

CARSOGENESI E GEOMORFOLOGIA DELL'ABISSO DI TREBICIANO (Carso Triestino)

RIASSUNTO

E' stato eseguito uno studio carsogenetico dell'Abisso di Trebiciano (Carso Triestino, long. 1,22'53"; lat. N 45,41'0611) basato sul rilevamento geomorfologico molto dettagliato della cavità.

Sono state distinte quattro Unità Geomorfologiche (U. G.), corrispondenti ad assise rocciose a diversa carsificabilità, identificate in base alla presenza ed alla frequenza di particolari <forme carsiche>.

L'U. G. 1 è poco carsificabile; vi prevalgono forme erosive che interessano litotipi dolomitici.

L'U. G. 2 è abbastanza, carsificabile ma la dissoluzione vi agisce in modo difforme a causa della particolare natura litologica delle dedolomiti; più solubile è la parte calcitizzata del mosaico di fondo originariamente tutto dolomitico, per cui prevalgono, tra le forme di corrosione, quelle caratterizzate da cribrosità, micro e macrocariaturre, incavi più o meno profondi.

Le U. G. 3 e 4 sono le più carsificabili; presentano morfologie a «pozzo»; nell'U. G. 3 prevalgono però le forme erosivo-dissolutive per la presenza di rocce spatico-allochimiche, mentre nell'U. G. 4 le rocce micro-allochimiche e le micriti, più solubili, condizionano l'evolversi di forme prevalentemente dissolutive.

I rapporti tra il carsismo dell'Abisso e le caratteristiche strutturali del complesso roccioso sono state desunte da analisi statistiche sull'orientamento preferenziale dei sistemi di fratture, delle fratture incarsite su «Kluftkarren» e sugli sviluppi spaziali di pozzi e di gallerie di grotte rilevate in un'area immediatamente circostante l'abisso; risulta che i sistemi di fratturazione maggiormente interessati dal ci Sono il N-S/subvert., NNE-SSO/subvert. e subordinatamente il sistema ESE-ONO/subvert. L'analisi statistica degli orientamenti delle fratture incarsite, dello sviluppo dei pozzi e gallerie misurate in corrispondenza dell'Abisso hanno dimostrato che maggiormente incarsito è il sistema N-S/subvert. ed in subordine il NNE-SSO/subvert.

Sia, nell'Abisso che nelle cavità della zona circostante i piani di strato risultano di scarso significato, agli effetti del processo carsogenetico. Le morfologie rilevate nell'Abisso sono state raggruppate in morfotipi caratterizzati da processi carsogenetici differenziati. Essi sono:

- 1) I pozzi, impostati in genere su più fratture subparallele raramente su di una sola frattura, con sezioni trasversali subcircolari ellittiche o fessuriformi; son presenti piccole soglie di cascata con fenomeni di erosione regressiva; talvolta impronte di corrente, che testimoniano episodi di scorrimento in pressione dell'acqua.
- 2) Le forre, piccole gallerie a volte leggermente meandrizzate, talora con piccoli canali di volta ed impronte di corrente.
- 3) Le gallerie in zona vadosa relitti di antichi sistemi più estesi, con depositi argillosi e mensole di concrezione disposte a varie altezze.
- 4) Le gallerie in zona epifreatica: sono, le gallerie del F. Timavo la cui volta appare spesso forata da numerosi camini; è caratteristica la presenza di grandi lame di roccia.
- 5) La «Caverna Lindner», assai ampia, al fondo della quale scorre attualmente il F. Timavo; dalle pareti N ed E sono numerose le venute d'acqua, saltuariamente attive. La volta è caratterizzata da una serie di tetti; il fondo è coperto da grandi blocchi rocciosi e da notevoli depositi sabbiosi.

I depositi di riempimento rilevati nell'Abisso di Trebiciano sono rappresentati da argille rosse nelle gallerie in zona vadosa», da silo, sabbie ghiaie nella Caverna Lindner, e da detriti clastici distribuiti un po' dovunque; so presenti anche depositi di concrezione calcitica in placche di norma non molto spesse.

Le fasi evolutive del complesso ipogeo dell'Abisso di Trebiciano sono, così ricostruibili: le cavità primitive sono le attuali gallerie in zona vadosa che hanno assunto grandi proporzioni nei litotipi delle I. G. 3 e 4. E' seguita la formazione dei pozzi e delle forre ad essi geneticamente legate, dovuti a modesti apporti idrici. La penetrazione, dei pozzi nel «Complesso dolomitico», favorita dalla carsificabilità delle dedolomiti, ha reso possibile l'accesso, alla «Caverna Lindner». Quanto alla formazione delle gallerie in zona epifreatica, in base alle morfologie gravitative in esse riscontrate, essa coincide con la regressione würmiana che ha provocato un abbassamento del livello di base carsico. Inoltre l'appartenenza di queste gallerie ad un più vasto sistema ipogeo è comprovato dai rilievi gravimetrici eseguiti nell'area.

La genesi della «Caverna Lindner» va attribuita all'azione del F. Timavo ed a tutta una serie di apporti idrici provenienti dalle pareti N e NE. L'assetto della cavità e la presenza al fondo di grandi blocchi rocciosi dimostrano il precario equilibrio geostatico della volta e delle pareti. La presenza di argille (a livelli diversi) e di canali di volta nelle gallerie in zona vadosa e nelle forre confermano, un forte alluvionamento argilloso che in passato forse ostruiva completamente le cavità per quanto non risulti chiaro se nella stessa fase di riempimento siano stati intasati anche i pozzi; è stato possibile stabilire che le fasi di riempimento sono state essenzialmente due: la prima ha interessato le gallerie in zona vadosa, la seconda ha intasato le forre.

In base alle attuali conoscenze su tale fenomeno, che è stato riscontrato in tutte le cavità del Carso Triestino, queste fasi di riempimento possono, essere attribuite al Pleistocene superiore.

ZUSAMMENFASSUNG

In, der Höhle «Abisso di Trebiciano» (Triestiner Karst, 1,22'5311 L, 45,41'06" n. Br.) wurden karstgenetische Studien durchgeführt, die sich auf sehr eingehende geomorphologische Erhebungen in der Höhle stützen.

Es wurde vier geomorphologische Einheiten (g. E.) unterschieden. Diese entsprechen Felsformationen mit verschieden starker Verkarstung. Man erkennt sie am Vorkommen von besonderen Karstformen.

Die 1. g. E. ist wenig verkarstungsfähig, es überwiegen hier erosive Formen, es herrschen dolomitische Lithotypen vor.

Die 2. g. E. ist schon stärker verkarstungsfähig, die Lösung ist jedoch abhängig von der besonderen lithologischen Struktur. Man findet hier Dolomite mit mehr oder weniger Kalkanteil. Löslicher ist hier der aus Kalzit bestehender Teil des Grundmosaikes, das ursprünglich vollkommen aus Dolomit bestand. Man trifft auf mehr oder weniger tiefe Mikro und Makrorinnen, also Korrosionsformen, die von der Durchlässigkeit abhängig sind.

Die 3. und 4. g. E. sind am stärksten verkarstungsfähig und weisen «Brunnen-Morphologie» auf. In der 3. g. E. überwiegen auf Grund der spatigen Struktur des Gesteines erosive Formen, in ~der 4. g. E. ist das Gestein «Mikro - allochemisch» (kein einheitlicher Chemismus) beziehungsweise Mikrit, sehr leicht löslich, die Ausbildung von zersetzenden Formen begünstigend.

Der Zusammenhang zwischen dem Karstphänomen der Höhle und den strukturellen Charakteristiken des Felskomplexes wurde statistischen Analysen der Hauptklufrichtungen, der verkarsteten tektonischen Bruchlinien ~auf Kluftrinnen und der räumlichen Entwicklung der Schächte und Horizontalhöhlen, die in unmittelbarer Umgebung vermessen worden sind, entnommen. Daraus geht hervor, dass die, für die Verkarstung massgeblichen Bruchsysteme N - S (seiger) und NNO - SSW (seiger), die weniger maßgeblichen OSO - WNW (seiger) gerichtet sind.

Die statistische Analyse über die Orientierung der verkarsteten Brüche, der Raumentwicklung der Schächte und Horizontalgänge, die in Relation mit der Höhle vermessen wurden, hat gezeigt, dass das wesentlich stärker verkarstete Bruchsystem N - S (seiger) verläuft, weniger raumbestimmend ist das System NNO - SSW (seiger).

Die Schichtfugen sowohl im «Abisso di Trebiciano» als auch in den Höhlen der Umgebung haben kaum karstgenetische Bedeutung, die im «Abisso» vorkommenden Morphologien wurden in - durch unterschiedliche karstgenetische Prozesse entstandene - Morphotypen zusammengefasst. Es sind dies:

- 1) - Schächte, die entlang von mehreren subparallelen Brüchen ausgebildet sind (selten nur ein einziger). Sie besitzen annähernd kreisförmiges, elliptisches oder Linsen-Profil; man findet kleine Gefallstufen mit rückschreitender Erosion und vereinzelt mit Fliessfacetten, die von zeitweiser Wassererfüllung stammen.
- 2) - Klammartige Gänge und manchmal im oberen Teil leicht mäandrierende Gänge, die hin und wieder kleine Deckenkanäle mit Fliessfacetten besitzen.
- 3) - Gänge in vadosen Zone, die Überreste eines ehemaligen, weitverzweigten Systemes sind. Sie besitzen Lehmlagerungen und Kockreationsleisten in verschiedenen Höhen.
- 4) - Gänge in der phreatischen Zone: Es sind Gänge des Flusses Timavo, an deren Decke oft Schlotte ansetzen. Hier liegen häufig große Felsplatten.
- 5) - Die sehr ausgedehnte «Lindnerhalle», auf deren Grund derzeit der Timavo fließt. Der N- und O-Wand entströmen zahlreiche Gerinne, die episodisch aktiv sind. Die Decke besteht aus einer Reihe von «Dächern». Am Boden liegen mächtige Felsblöcke und beachtliche Sandablagerungen.

Die Sedimentfüllungen in der vadosen Zone bestehen aus rotem Lehm und ein wenig Bruchschutt. In der «Lindnerhalle» findet man Silt, Sand und Kies und ebenfalls ein wenig Bruchschutt. Man kann auch dünne Sinterdecken beobachten.

Die Entwicklungsphasen der Räume Des «Abisso di Trebiciano» sind wie folgt rekonstruierbar: Die ursprünglichen Hohlräume sind die heutigen Gänge in vadosen Zone, die in der 3. und 4. g. E. großräumig ausgebildet sind. Danach folgte die Bildung der Schächte und Klammstrecken durch bescheidene Gerinne, die mit den übrigen Räumen genetisch verbunden sind. Das Eindringen der Schächte in die Dolomitschichten, das durch die Verkarstungsfähigkeit der Dolomite mit mehr oder weniger Kalkanteil unterstützt wurde, ermöglichte den Zugang zur «Lindnerhalle». Die Formationen der Gänge über dem Grundwasserspiegel decken sich auf Grund der vorkommenden Gravitationsmorphologien möglicherweise mit der Regression im Wurm, die eine Senkung des Karstwasserspiegels verursachte. Außerdem wurde die Zugehörigkeit dieser Gänge zu einem ausgedehnten unterirdischen System durch gravimetrische Messungen in der Umgebung bewiesen.

Die «Lindnerhalle» verdankt ihre Entstehung der Wirkung der Timavo und einer Reihe von kleinen Gerinnen aus den N- und NO-Wänden. Die Gestalt ~der Halle und das Vorkommen von gewaltigen Felsblöcken am Boden zeigen das unausgeglichene geostatische Gleichgewicht der Decke und der Wände.

Das Vorkommen von Lehm in verschiedenen Höhlen und Deckenkanälen in den Gängen und Klammern der vadosen Zone beweisen eine intensive Lehmerfüllung, die früher einmal die Räume vollständig verschloss, wobei nicht eindeutig ersichtlich ist, ob auch die Schächte davon erfüllt waren. Es gelang der Nachweis von zwei Hauptfüllungen: Die erste verstopfte die Gänge in der vadosen Zone, die zweite die klammartig ausgebildeten Höhlenstrecken.

Nach dem derzeitigen Stand der Forschungen können diese Füllungen, die in allen Höhlen des Triestiner Karstes festgestellt wurden, dem oberen Pleistozän zugeschrieben werden.

ABSTRACT

A karstgenetic study based on a very detailed geomorphological survey of the Abyss of Trebiciano (Triestine Karst, long. 1,22'53"; lat. N 45141'06") has been carried out.

Four Geomorphological Units (GU) have been distinguished, corresponding to rock masses of different degrees of Karstic solubility, identified on the basis of the presence and frequency of particular Karstic morphologies. UG 1 is of a low degree of karstic solubility; erosion features of dolomitic litho types prevail.

UG 2 is of a fair degree of Karstic solubility but corrosion occurs in a deformed way owing to the particular lithology of the dolomites; of a higher degree of solubility is the calcitized part of the lower mosaic, originally all dolomitic, so that -among the corrosion features, those, characterised by cribrosity, micro and macro vugs, with more or less deep hollows, prevail.

UG3 and 4 have the greatest degree of Karstic solubility, characterised by vertical shaft morphologies; in the UG 3 however erosive-dissoluble forms prevail due to the presence of sparry-allochemical rocks, while in UG 4 the micro-allochemical rocks and the micrites, condition the evolution of prevalently dissolutionary forms.

The relationships between the karstic phenomenon of the Abyss and the structural characteristics of the rocky complex have been deduced from statistical analyses on the preferentiality of placing of the systems of fracture from the karstified fractures on Klufthkarren and on spatial developments of vertical shafts and cave galleries in an area immediately surrounding the Abyss; it seems that the fracture systems mainly affected by karstic phenomena are the N-S/subvert and to a lesser extent the ESE ONO/subvert system.

Both in the Abyss and in the cavities in the surrounding zone the surface layers are of little significance in terms of the karstgenetic process. The morphologies obtained from the Abyss have been grouped in morphotypes characterised by differentiated karstgenetic processes. These are:

- 1) - The vertical shafts, generally found on a number of sub parallel fractures and rarely on one single fracture, with transverse sections of a sub circular nature or a helical or fissured form; there are small waterfall thresholds with regressive erosion phenomena occasionally marks of currents which testify to episodes of the forced flow of water
- 2) - The gorges, small galleries that are sometimes meander channels and sometimes ceiling channels and current marks.
- 3) - The galleries in the vadose zone, relics of older more extended systems, with clayey deposits and corbels of calcitic formation placed at various heights.
- 4) - The galleries in the epi-phreatic zone: these are the channels of the River Timavo whose roof often appears to be perforated by numerous veins; the presence of large blades of rock is characteristic.
- 5) - The Lindner Cavern, very extensive, at the bottom of which at the moment the River Timavo runs; there are a number of water sources, active at times. The vault is characterised by a number of roofs: the base is covered by great rocky blocks and considerable deposits of sand.

The filling-up deposits found in the Trebiciano Abyss are of red clays in the vadose zone channels, of silt, sands and gravel in the Lindner Cavern and of clastic detritus distributed more or less everywhere; there are also present some deposits of calcitic concretion in generally not very thick slabs.

The development phases of the hypogeum complex of the Trebiciano, Abyss can be reconstructed in the following way: the original cavities are the present channels in the vadose zone, which have assumed great size in the lithotypes of UG 3 and 4. Formation of the vertical shafts and genetically connected gorges followed as a result of modest action by water. The penetration of the vertical shafts on the Dolomitic Complex, assisted by the karstic solubility of the dolomites, made access to the Lindner Cavern possible. As regards the development of the channels in the epi-phreatic zone, in accordance with the gravitational forms found in them, it probably coincides with the regression of the Würm glacial, which brought about a lowering of the level of the karstic water table. Furthermore the appurtenance of these channels to a wider hypogeum system has been substantiated by gravimetric tests carried out in the area.

The genesis of the Lindner Cavern may be attributed to the action of the River Timavo and to a whole series of water sources coming from the North and Northeast walls. The arrangement of the cavity and the presence at the bottom of it of large rocky blocks bear witness to the precarious geostatic balance of the roof and of the walls. The presence of caly (at various levels) and of vaulted channels in the Vadose zone and in the gorges confirm a strong clayey alluviation which in the past probably completely obstructed the cavity, although it is not clear whether in the same phase of filling-up the vertical shafts were also blocked; it has been possible to establish that the filling-up phases were two; the first affected the channels of the Vadose zone, the second blocked up the gorges.

In accordance with the knowledge we now possess on this phenomenon, which was found in all the cavities of the Triestine Karst, these filling-up phases can be attributed to the superior Pleistocene period.

1. PREMESSA

L'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università degli Studi di Trieste, diretto dal prof. Giulio Antonio Venzo ha in corso, da molti anni, un vasto programma di ricerche geologiche, stratigrafiche e geomorfologiche sul Carso Triestino.

Una delle principali tematiche di studio è l'analisi dei rapporti tra le caratteristiche litologiche e strutturali delle rocce carbonatiche e l'instaurarsi e l'evolversi dei fenomeni carsici epi ed ipogei.

In quest'ambito è stata studiata la più profonda cavità del Carso Triestino, l'Abisso di Trebiciano (VG 17), al cui fondo scorre un ramo del Fiume Timavo (fig. 1).

La campagna di ricerche è stata svolta in stretta collaborazione con la Commissione Grotte «E. Boegan» della Società Alpina delle Giulie, Sezione di Trieste del CAI, che ha impegnato i suoi mezzi ed i suoi speleologi nella complessa parte tecnico-organizzativa relativa ai rilievi eseguiti in cavità (1).

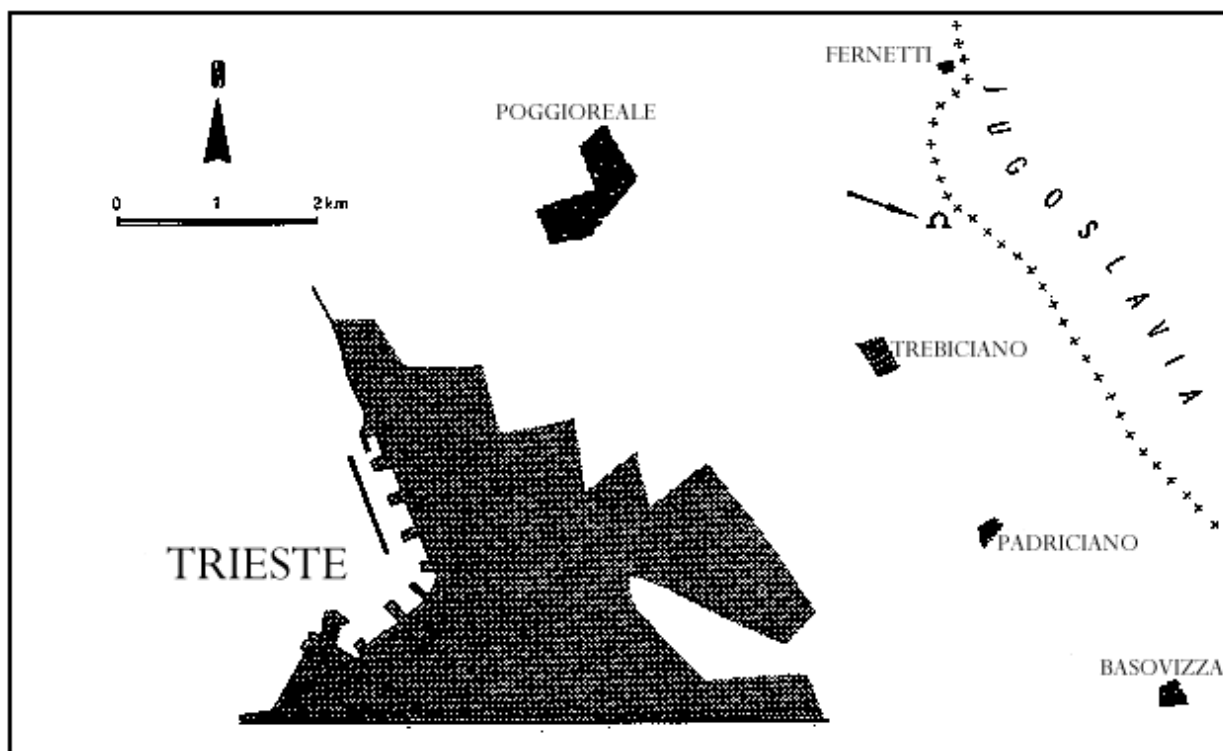


Fig. 1 — Ubicazione della cavità.

2. GLI STUDI PRECEDENTI

La presenza, al fondo della cavità del Fiume Timavo, ha promosso, fin dal secolo scorso, tutta una serie di studi, iniziatisi nella prospettiva di uno sfruttamento delle acque del Fiume per l'approvvigionamento idrico della città di Trieste (A. Polley 1902, 1910, E. Boegan 1910, 1921, G. Timeus 1928); caduto tale interesse nel 1929 allorchè fu realizzato l'acquedotto che sfruttò le sorgenti Randaccio di S. Giovanni di Duino, molti Autori continuarono ad occuparsi dell'Abisso di Trebiciano sotto diversi aspetti: idrologico (E. Boegan 1938, F. Mosetti 1963), sedimentologico (M. Bussani 1970, P. Cornin Chiaramonti e M. Bussani 1973), geofisico, (E. Soler 1934, C. Morelli 1954, F. Mosetti 1960), geomorfologico (L. De Martini e W. Maucci 1952, W. Maucci 1953/a, 1953/b) e geologico-stratigrafico (F. Ulcigrai 1977).

(1) Gli Autori ringraziano il Prof. Giulio Antonio Venzo per le osservazioni ed i consigli forniti in sede di discussione dei risultati; ringraziano altresì la Sezione Geospeleologica della Società Adriatica di Scienze, che da anni è impegnata nella realizzazione delle infrastrutture necessarie alla sistemazione di una Stazione di ricerca nell'abisso di Trebiciano per aver messo a disposizione importanti dati e notizie e per la collaborazione tecnica alle indagini speleologiche

3. SCOPO DEL LAVORO E METODI D'INDAGINE

E' stato eseguito uno studio geomorfologico e carsogenetico della cavità secondo moderne metodologie, già applicate nello studio di altre grotte carsiche (F. Cucchi, F. Forti e R. Semeraro 1976, F. Forti e R. Semeraro). Lo studio si è articolato in un rilevamento geomorfologico assai particolareggiato della cavità, corredato da un rilevamento, geologico di superficie e da uno studio statistico degli elementi strutturali, rilevati sia in superficie sia in cavità; per la definizione delle caratteristiche litologiche si è fatto riferimento allo studio di F. Ulcigrai (1977), integrato da ulteriori indagini.

Scopo della ricerca è stato quello di acquisire tutti gli elementi geomorfologici, litologici, strutturali e geoidrologici necessari per definire le modalità dell'instaurarsi e dell'evolversi dei processi carsogenetici che hanno portato alla formazione del complesso ipogeo dell'Abisso, di Trebiciano.

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

L'Abisso di Trebiciano si apre sul fianco di una dolina (Fig. 2), a poco più di un chilometro e mezzo a NNE dell'abitato di Trebiciano, a quota 341,23 s. l. m. in posizione Long. 1°22'53" e Lat. N 45°41'06".

L'Abisso è costituito, per i primi 270 m circa dal piano campagna (Fig. 3 e 8), da una successione di pozzi verticali interrotti da brevi gallerie poco inclinate; si apre successivamente in una vasta cavità, la «Caverna Lindner», alta circa 60 m e lunga oltre 150 m secondo l'asse maggiore; sulla parete NE sbocca una galleria, la «Galleria Beram», dello sviluppo di 50 m.

Sul fondo della «Caverna Lindner» scorre il Fiume Timavo alla profondità di 329 m dal p. c. e cioè a 12 metri (livello di massima magra) s. l. m. Il Fiume entra nella «Caverna» da una galleria (2) ubicata alla base della parete S e ne esce scomparendo sotto la parete NO in un sifone inesplorato

L'Abisso di Trebiciano ha uno sviluppo planimetrico di 706 metri, riferito ai vani finora esplorati (3).

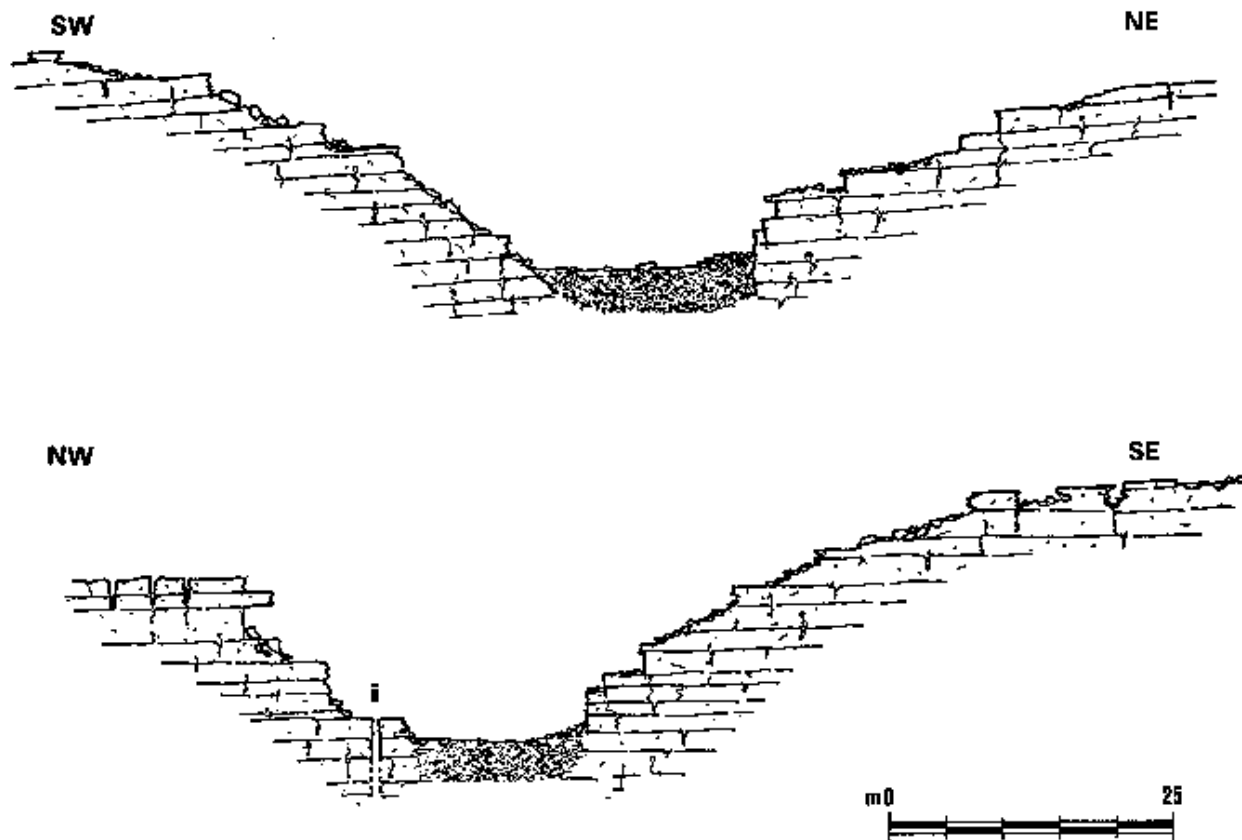


Fig. 2 — Sezioni geologiche della dolina in cui si apre l'Abisso di Trebiciano, nel «Calcere Radiolitico principale». L'ingresso della cavità è indicato (i) nella sezione NW-SE.

(2)— L'acqua vi scorre in parte a pelo libero ed in parte in pressione; la galleria mette in comunicazione la Caverna Lindner» con due grandi laghi, il «Lago Timeus» ed il «Lago Boegan».

(3)— Lo spaccato e la planimetria della grotta illustrati in Fig. 5 e 9 sono il compendio dei rilevamenti topografici di E. Boegan e S. Cavalli (1896-97), A. Beram (1913), S. Bartoli e W. Maucci (1952-53), R. Semeraro (1973), G. Crevatin e P. Martellani (1977). Detti rilievi sono reperibili presso il Catasto Regionale delle Grotte della Regione Autonoma Friuli - Venezia Giulia.

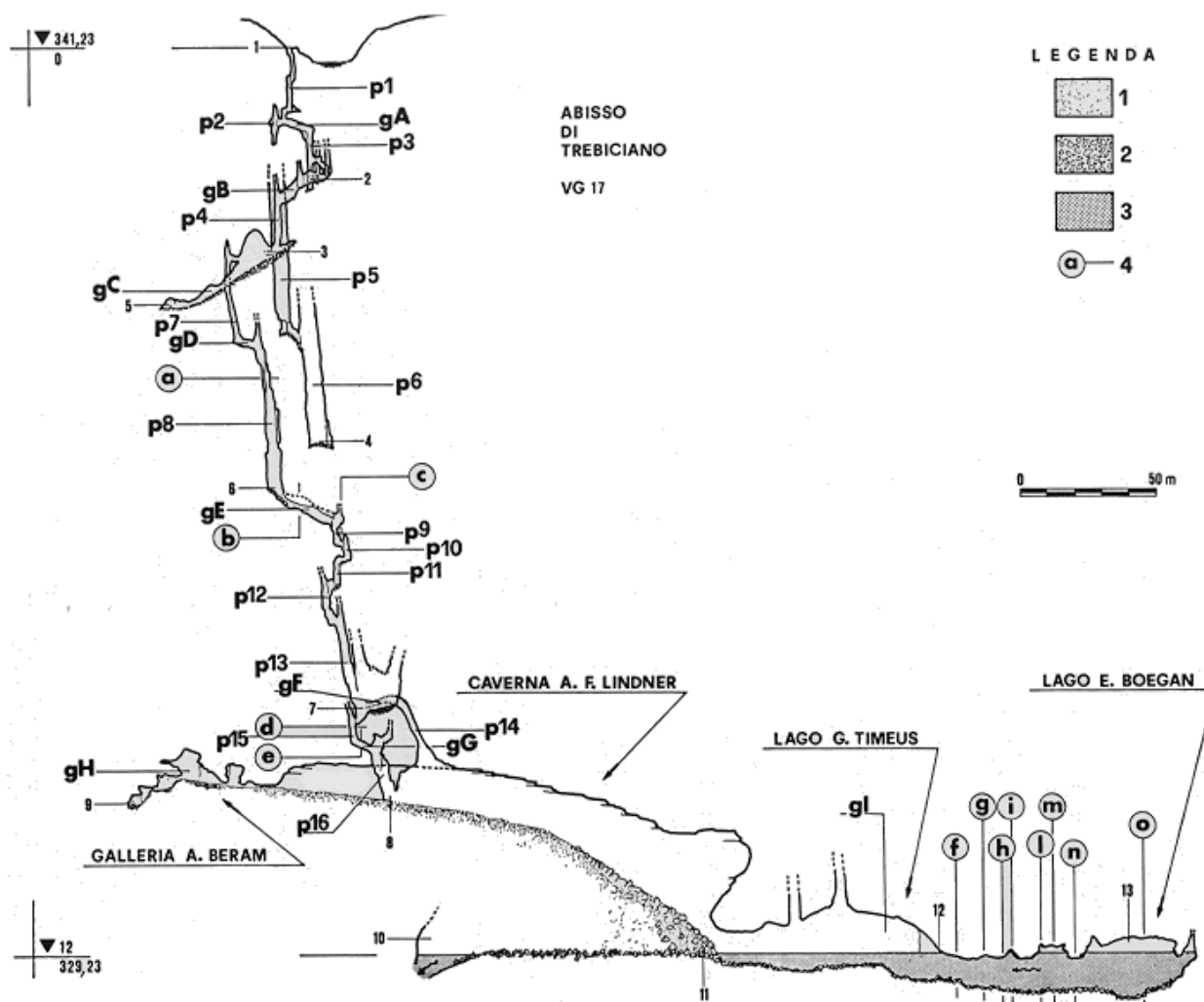


Fig. 3 — Sezione longitudinale dell'Abisso di Trebiciano

1) silt e sabbie; 2) ghiaie grossolane e blocchi; 3) acqua; 4) sezioni trasversali (a—o); i pozzi sono definiti dalla lettera p associata ad un numero progressivo (p1—p16); le gallerie sono definite dalla lettera g associata ad un'altra lettera maiuscola (gA—gI); i numeri da 1 a 13 corrispondono ai punti di riferimento indicati sulla pianta di fig. 9.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'Abisso di Trebiciano si apre (Fig. 4 e 5) in un complesso roccioso carbonatico (F. Ulcigrai 1977) e costituisce una sezione stratigrafica naturale in cui la successione è rilevabile in perfetta continuità litologica. Le caratteristiche litologico-petrografiche dei singoli campioni sono illustrate schematicamente nella Tabella I. Come si può notare si tratta di dolomie, con livelli anche intensamente dedolomitizzati (nel quadro di processi paleocarsici), breccie dolomitiche e calcari per la definizione dei quali si è seguita la classificazione di R. Folk (1959). La successione inizia, dal basso, in alto, con i termini superiori del complesso dolomitico», comprende i calcari nerastri e grigi», il «calcare brecciato di Monrupino» e termina in corrispondenza della base del calcare radiolitico principale. Le citate denominazioni formazionali si riferiscono, ad Unità Litostratigrafiche non formali definite rispettivamente da M. Masoli e F. Ulcigrai (1969), F. Forti e T. Tommasini (1967), C. D'Ambrosi (1961) e riportate nello schema di suddivisione litostratigrafica e cronostatigrafica del Carso Triestino proposto da F. Forti e M. Masoli (1969).

L'assetto, strutturale delle formazioni geologiche in cui si apre l'Abisso si può considerare praticamente suborizzontale. In un contesto più ampio, l'area di Trebiciano è compresa nell'ambito dell'anticlinale del Carso Triestino che localmente è complicato da pieghe secondarie di modesta entità.

6. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELL'ABISSO

Il rilevamento geomorfologico, di dettaglio eseguito nell'Abisso, di Trebiciano ha consentito, il riconoscimento di diversi morfotipi, caratterizzati da processi speleogenetici differenziati: i pozzi (4), le forre, le gallerie in zona vadosa, le gallerie in zona epifreatica ed infine la Caverna Lindner.

6.1. I pozzi

I pozzi hanno in massima parte un andamento verticale; soltanto alcuni risultano più o meno inclinati (p8, p1-3); sono spesso impostati su più fratture, in genere subparallele (p1, p5, p6, p15), o in corrispondenza dell'intersezione di sistemi di fessure normali tra di loro (p8, p13); rari sono i pozzi (p3) che si sviluppano secondo un'unica grande frattura (Foto 14). La sezione trasversale varia da subcircolare (p4, p9) e subellittica-fessuriforme (p8, p5, p6) e l'asse maggiore trasversale coincide con i piani di discontinuità lungo i quali la cavità si è impostata. I pozzi sono spesso caratterizzati -da piccole soglie di cascata (p8, p13), da solchi di erosione-dissoluzione verticali (p5, p11, p13) e si estinguono con un camino di percolazione più o meno sviluppato; in corrispondenza dei terrazzi si rinvencono spesso delle piccole marmitte (p8, p16).

Le pareti dei pozzi presentano marcate erosioni subcircolari regressive (p8, p9, p13, p15) nei punti in cui sono stati interessati da cascate (fig. 6 e Foto 1); a volte sulle pareti sono presenti «lustrature» (Foto 13) con sottili striature dissolutive (p8).

Le pareti aggettanti interessate da acque scorrenti sono talvolta caratterizzate da impronte di corrente emisferiche (Foto 3) centimetriche (p8), che testimoniano fasi in cui, per l'esiguità della cavità iniziale, le acque circolavano in alcuni tratti «in pressione».

Il fondo dei pozzi è coperto da detriti ma si intravede spesso, la roccia in posto nella quale si sono talvolta sviluppate marmitte di erosione (p9). Dalla fig. 10 risulta evidente come il sistema di pozzi si sviluppa in corrispondenza del corpo roccioso esattamente sottostante alla dolina in cui si apre l'Abisso.

6.2. Le forre

Questo morfotipo è rappresentato da piccole gallerie, talvolta leggermente meandrizzate, spesso inclinate (con pendenze attorno al 10% tutte di raccordo tra due pozzi (gA, gI), gE, gF, gG).

Morfologicamente le forre appaiono come canali di erosione giovanili (fig. 7); possono presentare brevi terrazzi a varie altezze (gC) e microcanali di volta (gE, gG) il cui andamento risulta talvolta (gE) pilotato da fratture (Foto 4) e giunti -di strato Sono spesso presenti argille rosse di riempimento, concrezioni calcitiche (gF) e piccole marmitte (Foto 12); nella gE sono state rinvenute impronte di corrente (Foto 5) rappresentate da onde crestate» (lunghe circa 20 cm) con frequenza d'onda di circa 10 cm; le creste sono rivolte controcorrente. E' importante rilevare che queste impronte, che si rinvencono in corrispondenza delle anse della forra gE si: ritrovano anche «sospese» sopra il pozzo p9, a testimonianza dell'erosione regressiva subita dalla parete versante del pozzo che ha eroso, progressivamente il fondo della forra.

6.3. Le gallerie in zona vadosa

Questo, morfotipo è rappresentato da ampie gallerie (gB, gC, gH), più o meno inclinate, relitti di sistemi ben più estesi; sono chiuse alle estremità da depositi di riempimento.

Le gallerie appaiono morfologicamente senili e presentano spesso la volta a profilo parabolico o a cuneo (gB, gC), talvolta perforata da camini di percolazione. Il fondo può essere costituito da un crostone calcitico sotto al quale si trovano depositi argillosi o detriti legati da una matrice argillosa in via di assorbimento, il che provoca spesso il cedimento del crostone stesso (Foto 6 e 7). Frequenti anche le mensole di concrezione che si rinvencono a varie altezze a testimonianza del limite raggiunto, dalle argille di riempimento (Foto, 8).

(4) Per praticità ai pozzi è stata attribuita la sigla «p» associata ad un numero progressivo; le gallerie e le forre sono state indicate con la lettera «g» associata ad una lettera maiuscola (fig. 3).

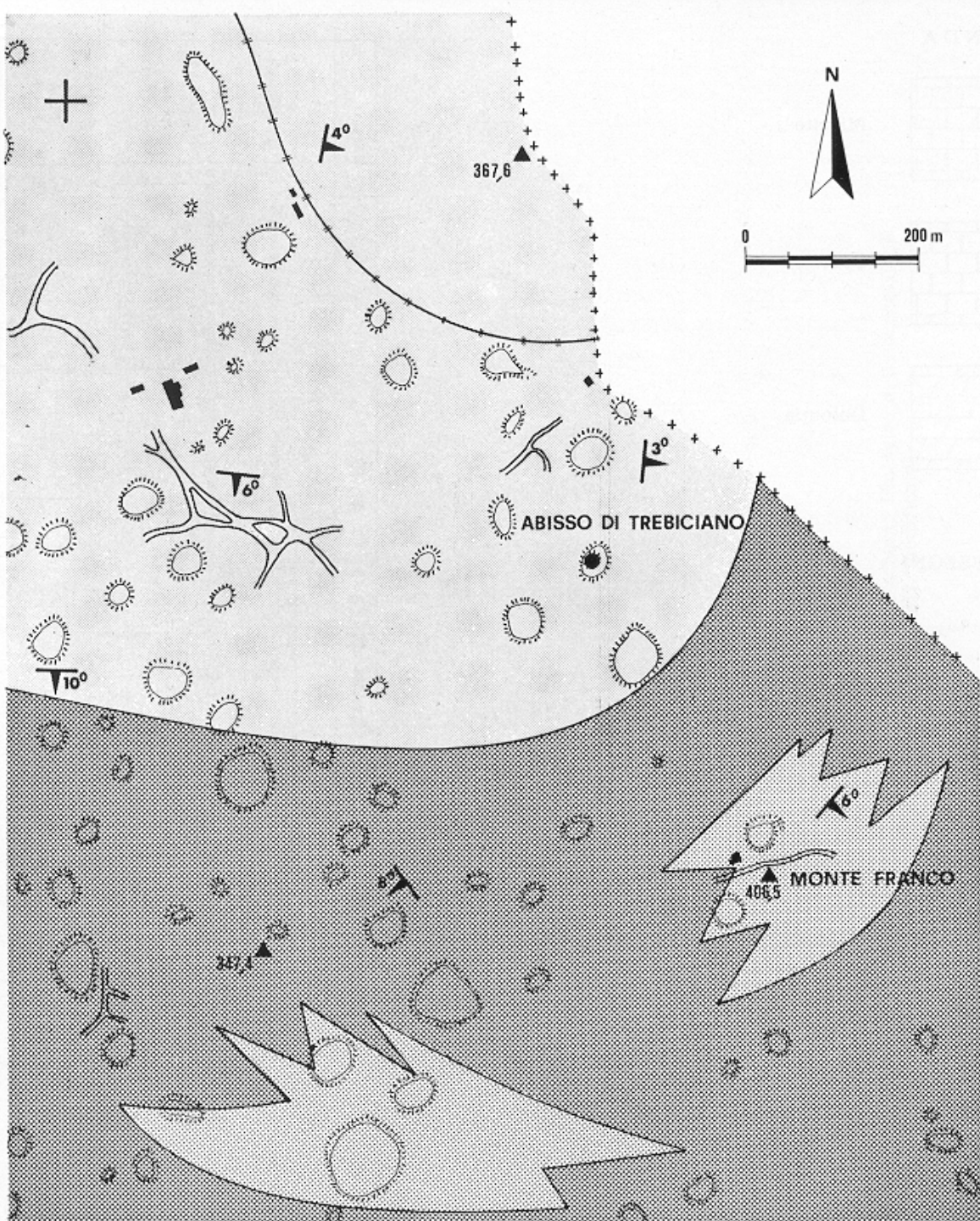
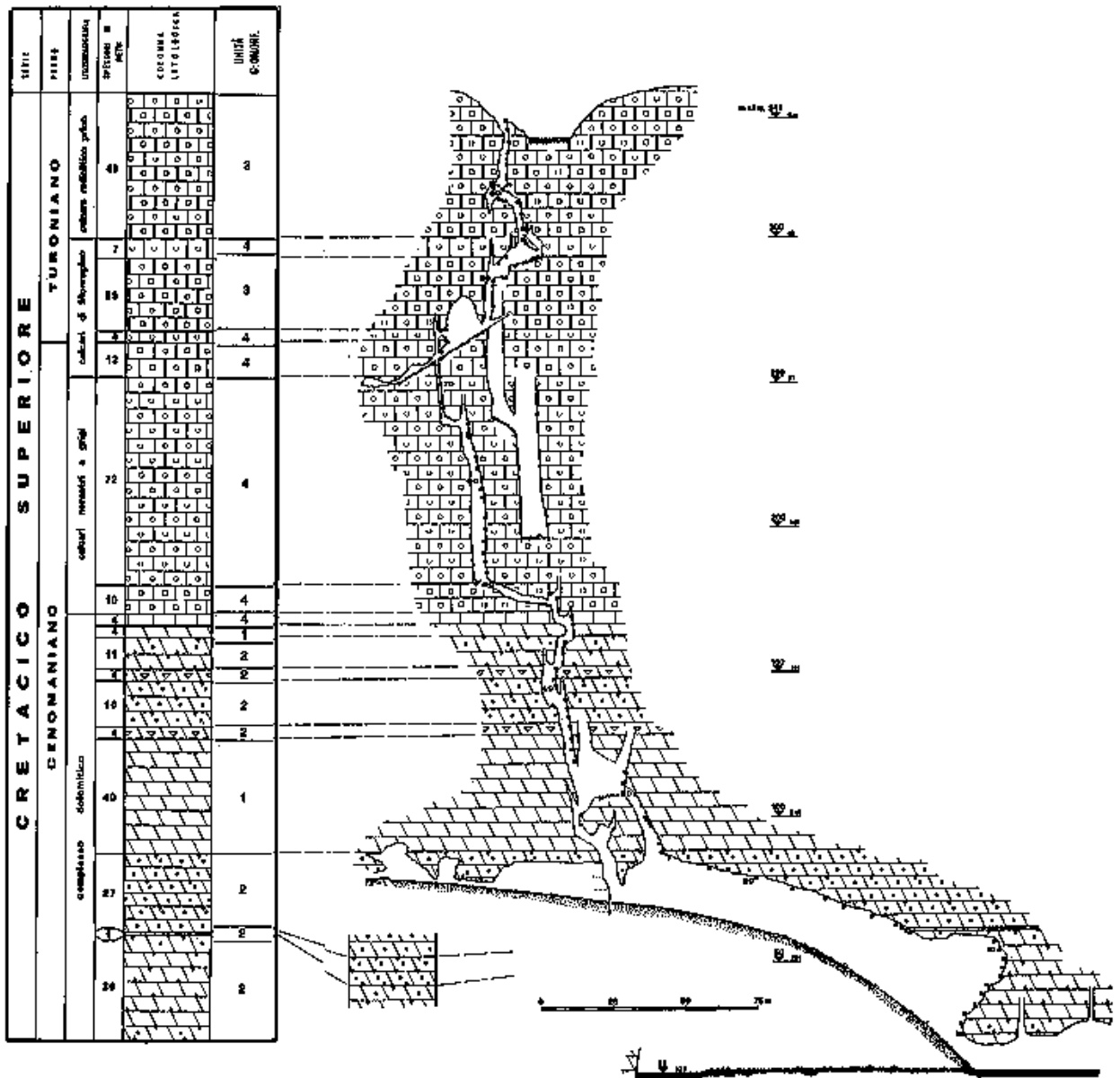
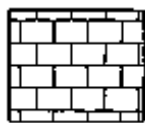


FIG. 4 - Carta geologica schematica dei dintorni dell'Abisso di Trebiciano.

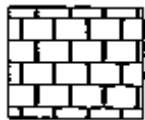
«Formazione di Aurisina» (Cretacico superiore): 1) calcari in genere compatti, da grigio chiari a grigio scuri, più o meno fossiliferi (Rudiste), con stratificazione decimetrica-metrica; 2) calcari in genere compatti, grigio scuri e nerastri, ricchi di Foraminiferi, con stratificazione centimetrica-decimetrica; 3) calcari da compatti a poco compatti, grigi, localmente grigio scuri, ricchi di frammenti di Rudiste ed altri Lamellibranchi; la stratificazione è in genere indistinta; 4) strati orizzontali; 5) giacitura degli strati inclinati; 6) doline; 7) ubicazione dell'Abisso di Trebiciano.



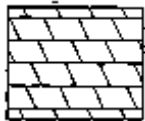
LEGGENDA



Micrite



Sparite



Dolomia

SOVRASSEGNI

- ○ resti organici
- ∪ ∪ bioclasti
- • intraclasti
- • breccie
- ▼ ▼ sacche erosive
- • fenomeni di dedolomitizzazione
- •

SIMBOLI

- 10
- 50
- 291

Fig. 5 — Distribuzione delle Unità Geomorfolologiche e schema litologico della successione di Trevisiano (da F. Ulcigrai 1977, modificato).

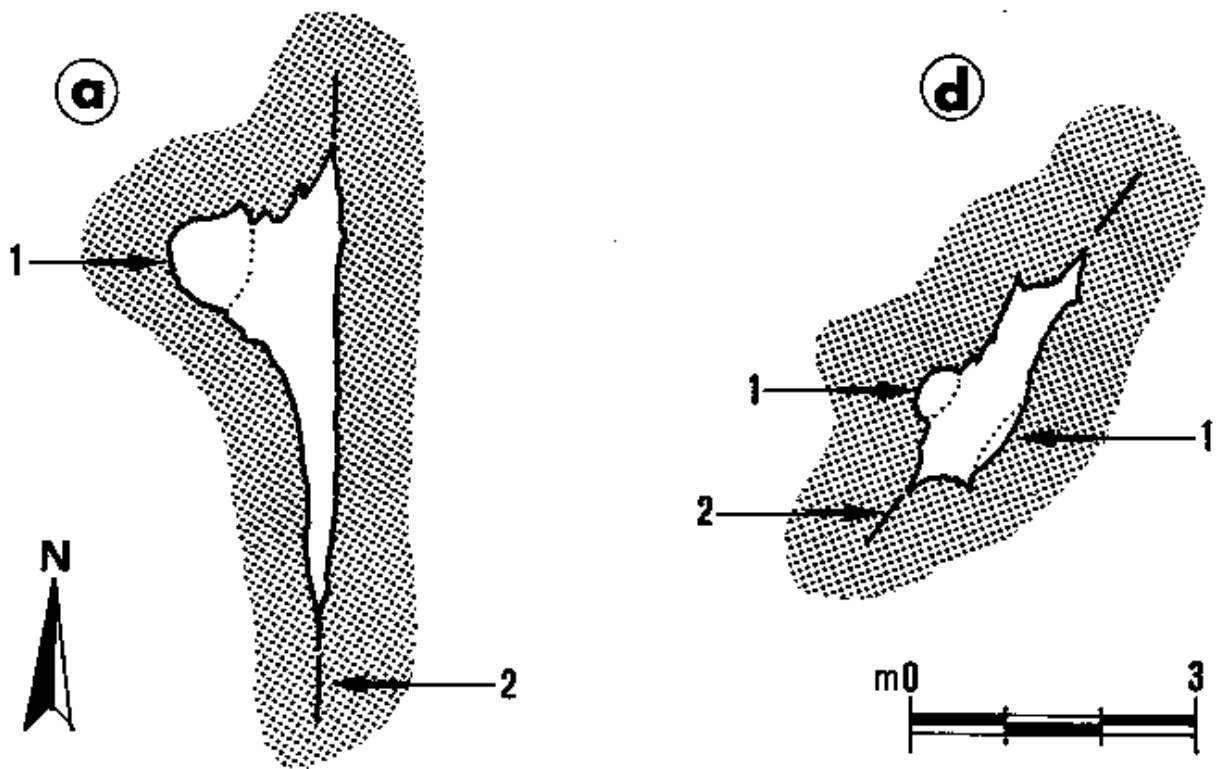


FIG. 6 - Sezioni trasversali «a» e «d» dei pozzi p8 e p15 di fig. 3.
1) erosione regressiva; 2) fratture incarsite strutturanti.

6.4. Le gallerie in zona epifreatica

Si tratta della galleria gl (fig. 8) al fondo della quale scorre un ramo del Fiume Timavo; la galleria risulta impostata su fratture orientate secondo N-S; sulle pareti vi sono profonde incisioni erosive e la volta è forata da numerosi camini. La galleria è del tipo «a pelo libero» fino al «Lago Timeus»; nel tratto compreso tra il «Lago, Timeus»; ed il «Lago Boegan» la galleria è invece in parte sommersa e si hanno scarse notizie, della sua morfologia a causa della limitatissima visibilità che caratterizza queste acque (al massimo 2 m). Da quanto è stato osservato da W. Maucci (1953) e da G. Crevatin e S. D'Ambrosi (-), che hanno percorso parte della cavità sommersa (sifone),

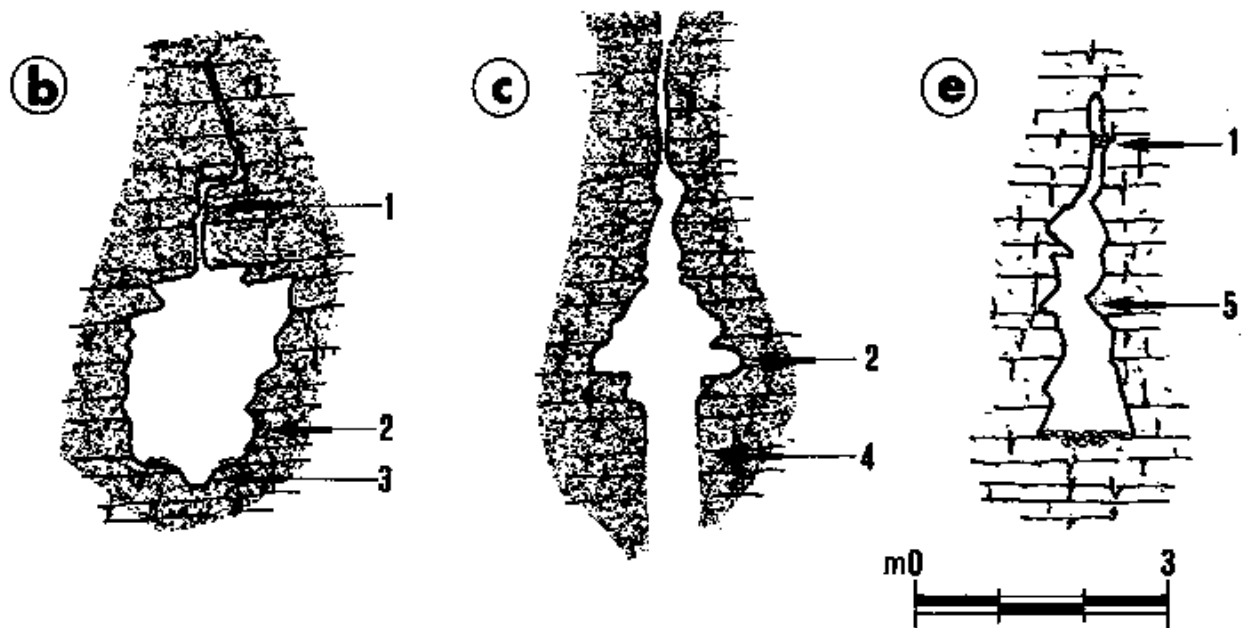


FIG. 7 - Sezioni trasversali di gallerie in zona vadosa.

1) canali di volta; 2) anse d'erosione con impronte di corrente crestate; 3) marmitta di erosione; 4) erosione gravitativa in pozzo cascata; 5) mensole di erosione. Le sezioni, che sono viste dall'esterno verso l'interno, sono indicate nella fig. 3 con le lettere «b», «c», «---e». Le sezioni b, e, si riferiscono alla galleria gE in calcari; la sezione e, alla galleria gC in dolomie.

l'ambiente risulta in alcuni tratti molto vasto; la volta è spesso caratterizzata da grandi lame di roccia e vi sono brevi tratti in cui l'acqua scorre a pelo libero.

Il «Lago Boegan» è una grande caverna con la volta forata da camini; dalle pareti scendono piccole cascate d'acqua. Nel -corso dell'ultima spedizione (G. Crevatin e S. D'Ambrosi, (-) è stato constatato che il «Lago Boegan» si chiude a circa un -centinaio, di metri dall'ingresso, del sifone del «Lago Timeus» e rappresenta un ramo; cieco del complesso, sommerso In base a quanto osservato l'ipotesi più accreditata è quella che il fiume entri nel sifone da un'altra galleria, forse da una di quelle intraviste da W. Maucci nel corso della sua spedizione del 1953.

6.5. La Caverna Lindner

Si tratta di una cavità di grandissime proporzioni per ampiezza è la seconda del Carso Triestino dopo la Grotta Gigante. L'asse maggiore misura circa 150 m, la massima altezza si aggira sui 50 m.

L'andamento della volta e l'asse della caverna seguono l'immersione e la direzione della stratificazione, che nel luogo pende di pochi gradi verso SO. L'assetto degli strati condiziona anche la morfologia della volta che è caratterizzata da una sequenza di grandi «tetti» (Foto 24) corrispondenti ai diversi banchi dolomitici; questa struttura della volta rappresenta un bellissimo esempio di fenomeno graviclastico. Sulla volta si notano frequenti venute d'acqua che formano, piccole cascatelle in corrispondenza dell'intersezione tra piani di fessurazione e giunti di strato.

Le pareti della cavità seguono le direzioni dei principali sistemi di fessurazione; tutta la parete N (ad Est -dello sbocco dei pazzi) nonchè la parete E, nella parte superiore della caverna, sono interessate da numerose vie d'acqua saltuariamente attive rappresentate da cunicoli e: camini. La parte inferiore della caverna, ove scorre il fiume, è caratterizzata da evidenti morfologie erosive suborizzontali. Il fondo della caverna è coperta da grandi blocchi dolomitici (Foto 22) a loro volta parzialmente ricoperti, nella parte inferiore della cavità, da depositi sabbiosi. Su queste sabbie scorrono, in profonde incisioni piccoli ruscelli (Foto 25) alimentati da punti di forte stillicidio della volta, che formano talvolta piccoli laghetti. Le sabbie presentano spesso tipiche strutture poligonali a «mud crack»; in corrispondenza a punti o aree di stillicidio, della volta si formano frequentemente crateri e piramidi di sabbia.

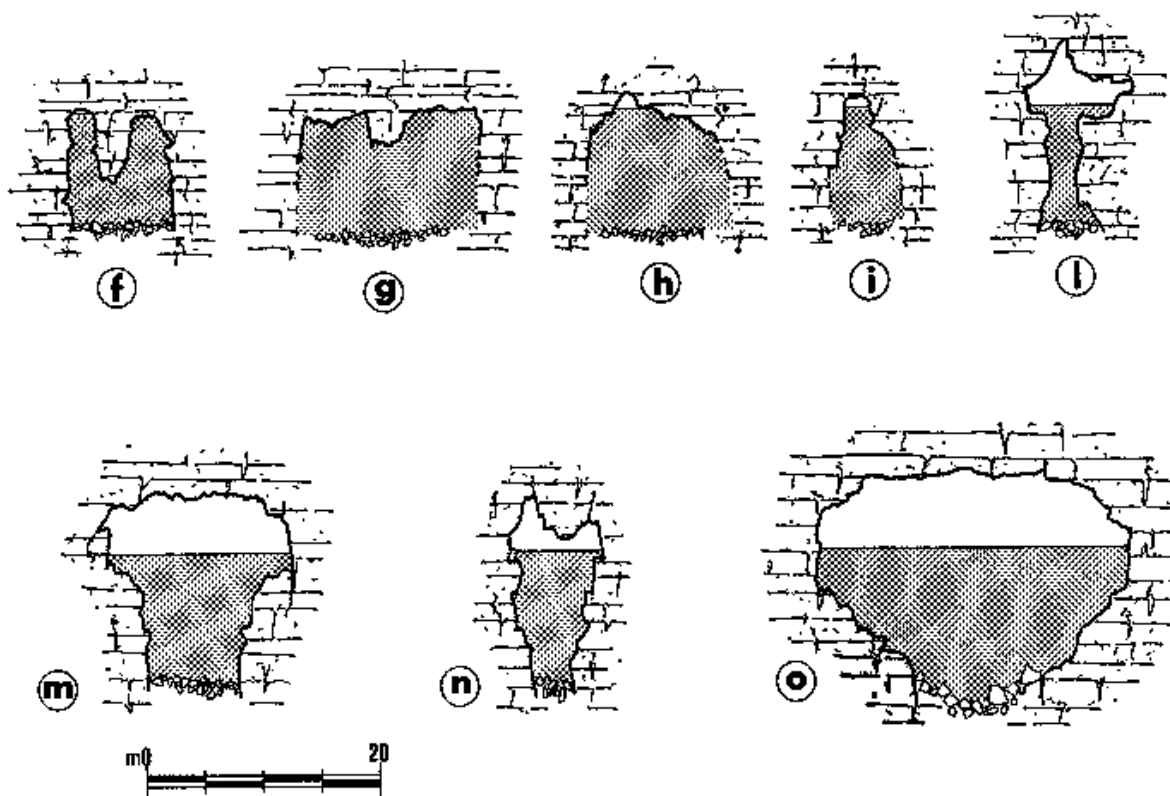


FIG.8—Sezioni trasversali della galleria in zona epifreatica. Le sezioni, che sono viste dal <Lago Timeus> al <Lago Boegan> cioè in senso contrario al corso del Timavo, sono indicate nella fig.3 con le lettere f,g,h, i,l,m,n,o; si riferiscono alla galleria gI in dolomie. Si noti nelle sezioni l,m,n, l'insolcamento gravitativo.

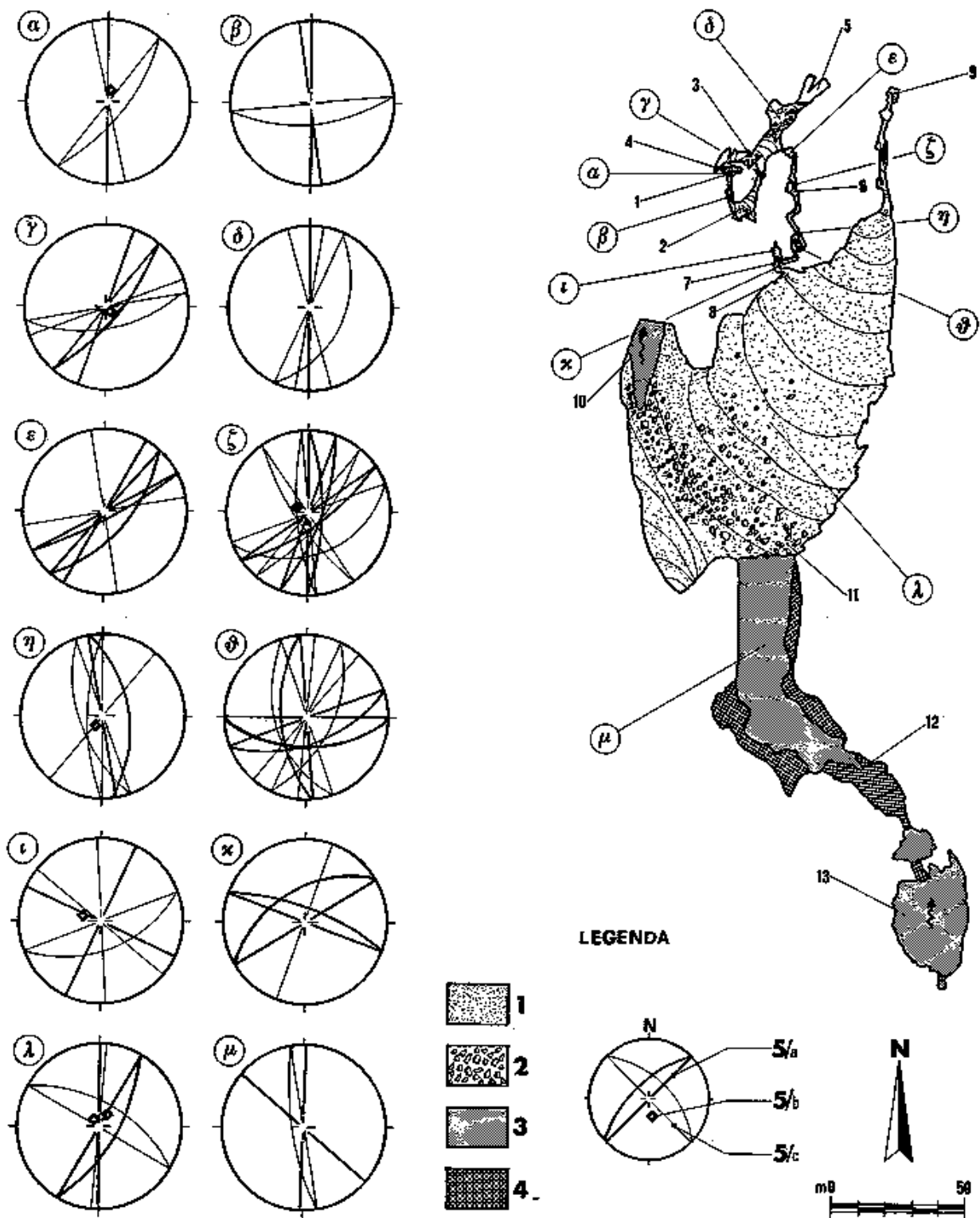


FIG. 9 - Pianta e schema carsico-structurale dell'Abisso di Trebiciano.

Diagrammi $\alpha - \mu$ rappresentazione per grandi cerchi su reticolo di Schmidt emisfero inferiore, dei principali piani di discontinuità o sistemi di piani incassati e strutturanti le diverse parti dell'Abisso, secondo il seguente schema: $\alpha = p1, gA$; $\beta = p3$; $\gamma = gB, p4$; $\delta = gC$; $\epsilon = p7$; $\zeta = p8, gE'$ $\eta = p9$; $\nu = p10, p11, 12$; $J = p13, p15$; $K = p16$; λ «Caverna Lindner»; $\mu = gI$.

1) silt e sabbie; 2) ghiaie grossolane e blocchi; 3) cavità con acqua a pelo libero; 4) cavità sommerse; 5/a) sistemi principali di fratture incassate; 5/b) polo piani ss; 5/c) sistemi secondari di fratture incassate.

7. LE UNITA' GEOMORFOLOGICHE

Il rilevamento geomorfologico di dettaglio eseguito nell'Abisso, ha permesso di acquisire i dati relativi alle microforme di corrosione alle caratteristiche morfologiche delle superfici rocciose» della cavità ed al grado di incarsimento -delle soluzioni di continuità della roccia. In base a queste, osservazioni, associate a considerazioni sull'andamento le sullo sviluppo di pozzi e gallerie sulle caratteristiche litologiche e strutturali della roccia (vedi Cap. 8) sono state distinte quattro Unità Geomorfologiche (U.G.) costituite da livelli rocciosi caratterizzati da un diverso grado di carsificabilità, espresso dalla presenza le dalla frequenza di particolari forme carsiche, legate alla differenza litologia (fig. 5).

Qui di seguito sono descritte le caratteristiche morfologiche e litologiche di ciascuna Unità. Va messo in evidenza che il criterio di studio e di distinzione delle diverse, Unità è essenzialmente morfologico le quindi le corrispondenti assise rocciose non sono sempre comprese in una sequenza stratigraficamente continua (fig. 4).

7.1. Unità Geomorfologica 1

Caratteristiche geomorfologiche

Questa Unità è poco carsificabile. Le pareti dei vani sono in genere lisce, con solchi di erosione di varia ampiezza; in corrispondenza di rocce a struttura mm. ritmica appaiono evidenti gli effetti di una dissoluzione selettiva (Folto 9). Le fratture non sono molto incarsite ad eccezione di quelle di grande estensione e particolarmente beanti. Le microforme di corrosione sono pressoché assenti; frequenti invece quelle erosive, sia nei pozzi che nelle cavità ad andamento suborizzontale, con frequenti forme di «erosione verticale» là dove vi è stata o vi è attualmente, una caduta d'acqua.

Caratteristiche litologiche

Questa Unità è caratterizzata da rocce, dolomitiche, grigie, più o meno compatte, spesso mm ritmiche, con rari filloncelli carbonatici e porosità intergranulari riempite da calcite. La dolomitizzazione è secondaria e talvolta si rilevano plaghe residue del mosaico calcitico, originario.

I litotipi di questa Unità Geomorfologica sono compresi nei Membri IV e IX della suddivisione proposta da F. Ulcigrai (1977) nel suo, studio della successione stratigrafica di Trebiciano.

Le caratteristiche dei singoli campioni sono illustrate schematicamente in Tabella L

7.2. Unità Geomorfologica 2

Caratteristiche geomorfologiche

Questa Unità è nel complesso abbastanza carsificabile. Le microforme di corrosione sono peraltro ancora scarse e la dissoluzione agisce in modo piuttosto difforme. La morfologia delle pareti è caratterizzata da profonde microcariatature passanti a macrocariatature o incavi (Foto 10); appaiono, invece, in rilievo le vene e: le zonule di calcite spatica. Sono inoltre presenti ampi vani determinati dalla concentrazione locale di numerose vie d'acqua che hanno così esaltato la dissoluzione («corrosione accelerata» di I. Gams, 1965), di norma attenuata in questa Unità, ma soprattutto, hanno contribuito all'ampliamento dei vani stessi per effetto di un intenso fenomeno erosivo.

Caratteristiche litologiche

Questa Unità comprende in prevalenza litotipi denominati «dedolomiti», cioè di dolomie metasomatiche i cui cristalli, nel quadro di un processo secondario di calcitizzazione, sono stati parzialmente o totalmente sostituiti da calcite; si determina quindi un mosaico che vede la prevalenza della dolomite o della calcite a seconda dell'intensità con cui si sia esplicata la dedolomitizzazione. In alcuni orizzonti sono inoltre presenti «sacche erosive» riempite da micrite con una frazione terrigena più o meno abbondante.

La dissoluzione agisce sulle rocce di questa Unità in modo selettivo: è molto intensa nei confronti della calcite a grana fine, più ridotta nei confronti della calcite spatica e della dolomite (17. Forti, S. Stefanini e F. Ulcigrai, 1975); ne consegue che le dedolomiti presentano superfici vacuolari (Foto 20), con cariatature più o meno ampie mentre i filoncelli di calcite spatica appaiono spesso rilevati, in quanto, com'è noto, la calcite spatica a grana grossa è talvolta ancor meno solubile della dolomite.

Son presenti in questa Unità Geomorfologica anche alcuni livelli di breccie costituite da clasti dolomitici, spesso intensamente dedolomitizzati, in cemento calcitico spatico. Agli effetti del carsismo questo litotipo ha un comportamento simile a quello delle dedolomiti.

Nella suddivisione stratigrafica della successione di Trebiciano proposta da F. Ulcigrai (1977) alle dedolomiti corrispondono i Membri I, II, III, VI, e VIII, alle breccie i membri V e VII. Le caratteristiche dei singoli campioni sono illustrate schematicamente in Tab. I.

7.3. Unità Geomorfologica 3

Caratteristiche geomorfologiche

L'Unità Geomorfologica 3 è molto carsificabile. Le pareti dei pozzi sono caratterizzate da microcariatature, frequenti specialmente in corrispondenza delle rocce spatico-allochimiche. Più lisce sono invece le pareti in corrispondenza delle micriti e delle rocce micro-allochimiche caratterizzate talvolta da «lame strutturali ed astrutturali» (Foto 17 e 18) nel senso, intenso da R. Semeraro, (1975). Sulle pareti di cavità suborizzontali o poco inclinate sono

frequenti i solchi di erosione verticali e le impronte di corrosione.

Caratteristiche litologiche

L'Unità Geomorfológica 3 è costituita da rocce in prevalenza spatico-allochimiche (intraspariti e intrabiospariti) e subordinatamente microallochimiche (biomicriti bioclastiche). Sono rocce molto compatte da grigio a grigio scuro, con tenori di calcite dal 93% al 99%. Il residuo insolubile è spesso inferiore all'1% (in un solo campione raggiunge il valore del 5%).

Il mosaico di fondo delle biomicriti è talvolta caratterizzato da una sincristallizzazione anche piuttosto diffusa. La prevalenza della sparite, come cemento primario o come prodotto di sincristallizzazione, spiega come molti orizzonti di questa Unità siano contraddistinti dal predominio di morfologie erosive sulle forme -dissolutive.

L'unità in questione comprende i Membri XV e XVII della successione stratigrafica descritta da F. Ulcigrai (1977). Le caratteristiche dei singoli campioni sono illustrate schematicamente in Tab. I.

7.4. Unità Geomorfológica 4

Caratteristiche geomorfologiche

Questa Unità è molto carsificabile. Le pareti dei pozzi hanno, generalmente superfici levigate; sono invece scabre quelle, corrispondenti a degli orizzonti rocciosi caratterizzati da una certa sincristallizzazione; fossili spatizzati e filoncelli di calcite spatica appaiono in rilievo.

Le fratture sono ben incarsite, con frequente presenza di <<lame strutturali>> e di macrosfaccettature impostate sui piani di fessurazione. Frequenti anche le impronte di corrente.

In complesso questa Unità presenta una grande varietà di microforme (Foto 19 e 20) che stanno ad indicare una notevole solubilità della roccia.

Caratteristiche litologiche

Questa Unità Geomorfológica comprende rocce microallochimiche e subordinatamente micritiche; si tratta di intramicriti, biomicriti, intrabiomicrocriti, bioclastiti a mosaico di fondo micritico -e micriti, quest'ultime limitate ad un unico livello non molto potente. Sono rocce grigiastre, molto compatte, con tenori in calcite compresi tra il 94% ed il 99%. La sincristallizzazione in genere non è molto intensa e, ove presente, interessa più gli allochimici che il mosaico di fondo.

Appartengono a questa Unità i membri X, XI, XII, XIII, XIV, XVI della suddivisione litostratigrafica proposta da F. Ulcigrai (1977). Le caratteristiche dei singoli campioni sono, illustrate schematicamente in Tab. 1.

7.5. Relazione tra carsogenesi ed Unità Geomorfológicas

Da quanto esposto in precedenza la U.G. 1 è costituita da rocce pochissimo solubili: infatti le dolomie del <<complesso dolomitico>> costituiscono, nella successione stratigrafica del Carso Triestino, un orizzonte generalmente corrispondente ad una <<zona di rarefazione delle cavità>> (E. Merlak e R. Semeraro 1969, 1970; R. Semeraro 1975): ciò conferma che nelle dolomie è assai scarso il «potenziale carsogenetico» (F. Forti, R. Semeraro e, F. Ulcigrai 1979) inteso, come la predisposizione alla genesi ed all'evoluzione del fenomeno carsico «sensu stricto», determinato cioè da fatti -dissolutivi. Ciò non significa peraltro che talvolta non possano formarsi delle cavità, anche di ampie proporzioni, connesse con fenomeni paracarsici.

La U.G. 2 corrisponde come si è detto, ad una facies assai particolare per la prevalenza delle dedolomiti; in questi litotipi infatti il «potenziale carsogenetico» è leggermente superiore a quello delle dolomie pure; ; specialmente in corrispondenza di quegli orizzonti in cui la dedolomitizzazione, si è esplicata con maggiore intensità e la roccia risulta quindi costituita da un mosaico di fondo a forte componente o a prevalenza calcitica sull'originaria dolomite. Ma l'effetto principale del fenomeno della dedolomitizzazione in riferimento alla carsogenesi, è che l'azione dissolutiva sulla frazione calcitica «indebolisce» la compattezza della roccia che risulta così meno resistente all'azione erosiva delle acque. Nell'Abisso di Trebiciano il -diverso comportamento carsogenetico -delle -dedolomiti rispetto alle dolomie è piuttosto evidente nella genesi di morfologie differenti la «Caverna Lindner», ad esempio, -si apre proprio in corrispondenza dei livelli più intensamente dedolomitizzati mentre le dolomie non interessate da questo, fenomeno costituiscono parte del tetto della cavità e l'ultimo -della successione dei quindici pozzi che Sbocca nella Caverna (fig. 5).

Le U.G. 3 e 4 corrispondono a litotipi calcarei che risultano molto carsificabili, con un alto «potenziale carsogenetico». E' peraltro possibile notare tra le due U.G. una certa differenziazione: infatti entrambe sono caratterizzate da morfologie -«a pozzo» ma nell'U.G. 3 prevalgono le forme erosivo-dissolutive, mentre nell'U.G. 4 si ha il contrario, con la prevalenza delle morfologie dissolutive. Ciò è dovuto al fatto che nell'U.G. 3 prevalgono i litotipi sparitici mentre l'U.G. 4 comprende rocce micritiche e microallochimiche ed è noto (F. Forti, S. Stefanini e F. Ulcigrai, 1975) che le spariti sono di norma meno solubili delle micriti e dei litotipi microallochimici.

8. RAPPORTI TRA CARATTERISTICHE STRUTTURALI DELLA ROCCIA E CARSIAMO IPOGEO

E' stata eseguita tutta una serie di indagini adottando metodi analitici statistici già sperimentati in altre zone e cavità del Carso Triestino (F. Cucchi 1975; F. Cucchi, F. Forti e R. Semeraro, 1976) onde acquisire i dati necessari per uno studio dei rapporti intercorrenti tra le caratteristiche strutturali delle rocce in cui si apre l'Abisso ed il processo carsogenetico.

Sono state assunte, in un'area -di qualche KM2 circostante l'imboccatura dell'Abisso, misure della giacitura degli strati e dei piani di fessurazione per conoscere frequenza ed orientamento preferenziale dei piani -di discontinuità presenti nella massa rocciosa. Sono stati quindi rilevati l'assetto spaziale delle fratture più incarsite -e le progressioni di sviluppo di pozzi e gallerie dell'Abisso e di -altre cavità minori (5) presenti nell'area considerata. Tutti - i dati sono stati riportati in appositi diagrammi (reticolo -di Schmidt, emisfero inferiore)

Nel diagramma D1 sono riportate le giaciture di 50 piani di strato, rilevati sia in superficie che in cavità; risulta evidente che il complesso roccioso in cui si apre l'Abisso è caratterizzato da un assetto della stratificazione praticamente suborizzontale.

I diagrammi D2 e D3 illustrano la posizione spaziale dei piani di fessurazione rilevati in due stazioni ubicate nei pressi dell'imboccatura della cavità. In ciascuna stazione sono stati misurati 100 piani.

Dall'esame dei massimi del diagramma D2 risultano evidenti quattro, direzioni preferenziali orientate secondo: N-S/subvert., NNE-SSO/subvert e 50° verso ONO, NE-SO/subvert, ONO-ESE/subvert.

Nel diagramma D3 le direzioni preferenziali, sempre riferite ai massimi, sono: N-S/subvert., NNE-SSO-/subvert e 50° verso ONO, da ONO-ESE/subvert. a E-O/ subvert., suborizzontale. Per comodità di trattazione abbiamo attribuito ai diversi sistemi (6) una sigla «f» con un numero progressivo, secondo il seguente schema: f1 sistema N-S/subvert., f2 sistema NNE-SSO/subvert o inclinato di 50° verso, ONO, f3 sistema NE-SO/subvert., M sistema E-O/subvert., f5 sistema ONO-ESE/subvert., f6 sistema suborizzontale.

Dall'esame del diagramma D4 che riporta le giaciture di 400 fratture incarsite in «Kluftkarren» (relativi a quattro diverse aree di affioramento), si è constatato che i piani di frattura maggiormente interessati dalla dissoluzione carsica sono quelli corrispondenti ai sistemi f1 ed f2.

L'analisi delle progressioni di Sviluppo, (7) di 20 grotte minori ubicate nell'area circostante l'Abisso di Trebiciano, ha evidenziato che i pozzi (vedi D5) sono in prevalenza impostati sul sistema f1 e subordinatamente sui sistemi f2 ed f5 ed hanno andamento verticale; il

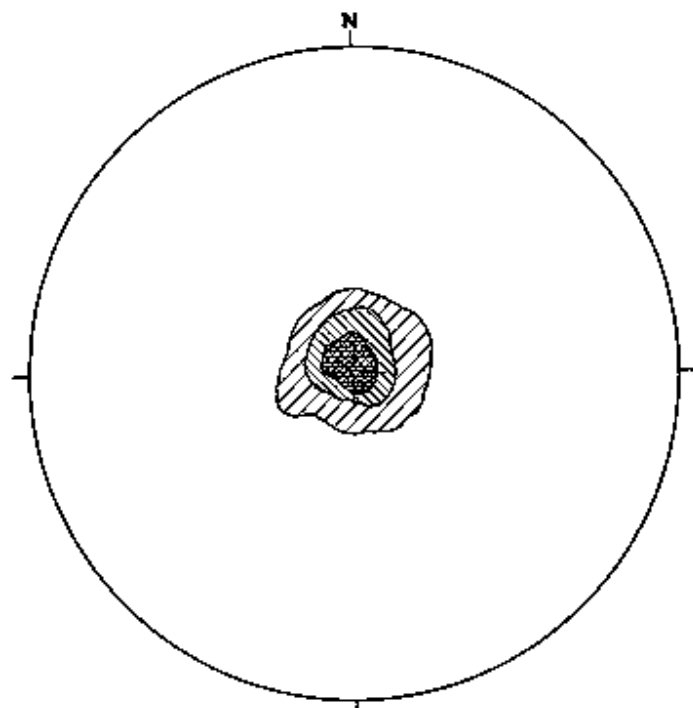


Diagramma D1.
Frequenze: 0-3%, 15-30%, >30%

diagramma D6 mostra come nelle stesse cavità le gallerie risultino poco inclinate e sviluppate secondo direzioni preferenziali connesse con i sistemi f1, f2, N ed f5 e con il piano di immersione dei giunti di strato (verso SE).

Il diagramma D7 si riferisce invece alle misure (100) della giacitura delle maggiori fratture incarsite rilevate lungo tutto lo sviluppo dell'Abisso, di Trebiciano; risulta evidente dal diagramma che esse si identificano, con i sistemi dei piani di fessurazione f1 e f2.

(5) Sono state considerate le seguenti cavità indicale con il corrispondente numero del Catasto Regionale delle Grotte della Regione- Autonoma Friuli-Venezia Giulia: .n. 32, n. 40, n. 41, n. 58, n. 65, n. 288, n. 378, n. 381, n. 563, n. 782, n. 783, n. 784, n. 882, n. 935, n. 952, n. 1423, n. 1451, n. 1893, n. 1928, n. 1934, n. 1976, n. 2168, n. 2403, n. 2878.

(6) Questi orientamenti preferenziali dei sistemi di piani di fessurazione bene si inseriscono nel quadro deformativo risultante da uno studio di F. Forti e R. Semeraro (attualmente in avanzata fase

di elaborazione) relativo ad una vasta area ubicata immediatamente a Sud-Est di Trebiciano.

(7) Poichè tutti i pozzi rilevati hanno uno sviluppo praticamente verticale nel diagramma D5 ciascun pozzo è rappresentato mediante il polo del piano, verticale passante per l'asse maggiore della sezione trasversale del pozzo stesso. Nel diagramma D6 l'orientamento delle gallerie è invece rappresentato dai poli delle rette che esprimono le direzioni dei vettori corrispondenti ai vari tratti rettilinei parziali delle gallerie.

Il diagramma D8 (eseguito con le stesse modalità del D5) si riferisce ai pozzi dell'Abisso; tutti hanno assi subverticali e risultano impostati secondo direzioni legate ad f1 e subordinatamente ad f2; minima è invece la frequenza dei pozzi con uno sviluppo connesso con il sistema f5.

Il diagramma D9 analizza le progressioni di sviluppo delle gallerie dell'Abisso: sono state distinte le gallerie (rappresentate nel diagramma con le stesse modalità usate nel D6) che si incontrano lungo la serie di pozzi da quelle della parte bassa dell'Abisso (rappresentate nel diagramma stellare), nelle quali scorre il F. Timavo. Le prime mostrano due direzioni principali connesse con i sistemi di piani di fessurazione f1 ed f2; le gallerie inferiori si dispongono con maggior frequenza secondo la direzione corrispondente al sistema f1 (8). Nel diagramma D9 le direzioni di minor frequenza, indicate sul diagramma con x ed y, sembrano non coincidere con alcuno dei sistemi di piani di discontinuità della roccia, ma ciò si può forse attribuire a degli errori nel rilevamento topografico dei tratti sommersi di queste gallerie con conseguente inesatta valutazione del loro, sviluppo ed assetto.

Confrontando tra di loro i diagrammi sopradescritti si ha un quadro completo, su basi statistiche, degli orientamenti preferenziali dei sistemi di piani di discontinuità della massa rocciosa e delle direzioni preferenziali di incarsimento,

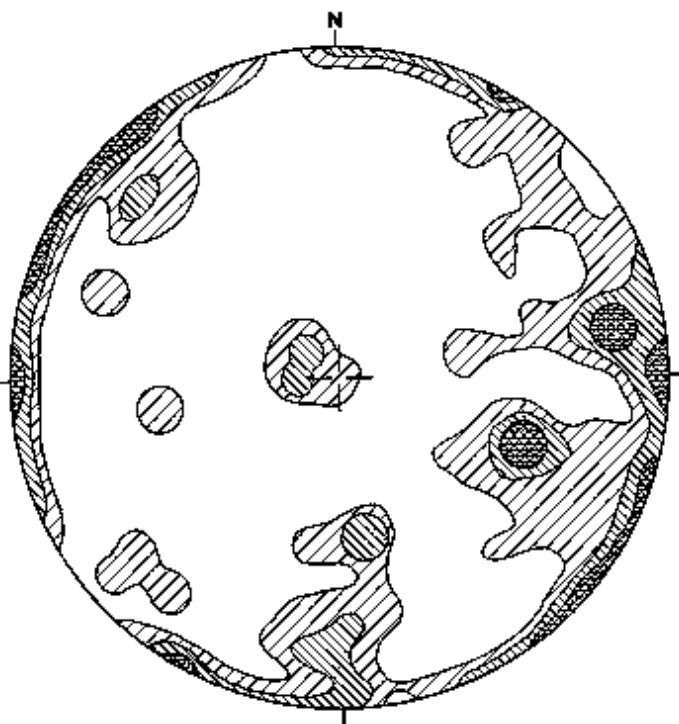


Diagramma D2

Frequenze: 0-1%, 1-3%, 3-5%, >5%

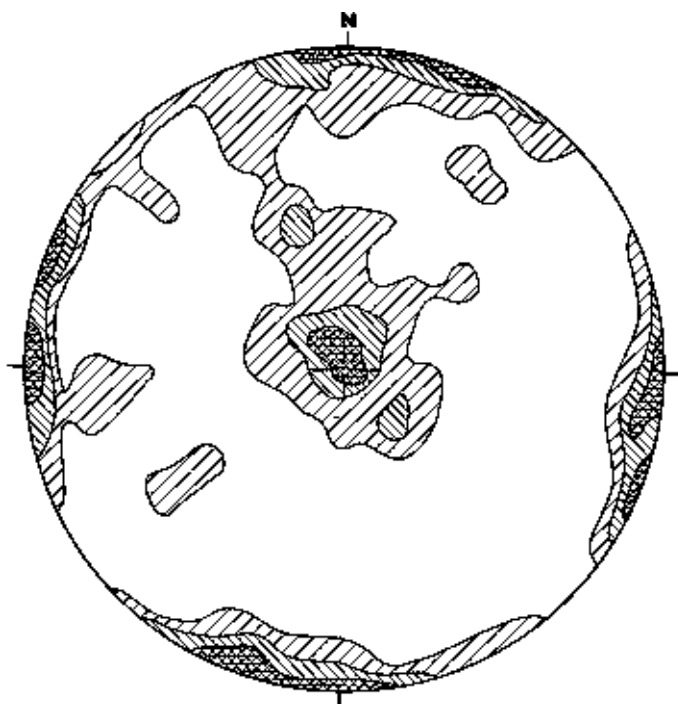


Diagramma D3

Frequenze: 0-1%, 1-3%, 3-5%, >5%

esprese dalla giacitura delle fratture più incarsite e dalle progressioni di sviluppo, dei pozzi e delle gallerie del sistema ipogeo dell'Abisso, di Trebiciano e di altre cavità ad esso circostanti.

Confrontando tra di loro i diagrammi sopradescritti si ha un quadro completo, su basi statistiche, degli orientamenti preferenziali dei sistemi di piani di discontinuità della massa rocciosa e delle direzioni preferenziali di incarsimento, espresse dalla giacitura delle fratture più incarsite e dalle progressioni di sviluppo, dei pozzi e delle gallerie del sistema ipogeo dell'Abisso, di Trebiciano e di altre cavità ad esso circostanti.

Da questo quadro, risulta che in generale nell'area di Trebiciano le direzioni preferenziali dell'incarsimento sono quelle attorno N-S ed in misura subordinata secondo NNE-SSO ed ESE-ONO, direzioni corrispondenti ai sistemi di piani di fessurazione f1, f2, e, f5; per alcune gallerie assume una certa importanza anche la stratificazione che, pur assai poco inclinata, presenta localmente immersione verso SE.

In particolare per ciò che riguarda i dati relativi all'Abisso esso risulta chiaramente impostato su lineamenti strutturali orientati secondo N-S e subordinatamente NNE-SSO, riferibili cioè

ai sistemi f1 e f2. Questi sistemi di fessurazione hanno quindi condizionato localmente il drenaggio, delle acque di percolazione e circolazione ipogea, dando origine, nella maglia definita da tutti i piani di discontinuità presenti nella massa rocciosa, ad un reticolo carsico a sviluppo anisotropo.

(8) Essendo queste gallerie suborizzontali si è tenuto conto del verso della corrente del Fiume.

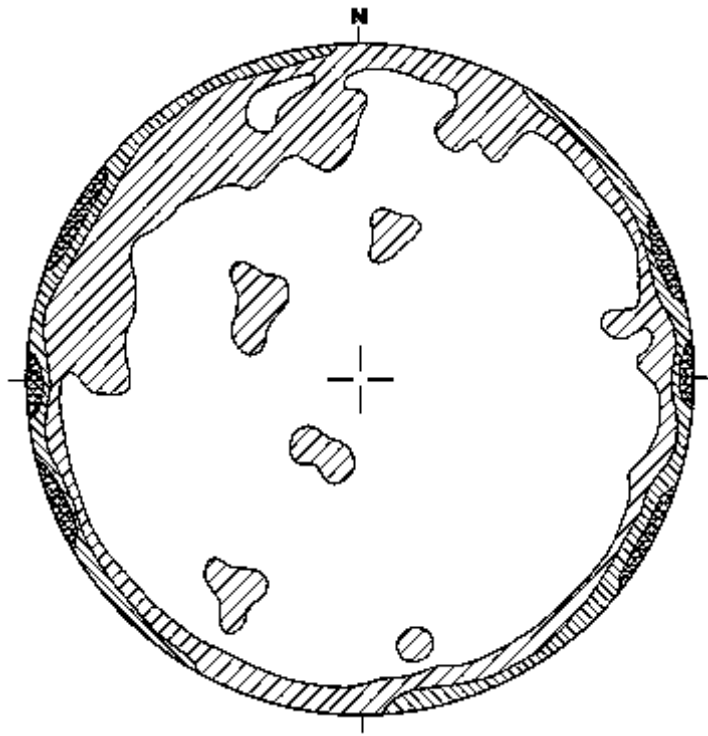


Diagramma D4
 Frequenze: 0-0,25%, 0,25-5%, 5-10%, >10%

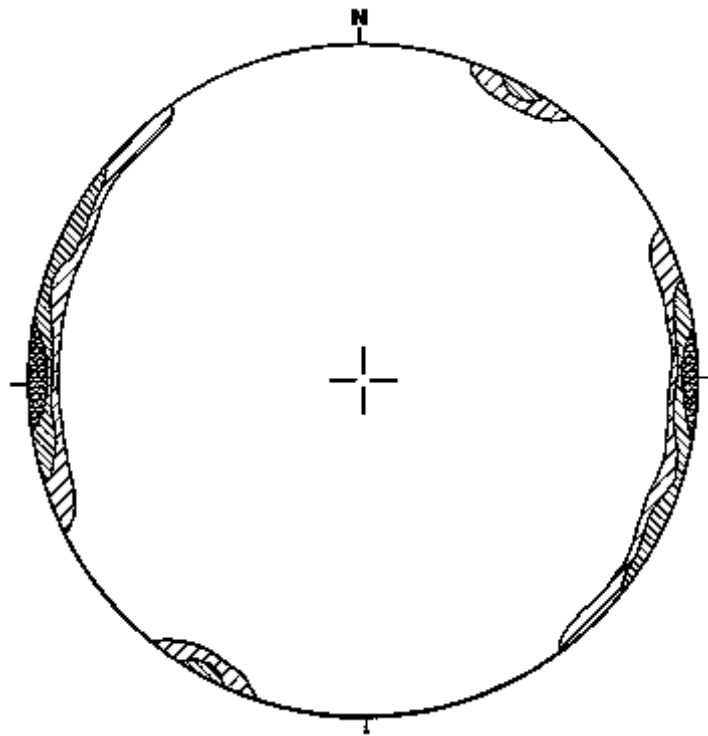


Diagramma D5
 Frequenze: 0-2,5%, 2,5-10%, >20%

9.1 DEPOSITI DI RIEMPIMENTO

In vari punti dell'Abisso di Trebiciano sono stati rinvenuti depositi -di riempimento; essi sono stati distinti in base alla loro genesi in sedimenti -elastici e sedimenti -chimici.

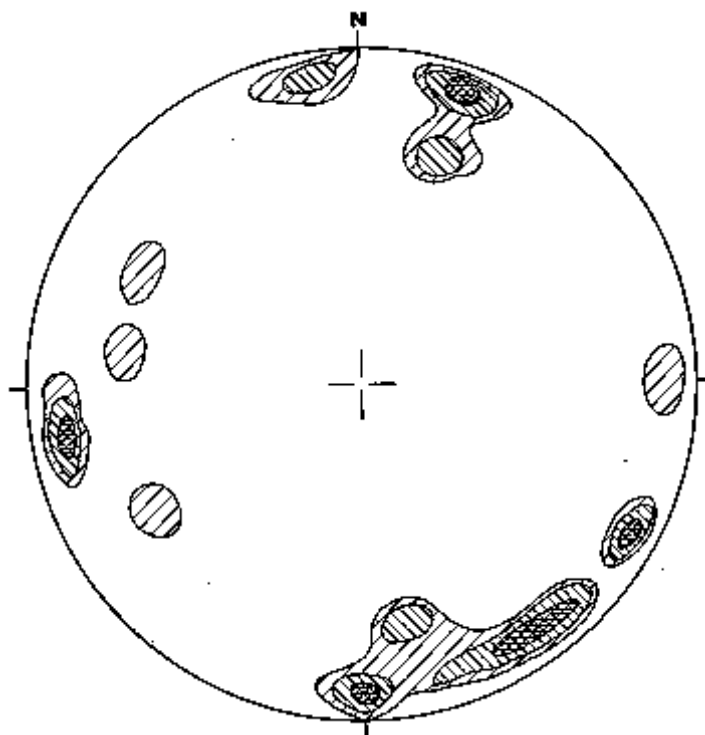


Diagramma D6
Frequenze: 0-1,75%, 1,75-5%, >10%

9.1.1 sedimenti elastici

Argille rosse (prodotto della dissoluzione delle rocce carbonatiche) sono state rinvenute in qualche nicchia delle gallerie gB, gC e gH, nella «Caverna Lindner» (9) quale frazione fine di un deposito prevalentemente sabbioso e nei sedimenti sommersi della galleria gI.

Silt e sabbie, prevalentemente quarzose, sono presenti nella «Caverna Lindner» e nelle gallerie gH e gI; derivano dall'erosione dei terreni marnoso-arenacei del bacino dell'alto Timavo. Nella «Caverna Lindner» questi depositi sono così abbondanti che la caverna appare in parte riempita da una «collinetta» di sabbia. Nella «Caverna Lindner» si rinvengono anche delle ghiaie: si tratta di elementi granulometricamente compresi tra 10 e 40 mm, costituiti da rocce calcaree, dolomitiche, spesso con una intensa pigmentazione limonitica (M. Bussani, 1970); sono scarsamente arrotondate e si possono ritenere autoctone.

Altri detriti rocciosi, a spigoli vivi, sono distribuiti un pò dovunque nella cavità e derivano da fenomeni di tipo elastico. Di particolare importanza gli enormi blocchi, con volumi di più M3, rilevabili al fondo della «Caverna Lindner».

9.2.1 sedimenti chimici

Sono rappresentati da concrezioni calcitiche. Questi depositi sono in genere molto scarsi e totalmente assenti nei pozzi, ad eccezione di alcuni relitti di piccole placche con spessore millimetrico rilevate nel p16.

Nelle gallerie gC e gB si osservano crostelli, con spessori di 15 - 20 cm; sulla parete NE della «Caverna Lindner» è presente una grande ed unica colata calcitica (Foto 11). La concezione presenta strati sottili, a volte marcati da veli Pelitici; il colore varia dal bruno rossastro al giallastro. Si ritiene che attualmente questa concrezione non sia in fase di accrescimento.

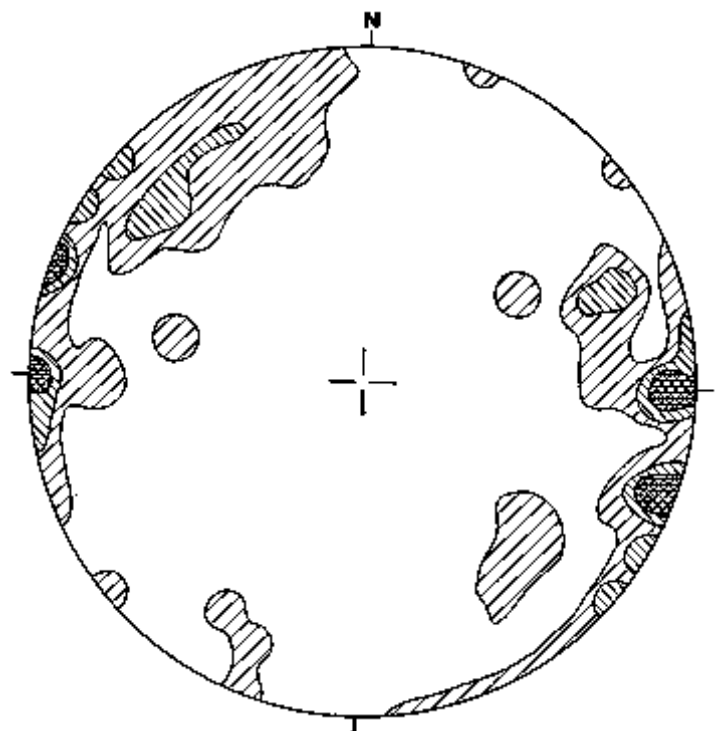


Diagramma D7
Frequenze: 0-1%, 1-5%, 5-10%, >10%

(9) Comin Chiaramonti e Bussani (1973) hanno riscontrato in queste argille un tenore di illite del 76%.

10. EVOLUZIONE DEL COMPLESSO IPOGEO

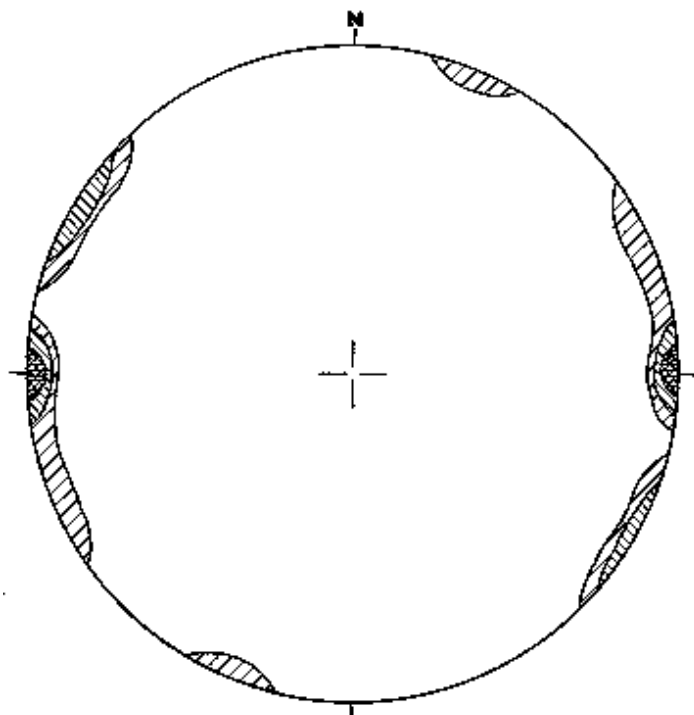


Diagramma D8

Frequenze: 0-5%, 5-10%, 10-20%, >20%

alle gallerie in zona vadosa; lo dimostra il fatto, che i pozzi smembrano le gallerie in tronconi, sono caratterizzati da morfologie estremamente giovanili e sono collegati tra di loro da brevi forre. L'origine dei pozzi è connessa ad una esaltazione dell'incarsimento delle fratture del sistema fl ed il loro sviluppo è dovuto ad apporti idrici anche modesti in parte riferibili alla azione drenante della profonda dolina in cui si apre l'Abisso.

I pozzi p5 e p6, che costituiscono un sistema secondario laterale rispetto al complesso principale dei pozzi, possono rappresentare l'effetto di una migrazione, nel tempo, dei punti drenanti di fondo della dolina ed essere stati «catturati» successivamente dal sistema principale.

La progressiva penetrazione dei pozzi nel «complesso dolomitico» è avvenuto a seguito di processi prevalentemente erosivi: lo conferma la presenza nell'U. G. 2 (al di sotto del p 13) di una cavernosità dovuta alla confluenza di tre vie d'acqua che hanno dapprima determinato una via d'accesso alla «Caverna Lindner» attraverso la breve galleria gF ed il pozzo p14 e successivamente hanno portato all'apertura dello stretto pozzo p15.

Lo sviluppo delle forre, geneticamente legato ai pozzi (Foto 21), completa il quadro morfologico di questa fase la cui successione Carsogenetica concorda pienamente con quella riscontrata da R. Semeraro (1975) nelle cavità di una zona poco più a NO dell'Abisso di Trebiciano.

Le gallerie gB, gC e gH, attualmente ubicate in zona Vadosa (fase «a» di Fig. 10) sono le cavità più antiche del complesso ipogeo dell'Abisso di Trebiciano; lo si deduce dallo smembramento che tali gallerie hanno subito in una fase successiva alla loro attività di canalizzazione carsica, dalla presenza di depositi di riempimento clastici e chimici, quest'ultimi praticamente assenti negli altri morfotipi, e dalla manifesta senilità morfologica. Delle tre gallerie la gB e la gH sembrano più recenti della gC (fase «b» di Fig. 10) in quanto caratterizzate da morfologie relativamente più giovanili.

Le gallerie della zona vadosa, anche in base a quanto osservato per lo, -stesso morfotipo in altre cavità circostanti l'Abisso si sono sviluppate secondo un sistema reticolare condizionato da deflussi idrici impostatisi sui principali sistemi di fessurazione e secondo il piano di immersione della stratificazione (10). Il fenomeno ha avuto inizio nelle Unità Geomorfologiche 3 e 4, le più carsificabili, creando in tal modo i presupposti per una successiva penetrazione delle acque nelle sottostanti Unità 1 e 2, meno carsificabili.

I pozzi si sono formati in una fase carsogenetica (fase «c» di Fig. 10) successiva a quella relativa

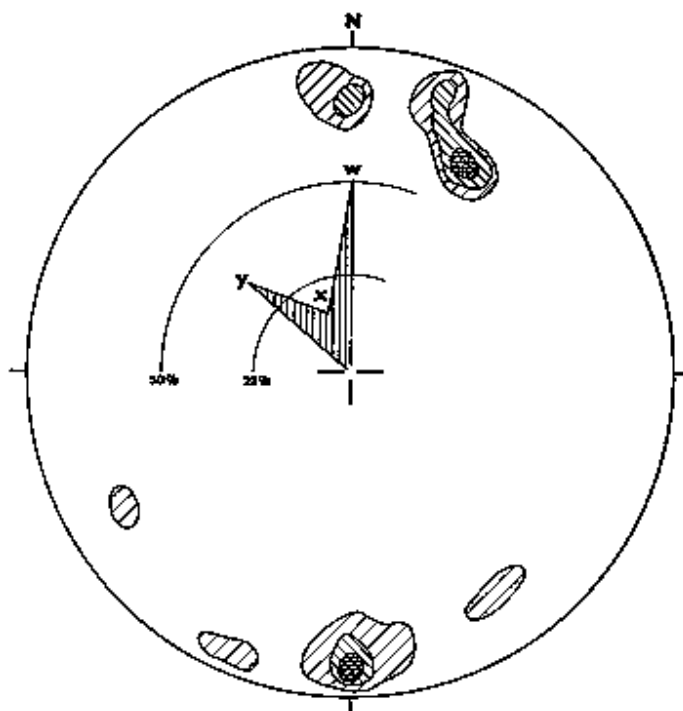


Diagramma D9

Frequenze: 0-2,5%, 2,5-10%, 10-20%, >20%

(10) Negli stereogrammi di Fig. 10 sono rappresentati, in modo schematico, i principali sistemi di piani di discontinuità del corpo roccioso (non si è tenuto conto dei giunti di strato per la loro scarsa incidenza nell'ambito del fenomeno) in cui si apre l'Abisso e gli orientamenti preferenziali delle principali canalizzazioni carsiche (gallerie e pozzi) quali risultano dai diagrammi illustrati -in Cap. 8. I quattro stereogrammi illustrano diversi «momenti carsici» (F. Forti, 1976) che corrispondono alle fasi principali dell'evoluzione Carsogenetica della cavità.

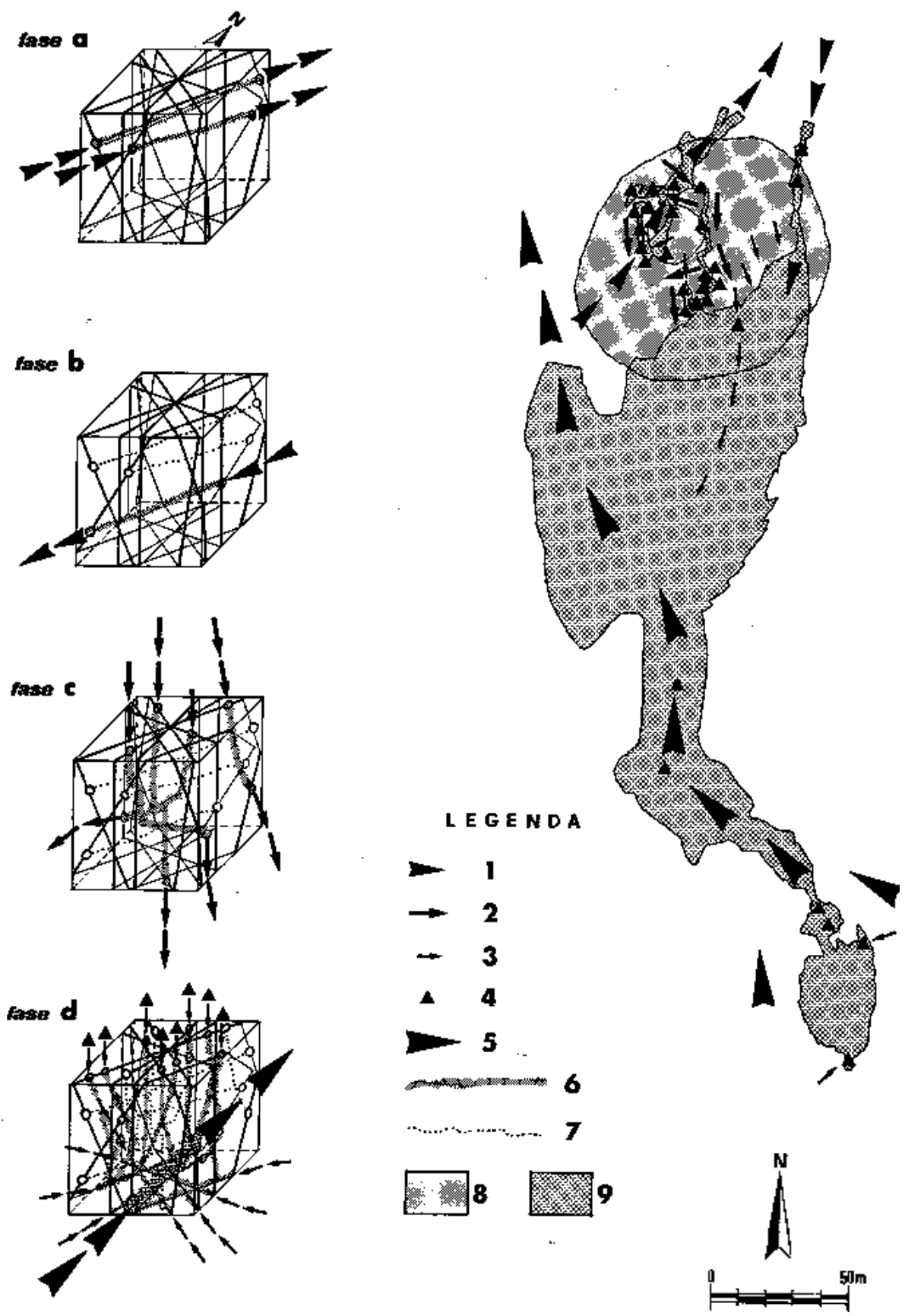


FIG.10 Schema dell'evoluzione idrogeologica dell'Abisso di Trebiciano e attuale funzione idrologica.

(segue)

- 1** = deflussi in sistemi di gallerie (attualmente inattive);
- 2** = deflussi in sistemi di pozzi e forre (attualmente inattivi);
- 3** = intense percolazioni localizzate e ruscellamenti (attualmente attivi);
- 4** = principali camini di percolazione (attualmente attivi);
- 5** = attuale deflusso del F. Timavo ipogeo;
- 6** = condotte idrologicamente attive (relativamente alla fase considerata);
- 8** = area della dolina di Trebiciano;
- 9** = area della cavità.

fase a) formazione delle prime gallerie suborizzontali (gC di Fig. 3) impostate secondo le fratture incarsite; le portate d'acqua risultano notevoli per la ridotta dispersione delle acque nel corpo roccioso.

fase b) progressiva migrazione verso il basso dei corsi d'acqua ipogei in conseguenza di un probabile abbassamento del livello di base generale (gH di Fig. 3); il passaggio graduale dai flussi in pressione agli scorrimenti a pelo libero determina, nell'ambito di stesse cavità, l'associarsi di fenomeni erosivi a quelli dissolutivi.

fase c) la progressiva diffusione del carsismo determina la formazione -di pozzi e forre che intercettano, interrompono e troncano le grandi gallerie formatesi nelle fasi precedenti.

fase d) è la fase attuale; l'attività idrologica è legata ad una percolazione estremamente diffusa con locali concentrazioni in corrispondenza dei camini che si aprono soprattutto al di sotto delle aree di impluvio delle doline. Il F. Timavo ipogeo scorre in sistemi di grandi gallerie e drena gli apporti idrici della massa rocciosa immediatamente circostante.

Risulta invece assai più difficile definire i rapporti cronologici tra i morfotipi sopradescritti e le gallerie in zona epifreatica. Dalla morfologia delle sezioni trasversali risulta che tali gallerie presentano un notevole «insolcamento gravitativo»; le genesi di questa particolare morfologia erosiva (Fig. 8; sezioni 1, m, n) va messa in relazione con un abbassamento del livello di base connesso con la regressione würmiana, durante la quale il livello marino ha raggiunto quote sensibilmente inferiori a quella media attuale (11). E' assai probabile, anche se non se ne può avere la certezza, che durante la regressione würmiana le gallerie attualmente in zona epifreatica siano state percorse da acque; è stato comunque accertato dai rilievi gravimetrici di C. Morelli (1954) che esse appartengono ad un sistema ipogeo assai vasto.

In stretta collaborazione con il sistema di gallerie del F. Timavo va messa la genesi della «Caverna Lindner», formatasi con il ~concorso~, forse preponderante, di tutta una serie di apporti idrici provenienti da N e NE che hanno determinato un complesso reticolo di cavità (di cui la galleria gH e la stessa successione dei pozzi che sbocca nella caverna costituiscono gli elementi più importanti attualmente visibili) drenanti e convergenti verso un'unica zona (12).

L'esistenza -di questo reticolo di cavità è comprovato anche dalla recente e fortunata scoperta, in corrispondenza della parete NE, di uno, sbocco normalmente intasato -che attivatosi improvvisamente, ha emesso, per un periodo non precisato, una colonna d'acqua.

L'assetto strutturale e morfologico della «Caverna Lindner» rivela l'instabilità geostatica della volta e delle pareti; in particolare la volta appare ben lontana dal profilo «a botte» tipico delle forme che hanno raggiunto l'equilibrio geostatico: lo conferma la presenza, al fondo della cavità, di ammassi di materiale elastico di crollo, fenomeno certamente favorito dalle copiose infiltrazioni idriche. Esse innescano infatti processi dissolutivi non solo in corrispondenza dei piani di discontinuità della roccia ma anche nella struttura stessa della compagine rocciosa, costituita in prevalenza da dedolomiti; il distacco dei grandi blocchi è infatti attribuibile all'incarsimento di fratture e giunti di strato ma un contributo importante all'ampliamento della cavità viene anche prodotto da distacchi comminuti, anche a livello cristallino, determinati dall'azione dissolutiva delle acque sulla frazione calcitica delle dedolomiti associata ovviamente alla dissoluzione diretta dei livelli ormai totalmente calcitizzati. Lo dimostra il fatto che in corrispondenza dei litotipi dell'Unità Geomorfologica 2 tutte le pareti della caverna sono interessate da cribsità, micro e macrocarietà ed incavi più o meno profondi.

Interessanti considerazioni possono essere fatte infine in riferimento ai depositi di riempimento: la presenza di argille, rinvenute a diversi livelli nelle gallerie della zona vadosa, confermano che queste cavità hanno subito in passato un forte alluvionamento forse fino a totale ostruzione (vedi i canali di volta rinvenuti nella galleria gB). Anche le mensole di concrezione calcitica costituiscono una testimonianza dell'avvenuto riempimento delle cavità ed indicano il livello locale raggiunto dai sedimenti. Fasi di riempimento totale hanno anche interessato le forre come risulta dalla presenza del canale -di volta rilevabile nella galleria gE.

Va segnalata ancora la presenza di condotte suborizzontali, sovrastanti il p16, completamente sovraescavate al fondo e con volta a canale largo e piatto. Non risulta chiaro se anche i pozzi, durante la fase di riempimento delle forre, siano stati completamente intasati da sedimenti argillosi.

Si può comunque affermare che le fasi di riempimento che hanno interessato l'Abisso di Trebiciano sono state sicuramente due, entrambe attribuibili, in base alle attuali conoscenze sul fenomeno (E Forti, 1974) al Pleistocene :

(11) Il sistema ipogeo del F. Timavo sembra aver risentito di questo fenomeno in modo diverso nei tratti rispettivamente a monte ed a valle di Trebiciano, tratti che sono caratterizzati da una differente situazione litologico-strutturale: tra Trebiciano e

la foce del F. Timavo la successione stratigrafica locale è tutta calcarea mentre, a monte la sequenza calcarea è interrotta dall'intercalazione del «complesso dolomitico». A seguito della regressione würmiana, a valle di Trebiciano la canalizzazione

carsica si è approfondita e nei pressi di Duino risulta ben al di sotto (una cinquantina di metri) del l m n attuale; lo testimoniano le indagini geoelettriche

eseguite (F. Mosetti e C. D'Ambrosi, 1967) e le numerose risorgive sottomarine individuate, a breve distanza dalla costa, tra Aurisina e Duino. Invece a monte di Trebiciano il «Complesso dolomitico», rappresentando un livello di base sospeso (situazione di merocarso di F. Forti 1978) e scarsamente carsificabile, ha impedito l'approfondimento per carsismo del corso ipogeo del F. Timavo, che scorre, attualmente nelle dolomie che appaiono interessate da morfologie quasi esclusivamente erosive. Ciò è evidente sia nell'Abisso di Trebiciano che nell'Abisso dei Serpenti, in territorio jugoslavo, recentemente esplorato e studiato da G. Tarabocchia (1975).

(12) La presenza di litotipi con differenti percentuali di CaCO₃, potrebbe anche aver condizionato soluzioni bicarboniche a diverso tenore di carbonato, il che avrebbe innescato nelle zone di anastomosi dei condotti, una dissoluzione accelerata dovuta al fenomeno chimico della «corrosione per miscela d'acqua» (A. Boegli, 1964) per cui, in base a recenti calcoli di A.A. Cigna (1975), acque anche soprasature o in equilibrio, ma con diverse concentrazioni di Ca(HCO₃)₂, ridiventano aggressive in caso di miscela con potere dissolutivo piuttosto elevato.

superiore. La prima fase corrisponde al riempimento delle gallerie in zona Vadosa; la seconda è riferita all'alluvionamento delle forre. Tra le due fasi è certamente intercorso un notevole intervallo di tempo.

Resta da osservare che molto probabilmente questi depositi argillosi hanno avuto un ruolo ben preciso nell'evoluzione dell'Abisso: ad esempio le grandi mensole di concrezione calcitica rilevate su entrambe le pareti della galleria gC sono in corrispondenza della quota di accesso del cunicolo che porta al p7. Da ciò si può dedurre -che il -deposito argilloso, espletando una funzione di ritenuta locale abbia -determinato il drenaggio delle acque provenienti dal p4 (vedi Fig. 3) convogliandole nel p7 ed instaurando in tal modo una continuità idrica tra le varie parti dell'Abisso.

In conclusione l'Abisso di Trebiciano appare formato dal concorso di due sistemi carsici distinti: il primo è rappresentato dalla successione di pozzi che, dalla superficie portano :alla «Caverna Lindner»; il secondo dalla caverna stessa e dal complesso di gallerie della zona epifreatica che ad essa fanno capo e che appartengono al sistema ipogeo del F. Timavo.

Si tratta in ultima analisi di due cavità distinte non solo morfologicamente ma anche in funzione cronologica. Si può sicuramente affermare che la parte della cavità costituita dai pozzi ha «intercettato» il sistema ipogeo del F. Timavo, indubbiamente preesistente. Secondo il concetto espresso da F. Forti (1977) la genesi e l'evoluzione dei pozzi sono connesse -con il «carsismo diretto», mentre quelle della Caverna Lindner con il carsismo indiretto».

L'instaurarsi e l'evolversi dei pozzi sono fenomeni condizionati dall'intensa fessurazione del complesso carbonatico (con particolare riferimento ai sistemi orientati secondo N-S e subordinatamente secondo NNE-SSO, entrambi subverticali), da un drenaggio assai attivo (connesso con la dolina al fondo della quale si apre l'Abisso) e dall'alta carsificabilità delle rocce le -cui diverse caratteristiche litologico-petrografiche determinano, sulle pareti dei pozzi, lo sviluppo di forme dissolutive (nelle micriti e nelle rocce microallochimiche) o erosivo-dissolutive (nelle spariti e nelle dolomie).

La «Caverna Lindner» appartiene invece al sistema carsico ipogeo del F. Timavo: la sua genesi è dovuta all'azione delle acque del fiume e di altre importanti vie d'acqua che hanno agito sulle dolomie e sulle dedolomiti con modalità erosivo-dissolutive. In particolare nelle dedolomiti l'azione dissolutiva :Si l'esplica soprattutto sulla parte -calcitica del mosaico, cristallino costituente la roccia, ne indebolisce la coesione e la rende meno resistente all'erosione. Lo dimostrano la precaria situazione geostatica della volta e delle pareti della cavità ed i grandi accumuli di materiale elastico al fondo della caverna.

Primaria importanza ha assunto, nell'evoluzione carsogenetica di questa parte della cavità, il complesso dolomitico»; nel corso del generale approfondimento del sistema ipogeo del F. Timavo, connesso con la regressione würmiana, la scarsa carsificabilità -di questo orizzonte dolomitico ha fatto sì che esso fungesse da locale livello di base sospeso ostacolando un abbassamento per carsismo del percorso sotterraneo del fiume che peraltro ha inciso le dolomie per erosione come dimostrato dalle particolari morfologie delle gallerie attualmente in zona epifreatica.

La situazione idrologica :attuale dell'Abisso, schematizzata in Fig. 10 - fase «d» -è caratterizzata dal corso ipogeo del F. Timavo a quote prossime all'attuale livello di base (mare Adriatico), da tutta una serie di apporti idrici minori che confluiscono nel Fiume e da attive percolazioni provenienti dai camini e dai pozzi che drenano le acque dalla massa rocciosa circostante l'Abisso.

BIBLIOGRAFIA

- BOEGAN E. (1910): La Grotta di Trebiciano. *Alpi Giulie*, v. XIV - 1909, v. XV - 1910, pp. 1-66, Trieste.
- BOEGAN E. (1921): La Grotta di Trebiciano (studi e rilievi dal 1910 al 1921). *Alpi Giulie*, v. XXIII, pp. 1-42, Trieste.
- BOEGAN E. (1938): Il Timavo. Studio sull'idrografia carsica subaerea e sotterranea. *Mem. Ist. Ital. Spel.*, s. e *Geol. e Geof.*, 11, pp. 1-251, Trieste.
- BOEGLI A. (1964): La corrosion par mélange des eaux. *Int. I. Speleol.*, pp. 61 - 70., Weinheim.
- BUSSANI M. (1970): Segnalazione sul ritrovamento di ghiaie dolomitiche nella caverna «Lindner» nell'Abisso di Trebiciano. *Atti Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. IX-1969, pp. 63-64, Trieste.
- CIGNA A. A. (1975): Considerazioni sulle teorie speleogenetiche. *Le Grotte d'Italia*, riv. Ist. Ital. Spel. sez. Ist. Geol. Paleont. Univ. Bologna e Soc. Spel. Ital., s.e 4a, v. IV-1973, pp. 391-404, Bologna.
- COMIN CHIARAMONTI P. & BUSSANI M. (1973): Studio mineralogico delle argille di San Canziano, dell'Abisso di Trebiciano e delle foci del Timavo (Timavo inferiore). *Mondo Sotterraneo*, n. un. Circ. Idrol. Spel. Friul. 1972-73, pp. 37-48, Udine.
- CREVATIN G. & DAMBROSI S. (-): La spedizione per il forzamento del sifone dell'Abisso di Trebiciano (VG 17). In corso di stampa su *Atti III Conv. di Spel. Reg. Friuli-Venezia Giulia*, Gorizia 1977.
- CUCCHI F. (1975): 1 diagrammi nello studio delle cavità. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*; Supplemento al v. XV, Trieste.
- CUCCHI F., FORTI F. & SEMERARO R. (1976): Studio geomorfologico della Grotta di Padriciano (VG 12). *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. XV-1975, pp. 2155, Trieste.
- D'AMBROSI C. (1961): Sviluppo e caratteristiche geologiche del Carso di Trieste. *Boll. Soc. Adriatica di Sc.*, v. LI, pp. 145-164, Trieste.
- DE MARTINI L. & MAUCCI W. (1952): Risultati preliminari di alcune ricerche sul corso ipogeo del Timavo. *Boll. Soc. Adriatica di Sc. Nat.*, v. XLVI, pp. 61-74, Rocca S. Casciano.
- FOLK R. L. (1959): Pratical petrographic classification of limestones. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, v. 4, pp. 81-116, Tulsa. 1
- FORTI F. (1974): Considerazioni sui depositi di riempimento delle cavità carsiche nel Carso Triestino. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. XIII-1973, pp. 27-40, Trieste.
- FORTI F. (1976): Il concetto del «Momento Carsico» nello studio del carsismo delle rocce carbonatiche. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, vol. XVI, pp. 45-51, Trieste.
- FORTI F. (1977): Il carsismo in una proposta di classificazione genetica. *Atti III Conv. Spel. del Friuli - Venezia Giulia*, Gorizia (4-6 nov. 1977), pp. 202-214, Reg. Auton. Friuli - Venezia Giulia.
- FORTI F. (1978): Considerazioni sulla situazione idrogeologica del Carso Triestino in rapporto alle condizioni geolitologiche e strutturali del complesso carbonatico carsificabile. *Atti XII Congr. Naz. Spel.*, S. Pellegrino Terme (1974), *Rass. Spel., Ital., Mem.* 12, pp. 102-112, Como.
- FORTI F. & MASOLI M. (1969): Comparazioni cronostratigrafiche delle formazioni carbonatiche del Carso Triestino. *Boll. Bibl. Mus. Civ. e Bienn. arte ant.*, pp. 1-23, Udine.
- FORTI F. & SEMERARO R. (1978): Proposta di classificazione dei «pozzi carsici» in rapporto alle condizioni dissolutive dei litotipi carbonatici. *Le Grotte d'Italia riv. Ist. Ital. Spel. sez. Ist. Geol. Paleont. Univ. Bologna*, 4, VII, pp. 15-20, Bologna.
- FORTI F. & SEMERARO R. (-): Il carsismo ipogeo dei dintorni di Gropada (Carso Triestino). In corso di stampa su *Atti e Mem. Comm. Grott. «E. Boegan»*.
- FORTI F., SEMERARO R. & ULCIGRAI F. (1979): 1 concetti di energia carsogenetica e potenziale carsogenetico. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, V. XVIII - 1978, pp. 101-104, Trieste.
- FORTI F., STEFANINI S. & ULCIGRAI F. (1975): Rapporti tra solubilità e carsificabilità delle rocce carbonatiche del Carso Triestino. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. XIV-1974, pp. 19-49, Trieste.
- FORTI F. & TOMMASINI T. (1967): Una sezione geologica del Carso Triestino. Osservazioni di geomorfologia carsica in rapporto con la litostratigrafia e la tettonica eseguite lungo una sezione trasversale all'andamento assiale del Carso Triestino, dal Monte Lanaro alla località Cedas. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. VII-1966, pp. 43-139, Trieste.
- GAMS I. (1965): Types of accelerated karst corrosion. *Probl. Speleol. Res., Proc., Int. Speleol. Conf.*, Brno 1964, pp. 133-139, Prague.
- MASOLI M. & ULCIGRAI F. (1969): Termini albiani nella serie stratigrafica del Carso Triestino. St.

Trent. Sc. Nat., Sez. A, vol. 46, (1), pp. 65-91, Trento.

MAUCCI W. (1953/a): Relazione sul primo ciclo di ricerche svolte dalla sezione speleologica della Società Adriatica di Scienze Naturali sul corso sotterraneo del Timavo. *Rass. Spel. Ital.*, V, 2, pp. 67-74, Milano.

MAUCCI W. (1953/b): Organizzazione tecnica e risultati delle ricerche sul corso ipogeo del Timavo (1952-53) (Carso Triestino). *Prem. Congr. Inter. Spéléo. Paris 1953*, to. II, pp. 201-213, Millau.

MERLAK E. & SEMERARO R. (1969): Fenomeni carsici a nord di Opicina. *Ricerche geologiche e geomorfologiche preliminari applicate allo studio del carsismo presso Trieste. Ann. Gr. Grotte Ass. XXX Ott.*, v. III, pp. 9-60, Trieste.

MERLAK E. & SEMERARO R. (1970): Paracarsismo nei calcari neri e nerastri impuri degli abissi a nord di Opicina. *Ann. Gr. Grotte Ass. XXX Ott.*, v. IV., pp. 7-18, Trieste.

MOSETTI F. (1960): Etude sur le mouvement des eaux souterraines par la procédé thermométrique. *Boll. Geod. teor. appl.*, v. II, 8, Trieste.

MOSETTI F. (1963): Sui nuovi criteri per gli studi idrologici con acque marcate; risultati di un esperimento sul Carso Triestino. *Atti Ist. Ven. Sc. Lett. Arti*, v. CXXI, Venezia.

MOSETTI F. & D'AMBROSI C. (1967): Cenni sulle vicissitudini costiere dell'Alto Adriatico dedotte dall'attuale morfologia del fondo marino. *Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. V-1966, pp. 19-31, Trieste.

MORELLI C. (1954): Indagini geofisiche per la ricerca del corso del Timavo. Parte I: Misure gravimetriche. *Tecn. Ital.*, IX, 4, pp. 3-7, Trieste.

POLLEY A. (1902): Descrizione dei diversi progetti per l'approvvigionamento d'acqua ecc. E. G. Tomasich, Trieste.

POLLEY A. (1910): Descrizione del progetto di acquedotto da Trebiciano a quello del Recca con lago d'arresto Pades - Sisena. Ed. Soc. dei Tipografi, Trieste.

SALMOIRAGHI F. (1905): Sulla continuità sotterranea del F. Timavo. *Alpi Giulie*, v. X, n. 5, pp. 115-129, Trieste.

SEMERARO R. (1974): Campagna di ricerche geologiche e geomorfologiche nell'Abisso di Trebiciano. *Alpi Giulie*, v. 68, pp. 105-107, Trieste.

SEMERARO R. (1975): Geomorfologia carsica ipogea delle rocce carbonatiche del Carso Triestino. *Mondo sotterraneo*, n. un. *Circ. Spel. Idrol. Friulano 1974-75*, pp. 2164, Udine.

SEMERARO R. (1977): Considerazioni sui rapporti tra geolitologia e speleogenesi delle rocce carbonatiche carsificabili. *Mondo sotterraneo*, riv. sem. *Circ. Spel. Idrol. Friulano*, n.a s.e, I, n. 2, pp. 14-25, Udine.

SOLER E. (1934): Campagna geofisica eseguita dall'Istituto di Geodesia della R. Università di Padova nel 1932 nella zona San Canziano - Trebiciano. *Boll. Soc. Adriatica di Sc. Nat.*, v. XXXIII, pp. 67-90, Udine.

TARABOCCHIA G. (1975): Contributo sulla migliore conoscenza del corso ipogeo del Timavo alla luce delle recenti scoperte nell'Abisso dei Serpenti. *Atti I Conv. Spel. Reg. Friuli - Venezia Giulia, Trieste 1973*, pp. 176-178, Trieste.

TIMEUS G. (1928): Nei misteri del mondo sotterraneo. Risultati delle ricerche idrologiche sul Fiume Timavo 189-5, 1914, 1918, 1927. *Alpi Giulie*, v. XXIV, 1, pp. 1-39, Trieste.

ULCIGRAI F. (1969): Prime osservazioni sui termini calcareo-dolomitici cenomaniani del " Carso Triestino. *Boll. Bibl. Mus. Civ. Bienn. arte ant.*, pp. 1-8, Udine.

ULCIGRAI F. (1977): Successione stratigrafica dell'Abisso di Trebiciano. *Atti Mem. Comm. Grotte «E. Boegan»*, v. XVI - 1976, pp. 21-44, Trieste.

CAMPIONE	DOLOMIE					DEDOLOMITI						BRECCE						CALCARI						UNITA' GEOMORF.					
	GRANA			RELITTI	ALLOCHIM.	FESSURAZ.				DEDOLOMITIZZAZ.			PALEOPARACARS.	CLASTI			CEMENTO			ORTOCHIM.		ALLOCHIMICI			RICRISTALL.				
	FINE	MEDIA	GROSSA			FF	F	S	SS	INTENSA	MEDIA	SCARSA		PRIM.	DED.	DOL. SEC.	PRIM.	DED.	DOL. SEC.	MICRITE	SPARITE	INTRACL.	BIOCLAS.		FOSSILI	INTENSA	MEDIA	SCARSA	SCARSISS.
				ALLOCHIM.	FF	F	S	SS	INTENSA				MEDIA																
34		X						X																	1				
35										X				X											2				
36						X				X			X												2				
37						X				X			X												2				
38						X				X			X												2				
39						X				X			X												2				
40								X		X			X												2				
41									X			X		X											2				
42							X					X													2				
43	X					X						X													2				
44	X	X					X					X													2				
45	X		X				X			X															1				
46																X								X	4				
47																X								X	4				
48															X		X			X			X		4				
49															X		X			X			X		4				
50															X			X					X		4				
51															X			X					X		4				
52															X			X					X		4				
53															X			X			X				4				
54															X			X					X		4				
55															X			X			X				4				
56															X	X		X			X				4				
57															X	X		X		X		X			4				
58															X			X			X			X	4				
59															X			X			X			X	4				
60															X			X			X			X	4				
61															X			X		X				X	4				
62															X			X			X			X	4				
63															X			X	X					X	4				
64															X			X						X	4				
65															X			X						X	4				
66															X			X						X	4				

CAMPIONE	DOLOMIE					DEDOLOMITI							BRECCE						CALCARI							UNITA' GEOMORF.			
	GRANA			RELITTI	ALLOCHIM.	FESSURAZ.				DEDOLOMITIZZAZ.			PALEOPARACARS.	CLASTI			CEMENTO			ORTOCHIM.		ALLOCHIMICI			RICRISTALL.				
	FINE	MEDIA	GROSSA			FF	F	S	SS	INTENSA	MEDIA	SCARSA		PRIM.	DED.	DOL. SEC.	PRIM.	DED.	DOL. SEC.	MICRITE	SPARITE	INTRACL.	BIOCLAS.	FOSSILI	INTENSA		MEDIA	SCARSA	SCARSISS.
				CLASTI	CEMENTO								ORTOCHIM.																
67																	X			X	X				X	4			
68																		X			X					X	4		
69																		X			X					X	4		
70																		X			X					X	4		
71																		X	X		X					X	4		
72																		X	X		X					X	4		
73																		X	X		X					X	4		
74																		X			X					X	4		
75																		X			X					X	4		
76																		X	X		X					X	3		
77																		X	X		X	X					3		
78																		X	X		X	X					3		
79																		X	X		X	X					3		
80																		X	X		X	X					3		
81																		X	X		X		X				3		
82																		X	X		X		X				3		
83																	X		X	X				X			4		
84																		X		X	X				X		4		
85																		X			X			X			3		
86																		X			X				X		3		
87																		X			X				X		3		
88																		X			X				X		3		
89																		X	X			X					3		
90																		X	X			X					3		
91																		X	X			X					3		
92																	X			X	X				X		3		
93																		X		X	X				X		3		
94																		X		X	X				X		3		
95																		X		X	X		X				3		
96																		X		X	X	X					3		
97																		X	X	X	X				X		3		