO: certo che si può avere una unione di fusi non proprio strettamente collaterali, fusi situati anche a una certa distanza tra di loro. Non dobbiamo dimenticare che il vano, una volta accennato e percorso da una certa quantità d'acqua, esercita anche un richiamo delle acque delle leptocavità circostanti. Che questa percolazione orientata possa evolversi a formare delle gallerie, questo è logico. Noi non possiamo pretendere che qualsiasi grotta un po' estesa sia formata soltanto da tanti fusoidi concresciuti l'uno con l'altro.

Con ciò credo di aver risposto agli interrogativi ed alle obiezioni degli amici che sono intervenuti in questa discussione. Sono lieto di aver avuto così occasione di chiarire e precisare alcuni punti della mia teoria, chiarirli a voi che mi onorate della vostra attenzione, e chiarirli anche a me stesso, perché è attraverso la franca discussione, lo scambio di idee, e — se occorre — perfino la polemica, che i concetti diventano più solidi e più fecondi. A voi tutti, grazie.

CIGNA. Ringrazio a mia volta tutti gli intervenuti e il Prof. MAUCCI che, attraverso le esaurienti risposte, ci ha fornito un interessante aggiornamento della teoria dell'erosione inversa. Passiamo ora alla comunicazione del Dr. PASINI sull'erosione antigravitativa.

GIANCARLO PASINI (*)

SULL'IMPORTANZA SPELEOGENETICA DELL'“EROSIONE ANTIGRAVITATIVA”

RIASSUNTO - Da analisi speleomorfologiche effettuate dall'A. in numerose grotte scavate nei gessi selenitici messiniani dell'Appennino bolognese risulta che in esse esistono molti condotti con tipica morfologia a *tubo freatico*, ma con andamento del tutto indipendente da quello delle litoclasti e dei giunti di stratificazione, in contrasto con le principali teorie speleogenetiche. Fenomeni analoghi sono stati osservati dall'A. in grotte calcaree.

Questi condotti (*pseudo-tubi freatici*) sono scavati in rocce dotate di una porosità (s.s.) molto bassa e caratterizzati dalla presenza di sedimenti prevalentemente alluvionali. La loro origine si può spiegare ammettendo che — in particolari condizioni — i primitivi tubi freatici impostati su giunti e fratture divengono sede di una intensa sedimentazione, la quale costringerebbe le acque sotterranee incanalate ad erodere solo la volta dei condotti stessi e quindi a scorrere a livelli sempre più alti, fino a raggiungere la superficie piezometrica. Si propone di chiamare questo processo *erosione antigraavitativa*.

Viene sottolineata la notevole importanza speleogenetica che l'erosione antigraavitativa può assumere in qualunque tipo di roccia carsogena.

ABSTRACT - Speleomorphological analyses have been carried out on many gypsum caves in outcrops of Messinian age near Bologna. Several natural passages show the typical morphology of *phreatic tubes*, but their orientation is quite independent from joints and bedding planes, in contrast with the main speleogenetic theories. Similar phenomena have been observed by the Author also in limestone caves.

These *pseudo-phreatic tubes*, whose bottoms are always made of prevailing alluvial sediments, are bored in rocks with very low porosity (*sensu strictu*). Their origin can be explained by taking into account that — under particular conditions — the early phreatic passages, which follow bedding planes and joints, experience conspicuous sedimentation. The underground canalized streams are consequently allowed for eroding only the passage's ceiling, and for flowing at

(*) Istituto Italiano di Speleologia; Laboratorio di Geologia Marina del C.N.R. (Bologna).

ever higher levels until the piezometric surface is reached. *Antigravitational erosion* is the term suggested for such a process, whose remarkable speleogenetic importance in every soluble rock is pointed out.

I. PREMESSA

L'orientamento dei condotti carsici è di regola condizionato, come è noto, dalla tettonica della zona in cui questi condotti si sono sviluppati. Gli assi dei *condotti primitivi* — cioè di quelli che si formano nello stadio iniziale dello sviluppo delle grotte di un certo massiccio carsico — hanno infatti direzioni e inclinazioni strettamente dipendenti dalle direzioni e dalle pendenze dei giunti di stratificazione, delle diaclasi e delle faglie di quel massiccio.

Questa corrispondenza tra l'orientamento dei *condotti primitivi* e la tettonica di una regione carsica viene chiaramente spiegata dalle principali teorie speleogenetiche, anche dalle più recenti. Secondo queste teorie infatti l'acqua circola inizialmente entro le rocce carsogene seguendo il reticolo formato dai giunti di stratificazione e dalle fratture, che vengono allargati dalla corrosione e dall'erosione trasformandosi, ad esempio, in *fusoidi* (MAUCCI 1952) nella zona vadosa, in *tubi freatici* (DEMATTEIS 1960, CHIESA 1963) nella zona freatica, ecc..

Successivamente intervengono fenomeni che modificano la morfologia dei condotti primitivi e tendono a mascherare le relazioni che intercorrono tra il loro andamento e la tettonica; tra questi i principali sono lo scorrimento delle acque incanalate a pelo libero e i fenomeni di crollo. Lo scorrimento incanalato a pelo libero dà luogo a « forme vadose » — come i meandri e i *pozzi-cascata* (DEMATTEIS 1963) — il cui asse risulta spesso indipendente dagli elementi tettonici. I grandi crolli possono poi modificare notevolmente la morfologia di una cavità o determinare la fusione di cavità contigue, e i condotti evolutisi per crollo possono avere anch'essi orientamenti indipendenti da quelli degli elementi tettonici.

Tuttavia, anche nelle grotte in cui si sono verificati questi fenomeni, un'accurata analisi morfologica consente quasi sempre di ricostruire l'andamento dei condotti primitivi (tubi freatici, fusoidi, ecc.), le cui tracce non vengono quasi mai completamente cancellate, e di stabilire le strette relazioni intercorrenti tra l'orientamento di questi condotti e la tettonica della zona attraversata dalla grotta. D'altra parte, anche quando questa ricostruzione non sia possibile — o perché i condotti primitivi sono stati completamente distrutti, o perché risultano inaccessibili — la discordanza tra l'asse di una galleria e gli elementi tettonici locali non desta meraviglia

quando sia evidente dalla morfologia che si tratta di una galleria evolutasi per erosione a pelo libero (forra) o per crolli.

Effettuando ricerche sul carsismo dei gessi selenitici messiniani dell'Appennino bolognese ho osservato però diversi condotti, aventi la tipica morfologia dei «tubi freatici», il cui orientamento è del tutto indipendente da quello dei giunti e delle litoclasti, in contrasto con le principali teorie speleogenetiche. Si tratta di gallerie e cunicoli in genere pochissimo inclinati, chiaramente modellati dall'erosione, a sezione subcircolare o, più frequentemente, subellittica con diametro maggiore orizzontale.

Talora questi condotti si osservano sulla volta di gallerie a forra, con pareti incise da ampie solcature sovrapposte, la cui morfologia è identica a quella di certe «forme composite» (DEMATTEIS 1972) derivanti da tubi freatici evolutisi per erosione a pelo libero incanalata.

Gli assi di lunghi tratti dei condotti a forma di «tubo freatico» presenti nelle grotte bolognesi non appartengono a piani corrispondenti ai giunti o alle fratture, ma formano con tali piani angoli più o meno ampi, che raggiungono i 60°-70°; la stessa cosa si verifica per i relitti di tali condotti osservabili sulla volta di gallerie a forra. Chiari esempi di questo fenomeno si trovano lungo il sistema sotterraneo «Spipola-Acqua Fredda» (3-4-5 E), nel «Buco delle Gomme» (56 E), nella «Grotta del Tunnel» e nella «Grotta Serafino Calindri» (149 E)⁽¹⁾.

La discordanza esistente tra l'orientamento dei condotti a «tubo freatico» e quello dei principali elementi tettonici locali non è evidentemente imputabile ai normali fenomeni, sopra descritti, che modificano la morfologia delle cavità primitive.

Nelle grotte dei gessi bolognesi il pavimento dei condotti a forma di «tubo freatico» in cui ho riscontrato questa discordanza, come pure quello delle gallerie sulla cui volta essi sono conservati, non è mai costituito da roccia in posto, ma da sedimenti in prevalenza alluvionali. Granulometricamente questi sedimenti vanno dalle argille alle ghiaie; i clasti più grossolani, molto arrotondati, sono silicei, fthanitici, arenacei, calcarei, marnosi, mentre mancano quasi completamente i ciottoli di gesso.

Questa osservazione mi ha consentito di formulare qualche anno fa un'ipotesi sulla genesi di questi condotti, apparentemente primitivi, aventi un andamento del tutto indipendente da quello dei giunti di strato, delle diaclasi e delle faglie (PASINI 1968 a).

(1) Per l'ubicazione e la descrizione delle grotte bolognesi citate (di cui sono indicati tra parentesi i numeri di catasto) si rimanda a BADINI 1967, GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO 1961, PASINI 1968 a, 1968 b.

II. IPOTESI DELL'EROSIONE ANTIGRAVITATIVA

Per fare un esempio molto semplice (anche se un po' teorico) consideriamo un lago a livello costante il cui bacino sia scavato in un massiccio formato da rocce carsogene; ammettiamo inoltre che il lago si trovi ad una certa altezza sopra il principale livello di base carsico del massiccio e che subisca una perdita in corrispondenza di una faglia.

Le acque perdute dal lago circolano inizialmente seguendo le soluzioni di continuità della roccia, come ammettono le classiche teorie speleogenetiche. Può svilupparsi così un sistema di *tubi freatici* impiantati su giunti e fratture, con tratti discendenti e ascendenti variamente orientati e inclinati. Per semplicità supponiamo che tutti questi condotti primitivi si trovino al di sotto della superficie piezometrica (Tav. V, a).

Lo sviluppo dei condotti può essere accompagnato da una notevole sedimentazione, dovuta all'accumulo dei materiali trasportati dalle correnti sotterranee. Questo alluvionamento è più rapido nei tratti a « sifone rovescio » (o a V), dove facilmente si depositano i clasti più grossolani. Infatti, nei rami inclinati di un condotto in cui l'acqua circola sotto pressione, i materiali trasportati in sospensione o trascinati sono soggetti, oltre che alla forza della corrente, a una componente della gravità che si somma alla forza della corrente nei tratti discendenti e si sottrae ad essa nei tratti ascendenti, favorendo l'accumulo di questi materiali sul fondo dei « sifoni rovesci ».

Questo alluvionamento ha due conseguenze fondamentali:

- 1) protegge il fondo dei condotti da un'ulteriore erosione, conservandone la primitiva morfologia;
- 2) riduce la sezione drenante dei condotti, causando un aumento della velocità della corrente, e quindi del suo potere erosivo.

In queste condizioni i condotti, ancora percorsi da acque sotto pressione, si sviluppano verso l'alto, con rapidità maggiore nei tratti a sifone rovescio, dove la più veloce sedimentazione causa una maggiore riduzione della sezione drenante e quindi un più sensibile aumento del potere erosivo della corrente. Di conseguenza si attenuano le ondulazioni in senso verticale del sistema di canali drenanti (Tav. *V, b).

Quando in un corso d'acqua epigeo la sedimentazione assume un'importanza tale da determinare un considerevole innalzamento dell'alveo, essa prende il nome di *sovralluvionamento* (DESIO 1959): per analogia si può chiamare sovralluvionamento anche la sedimentazione che origina il fenomeno in esame.

Il processo di erosione ascendente di un tratto di grotta sovralluvionato può continuare fino a quando il livello di scorrimento dell'acqua in quel tratto non si sia elevato al punto da consentirne la circolazione a pelo libero: ciò può verificarsi, nel nostro esempio, quando il livello di scorrimento dell'acqua ha raggiunto la superficie dei carichi totali che, per velocità poco elevate (come si hanno nelle correnti sotterranee), è molto prossima alla superficie piezometrica (Tav. V, c), tanto che la possiamo praticamente identificare con essa. Appena inizia lo scorrimento a pelo libero l'acqua cessa di erodere il soffitto del condotto.

Quindi, stando al nostro esempio, al termine del processo di erosione ascendente sarà libera da detriti una galleria con tratti variamente orientati, i cui assi appartengono però a un'unica superficie pianeggiante parallela e molto prossima alla superficie piezometrica (che è tangente alla volta) e avente in genere una giacitura del tutto indipendente da quelle dei giunti e delle fratture — a differenza delle grotte formatesi secondo le *Water table theories* (v., ad es., MOORE & NICHOLAS 1967). Tale galleria avrà sezioni trasversali semicircolari, subcircolari o ellittiche e sarà quindi apparentemente identica a un sistema di tubi freatici con fondo ricoperto da alluvioni. Che non si tratti di veri tubi freatici è dimostrato dal fatto che i vari tratti della galleria non sono impostati su giunti o fratture, ma li tagliano secondo angoli diversi e casuali.

La sezione dell'intera cavità delimitata dalla roccia in posto (*Evakuation* di KYRLE 1923) risulta invece allungata in senso verticale, come una forra, e il suo fondo coincide con la parte inferiore di un vero tubo freatico (Tav. V, Sez. CC').

I condotti ampliatisi verso il basso per l'erosione normale di un torrente sotterraneo, che ne ha inciso il fondo lasciandone intatta la volta, furono chiamati *Gravitationsgerinnen* da KYRLE (1923), *gallerie gravitazionali* da MAUCCI (1952), *condotti gravitativi* da altri Autori. Per analogia, le cavità di cui sopra abbiamo descritto la genesi, essendosi formate per un processo erosivo procedente dal basso verso l'alto, che ha inciso la volta di un condotto preesistente lasciandone intatto il fondo, potrebbero essere definite genericamente *condotti "antigravitativi"*, e l'erosione che le ha originate *erosione "antigravitativa"*, in quanto procede in verso opposto alle forze di gravità, o *erosione ascendente* (1). In particolare, le

(1) Il termine *erosione* viene qui usato nella sua accezione più vasta (cfr. HOLE 1968, HOWELL 1957, MONKHOUSE 1970) che comprende sia l'erosione meccanica ad opera dei materiali trasportati dalle acque correnti (*corrasione*), sia la *dissoluzione fi-*

« forre » evolutesi per erosione ascendente si possono chiamare *forre anti-gravitative*, e i condotti che al termine del processo sono liberi da detriti *pseudo-tubi freatici*.

L'esempio sopra illustrato è molto schematico e restrittivo; in realtà il livello di base, la superficie piezometrica, la velocità di sedimentazione, ecc. possono variare durante lo sviluppo del processo⁽¹⁾; inoltre il sovralluvionamento può continuare in qualche caso anche dopo che l'acqua ha iniziato a scorrere a pelo libero⁽²⁾. Tali fenomeni, se pur complicano il processo dell'erosione antigravitativa, non ne modificano sostanzialmente i risultati: quando, dopo il sovralluvionamento di un condotto (precedentemente percorso da correnti sotto pressione o a pelo libero), l'acqua circoli sotto pressione tra le alluvioni e la volta, ha sempre luogo un processo di erosione ascendente che, qualora abbia una sufficiente durata, porta alla formazione di *pseudo-tubi freatici* con orientamento indipendente dai giunti di strato e dalle fratture.

Durante il processo di erosione ascendente o al suo termine può attivarsi, per cause diverse (ad esempio per un abbassamento del livello di base), l'erosione normale e provocare l'asportazione parziale o totale delle alluvioni. Si avranno allora delle gallerie a forra, la cui volta coincide con uno pseudo-tubo freatico (Tav. IV).

L'esame di alcune cave di gesso mi ha fornito la conferma della grande importanza speleogenetica che ha l'erosione antigravitativa, almeno nelle grotte bolognesi. I fronti di cava, sezionando la massa rocciosa in cui sono scavate le grotte, permettono di osservare che, al di sotto di alcune gallerie e cunicoli percorribili, esistono vani talora molto ampi completa-

sica (per esempio quella dei solfati e dei cloruri, se adottiamo la recente convenzione della Commissione per la terminologia dell'Union Internationale de Spéléologie), sia la *dissoluzione chimica o corrosione s.s.* (per esempio quella dei carbonati). Evidentemente perché si sviluppi il processo dell'erosione antigravitativa è necessario che il fondo alluvionale dei condotti sia *complessivamente* meno erodibile della roccia in cui essi sono scavati.

(1) Il prematuro abbassamento della superficie piezometrica può determinare la formazione di *forre antigravitative abortite*, caratterizzate dal fatto che la loro volta non è tangente ad un piano, ma presenta tratti variamente inclinati e non paralleli ai piani di stratificazione e di fratturazione (cfr. Tav. V, b). In questo caso è molto probabile che una parte del riempimento venga asportata per erosione normale.

(2) Si vedano, ad esempio, i *canali freatici per alluvionamento di condotti in condizioni vadose* (PASINI 1968 b) o i *ceiling channels* (BRETZ 1956). Questo ulteriore sovralluvionamento potrà costringere l'acqua a scorrere nuovamente sotto pressione erodendo la volta dei condotti, che però di solito non si innalza molto al di sopra della precedente superficie dei carichi totali.

mente riempiti da alluvioni (Tav. I), il cui *top* rappresenta il pavimento dei condotti sovrastanti.

Gli esempi piú interessanti sono però rappresentati da solchi verticali intasati da alluvioni, che si sviluppano verso l'alto a partire da un giunto o da una frattura suborizzontale. Nella Tav. II sono visibili alcuni di questi solchi: il maggiore è largo 15 cm, ha un'altezza di 150 cm ed è riempito da silt argillosi inglobanti piccoli ciottoli arrotondati; tutti i solchi partono dalla stessa frattura, ma il loro sviluppo verticale non è condizionato da alcuna discontinuità della roccia e può essere spiegato solo dall'erosione antigraavitativa.

In realtà il fenomeno dell'erosione antigraavitativa sopra descritto non è del tutto nuovo: già altri Autori (BRETZ 1956, GÈZE 1965, ecc.) hanno osservato che l'acqua può incidere localmente il soffitto di una cavità occlusa da detriti. Finora però si era data a questo processo un'importanza assolutamente secondaria, attribuendovi solo forme di dettaglio, come i *ceiling channels* o i *pendants*. Le ricerche da me effettuate consentono invece di affermare che l'erosione antigraavitativa ha in vari casi un'importanza speleogenetica fondamentale ed è, a quanto mi risulta, l'unico fenomeno che attualmente possa spiegare l'esistenza — in rocce carsogene pressoché impermeabili per porosità s.s. — di intere grotte, o di lunghi tratti di grotte, a morfologia tipicamente freatica ma con andamento indipendente dai giunti e dalle fratture della roccia⁽¹⁾.

(1) PASSERI 1972 ammette che in calcari dotati di elevata porosità primaria (HARBAUGH 1967) possano formarsi condotti freatici impostati su « successioni lineari di pori », e quindi anch'essi indipendenti dall'andamento dei giunti e delle fratture. Questi condotti, spesso molto ampi, avrebbero una « caratteristica forma tubolare-cilindrica », che consentirebbe di distinguerli dai condotti freatici sviluppatasi lungo superfici litoclastiche o di stratificazione, aventi « sezione ellittica più o meno schiacciata » (PASSERI, op. cit.).

Nella maggioranza dei casi la porosità s.s. assoluta dei calcari è molto bassa e quella effettiva (cioè il rapporto tra il volume dei pori intercomunicanti e il volume totale della roccia) è del tutto trascurabile. Tuttavia esistono certi calcari algali, calcari a coralli, calcari oolitici, calcareniti, calciruditi, ecc. in cui la porosità s.s. effettiva è assai elevata. Il processo descritto da PASSERI potrebbe svilupparsi solo in questi particolari tipi di rocce carsogene, abbastanza permeabili per porosità in senso stretto.

Per quanto riguarda le grotte nei gessi selenitici messiniani dell'Appennino bolognese si può escludere senz'altro che l'indipendenza di molti condotti freatici dai giunti e dalle fratture sia dovuta alla porosità s.s. della roccia. Da prove di laboratorio effettuate presso l'Istituto di Scienze Minerarie dell'Università di Bologna risulta infatti che il gesso selenitico « a grana grossa » (cristalli > 1 cm) — e cioè quello in cui è scavata la quasi totalità delle grotte bolognesi — ha una porosità effettiva variabile da 2,99% a 3,87%, mentre il gesso « microcristallino » (cristalli \approx 2

III. L'EROSIONE ANTIGRAVITATIVA NELLE VARIE ROCCE CARSOGENE

Le mie ricerche sull'erosione antigraavitativa si sono limitate praticamente alle grotte scavate nei gessi dell'Appennino bolognese. Ritengo però che questo tipo di erosione possa verificarsi in numerose altre grotte, scavate non solo nei gessi ma in qualunque roccia carsogena, e possa assumere in molti casi un'importanza speleogenetica preponderante.

Infatti lo sviluppo dell'erosione antigraavitativa è dovuto semplicemente alla parziale occlusione di un condotto idricamente attivo; tuttavia, perché il fenomeno assuma una certa importanza speleogenetica, è necessario che il sovralluvionamento si verifichi per lungo tempo, e soprattutto che le alluvioni siano, nel complesso, assai meno erodibili della roccia in cui è scavata la grotta (cfr. nota 1 di pag. 301). Quest'ultima condizione può spiegare la frequenza — forse eccezionale — dei condotti antigraavitativi nei gessi bolognesi, dove alla notevole erodibilità della roccia (sia per dissoluzione fisica che per corrosione) fa riscontro una scarsa erodibilità delle alluvioni.

Recentemente ho osservato un bell'esempio di grotta evolutasi per erosione ascendente nei calcari mesozoici della Sardegna orientale. Si tratta della « Grotta N. 6 di Cala di Luna » (Golfo di Orosei), una risorgente fossile la cui parte più esterna è stata ampiamente modellata dal mare durante la trasgressione eutirreniana (Riss-Würm). Dopo la trasgressione il mare si abbassò di un centinaio di metri rispetto al livello attuale (acme würmiana) e la grotta in esame fu riempita per un lungo tratto da sedimenti prevalentemente eolici (ASSORGIA et al. 1968) provenienti dalla piattaforma continentale emersa. Il torrente sotterraneo fu costretto perciò ad aprirsi una nuova via tra i sedimenti eolici e la volta calcarea, che venne incisa da un ampio condotto meandriforme suborizzontale il cui andamento è in gran parte indipendente da quello dei giunti e delle fratture. Successivamente il riempimento fu asportato (in parte dal mare, in parte da correnti sotterranee a pelo libero), per cui il condotto evolutosi per erosione antigraavitativa è attualmente sospeso su una cavità più ampia, come un enorme canale di volta.

Fenomeni del tutto analoghi sono osservabili in altre grotte calcaree del Golfo di Orosei.

mm) ha una porosità effettiva compresa fra 3,43% e 3,56%; entrambi i tipi di gesso presentano pori di taglia molto piccola ed hanno una permeabilità bassissima (PARETINI, com. pers.).

IV. ORIGINE DEI RIEMPIMENTI RESPONSABILI DELL'EROSIONE ANTIGRAVITATIVA

L'esempio della « Grotta N. 6 di Cala di Luna » serve anche a dimostrare che l'erosione antigravitativa può essere causata non solo dal sovralluvionamento ma, come è logico, da qualunque tipo di riempimento, sia autoctono che alloctono. Quindi un tratto di grotta può evolversi per erosione ascendente anche a causa di soliflussioni, smottamenti, frane, o per accumulo di sedimenti eolici, di materiali morenici, eccetera.

Questi riempimenti non alluvionali formeranno spesso dighe naturali, a monte delle quali le correnti depositeranno più facilmente il materiale in sospensione; inoltre questi riempimenti possono essere erosi dalle acque sotterranee e accumulati lungo la grotta più a valle. Perciò, in definitiva, anch'essi tendono a causare indirettamente un certo sovralluvionamento, che può essere assai importante se il fenomeno di smottamento, soliflussione, ecc. non è momentaneo, ma ricorrente o di lunga durata.

Poiché l'erosione antigravitativa dipende dal rapporto tra l'erodibilità del materiale occludente e quella della roccia incassante, probabilmente essa potrà svilupparsi con maggiore facilità in zone nel cui bacino idrogeologico affiorino anche rocce non carsogene, dalla cui degradazione possano derivare alluvioni poco erodibili in senso lato (v. nota a pag. 301).

Va però osservato che la stessa degradazione meteorica delle rocce carsogene origina spesso sedimenti argillosi scarsamente erodibili: così, per esempio, dalla prolungata degradazione dei calcari in opportune condizioni climatiche possono derivare grandi quantità di « terra rossa », capace di occludere i condotti sotterranei e di innescare il processo di erosione antigravitativa. Infatti, come è noto, i sedimenti argillosi e siltosi possono essere trasportati da acque con velocità anche molto basse (< 1 cm/sec), ma la loro messa in movimento richiede un'energia, e quindi una velocità dell'acqua, molto maggiori, che aumenta col diminuire della granulometria. Pertanto l'erosione di sedimenti siltosi si verifica per velocità minime dell'acqua che vanno da 25 a 100 cm/sec circa, mentre i sedimenti argillosi richiedono velocità ancora maggiori (HJULSTRÖM 1955) ⁽¹⁾. La velocità

⁽¹⁾ Le esperienze di HJULSTRÖM si riferiscono a materiali granulometricamente molto selezionati, in genere poco frequenti in natura; inoltre non tengono conto di certi fattori, come la turbolenza, il carico della corrente, ecc.. Perciò le velocità minime dell'acqua necessarie secondo HJULSTRÖM per erodere i vari sedimenti devono considerarsi orientative. Si tenga presente inoltre che HJULSTRÖM considera sempre la velocità media che si ha in una sezione trasversale di un corso d'acqua, per cui quelle che abbiamo chiamato velocità minime vanno intese come velocità medie minime.

media delle correnti sotterranee è molto inferiore a 10 cm/sec (GÈZE 1965, MARTINI 1960, MOORE & NICHOLAS 1967); le correnti più rapide raggiungono raramente i 30 cm/sec (GÈZE 1965). Perciò, in definitiva, i sedimenti argilloso-siltosi possono essere facilmente trasportati dall'acqua nelle grotte, ma, una volta deposti, vengono difficilmente erosi, e sono quindi particolarmente idonei a provocare l'erosione antigravitativa. Questo vale, naturalmente, per tutti i sedimenti fini, non solo per quelli derivanti dall'alterazione del calcare o di altre rocce carsogene, purché siano pressoché indissolubili sia fisicamente che chimicamente.

V. CONCLUSIONI

Nelle grotte scavate in qualunque tipo di roccia carsogena e percorse da acque incanalate può svilupparsi un'erosione che procede dal basso verso l'alto, cioè in senso contrario alle forze di gravità, e che pertanto chiamiamo *erosione antigravitativa*.

Condizioni necessarie e sufficienti affinché un condotto carsico si sviluppi per erosione antigravitativa sono:

- 1) che il condotto venga occluso in gran parte da detriti;
- 2) che tali detriti siano meno erodibili in senso lato, da parte delle correnti sotterranee (in genere poco veloci), della roccia in cui è scavato il condotto;
- 3) che, dopo l'ostruzione, il condotto divenga (o resti) idricamente attivo, con circolazione di acque sotto pressione tra il riempimento e la volta.

I riempimenti che causano l'erosione antigravitativa possono essere di varia natura: alluvioni, accumuli eolici o morenici, materiali derivanti da smottamenti, da frane, da soliflussioni, eccetera.

Nelle grotte che hanno subito per lungo tempo il processo dell'erosione antigravitativa l'*Evakuation* (v. par. II) ha, in sezione trasversale, l'aspetto di una forra (*forra antigravitativa*). La parte della forra non occupata dal riempimento è apparentemente identica a un sistema di « tubi freatici » la cui porzione inferiore sia ricoperta da detriti. L'andamento di questi *pseudo-tubi freatici* è però, di solito, del tutto indipendente da quello dei giunti di strato e delle principali fratture della roccia in cui essi sono scavati.

Se poi il riempimento viene asportato, almeno in parte, durante una

successiva fase di erosione a pelo libero, gli pseudo-tubi freatici restano sospesi sulla volta di una galleria, che è evidentemente una forra antigravitativa più o meno modificata dall'erosione a pelo libero.

Il processo dell'erosione antigravitativa può avere, almeno in qualche caso, un'importanza speleogenetica primaria, condizionando fondamentalemente la morfologia di lunghi tratti di grotte.

Il riconoscimento degli pseudo-tubi freatici non è evidentemente immediato; per identificare queste forme è necessario:

- 1) studiare accuratamente la tettonica della roccia in cui la grotta in esame è scavata, cioè rilevare le direzioni e le pendenze dei piani di stratificazione e di fratturazione, quasi sempre evidenti nella grotta stessa;
- 2) effettuare un rilievo topografico e morfologico dettagliato della grotta, segnalando la presenza e la natura degli eventuali riempimenti.

Si tenga presente che la discordanza tra l'orientamento dell'asse di un condotto freatico (a fondo detritico) e la giacitura dei giunti e delle fratture di una roccia non permeabile per porosità (s.s.) è un elemento sufficiente per diagnosticarne l'origine antigravitativa, ma non necessario. Infatti è possibile — anche se improbabile — che l'asse di uno pseudo-tubo freatico sia casualmente parallelo, per esempio, a un giunto di stratificazione, o addirittura coincidente con esso.

Si tenga presente inoltre che, pur essendo il fondo dei condotti antigravitativi generalmente costituito da sedimenti clastici per lo più alluvionali, in qualche caso questi possono mancare del tutto, poiché l'erosione a pelo libero può averli asportati completamente; in altri casi questi sedimenti possono essere mascherati da concrezioni alabastrine.

RINGRAZIAMENTI - Desidero ringraziare il Prof. M. CIABATTI (Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Bologna) e il Prof. A. RUBATTA (Istituto di Idraulica dell'Università di Bologna) per i consigli e le utili discussioni; ringrazio inoltre il Prof. A. PARETINI (Istituto di Scienze Minerarie dell'Università di Bologna) per i dati fornitimi sulla porosità e permeabilità dei gessi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ASSORGIA A., BENTINI L. & DERNINI C., 1968 - *Nuove conoscenze sulle grotte costiere del settore di Cala di Luna (Dorgali - Sardegna Orientale)*. Atti X Cong. Internaz. Studi Sardi, pp. 4-32, Ed. Sarda F.lli Fossataro, Cagliari.
- BADINI G., 1967 - *Le grotte bolognesi*. Ed. divulg. di Rass. Spel. Ital., XI+ 143 pp., Tip. Meroni, Albese (Como).
- BRETZ J. H., 1956 - *Caves of Missouri*. Geol. Surv. & Water Res., ser. 2, 39, Rolla.
- CHIESA P., 1963 - *Aspetti applicativi della speleologia. Le acque sotterranee carsiche*. Rass. Speleol. Ital., vol. XV, pp. 105-112, Como.
- DEMATTEIS G., 1960 - *Le « forme semplici » come strumento di analisi nello studio della speleogenesi*. Grotte (Boll. Gr. Speleol. Piemontese), n. 13 (ciclostil.), pp. 28-43, Torino.
- DEMATTEIS G., 1963 - *L'erosione regressiva nella formazione dei pozzi e delle gallerie carsiche*. Atti IX Cong. Naz. Speleol., Rass. Speleol. Ital., Mem. VII, tomo II, pp. 153-163, Como.
- DEMATTEIS G., 1972 - *Contributo a una classificazione genetica delle forme carsiche sotterranee*. Preprints del Seminario di Speleogenesi (Varenna 1972), Le Grotte d'Italia, n. fuori serie, pp. 113-120, Bologna.
- DESIO A., 1959 - *Geologia applicata alla Ingegneria*. 2ª ed., Hoepli Ed., 1058 pp., Milano.
- GEZE B., 1965 - *La spéléologie scientifique*. 214 pp., Ed. du Seuil, Paris.
- GRUPPO SPELEOLOGICO EMILIANO, 1961 - *Le cavità naturali dell'Emilia-Romagna*. Le Grotte d'Italia, ser. 3, vol. III, pp. 143-169, Castellana Grotte (Bari).
- HARBAUGH J. W., 1967 - *Carbonate oil reservoir rocks*. In: CHILINGAR G. V., BISSEL H. J. & FAIRBRIDGE R. W. (ed.) - *Carbonate rocks. Developments in Sedimentology*. Vol. 9 A, pp. 349-398, Elsevier Publ. Co., Amsterdam.
- HJULSTRÖM F., 1955 - *Transportation of detritus by moving water*. In: *Recent Marine Sediments. A Symposium*. Soc. Ec. Paleont. & Mineral., Spec. Publ. n. 4, pp. 5-30, Tulsa.
- HOLE F. D., 1968 - *Erosion*. In: FAIRBRIDGE R. W. (Ed.) - *The Encyclopedia of Geomorphology*. Pp. 317-320, Reinhold Book Corp., New York - Amsterdam - London.
- HOWELL J. V., 1957 - *Glossary of Geology and related Sciences*. Amer. Geol. Inst., 325 pp., Williams & Heintz Lith. Corp., Washington.
- KYRLE G., 1923 - *Grundriss der theoretischen Speläologie*. XVIII+ 353 pp., Österreich. Staatsdruckerei, Wien.
- MARTINI J., 1960 - *Note sur l'érosion inversée*. Stalactite (Organo Soc. Svizz. Speleol.), t. 4, n. 5, pp. 125-132, Sion.
- MAUCCI W., 1952 - *L'ipotesi dell'« erosione inversa » come contributo allo studio della speleogenesi*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., vol. XLVI, pp. 1-60, Trieste.
- MONKHOUSE F. J., 1970 - *A Dictionary of Geography*. 2ª ed., Edward Arnold Publ. Ltd., V+ 378 pp., London.
- MOORE G. W. & NICHOLAS B. G., 1967 - *Speleology. The Study of Caves*. 120 pp., Heath & Co., Boston.
- PASINI G., 1968a - *Nota preliminare sul ruolo speleogenetico dell'erosione « antigravitativa »*. Le Grotte d'Italia, ser. 4, vol. I, pp. 75-90, Castellana Grotte (Bari).
- PASINI G., 1968b - *Osservazioni sui canali di volta delle grotte bolognesi*. Le Grotte d'Italia, ser. 4, vol. I, pp. 17-74, Castellana Grotte (Bari).
- PASSERI L., 1972 - *Ricerche sulla porosità delle rocce carbonatiche nella zona di M. Cucco (Appennino Umbro-Marchigiano) in relazione alla genesi della canalizzazione interna*. Le Grotte d'Italia, ser. 4, vol. 3 (estr.), pp. 5-44, Bologna.

TAVOLA I

Spiegazione della Tavola I

Ingresso di una grotta nei gessi selenitici (Buco delle Gomme, Appennino bolognese) evolutasi per erosione antigravitativa. Sotto l'ingresso (indicato dalla freccia) si nota la parte sommitale di un grande condotto interamente ostruito da depositi alluvionali, messo in luce casualmente da uno scavo artificiale. Il condotto ostruito si congiunge superiormente con la grotta. I sedimenti ostruenti sono in prevalenza argille siltoso-sabbiose e sabbie, sovrastate da uno strato ghiaioso di scarsa potenza; i blocchi che si vedono a sinistra dell'uomo sono dovuti a crolli recenti.



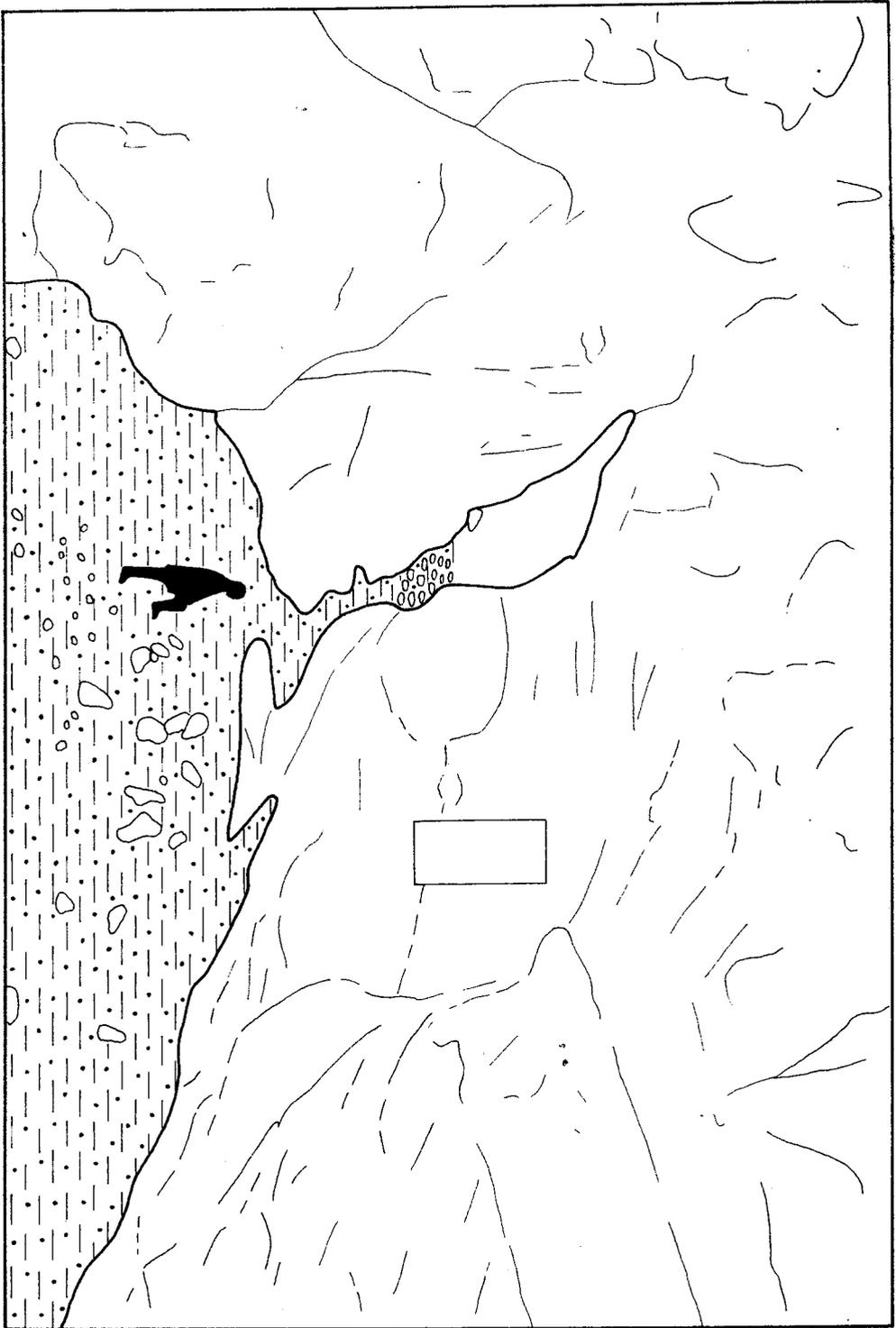




TAVOLA II

Spiegazione della Tavola II

Solchi verticali d'erosione antigравitativa sviluppatasi verso l'alto a partire da una frattura suborizzontale allargata dall'acqua (Cava Fiorini, Appennino bolognese). Le fratture e i solchi (larghi 15-20 cm e alti fino a 150 cm) sono interamente riempiti da alluvioni siltoso-argillose inglobanti rari ciottoli arrotondati. Lo sviluppo verticale dei solchi non è condizionato da alcun giunto di strato o frattura della roccia (gesso selenitico del Messiniano).



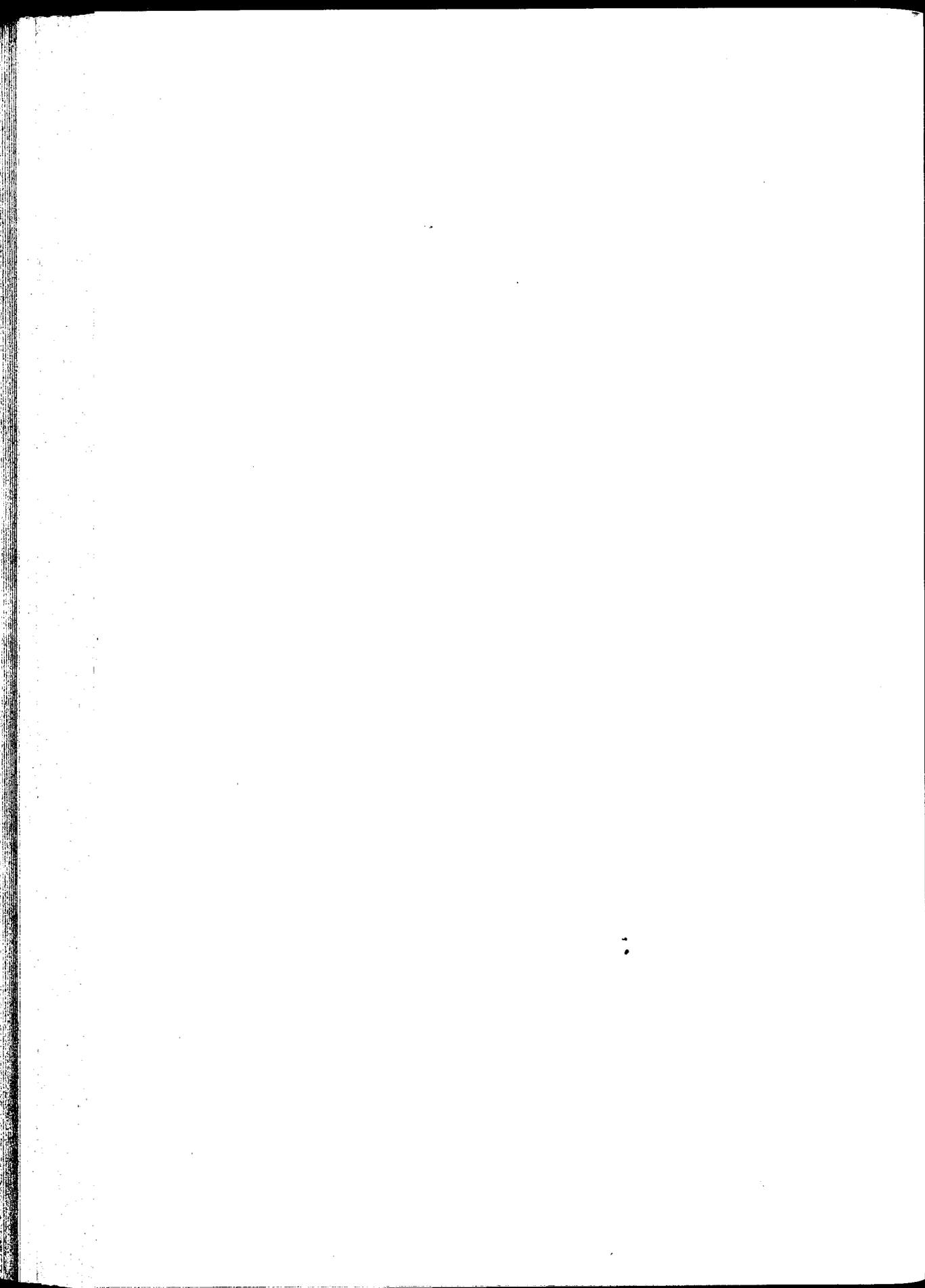


TAVOLA III

Spiegazione della Tavola III

Solco d'erosione antigравitativa che si diparte da una frattura suborizzontale nei gessi selenitici messiniani (Cava Fiorini, Appennino bolognese). Il solco, alto circa un metro, è riempito solo in parte da silt argilloso. Si noti come, anche in questo caso, il solco non abbia seguito giunti o fratture della roccia.



TAVOLA IV

Spiegazione della Tavola IV

Esempi di *forre antigraavitative* parzialmente svuotate da acque correnti a pelo libero (Grotta del Tunnel, Appennino bolognese).

Nella Fig. 1 si notano i sedimenti argilloso-sabbiosi che costituiscono il pavimento attuale della grotta e il *top* del riempimento alluvionale residuo.

Nella Fig. 2 è invece ben visibile lo *pseudo-tubo freatico* che costituisce la volta della «forra».

Le solcature suborizzontali osservabili sulle pareti di condotti di questo tipo possono essersi formate sia durante il processo di erosione ascendente, a causa di variazioni di portata, sia durante il successivo processo di erosione normale.



1



2

TAVOLA V

Spiegazione della Tavola V

Schema evolutivo di una *forra antigравitativa*.

La Fig. a) rappresenta, in sezione longitudinale, un tratto di un normale sistema di *tubi freatici* impostati su giunti di strato e fratture. Le Figg. b) e c) mostrano due momenti dell'evoluzione di questo sistema che, a causa del sovralluvionamento, è costretto a svilupparsi verso l'alto per *erosione antigравitativa*.

LEGENDA

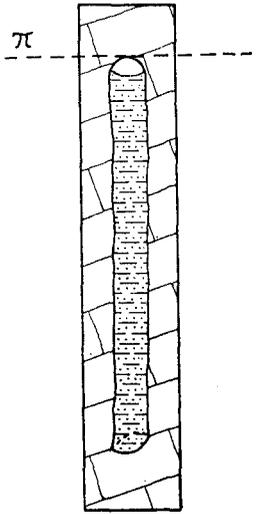
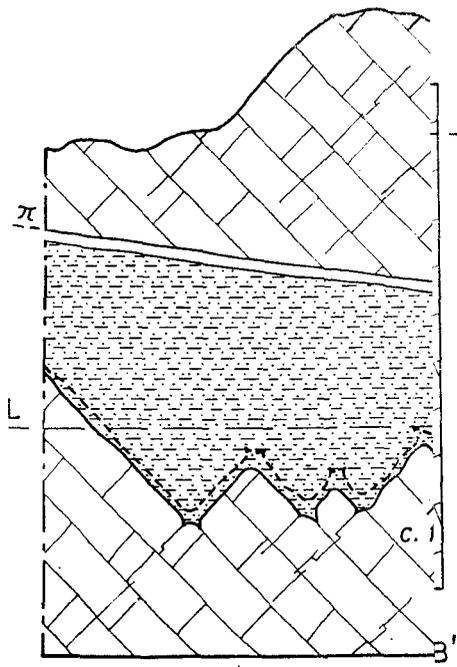
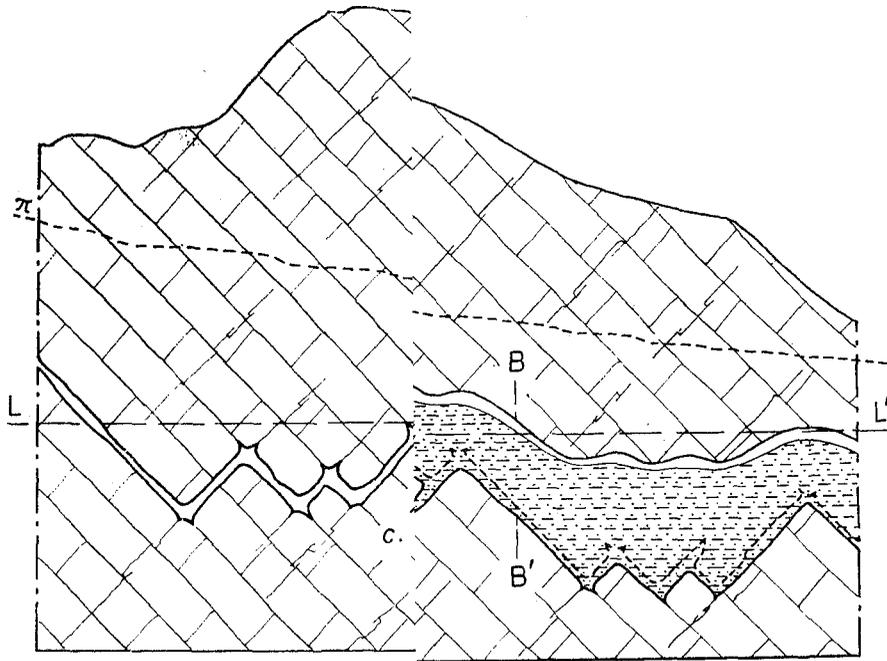
π = traccia della superficie piezometrica

LL' = livello di base locale

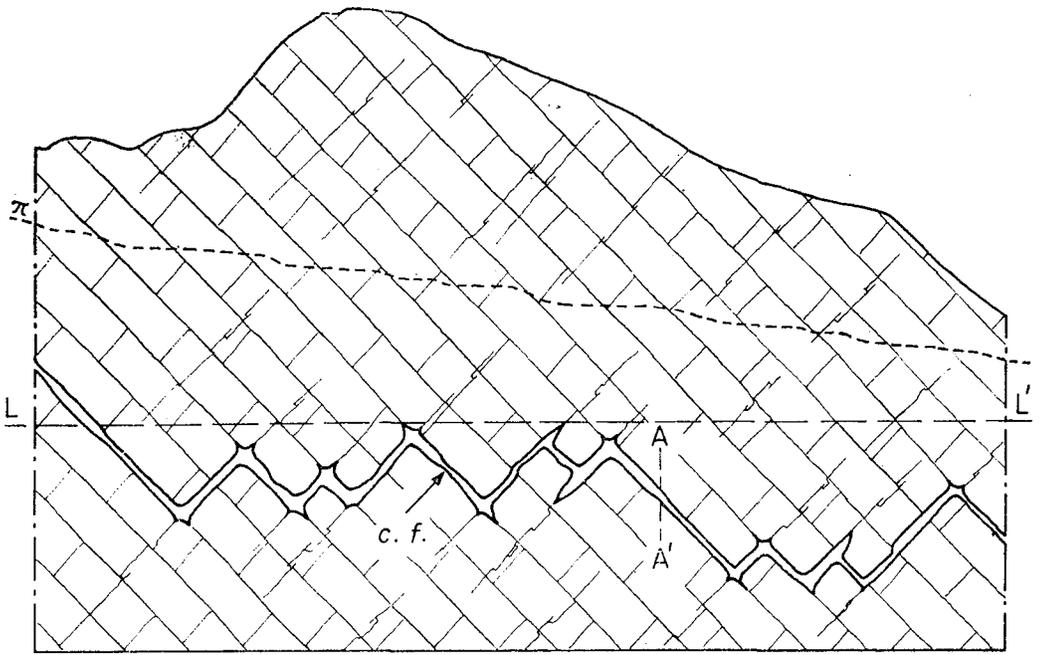
c.f. = primitivo sistema di tubi freatici

c.a. = sistema di pseudo-tubi freatici

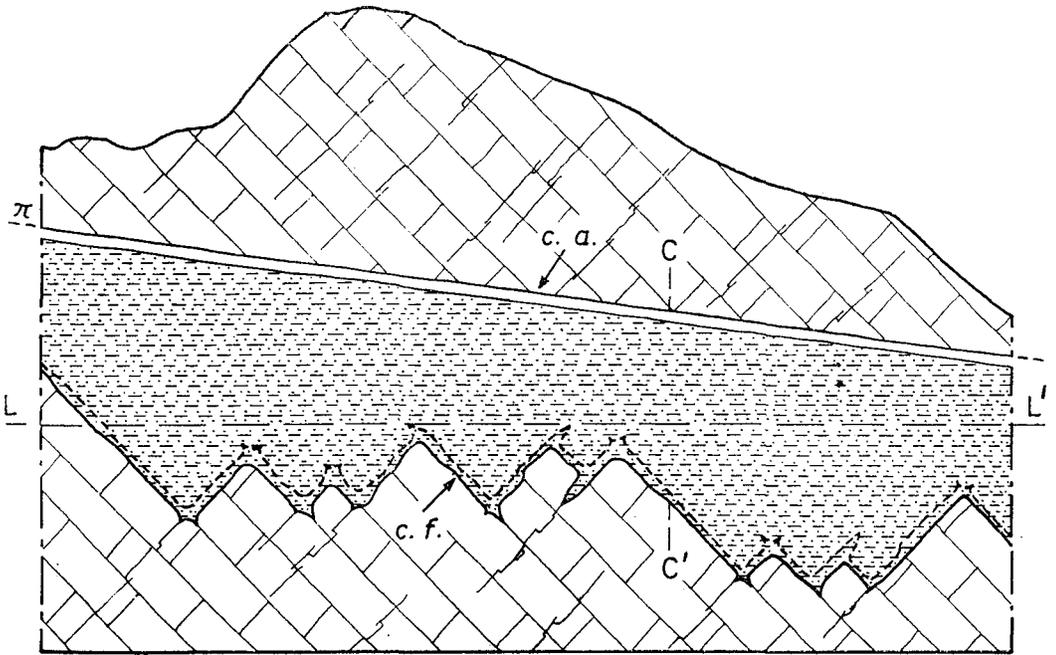
N.B. - Le sezioni trasversali AA', BB', CC' sono rappresentate in scala doppia rispetto alle Figg. a), b), c).



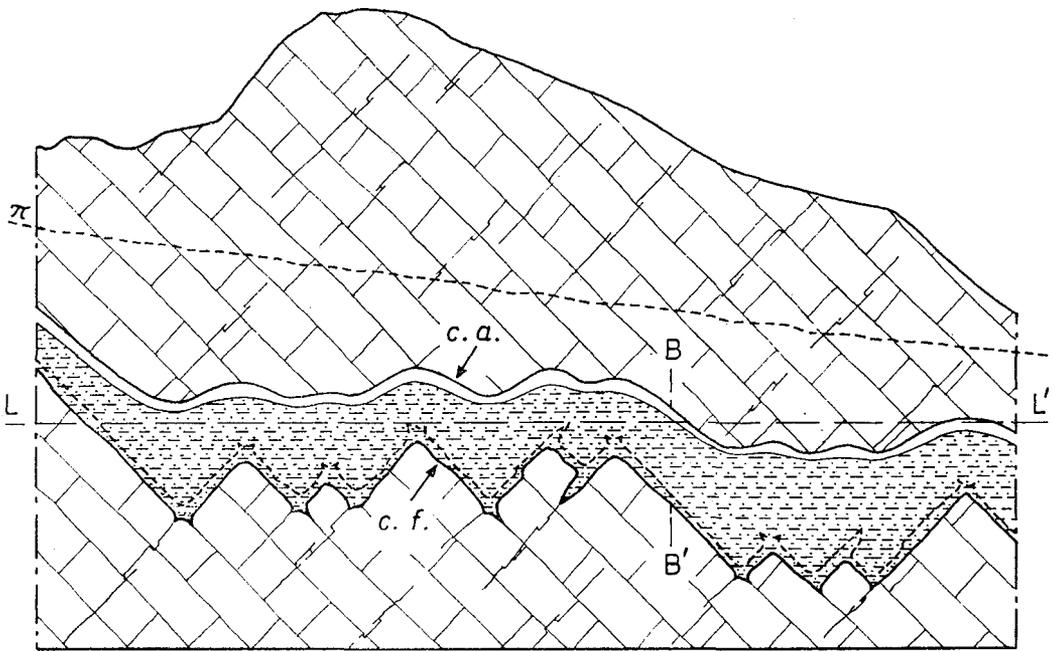
Sez. C C'



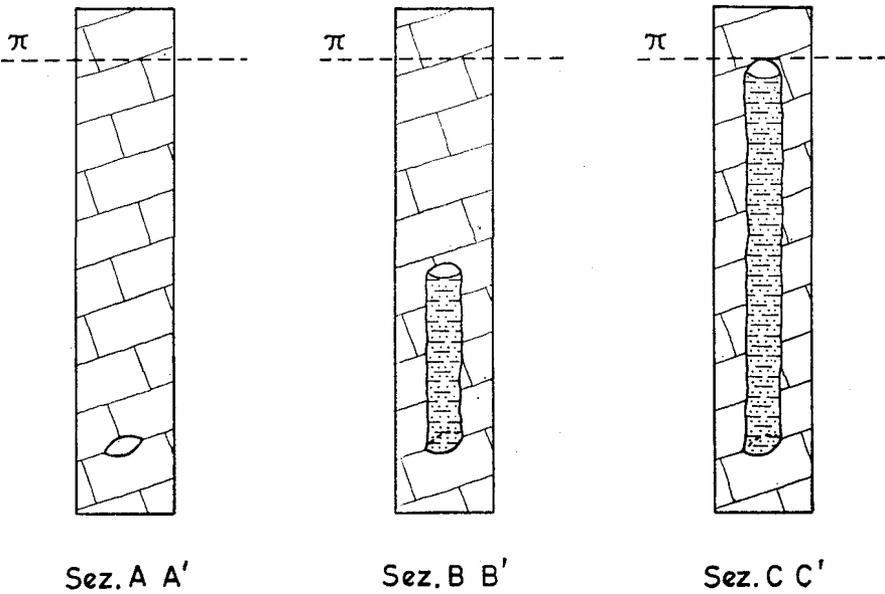
a)



c)



b)



DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

G. PASINI

CIGNA. Ringrazio il Dr. PASINI per la sua interessante comunicazione e apro la discussione.

PERNA. Il Dr. PASINI ci ha dato esempi di erosione antigraavitativa nei gessi e in altre rocce carsogene. Durante la sua esposizione mi è venuto in mente un altro esempio molto bello di questo fenomeno: la Grotta del Calgeron, in Valsugana. Questa grotta ha un andamento prevalentemente suborizzontale, concordante con la stratificazione della dolomia principale; a un certo punto però la grotta assume improvvisamente una pendenza di 45°. Il fondo di questa grotta, che termina con un lago, è costituito stranamente tutto da ciottoli di taglia uniforme (diametro medio 3-4 cm). La circolazione idrica nella Grotta del Calgeron è molto complicata: normalmente c'è un torrente sotterraneo che scorre verso la pianura veneta, ma durante le piene l'acqua sale dal basso e il senso di scorrimento si inverte. Ciò spiega la deposizione di ghiaie di taglia uniforme lungo tutta la grotta.

MAIFREDI. Vorrei illustrare il caso di una grotta ligure che, pur presentando le caratteristiche elencate dal Dr. PASINI per lo sviluppo dell'erosione antigraavitativa, si evolve in realtà in modo del tutto diverso. Si tratta di una grotta con tratti ascendenti e discendenti, molto simile al « primitivo sistema di tubi freatici » illustrato da PASINI (cfr. Tav. V, a), in cui si verificano ogni anno due o tre piene. Durante queste piene le parti della grotta con sezione longitudinale a V si trasformano in « sifoni », che si prosciugano poi lentamente per infiltrazione dell'acqua nelle litoclasti. Ognuno di questi sifoni funziona praticamente da levigatore, determinando l'accumulo sul fondo di ghiaie a granulometria molto costante, con ciottoli del diametro medio di 4-5 mm; esse sono costituite da elementi insolubili, per lo più quarzificati, provenienti dall'esterno; nella parte inferiore dei sifoni le ghiaie raggiungono la volta, occludendo completamente il condotto, per cui l'acqua può circolare solo filtrando attraverso le ghiaie.

Al termine di ogni piena le ghiaie appaiono perfettamente lavate, senza tracce d'argilla; tutt'al più si può osservare uno straterello di argilla dello spessore di 1-2 cm sopra le ghiaie. Questo straterello di argilla si deposita anche nelle parti alte dei condotti, cioè nei tratti con sezione longitudinale a V rovesciata. Ora, durante la piena successiva, la corrente asporta lo straterello argilloso ricoprente le ghiaie e fa muovere i ciottoli che, pur restando intrappolati nei « sifoni », esercitano una certa erosione meccanica sul fondo, cioè verso il basso. Viceversa lo straterello argilloso depositatosi nelle parti alte dei condotti non viene rimosso, protegge il fondo dei condotti stessi e dà luogo al fenomeno dell'erosione antigraavitativa. Pertanto questa grotta non tende ad assumere, evolvendosi, un profilo suborizzontale, ma tende anzi ad accentuare le sue ondulazioni.

BERTOLANI. Voglio dire anzitutto che concordo con l'amico PASINI sia sul processo da lui illustrato che sul nome proposto per tale processo: erosione anti-gravitativa. Dovrei però fare una domanda e alcune osservazioni.

Anzitutto vorrei chiedere a PASINI se lo schema mostrante l'evoluzione di un primitivo sistema di tubi freatici per erosione anti-gravitativa da lui disegnato (cfr. Tav. V) è un caso ideale o reale. Comunque esistono grotte di questo tipo, come ad esempio la Grotta Michele Gortani (Appennino emiliano, presso Zola Predosa), in cui l'acqua scorre effettivamente lungo un piano quasi perfetto.

Anch'io ritenevo, come PASINI, che il riempimento delle grotte fosse un fenomeno pressoché continuo, che ci fosse cioè un riempimento unico dalla base fino alla sommità, ma poi mi sono dovuto ricredere. Oggi penso che il materiale di riempimento di una grotta si sia accumulato in tempi successivi, secondo un fenomeno ritmico. Osservando la stratigrafia di questi sedimenti notiamo infatti che, sia nei livelli più bassi che nei livelli più alti delle grotte, alla base vi sono ghiaie e più in alto argille alternate con strati a diversa granulometria. Inoltre, nel riempimento dei livelli inferiori della Grotta di Gaibola (Appennino bolognese) noi troviamo degli embrici romani; nella parte superiore della grotta invece vediamo che erano stati deposti dei vasi in epoca preistorica, quando già il riempimento era stato asportato. Quindi penso che il riempimento non avvenga in una sola fase, ma in più fasi distanziate nel tempo.

Perché si formino questi riempimenti non so se sia necessario creare tante condizioni. Basta infatti un innalzamento del livello di base legato a particolari periodi climatici perché si verifichino tali fenomeni. Naturalmente ci possono essere anche cause accidentali: cito ad esempio la Risorgente dei Ronchi, nell'Appennino reggiano: molto tempo fa, quando andai a rilevarla, la volta della grotta era molto alta e l'acqua scorreva a un livello poco superiore a quello del Rio Lavezza; quindici anni dopo, tornando in questa grotta, ho notato che il suo pavimento si trovava 14-15 metri più in alto, a causa di una frana. Data però la generalità del fenomeno, cioè la grande frequenza dei riempimenti, non si può certamente pensare che la loro origine sia legata a tante frane. Secondo me questi riempimenti sono dovuti a variazioni del livello di base, che in effetti devono essersi verificate ripetutamente.

BOEGLI. Il Dr. PASINI ci ha detto che in genere le correnti idriche sotterranee hanno velocità assai basse. Vorrei ricordare però che in certi tratti della Hölloch l'acqua ha una velocità di almeno 6 m/sec.

Una seconda osservazione a proposito dei sedimenti. In un tratto della Hölloch, al termine di un condotto orizzontale si incontra un condotto subverticale ascendente seguito da un condotto discendente; al termine del condotto orizzontale, cioè alla base del condotto ascendente, ho notato un ammasso di grossi ciottoli. La presenza di questi ciottoli, che dapprima mi è sembrata un po' enigmatica, si può spiegare ammettendo che l'acqua circolasse in questo tratto a grande velocità risalendo il condotto verticale: i grossi ciottoli venivano così sospinti verso l'alto ma, appena si discostavano dal filone della corrente, ricadevano sul fondo. Il ripetersi di questo fenomeno determinava un'erosione dei ciottoli che, una volta divenuti abbastanza piccoli, potevano essere trascinati dalla corrente oltre il gomito superiore e quindi lungo il condotto discendente. In tal modo alla base del condotto ascendente restavano solo i ciottoli abbastanza grossi, aventi più o meno la stessa taglia. Qualcosa di analogo accade nei tratti di grotta con sezione longitudinale a V (comunemente denominati « sifoni »), dove si trovano di regola i sedimenti più grossolani, generalmente ben selezionati, nella parte più bassa.

LAURETI. Vorrei sapere quali sono i rapporti tra l'evoluzione della superficie piezometrica e l'evoluzione di una grotta, e se, nei condotti anti-gravitativi studiati da PASINI, la sommità della volta coincide effettivamente, grosso modo, con la superficie piezometrica.

CIGNA. Una osservazione a proposito del diagramma di HJULSTRÖM che abbiamo visto poco fa. Tale diagramma riporta in ascisse la granulometria dei sedimenti,

in ordinate la velocità della corrente, ed è diviso da due curve in tre aree corrispondenti al campo dell'erosione, del trasporto e della sedimentazione. In effetti in ordinate non andrebbe messa la velocità pura, ma una funzione molto complessa che dipende dalla velocità, dallo spessore dello strato d'acqua che scorre e — se non erro — anche dal numero di REYNOLDS. In pratica il diagramma può essere valido solo per un canale tipo, con un determinato spessore dello strato d'acqua; quindi ciò che conta in questo diagramma è il rapporto tra i valori, più che i valori in senso assoluto. Questi ultimi infatti, mutando le condizioni, possono cambiare anche notevolmente.

PASINI. Ringrazio anzitutto il Prof. PERNA per le notizie sulla Grotta del Calgeron e anche l'amico PASQUINI che mi ha illustrato privatamente degli esempi di erosione antigravitativa da lui riscontrati in Spagna.

Il caso della grotta ligure descritta dal Dr. MAIFREDI è molto interessante e, a mio avviso, piuttosto singolare. Questo caso differisce sostanzialmente da quelli da me studiati per il fatto che in questi ultimi l'acqua doveva circolare tra il riempimento (pochissimo permeabile) e la volta, mentre qua l'acqua, nei tratti più bassi, circola passando attraverso il materiale di riempimento. Comunque si tratta, in definitiva, di una grotta in cui si alternano tratti che si sviluppano verso l'alto per erosione antigravitativa a tratti che si sviluppano normalmente verso il basso. In queste condizioni evidentemente non è affatto strano che l'evoluzione della grotta tenda ad accentuarne le ondulazioni in senso verticale; il processo di graduale attenuazione di queste ondulazioni, che tende a far coincidere la parte praticabile di una grotta (cioè quella libera da detriti) con un piano poco inclinato (superficie piezometrica), si verifica solo dove tutta la grotta — o almeno un suo tratto sufficientemente lungo — si sviluppi per erosione antigravitativa.

Rispondo alla domanda del prof. BERTOLANI precisando che lo schema che ho utilizzato per mostrare l'evoluzione di un sistema di tubi freatici per erosione antigravitativa è ideale. Sono senz'altro d'accordo col Prof. BERTOLANI sul fatto che il riempimento delle grotte si verifichi spesso per fasi successive: nello schema sopra citato ho supposto un riempimento continuo solo per semplicità. Evidentemente ogni fase di riempimento può favorire il processo dell'erosione antigravitativa.

Il Prof. BERTOLANI ha detto poi che non è necessario imporre tante condizioni per spiegare i riempimenti delle grotte, e quindi anche lo sviluppo dell'erosione antigravitativa, essendo sufficiente un semplice innalzamento del livello di base per giustificarli. Non mi sembra esatto affermare che io ho imposto « tante condizioni »; ho cercato anzi di mostrare — nello schema esemplificativo (cfr. Tav. V) — come si possa spiegare il riempimento di una grotta (e quindi la sua evoluzione antigravitativa) per semplice sovralluvionamento, anche senza invocare variazioni del livello di base o altri eventi particolari. Naturalmente, accanto a questo esempio, ho anche citato casi in cui il processo è favorito, o reso possibile, da particolari fenomeni (frane, smottamenti, ecc.). Per quanto riguarda l'innalzamento del livello di base, è chiaro che esso può favorire, accelerare il processo di riempimento e di erosione antigravitativa, dal momento che determina un incremento della sedimentazione.

Il Prof. BOGLI ha citato casi in cui le correnti sotterranee raggiungono velocità molto elevate, superiori a 6 m/sec. Evidentemente in queste condizioni potrà ben difficilmente svilupparsi il processo di erosione antigravitativa, poiché acque così veloci sono in grado di erodere in pratica qualunque tipo di riempimento clastico. La velocità delle correnti sotterranee è indubbiamente un fattore molto importante per lo sviluppo di questo processo.

La seconda osservazione fatta dal Prof. BOGLI conferma ciò che ho detto a proposito della sedimentazione nei tratti con sezione longitudinale a V (impropriamente chiamati sifoni), che funzionano come trappole per i clasti più grossolani.

Il Dr. LAURETI ha posto due domande: la prima riguarda i rapporti esistenti tra l'evoluzione della superficie piezometrica e quella della grotta. Riprendendo il nostro esempio (v. par. II), supponiamo che il lago alimentatore non modi-

fichi il suo livello ma che, per qualche motivo, si abbassi il livello di base del sistema di condotti drenanti; la superficie piezometrica assumerà un'inclinazione maggiore e si avrà un ringiovanimento dell'idrografia sotterranea. Il processo di erosione antigravitativa verrà interrotto dalla ripresa dell'erosione normale, che asporterà i sedimenti accumulati e, in qualche caso, potrà arrivare anche ad incidere il fondo dei primitivi tubi freatici. Viceversa un innalzamento del livello di base del sistema di condotti drenanti farà diminuire l'inclinazione della superficie piezometrica, provocherà un insenilimento della idrografia sotterranea e favorirà, come dicevo prima, il sovralluvionamento e l'erosione antigravitativa. Naturalmente in questo caso la grotta, evolvendosi verso l'alto, tenderà a raggiungere la nuova superficie piezometrica, meno inclinata della primitiva. Si potrebbero citare altri casi, ma credo che questi possano bastare.

Il Dr. LAURETI mi ha anche chiesto se, nei condotti antigravitativi da me studiati, la sommità della volta coincide effettivamente con la superficie piezometrica. Per poter verificare direttamente tale coincidenza è necessario: 1) che la grotta sia giunta al termine della sua evoluzione antigravitativa, 2) che la superficie piezometrica non si sia spostata. Ora, dal momento che le grotte da me prese in esame erano ormai pressoché abbandonate dall'acqua, cioè la superficie piezometrica si era abbassata, non ho mai potuto effettuare direttamente questa verifica. In qualche caso però ho trovato, come ho detto, una prova indiretta abbastanza convincente a questo proposito: mi riferisco all'esistenza di lunghi condotti erosivi a fondo detritico, scavati in rocce pressoché impermeabili per porosità s.s., la cui poligonale appartiene praticamente a un unico piano suborizzontale che però non è parallelo ai piani di stratificazione o di fratturazione, ma li taglia secondo angoli casuali. Condotti di questo genere dovrebbero essere sicuramente dei veri *pseudo-tubi freatici* in cui il processo di erosione antigravitativa ha potuto esplicarsi interamente, fino a quando la volta dei condotti stessi non ha raggiunto la superficie piezometrica.

Sono d'accordo con l'amico CIGNA sul valore relativo del diagramma di HJULSTRÖM, poiché esso non tiene conto di molti fattori, come il peso specifico e la forma dei granuli, la densità, la turbolenza e il carico della corrente, ecc.. Per quanto riguarda lo spessore dello strato d'acqua, HJULSTRÖM dice semplicemente che il grafico è valido per correnti di profondità non inferiori ad un metro.

CIGNA. Ringrazio nuovamente l'amico PASINI, e invito il Dr. PASQUINI a presentare la sua comunicazione sugli effetti delle acque di percolazione e di condensazione.

GIORGIO PASQUINI (*)

CONSIDERAZIONI SULLA PERCOLAZIONE E SULLA CONDENSAZIONE

RIASSUNTO - Dopo aver classificato i vari tipi di percolazione, viene criticato il concetto di una percolazione diffusa in tutto il massiccio calcareo, e la stessa densità della rete leptoclasica adatta a tale tipo di circolazione idrica. Si spiega quindi l'ampliamento dei vuoti per erosione inversa attraverso l'azione prevalente della condensazione dell'umidità atmosferica carica di CO₂, riducendo il ruolo della percolazione al ripascimento di umidità dell'aria circolante in grotta.

SUMMARY - The different types of percolation are classified and the concept of diffuse percolation through the limestone massif is challenged together with the concept of the dense leptoclastic network indispensable for this type of water circulation. The growth in dimension of cavities attributed to inverse erosion is due mainly to the condensation of atmospheric damp loaded with CO₂, and thus the role of percolation is to increase the humidity of the air circulating within the cave.

Possiamo tracciare una completa teoria del carsismo, senza introdurre il concetto di condensazione e senza parlare dell'atmosfera delle grotte: ciò in sostanza, è quanto fa il MAUCCI (1952, 1961), indicando nella percolazione, se non il solo, il principale fattore di corrosione all'interno dei massicci rocciosi.

Il fatto che non possiamo trattare le cavità con la loro atmosfera senza ricorrere almeno inizialmente a una qualche circolazione d'acqua e quindi alla percolazione, ci deve pertanto far riconoscere che la condensazione è un fattore secondario (cronologicamente) rispetto alla percolazione.

(*) School of Geography, University of Oxford. Società Speleologica Italiana.

L'accettare la percolazione quale mezzo della speleogenesi non può, per ipotesi, che estendere il campo di questo tipo particolare di scorrimento idrico a tutta la massa rocciosa che, nel quadro mauciano, è diffusamente fratturata, e ciò è indubitabile, in un fitto reticolo di leptoclasti ove scorrono le acque, e questo appare meno sicuro: è la circolazione leptoclastica anarchica della zona sommitale dei massicci, che fornisce l'acqua ai fusi embrionali, e, via via, alle pareti dei fusi più grandi e coalescenti, alle volte delle gallerie, a tutte le cavità soprastanti la superficie di permanente impregnazione del massiccio, cioè a tutte le forme vadose. In tale quadro ogni parete di cavità interseca un elevato numero di leptoclasti drenanti, le cui acque bagnano tutta la superficie rocciosa che viene ad essere attaccata sia sul fronte esterno sia lungo il reticolato più o meno ortogonale delle leptoclasti, e quindi sgretolata in blocchi a poco a poco distaccati e frananti per gravità secondo i noti processi.

Precisiamo: la percolazione inizia in quelle leptoclasti che lasciano passare una pur minima quantità di acqua; prima di ciò, ovviamente, la leptoclasti è soltanto virtuale. È opportuno, ora, introdurre alcune definizioni: finché l'acqua circola entro le leptoclasti o entro qualsiasi meato occupandone completamente la sezione abbiamo ciò che possiamo chiamare « percolazione canalizzata »; dal momento che il flusso o per sua diminuzione o per allargamento del condotto non occupa tutta la sezione e scorre quindi sulle pareti interne delle leptoclasti (o microclasi, o diaclasi) veniamo ad avere « percolazione convogliata »; quando l'acqua fuoriesce dalle fessure e si espande lungo tutta una superficie, riguardo a tale superficie parliamo di « percolazione parietale »; come la forma della parete provoca il distacco dei filetti idrici che vengono a cadere nell'atmosfera della grotta abbiamo la « percolazione libera » o stillicidio.

Così le acque attraversano il massiccio dalle aree di assorbimento fino al livello piezometrico; ma ciò avviene lungo leptoclasti, microclasi e vere e proprie diaclasi, molto più disperse nella roccia di quanto si sarebbe costretti a presumere dovessero essere, se tutta l'acqua che bagna le pareti di una cavità fosse dovuta a percolazione.

Le acque vadose identificano un reticolo ben gerarchizzato fin dalle superfici di assorbimento, condizionato dalle ondulazioni della coltre detritica o dalle creste dei karren; il drenaggio avviene in punti precisi, ove hanno inizio fessure che scendono abbastanza in profondità per condurre almeno a un interstrato lungo cui smaltire le acque in successive più basse fessure impostate su piani diversi; tra un punto di assorbimento e l'altro le acque superficiali scorrono sulla superficie rocciosa, senza in alcun mo-

do penetrare in essa. Infatti i blocchi non fratturati risultano sensibilmente impermeabili, tanto da averne consentito l'impiego, ad esempio, per la costruzione di vasche per abbeveratoi, usi agricoli, ecc.

In superficie vi è la massima dispersione planimetrica delle acque, che, via via che scendono, tendono a convergere in tracciati preferenziali che lasciano sempre più estese porzioni di massiccio completamente prive di percolazione. Potremo avere l'estendersi suborizzontale di una fitta rete di condotti là dove essi appoggiano su un livello di minor fratturazione e permeabilità, quando questo basamento roccioso non permette percolazione.

Il calcare quindi è in prevalenza massiccio, impermeabile, e i fusi embrionali e le aree a minuta fessurazione che si scoprono nei fronti di scavo sono rari e spazati da zone prive di qualsivoglia percolazione.

Pensiamoci bene: se ci fosse, è mai possibile che non sia osservabile in natura una porzione di calcare tutta diffusamente percolante da un fitto reticolo di leptoclasti?

Non sarà questo reticolo leptoclastico, e la conseguente circolazione leptoclastica anarchica, un « costruito mentale » (BRIDGMAN 1927)?

Questo tipo di circolazione sembra essere cioè un postulato della teoria dell'erosione inversa più che un dato di osservazione, e un postulato, come vedremo, non necessario.

Si tratta di un costruito mentale, logicamente, perchè è ciò che si pensa sia l'interno di un corpo solido opaco quale un massiccio calcareo, interno di cui non fanno parte le cavità percorribili e osservabili. Ad un più approfondito esame, tuttavia, tale costruito risulta non necessario poichè, una volta che si abbia una certa quantità di acqua in un vacuo della roccia, percolante da una o più ben individuabili microclasi (e usiamo questo termine per indicare comunque un fenomeno meno « nascosto » di una leptoclasti), tale acqua viene a equilibrare l'umidità dell'atmosfera del vacuo, che quindi si condensa sulle pareti provocando il fenomeno erosivo.

Il processo è noto: se l'atmosfera non è inizialmente satura le acque percolanti evaporeranno fino a saturarla, e sappiamo che gli ambienti ipogei con presenza di acque hanno valori di umidità relativa vicini al 100%. Tale atmosfera potrà far condensare l'umidità sulle pareti dell'ambiente o per variazioni di temperatura o per variazioni di pressione, ed è inutile qui approfondire l'argomento. Quello che è importante per noi, è che l'umidità che si condensa è in equilibrio con l'anidride carbonica presente nell'atmosfera, e pertanto aggredisce la superficie rocciosa con azione veramente diffusa, indipendente dalla gravità e quindi da giusti-

ficare pienamente l'aggettivo « inverso » che compete all'erosione carsica nella zona di percolazione di un massiccio calcareo.

Possiamo ben ritenere che, costatato l'apporto idrico della percolazione canalizzata e convogliata, l'erosione inversa sia prevalentemente provocata dalla condensazione di umidità aggressiva, e il ruolo corrosivo della percolazione parietale e dello stillicidio sia trascurabile rispetto a quello di saturare con vapor d'acqua l'atmosfera della grotta. Tale atmosfera potrà a sua volta essere più o meno ricca di anidride carbonica in relazione ai processi che sviluppano tale gas e alla sua circolazione.

Inoltre ci sembra che il riconoscimento dell'aggressività delle acque di condensazione, peraltro testimoniato dai risultati delle analisi, laddove le acque della percolazione parietale e libera risultano pressochè neutre, risolva il problema del ripascimento di anidride carbonica, problema che la teoria del BOGLI (1964) affronta per ciò che riguarda più propriamente la percolazione canalizzata e le acque circolanti comunque in condotti. Nei vuoti non totalmente occupati dalle acque, ripetiamo, l'anidride carbonica per il processo carsico è data dall'atmosfera.

Concludendo, ci sembra che non vada sottovalutato il ruolo della condensazione nel meccanismo speleogenetico: essa dà un importante contributo al bilancio idrico delle cavità, se non dal punto di vista della portata, certamente da quello dell'aggressività.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BRIDGMAN P. W., 1927 - *The logic of modern physics*. XI-228 pp., Macmillan, New York.
- BOGLI A., 1964 - *Mischungskorrosion: ein Beitrag zum Verkarstungsproblem*. Erdkunde, 18, 2, pp. 83-92, Bonn.
- MAUCCI W., 1952 - *L'ipotesi dell'erosione inversa come contributo allo studio della speleogenesi*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., 46, 60 pp., Trieste.
- MAUCCI W., 1961 - *La speleogenesi nel carso triestino*. Le Grotte d'Italia, (3), 3, pp. 25-42, Castellana Grotte (Bari).

DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

G. PASQUINI

CIGNA. Ringrazio il Dr. PASQUINI e apro la discussione.

MAUCCI. Due osservazioni. Una per quanto riguarda la percolazione: la distinzione fatta da PASQUINI sui vari aspetti di questa percolazione è effettivamente molto centrata e chiarisce vari punti. Direi che il ruolo giocato dalle leptoclasti (nel senso stretto della parola) in effetti sia in ogni caso molto modesto, se non trascurabile, nell'ambito di una vera e propria percolazione. Data la ristrettezza delle fenditure e i fenomeni di capillarità, il movimento dell'acqua lungo le leptoclasti è molto lento ed ha difficilmente una efficacia speleogenetica. Il ruolo delle leptoclasti lo vedrei piuttosto importante quale regolatore di regime, in quanto esse rappresentano una trattenuta d'acqua che consente alla vera e propria percolazione, quella in microclasi e in diaclasi, di avere un regime costante anche quando il regime pluviale viene ad essere in superficie più variabile. Molto spesso, quando abbiamo dei calcari carsificabili in senso stretto attraversati da una vera e propria rete di diaclasi, sopra i quali ci sia un cappello di calcari a elevata fratturazione minuta, di tipo leptoclastico — come nel caso particolare della Spluga della Preta — è in profondità che noi troviamo gli incarsimenti maggiori, i fusoidi a notevole estensione verticale, in ragione della costanza di regime data dalle acque trattenute dal reticolo leptoclastico delle rocce di copertura.

L'altra osservazione si riferisce al ruolo della condensazione, e ne avevo già accennato in un precedente lavoro. I fenomeni di condensazione richiedono non solo variazioni di temperatura e di pressione, ma anche una certa circolazione d'aria. Ora, il ricambio dell'aria attraverso una rete di fenditure mi sembra un po' difficile da ammettere, tranne in qualche caso particolare. Voglio invece citare a questo proposito il caso tipico di una grotta piuttosto conosciuta dagli speleologi: l'Abisso di Trebiciano. Noi qui troviamo un fatto notevole, cioè che mentre le grotte della zona circostante — e si può dire di quasi tutto il Carso triestino — presentano un aspetto tipicamente insenilito (in quanto attualmente la litogenesi prevale largamente sulla speleogenesi vera e propria), l'Abisso di Trebiciano presenta invece un aspetto giovanile, con attività corrosiva ed erosiva ancora notevole; e questo non solo nel cavernone terminale, ove ciò è ovvio per l'esistenza del fiume, ma anche lungo i suoi trecento metri di pozzi.

Penso di poter interpretare questa singolarità proprio col ruolo della condensazione, tenendo presente che le piene del fiume determinano variazioni di livello delle acque sotterranee di oltre cento metri. La grotta funziona quindi come un vero e proprio stantuffo che al decrescere di queste piene aspira una grande quantità di aria, la quale evidentemente finirà col raffreddarsi nell'interno determinando una notevole condensazione. Alcuni dati sperimentali confermano che effettivamente questa grotta è sede di una condensazione molto intensa.

L'importanza delle acque di condensazione, come giustamente osserva l'amico

PASQUINI, non consiste tanto nell'incremento della portata dei corsi sotterranei, quanto piuttosto nell'incremento dell'aggressività e nel mantenere attiva la corrosione anche in grotte che si trovano in fase di senilità avanzata.

ANELLI. A sostegno della tesi del nostro amico PASQUINI vorrei citare un fenomeno osservabile alle Grotte di Castellana, e più esattamente nel corridoio che collega il pozzo iniziale col secondo cavernone. Qui la roccia delle pareti e delle volte è corrosa e parzialmente ricoperta da «latte di monte»; anche le concrezioni calcitiche sono in gran parte corrose. Le tracce di corrosione mancano solo in prossimità del pavimento del corridoio, fino all'altezza di circa 80 cm. A mio avviso questa corrosione iniziò col crollo del diaframma superficiale che diede origine al pozzo iniziale, attraverso il quale si verifica una circolazione di aria tra la grotta e l'esterno. D'inverno entra in grotta aria fredda e pesante, che ristagna nelle parti più basse senza causare apprezzabili fenomeni di corrosione; contemporaneamente esce dalla grotta aria più calda e quasi satura di umidità (97%). Quest'aria si raffredda lungo il tragitto verso l'esterno, per cui il vapor d'acqua condensa e scioglie anidride carbonica: si forma così una rugiada corrosiva che attacca il calcare e le concrezioni. Gli effetti di questa azione corrosiva sono particolarmente evidenti nel corridoio che ho citato: qui d'inverno si ha una corrente di aria fredda diretta verso l'interno della grotta che occupa la parte più bassa del corridoio, dove mancano tracce di corrosione; al di sopra si ha una corrente di aria calda diretta in senso opposto che, raffreddandosi, dà origine a condensazione e corrosione. Da misurazioni fatte alcuni anni fa è risultato che la concentrazione della CO₂ nella grotta è, se non erro, dell'1 - 1,5%, e raggiunge nelle parti interne il 2,4%, per cui si è ritenuto opportuno installare un ventilatore che immetta aria dall'esterno.

Qualche volta, nei giorni in cui cambia il tempo e si abbassa la pressione atmosferica, ho notato che le pareti della grotta appaiono in certi tratti più umide; evidentemente si ha una mescolanza di aria, per cui l'aria più calda si raffredda e il vapor d'acqua condensa con gli effetti sopra ricordati.

MAIFREDI. Mentre sono d'accordo che la condensazione possa avere un'importanza notevole nei vuoti già di una certa dimensione, cioè escluse le leptoclasti, non credo che sia trascurabile l'esistenza di queste leptoclasti per l'alimentazione delle sorgenti carsiche. Da studi della scuola di Montpellier risulta che enormi volumi d'acqua di alimentazione, dell'ordine di centinaia o migliaia di m³, possono venire immagazzinati nelle leptoclasti (intendo per leptoclasti fessure non allargate dall'azione corrosiva delle acque, molto piccole, dovute esclusivamente ad azioni tettoniche).

Che questi volumi siano enormi è dimostrato anche dai pozzi soffianti che gli Autori francesi hanno studiato. In una zona di calcari a basamento impermeabile e ricoperti da una estesa coltre di terra rossa, i pozzi scavati per trovare acqua buttano una notevolissima quantità di aria a ogni variazione di pressione atmosferica. Un calcolo manometrico di queste variazioni di pressione ha dimostrato l'esistenza di cavità per un volume di parecchie centinaia di migliaia di m³; si tratta di un volume troppo grande per potersi spiegare con la presenza di grotte, per cui va attribuito alla rete leptoclastica.

A proposito delle leptoclasti vorrei far notare inoltre che tali fessure sono talmente piccole da non permettere la circolazione dell'acqua. Perché si formi una grotta occorre che le fessure siano beanti, sia pure di poco: ciò si verifica in zone caratterizzate da una tettonica distensiva; nelle zone di compressione l'acqua non circola nelle fessure e quindi non si sviluppano fenomeni carsici sotterranei.

BOEGLI. La mescolanza di due masse d'aria di temperatura diversa e di umidità prossima al 100% dà luogo a condensazione. Questo fenomeno si può provare teoricamente. E anche se l'umidità è leggermente inferiore al 100% la condensazione avviene lo stesso. Un esempio pratico di ciò l'ho osservato spesso in grotta: dove due gallerie si incontrano ho sempre trovato una specie di *Karren* sotterraneo, evidentemente in corrispondenza di una zona di condensazione.

Ecco di nuovo il geomorfologo che vede il *Karren* e dice: « Ci dev'essere condensazione! ma come? A due o tre chilometri dall'ingresso e a qualche centinaio di metri dalla superficie? È quasi impossibile! » È che in primavera in certe zone l'acqua ha una temperatura di 2° o 3°, mentre la temperatura delle grotte può raggiungere i 5,5°; e questa differenza è già sufficiente per una modesta condensazione che, ragionando in tempi geologici, può avere conseguenze rilevanti.

PASQUINI. Una premessa: non ho voluto fare un caso assoluto e generale, ma sostenere una certa ipotesi (anche di lavoro). Non nego l'esistenza delle leptoclasti e la loro importanza come regolatrici del drenaggio.

Sono venuto sviluppando la mia tesi dalla osservazione di un carso giovane in un clima secco come quello dell'Italia centromeridionale. Mi è qui apparsa evidente la gerarchizzazione progressiva del reticolato idrico ipogeo. È vero: le leptoclasti forse ci sono dappertutto nel massiccio, ma più scendiamo e più le acque insistono in quei condotti che hanno maggiormente allargato. Verso il fondo del massiccio avremo sì un livello piezometrico, ma che collega grandi condotti ben identificati. Proprio per questo motivo nella zona vadosa devono esistere vaste aree escluse dalla circolazione idrica.

Ringrazio il Prof. ANELLI per l'esempio di Castellana, che sostiene completamente il ruolo della condensazione, come pure il fenomeno tutt'affatto peculiare di Trebiciano citato da MAUCCI e le precisazioni teoriche e sperimentali del Prof. BOGLI: contributi che m'invogliano a proseguire nelle ricerche sulla condensazione.

CIGNA. Ringrazio a mia volta i colleghi MAUCCI, ANELLI, MAIFREDI e BOGLI per gli interessanti contributi portati alla discussione, e PASQUINI per le ulteriori precisazioni.

QUINTA SEDUTA

Mattino del 7 Ottobre 1972

ALFRED BOEGLI (*)

LA CORROSIONE PER MISCELA D'ACQUE (1)

RIASSUNTO - Le cavità carsiche sono dovute soprattutto alla corrosione: come è noto dalla formula convenzionale ben conosciuta, è sempre necessaria la presenza della CO_2 . Questo tipo di dissoluzione spiega solamente l'azione corrosiva dell'acqua in circolazione libera e, con qualche riserva, in condotta forzata nella zona vadosa. Tutta la corrosione che si svolge nella zona freatica ne è esclusa, salvo qualche caso assai raro nella parte superiore della zona stessa.

La corrosione per miscela di acque a diversa concentrazione di bicarbonato interessa invece tutta la zona carsificabile, dalle parti più basse della zona freatica fino alla superficie. Le morfologie che provano l'esistenza di questo tipo di corrosione sono frequenti.

A quanto sopra esposto si può aggiungere inoltre l'azione corrosiva dovuta al raffreddamento e alla miscela di acque a temperatura differente ma, all'infuori di qualche caso eccezionale (p. es. sorgenti termali), quest'ultimo fenomeno ha un'importanza ridotta.

ABSTRACT - The karstic caves are due mainly to corrosion: as it is pointed out by the well known formula, it is always necessary the presence of CO_2 . This kind of dissolution can explain only the corrosive action of water circulating with a free air surface and, under certain circumstances, of water flowing under pressure in the vadose zone. All the corrosion acting in the phreatic zone is not explained, with the exception of some rare case in the upper part of this zone.

On the contrary, the corrosion by mixing waters containing a different amount of calcium bicarbonate concerns every karstic zone, from the deepest parts of phreatic zone to the surface. The existence of this kind of corrosion is supported by many morphological examples.

(*) Università di Zurigo.

(1) Ristampato da Atti e Memorie della Commissione Grotte « Eugenio Boegan », vol. VIII (1968), Trieste.

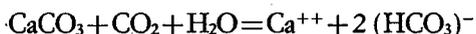
The corrosion by cooling and mixing waters at different temperatures is generally of a minor importance, but for some exceptional cases (i.e.: thermal springs).

1. IL CONCETTO ATTUALE DELLA DISSOLUZIONE DEI CARBONATI E SUE CONSEGUENZE

Il carso si distingue dagli altri tipi di paesaggio per il drenaggio sotterraneo delle acque. Nel suo stadio di maturità, il carso può assorbire tutte le acque meteoriche, mentre la falda freatica carsica sale talvolta — come ad esempio nei polie — fino alla superficie. Nel Hölloch (Svizzera Centrale), durante le piene la falda carsica sale 150 metri sopra il livello normale.

Il drenaggio sotterraneo è la conseguenza della solubilità della roccia, per cui la conoscenza approfondita dei processi di dissoluzione è indispensabile per comprendere la formazione e l'evoluzione delle gallerie sotterranee.

La dissoluzione dei carbonati non è un fenomeno fisico, ma chimico e segue la ben nota reazione:



La dissoluzione del calcare implica quindi la presenza di CO_2 , ciò che costituisce il fatto più importante della reazione. A condizione che sia raggiunto l'equilibrio nell'acqua, si presentano tre possibilità:

a) La concentrazione del CO_2 nell'acqua corrisponde al tenore di CO_2 dell'aria ed in tal caso non si ha alcuna modificazione.

b) La concentrazione del CO_2 nell'acqua non corrisponde al tenore in CO_2 dell'aria: se è troppo grande, ciò che significa un elevato tenore di CaCO_3 , si libera CO_2 con conseguenti depositi di concrezione; se vi è difetto di CO_2 , ciò che equivale ad un modesto contenuto di CaCO_3 , l'acqua assorbe il gas carbonico e discioglie carbonato fino a quando si sia stabilito l'equilibrio con l'aria.

c). L'acqua della zona freatica e delle gallerie in pressione non ha contatto con l'aria, nè atmosferica, nè sotterranea e forma quindi un sistema chimico chiuso. Nulla si modifica nel tenore in CO_2 e per conseguenza non si ha ulteriore dissoluzione di calcare. I giunti e le fessure primarie sono normalmente capillari o quanto meno strettissime e possono essere secche o completamente piene d'acqua. L'acqua non ha quindi superfici libere e perciò non ha possibilità di assorbire della CO_2 per diffusione e non può esercitare alcuna azione corrosiva. Ciò è molto importante dato che la condizione preliminare per la formazione di un sistema sotterraneo è l'allargamento dei giunti primari che può avvenire soltanto per corrosione.

La fonte principale di CO_2 è l'aria dell'atmosfera e del suolo. Secondo le nostre misure l'aria delle grotte aperte non differisce in tenore di CO_2 dall'aria atmosferica. Per raggiungere l'equilibrio fra l'aria e l'acqua, purchè l'acqua sia in contatto con il calcare, sono necessarie alcune ore a temperature superiori a 20°C ed alcuni giorni, o anche qualche settimana, per temperature al di sotto di 5°C . È comunque sempre indispensabile che l'acqua abbia una superficie libera. La zona freatica è pertanto esclusa da questa corrosione che non riguarda quindi le gallerie in pressione ed i lunghi sifoni determinati da condizioni freatiche.

Quale è la provenienza della CO_2 assolutamente necessaria per la corrosione in condizioni freatiche? Una possibile provenienza potrebbe essere l'ossidazione di materie organiche trasportate dall'acqua nel sottosuolo. Per questa reazione è però indispensabile l'ossigeno ed inoltre l'ossidazione si svolge molto lentamente al di sotto dei 10°C . Nel Hölloch abbiamo trovato argille prewürmiane con tenore di materie umiche fino al 1,3%. La temperatura media attuale è di $5,5^\circ \text{C}$, vi è quindi una corrosione molto limitata ed inoltre per il trasporto delle materie organiche è necessario già un sistema di fessurazioni abbastanza ampliate mentre i giunti primari dello stadio iniziale non lo sono affatto. Non si può quindi sostenere un allargamento dei giunti a causa della CO_2 biogena formatasi nell'acqua stessa.

L'acqua può anche portare CO_2 libera dall'esterno.

Nei fiumi sotterranei la CO_2 libera penetra abbastanza lontano dalla superficie, ma agisce prevalentemente nella zona d'entrata. Nei giunti primari e nelle fessure strette la corrosione avviene soltanto nei primi centimetri, o nei primi metri in caso di maggiore larghezza. La corrosione a

seguito di acque aggressive avviene quindi nella zona d'entrata e non può dar luogo alla formazione di grandi cavità in profondità.

Da queste sommarie considerazioni risulta che l'allargamento dei giunti e delle fessure capillari non si può spiegare con gli attuali concetti sulla dissoluzione dei carbonati, e ciò a causa della mancanza della CO_2 ; così pure non si può spiegare l'allargamento delle gallerie in condotta forzata e delle gallerie nella zona freatica.

Di fronte a quelle considerazioni c'è però il fatto che nella zona freatica esistono cavità che non si spiegano nè con un abbassamento tettonico, nè con le oscillazioni eustatiche del mare. Per esempio in Florida (Stati Uniti) nella Collier County in una perforazione è stata trovata una cavità di 13 metri d'altezza, 2.033 metri sotto la falda carsica e nella Monroe Country una cavità di 6 metri a 949 metri ed una di 4 metri a 995 metri.

Possiamo quindi affermare che l'origine di molte grotte — se non della maggior parte — non si spiega con la concezione attuale della dissoluzione dei carbonati.

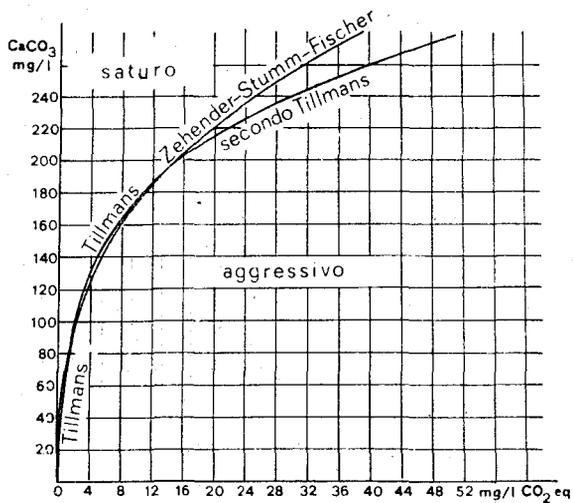
2. LA CORROSIONE PER MISCELA D'ACQUE.

Tra il bicarbonato di calcio e la CO_2 c'è un equilibrio. TILLMANS ha stabilito una tabella di valori della CO_2 in equilibrio. ZEHENDER, STUMM e FISCHER della E.A.W.A.G. (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, und Gesässerschutz) della E.T.H. di Zurigo hanno trovato valori più bassi per concentrazioni di CaCO_3 superiori a 200 mg/l ed hanno stabilito un'altra formula (tab. 1).

La curva di equilibrio per il bicarbonato di calcio (fig. 1) separa la zona di precipitazione (a sinistra) da quella dell'acqua aggressiva rispetto al calcare (a destra). Una linea retta che colleghi due punti qualsiasi della curva attraversa sempre la zona dell'acqua aggressiva con CO_2 libera; ciò significa che la miscela di due acque a concentrazioni differenti contiene sempre CO_2 libera ed è sempre in grado di corrodere i calcari e le dolomie.

TABELLA 1. CO₂ eq. secondo TILLMANS (modificato da BOEGLI) e secondo ZEHENDER, STUMM e FISCHER a 17° C in mg/l.

mg/l CaCO ₃	Tillmans CO ₂ eq.	Zehender, Stumm e Fischer CO ₂ eq.	mg/l CaCO ₃	Tillmans CO ₂ eq.	Zehender, Stumm e Fischer CO ₂ eq.
10	0	0	190	13,38	13,14
40	0,41	0,16	200	15,97	15,19
50	0,58	0,30	210	18,92	17,44
60	0,80	0,50	220	22,29	19,98
70	1,08	0,80	230	26,07	22,55
80	1,41	1,14	240	30,27	25,41
90	1,81	1,60	250	34,91	28,52
100	2,27	2,14	260	34,99	31,87
110	2,82	2,80	270	45,47	35,43
120	3,46	3,59	280	51,30	39,27
130	4,23	4,50	290	57,49	43,30
140	5,15	5,54	300	64,0	47,7
150	6,26	6,73	320	77,9	57,2
160	7,61	8,08	340	93,0	67,8
170	9,22	9,60	360	109,4	79,6
180	11,12	11,28	380	126,9	92,5
			400	145,9	106,8

Fig. 1 - Curva d'equilibrio tra il carbonato di calcio e la CO₂ secondo TILLMANS e ZEHENDER, STUMM, FISCHER.

Si può trovare per calcolo il quantitativo supplementare di CaCO_3 disciolto, ciò che è un po' complicato a causa della CO_2 in equilibrio (tab. 2).

TABELLA 2. CaCO_3 supplementare disciolto secondo i valori di TILLMANS (17° C).

Concentrazione dei componenti in CaCO_3		Proporzioni della miscela e quantità di CaCO_3 supplementare disciolto in mg/l.					Massimo	
W1 mg/l.	W2 mg/l.	9 : 1	3 : 1	1 : 1	1 : 3	1 : 9	% W2	CO_2/Ca
11,5	125,0	0,6	1,1	1,8	1,2	0,75	56 %	1,8
11,5	221,6	4,5	10,1	15,9	12,9	6,0	55 %	16,2
11,5	329,6	17,2	38,8	50,1	29,1	12,6	43 %	52,0
73,9	125,0	0,2	0,3	0,5	0,4	0,2	52 %	0,5
73,9	221,6	3,3	7,5	10,5	7,7	3,7	53 %	10,6
73,9	329,6	14,9	30,2	33,7	20,4	8,9	40 %	35,5
125,0	170,5	0,4	0,6	1,0	0,6	0,3	56 %	1,0
125,0	272,7	5,5	11,0	13,3	8,8	3,9	44 %	13,5
125,0	358,0	14,0	25,7	26,3	16,1	7,0	38 %	28,8
170,5	272,7	2,7	5,4	6,6	4,3	1,9	44 %	6,7
170,5	301,4	4,3	8,5	9,6	6,1	2,7	40 %	10,0
170,5	358,0	8,6	15,5	16,1	10,2	4,5	37 %	17,5
272,7	358,0	1,0	2,1	2,6	1,9	0,8	ca. 45 %	ca. 2,7

È più semplice cercare il risultato per via grafica. Prendiamo T sulla retta che unisce le due componenti W_1 e W_2 come risultato della miscela. Si trova direttamente il tenore in CaCO_3 e in CO_2 con una linea orizzontale con origine al punto T (fig. 2).

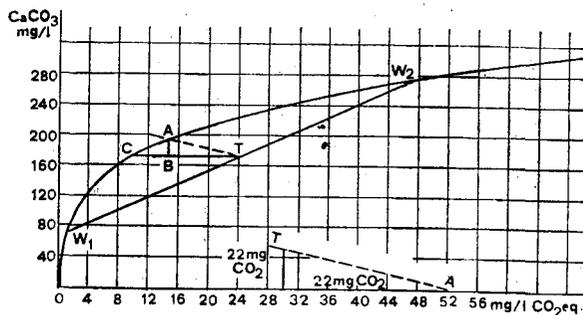


Fig. 2 - La corrosione per miscela d'acque. Le due acque W_1 e W_2 si mescolano. La linea retta W_1 - W_2 indica tutte le miscele possibili.

Il tratto a sinistra del punto C sulla curva corrisponde al valore della CO_2 in equilibrio della miscela, la distanza CT rappresenta la CO_2 libera. Il segmento BT indica la CO_2 impiegata per la dissoluzione del CaCO_3 supplementare che è rappresentato dal segmento AB.

L'inclinazione della linea TA è fissata dalle proporzioni molari: 22 mg di CO_2 corrispondono a 50 mg di CaCO_3 . CB corrisponde alla CO_2 in equilibrio supplementare.

È caratteristica dell'idrografia carsica l'indipendenza dei condotti uno dall'altro e per questo motivo la durezza varia nei diversi corsi d'acqua. Ciò costituisce la base di ogni azione corrosiva per miscela d'acque. Nel Hölloch per esempio scorrono a pochi metri di distanza due ruscelli, uno con un tenore in CaCO_3 di 80 mg/l e l'altro con 180 mg/l.

È possibile che l'acqua penetrando dalla superficie in un calcare carsificato raggiunga una notevole differenza di CaCO_3 disciolto.

Acqua proveniente da una morena può avere un tenore di 273 mg/l (W_1) e proseguendo il suo cammino in condotta forzata non modifica la concentrazione, mentre scorrendo in una galleria a pelo libero la CO_2 si libera dando luogo a concrezioni. Se il flusso d'acqua è disperso ed il tempo di scorrimento lungo, la concentrazione diminuisce fino a raggiungere l'equilibrio con l'aria e, in un caso eccezionale rilevato nel 1969, fino a 74 mg/l (W_2). Se le due acque si ricongiungono nella zona freatica si ha un'ulteriore considerevole dissoluzione. La miscela di 0,5 l di W_1 con 0,5 di W_2 provoca infatti una dissoluzione supplementare di 21,6 mg di CaCO_3 ed è così che possono originarsi grandi cavità prive di accesso.

Nel carso coperto l'acqua contiene normalmente molto carbonato di calcio, ma vi sono sempre grandi differenze di concentrazione. Se si mescolano acque ad elevato tenore in bicarbonato la miscela è ancora in grado di sciogliere ulteriore calcare. Un'acqua con 125 mg che si mescola con una a 358 mg di carbonato può sciogliere 26 mg di calcare supplementare (v. tab. 2).

A prima vista ciò può sembrare strano. Pure questo fatto è di grande importanza per lo sviluppo di un carso. Se l'acqua proviene anche da zone di carso scoperto — come avviene di frequente nelle Alpi e nei paesi mediterranei — il divario delle concentrazioni può divenire ancora maggiore. È in queste condizioni che troviamo le più vaste cavità del mondo: il Hölloch (104 Km) in Europa, la Flint Ridge Cave (120 Km) e la Mammoth Cave (77 Km) nel Kentucky (Stati Uniti).

L'importanza della corrosione per miscela d'acque non solo per l'idrografia carsica, ma anche per l'interpretazione delle cavità è molto grande.

Questo tipo di corrosione non agisce soltanto in condizione di scorrimento libero, in concomitanza con la corrosione « normale », ma anche e soprattutto nelle gallerie in condotta forzata e nella zona freatica, dove rappresenta l'unica possibile. Tutto il complesso carsificabile accessibile all'acqua può allora essere attaccato dalla corrosione, sia al di sopra che al di sotto della superficie freatica.

3. LA CORROSIONE PER RAFFREDDAMENTO

Con la formula di ZEHENDER, STUMM e FISCHER è possibile misurare l'effetto della corrosione per raffreddamento e quello della corrosione per miscela di acque a temperatura differente. L'acqua in equilibrio ad una certa temperatura, non lo è più se questa varia: quando aumenta, la CO_2 non è sufficiente a tenere il CaCO_3 in soluzione (precipitazione); quando diminuisce si ha un eccesso di CO_2 (corrosione).

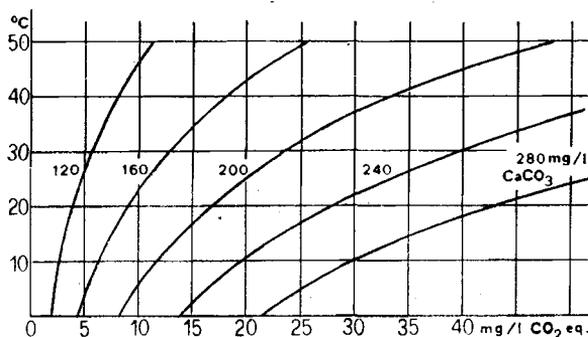


Fig. 3 - Curva delle variazioni di CO_2 eq. per differenti concentrazioni in funzione della temperatura.

La corrosione per raffreddamento si limita ad una zona abbastanza stretta in prossimità della superficie e può aver luogo soltanto in climi ad ampia escursione termica giornaliera o stagionale. Ad una profondità da 10 a 25 metri la temperatura del suolo raggiunge la media annua locale.

Più sotto la temperatura sale secondo il gradiente geotermico. È evidente quindi che questo tipo di corrosione può svilupparsi solamente durante la stagione calda.

Nello stadio di maturità del corso le proporzioni cambiano fondamentalmente: con la circolazione dell'aria e dell'acqua la roccia si raffredda e non raggiunge mai temperature maggiori della media di superficie.

D'estate, nella stagione della fusione delle nevi e delle grandi piene che fanno diminuire la temperatura, nel Hölloch si trova, nelle zone più profonde, una temperatura di 5° C indipendente dallo spessore della roccia che varia fra 300 e 900 metri. D'inverno la temperatura risale di 1° C soltanto a seguito del calore interno della terra, ma ciò non è sufficiente a ristabilire un gradiente geotermico prossimo alla normalità.

La miscela di due acque della stessa concentrazione, ma a temperatura diversa, produce un effetto corrosivo che si spiega facilmente con l'ausilio delle tabelle 3 e 4. La quantità di CaCO₃ supplementare disciolta è piccola, dell'ordine di qualche mg/l, non prendendo in considerazione le sorgenti termali.

TABELLA 3. La CO₂ eq. in funzione della temperatura.

CaCO ₃ mg/l	CO ₂ eq. in mg per litro						
	0° C	3° C	6° C	10° C	15° C	20° C	24° C
120	1,94	2,15	2,40	2,78	3,33	4,00	4,62
160	4,38	4,86	5,40	6,26	7,50	9,00	10,41
200	8,23	9,13	10,15	11,76	14,11	16,93	19,57
240	13,77	15,28	16,99	19,69	23,61	28,31	32,74
280	21,29	23,60	26,23	30,40	36,46	43,75	50,56

TABELLA 4. Carbonato di calcio supplementare disciolto per raffreddamento di (T₂-T₁) °C. (Valori approssimati)

CaCO ₃ mg/l	CaCO ₃ supplementare					
	6-0°	10-6°	15-10°	15-6°	20-15°	24-20°
120	1,0	0,9	1,2	2,1	1,5	1,4
160	2,3	1,9	2,7	4,6	3,2	3,0
200	4,2	3,5	5,0	8,5	5,9	5,5
240	6,9	5,7	8,1	13,8	9,6	8,8
280	10,3	8,5	12,0	20,7	14,3	12,9

4. LE FORME DELLA CORROSIONE PER MISCELA D'ACQUE

Le ricerche ci hanno dato la certezza dell'esistenza di forme che si spieghino soltanto con la corrosione per miscela di acque, o quanto meno

così più facilmente spiegabili che non con la corrosione « normale » che richiede una concentrazione in CaCO_3 inferiore a 60-80 mg/l. Attualmente è possibile distinguere diversi tipi di forme di riferimento.

Se due fratture con scorrimento idrico si incrociano, la linea di intersezione è il luogo dove si mescolano le acque provocando la corrosione per miscela. La CO_2 libera non reagisce che al contatto con il calcare ed è necessario un certo tempo per provocare la corrosione; è inoltre necessario un certo tempo per miscelare le acque. All'inizio della formazione di un vano, quando le fratture sono strette e la quantità di acqua mescolata è piccola, la CO_2 libera è consumata abbastanza presto dalla corrosione. Più le fratture si evolvono verso vere gallerie, più la quantità d'acqua aumenta, e con ciò il tempo indispensabile per l'utilizzazione di tutta la CO_2 libera, così la zona soggetta alla corrosione si allunga verso valle.

Lo scorrimento dell'acqua segue dapprima le fratture ed ha luogo in condizioni freatiche di condotta forzata nel senso lato del termine. L'ampliamento non avviene inizialmente che per corrosione, rimarchiamo corrosione per miscela d'acque, vista l'assenza d'aria con CO_2 nella zona freatica. Il risultato è normalmente una galleria ellittica (Tav. I). Le gallerie ellittiche possono formarsi tanto lungo i giunti di stratificazione (Tav. I), quanto lungo diaclasi; ne consegue che l'asse dell'ellisse può avere qualsiasi direzione. Le sezioni trasversali ellittiche sono nella maggior parte dei casi un segno dell'azione della corrosione per miscela d'acque, mentre forme più o meno analoghe raramente derivano dall'azione della pressione sulla roccia scavata delle gallerie. La forma ellittica richiede un contatto della volta con l'acqua corrosiva (Tav. I). In queste condizioni l'aria è esclusa e la corrosione « normale » impossibile. Una lunga galleria ellittica è quindi una forma di riferimento sia della corrosione per miscela d'acque che della condizione freatica durante la sua formazione. Le gallerie ellittiche del Hölloch mostrano dopo la congiunzione con una galleria laterale (soltanto nel caso di affluenti fossili) una zona di corrosione intensificata che si può spiegare soltanto con la corrosione per miscela di acque, zona che normalmente supera il centinaio di metri e talvolta anche i duecento metri di lunghezza. La galleria tra la « Salle du Tron » e la « Salle des Géants » (Gallerie dell'Isis, dei Titani, Innominata, Stigie, dei Giganti) è molto complessa, ma a sezione interamente ellittica su uno sviluppo di 2500 metri. Le gallerie laterali sono numerose e ad ogni confluenza le dimensioni aumentano bruscamente, diminuendo poi verso valle, talvolta fino a ricondursi a quelle originarie. Nella « Innominata » gli affluenti mancano ed il diametro non varia per 300 metri dalla zona di allargamento; nelle vi-

cinanze, nella galleria della « Schratzen », lunga 500 metri, le dimensioni si riducono di poco su tutta la lunghezza.

Le gallerie ellittiche si sviluppano sempre nei tratti dei giunti o delle diaclasi favorite idrograficamente, ma vi sono anche delle infiltrazioni di acqua meno importanti. Ad ogni sbocco, a seguito della corrosione per miscela d'acque si forma una nicchia che s'approfondisce lungo la via d'infiltrazione. Nella formazione di « gallerie a ghirlande », queste sono situate sul lato dove l'acqua sbocca nella galleria principale. A volte le « ghirlande » sono molto piccole, non superando i 10 o 20 centimetri di profondità, a volte sono invece grandi ed accessibili e quando le anastomosi sono frequenti tendono a formare colonne ed anche labirinti.

Dove due affluenti si uniscono in condizioni freatiche la corrosione di acque crea una cavità. È una galleria che si forma unicamente nell'interno della massa calcarea, senza accesso a monte; la formazione di grandi cavità, il cui accesso attraverso gli affluenti è molto difficoltoso, se non impossibile, si spiega nel medesimo modo. A prima vista appare estremamente enigmatico come abbia potuto formarsi un vuoto di tali dimensioni partendo da modesti affluenti: nella zona freatica ciò non è che una questione di tempo per la corrosione per miscela d'acque.

Le gallerie a « cul-de-sac » rassomigliano molto a questo ultimo tipo. Non sono molto frequenti e si trovano lungo giunti di stratificazione dove terminano a monte con un'abside incisa nel calcare. L'acqua entra da piccoli canali, che a volte non superano il centimetro di altezza. Le acque si mescolano nell'abside e la miscela inizia a corrodere; continuando il suo corso la CO₂ libera diminuisce via via. È tipico il fatto che la corrosione asporti la roccia simmetricamente ai due lati del piano di stratificazione (Tav. I). Bisogna ammettere che i filoni d'acqua scorressero paralleli fino alla confluenza e che questa si sia spostata a monte fino alla posizione attuale.

Talvolta un corso d'acqua laterale provoca un « cul-de-sac » abbastanza corto, ma allora possiamo considerarlo semplicemente una nicchia più profonda, forma che si trova nelle gallerie a ghirlanda, e cioè una specie di marmitta di corrosione.

Le marmitte di corrosione sono forme relativamente piccole, ma dimostrano meglio l'azione della corrosione per miscela d'acque (Tav. II e III). Le marmitte di corrosione si trovano soprattutto sulla volta e sulle pareti, tanto lungo le fratture quanto lungo i piani di stratificazione. Quando una fessura incrocia una galleria sommersa apportandovi dell'acqua, la miscela d'acque è inevitabile.

Normalmente l'acqua della fessura contiene più bicarbonato di quella delle gallerie come per esempio nel Hölloch, dove una diaclasi nella « Galleria delle Concrezioni » (parte inferiore del Hölloch, presso l'entrata) fornisce acqua con un tenore di 180 mg/l, mentre l'acqua delle piene ha un tenore oscillante fra 70 e 80 mg/l. L'acqua delle fessure, avendo un contenuto di bicarbonato elevato, come lo mostra l'esempio sopra citato, libera CO₂ quando entra in gallerie secche e di conseguenza in queste marmitte si formano concrezioni. Può sembrare paradossale che la stessa acqua possa corrodere il calcare entrando in una galleria inondata, mentre concreziona quando la galleria è secca, ma la cosa è evidente (Tav. IV).

Ci sono ancora altre forme dove la corrosione per miscela d'acque probabilmente influisce, ma in generale è difficile provarlo. I casi riportati dimostrano nettamente l'importanza della corrosione per miscela d'acque.

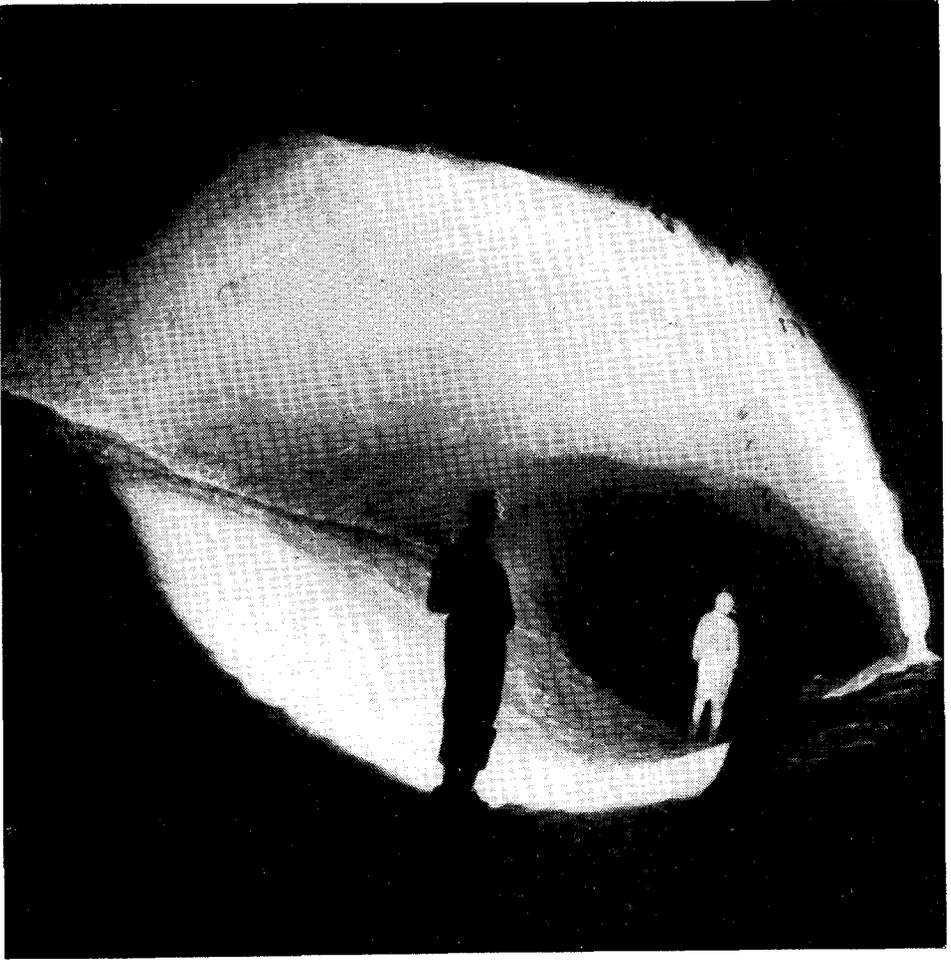
BIBLIOGRAFIA

- BÖGLI A., 1963 - *Beitrag zur Entstehung der Karsthöhlen*. Die Höhle, vol. 14, n. 2, pp. 63-68, Wien.
- BÖGLI A., 1964 a - *Mischungskorrosion, ein Beitrag zum Verkarstungsproblem*. Erdkunde, Archiv f. wissenschaftl. Geographie, H. 2, pp. 84-92, Bonn.
- BÖGLI A., 1964 b - *La corrosion par mélange des eaux*. Int. J. Speleology, vol. 1, pp. 61-70, Weinheim.
- BÖGLI A., 1964 c - *Die Kalkkorrosion, das zentrale Problem der unterirdischen Verkarstung*. Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, pp. 75-90, Graz.
- BÖGLI A., 1965 - *The role of corrosion by mixing of karst waters in cave forming*. In: STELCL O. - *Problems of the Speleological Research*. Pp. 121-131, Praga.
- BÖGLI A., 1969 - *La corrosione per miscela d'acqua*. Atti e Mem. Commiss. Grotte « E. Boegan », vol. 9, pp. 19-33, Trieste.
- BÖGLI A., 1971 a - *Corrosion by mixing of karst waters*. Trans. Cave Research Group of Great Britain, vol. 13, n. 2, pp. 109-113, Ledbury (Hereford).
- BÖGLI A., 1971 b - *Karstdenudation, das Ausmass des korrosiven Kalkabtrages*. Regio Basiliensis, vol. 12, n. 2, pp. 352-361, Basilea.
- ERNST L., 1964 - *Zur Frage der Mischungskorrosion*. Die Höhle, vol. 15, n. 3, pp. 71-75, Wien.
- HOWARD A. D., 1966 - *Verification of the Mischungskorrosion effect*. Cave Notes, vol. 8, n. 2, pp. 9-12, Castro Valley (Calif.).
- TILMANS J., 1932 - *Die chemische Untersuchung von Wasser und Abwasser*. W. Knapp, Halle.
- ZEHENDER F., STUMM W. & FISCHER B., 1956 - *Freie Kohlensäure un pH von Wasser*. Schweiz. Verein von Gas- und Wasserfachmännern, H. 11, pp. 1-7, Zürich.

TAVOLA I

Spiegazione della Tavola I

Galleria ellittica nel Hölloch (Galleria del Caos) a 600 m di profondità.



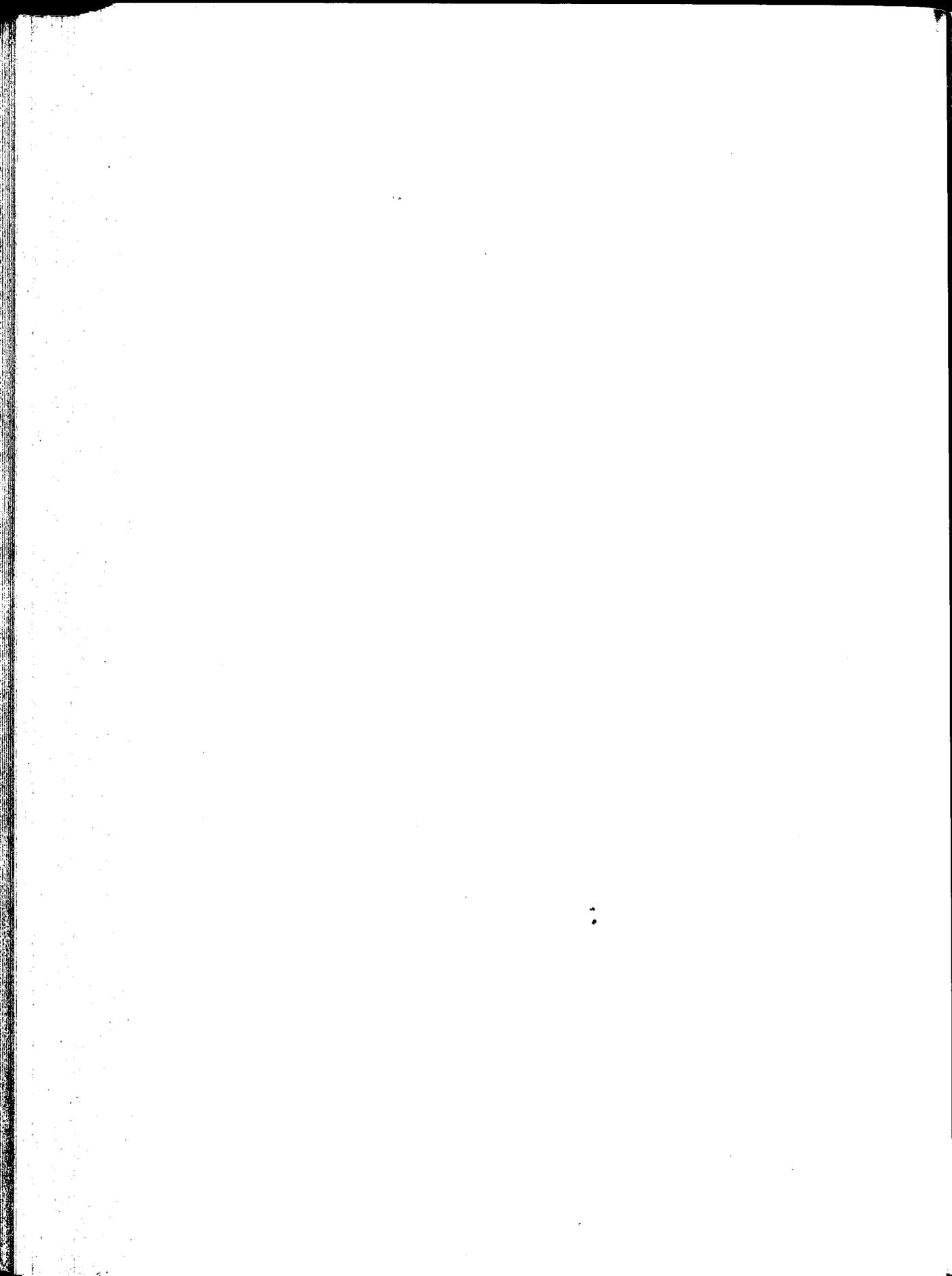


TAVOLA II

Spiegazione della Tavola II

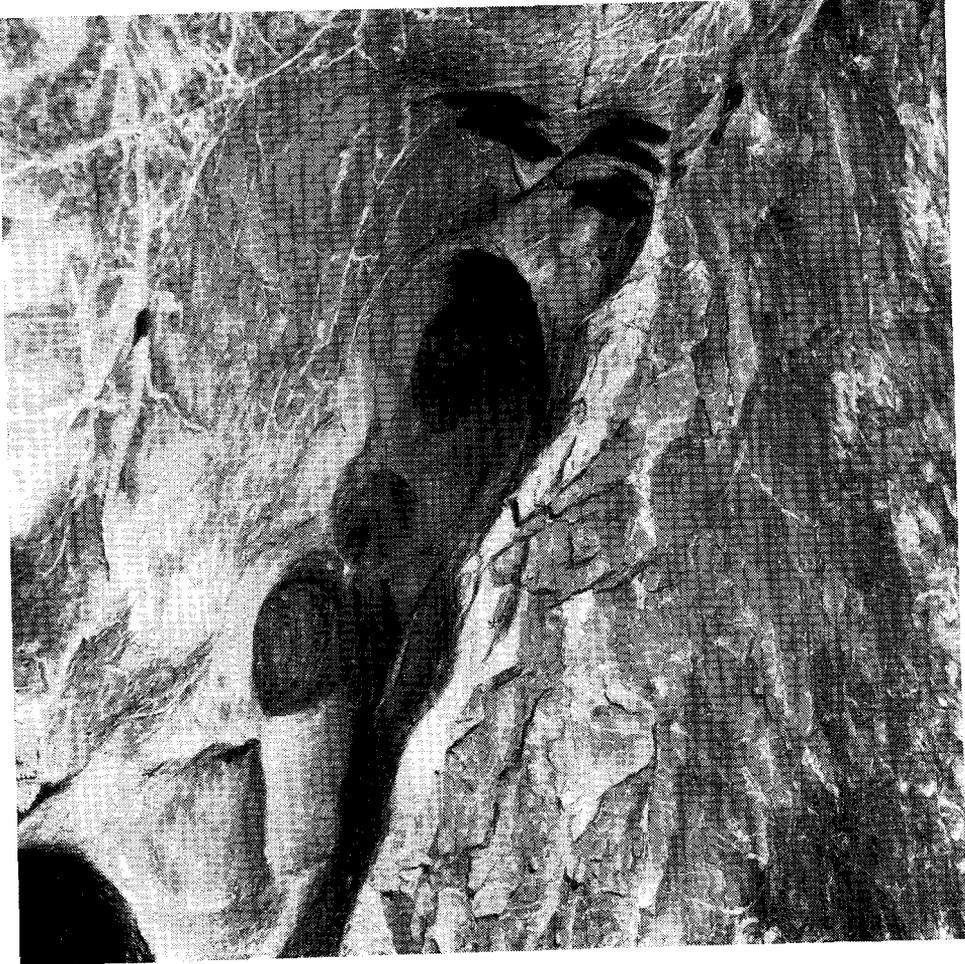
Serie di marmitte di corrosione su una diaclasi con diversi arrivi di acqua, sulla volta della galleria dei Titani (Hölloch, Svizzera Centrale).



TAVOLA III

Spiegazione della Tavola III

Serie di marmitte di corrosione sulla parete della galleria di Eolo nel Hölloch. Lungo la fessura appaiono chiaramente visibili i punti di arrivo d'acqua.



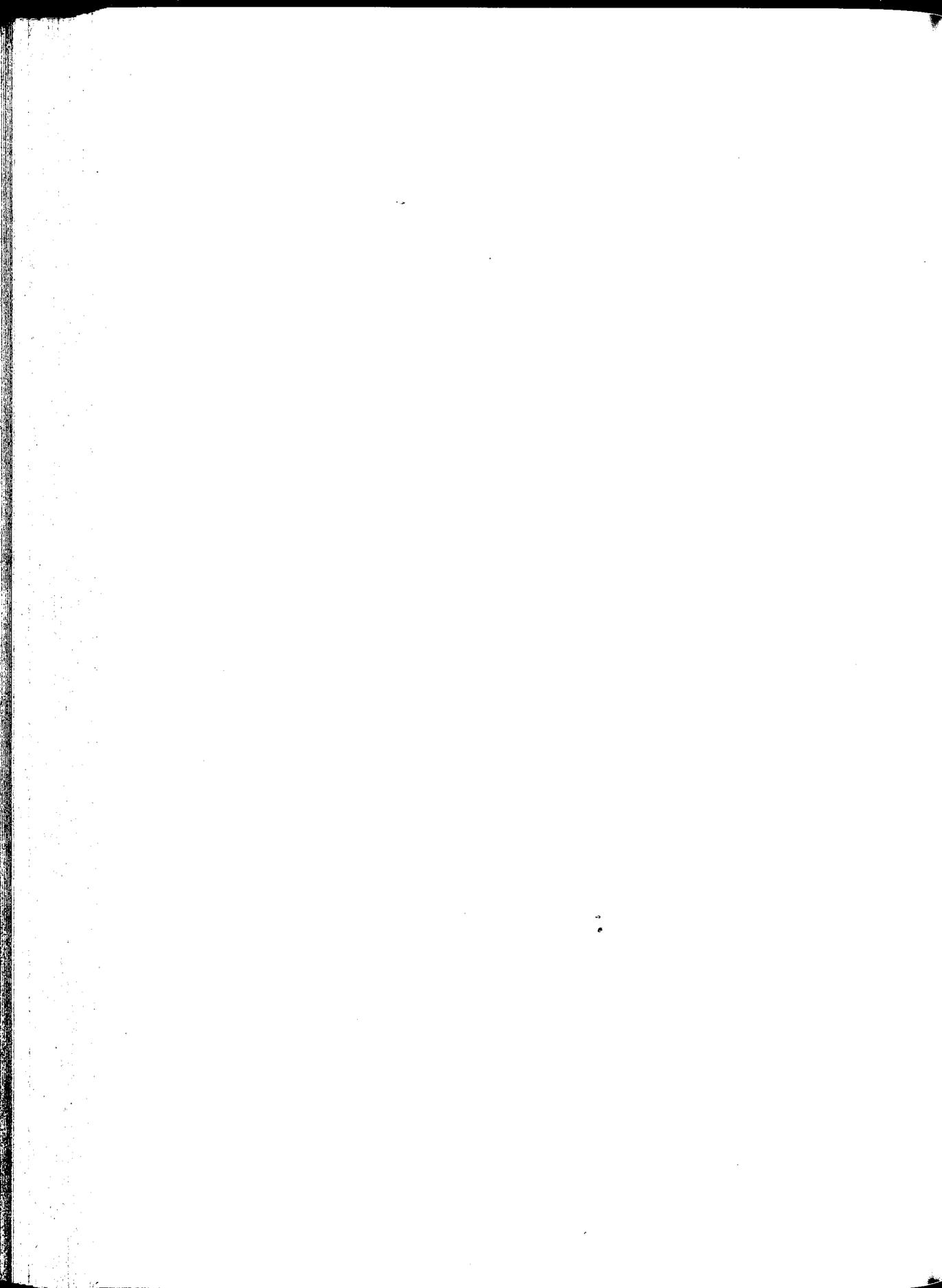
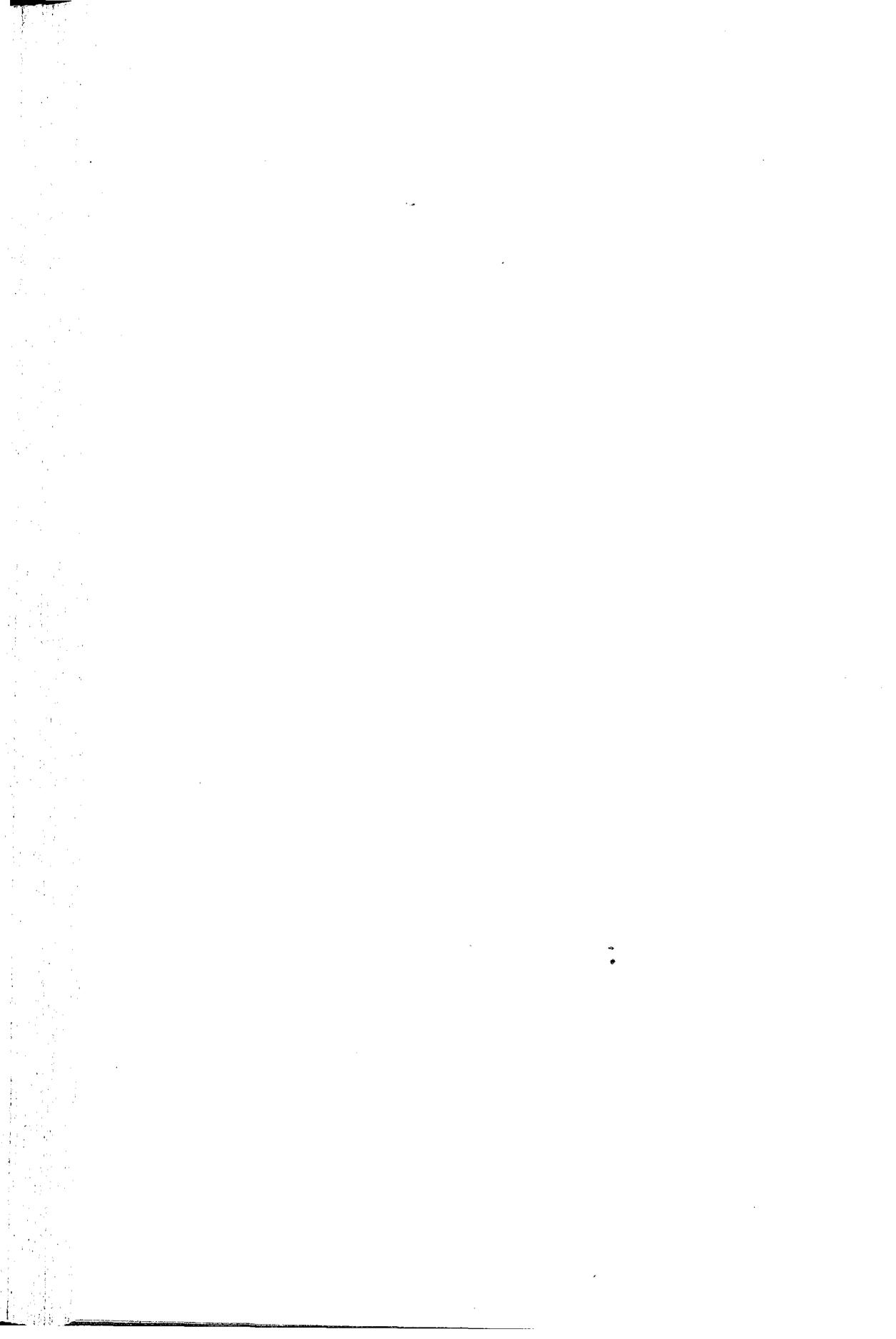


TAVOLA IV

Spiegazione della Tavola IV

Marmitte di corrosione lungo una diaclasi nella galleria dei Titani. L'acqua della fessura con un tenore elevato di carbonato di calcio provoca corrosione quando la galleria è sommersa e deposita concrezioni carbonatiche nei periodi secchi.





DISCUSSIONE SULLA RELAZIONE

DI

A. BOEGLI

CIGNA. Credo di interpretare il sentimento di tutti ringraziando caldamente il Prof. BOEGLI per la sua relazione. Avete sentito che questa teoria della corrosione ha delle conseguenze veramente notevoli sul modo di interpretare tanti fenomeni che noi vediamo nelle grotte. Come vedete, è qualcosa che va ben al di là della semplice spiegazione della formazione di alcune cavità, di alcune forme. Per esempio, vorrei mettere l'accento su una delle ultime osservazioni che sono state fatte dall'amico BOEGLI e cioè sul significato della presenza di concrezioni e di forme corrosive, di nicchie. Non sono fenomeni che siano legati in modo stretto a delle epoche ben distinte tra loro, ma fenomeni che si possono succedere in tempi molto brevi, semplicemente per delle variazioni dei livelli o variazioni delle concentrazioni delle acque. Insomma, direi che questa relazione può aprire una discussione molto lunga e molto approfondita su parecchi fenomeni.

CAPPA. Abbiamo tutti ammirato in questi ultimi anni le teorie espresse dal Prof. BOEGLI, che veramente hanno aperto la strada alla spiegazione della maggior parte dei fenomeni speleogenici e soprattutto di quelli che risultavano più ostici da spiegare.

Io vorrei chiedere anzitutto al Prof. BOEGLI se ha delle indicazioni circa la possibilità di corrosione per miscela di acque contenenti non solo diversi tenori di CO_2 , ma diversi tenori di sali. Noi sappiamo bene come alcuni sali, e in particolare il cloruro di sodio, pilotino moltissimo le possibilità di soluzione o di deposito del carbonato di calcio; viene quindi evidentemente da domandarsi se la miscela di acque con composizioni saline diverse porti a delle forme speleogenetiche piuttosto che a delle forme concrezionali. È infatti noto che anche i calcari più puri e omogenei contengono, oltre al carbonato di calcio, tanti altri sali; inoltre la composizione della roccia varia moltissimo da un punto all'altro. In particolare, se pensiamo ad acqua che percola attraverso una frattura e incontra altra acqua che percola lungo un giunto di stratificazione, la seconda sarà molto più ricca della prima di argille e di elementi non calcarei, perché questi elementi sono proprio quelli che creano il giunto di stratificazione stesso. Questa è la prima domanda.

Il Prof. BOEGLI poi ha mostrato molte fotografie in cui si vedono gallerie di sezione molto regolare e liscia. La classica corrosione freatica, cioè quella dovuta ad acque dotate di lentissimi movimenti di traslazione (come dicono i testi, soprattutto quelli inglesi, che parlano di corrosione freatica) tende a creare forme anastomosizzate e non gallerie regolari. E infatti nelle gallerie regolari noi vediamo la presenza di molti scallops. Vorrei avere una idea di come si concilia la formazione di queste gallerie — scavate evidentemente da acque dotate di velocità superiore a quella critica di formazione degli scallops — con la possi-

bilità di una corrosione localizzata laddove dei piccolissimi filetti fluidi entrano in una massa in rapido movimento. Grazie.

BOGLI. Per quanto concerne la prima domanda, vorrei rilevare che quando la curva di equilibrio non è una retta si possono sempre avere fenomeni dovuti alla mescolanza. Non si può però dire se si tratterà di corrosione o di deposizione, poiché non abbiamo mai studiato l'effetto dei sali a questo proposito. Comunque il fenomeno può verificarsi anche per mescolanza di acque contenenti sali diversi in soluzione. In particolare sarebbe molto interessante studiare la mescolanza di acqua di mare con acqua piovana o con acque di pozze a concentrazione salina elevata. Per quanto riguarda l'argilla devo rilevare che questa, non essendo in soluzione, non può intervenire nel fenomeno.

Con riferimento alla seconda domanda, desidero far notare come nella formula della corrosione per mescolanza non compaia la velocità dell'acqua. Nel caso di acque molto veloci si ha ugualmente mescolanza, ma la miscela aggressiva si muove così in fretta da non lasciare quasi tracce di corrosione, poiché l'effetto corrosivo viene in tal caso distribuito su lunghe distanze. Per quanto riguarda il tipo di flusso, va rilevato che in condizioni di flusso laminare due acque con diverse caratteristiche possono procedere fianco a fianco per centinaia di metri prima di mescolarsi; nel caso di intensa turbolenza la mescolanza avviene in poche decine di metri.

ANELLI. Il mio intervento è soltanto per appoggiare le chiare idee espresse dal Prof. BOGLI. Sono stato con lui a Castellana e molto ho imparato da lui nelle poche ore in cui siamo stati insieme. C'è un punto a Castellana, quasi alla fine della prima parte, dove passava il fossato principale con a fianco una piccola cavità, detta il Piccolo Paradiso. A valle di questo tratto c'è una grande caverna, la Caverna dell'Altare. Il Prof. BOGLI ha spiegato che questa grande caverna è proprio il risultato della mescolanza delle acque di due canali, una meno ricca di CaCO_3 e un'altra a maggior concentrazione, proveniente da un canale molto stretto. Quindi questa caverna è proprio dovuta alla mescolanza di due venute d'acqua.

Inoltre, sempre a Castellana, le piccole nicchie parietali sono molto evidenti. Nella seconda caverna di Castellana, la cui volta ha uno spessore di circa 20 metri, le nicchie si trovano fino ad un certo livello e noi possiamo ricostruire l'antico invaso del fiume, mentre la parte più alta è dovuta tutta a distacchi di masse rocciose.

A proposito di CO_2 , a Castellana si è arrivati a 2,4% di anidride carbonica. Sappiamo che in certe grotte la concentrazione della CO_2 è ancora più alta. In una grotta a Castelcivita non si andava avanti perché era proprio impossibile respirare. Nel 1940 tornai ancora e si respirava bene, non so per quale fenomeno avvenuto nel frattempo.

BOGLI. Ringrazio molto l'amico ANELLI. L'ultima osservazione mostra che la grotta non aveva scambi con l'atmosfera esterna. Successivamente, invece, si sono stabiliti scambi che hanno abbassato la concentrazione della CO_2 .

MAUCCI. Vorrei fare una osservazione e una domanda. Una osservazione, o meglio un suggerimento, che vorrei rivolgere ai colleghi speleologi attivi e in modo particolare ai più giovani. La corrosione per miscela di acque, come già è stato ripetutamente detto e io sottoscrivo in pieno, è una scoperta che ha aperto tali e tanti orizzonti e che ci trova tutti estremamente entusiasti. Vorrei proprio per questo raccomandare di non voler esagerare, cioè non voler considerare la corrosione per miscela di acque come la bacchetta magica che risolve assolutamente tutto. Non tanto per quanto riguarda il problema della *speleogenesi*. Credo che l'origine delle grotte, nel senso stretto della parola, non si possa spiegare altrimenti, sia in zona vadosa, sia in zona freatica, non c'è dubbio. Stiamo attenti però nella applicazione di questa teoria alla *morfo-genesi*, cioè all'origine delle varie forme che noi vediamo nel sottosuolo. Perché, tanto per citare un esempio, quelle bellissime marmitte capovolte alla sommità di una volta hanno indis-

tibilmente una origine dovuta alla corrosione per miscela di acque, ma — non dimentichiamolo — con una limitazione: in zona o in condizioni sia pure temporanee di freaticità, cioè di condotta forzata. Quando osserviamo delle gallerie evolute in condizioni vadose, noi possiamo trovare egualmente delle forme notevolmente somiglianti, ma che non sono la stessa cosa, e sono le classiche effrazioni, per usare il vecchio termine, dovute al moto turbolento delle acque. Quello che io vorrei dire è: facciamo attenzione, sarebbe opportuno uno studio dettagliato delle morfologie per poter distinguere queste varie forme le une dalle altre.

Volevo poi chiedere al Prof. BOEGLI se eventualmente può dirci qualcosa sulla morfogenesi, cioè su quelle che possono essere le forme dovute a questi fenomeni di miscela di acque in zone vadose. Grazie.

BOEGLI. Sono perfettamente d'accordo: non bisogna cadere nell'errore di generalizzare. Per quanto riguarda le marmitte di volta bisogna sempre tenere presente la differenza tra erosione meccanica e corrosione chimica. In particolare, a valle di una strozzatura si può avere una notevole turbolenza con conseguenti fenomeni di erosione: quando la turbolenza è abbastanza forte si formano dei vortici che danno luogo all'escavazione meccanica di marmitte.

BRANCACCIO. Il Prof. BOEGLI ci ha spiegato come possono aversi le miscele di acque con diverso contenuto in carbonati. Ha citato il caso di acque provenienti da zone in cui vi è il suolo e da zone in cui i calcari sono nudi, privi della copertura vegetale; ha citato anche il caso della miscela di acque che si introducono nel sottosuolo nel corso di un temporale e di acque che si introducono lentamente attraverso il suolo. Io direi che c'è un caso che è addirittura più generale e che è legato alle situazioni microclimatiche locali. Immaginiamo infatti di avere un rilievo montuoso orientato in senso est-ovest, quindi con un versante nord e con un versante sud, con copertura vegetale erbosa e con un suolo di piccolo spessore. L'acqua di ritenzione dei suoli si infiltra nei calcari. L'acqua di ritenzione che è sul versante settentrionale ha temperatura più fredda, naturalmente ha un contenuto di anidride carbonica maggiore e scioglierà più carbonato; perciò quest'acqua giungerà nel sottosuolo con un contenuto di carbonato maggiore rispetto all'acqua proveniente dal versante meridionale. Potrebbe essere questo il caso più generale di una mescolanza di acque. Avrei anche una domanda: dopo la formazione della cavità originaria (indubbiamente con i meccanismi speleogenetici invocati dal Prof. BOEGLI), quando un'acqua di percolazione raggiunge tale cavità si ha indubbiamente una caduta di pressione, per cui l'acqua diventa sovrassatura. La mescolanza può avvenire addirittura tra acque sovrassature, e allora non si dovrebbe avere più dissoluzione, credo. Vale a dire, indubbiamente la mescolanza di acque spiega brillantemente la formazione di una cavità iniziale, ma non la sua morfogenesi successiva, perché quando si è creato il vuoto naturalmente è possibile la caduta di pressione, quindi la sovrassaturazione delle acque. Chiedo al Prof. BOEGLI se le cose possono stare in questi termini. Grazie.

BOEGLI. Il caso illustrato da BRANCACCIO (provenienza delle acque sotterranee da due versanti) è uno dei molti che si potrebbero descrivere.

Per quanto riguarda la sua domanda si può osservare anzitutto che se la caduta di pressione della CO_2 è bassa non si ha corrosione e se tale caduta è alta si ha addirittura una deposizione. Naturalmente se abbiamo una fessura con acqua comunicante con un condotto allagato, perché l'acqua della fessura entri nel condotto essa deve avere una pressione maggiore dell'acqua del condotto; ma la differenza di pressione tra le due acque normalmente non è tanto grande da determinare una caduta di pressione della CO_2 .

PASTORINO. Vorrei chiedere al Prof. BOEGLI se esiste un rapporto fra corrosione per miscela di acque e pressione idrostatica. Ossia, nell'ambito di un massiccio in condizioni freatiche la corrosione a diversi livelli presenta una qualche

differenza di evoluzione o no? Perlomeno, è riuscito a riscontrare dall'esame morfologico delle cavità residue qualcosa che possa far pensare a questo?

BOEGLI. Non credo che la pressione idrostatica possa influenzare i fenomeni di corrosione.

PASINI. Vorrei riallacciarmi all'osservazione fatta dal Prof. MAUCCI a proposito dell'erosione, che mi sembra molto giusta. Anch'io sono perfettamente d'accordo nell'attribuire alla corrosione per mescolanza di acque una importanza fondamentale nella speleogenesi in senso stretto; ma, per quanto riguarda l'evoluzione dei condotti freatici, penso vada sottolineata più di quanto ha fatto il Prof. BOEGLI l'importanza dell'erosione meccanica.

Prendiamo il caso di una frattura tettonica (o di un giunto di strato) sede di una circolazione idrica; inizialmente la frattura si amplierà per corrosione (azione chimica) in corrispondenza di una zona privilegiata, trasformandosi in un condotto a sezione trasversale appiattita, paragonabile ad una ellisse il cui asse maggiore — coincidente con la frattura — è molto più sviluppato dell'asse minore. Nel condotto primitivo così formatosi l'acqua potrà scorrere con velocità molto maggiore che nella frattura, fino a dar luogo a fenomeni di erosione (azione meccanica).

E' noto che l'erosione dell'acqua scorrente sotto pressione in un condotto appiattito è maggiore sulle pareti più vicine fra loro; perciò il condotto stesso, sviluppandosi per erosione, tenderà ad assumere sezioni ellittiche con assi sempre meno diversi, fino a raggiungere, se le condizioni lo permettono, la sezione circolare. Ciò è dovuto al fatto che l'acqua scorre tanto più facilmente quanto maggiore è l'area della sezione del condotto in rapporto al perimetro (formula di CHÉZY). Le sezioni ellittiche poco appiattite e quelle subcircolari sono appunto le più frequenti nei condotti freatici scavati nelle rocce carsogene, e credo che la loro forma si spieghi assai meglio ammettendo che l'ampliamento di tali condotti sia dovuto prevalentemente all'azione meccanica dell'acqua, secondo le leggi sopra richiamate, e non semplicemente alla corrosione.

Vorrei dire qualcosa anche a proposito dell'influenza speleogenetica che può avere il miscelamento di acque dolci con acque marine, a cui accennava il Prof. BOEGLI. Ho avuto modo di osservare un fenomeno di questo genere nella Grotta del Bue Marino (Golfo di Orosei, Sardegna). Il ramo attivo di questa grotta è costituito da una galleria lunga qualche chilometro, di cui il primo tratto — cioè quello più vicino all'ingresso — è invaso dal mare: l'acqua marina forma un lago sotterraneo lungo circa 200 metri e relativamente stretto, in cui si immette un torrente proveniente dalle parti più interne della grotta. Si ha quindi in questo lago una mescolanza tra l'acqua dolce del torrente e l'acqua marina. Il tratto di galleria invaso dal mare è scavato in calcari assai puri ed è fortemente concrezionato; molte concrezioni calcitiche (colate parietali, stalagmiti, colonne) sono parzialmente o totalmente sommerse dall'acqua marina; ho osservato stalagmiti in posto fino alla profondità di m 3,60 dalla superficie del lago. Ebbene, su queste concrezioni — come pure sulla roccia sommersa — non ho potuto rilevare alcuna traccia di corrosione, né presso la superficie del lago né a qualche metro di profondità.

Può essere interessante ricordare a questo proposito che, secondo eminenti quaternaristi, il mare raggiunse il livello attuale — dopo la grande regressione würmiana — circa 6000 anni fa; da allora, questo livello è rimasto pressoché costante, salvo qualche oscillazione (positiva e negativa) non superiore a 3-3,5 metri. Quindi il lago salato della Grotta del Bue Marino dovrebbe esistere da circa 6000 anni (il tratto iniziale del ramo attivo e le concrezioni sono sicuramente molto più antiche), per cui la miscela tra le acque dolci e quelle marine dovrebbe avere avuto a disposizione un tempo abbastanza lungo per lasciare profonde tracce di corrosione; ma queste tracce, come ho detto, non sono visibili.

BOEGLI. Il livello del mare non è rimasto costante durante gli ultimi mille anni. D'altra parte basta qualche centinaio di anni perché possano manifestarsi chia-

ramente dei fenomeni di corrosione. Piuttosto trovo molto interessante la sua osservazione sulla mancanza di corrosione per mescolanza di acqua dolce ed acqua di mare. In quest'ultima la concentrazione del carbonato di calcio, se non erro, è quasi nulla, ed in queste condizioni non si può avere corrosione per mescolanza. Per quanto riguarda la prima parte del suo intervento, vorrei ricordare che lo scopo della mia relazione era di mettere in evidenza il ruolo della corrosione per mescolanza di acque. Con ciò non desidero affatto sottovalutare l'importanza dei fenomeni erosivi. Comunque vorrei richiamare l'attenzione sulla difficoltà di riconoscere con certezza l'origine di certi condotti sub-circolari: sia la corrosione in un mezzo isotropo che la erosione meccanica possano esserne state la causa. In generale nell'acqua di un condotto le particelle più grossolane tendono ad addensarsi sul fondo. Quindi la sezione risultante in seguito all'erosione non dovrebbe essere perfettamente circolare. Comunque queste distinzioni costituiscono ancora un problema aperto.

LAURETI. Vorrei chiedere anzitutto al Prof. BOEGLI ulteriori chiarimenti circa l'influenza della temperatura sulla concentrazione della CO_2 nell'acqua e sulla sua aggressività.

Una seconda domanda: vorrei chiedere se la mescolanza di acque può verificarsi anche nel caso di acque di condensazione e quindi influire perlomeno sulla morfogenesi in zona vadosa.

Infine una questione terminologica: vorrei un chiarimento circa la differenza di significato tra i due termini tedeschi *Korrosion* e *Lösung*, e vorrei sapere se in francese ci sono termini corrispondenti.

BOEGLI. Cominciamo dall'ultima domanda. Si tratta di una semplice convenzione, comunque nella riunione della sottocommissione di terminologia abbiamo convenuto che il tedesco *Korrosion* (= francese *corrosion*) corrispondesse alla dissoluzione chimica (per esempio, quella dei carbonati), mentre il tedesco *Lösung* (= francese *dissolution*) corrispondesse alla dissoluzione fisica (per esempio, quella dei solfati e dei cloruri).

A proposito della zona vadosa, io ritengo che la corrosione per mescolanza non dipenda dalla zona. Essa può verificarsi dappertutto, purché acque diverse possano mescolarsi.

Infine, per quanto riguarda l'influenza della temperatura, è vero che per valori bassi di questa la concentrazione della CO_2 è elevata, purché però vi siano scambi con l'atmosfera. Corrispondentemente a temperature più alte sono necessarie maggiori quantità di CO_2 per l'equilibrio che non a temperature più basse. Tuttavia non dimentichiamo che nella zona freatica non vi sono scambi con l'atmosfera, a differenza di quanto accade nella zona vadosa, in cui possono verificarsi contemporaneamente fenomeni di semplice corrosione e di corrosione per mescolanza. Inoltre a bassa temperatura la diffusione della CO_2 nell'acqua è minore, per cui questo parametro viene a complicare le cose.

BALBIANO D'ARAMENGO. Il Prof. BOEGLI ci ha dimostrato con un grafico le conseguenze della mescolanza di due soluzioni entrambe sature. È un grafico che si riferisce a situazioni statiche; viceversa in natura siamo sempre in condizioni dinamiche e difficilmente si possono applicare certe situazioni teoriche.

Ho sentito nei giorni scorsi qualcuno che diceva: in natura le acque sono praticamente tutte sature. Ma ROQUES aveva una opinione diversa, e diceva: secondo me in natura l'acqua satura è rarissima; quasi sempre abbiamo acque leggermente sovrassature o leggermente sottosature; l'acqua satura si potrebbe avere soltanto in una falda freatica perfettamente immobile.

Se è vero questo, che l'acqua satura è una cosa molto rara, sarà più che mai raro trovare due acque sature che si mescolano. Io vorrei sapere se il Prof. BOEGLI è d'accordo con questa opinione, cioè sulla difficoltà di trovare in natura delle situazioni di equilibrio, e quindi se la teoria della corrosione per mescolanza ha veramente agli effetti pratici la grande importanza che sembra avere sulla carta.

Vorrei chiedere inoltre al Prof. BOGLI se ha mai provato ad analizzare due acque di grotta che si mescolano, a calcolarne quindi il contenuto in CO_2 e in CaCO_3 , a calcolare dal diagramma la quantità di calcare addizionale che si può sciogliere, a calcolare infine il volume di roccia effettivamente disciolto e quindi il tempo in anni occorrente per ottenere questo effetto.

E infine una terza domanda (mi si scusi se faccio un po' l'avvocato del diavolo!). Il Prof. BOGLI ci ha mostrato tanti esempi di due gallerie che si uniscono e che nella loro unione formano un tratto di galleria più grande. Questo fatto noi tutti l'abbiamo osservato parecchie volte, però prima di conoscere la corrosione per mescolanza, e magari anche dopo, molti di noi hanno creduto di spiegarlo in un modo molto più banale, cioè con motivi tettonici. Dove c'è unione di gallerie infatti c'è anche spesso incrocio di diaclasi e quindi facilità di crolli. Chiedo al Prof. BOGLI se pensa che un fenomeno del genere, così banale, possa spiegare molte volte quello che invece solitamente si spiega con la corrosione per mescolanza.

BOGLI. Il Dr. BALBIANO ha ragione ad avanzare quest'ultima sua spiegazione; tuttavia in certi casi, quando le gallerie sono impostate sullo stesso piano di stratificazione, ad esempio, la corrosione per mescolanza spiega molto più semplicemente il fenomeno. Ciò non vuol dire, d'altra parte, che le due spiegazioni non possano coesistere.

A proposito delle analisi di acque di grotta, devo dire che noi abbiamo fatto solo qualche tentativo; misure sperimentali effettuate da ricercatori americani hanno confermato però la validità della teoria della corrosione per mescolanza di acque: è tutto ciò che posso dire a proposito della seconda domanda. D'altra parte io ragiono da geomorfologo, che vede gli effetti e cerca la teoria che ne dà la spiegazione; è un punto di vista del tutto diverso da quello del Prof. ROQUES, che non ha una profonda conoscenza delle grotte e lavora sul piano teorico. Per quanto riguarda la sua prima domanda posso rispondere che l'eventuale scostamento da una situazione di equilibrio da parte delle acque carsiche non impedisce il verificarsi della corrosione per mescolanza. Semplicemente, il fenomeno può essere favorito oppure ostacolato ma non certo escluso. Occorre applicare il grafico che vi ho mostrato in modo critico e così sarà facile ottenere il risultato corretto.

DEMATTEIS. In tratti di grotta perfettamente corrispondenti a quelli descritti dal Prof. BOGLI per illustrarci gli effetti della corrosione per mescolanza di acque si osservano talora delle marmitte. Recentemente alla Grotta di Pian Cavallo, nel massiccio del Marguareis, ho visto dopo un sifone, sicuramente originatosi sotto pressione, in regime freatico, un marmitta. In un'altro caso analogo, sempre nella stessa grotta, ho osservato delle marmitte e, poco sotto, degli *scallops*. Non so se il Prof. BOGLI può dare una interpretazione di questi fatti.

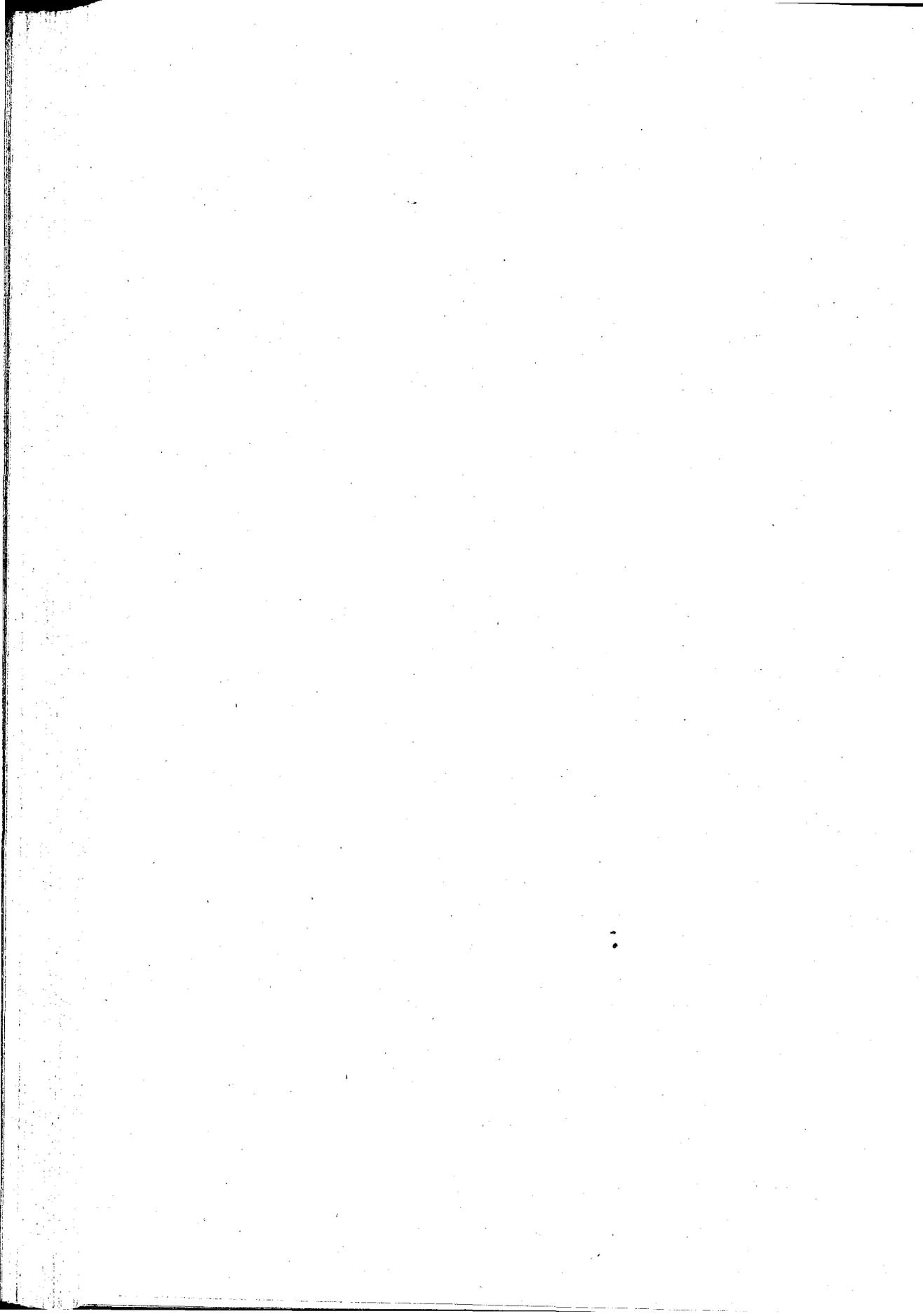
BOGLI. In questo caso si tratta di erosione pura e semplice dovuta alla turbolenza provocata verosimilmente da strozzature del condotto. In caso di vortici in presenza di aria si ha un'erosione anche nella parte centrale della marmitta a causa dell'aspirazione dell'aria da parte del vortice. In condizioni freatiche, invece, vi è soltanto l'azione erosiva delle particelle solide trasportate dall'acqua; queste però, per azione della forza centrifuga, agiscono prevalentemente nella zona più esterna, dando così origine ad un fondo della marmitta rilevato al centro. Se non erro, un caso simile è illustrato a pag. 90 del mio libro « Le Hölloch et son Karst ».

PASQUINI. Non ho questioni particolari da porre al Prof. BOGLI. La considerazione che si trae da tutti questi interventi è che vi sono talvolta delle difficoltà a riconoscere con sicurezza l'origine di certe forme. Occorre affrontare il problema con molta cautela perché il nostro schematismo ci può indurre a forzare la realtà. Dobbiamo prima riconoscere con certezza e descrivere con onestà le forme tipiche dei singoli processi speleogenetici (corrosione semplice, corrosione per mescolanza di acque, erosione normale, erosione inversa, ecc.); quindi, con que-

sta esperienza, potremo affrontare i casi più complicati, cioè le forme dovute all'azione combinata di diversi processi speleogenetici.

BOEGLI. Ringrazio il Dr. PASQUINI per le sue considerazioni, che condivido pienamente. È necessario che i giovani speleologi non si lascino trasportare dall'entusiasmo, arrivando così a voler spiegare tutto senza possedere la preparazione e l'esperienza necessarie. Bisogna procedere per gradi, studiando intensamente. Vorrei aggiungere una osservazione a quanto ho detto prima sulle marmitte: un criterio base per distinguere le marmitte da corrosione per mescolanza da quelle originate dall'erosione è dato dal fatto che, in generale, le prime non sono a sezione circolare bensì sono di forma allungata, sub-ellittica.

CIGNA. Io chiuderei adesso la discussione su questa relazione e vorrei rinnovare ancora i ringraziamenti di tutti noi al Prof. BOEGLI per quanto ci ha detto, e nella esposizione del testo e nelle risposte ai vari interventi. È stata una sessione un po' lunga, però ritengo estremamente fruttuosa e interessante. Potremmo passare adesso alla seconda comunicazione della mattinata, quella del Prof. DEMATTEIS.



GIUSEPPE DEMATTEIS (*)

CONTRIBUTO A UNA CLASSIFICAZIONE GENETICA DELLE FORME CARSIICHE SOTTERRANEE

RIASSUNTO - Rilevata la mancanza di una classificazione morfogenetica generale delle forme carsiche ipogee, si propongono alcuni criteri per una ricerca sistematica volta alla loro precisa definizione. Tale definizione dovrà procedere dalle forme più semplici (*forme elementari*: individui morfologici risultanti da un unico meccanismo morfogenetico) alle più complesse (*forme complesse e forme composite*: costituite dall'insieme di più forme semplici).

ABSTRACT - The absence of a general morphogenetic classification of the subterranean karstic forms is pointed out. Some criteria for a systematic research in order to obtain exact definitions of typical subterranean forms are here proposed. Such definitions will start from simple forms (*elementary forms*, i.e. morphological elements resulting from a single morphogenetic process) to the more complex ones (*complex forms and composite forms*, i.e. forms composed by different elementary forms).

1. CONSIDERAZIONI GENERALI

La maggior parte della letteratura speleogenetica è basata su analisi di tipo morfologico, tuttavia le forme a cui si fa riferimento non sono sempre individuate e definite con gli stessi criteri. Mancando una classificazione morfogenetica generale, che renda i risultati di questi studi comparabili tra loro, gran parte del materiale descrittivo è scarsamente utilizzabile, sia per la verifica o la costruzione di teorie speleogenetiche, sia per gli studi di geomorfologia regionale.

La definizione di forme carsiche ipogee è la base per addivenire a una classificazione morfologica e quindi a una terminologia, con la dovuta

(*) Gruppo Speleologico Piemontese, Società Speleologica Italiana.

precisione e con una ragionevole concisione. Da essa, con l'adozione di una opportuna simbologia grafica, sarebbe possibile derivare una cartografia speleomorfológica, e quindi un'analisi morfometrica dei rilievi delle grotte.

Nella letteratura speleomorfológica non mancano le ricerche rivolte alla precisa definizione di certe forme tipiche (si veda ad esempio: DE GASPERI 1915, BRETZ 1942, SEGRE 1948, MONTORIOL POUSS 1954, MAUCI 1961, BOEGLI 1961 e 1964, DEMATTEIS 1963, GÈZE 1965, ecc.), ma manca ancora un tentativo di sistemazione di questi contributi condotto sulla base di criteri logici omogenei.

Tenendo presente quanto già esposto da altri autori a questo proposito (KYRLE 1923, NANGERONI 1958, ecc.), si propongono qui alcuni criteri che dovrebbero presiedere a una tale ricerca sistematica, accompagnandoli con qualche esempio.

2. PRINCIPI GENERALI

Una classificazione genetico-morfologica si basa sul presupposto che si possano individuare determinate *forme* carsiche ipogee (più o meno complesse), tali per cui ciascuna di esse possa essere attribuita a un determinato *meccanismo* o a un determinato *processo* genetico.

L'individuazione delle *forme* deve avvenire attraverso la determinazione di certe loro caratteristiche essenziali metriche e/o topologiche, mentre i meccanismi saranno definiti da certe azioni di natura chimica e/o fisica (ed eventualmente anche biochimica), le quali assumono modalità specifiche al ripetersi di determinate condizioni.

Affermare che deve esistere una corrispondenza tra *meccanismi* (o *processi*) e *forme* significa riconoscere l'esistenza di certe regolarità, esprimibili in termini di ipotesi, modelli, leggi o teorie morfogenetiche. Tali regolarità — verificate o semplicemente presupposte — vanno enunciate esplicitamente nella definizione delle varie forme, in modo che la conformità delle successive osservazioni empiriche con le previsioni, ne permetta la verifica o la confutazione.

In altre parole le forme oggetto del nostro studio vanno concepite come modelli, cioè astrazioni mentali, da utilizzare come mezzi per la progressiva costruzione di una teoria speleogenetica, la quale integri in una struttura logica unitaria un numero via via maggiore di osservazioni empiriche, effettuabili anche durante la normale attività esplorativa.

Infine la definizione delle forme dovrà procedere dal più semplice

al più complesso, evitando di trattare di forme ad elevato grado di complessità senza aver prima definito le forme più elementari (e i meccanismi corrispondenti), in cui le prime si possono logicamente scomporre.

3. LE FORME ELEMENTARI

In una scala di complessità crescente il livello inferiore è rappresentato dalle *forme elementari*⁽¹⁾ — individui morfologici risultanti da un unico meccanismo morfogenetico, non ulteriormente divisibile. Ciò significa che se noi dividiamo in parti una di queste forme elementari otteniamo entità che non si possono mai formare isolatamente, ma che sono solo e sempre componenti di un intero. Infatti se considerassimo una di queste parti come forma a sè stante, verrebbe meno il presupposto secondo cui ogni forma deve corrispondere a un dato meccanismo genetico e viceversa. Se le parti non sono prodotte ciascuna da un diverso meccanismo, ma ognuna è il risultato dello stesso meccanismo che produce l'insieme, questo ultimo soltanto avrà le caratteristiche di un individuo morfologico-genetico e sarà perciò considerato come *forma elementare*.

Ad esempio se consideriamo la forma *tubo freatico* — definita come condotto a sezione circolare o ellittica, scavato da acque circolanti sotto pressione, lungo un piano di frattura della roccia (DEMATTEIS 1960, CHIESA 1963) — ci accorgiamo subito che si tratta di una forma elementare, in quanto può esistere isolata, ma non può essere divisa in parti (come ad esempio una parete, una sezione trasversale, ecc.), generate da meccanismi diversi da quello che ha dato origine al « tubo » nel suo complesso. Invece una *rete di tubi freatici* (*network* del BRETZ 1956) non è una forma elementare, perchè può essere divisa in più parti (*tubi freatici*), che come s'è detto si possono formare anche isolatamente.

Va precisato che il concetto di forma elementare prescinde da ogni riferimento a determinati ordini di grandezza. Ad esempio un *pozzo-cascata* (DEMATTEIS 1963) anche molto grande è una forma elementare al pari di uno *scallop* (WARWICK 1953) di pochi centimetri, in quanto in entrambi i casi si tratta di individui morfologico-genetici non ulteriormente divisibili, prodotti ciascuno da uno specifico meccanismo.

Inoltre va rilevato che quando si parla di indivisibilità di una *forma*

(1) Riprendo in parte un concetto già esposto nel mio citato articolo del 1960 sotto il nome di « forme semplici ».

elementare ci si riferisce alla sua natura di unità morfologica non scindibile *materialmente* in parti provviste di una loro individualità, nel senso sopra esposto. Se invece consideriamo la *forma elementare* come una categoria mentale che sta a indicare una classe di individui, essa risulta *logicamente* divisibile in sottoclassi, generi, specie, varietà, ecc., a seconda del grado di astrazione, con cui la forma è definita, analogamente a quanto avviene nella classificazione degli organismi viventi.

La scelta del livello di specificità a cui a un certo punto conviene arrestarsi, deve riferirsi più alla natura del *meccanismo*, che non alle caratteristiche delle *forme*. Ci sono casi in cui meccanismi genetici molto diversi danno origine a forme, che, astraendo da piccoli particolari, sono identiche. In questi casi è evidente che il grado di specificazione dei caratteri formali dovrà spingersi fin a quei particolari, che permettono di distinguere forme generate da meccanismi differenti.

Casi del genere si presentano ad esempio quando si vogliono distinguere certe forme prodotte dall'erosione chimica da forme simili, prodotte da erosione meccanica (BRETZ 1942, BOGLI 1964). Un altro caso, particolarmente indicativo, è quello dei liscioni di faglia, che in certe condizioni si distinguono da lisciature dovute all'erosione idrica, solo per la presenza di striature e scabrosità appena percettibili, orientate nella direzione di scorrimento delle pareti della faglia (RENAULT, 1953). Al contrario una *marmitta di erosione* in un calcare poco omogeneo (p. es. scistoso) e una scavata invece in un calcare puro compatto, a dispetto di evidenti differenze formali, potranno essere considerate della stessa specie, in quanto il loro meccanismo genetico è sostanzialmente lo stesso.

Più in generale si può dire che in una classificazione del tipo qui proposto debbono avere la priorità i criteri basati sui *fattori dinamici* (quelli che implicano azioni, movimenti) mentre i *fattori statici* — come le condizioni strutturali della roccia, la topografia locale, ecc. — intervengono solo in via subordinata e in quanto possono indurre variazioni essenziali nei meccanismi dinamici: ad esempio superfici scabrose, dovute a composizione non omogenea della roccia, le quali determinano la formazione di vortici e quindi di un particolare meccanismo erosivo. Oppure in quanto possono essere indici di meccanismi genetici differenti: ad esempio è noto come l'erosione chimica, agendo particolarmente lungo le fratture, dia luogo sovente a forme « strutturali », mentre l'erosione meccanica sia essenzialmente « astrutturale » (almeno per quanto riguarda la fessurazione della roccia).

A scopo *puramente esemplificativo* si presenta uno schema di clas-

TABELLA I

MECCANISMI GENETICI	Esempi di FORME ELEMENTARI	
	condotti o cavità semplici	forme di dettaglio
EVACUAZIONE		
PER AGENTI IDRICI		
In regime freatico (sotto pressione)		
Erosione chimica	<i>anastomosi (BRETZ)</i> <i>gallerie a ghirlande</i> <i>(BOEGLI)</i>	<i>spongework (BRETZ)</i> <i>marmitte di corrosione</i> <i>(BOEGLI e altri)</i>
Erosione meccanica	<i>tubo freatico (CHIESA,</i> <i>DEMATTEIS)</i>	<i>lustrature (SEGRE)</i> <i>scallops (?)</i>
In regime vadoso (a pelo libero)		
Erosione gravitazionale		
Incanalata (eros. meccanica pre- valente)	<i>forra</i>	-----
Progressiva		
Flusso laminare	<i>forra con fondo a doccia</i>	<i>solcature parietali,</i> <i>"mensole", ecc.</i>
Flusso turbolento	<i>galleria (forra) a mar-</i> <i>mitte (DE GASPERI,</i> <i>SEGRE)</i>	<i>marmitte di erosione,</i> <i>quinte (SEGRE)</i>
.....		
Regressiva	<i>pozzo-cascata (DEMAT-</i> <i>TEIS)</i>	<i>semi-coni, calderoni</i> <i>(DEMATTEIS)</i>
Di percolazione (eros. chimica preval.)		
Dispersa (stillicidio)	<i>fusoidi verticali, ortova-</i> <i>cui (MAUCCI)</i>	<i>vari tipi di lapiaz sotter-</i> <i>raneo (BOEGLI e altri)</i>
Diffusa (veli e filetti acquei)		
Filtrante		
Nivale	<i>pozzi a neve</i>	<i>nicchia di nivazione</i>
.....		
Azioni non gravitazionali (corro- sione)		
Capillarità		<i>tasche (CHIESA)</i>
Adesione		<i>alveolature, ecc.</i>
.....		
PER AGENTI ATMOSFERICI		
Umidità, condensazione	-----	-----
Circolazione di CO ₂ (CHOPPY, 1965)	-----	-----
Crioclasti (WARWICK 1971)	-----	-----
PER AZIONI MECCANICO-CLASTICHE		
Gravitazionali	-----	-----
Interne (MONTORIOL POUSS 1954)	-----	-----
Esterne (RENAULT 1961)	-----	-----
Pressioni interne (DAVIES 1960)	-----	-----
RIEMPIMENTO		
.....	-----	-----

sificazione di meccanismi e di forme elementari basato sui principi suddetti (tab. I):

4. LE FORME COMPLESSE

Parlando di forme elementari si compie il più delle volte una forte astrazione, in quanto nella realtà tali individui morfologici, pur potendo presentarsi isolati, più di frequente si trovano associati spazialmente a individui della stessa classe o di altre classi e sovente tale associazione non è casuale. Ciò equivale a dire che, se esistono meccanismi elementari, da cui derivano forme elementari, la genesi di una grotta non risulta solo dalla somma di tali meccanismi elementari, ma anche da relazioni di interdipendenza esistenti tra di essi, nonché tra di essi e le forme da essi prodotte. Tali relazioni costituiscono meccanismi speleogenetici *complessi* e le forme ad essi corrispondenti si possono chiamare *forme complesse*.

Tornando all'esempio della *rete di tubi freatici*, osserviamo che tra gli individui (i singoli *tubi*) che la compongono, esistono delle relazioni, a seconda delle quali la *rete* stessa può assumere forme diverse: si può avere ad esempio una *rete coordinata* in cui tutti i condotti hanno la stessa funzione e le stesse dimensioni e una *rete subordinata* in cui taluni condotti hanno una funzione drenante primaria e dimensioni maggiori (CHIESA 1963), indice di un meccanismo selettivo, il cui instaurarsi è dovuto all'esistenza di un percorso più breve o a condizioni non omogenee di permeabilità o semplicemente al caso.

Un altro esempio dell'interdipendenza tra morfologia e tipo di meccanismo genetico è offerto dalla *corrosione per mescolanza d'acque*, studiata dal BOGLI 1964, in quanto tali mescolanze avvengono alla confluenza di due o più condotti idricamente attivi e quindi dipendono dalla connettività della rete idrica sotterranea.

Entrambi i meccanismi ora richiamati sono meccanismi complessi e i loro effetti morfologici devono quindi essere studiati a livello di forme complesse, oltre che di forme elementari.

Tutte le forme si situano dunque a vari livelli di complessità, di cui il superiore, per quanto riguarda il nostro studio, è il *sistema carsico sotterraneo*. Un tale sistema si può definire come un insieme di forme interconnesse, per il fatto di appartenere a un'unica rete idrica carsica ipogea.

Esso è dunque facilmente individuabile e delimitabile, così come abbiamo visto che lo sono le forme elementari. Ma tra questi due livelli estremi si situano altre forme con gradi di complessità diversi, difficilmente determinabili a priori. Per semplificare si possono tuttavia indicare quattro principali livelli di risoluzione delle forme carsiche sotterranee:

- 1) Il *sistema carsico* sotterraneo, come sopra definito.
- 2) Le *grandi zone* morfologiche del sistema, ascrivibili a condizioni e meccanismi genetici omogenei (p. es.: zona freatica, zona vadosa a scorrimento incanalato, zona vadosa di percolazione).
- 3) L'*associazione di condotti* (p. es.: la rete, la galleria o la successione di pozzi originati da una stessa corrente idrica).
- 4) Le *forme elementari*, come sopra definite (singolo condotto, cavità semplice, forme di dettaglio dell'erosione e del deposito, ecc.).

Va notato che aumentando il grado di complessità delle forme aumenta il numero delle variabili che entrano nei meccanismi genetici corrispondenti e in particolare aumenta il numero di queste variabili, che non si riferiscono più soltanto alle condizioni dell'ambiente ipogeo, ma che riguardano anche condizioni geografico-fisiche dell'ambiente esterno. Non bisogna infatti dimenticare che il sistema carsico, che per noi rappresenta il massimo livello di complessità, è in realtà un sub-sistema, il quale fa parte di geosistemi più complessi. Quando (a livello di sistema carsico) si parla di grotte di attraversamento, di *olocarso*, *merocarso*, ecc., si fa sempre riferimento a condizioni orografiche, tettoniche e idrografiche regionali (BOGLI 1949). Certe condizioni esterne agiscono però *direttamente* anche a livello di rete di condotti. È stato ad esempio osservata una tendenza allo sviluppo dei condotti sotterranei parallelo ai versanti e a poca distanza da essi, la quale si spiega col fatto che in questa zona la pressione esercitata dalla massa rocciosa sulle pareti delle fratture tettoniche è meno forte (DAVIES 1960). Fenomeni analoghi possono anche essere all'origine di forme elementari, come le *fentes de décollement* (spaccature per slittamento del versante) descritte dal RENAULT 1961.

Viceversa vi sono forme complesse dipendenti da meccanismi e da condizioni puramente locali ipogee. Un tipo di questo genere è la *forma di erosione regressiva*, risultante dal simultaneo arretramento e abbassamento di una serie di *pozzi-cascata* (forma elementare) disposti a gradinata lungo l'asse di un originario condotto freatico a forte inclinazione (DEMATTEIS 1963).

5. FORME COMPOSITE O SUCCESSIVE

Finora si è parlato di forme — elementari e complesse — come prodotte da meccanismi che si considerano sostanzialmente identici nel tempo⁽¹⁾. Ciò capita sempre per le forme elementari mentre nella realtà le forme non elementari oltre ad essere *forme complesse* nel senso sopra illustrato, possono essere anche unità morfologiche derivanti dal succedersi nel tempo di meccanismi diversi. A questa successione possiamo dare il nome di *processo speleogenetico* e alle forme che ne derivano quello di *forme composite o successive*.

Ad esempio una galleria può presentare nella volta i resti di un primitivo tubo di erosione freatica, per poi assumere in basso una forma a forra (erosione a pelo libero incanalata) a sua volta composta in relazione a diverse condizioni dello scorrimento idrico, con successione di meccanismi di erosione per arretramento di cascate e di insolcamento progressivo (a marmitte, a doccia rettilinea, a meandri, ecc.). Su queste forme di erosione si possono trovare relitti di varie forme di riempimento e infine, a varia altezza sulle pareti, solcature orizzontali, anse di meandri e simili, testimoni di fasi successive di scorrimento a diversi livelli, su riempimenti alluvionali, progressivamente incisi ed asportati. Lo stesso soffitto può essere stato parzialmente rimodellato con formazione di canali di volta (PASINI 1968).

Il risultato è la formazione di un condotto che, pur essendo unico nella realtà, è come il risultato della giustapposizione e sovrimposizione di più tipi di condotti, di cui rimangono parti residue a differenti altezze. Ognuno di questi può essere considerato come una forma distinta (in quanto prodotta da un diverso tipo di meccanismo — considerando le precedenti come condizioni strutturali del suo formarsi). Ma volendo invece studiare le relazioni di dipendenza che le legano, occorrerà prendere in esame il *processo* nel suo svolgimento storico e quindi — sul piano morfologico — la *forma composta* che ne deriva.

È evidente che quest'ultima è la prospettiva più completa per uno studio delle forme carsiche sotterranee, in quanto non solo collega la formazione delle grotte a singoli meccanismi elementari e complessi, ma an-

(1) A rigore ciò vale solo per le forme di equilibrio, mentre in realtà possono aversi forme giovanili differenti da queste, senza che il meccanismo cambi (si veda ad esempio l'evoluzione del tubo freatico da una sezione ellittica molto schiacciata a una sezione circolare).

che al succedersi nel tempo geologico di tali meccanismi, fin a ricostruire nella sua interezza il processo speleogenetico.

Un tale punto di vista globale permette inoltre alle ricerche speleomorfologiche di fornire un contributo sovente insostituibile allo studio dell'evoluzione del rilievo, dell'idrografia e del clima esterno. Non bisogna dimenticare infatti che l'ambiente sotterraneo essendo al riparo dalle forti alterazioni degli agenti atmosferici esterni, conserva nelle sue forme di erosione e nei suoi depositi una registrazione molto dettagliata delle varie fasi dell'evoluzione regionale (Ek 1961), mentre sovente all'esterno le stesse testimonianze sono state da tempo cancellate o sono più incerte.

Non bisogna però dimenticare che la ricostruzione di questi processi e perciò la corretta lettura delle forme composite non può essere affrontata senza una chiara conoscenza dei meccanismi e delle *forme elementari*. Allo stato attuale delle ricerche l'esatta definizione e classificazione di queste ultime sembra richiedere ancora un notevole lavoro d'indagine.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BOEGLI A., 1961, *Höhlenkarren*. Atti III Congr. Speleol. Internaz., vol. II, pp. 25-28, Vienna.
- BOEGLI A., 1964 - *La corrosion par mélange des eaux*. Int. Journal of Spel., vol. I, pp. 61-70, Weinheim.
- BOEGLI A., 1969 - *Probleme unterirdischer Verkarstung*. Studia Geogr., vol. V, pp. 57-69, Brno.
- BRETZ (J.) H., 1942 - *Vadose and phreatic features of limestone caverns*. Journ. of Geol., vol. 50, pp. 675-811, Chicago.
- BRETZ (J.) H., 1956 - *Caves of Missouri*. Pp. 490 (vedi parte I: pp. 13-37), Van Hoffman Press, Jefferson City.
- CHIESA P., 1963 - *Aspetti applicativi della speleologia. Le acque sotterranee carsiche*. Rass. Speleol. Ital., vol. XV, pp. 105-112, Como.
- CHOPPY J., 1965 - *La sédimentation du gaz carbonique*. Ann. de Spél., vol. XX, pp. 449-452, Moulis (Ariège).
- DAVIES W. E., 1960 - *Origin of caves in folded limestone*. Bull. Nat. Spel. Soc., vol. XXII, pp. 5-18, Washington.
- DE GASPERI G. B., 1915 - *Grotte e voragini del Friuli*. Mondo Sotterraneo, vol. XI, pp. 120-160, Udine.
- DEMATTEIS G., 1960 - *Le « forme semplici » come strumento di analisi nello studio della speleogenesi*. Grotte (ciclostil.), n. 13, pp. 28-43, Torino.
- DEMATTEIS G., 1963 - *L'erosione regressiva nella formazione dei pozzi e delle gallerie carsiche*. Atti IX Congr. Naz. Speleol. (Trieste 1963), Rass. Speleol. Ital., Mem. VII, tomo II, pp. 153-163, Como.
- EK C., 1961 - *Conduits souterrains en relation avec les terrasses fluviales*. Ann. Soc. Géol. Belg., vol. LXXXIV, pp. 313-340, Liegi.

- GÈZE B., 1965 - *La spéléologie scientifique*. Pp. 190, Éditions du Seuil, Parigi.
- KYRLE G., 1923 - *Grundriss der theoretischen Speläologie*. XVIII + 353 pp., Österreich. Staatsdruckerei, Vienna.
- MAUCCI W., 1961 - *La speleogenesi nel carso triestino*. Boll. Soc. Adr. Sci., vol. LI, (estr. pp. 22), Trieste.
- MONTORIOL POU S J., 1954 - *Resultados de nuevas observaciones sobre los procesos clásticos hipogeos*. Rass. Spel. Ital., vol. IV, pp. 103-118, Como.
- NANGERONI G., 1958 - *Dei criteri per la classificazione delle cavità sotterranee naturali*. Riv. Geogr. Ital., vol. LXV, pp. 372-377, Firenze.
- PASINI G., 1968 - *Osservazioni sui canali di volta delle grotte bolognesi*. Le Grotte d'Italia, ser., 4, vol. I, pp. 15-57, Bologna.
- RENAULT PH., 1953 - *Distinction des surfaces d'érosion et des plains de glissement mécanique en galerie de grotte*. Ann. Spél., vol. VIII, n. 3, pp. 112-117. Moulis (Ariège).
- RENAULT PH., 1961 - *Sur le caractère des fentes de décollement*. Ann. Spél., vol. XVI, pp. 49-59, Moulis (Ariège).
- SEGRE A., 1948 - *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*. Pubbl. Ist. Geogr. Univ. Roma, ser. A., n. 7, parte II, pp. 121-218, Roma.
- WARWICK G. T., 1962 - *The origin of limestone caves*. In: CULLINGFORD O. H. D. Ed. - *British Caving. An Introduction to Speleology*. 2^a ed., pp. 55-82, Routledge & Kegan Paul Ltd., London.
- WARWICK G. T., 1971 - *Caves and the ice age*. Trans. Cave Research Group of Great Britain, vol. IV, n. 2, pp. 125-159, Berkhamsted (G. B.).

DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

G. DEMATTEIS

CIGNA. Ringrazio molto l'amico DEMATTEIS e apro la discussione.

BOEGLI. Desidero mettere in evidenza che il giovane speleologo che visita per le prime volte una grotta non è in grado di dare spiegazioni di ciò che vede. Ma se lo si mette in grado di studiare e di lavorare in modo proficuo, potrà rapidamente fornire delle descrizioni accurate e critiche dei fenomeni osservati magari in luoghi di difficile accesso per i meno giovani, come me per esempio! Perciò auspico che questi giovani speleologi vengano messi in grado di descrivere le forme in modo da aiutarci a comprendere le grotte. Così si potranno formare dei veri esperti.

PASTORINO. Sono convinto che gli Atti di questo Seminario costituiranno, almeno per il prossimo decennio, uno dei testi fondamentali di Speleologia. Credo però che sarebbe molto utile ai giovani speleologi disporre di un prontuario o testoguida che possa metterli in grado di effettuare descrizioni scientifiche delle grotte, e propongo al Prof. DEMATTEIS di occuparsi della realizzazione di questo prontuario.

CIGNA. Già ieri MAIFREDI ha fatto presente l'opportunità di redigere una specie di catalogo degli elementi morfologici tipici delle grotte. Penso che alla fine tutte queste idee potranno convergere su qualche cosa di concreto.

BERTOLANI. DEMATTEIS ha posto una questione molto importante per la speleologia italiana in evoluzione, che non è più quella tradizionale, essendo maggiormente orientata in senso scientifico. Questo nuovo orientamento dell'attività speleologica italiana comporta spesso grossi problemi all'interno dei gruppi, dove si verificano conflitti tra i soci che intendono la speleologia solo come sport e quelli che la considerano appunto un'attività scientifica. Spero che questo Seminario serva a divulgare maggiormente presso gli speleologi italiani la speleologia scientifica, e a farne apprezzare l'interesse e l'importanza.

CIGNA. Non voglio sostituirmi a DEMATTEIS nella replica, ma desidero sin d'ora ringraziare il Prof. BERTOLANI per le sue parole, perché direi che hanno proprio centrato uno dei grossi problemi attuali. In effetti non possiamo che augurarci che dall'incontro che abbiamo avuto in questi giorni discenda un movimento che favorisca il riavvicinamento tra gli speleologi di diverse tendenze, e quindi una migliore utilizzazione delle forze disponibili.

MAIFREDI. Voglio anzitutto ringraziare DEMATTEIS per la sua interessantissima comunicazione. Per quanto riguarda i mezzi attraverso i quali interessare gli speleologi « sportivi » alla ricerca scientifica sono d'accordo con PASTORINO sull'utilità del prontuario, e invito a mia volta DEMATTEIS a redigere un manualetto delle forme semplici. Sarebbe comunque opportuno che gli speleologi, oltre a

descrivere la morfologia delle grotte, facessero qualche osservazione anche sui loro riempimenti, che vengono generalmente trascurati.

MAUCCI. Come dice il collega Prof. BERTOLANI, ci sono due tipi di speleologi in senso lato, e ciò crea dei problemi, diciamo così, per il progresso della speleologia. Accanto però allo speleologo sportivo, che io apprezzo e che può essere effettivamente molto utile se ben indirizzato e ben guidato, vi è anche un altro tipo di speleologo, colui che ha imparato qualcosa, leggiucchiando qua e là e ritiene di sapere tutto o quasi. Così noi ci troviamo talvolta di fronte a certe pretenziose relazioni che si prefiggono non soltanto di descrivere le grotte, ma anche di spiegarci da cima a fondo come si sono formate, criticando magari aspramente le persone che qualcosa ne sanno. Di solito il nome dell'autore è sufficiente ad orientarci sul grado di attendibilità di un lavoro, ma purtroppo non sempre l'autore è noto. Quindi vorrei raccomandare ai giovani speleologi di non dimenticare quanto siano complicati i problemi della speleologia, per cui anche gli specialisti possono non trovarsi d'accordo. È molto difficile arrivare a trarre delle conclusioni in questo campo ed è sempre pericoloso trarre conclusioni categoriche. D'altra parte questa constatazione non deve scoraggiare la ricerca: noi speleologi ormai da tavolino, che appunto per questo abbiamo un po' di esperienza dietro le spalle, possiamo indurre i giovani speleologi a non esagerare in presunzione, ma neppure in umiltà, cioè nel dire: « queste cose non le capirò mai, quindi è inutile che mi impegni ».

In fondo il Prof. BERTOLANI e anche l'amico DEMATTEIS hanno espresso il desiderio che questi esploratori delle grotte riportino dei dati, delle descrizioni il più possibile accurate. Bene, sta a noi chiedere che cosa vogliamo effettivamente, e quindi in questo senso è certamente opportuno che venga redatto un elenco delle forme elementari (elenco che io raccomanderei di limitare, proprio per uso pratico, all'aspetto morfologico, senza addentrarsi in problemi e in polemiche genetiche), ma è anche necessario informare gli esploratori dei problemi speleologici ancora insoluti e indirizzarli alla ricerca dei dati che potrebbero contribuire a risolverli.

CIGNA. In effetti un certo grado di umiltà nelle nostre ricerche, come in tutti i campi, è necessario. Tutti quelli che si accostano allo studio di un qualsiasi argomento devono sempre pensare che i risultati ottenuti, anche se rappresentano un progresso, non sono quasi mai definitivi.

Mentre si svolgeva la discussione il Prof. BOEGLI mi suggeriva una cosa estremamente centrata, e cioè in che modo possiamo fare quanto auspicato dal Prof. BERTOLANI. I cosiddetti esperti in pratica sono gli speleologi che ne sanno un pochino di più, perché hanno visto più cose, perché hanno studiato maggiormente certi fenomeni: ebbene questi speleologi dovrebbero portare i puri esploratori in grotta e cominciare a far notare loro certi fenomeni, a far riconoscere certe forme tipiche; in questo modo si può accendere anche l'interesse scientifico degli sportivi. È chiaro che alcune ricerche estremamente specializzate, ad esempio su un sedimento o un insetto cavernicolo, diventano terribilmente noiose per chi non abbia un interesse scientifico spiccato e sia maggiormente orientato verso una attività sportiva. Però se riusciamo a far vedere a un esploratore che cosa c'è dietro una certa forma, una certa stalattite, un qualsiasi fenomeno che sia nella grotta, questa persona potrà avvicinarsi allo studio del fenomeno stesso, all'oggetto che gli proponiamo.

Prego ora l'amico DEMATTEIS di rispondere agli interventi.

DEMATTEIS. Incomincio dall'osservazione del Prof. BOEGLI; io credo che in fondo siamo d'accordo, vorrei solo precisare meglio il mio pensiero. Noi vogliamo lasciare descrivere senza imporre degli schemi già prefissati, perché altrimenti la descrizione diventa una operazione meccanica la quale non dà nemmeno una grande soddisfazione a chi la fa e gli impedisce di portare il contributo della sua intelligenza a tutto il lavoro. Però ci sono dei limiti. Se noi andiamo in grotta con una persona che non sa niente di speleologia la sentiremo dire soltanto che un certo gruppo di concrezioni assomiglia a Garibaldi o a un

presepio. Evidentemente questa è una fase pre-scientifica. Quando entriamo nella fase scientifica? Quando, di tutte le possibili infinite osservazioni che si possono fare su un fenomeno, se ne scelgono alcune avendo già in mente che queste sono rilevanti al fine di spiegare il fenomeno stesso. C'è sempre una ipotesi in mente quando si fa un lavoro scientifico. Quello che suggerivo io era di precisare il meglio possibile alcune di queste ipotesi pur lasciando una grande libertà di descrizione.

Tanto per venire a una proposta più concreta, che si riallaccia anche a quanto è stato detto dopo, direi che si potrebbe ad esempio procedere nel modo seguente. Coloro che hanno partecipato a questo Seminario hanno già in mente alcune di queste ipotesi generali, hanno visto il modo di distinguere una forma da un'altra anche in base a piccoli particolari e sono quindi già in grado di cominciare queste osservazioni. Essi potrebbero animare piccoli gruppi, sparsi in tutta Italia, dediti ai rilevamenti geomorfologici sistematici di alcune grotte; questi rilevamenti dovrebbero essere naturalmente correlati da una legenda che precisi esattamente il significato dei termini e dei simboli impiegati, con eventuali riferimenti alla probabile genesi delle varie « forme » descritte. Si potrebbe poi fare una riunione informale, confrontare i risultati e quindi cominciare a compilare quella specie di catalogo di forme che, secondo PASTORINO, io dovrei preparare (ma io non mi sento assolutamente in grado: sono solo uno speleologo a tempo parziale!). Penso che anche una simile mobilitazione di tanta gente non specializzatissima in questa lavoro potrebbe servire a creare un interesse attorno al lavoro stesso. Resta da vedere se la Società Speleologica Italiana o qualcuno di buona volontà vorrà prendere questa iniziativa. Visto che ho fatto la proposta, io sono disposto a dare un contributo nel limite delle mie possibilità, di conoscenza e di tempo, nella speranza che anche molti altri lo diano.

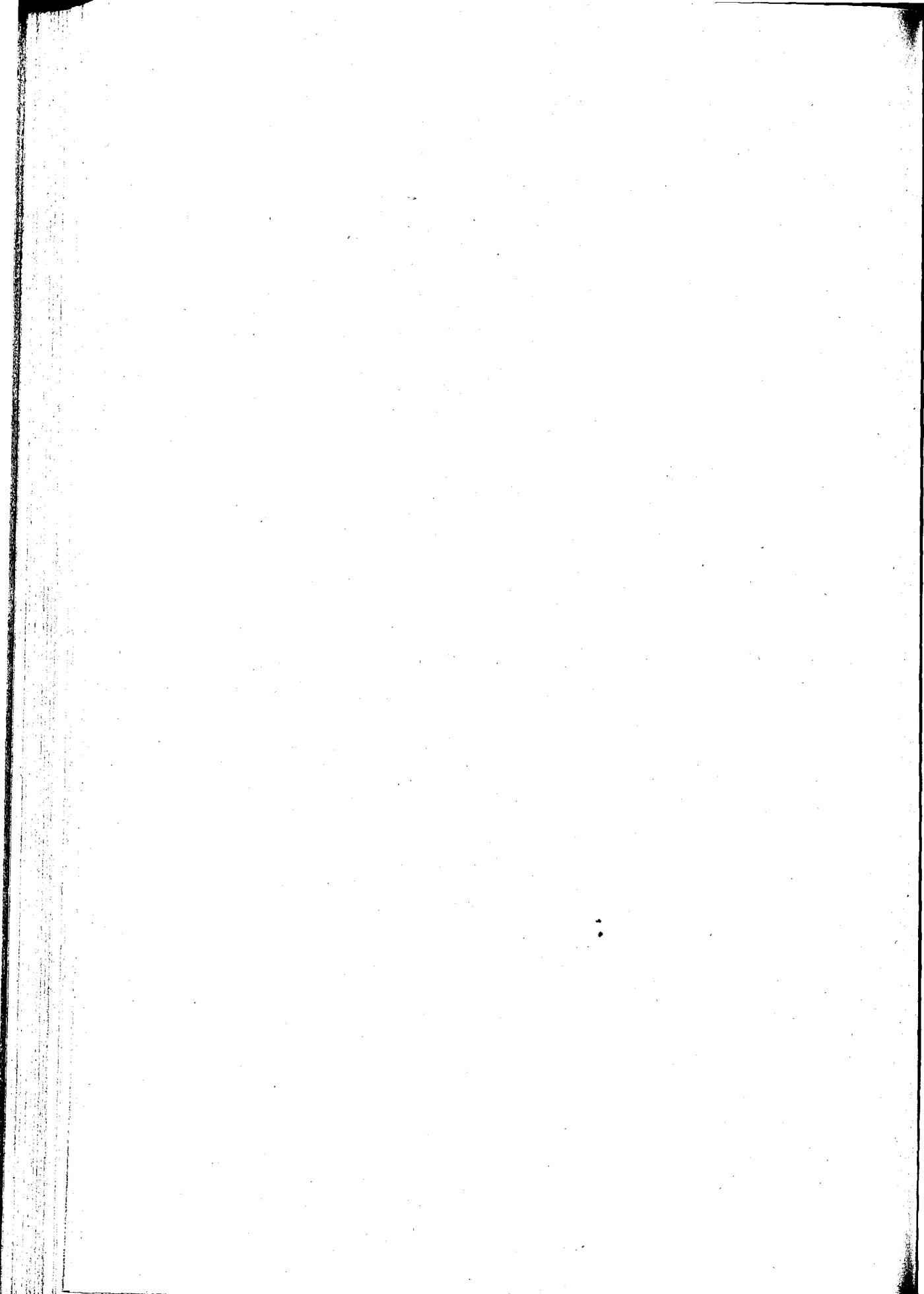
Mi sembra che l'intervento, molto interessante, del Prof. BERTOLANI ci rimandi ad un problema ancora più generale: cos'è la speleologia? E qualche cosa di ristretto agli addetti ai lavori, o finisce per essere una specie di attività sociale, un modo di fruire di questo bene naturale che sono le grotte? Io penso che anche molti speleologi sportivi potrebbero essere guidati alla ricerca scientifica, pur conservando le loro tipiche caratteristiche di simpatica spontaneità.

Lo studio dei riempimenti, sollecitato da MAIFREDI, è forse un po' più difficile. Personalmente non ho sviluppato questo aspetto delle ricerche speleologiche, ma convengo sull'opportunità di effettuare almeno una descrizione sommaria dei sedimenti che si rinvengono nelle grotte. Consiglierei però di evitare il più possibile le campionature quando non si conoscano a sufficienza la tecnica e le precauzioni necessarie per raccogliere certi campioni, e quando non si sia sicuri che il materiale raccolto potrà essere studiato.

A quanto ha detto il Prof. MAUCCI ho poco da aggiungere, perché sono perfettamente d'accordo. Non è un male che persone non preparate tentino di fare delle ipotesi scientifiche: l'importante è che se le tengano per sé e che non trovino qualcuno disposto a pubblicare queste cose quando non meriterebbero di essere pubblicate. Quindi forse il controllo si potrebbe fare a questo livello, evitando di reprimere la fantasia dello speleologo ignorante che, col tempo, potrà capire che certe sue opinioni erano solo frutto della inesperienza, e potrà pian piano aggiustare il tiro fino ad arrivare magari a formulare ipotesi giuste e verificabili.

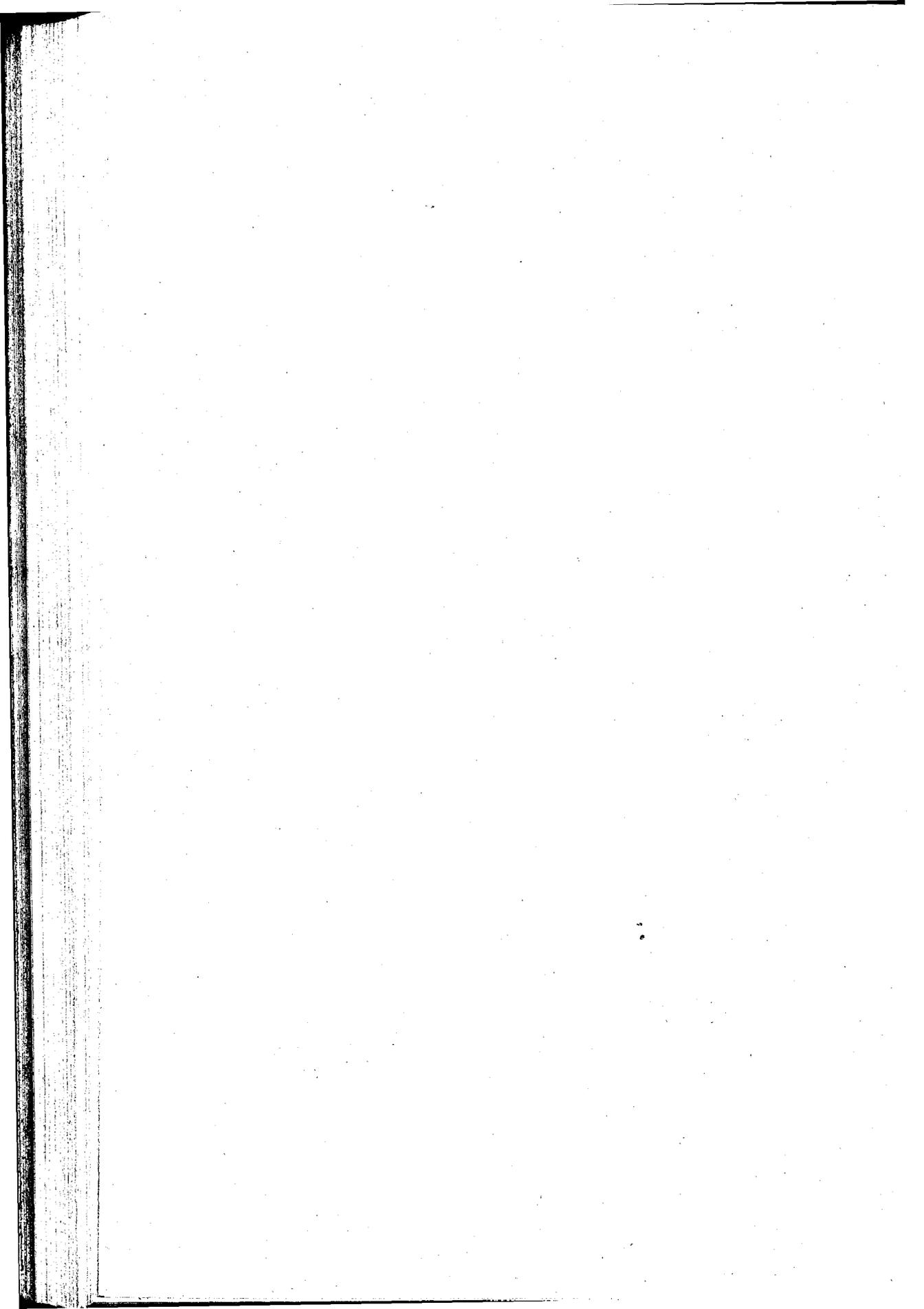
Anche su quanto diceva CIGNA sono perfettamente d'accordo. Io penso che potremmo metterci su questa strada abbastanza realistica: in fondo è quello che già facciamo. Grazie.

CIGNA. Io ringrazio l'amico DEMATTEIS e gli intervenuti, anche per l'impegno che hanno preso a collaborare per la divulgazione della speleologia scientifica. Senz'altro la Società Speleologica Italiana può farsi promotrice di una iniziativa di questo genere, il cui successo dipende però, ovviamente, dall'impegno dei soci.



SESTA SEDUTA

Pomeriggio del 7 Ottobre 1972



GIULIO CAPPA (*)

CONSIDERAZIONI SULL'APPLICABILITÀ
DELLE TEORIE EVOLUTIVE
DEL FENOMENO CARSIKO IN ZONE
A FORTE PERTURBAZIONE TETTONICA

RIASSUNTO - Le principali teorie sulla genesi e sullo sviluppo delle grotte ebbero origine da ricerche prevalentemente compiute in aree caratterizzate da calcari omogenei e con giacitura poco perturbata, cioè là dove i disturbi geologici e tettonici non sono importanti né troppo concentrati. La loro applicazione ad aree differenti non è sempre immediata: si incontrano talora notevoli difficoltà in presenza delle sopradette perturbazioni.

Si forniscono alcune considerazioni sulle possibili correlazioni tra i principali tipi di perturbazione e i processi speleogenetici, sottolineandone le possibili modificazioni. Le osservazioni compiute in alcune grotte delle Prealpi Lombarde consentono di analizzare alcuni fenomeni interessanti e poco comuni.

SUMMARY - The main theories of cave formation and development were originated by studies usually carried on in areas of omogeneous and undistorted limestones, where geologic and tectonic disturbances are neither important nor too much abundant. Their application to different areas is not everywhere immediate: particular troubles are found in combination with the above-mentioned disturbances.

A few considerations are given about possible correlations between the main types of disturbances and the processes of cave development, outlining their possible modifications. Reports concerning the caves of Prealps in Lombardy describe some unusual and interesting phenomena.

PREMESSA

Ciascuna delle note teorie evolutive ha avuto origine da osservazioni compiute in determinate aree, caratterizzate da:

(*) Società Speleologica Italiana, Gruppo Grotte C.A.I.-S.E.M. Milano.

- notevole omogeneità di fenomeni carsici;
- prevalenza netta di un dato tipo di meccanismi evolutivi.

Praticamente, queste condizioni possono essere incontrate solo in aree tettonicamente poco perturbate e geologicamente omogenee.

L'applicazione delle varie teorie, al di fuori della loro regione d'origine, incontra spesso difficoltà. Tuttavia, almeno per le più importanti, è stata ormai accertata la loro validità generale. Ciò non esclude che, in determinati ambienti, lo studioso possa trovarsi perplesso perché incontra fenomeni che non gli è facile ricondurre nelle schematizzazioni note. Questo avviene più sovente nelle aree geologicamente e, soprattutto, tettonicamente molto complesse o perturbate.

Si cercherà, nella presente esposizione, di definire i principali fattori di perturbazione, la loro influenza sui classici processi evolutivi del fenomeno carsico e si accennerà ad alcuni casi particolari che possono essere ritenuti esemplificativi.

Le considerazioni esposte derivano in gran parte dalle osservazioni effettuate studiando alcune regioni tipicamente perturbate, come le Prealpi lombarde, occidentali e centrali, campo preferito di studio degli speleologi milanesi. È opinione di chi scrive che sull'argomento si possa dire infinitamente di più: queste righe intendono essere un invito ad approfondire tali argomenti e ad estendere le osservazioni al di là dei fenomeni di facile interpretazione; non pretendono certo di costituire un panorama di conclusioni, neppure parziale.

1 - FATTORI DI PERTURBAZIONE

1.1 *Geologici* - Sono prevalentemente di quattro tipi:

- grandi zolle di rocce carsificabili inglobanti o interrotte da piccole masse insolubili;
- piccole zolle di rocce carsificabili annegate in rocce insolubili;
- rapida successione di rocce di epoche differenti, tutte carsificabili ma aventi caratteristiche, dal punto di vista del fenomeno carsico, differenziate. Rientrano in questo caso le rocce con inclusioni poco solubili minutamente diffuse, come i calcari selciferi;
- rocce aventi composizione (chimica) sensibilmente variabile da un punto all'altro.

1.2 *Tettonici* - Possono essere suddivisi in funzione delle principali forme di disturbo connesse con l'orogenesi:

- stratificazione regolare, ma con pendenza notevole (oltre 30°); la classe può essere suddivisa ulteriormente in:
 - strati a notevole pendenza (intorno a 45°);
 - strati sub-verticali (da 60° a 90°);
- stratificazione contorta, con presenza di frequenti sinclinali ed anticlinali; si può distinguere i casi:
 - distanza tra sinclinali ed anticlinali di molte centinaia di metri, ma con forti dislivelli;
 - contorsioni locali (distanza ridotta a poche decine di metri);
 - contorsioni estreme (stratigrafia localmente capovolta, ad esempio);
- fratturazione estremamente densa e/o con varie direzioni:
 - sub-verticali (60°-90°);
 - inclinate (inferiori a 60°);
 - scorrimenti d'interstrato;
 - faglie a forte rigetto o accompagnate da ampie zone disturbate.

1.3 *Esterni*:

- orografia molto marcata, con dislivelli di oltre 500-1000 m su distanze planimetriche dello stesso ordine di grandezza;
- forti variazioni di livello delle falde interne per effetto di particolari regimi idrici esterni (stagionali).

2 - MECCANISMI EVOLUTIVI CLASSICI

I meccanismi evolutivi (tipici delle zone omogenee e non perturbate) presi in esame sono:

2.1 *Senza pressione* (a pelo libero o gravitazionali):

- Erosione inversa;
- Erosione vadosa canalizzata.

2.2 In pressione:

- Corrosione per miscela di acque.
- Erosione artesianiana nelle risorgive « valchiusane ».

3 - ALTERAZIONI INDOTTE SUI MECCANISMI EVOLUTIVI DALLE PERTURBAZIONI

3.1 *Erosione inversa*: solo localmente influenzata dall'inclusione di piccole masse insolubili nelle zolle carsificabili, risente notevolmente di un'eventuale copertura estesa di rocce insolubili e non si presenta praticamente nelle zolle calcaree di limitatissima estensione o molto sfrangiate.

Come già rilevato da MAUCCI, il fenomeno è più diffuso là dove la stratificazione è più regolare e sub-orizzontale; la presenza di strati a forte pendenza (intorno a 45°) tende ad impedire la formazione dei fusi ma la percolazione d'interstrato può dare luogo alla formazione di pseudogallerie a laminatoio obliquo, secondo un meccanismo che è riconducibile al principio dell'erosione inversa (fig. 1)⁽¹⁾.

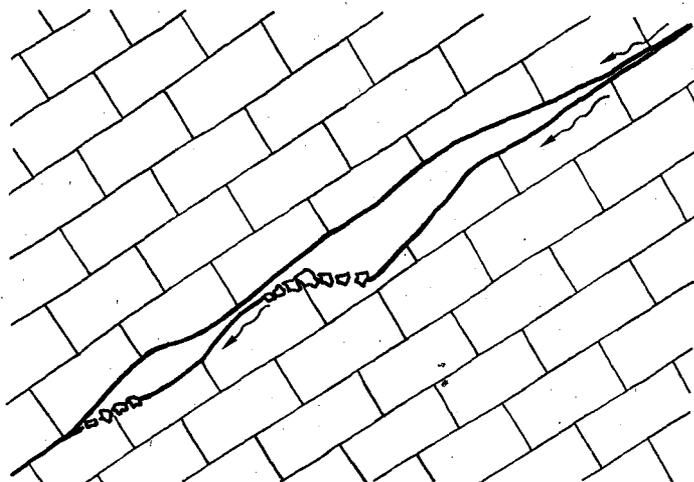


Fig. 1 - Pseudo-galleria a laminatoio escavata per erosione inversa d'interstrato.

(1) Molte gallerie di sezione simile a quella di fig. 1 sono originate da corrosione

Con strati sub-verticali torna frequente il caso di formazione di cavità verticali, sostanzialmente allargate da fenomeni di erosione inversa ma a cui si sovrappongono altre azioni « dirette », per dar luogo ad ambienti raramente « fusiformi ».

La fratturazione verticale, come è noto, favorisce l'erosione inversa; nei casi in cui la fratturazione è molto fitta, il fenomeno assume però forme meno vistose per la mancanza di veri e propri fusoidi ben delimitati. La presenza di faglie, specie se oblique o affiancate da ampie fasce di roccia brecciata, può alterare lo sviluppo dei fusoidi.

La presenza di forti dislivelli esterni, se non è accompagnata da altri fattori, non è di per sé di alcun ostacolo, anzi se mai favorisce l'erosione inversa e le sue forme più complesse (retroversioni a vari livelli).

Il più serio ostacolo apparirebbe invece costituito dalla stratificazione contorta o dalla presenza di inclusioni meno solubili, molto fitte e di forma lenticolare piana (esempio: calcari selciferi molto impuri). In questi casi tendono a formarsi reticoli di tipo fluviale, con alternanza di gallerie in pressione ed a pelo libero (v. paragrafo 3.2) e le grandi spaccature verticali presentano scarse tracce di evoluzione riconducibile alla teoria dell'erosione inversa.

3.2 *Erosione vadosa canalizzata*: con strati a giacitura piana regolare si sviluppano sovente anche grandiosi sistemi di cavità, caratterizzati da gallerie sub-orizzontali, disposte su più piani e collegate da pozzi o altre forme di salti a forte pendenza. Anche, nella maggior parte dei casi, le gallerie apparentemente oblique sono in realtà costituite da una rapida successione di salti verticali e tratti orizzontali, fusi insieme.

Nelle zone a considerevole (ma non eccessiva) perturbazione tettonica si incontrano invece cavità complesse, ricche di gallerie aventi le più svariate inclinazioni (generalmente comprese entro il limite della pendenza degli strati), di forme complesse, con caotica alternanza di pozzi, gallerie, sale, cunicoli e strettoie, sifoni e rami fossili. È stato osservato che la giacitura degli strati gioca un ruolo determinante

per miscela di acque. Tuttavia, specie con strati a forte pendenza, si incontrano anche casi che possono essere ricondotti ai fenomeni di erosione inversa: le due forme si differenziano per la struttura della parte sommitale della fenditura e della volta della galleria.

e che, in particolare, alcune anomalie come i sifoni possono essere connesse con la presenza di sinclinali localizzate: numerosi esempi possono essere osservati nel sistema delle Grotte Tacchi e Zelbio (triangolo lariano) il cui studio e rilievo sono di prossima pubblicazione.

Fratture e faglie sono, a questi effetti, cause assai meno perturbanti: generalmente esaltano la formazione dei sistemi verticali ad erosione inversa e pilotano l'andamento generale della cavità, regolarizzandolo; la loro presenza è spesso immediatamente deducibile dall'osservazione dei rilievi.

La presenza di un'orografia esterna molto marcata sembra favorire, nelle rocce con strati a forte pendenza, la formazione dei sistemi sotterranei complessi. Può dare luogo anche a casi particolari piuttosto eccezionali (v. paragrafi 5.1 e 5.2). Naturalmente, in tali circostanze, basta la presenza di qualche sifone o strettoia per determinare notevoli variazioni di livello idrico (anche 150-200 m) in alcune parti delle cavità e in coincidenza di precipitazioni esterne molto intense. Si verifica pertanto la riattivazione temporanea (che, in vari casi, può essere definita anche periodica) di gallerie generalmente fossili, con azioni di ringiovanimento e trasformazione o la formazione di fenomeni particolari (v. paragrafo 5.3).

3.3 *Corrosione per miscela di acque*: la presenza di perturbazioni dovrebbe facilitare la possibilità di incontro di acque aventi caratteristiche molto differenziate e favorire pertanto tali forme di evoluzione delle cavità. Le particolarità morfologiche di molti ambienti in grotte, come il già citato sistema Tacchi-Zelbio, molto irregolari, sembrano confermare tale supposizione.

3.4 *Erosione artesian*: anche questa forma sembra favorita dalla presenza di perturbazioni. È interessante constatare, in profondità all'interno di alcune cavità, l'esistenza in zone ristrette di chiari segni di tale erosione; ad esempio: gallerie ascendenti a sezione circolare con marmitte e sculture alveolari (scalops), che collegano un ramo attivo inferiore a vasti ambienti, oggi semi-fossili, più elevati. Disturbi locali, strati inclinati, sinclinali marcate e di piccola estensione possono facilmente provocare la formazione di tali sistemi interni che, negli ambienti normali, si sviluppano generalmente solo in corrispondenza dello sbocco dei complessi freatici.

4 - CAUSE DI DIFFICOLTÀ INTERPRETATIVA DELLA STORIA DI UNA CAVITÀ

Capita che alcuni fattori perturbanti si sviluppino in epoca successiva alla formazione, almeno parziale, della cavità. Essi allora determinano alterazioni strutturali che rendono arduo il compito di chi intende ricostruire l'origine e la storia evolutiva della cavità.

Un tipico esempio è dato dall'influenza delle glaciazioni: esso si applica nella maggior parte dei grandi complessi sotterranei situati nelle regioni prealpine. In questi casi l'azione delle glaciazioni appare quadruplici:

- inversione del senso di scorrimento delle acque interne in prossimità dei *punti terminali di risalita* del ghiacciaio principale nelle valli collaterali più basse e nelle grotte conformate a sorgente valchiusana (sbocco con gallerie in risalita);
- conseguente riempimento di cavità (tanto originariamente che nello stato attuale emittenti corsi d'acqua) con depositi morenici, probabilmente accentuato nella fase di ritiro dei ghiacciai, e creazione di nuovi bacini imbriferi per la formazione di cordoni morenici esterni;
- ritorno del regime idrico della cavità da vadoso a freatico;
- netto abbassamento susseguente dei fondovalle e quindi delle falde freatiche, per l'escavazione delle valli esistenti e la formazione di nuove direttrici di deflusso.

5 - CASI PARTICOLARI

5.1 *Cavità che intersecano valli attuali*: possono essere interpretate alla luce delle esposte considerazioni sulle differenze tra l'orografia preglaciale e quella attuale; per quasi tutte le importanti cavità delle prealpi lombarde è stata dimostrata un'origine largamente pre-glaciale, quindi terziaria, e la loro impostazione di base si connette spesso con l'orografia pre-glaciale, di cui sono testimoni numerose valli discordanti con il resto dell'orografia attuale e spesso chiaramente « sospese » e troncate sia a monte che a valle. Un esempio tipico si ha nel sistema delle grotte Niccolina, Tacchi, Zelbio e Falco della rupe, nella valle del Nosè (triangolo lariano).

5.2 *Casi di biforcazione idrica interna*: esempi tipici si trovano nel Buco del Castello di Roncobello (val Brembana) e nell'Antro di Corchia (Al-

pi Apuane). Si può supporre che, ad un'epoca di formazione di un reticolo carsico di tipo fluviale intorno ad una falda molto più elevata dell'attuale, sia succeduta una fase di rapido abbassamento delle falde esterne, ad esempio del tipo sopracitato, o l'intervento di un fattore tettonico (movimento di faglia, per esempio), che ha innescato un fenomeno verticale, con conseguente spezzamento del corso unico e sub-orizzontale iniziale in una serie di sistemi verticali non necessariamente tutti confluenti in un'unica direzione.

5.3 *Depositi sabbiosi permanenti*: nelle prealpi lombarde sono tipici delle Grotte Masera, Tacchi-Zelbio, Buco della Volpe. Lo schema fondamentale è illustrato dalla figura 2. Essi appaiono connessi con sifoni « pensili », in gallerie fossili ma periodicamente attive; si trovano nella par-

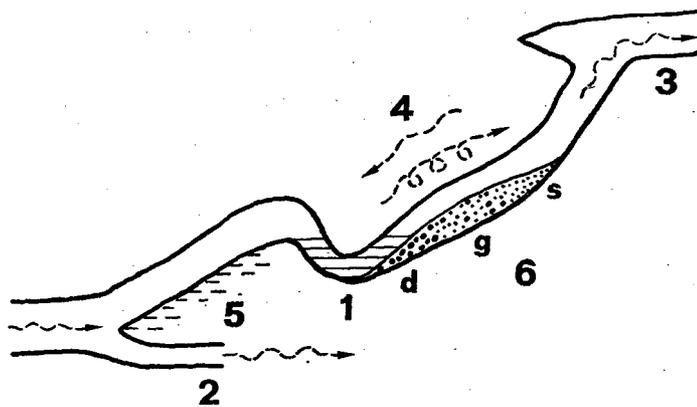


Fig. 2 - Schema di cavità contenente un deposito sabbioso stabile. 1) sifone pensile; 2) esutore perenne (con sezione strozzata); 3) esutore fossile; 4) flusso delle acque durante le piene: salita vorticoso, discesa regolare; 5) argille; 6) deposito permanente: s = sabbia, g = ghiaia, d = detrito grossolano.

te a monte del sifone. Il movimento delle acque determinato da ogni piena provoca un violento sconvolgimento dei detriti che, conseguentemente, si triturano ma, a causa del forte dislivello che sovrasta il sifone « pensile », solo le particelle più minute (limo) riescono ad essere asportate. Quando il livello delle acque cala, si assiste ad una deposizione regolare e stratificata dei detriti (i più minuti in alto, poi in basso le sabbie e infine, presso il sifone, le ghiaie e i detriti più grossolani); il sifone (o altre sottostanti strozzature) agisce da regolatore di deflusso e frena i moti vorticosi mentre la liberazione di

bolle d'aria provoca un sistema di onde di spiaggiamento sul deposito sabbioso. I segni d'erosione violenta (sculture alveolari-scallops) sulle pareti e la volta sono generalmente indice di sole correnti ascendenti.

La sabbia dunque risulta di origine locale e si mantiene granulometricamente selezionata in modo naturale. Questi depositi non si formano là dove mancano i presupposti (forma della galleria, salita rapida e vorticoso delle acque, discesa lenta), per esempio dove il sifone è sostituito da un lago ad ampia sezione.

6 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Combinando opportunamente le varie schematizzazioni dei processi evolutivi elementari si riesce a spiegare anche forme molto complesse, connesse con disturbi locali importanti. Tuttavia, dato che non è vero « a priori » che i vari meccanismi evolutivi agiscano come variabili indipendenti ma è, anzi, probabile che esistano tra loro non trascurabili effetti di interazione, ci si deve attendere in tali casi l'insorgenza di fenomenologie originali.

Il loro studio è appena iniziato; occorrerà proseguirlo, perché porterà certamente a varie interessanti scoperte.

OPERE CITATE

- BOEGLI A., 1968 - *La corrosione per miscela d'acque*. Atti e Mem. della Comm. Grotte « E. Boegan », vol. VIII, 12 pp., 3 fig., 4 tab., 4 tav., Trieste.
- CAPPA G., 1970 - *La grotta Masera di Careno (Nesso, lago di Como) e il suo sistema idrografico*. Atti Soc. It. Sc. Nat., vol. 110, 1, pp. 39-61, 1 fig., 1 tav., Milano.
- MAUCCI W., 1952 - *L'ipotesi dell'erosione inversa come contributo allo studio della speleogenesi*. Boll. Soc. Adr. Sc. Nat., vol. XLVI, 60 pp., 26 fig., Trieste.
- SAMORÈ T., 1969 - *Osservazioni sui moti ondosi nella Masera*. Il Grottesco, 19, pp. 13-15, 4 fig., Milano.
- WARWICK G. T., 1962 - *The origin of limestone caves*. In: CULLINGFORD O. H. D. Ed. - *British Caving. An Introduction to Speleology*. 2^a ed., pp. 55-82, 9 fig., Routledge & Kegan Paul Ltd., London.

DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

G. CAPPA

CIGNA. Ringrazio l'amico CAPPA per aver svolto questa comunicazione su un tema abbastanza complicato. È stato molto abile sia a contenerla nel tempo previsto, sia nel trattare a fondo tutte le particolarità di certe situazioni un po' fuori dalla norma, come è anche — ed in particolar modo — quella della regione che ci ospita attualmente. Passiamo ora alla discussione.

LAURETI. Per quanto riguarda la presenza di riempimenti, vorrei chiedere se essi si comportano in grotta attivamente o passivamente. Dovrebbe esistere la possibilità che, specialmente in presenza di moti vorticosi o turbolenti dell'acqua, si provochi un violento sconvolgimento dei detriti i quali, una volta portati in sospensione, potrebbero esercitare, soprattutto se sabbiosi, una certa azione erosiva sulle pareti stesse della cavità, contribuendo quindi a cambiarne in un certo senso la morfologia.

Sempre a proposito dei riempimenti, si accenna alla granulometria di questi sedimenti: vorrei chiedere se sono mai state compiute analisi, per stabilire la diversità tra la morfometria dei granuli dei riempimenti interni alla cavità e quella di detriti simili che si possono trovare all'esterno, per esempio in un alveo fluviale o lacustre; vorrei anche sapere se si è fatta qualche analisi sulla natura litologica del detrito, anche per stabilirne la provenienza, cosa che potrebbe essere utile ai fini di una delimitazione dei rapporti con l'idrografia esterna, o per avere dati sulla paleoidrografia.

PASQUINI. Una precisazione ed una segnalazione. La precisazione è che non mi sembra che al Corchia vi sia una diversione di corso d'acqua: si tratta di due corsi d'acqua ben distinti come origine e, quasi sicuramente, anche come punto d'arrivo.

La segnalazione si riferisce al caso della grotta che passa sotto ad una valle, con livelli idrici indipendenti: forse uno dei più salienti è quello che si osserva in Francia, al Berger. Il fondo del Berger è pressapoco 200 metri al di sotto della centrale elettrica: quindi, a partire dalla sala a 800 metri di profondità, il Berger è sotto il livello di base della gola del Furon e, per giunta, è sovrastato da un serbatoio idroelettrico: è chiaro che si tratta di due sistemi assolutamente indipendenti. Credo che, malgrado la zona abbia un forte disturbo tettonico (perché è presente una grande piega-faglia su cui si è impostata prima la valle glaciale, quindi il ringiovanimento dell'attuale gola che prosegue seguendo la faglia sopra l'abitato di Sassenage), si tratti di calcari talmente marnosi ed arenacei da risultare veramente impermeabili per le acque della valle soprastante.

TRIMMEL. Ringrazio il collega CAPPA per le indicazioni generali sulle Alpi meridionali, la cui situazione è del tutto analoga a quella delle Alpi austriache. Nelle Alpi settentrionali e centrali è generale il caso di una situazione geologi-

ca e tettonica abbastanza complessa. In queste condizioni è quasi impossibile riconoscere le forme elementari di cui abbiamo parlato questa mattina; anche l'interpretazione della storia delle grotte diventa complicata. Non basta distinguere tra gallerie fossili ed attive: sappiamo che occorre distinguere i vari cicli dell'evoluzione carsica verosimilmente connessi con i cambiamenti di clima nel Pleistocene.

Mi permetto d'aggiungere, per spiegare questi concetti teorici, un esempio generalizzato di un sistema delle nostre Alpi, quello del Dachstein. Là il calcare sembra a prima vista omogeneo ma, in realtà, presenta variazioni quasi ritmiche della composizione chimica: ogni 30 m circa è presente uno strato un po' più dolomitico degli altri ed il reticolo delle gallerie della Dachstein-Höhle, con i suoi 24 km di sviluppo attualmente rilevati, è puntualmente connesso con questo fenomeno. La situazione è resa complessa da numerose fratture e si incontrano pozzi aventi un dislivello fino a 100 m, che collegano parti di grotta suborizzontali non dipendenti da un livello di base. La quota della superficie esterna oscilla tra i 1600 e i 2000 m; il punto più basso della grotta si trova a circa 1100 m e quello più alto a 1550 m: il dislivello è dunque sui 450 m. Le risorgenze sono a circa 600 m; non se ne conoscono a quota inferiore. La regione è stata interessata da varie glaciazioni durante il Pleistocene e nella grotta esistono pozzi e gallerie completamente riempiti di materiale morenico, parte divenuto compatto (breccie) e parte fluitato lungo le altre gallerie. Il fatto interessante è che la circolazione sotterranea delle attuali acque piovane non inizia dalle vie classiche, a partire dalle doline, che sono state completamente tappate da morene risalenti anche a glaciazioni precedenti l'ultima, ma attraverso strette diaclasi che hanno dato vita ad un nuovo reticolo idrografico sotterraneo completamente indipendente da quello originario. Qualche volta il nuovo reticolo, arrivando a contatto delle gallerie preesistenti, vi si innesta; ma l'acqua riscompare poco oltre, infiltrandosi in qualche diaclasi. In altri casi le acque del nuovo reticolo hanno dato vita ad erosioni tipo « canyon » lungo le gallerie preesistenti. Il secondo ciclo dell'evoluzione carsica, spesso ancora allo stato embrionale, ha dunque caratteristiche completamente diverse dal precedente.

Penso che questo esempio, molto generalizzato e semplificato, possa dare un'idea della complessità dei problemi inerenti i fenomeni carsici, glaciali, idrologici sotterranei che incontriamo nelle regioni alpine.

CAPPA. Mi scuso di non essere stato abbastanza preciso con la descrizione dei depositi sabbiosi: sono contento che le domande di LAURETI mi permettano di completarla. La sabbia risulterebbe prevalentemente costituita da detriti della roccia incassante: PAREA lo ha verificato per la Grotta Masera, nella cui sabbia, tuttavia, si trova una certa percentuale di elementi cristallini dovuti allo sminuzzamento dei detriti morenici, tuttora visibili nella galleria iniziale superiore. In altri casi, come nella Grotta Zelbio, il riempimento morenico è trascurabile per la ristrettezza dell'ingresso e la sua posizione: la sabbia dovrebbe allora essere totalmente autoctona, e si potrebbe supporre l'esistenza di un ciclo che assicura la permanenza di un deposito sabbioso costante, perché la sabbia stessa eroderebbe le pareti, distaccandone frammenti che verrebbero poi progressivamente sminuzzati, mentre le acque delle piene periodiche provvederebbero ad asportare i detriti più minuti (limosi ed argillosi). Questi fenomeni possono localizzarsi solo là dove la morfologia generale, l'inclinazione delle gallerie, i dislivelli, la sezione delle gallerie e dei sifoni e il regime idrico sono tali da garantire l'equilibrio tra la generazione e l'asportazione dei detriti. Geologicamente parlando, l'ultima glaciazione è un fenomeno molto recente; però, ben conoscendo la violenza di certe piene, sarebbe difficile pensare che i depositi possano sopravvivere anche per poche migliaia d'anni se non si verificano le anzidette condizioni d'equilibrio.

L'erosione delle pareti è caratterizzata dalle sculture alveolari (*scallops*); è verosimile che la sabbia vi dia un notevole contributo, tuttavia non è provato. Non saprei in conclusione dire se il riempimento gioca un ruolo prevalentemente

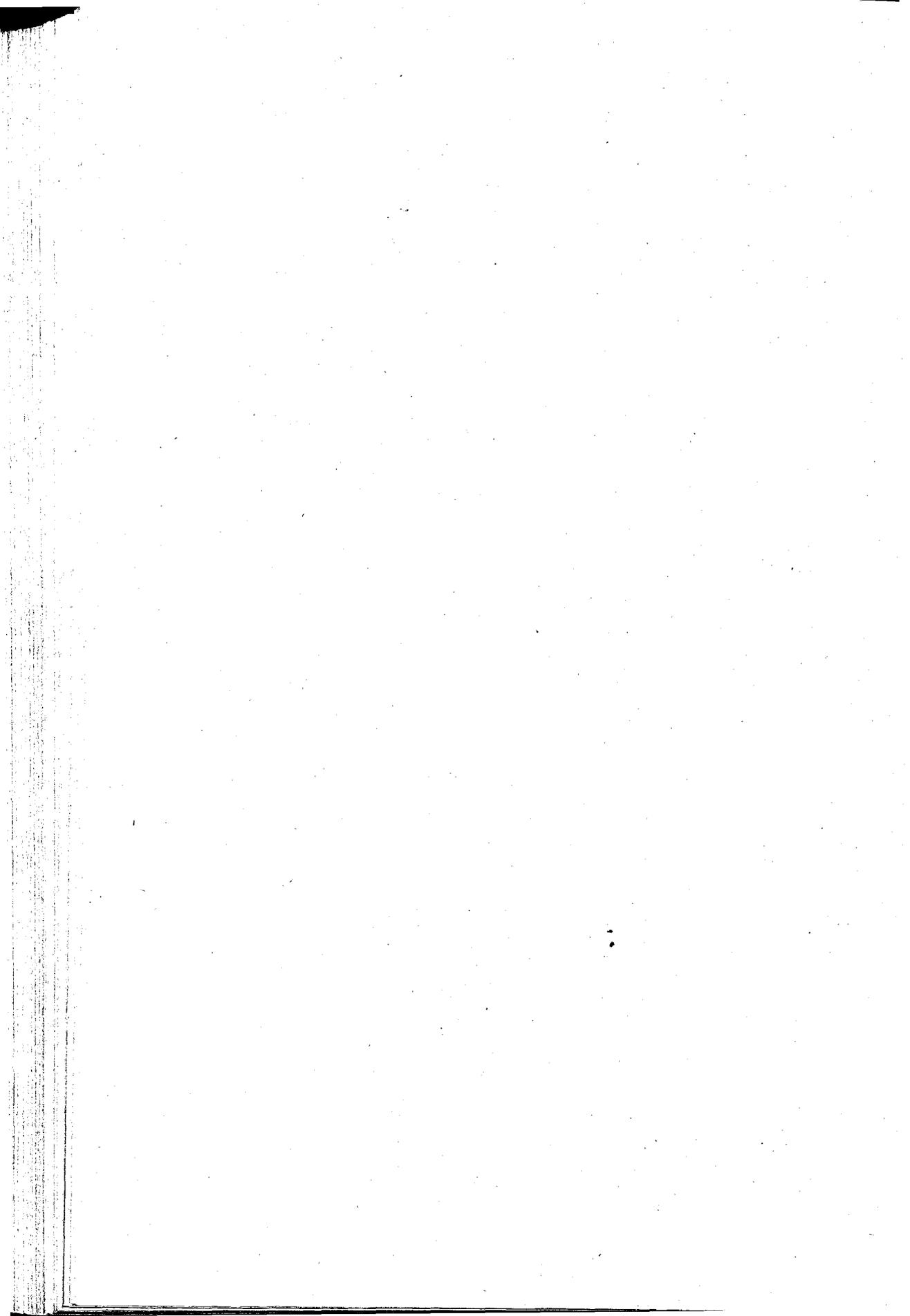
attivo o passivo: certo esso è al tempo stesso figlio e padre della grotta.

Da quando PAREA si è trasferito a Modena, non sono più stati compiuti molti studi sulla morfometria delle sabbie: ci si è, essenzialmente, limitati a seguire per parecchio tempo l'andamento del livello delle acque nella Masera, disponendo a varie quote numerose vaschette, che si riempiono quando l'acqua le raggiunge. Si provvede a verificarle e svuotarle dopo ogni periodo piovoso: in base ai sedimenti che vengono trovati al loro fondo si può avere un'idea del livello a cui giungono, durante le piene, i detriti in funzione delle loro dimensioni. Percorrendo la galleria si osserva che il suo pavimento è coperto da argilla nella parte superiore; il deposito sabbioso si trova invece nella metà inferiore, dal sifone pensile in su, e le dimensioni dei granuli sono dell'ordine del millimetro. Nel tratto che discende dal sifone pensile al ramo attivo si trovano invece ghiaie con elementi aventi diametri prossimi al centimetro.

Rispondendo all'intervento di PASQUINI, preciso che non intendevo dire che il corso d'acqua attuale si biforca: noi troviamo in effetti due corsi separati nell'Antro del Corchia; però, dato che la grotta è unica, deve essere esistita una epoca in cui l'acqua ha creato le gallerie che congiungono i due sistemi attuali. C'è stata dunque, verosimilmente, una causa tanto grossa da deviare completamente un preesistente corso; successivamente gli affluenti più a valle del punto di cattura hanno mantenuto in vita anche il paleocorso, che tuttavia è diventato più modesto. Così nel ramo nuovo del Buco del Castello troviamo verso il fondo notevoli depositi argillosi: la loro presenza può essere dovuta al fatto che, dopo la cattura del corso principale, le acque che raggiungono questo tratto della grotta hanno una portata troppo ridotta per asportare tali depositi.

Ringrazio infine il prof. TRIMMEL delle aggiunte e segnalazioni. Effettivamente la nostra zona carsica alpina è molto modesta in estensione, perché nel massiccio centrale delle Alpi, a differenza che nelle Prealpi, abbiamo solo qualche ristretta area calcarea, spesso metamorfica. Invece in Austria sono noti fenomeni carsici estremamente ricchi ed estesi che, purtroppo, molto spesso dimentichiamo nelle nostre trattazioni.

CIGNA. Ringrazio di nuovo l'amico CAPPA e vi presento la mia comunicazione, che è l'ultima di quelle in programma.



ARRIGO A. CIGNA (*)

CONSIDERAZIONI SULLE TEORIE SPELEOGENETICHE

RIASSUNTO - Nella prima parte del lavoro vengono esposte le più importanti teorie speleogenetiche, mettendo in evidenza i loro aspetti comuni.

In particolare viene sottolineato il fondamentale contributo alla soluzione dei problemi speleogenetici dato dalla teoria di BOEGLI, richiamando anche il suo ottimo accordo con le vedute del MAUCCI sullo sviluppo del fenomeno carsico.

Successivamente sono riportate alcune valutazioni quantitative sulle dimensioni dell'effetto BOEGLI. I calcoli sono stati effettuati mediante un piccolo calcolatore ed è anche allegato un diagramma dell'eccesso di calcio che può essere disciolto per la mescolanza delle acque in funzione delle concentrazioni del calcio nelle acque stesse.

SUMMARY - In the first part of the paper the most important theories are recalled and the common aspects are emphasized.

The outstanding contribution of the BOEGLI's theory to the solution of the problem of speleogenesis is pointed out, as well as its good agreement with the MAUCCI's views on the development of the karstic phenomena.

Successively some quantitative evaluations on the role played by the BOEGLI effect are reported. The calculations were performed by a desk computer and a diagram with the amount of calcium which can be solved owing to the mixture of waters against the calcium concentrations in the waters is included.

Il problema della formazione delle grotte è di fondamentale importanza in speleologia. Molte teorie sono state sviluppate in seguito al progredire delle ricerche in questo campo. Alcuni anni fa, WARWICK (1953) fece un'eccellente rassegna: egli suddivise le teorie in tre gruppi principali: le teorie *vadose* (MALOTT, GARDNER, CVIJIC, SWINNERTON), le teorie *freatiche* (GRUND, DAVIS, BRETZ) e le teorie di *compromesso* (RHOADES, SINACORI, PIPER). È interessante notare come ciascuna ipotesi sia basata

(*) Società Speleologica Italiana.

su alcune connessioni logiche di fenomeni o su osservazioni dirette di aspetti caratteristici di grotte, ma nessuna sia suffragata da valutazioni quantitative degli effetti provocati dai fattori che entrano in giuoco. La mancanza di dati sperimentali impedisce la riunione delle differenti ipotesi in una teoria generale sulla formazione delle grotte. Infatti molte differenze tra le ipotesi originali sono più di forma che di sostanza, poiché spesso non è ben definita l'importanza del ruolo di ogni tappa del processo.

Perciò, sotto un certo aspetto, i fatti considerati da queste ipotesi possono essere considerati come punti differenti o successivi del medesimo fenomeno complesso.

Come è stato messo in evidenza da WEYL 1958, le acque carsiche raggiungono la saturazione in una distanza di penetrazione piuttosto breve, intendendosi per distanza di penetrazione la distanza alla quale la soluzione è saturata al 90%. Nella realtà, tenendo conto delle dimensioni delle fratture e dei pori della roccia, la soluzione del calcare può avvenire solo al primo contatto dell'acqua con la roccia o quando varia la solubilità. La prima condizione limita il processo di soluzione ad uno strato piuttosto sottile, immediatamente oltre l'interfaccia aria-calcare. La seconda, quando fu proposta da WEYL, parve una possibilità puramente teorica, di importanza pratica limitata, poiché si riteneva che le variazioni di solubilità fossero provocate solamente dal gradiente di temperatura o di pressione. In altre parole, la formazione delle grotte era attribuita alla reazione tra il carbonato di calcio e l'anidride carbonica presente nell'acqua carsica. Ma nella maggior parte dell'ambiente sotterraneo il procedere di questa reazione sarà inibito, essendo l'acqua completamente saturata di calcio.

L'esistenza di una corrosione per miscelamento, riferita da BOGLI nel 1964 per la prima volta, fornisce la soluzione del problema della formazione delle grotte calcaree. È singolare che a tutt'oggi la scoperta del BOGLI non abbia ricevuto il riconoscimento che merita.

Il contributo di BOGLI al progresso della speleologia è tra i più considerevoli di ogni tempo. Probabilmente il linguaggio chimico delle reazioni e delle equazioni di equilibrio non è compreso con facilità da molti speleologi. Ma bisogna tenere in particolare considerazione la teoria della corrosione per miscelamento per raggiungere un reale progresso nel campo dello studio del fenomeno carsico. Sotto questo punto di vista le teorie sulla formazione delle grotte devono essere riviste alla luce dell'effetto della corrosione per miscelamento. Ogni teoria deve essere considerata

come un tentativo di descrizione del fenomeno carsico in un ambiente particolare. Perciò nella zona vadosa la formazione di gallerie è dovuta all'esistenza di fratture e il processo di sviluppo avviene in corrispondenza di intersezioni, dove scorrono sottili strati di acqua con differenti concentrazioni di CO_2 .

Al di sotto del livello freatico, i processi di soluzione avverranno ogni volta che acque con differenti concentrazioni di CO_2 si mescoleranno.

Ma la corrosione per mescolanza si verifica anche con acque a diversa temperatura, benché in tal caso si siano osservati risultati inferiori in confronto agli effetti dovuti alla miscela di acque con concentrazioni differenti di CO_2 . Nella zona freatica questo effetto può dare un forte contributo allo sviluppo di gallerie inizianti in corrispondenza di alcune discontinuità della roccia dove si verifica attività di soluzione.

In fessure dove si ha scorrimento di acqua, si stabilisce un gradiente di concentrazione di CO_2 inversamente proporzionale al gradiente di velocità. Così in alcuni punti la corrosione per mescolanza può contribuire all'allargamento delle fessure (FRANKE 1965).

Quando si sono formate le prime gallerie, la formazione della grotta può procedere sia a causa della corrosione per mescolanza sia per erosione meccanica.

Negli anni cinquanta, MAUCCI espone una teoria sulla formazione delle grotte basata su osservazioni dirette effettuate per parecchi anni in esplorazioni nel Carso intorno a Trieste (MAUCCI 1951-52, 1956, 1960, 1962).

Egli definisce « *grotta elementare* » una cavità con un solo asse principale. Le indagini in molte grotte permisero a MAUCCI di osservare che l'asse principale delle grotte elementari era orientato prevalentemente in direzione verticale od orizzontale, mentre le inclinazioni intermedie erano molto rare. Inoltre egli osservò le grotte verticali nella zona vadosa (vadosa almeno al momento della formazione della grotta) mentre le grotte orizzontali, con analogo assunzione, erano formate in prossimità della zona freatica. Quindi, secondo questa ipotesi, le grotte si formano secondo due modalità: come pozzo, (in generale non aperto in superficie) o come galleria. Il pozzo e la galleria possono essere considerati le cavità elementari da cui sono formate le grotte.

Questi pozzi sono chiamati « *fusi* ». Si deve osservare che talvolta si può formare una pseudo-galleria, dovuta all'allargamento di diversi fusi (fig. 1). I fusi si formano in corrispondenza di una intersezione di due fratture, dove scorrono acque con differente concentrazione di CaCO_3 .

Dopo la scoperta dell'effetto di corrosione per miscelamento, l'ipo-

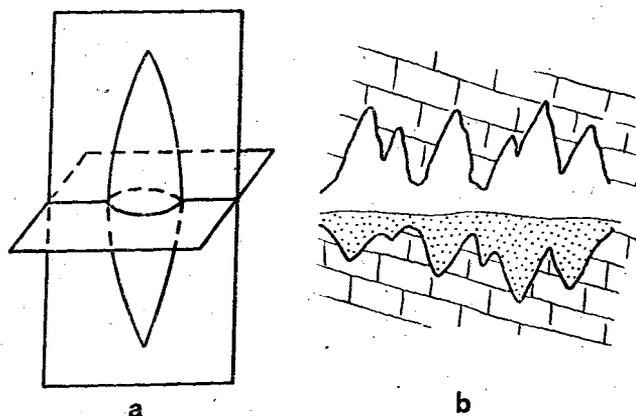


Fig. 1 - a) schema di un fusoid. Sono indicate le intersezioni dei piani orizzontale e verticale; b) pseudo-galleria dovuta all'unione di molti fusoid.

tesi di MAUCCI appare giustificata non solo sulla base di osservazioni sperimentali, ma anche dal punto di vista teorico. Le gallerie si formano nella zona di fluttuazione dove l'acqua vadosa raggiunge una falda con diversa concentrazione di CaCO_3 . Inoltre, come si è detto, la corrosione per miscelamento avviene anche quando si mescolano acque a differente temperatura, ma i risultati sono meno importanti. Pare piuttosto interessante considerare il contributo dell'effetto di corrosione per miscelamento applicato ad un'altra singolare caratteristica osservata molto spesso da MAUCCI in molti sistemi carsici: il cambio di direzione di un corso sotterraneo (« *retroversione del corso* »), rispetto alla direzione del corso d'acqua epigeo.

Egli divide gli inghiottitoi in due classi: quelli in cui la galleria scorre nello stesso verso del corso d'acqua superficiale (« *inghiottitoi diretti* ») e quelli in cui la galleria ha verso contrario rispetto al corso d'acqua superficiale (« *inghiottitoi inversi* ») (MAUCCI 1956) (fig. 2).

I primi sono generalmente associati alle seguenti condizioni:

- a) forte portata e alta velocità dell'acqua;
- b) piani di stratificazione orizzontali con acqua che percola lungo gli stessi;
- c) esistenza di una falda al di sotto del letto del corso d'acqua;
- d) a monte dell'inghiottitoio in via di formazione il letto calcareo può essere facilmente eroso.

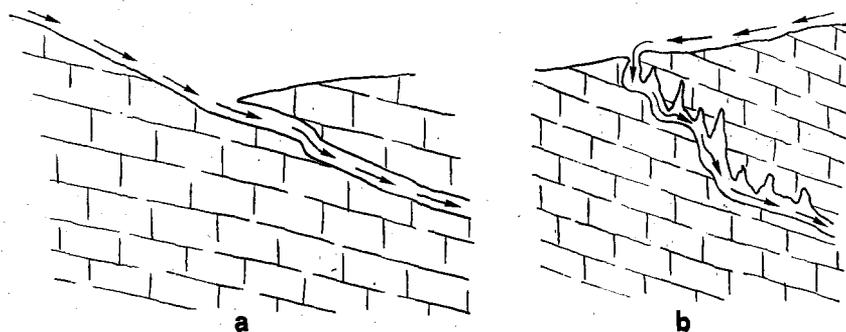


Fig. 2 - Inghiottitoi in cui il verso della galleria è: *a*) nello stesso senso del corso d'acqua superficiale (inghiottitoio diretto); *b*) in senso opposto al corso d'acqua superficiale (inghiottitoio inverso).

In tale situazione l'acqua percola attraverso le fratture superficiali. La corrosione per mescolanza si svilupperà in corrispondenza della falda dove questa viene raggiunta dall'acqua perduta dal corso d'acqua epigeo. Con l'aumentare della corrosione questo processo verrà accelerato fino alla cattura del corso d'acqua epigeo; il corso d'acqua sotterraneo scorrerà nello stesso verso nella galleria formata lungo i piani di stratificazione.

Il secondo tipo di inghiottitoio (quello in cui i due corsi, epigeo e sotterraneo scorrono in versi contrari), si sviluppa generalmente in queste condizioni:

- a*) corso lento;
- b*) calcare compatto con più fratture che piani di stratificazione;
- c*) zona vadosa che si estende a grande profondità.

Di conseguenza, la percolazione verticale lungo le fratture prevale su quella lungo i piani di stratificazione. La corrosione dovuta al miscelamento delle acque entro le fratture porta alla formazione di fusi, che successivamente si riuniscono in un pozzo. Quando uno di questi fusi raggiunge la superficie e il corso d'acqua epigeo si ha la formazione di un inghiottitoio in cui l'acqua scorre in senso inverso⁽¹⁾. L'ultima fase di questo processo fu considerata da WOODWARD 1961 come la prima tappa della

(1) Come prima riferito, l'allargamento di molti fusi può portare alla formazione di pseudo-gallerie. I canyons di corrosione riportati da WATSON 1966 possono probabilmente essere considerati pseudo-gallerie secondo la teoria di MAUCCI. Anche le considerazioni riportate da GLENNIE 1952 sono in ottimo accordo con questa teoria.

formazione delle grotte secondo la cosiddetta « Teoria della cattura di un corso d'acqua »⁽²⁾. Sebbene il lavoro di WOODWARD possa essere considerato come uno dei migliori esempi di esposizione di ricerca speleologica, la sua teoria può difficilmente essere indicata come una teoria generale di speleogenesi. Infatti implica l'esistenza di un reticolo preesistente la cui origine non viene spiegata.

È necessario ora dare una definizione di grotta per sviluppare successivamente il problema della formazione delle grotte.

CURL 1964 discusse tale definizione; in tab. 1 sono racchiuse le definizioni fornite da alcuni autori secondo la sua classificazione.

Egli prese in considerazione le seguenti categorie:

- confini: le superfici che si considerano limitare una grotta;
- esploratore: l'oggetto che entra in una caverna;
- modulo: la dimensione minima considerata nella definizione del volume di una grotta;
- imbocco: limiti all'estensione della grotta rispetto alla superficie del suolo;
- scopo: motivo per cui si dà la definizione.

Ovviamente lo scopo della classificazione può talvolta influenzare la definizione stessa, per cui al fine di avere un confronto tra esposizioni omogenee, è stato citato anche lo scopo.

Se si considera l'evoluzione di una grotta, non sembra conveniente adottare l'uomo come modulo per la definizione della grotta stessa: perciò con un processo di iterazione, conviene considerare moduli sempre più piccoli. Il limite inferiore di questa serie di moduli corrisponde ad una « grotta embrionale ». Dal punto di vista della speleogenesi, si può considerare una grotta embrionale una fessura primitiva appena allargata da un processo di corrosione. Alle attuali condizioni di conoscenza, la corrosione per mescolanza pare l'unico meccanismo che può provocare un processo di corrosione nel calcare ad ogni profondità sotto la superficie del suolo. Quindi, in generale, una grotta embrionale corrisponde ad una intersezione di fessure allargata da un processo di corrosione provocato dal miscelamento delle acque che percolano nelle stesse fessure. Secondo questa definizione, la storia di una grotta inizia molto tempo prima che si possa verificare un libero scorrimento di acqua, come vorrebbe la teoria di WOODWARD. Attualmente una teoria generale sulla speleogenesi è for-

(2) « Stream Piracy Theory ».

TABELLA 1. Definizione di grotta secondo alcuni Autori.

Autore	Anno (v. Bibl.)	Confini	Esploratore	Modulo	Entrata	Scopo
BRETZ GLENNIE	1956 1953	Roccia e riempimenti	Uomo	Uomo	—	Descrittivo
DAVIES	1960	Superfici di soluzione	—	Maggiore dei « canali- coli embrionali » (piccolo)	—	Teoria speleogenetica
HOWARD	1960	Roccia in situ	—		Non richiesta	Descrittivo
CURL	1960	Roccia, riempimenti, acqua	Uomo	Uomo	Praticabile dall'uomo	Teoria statistica della evoluzione delle grotte
WOODWARD	1961	Roccia e riempimenti	Acqua	Acqua scorrente libera- mente	—	Teoria speleogenetica
CIGNA	1972 (questo lavoro)	Superfici di soluzione	—	Maggiore delle fratture primitive	Non richiesta	Teoria speleogenetica

nita da MAUCCI, secondo il quale i fusi si originano per corrosione del calcare a causa del miscelamento di acque che percolano attraverso fessure, piani di stratificazione, pori, ecc. Dopo la formazione di un adatto reticolo, anche il processo di erosione può contribuire all'allargamento della cavità. Recentemente LANGE 1968 ha studiato le variazioni di geometria nella struttura delle grotte in condizioni differenti del gradiente della velocità di corrosione: uniforme, costante e gradiente esponenziale. Molto spesso nelle grotte si possono osservare diverse strutture originatesi in queste condizioni, ma risulta piuttosto difficile identificare in ogni caso le condizioni reali, data la sovrapposizione degli effetti dei diversi processi.

* * *

Per valutare quantitativamente gli effetti della corrosione per miscelamento, sono necessari alcuni calcoli sulle equazioni di equilibrio tra la CO_2 e il carbonato di calcio nelle acque carsiche.

La forma più semplice è quella riportata da ERNST 1964 e FRANKE 1967:

$$(1) \quad [\text{CO}_2] = \frac{[\text{Ca}^{++}]^3}{K_T}$$

in cui le parentesi quadre rappresentano la concentrazione (in grammi-mole per litro) dello ione o della molecola indicata tra di esse, e K_T è un coefficiente dipendente dalla temperatura. Una equazione più dettagliata è data da ROQUES 1964 (valida a $\text{pH} \leq 8,3$):

$$(2) \quad [\text{CO}_2] = \frac{4 \cdot K_2 \cdot f_{\text{Ca}^{++}} \cdot f_{\text{HCO}_3^-}^2}{K_S \cdot K_1 \cdot \left(1 - \frac{[\text{Ca}^{++}] \cdot f_{\text{Ca}^{++}}}{K_3 \cdot f_{\text{CaHCO}_3^+}}\right)^2} \cdot [\text{Ca}^{++}]^3$$

dove «f» sono i coefficienti di attività. Le indicazioni e i valori delle costanti di equilibrio secondo PICKNETT 1964 e ROQUES 1964 sono riportati in tab. 2.

TABELLA 2. Costanti di equilibrio a 10°C.

Reazione	PICKNETT 1964	ROQUES 1964
$\frac{(\text{HCO}_3^-)(\text{H}^+)}{(\text{CO}_2)} = K_1$	$3.44 \cdot 10^{-7}$	$2.838 \cdot 10^{-7}$
$\frac{(\text{CO}_3^{--})(\text{H}^+)}{(\text{HCO}_3^-)} = K_2$	$3.24 \cdot 10^{-11}$	$3.23 \cdot 10^{-11}$
$(\text{Ca}^{++})(\text{CO}_3^{--}) = K_s$	$2.65 \cdot 10^{-9}$	$3.45 \cdot 10^{-9}$
$\frac{(\text{HCO}_3^-)(\text{Ca}^{++})}{(\text{CaHCO}_3^+)} = K_3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$

L'equazione 2 è stata calcolata usando i coefficienti di attività di PICKNETT 1964 e le costanti di equilibrio di ROQUES 1964 perchè questi valori sembrano attualmente i migliori (fig. 3). Per questa ragione l'equazione 2 è stata anche tabulata ed i valori sono riportati in tab. 3. È interessante osservare che i valori della concentrazione del Ca per una data concentrazione di CO_2 sono talvolta più bassi di quelli riportati nel lavoro di BOGLI 1964.

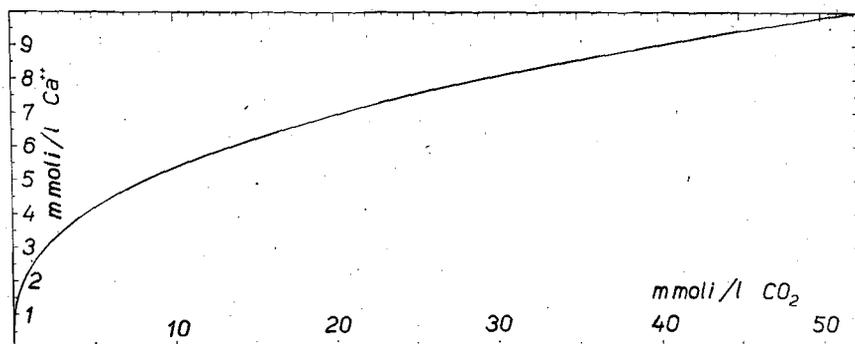
Fig. 3 - Curva di saturazione del CaCO_3 in acqua a 10°C.

TABELLA 3. Soluzioni sature di CaCO_3 in acqua a 10°C .

Ca^{++} m moli/litro	CaCO_3 mg/litro	CO_2 n moli/litro	CO_2 mg/litro
0.5	50.05	0.013	0.572
0.6	60.05	0.022	0.968
0.7	70.06	0.034	1.496
0.8	80.07	0.050	2.200
0.9	90.08	0.069	3.037
1.0	100.09	0.094	4.137
1.1	110.10	0.123	5.413
1.2	120.11	0.157	6.910
1.3	130.12	0.196	8.626
1.4	140.13	0.242	10.650
1.5	150.14	0.294	12.939
1.6	160.14	0.352	15.491
1.7	170.15	0.417	18.352
1.8	180.16	0.489	21.521
1.9	190.17	0.570	25.086
2.0	200.18	0.657	28.915
2.1	210.19	0.754	33.184
2.2	220.20	0.857	37.717
2.3	230.21	0.970	42.690
2.4	240.22	1.092	48.059
2.5	250.23	1.221	53.736
2.6	260.23	1.361	59.898
2.7	270.24	1.513	66.59
2.8	280.25	1.669	73.45
2.9	290.26	1.838	80.89
3.0	300.27	2.020	88.90
3.2	320.29	2.412	106.15
3.4	340.31	2.843	125.12
3.6	360.32	3.329	146.51
3.8	380.34	3.867	170.19
4.0	400.36	4.447	195.71
4.5	450.41	6.149	270.62
5.0	500.45	8.193	360.57
5.5	550.50	10.611	466.99
6.0	600.54	13.418	590.53
6.5	650.59	16.638	732.24
7.0	700.63	20.340	895.16
7.5	750.68	24.475	1077.14
8.0	800.72	29.039	1278.01
8.5	850.77	34.114	1501.36
9.0	900.81	39.644	1744.73
9.5	950.86	45.727	2012.45
10.0	1000.90	52.279	2300.80

ERNST 1964 ha calcolato le quantità di calcio sciolto mediante la corrosione per mescolamento quando acque con differente concentrazione di CO_2 si mescolano in varie proporzioni. Attualmente è stato preso in considerazione per una prima valutazione del fenomeno solamente la mi-

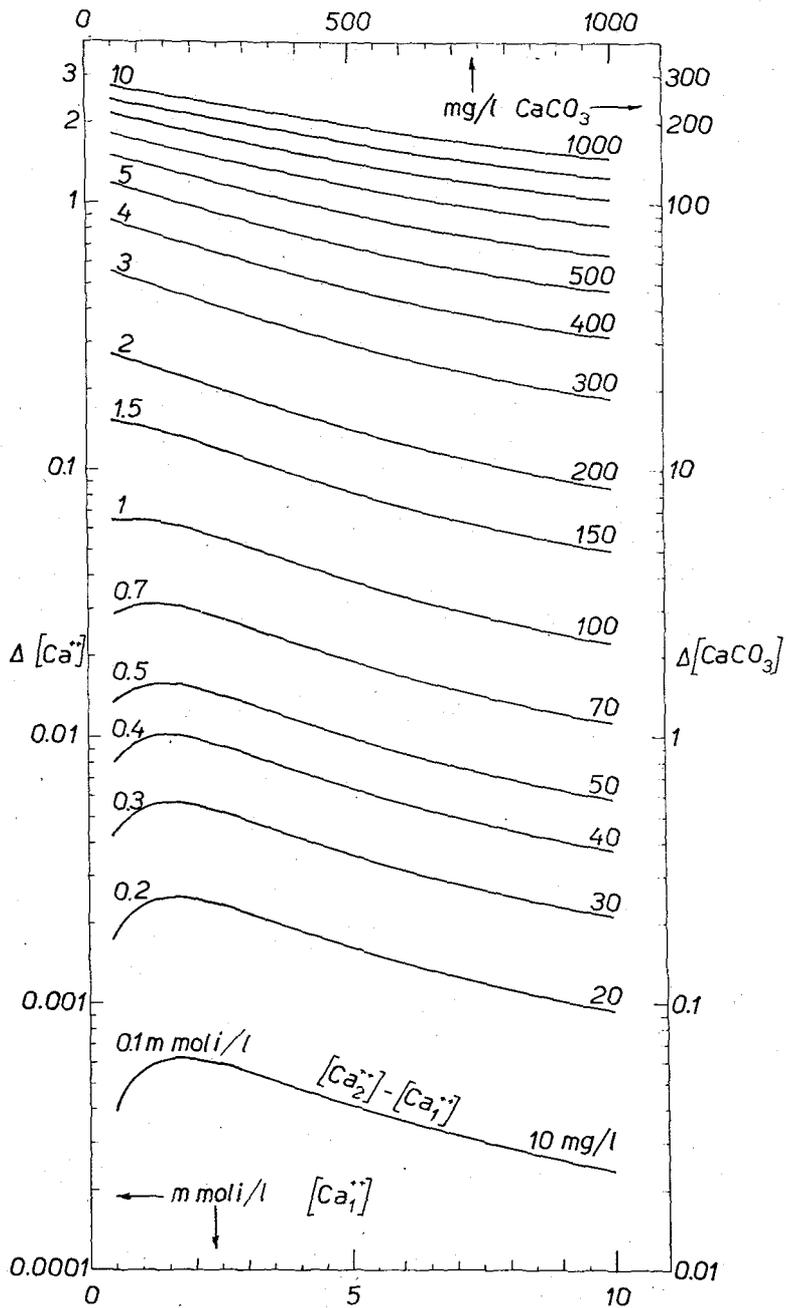


Fig. 4 - Effetto della corrosione per mescolamento quando si mescolano volumi eguali di acqua con concentrazioni di Ca: $[Ca_1^{++}]$ e $[Ca_2^{++}]$. L'ulteriore quantità di Ca disciolta si legge sulla scala verticale.

sceles di acque nella stessa proporzione (50 % ciascuna). Così il reciproco del coefficiente $[Ca^{++}]^3$ a destra dell'equazione 2 è stato sostituito alla costante K_T nell'equazione di ERNST 1964 (p. 73), ottenendo la seguente equazione:

$$(3) \quad \Delta[Ca^{++}] = \frac{[Ca_1^{++}] \left\{ \left[0.5 \left(1 + \frac{[Ca_2^{++}]^3}{[Ca_1^{++}]^3} \right) \right]^{\frac{1}{3}} - 0.5 \left(\frac{[Ca_2^{++}]}{[Ca_1^{++}]} + 1 \right) \right\}}{1 + \frac{K_S \cdot K_1 \cdot \left(1 - \frac{[Ca_1^{++}] \cdot f_{Ca^{++}}}{K_3 \cdot f_{CaHCO_3^-}} \right)^2}{12 \cdot K_2 \cdot f_{Ca^{++}} \cdot f_{HCO_3^-} \cdot [Ca_1^{++}]^2 \cdot \left[0.5 \left(1 + \frac{[Ca_2^{++}]^3}{[Ca_1^{++}]^3} \right) \right]^{\frac{2}{3}}}}$$

in cui $\Delta[Ca^{++}] =$ quantità addizionale di Ca sciolto quando una soluzione satura di concentrazione $[Ca_1^{++}]$ si mescola (1 : 1) con un'altra soluzione satura di concentrazione $[Ca_2^{++}]$.

In questa equazione si è assunto $[Ca_2^{++}] > [Ca_1^{++}]$.

Le costanti di equilibrio e i coefficienti di attività sono gli stessi dell'equazione 2. L'equazione 3 è stata risolta mediante un computer Olivetti Programma 101 per concentrazioni di $[Ca_1^{++}]$ comprese tra 0,5 e 10 millimoli/litro e per differenze $[Ca_2^{++}] - [Ca_1^{++}]$ comprese tra 0,1 e 10 millimoli/litro (fig. 4).

Notevole è il fatto del massimo di $\Delta[Ca^{++}]$ in corrispondenza dell'intervallo 1 ÷ 2 millimoli/litro di $[Ca_1^{++}]$ con una differenza $[Ca_2^{++}] - [Ca_1^{++}] < 1$ millimoli/litro.

Ciò significa che per un dato valore della differenza $[Ca_2^{++}] - [Ca_1^{++}]$ l'effetto più importante della corrosione per mescolanza si ottiene quando la concentrazione del Ca nella prima soluzione è piuttosto bassa e corrisponde ad una concentrazione di $CaCO_3$ inferiore a 200 mg/litro.

Può essere interessante calcolare il tempo necessario per la formazione di una grotta elementare solo mediante corrosione per mescolanza.

Supponiamo una grotta a forma di sigaro, lunga 5 m, con un diametro massimo di 1 m. Il volume è di circa 3 m³, corrispondente a 7500 kg di calcare. Se si mescolano due acque con concentrazioni di Ca rispettivamente:

$$[Ca_1^{++}] = 1,3 \text{ millimoli/litro}$$

$$[Ca_2^{++}] = 1,4 \text{ millimoli/litro}$$

si scioglie un'ulteriore quantità di $CaCO_3$ pari a 0,06 mg/l. Una portata

di 10 cm³/sec formerà la grotta in 400.000 anni. Se $[Ca_2^{++}] = 2,3$ millimoli/litro il tempo necessario sarà solo di 4000 anni.

Come si vede l'effetto della corrosione per mescolamento giuoca un ruolo importante nel meccanismo di formazione delle grotte insieme con i processi di erosione.

RINGRAZIAMENTO - Sono molto grato al dr. F. G. GIORCELLI che ha preparato il programma di calcolo per il calcolatore Olivetti Programma 101 e per le utili discussioni.

BIBLIOGRAFIA

- BOEGLI A., 1964 - *La corrosion par mélange des eaux*. Int. J. Speleology, 1, pp. 61-70, Weinheim.
- BRETZ J. H., 1956 - *Caves of Missouri*. Mo. Geol. Survey, 39, pp. 1-165, Washington.
- CURL R. L., 1960 - *Stochastic models of cavern development*. Bull. Natl. Speleological Soc., 22, pp. 66-76, Arlington.
- CURL R. L., 1964 - *On the definition of a cave*. Bull. Natl. Speleological Soc., 26, pp. 1-6, Arlington.
- DAVIES W. E., 1960 - *Origin of caves in folded limestone*. Bull. Natl. Speleological Soc., 22, pp. 5-18, Arlington.
- ERNST L., 1964 - *Zur Frage der Mischungskorrosion*. Die Höhle, 15, pp. 71-75, Wien.
- FRANKE H. W., 1965 - *Mischungskorrosion in Haarrissen*. Die Höhle, 16, pp. 61-64, Wien.
- FRANKE H. W., 1967 - *Zur Berechnung korrosiv löslicher Kalkmengen*. Die Höhle, 18, pp. 38-40, Wien.
- GLENNIE E. A., 1952 - *Vertical development in caves*. Trans. Cave Research Group of Great Britain, 2, pp. 75-93, Leamington Spa.
- GLENNIE E. A., 1953 - *Glossary of caving terms*. In: CULLINGFORD C. H. D. Ed. - *British Caving*, pp. 437-446, Routledge & Kegan Paul Ltd., London.
- HOWARD A. D., 1960 - *Geology and origin of the crevice caves of the Iowa, Illinois and Winsconsin lead-zinc district*. J. Yale Speleological Soc., 2, p. 63.
- LANGE A. L., 1968 - *The changing geometry of caves structures*. Caves and Karst, 10, pp. 1-10, 13-18, 29-32, Castro Valley (Calif.).
- MAUCCI W., 1951-52 - *L'ipotesi dell'«erosione inversa» come contributo allo studio della speleogenesi*. Boll. Soc. Adriatica Sc. Nat., 46, pp. 1-60, Trieste.
- MAUCCI W., 1956 - *Il fenomeno della retroversione nella morfogenesi degli inghiottitoi*. Atti 7° Congr. Naz. Spel., Sardegna, Mem. III Rass. Spel. It. e Soc. Spel. It., 1, pp. 221-237, Como.
- MAUCCI W., 1959-60 - *La speleogenesi nel carso triestino*. Le Grotte d'Italia, ser. 3, 3, pp. 25-42, Castellana Grotte (Bari).
- MAUCCI W., 1962 - *Considerazioni sistematiche sul problema dell'idrografia carsica ipogea*. Actes 2ème Congr. Int. Spéléologie, Bari-Lecce-Salerno 1958, Ist. It. Speleologia, t. 1, pp. 23-43, Off. Grafiche De Robertis, Putignano (Bari).

- PICKNETT R. G., 1964 - *A study of calcite solutions at 10° C.* Trans. Cave Research Group of Great Britain, 7, pp. 41-62, Leamington Spa.
- ROQUES H., 1964 - *Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes CO₂-H₂O-carbonate.* Ann. Spéléologie, 19, pp. 255-484, Moulis .
- WARWICK G. T., 1953 - *The origin of limestone caves.* In: CULLINGFORD C. H. D. Ed. - *British Caving*, pp. 41-61, Routledge & Kegan Paul Ltd., London.
- WATSON R. A., 1966 - *Underground solution canyons in the central Kentucky karst, U.S.A.* Int. J. Speleology, 2, pp. 369-376, Lehre.
- WEYL P. K., 1958 - *The solution kinetics of calcite.* J. Geology, 66, pp. 163-176, Chicago.
- WOODWARD H. B., 1961 - *A stream piracy theory of cave formation.* Bull. Natl. Speleological Soc., 23, pp. 39-58, Arlington.

DISCUSSIONE SULLA COMUNICAZIONE

DI

A. A. CIGNA

CIGNA. Apro ora la discussione.

MAUCCI. Vorrei parlare in qualità di speleologo militante o ex-militante e a nome degli speleologi ex-militanti che si rivolgono agli specialisti. È chiaro che lo studio sperimentale in laboratorio di tutto ciò che è possibile sperimentare nel campo dei problemi della speleologia è importantissimo; anzi, era ora che ricercatori competenti se ne occupassero. È altrettanto chiaro che la trattazione matematica dei fenomeni è un progresso enorme e veramente costruttivo. Quello che io vorrei dire è: non esageriamo l'importanza di questi due aspetti. Non dimentichiamo che noi ci occupiamo di un campo di fenomeni naturali che non è né la fisica né la chimica, né la chimico-fisica; un campo di fenomeni che non per questo però è meno valido, meno importante, meno scientifico. Le astrazioni di laboratorio, le astrazioni matematiche sono una meravigliosa creazione dell'intelletto umano, ma a ben guardare non esistono in natura. In natura esistono i casi particolari.

CIGNA. I modelli matematici vanno sempre tenuti presenti come modelli matematici, non sono la realtà. In fondo, qual'è la ragione per la quale si fanno questi conti? È molto semplice: per vedere se è possibile la spiegazione, la teoria, che è stata proposta nel caso specifico. Da un punto di vista pratico vediamo che in effetti ci sono dei fenomeni che corrispondono, quindi ci sono tutte le buone premesse perché effettivamente questa teoria sia vera, sia valida. Però fa anche piacere avere una controprova teorica che tutto questo sta in piedi. Si sa bene, succede certe volte che in natura si fanno delle osservazioni, si escogita una certa teoria e con questa si spiegano le osservazioni. Poi andando avanti si trova che in realtà quella teoria è sbagliata e ce n'è un'altra giusta che spiega gli stessi fenomeni. A questo punto, avendo fatto dei conti, si può vedere che i numeri che vengono fuori sono dei numeri compatibili con la realtà. Tutto questo serve a definire meglio la distanza che separa il modello dalla realtà.

PERNA. Osservando la tabella con le definizioni di grotta date da alcuni Autori, si nota che, secondo CIGNA, una grotta può essere sprovvista di entrate naturali. Devo dire che mi trovo perfettamente d'accordo perché nel Trentino, durante perforazioni e scavi di gallerie idroelettriche, sono state trovate numerose cavità, addirittura sistemi carsici veri e propri, aventi con l'esterno comunicazioni molto limitate e impraticabili. Citerò ad esempio il sistema ipogeo incontrato, in corrispondenza di una importante linea tettonica, nella galleria di San Floriano, che va da Egna verso la diga di Stramentizzo; il sistema di pozzi e gallerie costituenti la Grotta dei Gaggi, incontrato durante lo scavo della galleria tra il Lago di Molveno e Castel Toblino; la Grotta di Stenico, nella galleria tra Val di Genova e il Lago di Molveno. Vi sono inoltre le grotte rinvenute nelle

miniére, di cui ho riportato vari esempi nella comunicazione presentata a questo Seminario.

Vorrei fare anche un'altra osservazione. CIGNA dice che con una portata d'acqua di 10 cm³ al secondo ed in certe condizioni si può formare un fusoido del volume di 3 metri cubi in 4000 anni. Faccio notare anzitutto che questa portata è piuttosto notevole, poiché non è facile vedere uscire da una fenditura sotterranea più di mezzo litro di acqua al minuto; si tratta per lo più di stillicidi limitati. Mi sembra comunque che 4.000 anni per l'escavazione di un fusoido del volume di soli 3 metri cubi siano un tempo troppo lungo; nella realtà deve intervenire pertanto tutta una serie di altri fattori che accelerano il fenomeno.

Un ultimo punto. I calcoli ora mostrati valgono per mescolanze di acque in quantità uguali; vorrei sapere se è molto difficile calcolare le curve quando le quantità di acqua che si mescolano sono diverse, oppure se le stesse curve valgono in entrambi i casi.

CIGNA. Sulla prima osservazione penso non ci sia nulla da aggiungere.

Per quanto riguarda la seconda osservazione, i 10 cm³ al secondo ipotizzati in quel certo conto sono indubbiamente una portata abbastanza considerevole; essa però non va considerata come la portata delle goccioline che scendono dalla fessura. Il fusoido ipotizzato è del tutto teorico, e la portata prescelta è una via di mezzo tra quella delle poche gocce che percorrono e quella ben più rilevante dei corsi d'acqua che attraversano la grotta. Non mi pare poi che un tempo di formazione di qualche migliaio di anni per un fusoido di qualche m³ sia eccessivamente lungo. Penso che il fenomeno carsico sia relativamente lento. Per quanto riguarda l'ultima osservazione: in effetti il diagramma che è stato riportato vale nel caso di un'acqua di concentrazione 1 e un'acqua di concentrazione 2 che si mescolano in volumi uguali; e questo è stato fatto per ragioni di semplicità. È anche chiaro che sicuramente non sarà il caso più comune in natura, dove sarà molto più facile avere delle mescolanze di volumi differenti. D'altra parte, data la complessità dei calcoli, ho preferito riferirmi ad un rapporto fisso piuttosto che ripetere i conti per varie condizioni di mescolamento. Bisogna però ricordare che nella pratica questo calcolo può essere sempre ritenuto valido. Infatti se l'acqua 1 ha una portata piccola e l'acqua 2 una molto maggiore, basterà riferirsi alla mescolanza dell'acqua 1 con un egual volume dell'acqua 2. Il rimanente di quest'ultima non interviene direttamente nel fenomeno.

CAPPA. Vorrei sapere se la curva di equilibrio prima presentata, e che è valida in condizioni statiche, sia applicabile con sufficiente approssimazione anche alle condizioni reali che sono, ovviamente, dinamiche.

CIGNA. Senz'altro è vero che siamo in una condizione statica, cioè la curva rappresenta un equilibrio che viene raggiunto in un tempo infinito. In realtà quello che conta comunque è la quantità di carbonato che può essere disciolta. Supponiamo di avere due casi costituiti da due coppie di acque, e di costruire le due curve: se in base a questa costruzione le quantità di calcio che possono essere disciolte sono uguali, direi che la situazione è la stessa; si arriverà all'equilibrio in un tempo analogo. Di per sé non credo che questo influenzi il tempo per raggiungere l'equilibrio. Naturalmente ciò è valido in prima approssimazione, perché sappiamo bene che tutte le reazioni chimiche sono influenzate dalla concentrazione. Il fatto stesso che si adoperano i coefficienti di attività moltiplicati per le concentrazioni e non le semplici concentrazioni dimostra appunto che la concentrazione ha una influenza. In prima approssimazione quindi la mia risposta sarebbe: no, non c'è una differenza nel tempo di raggiungimento dell'equilibrio.

Mi pare che non sia neppure il caso di arrivare ad una approssimazione più approfondita, per una ragione molto semplice, a cui prima ha accennato anche MAUCCI: questo è un modello. Non avrebbe tanto senso tener conto dell'effetto della concentrazione nel modificare il tempo di raggiungimento dell'equilibrio, quando si trascurano molti altri parametri. Comunque il tempo in cui si arriva all'equilibrio è sempre molto breve: secondo P. K. WEYL

(Journal of Geology, 66: 163-176 (1958)) si raggiunge il 90% dell'equilibrio praticamente dopo pochi centimetri di percorso in una frattura.

TRIMMEL. Per quanto riguarda la terminologia vorrei rilevare che ogni definizione deve valere per la totalità delle grotte e non limitarsi soltanto alle grotte carsiche. Bisogna inoltre distinguere tra definizioni teoriche e definizioni pratiche. Dal punto di vista pratico una grotta è una cavità penetrabile dall'uomo; sarebbe difficile pensare il contrario. Dal punto di vista genetico mi sembra giusto considerare che la genesi di una grotta sia pressoché finita quando la grotta diventa penetrabile.

CIGNA. Senz'altro sono d'accordo con le osservazioni dell'amico TRIMMEL. In effetti una caratteristica di queste definizioni è che sono limitate alle grotte carsiche. Non sono inclusi altri tipi di grotte.

Nella pratica la grotta è tale quando ci può entrare l'uomo. Ma dall'ultima colonna della Tabella 1 risulta che lo scopo della mia definizione di grotta è « Teoria speleogenetica »: c'è quindi una ragione teorica alla base, non una applicazione pratica.

BOEGLI. Riferendomi alla comunicazione dell'amico CIGNA desidero osservare come i vari approcci allo studio della corrosione per mescolanza di acque (quello matematico, quello chimico e quello sperimentale) si integrino bene a vicenda e permettano di evidenziare eventuali interpretazioni non corrette. In ogni caso ringrazio tutti voi per gli interessanti spunti che mi avete dato stamattina.

PASQUINI. A proposito di quanto ha detto l'amico MAUCCI sul pericolo dell'astrazione matematica: è vero, abbiamo visto tante formule, tanti passaggi, un po' di più di quelli che eravamo abituati a vedere negli anni precedenti in queste riunioni, in queste discussioni sulla morfologia. Ma credo che quel certo senso di disagio che abbiamo provato nasconda un motivo psicologico: un po' di pigrizia; credo inoltre che da parte di tanta gente che è qui — che adesso studia la speleologia, ma che è partita dalla grotta fatta come libera espressione di muscoli e di sensazioni — ci sia forse anche il timore che questa matematica tolga in parte quella facilità, quella estetica di una speleologia senza le formule. Personalmente condivido l'opinione che gli studi effettuati, ad esempio, in un moderno laboratorio d'astrofisica non tolgano nulla alla bellezza del cielo stellato; anzi, vi aggiungono qualcosa.

SALVATORI. Mi riferisco alla domanda di CAPPÀ sulla velocità con cui viene raggiunto l'equilibrio. Se prendiamo un pezzettino di carbonato di calcio, lo mettiamo in un becker con acqua avente della CO_2 disciolta e iniziamo con un metodo qualsiasi a controllare la concentrazione dello ione Ca^{++} , possiamo ottenere un grafico della concentrazione del Ca^{++} contro il tempo. Vediamo allora che la curva tende asintoticamente al valore della concentrazione di equilibrio in quelle particolari condizioni sperimentali. A parte il fatto che tale equilibrio venga effettivamente raggiunto, mi pare che si debba studiare il fenomeno sotto l'aspetto della cinetica delle reazioni.

CIGNA. Ringrazio SALVATORI che mi dà modo di tornare un momento su questo punto. Quanto ha esposto non fa altro che mettere in evidenza la complessità del fenomeno. E questo spiega anche perché, sotto un certo punto di vista, non valga tanto la pena di andare troppo in là con certi calcoli, dato appunto l'enorme numero di parametri che intervengono. Vorrei però sottolineare una cosa: i risultati che si ottengono con esperienze di questo genere non si possono estrapolare al caso di una grotta. Perché nell'esempio di SALVATORI la superficie di contatto fra la fase solida (carbonato di calcio) e l'acqua è abbastanza ridotta rispetto alla quantità di carbonato di calcio presente; mentre invece nel caso di un massiccio calcareo tutto intersecato da fratture, da giunti di stratificazione, da passaggi più o meno capillari per l'acqua, il rapporto superficie/volume ha un valore molto più elevato. Conseguentemente i tempi neces-

sari per giungere all'equilibrio in esperienze di questo genere sono in natura molto brevi. Tanto per dare una idea, nell'esperienza di SALVATORI i tempi sono dell'ordine di giorni, mentre invece nella realtà quando si ha una superficie di contatto molto estesa quale è il caso di acque che percolano in un massiccio calcareo, il fenomeno è molto più veloce.

BOEGLI. Vorrei fare una breve osservazione. Dei miei colleghi dell'Università di Francoforte hanno fatto delle esperienze ed hanno trovato che la velocità di soluzione del carbonato di calcio, invece di seguire una curva esponenziale, ha un andamento con dei « pianerottoli » in presenza di concentrazioni anche basse di magnesio. In natura il calcare non è mai puro, per cui si possono ben immaginare le anomalie e la differenza rispetto ai risultati di laboratorio. Questi sono utilissimi, ma devono essere considerati sempre in modo critico. Il lavoro che ho citato è pubblicato dal Verband Deutscher Karstehöhlenforscher; gli autori sono GERSTENHAUER e PFEFFER; il titolo è: « Ueber die Lösungsfreudigkeit des Kalkes ».

CIGNA. Ringrazio molto il Prof. BOEGLI per questa ultima, interessante precisazione.

Possiamo ora dare inizio ad una discussione generale sugli argomenti trattati dalle varie relazioni e comunicazioni.

DISCUSSIONE GENERALE

CIGNA. Apro la discussione generale. Il primo iscritto a parlare è MAUCCI, a cui cedo la parola.

MAUCCI. La prima osservazione che vorrei fare si ricollega all'intervento dell'amico TRIMMEL inerente alla relazione di CIGNA, e cioè al problema strettamente terminologico.

La prima esigenza terminologica per uno studioso di speleologia è certamente quella della definizione del concetto di grotta; ma questo concetto, del quale ha parlato l'amico CIGNA e a cui ha accennato anche TRIMMEL, è effettivamente molto difficile da definire. Tutti noi sappiamo che cosa è una grotta, siamo convinti che ciò che noi intendiamo in linea di massima per grotta, a prescindere dalle definizioni, è lo stesso di quello che intendono gli altri. Invece, in realtà, ognuno di noi ha per il concetto di grotta una sua propria astrazione, non sempre facile da confrontare con altre.

Quando poi cominciamo a confrontare i concetti e le definizioni dati da diversi Autori, o ancora di più da diverse scuole (dalla scuola italiana, dalla scuola tedesca, dalla scuola francese), ci accorgiamo di trovarci di fronte a parecchie e notevoli difficoltà. Si era parlato di alcuni punti di vista, di quali sono i limiti della grotta, del modulo, delle dimensioni minime, ecc. Io vorrei soffermarmi su un altro punto che sarebbe opportuno chiarire terminologicamente. Credo siamo tutti d'accordo che la grotta è un fenomeno sotterraneo; ma cosa vuol dire sotterraneo? Un pozzo che è aperto in superficie è sotterraneo? Questa osservazione si ricollega effettivamente con quanto ha accennato poco fa l'amico PASQUINI, e cioè che ci sono certi fenomeni — che non si possono neanche definire fenomeni limite, in quanto sono fenomeni fondamentali, fenomeni chiave — che per alcuni sono grotte e per altri non sono grotte. Mi riferisco anche alla vecchia questione delle «doline di crollo», che per me rientrano nella speleologia poiché sono delle deformazioni, delle degenerazioni di grotte, e non già un tipo di doline, che sono invece fenomeni superficiali. Nella terminologia che è stata proposta a Obertraun, frequentemente utilizzata dai colleghi di lingua tedesca e che ora noi stiamo discutendo, figura la *Schachtdoline* o *Brummendoline*, la dolina a pozzo: ma io francamente mi trovo piuttosto perplesso di fronte a questo concetto. Bisogna a un certo punto riuscire a definire dove termina la dolina e dove comincia il pozzo, la voragine o come si voglia chiamare.

Ora questa confusione è in parte dovuta al fatto che in molti lavori, forse in troppi, si dimenticano le grotte verticali, si dimentica quello che io ho sostenuto (e che è una constatazione non mia, ma praticamente di tutti gli speleologi): che soprattutto nella zona vadosa le grotte a pozzo, le grotte ad andamento verticale, non solo esistono, non solo sono numerose, ma sono addirittura la maggioranza. E quindi anche queste vanno incluse senza dubbio nel termine grotta, anche se non hanno un soffitto che le delimita e se quindi, a rigore di termini e volendo essere pignoli, non sono sotterranee.

Non voglio con questo proporre una nuova definizione; mi limito a richiamare l'attenzione dei colleghi su tutti questi problemi e sulla complessità e l'importanza delle discussioni terminologiche.

D'altra parte quando si discute di terminologia occorre evidentemente avere ben chiaro qual'è l'obiettivo che si vuole raggiungere; quindi, dato che non ho avuto la fortuna di essere presente al Simposio di Obertraun sulla terminologia, rivolgo una domanda al collega TRIMMEL: quel glossario di terminologia che è stato redatto in varie lingue e di cui noi stiamo ora studiando la redazione italiana, quale scopo, quale obiettivo ha? In quanto io intravedo due possibili obiettivi, uno secondo me perfettamente logico, l'altro un po' meno, e bisogna chiarire dove si vuole arrivare. Il primo obiettivo può essere quello di stabilire una terminologia che potrebbe definirsi « a posteriori », cioè una constatazione dell'uso che di certi termini è stato fatto dai diversi Autori e dalle diverse scuole speleologiche nelle rispettive lingue.

L'altro obiettivo — secondo me un po' difficile da raggiungere — consiste nella codificazione della terminologia, in un codice internazionale che dica: questo è un termine giusto, gli altri sono termini sbagliati. Mi pare che in un campo come il nostro un codice internazionale di nomenclatura analogo a quello che esiste per la zoologia o la botanica sia una utopia, sia quasi qualcosa di non auspicabile perché finirebbe col legarci forse troppo le mani. È in questo senso che io appunto vorrei chiedere che ci venisse chiaramente precisato se lo scopo di quel lavoro terminologico è limitato ad una documentazione, ad una constatazione dell'uso, del significato dei termini, o se è invece una codificazione della terminologia da usarsi per l'avvenire.

TRIMMEL. Cercherò di rispondere alla domanda dell'amico MAUCCI. Il problema della terminologia è effettivamente molto difficile, perché gli stessi termini sono impiegati con significati differenti nelle varie lingue. L'Union Internationale de Spéléologie ha costituito una Sottocommissione che si occupa di questi problemi e che ha lo scopo di definire le differenze di significato dei termini fondamentali di interesse speleologico nelle lingue principali. Non si pensa per ora di creare un codice internazionale: vi sono infatti troppe difficoltà dovute a tradizioni locali nell'impiego di certi vocaboli. Così ci siamo limitati, nel Simposio di Obertraun dell'anno scorso, a cercare di compilare un lessico dei termini più importanti con una traduzione delle definizioni valide nelle differenti lingue. Ci auguriamo di essere in grado di portare al Congresso Internazionale di Olomouc, l'anno prossimo, un documento di lavoro per una eventuale pubblicazione sull'argomento.

PASTORINO. Vorrei brevemente aggiungere a quanto ha detto il Prof. MAUCCI che nella definizione di grotta dovrà essere adoperato un criterio particolarmente ampio, perché ad esempio nell'ambito di un massiccio molto fratturato i massi precipitati possono costituire, anche per la successiva litogenesi, degli ambienti chiusi i quali non sono né carsici, né paracarsici né pseudocarsici, sebbene siano ipogei. Desidero sottolineare che anche in questi ambienti si può insediare una fauna tipicamente ipogea.

CAPPA. A proposito delle definizioni di grotta vorrei distinguere la definizione catastale da quella scientifica. La definizione catastale, necessariamente rigorosa, ci dice che è da considerarsi grotta una cavità sotterranea la cui lunghezza supera le dimensioni trasversali (altrimenti si tratta di un riparo sotto roccia, di una nicchia e non di una grotta); inoltre questa lunghezza, che può essere comunque orientata, deve superare i 5 metri e nella cavità deve poterci entrare l'uomo; possono considerarsi grotte anche quelle il cui ingresso è ostruito da un accumulo detritico, e che potrebbero divenire accessibili mediante uno scavo nei detriti. Infine una grotta deve presentare ragionevoli caratteristiche di conservabilità nel tempo: è inutile infatti catastare una cavità che si forma nelle argille e sparisce l'anno dopo. Questo è un concetto formale valido ai fini del catasto.

Per quanto riguarda invece il campo scientifico, vorrei far notare anzitutto che

non ha senso usare il metro uomo. Pertanto quando noi facciamo una trattazione scientifica non dovremmo usare il termine grotta, ma il termine *cavità sotterranea* in generale; dovremmo invece impiegare il termine *grotta* in espressione come: « nella grotta tal dei tali ho visto questo », ossia come toponimo. Se poi andiamo a considerare la definizione di *cavità sotterranea*, oserei dire che a sua volta questa definizione è molto elastica e varia in funzione delle ricerche scientifiche che stiamo facendo. Se noi ci occupiamo di biologia piuttosto che di fenomeni geofisici, di evoluzione, di morfologia delle grotte, può darsi che la definizione cambi profondamente. Infatti noi sappiamo che sono stati trovati degli insetti, considerati cavernicoli da anni, ribaltando dei sassi in montagna. L'ambiente della *cavità sotterranea* può trovarsi sotto un semplice sasso dal punto di vista della biologia dei coleotteri o di altri piccoli animaletti. Invece se ci occupiamo di speleogenesi io direi che un ambiente sotterraneo diventa una *cavità sotterranea* quando le condizioni climatiche, di temperatura e umidità, la differenziano nettamente dall'esterno, per cui si ha inizio di fenomeni peculiari del tutto diversi da quelli esterni. In tal modo noi in sostanza differenziamo il mondo sotterraneo dal mondo epigeo.

BOEGLI. Si può definire il termine grotta secondo due punti di vista: in tedesco definiamo grotta una cavità sotterranea penetrabile dall'uomo. Si tratta in questo caso di una pura convenzione. Vi è poi un'altra definizione che, sebbene non la si impieghi correntemente, ci è data dalla natura: qualsiasi cavità sotterranea formata a seguito di un qualsiasi processo di allargamento è una grotta. In questo caso non si tratta di una convenzione, bensì di una definizione principale, naturale. Potremmo combinare le due definizioni chiamando *grotte* le cavità dove si può entrare e *cavità sotterranee* tutte le altre.

BALBIANO D'ARAMENGO. Negli interventi precedenti ho sentito parlare di terminologia, di unificazione della terminologia e argomenti simili. Senz'altro tutto ciò è utilissimo, e se ci sono difficoltà di terminologia la cosa più logica è senza dubbio quella di nominare una commissione internazionale che tenti di risolverle. Oltre ad essere la cosa più logica, direi che è anche quella che risponde meglio alle nostre aspirazioni democratiche, per cui i termini non devono venire imposti, ma devono essere discussi e collegialmente accettati. Però io temo che questa via, per quanto sia senz'altro da seguire al massimo, non possa portare ai risultati che noi vogliamo. Persone di buona volontà senz'altro possono arrivare — e sono già arrivate — a stabilire un codice in tante lingue con le definizioni dei principali termini speleologici. Il mio dubbio è se mai la maggioranza degli speleologi vorrà attenersi a questo codice, perché le lingue vanno avanti per conto loro.

Faccio un esempio, io sono chimico e un cosa analoga è successa nella chimica. Diversi anni fa, per unificare tanta terminologia disordinata, gli esperti mondiali si sono riuniti a Ginevra e ne è nata la terminologia di Ginevra per stabilire come si chiamano le molecole organiche. Ne è nata una terminologia perfetta, univoca, nel senso che quando si stabilisce una denominazione si capisce bene come è fatta la molecola, come è fatta la struttura, a che cosa corrisponde. È perfetta, ma nessuno la impiega! Tutti si attengono sempre, per abitudine, a denominazioni convenzionali che sono molto più comode. Per esempio tutti dicono alcool etilico anche se secondo Ginevra bisogna dire etanolo. Quindi se già nella chimica — dove la necessità era molto più sentita perché c'erano molti più termini, molta più confusione — è stato un insuccesso, io credo che sarà un parziale insuccesso anche nella speleologia. Piuttosto sarebbe molto opportuno che ogni Autore mettesse in nota le definizioni dei termini che impiega; così si eviterebbero le confusioni. Mi sembra più importante questo che non la codificazione.

PASINI. Vorrei fare un'osservazione a proposito dell'«erosione inversa». Mi è capitato qualche volta di osservare in grotte calcaree gallerie poco inclinate, impiantate su fratture verticali, con sezioni trasversali fusiformi ad asse maggiore verticale, che per vari motivi non sembravano di origine freatica. In

questi giorni anche CAPPA e PASQUINI hanno accennato a condotti aventi questa morfologia. Non si tratta evidentemente di fusoidi, poiché il fusoido — come MAUCCI ricordava anche ieri — è una cavità fusiforme allungata in senso verticale. Però questi condotti potrebbero forse spiegarsi ugualmente col fenomeno dell'«erosione inversa», che quindi originerebbe non solo fusoidi o pseudogallerie (come ammette MAUCCI), ma anche gallerie vere e proprie.

Tenterò di illustrare meglio la possibile genesi di queste gallerie con un esempio. Supponiamo che in un massiccio calcareo due fratture, una verticale ed una poco inclinata, si intersechino ad una certa profondità secondo un segmento grosso modo rettilineo; supponiamo anche che entrambe le fratture siano interessate da percolazione idrica. Evidentemente il segmento di intersezione è un luogo particolarmente favorevole alla speleogenesi, sia per motivi tettonici, sia per il fatto che le acque provenienti dalle due fratture, avendo verosimilmente caratteristiche un po' diverse, daranno luogo ad una miscela sottosatura e quindi al fenomeno di corrosione per mescolanza descritto da BOEGLI. Mi domando se in queste condizioni lungo la frattura verticale non potrebbe svilupparsi il fenomeno dell'«erosione inversa», dando luogo appunto non a uno o più fusoidi, ma ad una galleria allungata parallelamente alla linea di intersezione tra le fratture e con sezioni trasversali simili alle sezioni longitudinali dei fusoidi. Propongo la questione ai colleghi come argomento di discussione.

PASQUINI. Fenomeni di questo genere si possono verificare anche quando la circolazione idrica è alimentata dalle acque di condensazione. Forme del tipo descritto da PASINI le ho viste nelle gallerie superiori del Ramo degli Inglesi all'Anfro del Corchia. Altre forme che secondo me sarebbero attribuibili alla «erosione inversa» le ho osservate in molti inghiottitoi in Abruzzo, dove esistono gallerie la cui origine non è dovuta né ad un regime di condotta forzata né alla coalescenza di fusoidi.

BOEGLI. Occorre tener conto del livello della zona freatica che può modificare la forma della cavità originatasi per corrosione da mescolanza. Inoltre si possono avere dei sedimenti che, modificando l'afflusso delle acque o proteggendo le superfici rocciose, influiscono a loro volta sull'evoluzione della cavità. Si formano così numerosi tipi di cavità la cui origine non è ancora ben definita. Comunque faccio presenti queste possibilità augurandomi che qualcuno possa trovare, con attente osservazioni, delle spiegazioni dettagliate.

PASINI. Vorrei chiarire, rispondendo al prof. BOEGLI, che le forme che ho descritto in precedenza si sono formate quasi sicuramente al di sopra del livello freatico, in zona vadosa. Inoltre non ho osservato, nei casi che ho potuto esaminare, alcuna influenza di eventuali sedimenti.

DEMATTEIS. Secondo me questa distinzione tra condizioni freatiche e condizioni vadose andrebbe sempre tenuta presente per prima cosa. Non si può incominciare a parlare di un certo processo speleogenetico senza prima avere definito bene se siamo in condizioni freatiche o se siamo in condizioni vadose.

Facciamo il caso, per esempio, di una massa calcarea interessata da una fessurazione qualunque. Se la zona non è completamente arida, se ci sono delle precipitazioni, dell'acqua che scorre, che ristagna, noi avremo una prima fase di impregnazione di tutte queste fratture.

Successivamente in quale direzione scorreranno le acque? Dipende da tanti fattori, principalmente — io credo — dalle possibilità di caduta. Se per esempio il massiccio calcareo è limitato da una scarpata, l'acqua uscirà presumibilmente da uno o più punti di intersezione tra le fessure e la scarpata stessa. Ci potranno essere delle mescolanze, ci potranno essere dei punti speleogenetici preferenziali, con tutti gli sviluppi che si possono immaginare lungo questi punti, ma una cosa è certa: che non si avrà mai una circolazione di tipo vadoso, anche se queste sono cavità immense, finché tutta la portata non sia smaltita dalle risorgenti e finché tutte le strozzature sotterranee che impediscono il completo deflusso delle acque non siano eliminate. Allora il livello della falda si potrà abbassare, e

le grandi cavità precedentemente formatesi cominceranno a trasformarsi secondo processi non più freatici, ma vadosi.

Facciamo il caso degli inghiottitoi: supponiamo che a un certo punto un condotto freatico venga a sbucare in superficie e finisca per raccogliere tutta l'acqua di un torrente, che viene poi smaltita dalla risorgenza. In questo caso non siamo più nelle condizioni in cui si sviluppa l'«erosione inversa», come ce la descrive l'amico MAUCCI; abbiamo delle acque incanalate che percorrono un condotto precedentemente scavato sotto pressione, e quindi avremo dei fenomeni come quelli che ho descritto nella comunicazione presentata al IX Congresso Nazionale di Speleologia (Trieste, 1963), cioè pozzi a cascata e forme analoghe su cui adesso non ritorno.

Se invece la corrente non è incanalata, c'è una percolazione molto diffusa e si potrà benissimo verificare la formazione di pozzi del tipo dei fusi che ci descrive MAUCCI, in quanto a un certo punto è il meccanismo delle acque vadose di percolazione, con crollo e riempimento della parte inferiore del fuso, che diviene preponderante.

Io ho voluto fare questa precisazione perché questo mi pare un esempio di come ci si possa riallacciare a quello che diceva prima CIGNA e hanno detto anche altri, e cioè che è possibile una integrazione fra tutte le varie teorie speleogenetiche per risolvere dei casi specifici e che tutte portano un certo contributo. Qui per esempio siamo partiti dalla teoria della corrosione per miscela delle acque; siamo passati, nel caso di acque incanalate, a fenomeni non più esclusivamente speleogenetici, in quanto si possono osservare comunemente anche all'esterno, per effetto di correnti incanalate epigee; nel caso di percolazione diffusa si può invece benissimo applicare la teoria dell'«erosione inversa».

MAUCCI. Per prima cosa ringrazio l'amico PASINI per il problema che ci ha posto, un problema specifico che si presta però a diverse considerazioni di carattere generale.

Una prima considerazione: mi pare che lo schema illustratoci da PASINI rappresenti proprio uno di quei modelli astratti che a volte possono essere anche pericolosi ed indurre in errore. Teniamo presente che le fenditure non sono dei piani, ma hanno sempre un andamento irregolare, per cui non consentono di spiegare una forma regolare come quella della cavità descritta. Ma forse si è un po' franteso il problema: PASINI non è partito in realtà da questo schema speleogenetico per arrivare a dedurre quale sarà la forma della grotta, bensì da una grotta avente una certa forma per domandarsi come si è originata. Effettivamente esistono gallerie aventi questa sezione trasversale — diciamo pure — a fuso, e presentano anche una notevole regolarità per lunghi tratti; credo che qualsiasi esploratore che abbia un po' di esperienza possa confermarlo. Sembrerebbe logico riferirle a un determinato processo genetico, perché la uniformità e la regolarità con cui queste gallerie si presentano farebbe automaticamente pensare che si tratti di cavità semplici e non di cavità composte (dico cavità semplici nel senso anche di DEMATTEIS, cioè di cavità elementari legate a un solo processo genetico). Io però esiterei ad accettare questo criterio, in quanto secondo me qui vediamo intervenire diversi fattori. In altri termini ritengo che la situazione proposta da PASINI non possa spiegare da sola la formazione di gallerie aventi questa morfologia: infatti in condizioni freatiche l'intersezione delle due fratture darebbe luogo ad una galleria di corrosione per mescolanza delle acque, la cui forma sarebbe molto probabilmente diversa da quella suddetta; in condizioni vadose noi potremmo attenderci l'«erosione inversa», ma una galleria di questo genere originata per «erosione inversa» sarebbe un caso assolutamente estremo, astratto, del tutto ipotetico di pseudogalleria. Cioè, se la pseudogalleria è formata da una serie di fusi situati alla medesima altezza (e che in queste condizioni tale serie di fusi si possa formare, siamo d'accordo), aumentando indefinitamente il numero dei fusi al limite noi abbiamo la galleria continua ed uniforme di questo tipo. Ma un caso così estremo mi sembra poco probabile, tanto più che si verificherebbero subito due fatti:

- 1) Non appena questa galleria raggiungesse sufficienti dimensioni, noi avremmo

un drenaggio longitudinale che finirebbe, raccogliendo sempre maggiori quantità di acqua, per essere prevalente sul drenaggio verticale, e per condizionare in modo idromorfo la galleria. Si determinerebbe così una evoluzione non più del tipo descritto e quindi non potrebbe conservarsi su lunghe distanze una morfologia di questo genere. 2) In questa fase a un certo punto si avrebbe la cattura totale del corso d'acqua e allora le condizioni finirebbero per cambiare notevolmente.

A me pare che, tanto per questo caso come per il caso esposto da PASQUINI, ci sia un'altra considerazione da fare. Come ebbi occasione di dire nell'introduzione della mia relazione, le cavità a sviluppo verticale sono più stabili e conservano quindi più a lungo la morfologia originale. Viceversa in una grotta ad andamento orizzontale potranno con estrema facilità verificarsi, per motivi statici, fenomeni di crollo (in questi giorni non ne abbiamo mai parlato, eppure sono molto importanti, sotto tutte le numerose modalità che sono state studiate da MONTORIOL e da vari altri; tali fenomeni potranno determinare delle trasformazioni morfologiche notevolissime, per cui certe grotte che noi oggi esploriamo sono completamente diverse dalle cavità originali).

A questo volevo arrivare: certe gallerie (mi guardo bene dal dire tutte) con volte ogivali potrebbero essere spiegate col fatto che la volta a ogiva è la più stabile o una delle più stabili, e quindi quella che si conserva più facilmente e che si raggiunge più facilmente, anche per fenomeni di distacco piuttosto modesti. In definitiva io ricondurrei le gallerie con sezione trasversale fusiforme a cui accennava PASINI a questo tipo di gallerie con volta ogivale; pertanto le gallerie a sezione fusiforme non deriverebbero da un processo speleogenetico semplice, ma da diversi processi successivi: potremmo avere, ad esempio, corrosione per mescolanza di acque in una prima fase, « erosione inversa » in una seconda fase, erosione diretta in una terza fase, e finalmente crolli di assestamento, che conferiranno alla volta la forma ogivale. Ricordiamo però che le gallerie di questo tipo non sono dei modelli geometrici: ci sono restringimenti, ondulazioni; il culmine della volta non è certamente una retta; ci possono essere camini, marmitte inverse, eccetera. Tuttavia queste gallerie in linea di massima si avvicinano abbastanza al tipo morfologico in questione.

Concludendo: non possiamo dire — a mio avviso — che le gallerie con sezione a fuso si sono formate per « erosione inversa », poiché l'« erosione inversa » può avere agito tutt'al più nelle prime fasi della loro evoluzione. La morfologia di queste gallerie è in realtà il risultato di molteplici processi speleogenetici.

MAIFREDI. Mi sembra si sia assunto il massiccio calcareo come un mezzo omogeneo e abbastanza isotropo su grande scala; ciò in quanto abbiamo sempre parlato di una superficie freatica che oscilla e quindi si ha una zona freatica e una zona vadosa. In realtà questo è vero soltanto in alcune condizioni particolari di tettonica relativamente tranquilla. Se prendiamo il caso, che credo per esperienza sia piuttosto frequente, di pieghe abbastanza notevoli, la fratturazione che si viene a generare sarà molto spesso tutt'altro che omogenea e tutt'altro che isotropa. Avremo infatti zone di distensione e zone di compressione alternate, e quindi tratti con fratture beanti e tratti con fratture chiuse. Pertanto l'acqua che proviene dall'altopiano carsico dà delle forme freatiche tipiche in certe zone, mentre in altre zone, dove c'è un drenaggio più facile, si passa, nello stesso massiccio, da una condizione freatica (semplicemente perché le fratture non riescono a smaltire tutta l'acqua) ad una condizione vadosa. Così si può trovare una grotta (e ve ne sono esempi piuttosto notevoli) la quale ha una grandissima parte che si è formata in condizioni freatiche, e una seconda parte che si è formata in condizioni vadose. Quindi l'anisotropia di questi massicci calcarei dovrebbe essere tenuta abbastanza in conto, anche per evitare di ipotizzare eccessivi spostamenti dei livelli d'acqua.

CAPPA. Passiamo ad un altro argomento. È apparso recentemente su *Rassegna Speleologica Italiana* (Anno 24, f. 1, 1972) un interessantissimo articolo di J. R. L. ALLEN sugli *scallops*, che tratta di una riproduzione modellistica in laboratorio di questo fenomeno; la cosa fondamentale della trattazione è che

mette in luce l'esistenza di una situazione critica tale per cui al di sotto di una determinata velocità dell'acqua si ha un fenomeno di riempimento delle piccole cavità eventualmente presenti sulla superficie del canale, mentre al di sopra di una certa velocità si ha la formazione degli *scallops*.

Ora, ci sono altri fenomeni speleogenici di cui si è parlato, in particolare la « erosione inversa » e la corrosione per mescolanza di acque, che sarebbe interessante tentare di riprodurre in laboratorio. Non per verificare i calcoli, ma per vedere se esistono dei fattori di criticità. Questi fattori di criticità a loro volta, tradotti nella osservazione sul terreno, possono essere molto interessanti.

Naturalmente il problema in questi casi è un po' più complicato che per gli *scallops*, per i quali è stato possibile sostituire il calcare con un materiale molto più tenero: il gesso. Laddove invece siamo in presenza della corrosione chimica con l'azione della CO_2 , sostituire il calcare con del gesso non è altrettanto semplice. Quindi io, tra l'altro, pongo ai chimici questi due quesiti: 1) per certi esperimenti può essere valido ricorrere a dei modelli di pura dissoluzione (per esempio con del gesso), sostituendo le acque a diverso tenore in carbonato di calcio con acque a diverse temperature che sappiamo, da quanto ha esposto BOGLI, dare luogo ad un fenomeno di corrosione di tipo analogo? 2) Esistono dei composti chimici facilmente reperibili nei quali avvenga una reazione di dissoluzione analoga a quella della calcite (quindi con equilibri tra le fasi solida, liquida e gassosa), che però ci consenta di fare delle verifiche in tempi molto più brevi e dia una ragionevole speranza di mettere in luce le criticità che possono eventualmente esistere?

CIGNA. Ringrazio CAPPA di questa proposta di sperimentazione. Certamente, nel caso dei processi speleogenetici richiamati da CAPPA, il discorso si complica parecchio, perché si ha a che fare con un fenomeno che è regolato da un maggior numero di variabili, quindi non è così facilmente dominabile. Comunque è una proposta che bisogna tenere presente e può darsi che ad un certo punto si possa realizzarla.

CORRA. Ho notato come il discorso si mantenga molto teorico in genere. Questo ha dei grandi vantaggi, ma — come ha rilevato il collega MAIFREDI — bisognerebbe tenere maggiormente presenti le condizioni reali, che talvolta sono molto diverse.

Parlando ad esempio delle condizioni in cui si formano le grotte, si prendono sempre in considerazione gli elementi tettonici, ma si trascurano di solito altri fattori spesso molto importanti, come la presenza o meno di strati impermeabili in superficie e, più in generale, la litologia. Illustrando l'effetto corrosivo delle miscele di acque a diverso grado di saturazione, temperatura, ecc., si è trascurata infatti l'influenza che ha su tale fenomeno la diversa composizione chimica dei calcari che si trovano in natura; certe differenze litologiche dei calcari si traducono in pratica non soltanto in variazioni di permeabilità, ma anche in una diversa percentuale delle impurità, che condizionano molto — a mio avviso — gli equilibri chimici. È anche interessante notare l'influenza delle successioni di strati carbonatici permeabili e impermeabili sulla forma e lo sviluppo delle grotte. Nel Veneto ho osservato che, dove si hanno strati permeabili sovrastanti strati impermeabili, nei pozzi non si formano grotte ma si verifica solo un allargamento della diaclasi.

Un altro aspetto che spesso non viene considerato è lo « sgravio », cioè la diminuzione delle spinte litostatiche laterali, che si ha in prossimità delle incisioni vallive e che dà luogo a disturbi tettonici. Ritengo che, ad esempio, la formazione della Spluga della Preta sia stata condizionata anche dalla vicinanza della valle dell'Adige, profonda localmente un migliaio di metri. Questa valle è di origine glaciale, ed il suo approfondimento è avvenuto in fasi successive. La Spluga della Preta è una voragine costituita dall'alternanza di grandi pozzi con gallerie e cunicoli suborizzontali; forse i pozzi si formarono nei periodi di approfondimento vallivo, mentre i cunicoli e le gallerie suborizzontali possono risalire ai periodi in cui la valle era ostruita dal ghiacciaio o non era abbastanza approfondita.

Un'ultima osservazione riguardo alla terminologia. Dal momento che la terminologia serve per intendersi, sono del parere che non sia utile seguire per essa criteri fondati su considerazioni genetiche, ma piuttosto criteri fondati su caratteristiche morfologiche. Prendiamo ad esempio la dolina: poiché dolina significa avvallamento, vallecola, parleremo di dolina ogni volta che ci troviamo di fronte ad una depressione di sicura origine carsica. In questo senso manterrei anche termini come « dolina di crollo ».

CIGNA. Vorrei chiarire al Prof. CORRÀ che durante questo Seminario si è cercato soprattutto di approfondire alcuni argomenti specifici, come la corrosione per mescolanza o l'« erosione inversa »; ciò non ha impedito tuttavia di tener conto, seppure marginalmente, dei principali fenomeni a cui egli accennava. Vorrei poi ricordargli che la prima segnalazione sull'effetto dello ione estraneo nell'aumento della solubilità si trova su un lavoro di MONTORIOL (Speleon, a.8 : 81/88, 1957) e che successivamente ho ripreso l'argomento io stesso (CIGNA, Ann. Spéléol., 18 (2): 185/191, 1963) fornendo anche i risultati di esperienze effettuate allo scopo di valutare quantitativamente questo effetto.

MONACI. Io sono il tipico esempio di speleologo sportivo al cento per cento. Quanto avete detto oggi e nei giorni passati mi è piaciuto, l'ho capito e vi ringrazio; ma vi chiedo: perché, pur svolgendo attività speleologica da 12 anni, queste cose le ho capite solo in questi giorni? Non si poteva fare un po' prima questo Seminario? Vorrei chiedere un'altra cosa: nei corsi di speleologia, che ho seguito come allievo e ora seguo come istruttore, non si potrebbero trattare anche questi argomenti? Io li trovo molto interessanti; domenica andrò in grotta cercando di capire quello che vedrò, e non soltanto dicendo: « quanto è bello » e basta.

CIGNA. Ringrazio molto MONACI di queste parole. Devo dire che c'è stata una certa difficoltà ad organizzare un Seminario come questo. Non è così facile far coincidere la disponibilità di tante persone, trovare una sede adeguata, eccetera: insomma ci sono parecchi problemi logistici da risolvere e questa è la ragione per cui il Seminario non si è potuto fare prima. Io mi auguro comunque che si possa ripetere in futuro.

SAURO. Io ho trovato interessante questo Seminario, però mi sembra che non si sia insistito molto sulla morfologia superficiale (ne hanno accennato solo MAUCCI e PASINI) che è fondamentale anche per la morfogenesi delle grotte. Penso che sia molto importante ai nostri fini considerare i rapporti tra la superficie topografica, la litologia e la tettonica, cioè individuare quella che io chiamerei la *posizione morfologico-strutturale* di una grotta. Consideriamo per esempio una valletta scavata in strati di rocce carsogene inclinati e fessurati. Dove si potrà impostare essenzialmente una cavità? Dobbiamo considerare diversi fattori. Anzi tutto il fatto che l'acqua tende a scorrere, anche in una regione carsica, in superficie, specie quando c'è una copertura vegetale che la porta, in questo caso, verso il *Thalweg*. Poi l'acqua penetra prevalentemente in prossimità del *Thalweg* e tende a seguire i giunti di stratificazione, perciò tende a spostarsi al di sotto del versante a reggipoggio ed a scendere lungo le fratture che si trovano sotto questo versante. Pertanto anche la cavità tenderanno a svilupparsi sotto il versante a reggipoggio (che è anche il più stabile e arretra più lentamente) piuttosto che sotto quello a franapoggio. Chiamerei questa posizione morfologico-strutturale appunto « di versante a reggipoggio ». Questo non è che uno dei vari esempi possibili.

CIGNA. Ringrazio il collega SAURO per queste osservazioni. In effetti in questi giorni non abbiamo potuto esaurire tutti gli aspetti della speleogenesi, ma abbiamo dovuto limitarci a metterne in luce qualcuno.

MAUCCI. Vorrei fare qualche osservazione sulla teoria dell'amico DEMATTEIS. Se ho capito bene, secondo questa teoria l'inizio dei fenomeni speleogenetici avviene comunque e sempre in condizioni freatiche, e la condizione vadosa si verifica

soltanto in un secondo tempo. In qualche caso ciò mi pare anche possibile, però io vorrei farvi osservare che nella definizione stessa del fenomeno carsico è implicita una percolazione sotterranea di acque, perché se noi abbiamo una superficie impermeabile al di sotto della quale non si abbia perdita di acque, in nessun caso si può avere carsismo. Ora, questa esigenza richiede necessariamente l'esistenza di una zona vadosa, perché se noi abbiamo una roccia permeabile per porosità primaria o per porosità secondaria e totalmente imbevuta fino alla superficie, questa roccia si comporta come se fosse impermeabile. Le acque potranno essere anche chimicamente aggressive, ma entro limiti molto modesti; perché non c'è nessun fattore che determini uno scorrimento, che determini quel ricambio di acque che possa rendere efficace un qualsiasi punto carsogeno, qualunque sia il meccanismo che noi invochiamo. Acciocché si possa avere un effetto speleogenetico (sia pure in forma embrionale) è necessario che ci sia un drenaggio di acque, il che significa un grado di sospensione, il che significa quindi un livello di base.

Immaginiamo una spianata calcarea di abrasione marina appena emersa, quindi molto bassa sul livello di base; in queste condizioni la superficie piezometrica della zona freatica coincide effettivamente con la superficie topografica. Si verificherà allora una evoluzione morfologica di tipo normale, non di tipo carsico. Un terreno di questo genere potrà sostenere acque superficiali in tutte le forme. Avremo l'inizio del carsismo non appena questa zona freatica subirà un abbassamento, qualunque ne sia la causa (abbassamento del livello di base, aumento del drenaggio, sollevamento del terreno). Solo quando avremo una zona vadosa, magari limitata e ristretta, solo in questo momento inizierà il carsismo. E allora è vero che i fenomeni carsici sotterranei potranno instaurarsi su determinati punti già precondizionati dalla primitiva fase freatica. Ma che questa situazione di freaticità possa rientrare nell'ambito di un protocarsismo, a me pare un po' ardito affermarlo; e che possa creare le condizioni per la successiva formazione di pozzi a cascata, mi scusi l'amico DEMATTEIS ma io francamente non riesco a crederlo. Infatti il pozzo a cascata (che del resto ritengo raro), l'esistenza stessa della cascata, richiede già l'esistenza di un vano, un vano considerevole, e questo vano deve avere avuto un'origine precedente. Ora, un vano talmente grande da consentire la formazione di una cascata e le condizioni perché si verifichi la regressione della cascata stessa possono aversi soltanto in una grotta già ben avanzata, nella sua evoluzione, che quindi non rientra più — direi — nell'ambito della speleogenesi, bensì in quello della speleoevoluzione. Ma in condizioni di freaticità è possibile — ripeto — la formazione di punti carsogeni preliminari, mentre lo sviluppo di fenomeni per cui basti abbassare il livello di base per trovare già la grotta bell'e pronta mi pare un po' improbabile.

DEMATTEIS. Questa discussione mi interessa molto. L'amico MAUCCI nega — a quanto pare — che ci possa essere circolazione di acqua (cioè spostamenti da punti più alti a punti più bassi) al di sotto del livello freatico. Ma io chiedo: come possiamo immaginare che si formino le grotte freatiche se non ammettiamo una circolazione al di sotto della *superficie piezometrica*? D'altronde, come è stato ricordato anche in questo Seminario, durante alcune trivellazioni sono state rinvenute gallerie a grandi profondità sotto il livello di base, e ciò dimostra che si formano delle cavità al di sotto della *superficie piezometrica*.

Indubbiamente le grotte freatiche più note sono quelle ad andamento orizzontale, ma esistono anche cavità freatiche che seguono fratture verticali, perché durante il periodo in cui queste fratture erano sommerse l'acqua circolava al loro interno. Osservando infatti pozzi formati per retrocessione di una cascata troviamo sovente i resti di questi primitivi condotti freatici, a partire dai quali si sono sviluppati i pozzi stessi.

Vorrei rimarcare inoltre che non è vero che siano rare le grotte evolutesi secondo il meccanismo della retrocessione delle cascate: sono anzi frequentissime. Non si devono confondere però i pozzi-cascata, dal fondo roccioso, coi fusi aventi la parte inferiore riempita da detriti; e ancora, occorre distinguere tra la morfologia di una grotta formata per arretramento di cascate e quella di una grotta formata per coalescenza di fusi.

CIGNA. Mi spiace ma, data l'ora, penso che sia necessario concludere la discussione.

A questo punto mi fa molto piacere ringraziare tutti coloro che hanno collaborato alla realizzazione di questo Seminario, cominciando da BADINI, che si è sobbarcato il peso notevolissimo della organizzazione logistica, e dai Relatori, che hanno dato un contributo sostanziale e validissimo. In pratica è stato intorno a loro che hanno ruotato le varie sessioni in questi giorni. Ringrazio poi tutti gli intervenuti, tutti quelli che non si sono limitati soltanto ad ascoltare, ma sono venuti anche a parlare, rendendo queste discussioni estremamente fruttuose. Devo dire che in questo momento mi spiace molto dover mettere la parola fine alle discussioni; d'altra parte tutte le cose devono avere una fine! Vorrei ancora ringraziare le interpreti, che hanno facilitato gli scambi con i colleghi stranieri, gli addetti alla registrazione, nonché gli amici CAPPA e GATTI per avere curato le proiezioni.

Forse non tutti sapete che proprio in quest'aula, negli anni del dopoguerra, si sono svolti dei famosi corsi di fisica con la presenza di FERMI, come è ricordato dalla lapide all'ingresso. Per questa ragione Varenna ha raggiunto una fama internazionale: molte informazioni che erano protette dal segreto, perché durante la guerra molta fisica nucleare era di interesse militare, sono state portate a conoscenza degli studiosi proprio qui. Quindi da quest'aula ha avuto origine un'evoluzione importantissima della fisica, non soltanto per l'Italia, ma addirittura a livello internazionale. Io mi auguro che, più modestamente, anche per le ricerche di speleologia possa avere inizio da qui un'evoluzione che permetta di approfondire le nostre conoscenze e di chiarire la ragione di tanti fenomeni.

Grazie, ancora, a tutti.

BADINI. L'amico CIGNA ha fatto tanti ringraziamenti doverosi; ma ora credo che noi dobbiamo fare un ringraziamento altrettanto doveroso a CIGNA, che ha voluto questo Seminario, che l'ha portato avanti quando molti di noi l'osteggiavamo — con la stessa caparbia con la quale da tre anni sta portando avanti la Società Speleologica Italiana, con i risultati che tutti voi potete vedere — e che l'ha condotto con molta pazienza sino in fondo, materialmente, in queste tre giornate di discussioni.

ANELLI. Tocca a me adesso: è l'altro secolo che parla! Grazie tante caro CIGNA; tutti qui sono da ringraziare, ma a te un grazie di cuore per avere condotto così bene il Seminario, per il posto ideale che hai scelto, per come si è svolto; bravo! Un grazie di cuore a nome di tutti, e un abbraccio fraterno, se permetti. Scelte così felici non possono ripetersi tante volte. In questo Seminario che riunisce vecchi e giovani io, che ho 73 anni, ho molto imparato anche da uomini giovanissimi, lo confesso; molte cose ho imparato che non sapevo. Quindi anche per me è stato un piacere trovarmi qui e vado via soddisfattissimo, entusiasta. Auguro a voi giovani di fare molto più di noi, con tanta attività, con tanto cuore e con sapienza. Molte grazie.

CIGNA. Vi ringrazio ancora per le cortesi parole che mi avete detto; parole immeritate perché — ripeto — se si è fatto qualche cosa lo si è fatto con la collaborazione di tante persone, tra cui va suddiviso il merito.

La periodicità della rivista « LE GROTTE D'ITALIA » è legata ai contributi dei collaboratori Italiani e stranieri.

Si effettuano abbonamenti ed anche cambi con riviste similari.

Per acquisti di fascicoli nuovi ed arretrati e per informazioni indirizzare a: « LE GROTTE D'ITALIA », Via Zamboni 67 - 40127 Bologna.

Prezzo del presente volume L. 12.000 (Estero L. 15.000); per i Soci della Società Speleologica Italiana L. 9.000. Spese postali escluse.

