

LUCA DEL TURCO, GIANNI GAMBELLA *
& MAURO VALERIO PASTORINO **

NUOVE OSSERVAZIONI SUL FENOMENO INFIAMMATORIO CRONICO NEL GEOTRITONE CONTINENTALE EUROPEO

RIASSUNTO - Viene riferito sull'istituzione della nuova Stazione Biospeleologica artificiale del G.S.L. «A. Issel»: «Rifugio presso il Rio dei Fontanini» a Savignone (GE), attualmente sede di ricerche sul geotritone continentale europeo.

Nell'ambito degli studi sul fenomeno infiammatorio nella specie sono stati introdotti sottocute a diversi esemplari talco e carminio, con formazione di caratteristiche reazioni granulomatose croniche locali. È stato osservato inoltre, per il solo carminio, trasporto attivo a distanza fino al fegato, ad opera di macrofagi.

ABSTRACT - It has been given a piece of information about the opening of the new artificial Biospeleological Laboratory of the G.S.L. «A. Issel» «Rifugio presso il Rio dei Fontanini» at Savignone (GE), which is at present a centre of research on the continental European cave - salamander. In the field of the studies about the inflammatory phenomena in the species, talc and carmine have been administered subcutaneously to several specimens, with formation of typical chronic local granulomatous reactions. Moreover it has been observed, for carmine only, active transport at a distance to the liver, thanks to macrophagic cells.

Premessa

Prime osservazioni e ricerche sulla patologia spontanea e sperimentale nel geotritone continentale europeo furono condotte a partire dal 1969/70 da uno degli Autori (M.V.P.) presso l'Istituto di Patologia Generale dell'Università di Genova (II^a Cattedra, Tit. Prof. A. Novelli). Era stata allestita a quell'epoca (PASTORINO, 1972) una «stazione biospeleologica artificiale» del G.S.L. «A. Issel», situata in Comune di Busalla (Ge) ed andata recentemente distrutta, molti anni dopo l'abbandono, nel corso di lavori di sbancamento per opere edilizie.

Le ricerche furono proseguite, con collaborazioni diverse, fino al 1974;

** Gruppo Speleologico Ligure «Arturo Issel» - Genova

* Istituto di Patologia Generale dell'Università di Genova Prima Cattedra. Titolare Prof. Amato Novelli.

vennero quindi interrotte per oltre un decennio causa sopravvenuti impegni personali.

A partire dal 1987, con la ripresa delle ricerche (ancora in collaborazione con l'Istituto di Patologia Generale sopracitato) una nuova, più accessibile e funzionale «Stazione Biospeleologica del G.S.L. "A. Issel"» è stata allestita all'interno di una cavità artificiale nel versante padano dell'oltregiovo genovese, realizzata nel corso della seconda guerra mondiale con impiego di esplosivi in viva roccia come rifugio antiaereo. (V. Figg. 1 - 3).

L'ipogeo, denominato «Rifugio presso il Rio dei Fontanini», è divenuto sede, nel corso dei decenni successivi (come già segnalato nel 1972) di una spontanea ed imponente colonizzazione ad opera del geotritone. Il fatto è già di per sé interessante, in quanto in Valle Scrivia il fenomeno carsico è praticamente assente, tanto che l'habitat naturale della specie deve esservi costituito da microfessure del suolo nelle parti più umide del sottobosco. Per contro, la realizzazione di gallerie artificiali con determinate caratteristiche microclimatiche (V. Tav. 1) ha rappresentato per lo Speleomantes (PASTORINO & PEDEMONTE, 1972) motivo di concentrazione in colonie assai numerose, e più ragguardevoli per numero di esemplari di quelle che è dato incontrare nel tratto iniziale delle cavità naturali presenti nelle diverse aree carsiche liguri (PASTORINO, 1971).

A seguito di tali peculiari caratteristiche, è sembrato opportuno non sottoporre a sperimentazione biopatologica gli esemplari presenti all'interno della stazione, che nell'ambito di una interdisciplinare di studio realizzata in collaborazione con ricercatori dell'Istituto di Zoologia dell'Università di Genova è diventata anche sede di ricerche naturalistico/ambientali. Così, mentre la colonia «autoctona» è oggetto di indagini etologiche e diverse, aventi come premessa l'assoluto rispetto delle condizioni di vita preesistenti la destinazione del vacuo a stazione sperimentale, le ricerche biopatologiche vengono effettuate su esemplari stabulati, i quali provengono da altre stazioni di reperimento del geotritone in Valle Scrivia.

Il numero degli esemplari utilizzati è sempre molto limitato, e tale da non gravare sensibilmente sull'entità di tali stazioni, che sono peraltro abbastanza numerose; e ciò al fine di non incidere negativamente sulla diffusione del geotritone nell'areale. Inoltre, in uniformità ai postulati delle sperimentazioni degli anni '70, tutte le manovre che potrebbero comportare sofferenza per l'esemplare vengono effettuate previa anestesia eterea.

La decisione di dare la precedenza ad indagini sul fenomeno infiammatorio cronico, interrotte nell'ormai lontano 1974, è legata agli interrogativi non risolti che tali ricerche avevano a suo tempo sollevato. Si era potuto infatti osservare all'epoca una magnificazione ed un rallentamento cronologico di eventi che, nei comuni anfibii di laboratorio (rana, axolotl, tritone) si determinano in tempi molto rapidi; da ciò, vista la lentezza di reazione istogena nella specie, la fondata prospettiva di poter meglio seguire nel geotritone la fine evoluzione di tali fenomeni in tutta la loro sequenzialità. (PASTORINO, 1972).

Gli studi condotti negli anni '70, soprattutto con impiego di benzopirene (in quanto il programma di ricerca era partito con un tentativo di cancerogenesi sperimentale che si fu costretti ad interrompere, ma che permise di accertare la

potente azione infiammatoria cronica del cancerogeno negli urodeli) avevano già fornito dati significativi.

Si era infatti ottenuto con l'impiego di detta sostanza, a distanza di sei mesi dall'introduzione sottocute, la formazione di un granuloma caratterizzato dalla presenza di numerose cellule giganti polinucleate, oltre a fenomeni displastico-iperplastici dell'epitelio cutaneo sovrastante, il cui eventuale significato precanc-

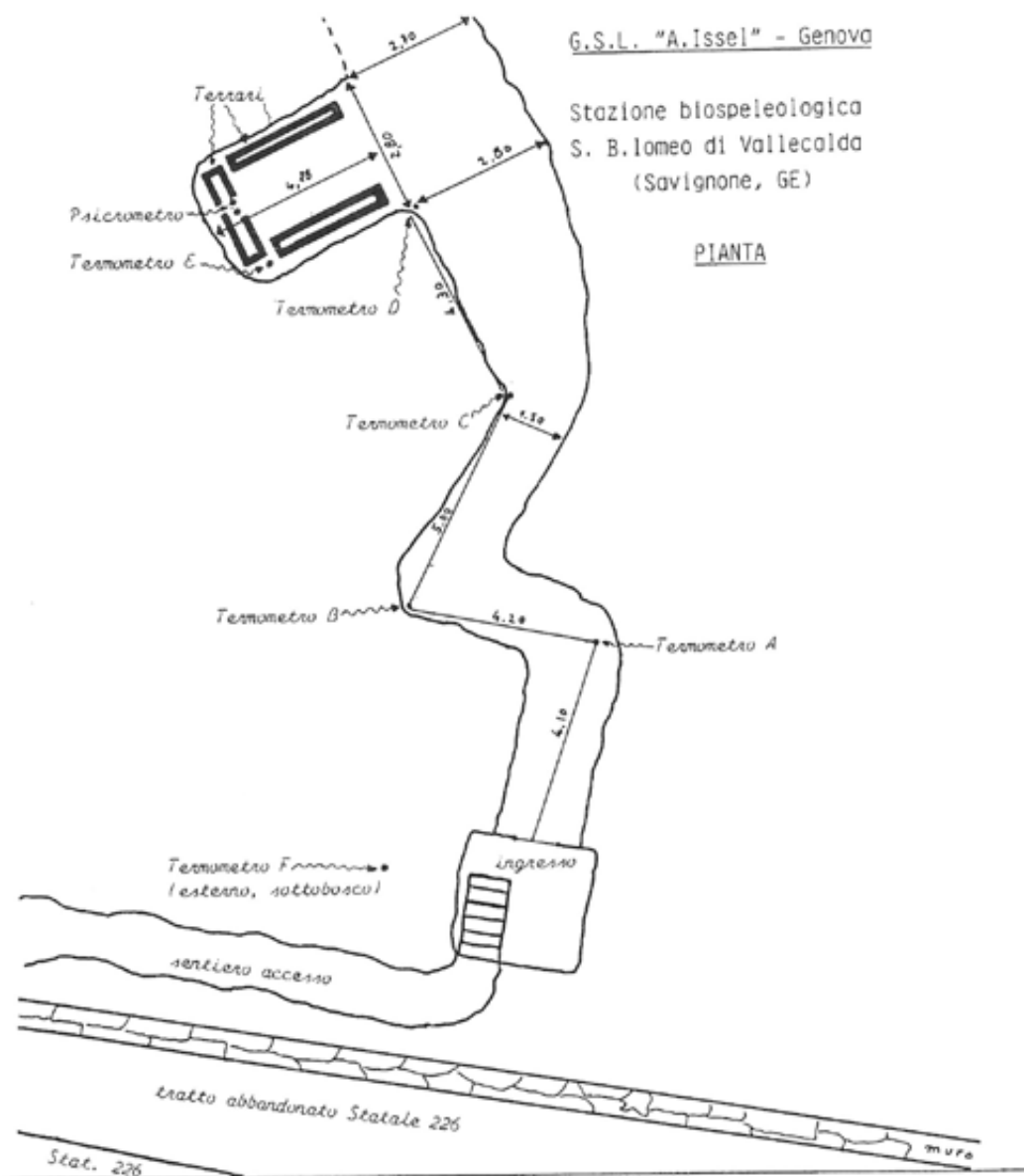


Fig. 1 - Planimetria.

cerogeno rimane a chiarirsi. In quegli anni fu inoltre pubblicato un primo inquadramento citologico degli elementi corpuscolati dal sangue, cui verrà fatto riferimento nel corso della presente comunicazione (CAMPANELLA & PASTORINO, 1972 LANERA & PASTORINO, 1974).

Ovviamente questa prima ripresa sperimentale è ben lungi dall'aver fornito risultati definitivi, anche a seguito di inconvenienti tecnici diversi che hanno impedito per ora una piena indagine sequenziale delle alterazioni patologiche indotte. Si è però in grado fin da ora di descrivere il quadro istopatologico di alcune fasi intermedie della evoluzione granulomatosa, forzosamente interrotta a distanza di quindici mesi dall'inizio della sperimentazione, allorché sopravvenute difficoltà dell'allevamento costrinsero alla soppressione degli esemplari ancora in vita, al fine di evitare che fenomeni carenziali venissero a falsare, con sovrapposte peculiarità istopatologiche legate all'iponutrizione, i risultati per quanto parziali della ricerca in atto.

Materiali e metodi

La sperimentazione fu preceduta, ad avvenuto consolidamento in muratura e chiusura con cancello dell'ingresso della «Stazione», da prolungate osserva-

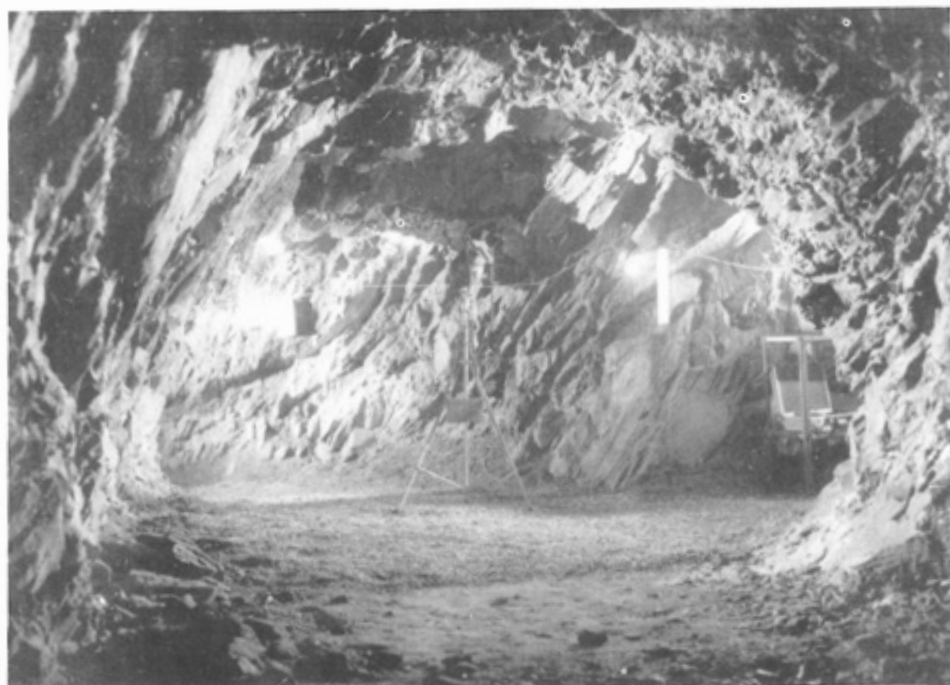


Fig. 2 - Galleria Artificiale Termometro D.

zioni microclimatiche a mezzo di termometri e psicometri di sensibilità 0.5°C , collocati come in Fig. 1 lungo il tratto di cavità a tutt'oggi utilizzato (e che comprende, detto per inciso, l'intero settore di colonizzazione spontanea del «Rifugio»).

Accanto ad una umidità relativa interna costantemente superiore al 90%, fu possibile confermare la notevole stabilità dei parametri termometrici (V. Tab. 1), e ciò particolarmente nel piccolo vano utilizzato come stabulario.

Come terrari furono utilizzate sezioni di tubi quadrangolari in eternit rivestite internamente e con parete di fondo in gesso, in quanto tale materiale, nel corso delle ricerche degli anni '70, si era dimostrato biologicamente inerte per il delicato epitelio cutaneo del geotritone. Sulla parete di fondo erano comunque inseriti frammenti litici prelevati nel «rifugio»; la parete anteriore era in vetro, con ampio foro chiuso da sportello cribrato in plastica per alimenti, che permetteva perfetta aerazione dell'interno e poteva essere agevolmente rimosso per la somministrazione di cibo.

Quest'ultimo fu rappresentato, per l'intera durata dell'allevamento, da un dittero Sp. reperito in tutta abbondanza all'interno della cavità nel corso del primo anno di sperimentazione (1988), in quanto l'esame microscopico delle deiezioni della colonia autoctona aveva dimostrato che le stesse erano in massima parte costituite da resti parzialmente digeriti di tali insetti. Purtroppo nel succes-



Fig. 3 - Cella di allevamento.

sivo anno 1989 tali ditteri risultarono presenti in quantità assai più modesta, tanto da condizionare la durata stessa della sperimentazione, visto che non fu possibile provvedere altrimenti alla nutrizione degli esemplari in cattività. (Curiosamente, nel corso del 1990, i ditteri sono nuovamente presenti in grande quantità all'interno della «Stazione»).

G.S.A. «A. Issel» - Stazione Biospeleologica S. Bartolomeo (Savignone)										
TABELLA TERMOMETRICA									N. 1/2	
Anno	Mese	Giorno	Ora	TERMOMETRI						
				A	B	C	D	E	Esterno F	Psicr.
1988	2	25	11.20	+ 6	+7	+8	+8	+9	+ 6	+9 +9
1988	3	20	15	+ 6,5	+7,5	+8	+8	79	+12,5	+8,5 +9
1988	4	19	11.40	+ 7	+8	+8,5	+8,5	+9	+10,5	+8,5 +9
1988	5	7	11.30	+10	+10	+10	+9,5	+10	+18	+10 +10
1988	6	26	10	9,5	+9,5	+10,2	+10	+10	+18	+10,2 +10,2
1988	7	23	15	+12	+12	+11,5	+10	+10	+20	+11,5 +11,5
1988	8	27	14.30	+12	+12,1	+12	+11,9	+12	+233	+11,9 +12
1988	9	29	11.30	+12	+12	+11,6	+11,6	+11,5	+18,5	+11,8 +11,8
1988	10	3	10	+11,5	+12,1	+11,9	+11,7	+11,7	+18,5	+11,9 +12
1988	11	10		+ 9	+10	+10	+11,1	+11,1	+5,5	+11,1 +11,1
1988	3	17	16	+ 7	+8	+8,5	+8,5	+9	+9	+9 +9,2
1989	4	16	9.45	+ 7	+8	+9	+8,8	+9,2	+10,5	+10 +10
1990	1	17	15.30	6,5	—	+8,5	+8,5	+9,5	—	— —
1990	2	3	11	7,6	—	+8	+8	—	+5	— —
1990	3	22	11	7	—	+9	+8,5	+9,5	—	— —

Furono utilizzati, senza distinzione di sesso, 25 esemplari adulti del peso medio di ca 2.5 g. Di questi N. 17 provenivano dal «Rifugio presso la Chiesa di S. Bartolomeo» e N° 8 dall'inedito «Rifugio Meriana» a Stabbio di Savignone. Tali esemplari furono subito immessi nei terrari, in gruppi separati di 5 predisposti per la futura sperimentazione. Dopo alcuni tentativi di allevamento con larve del commercio (mosca del miele ecc.), i quali non ebbero buon esito, una regolare alimentazione, mediante impiego di esemplari adulti del dittero Sp. di cui si è già detto, fu possibile solo a partire dal giugno 1988.

Furono quindi allestite sospensioni delle seguenti sostanze in grado di determinare processi granulomatosi cronici in animali omeotermi:

A) Talco, 1 g in soluzione fisiologica 5 ml.

B) Carminio, 1 g in soluzione fisiologica 5 ml.

C) Talco + Carminio, 0.5 + 0.5 g in soluzione fisiologica 5 ml.

Dette sospensioni vennero sterilizzate al calor secco a 120° C per un'ora, e quindi iniettate sottocute, in quantitativo tale da determinare ponfo visibile, nella regione dorsale alla radice dell'arto inferiore sinistro degli esemplari, i quali erano stati preventivamente sottoposti ad anestesia mediante immissione in campana di vetro ad atmosfera eterea. Le date di sperimentazione furono le seguenti: il 18/6/88 vennero trattati N° 20 esemplari. Di questi cinque con talco, cinque con carminio, cinque con talco + carminio e cinque, di controllo, con olio di vaselli-



Fig. 4 - Tumefazione dorsale nella sede del granuloma.

na sterile. Il 21/6/88 vennero trattati altri 4 esemplari con talco + carminio. Per tutti vi furono risveglio e sopravvivenza dopo l'introduzione del flogogeno; un esemplare di controllo venne tenuto in cattività senza essere stato trattato.

Per due soli vi fu decesso spontaneo per cause imprecise, il 2/7 ed 8/7/1988; i restanti, in epoca successiva, poterono venir tutti sacrificati in regolare successione, mediante immissione in formalina tamponata al 10% previa anestesia eterea, a partire dal 17/9/88 e fino all'estate 1989. Già dall'autunno 1988 gli esemplari trattati avevano presentato sviluppo, in sede di iniezione dorsale, di tumefazione a lento accrescimento (V. Fig. 4, 5); in alcuni casi vi fu, nel corso dell'inverno 1988, fistolizzazione con fuoriuscita della sostanza iniettata (particolarmente evidente nel caso del carminio).

Nel corso del settembre 1989, venuta a mancare la possibilità di fornire agli esemplari ancora in vita un congruo apporto alimentare, fu decisa l'interruzione della sperimentazione. Gli esemplari soppressi (26/9/89) presentavano più o meno evidenti segni di iponutrizione.

Già a partire dal 1988, sugli esemplari fissati in formalina tamponata al 10% furono effettuate sezioni seriate total/body incluse in paraffina, sulle quali vennero eseguite le colorazioni seguenti: (NOVELLI, 1958; 1902; 1970; 1972).

- A) Ematossilina - eosina.
- B) Triacida di Novelli.
- C) Metodo di Novelli per il connettivo.
- D) Metodo di Novelli per i mitocondri.
- E) Panottica citopolicroma di Novelli.

Risultati

Fra i diversi preparati istologici esaminati nel corso della sperimentazione, riferiamo di seguito su alcuni, particolarmente significativi ai fini dello studio sulla sequenzialità delle lesioni indotte. Rimandiamo pertanto alla conclusione della ricerca, dopo parziale ripresa della stessa al fine di ottenere ulteriori dati sull'evoluzione a distanza dei fenomeni reattivi, una trattazione più dettagliata e completa. D'altra parte il notevole interesse dei risultati parziali fin qui conseguiti li rende fin d'ora, a nostro giudizio, meritevoli di pubblicazione. Sono descritti di seguito i quadri istopatologici relativi a quattro esemplari, qui numerati dal N° 1 al N° 4, sacrificati in tempi diversi dall'inizio del trattamento (da un minimo di 12 giorni a un massimo di 15 mesi).

Esemplare N. 1 Talco + carminio. Tratt. 21/6/88. Sacr. 2/7/88 (a 12 gg) Col. Ematossilina-eosina.

Nella zona di introduzione delle sostanze, pur non essendosi ancora sviluppata una reazione di tipo granulomatoso, si osservano alcune cellule di aspetto monocitoide contenenti nel loro citoplasma granuli di carminio. Queste cellule sono disposte perifericamente alla massa di sostanza inerte in prevalente sede sottocutanea. Non si notano altri tipi di cellule nel contesto del materiale iniettato.

Esemplare N. 2. Talco + carminio. Tratt. 21/6/88. Sacr. 17/9/88 (a tre mesi). Col. diverse. Numerosissimi macrofagi monocitoidi ripieni di carminio si osservano nel contesto della massa di sostanza iniettata. Dette cellule si repertano anche nella milza in zona perivascolare. Non si nota presenza di cellule giganti.

Esemplare N. 3. Carminio. Tratt. 18/6/88. Sacr. 26/9/89 (a quindici mesi). Col. diverse. L'osservazione microscopica a piccolo ingrandimento del preparato permette di verificare una netta organizzazione granulomatosa nell'ambito della zona di iniezione della sostanza. Si osservano qui numerosissimi macrofagi monocitoidi ripieni di carminio con tendenza all'associazionismo sinciziale; il carminio contenuto nel citoplasma di dette cellule ha un aspetto microgranulare. La massa di materiale inerte è frammentata in zolle, compresa nelle maglie del reticolo granulomatoso e sequestrata da nidi di dette cellule. Tali si trovano altresì in atteggiamento migratorio nella fascia di collagene lasso sottocutaneo e profondo circostante il granuloma; altre cellule infarcite di carminio si repertano, in chiara attività migratoria, nel connettivo lasso del soma, specie in prossimità di organi pieni addominali (milza e fegato). Non è stato dato per il momento di osservare presenza di tali cellule nel contesto dei vasi. Oltre alla milza, anche il fegato appare sede di attività concentrazione di tali macrofagi contenenti carminio. Tali cellule appaiono talora isolate, sia fra le cellule epatiche che all'interno della couche emopoietica; più frequentemente esse appaiono porsi in contiguità od in contatto con cellule pigmentate patrimoniali, con quasi certe funzioni reticolo/istiocitarie, già descritte nel fegato degli urodeli.

Estremamente significativo appare come tali cellule pigmentate risultino assumere il colorante all'interno del loro citoplasma, senza aspetti citologici certi di una fusione fra i due tipi cellulari.

Esemplare N. 4. Talco + Carminio. Tratt. 18/6/1988. Sacr. 26/9/89 (a quindici mesi). Col. diverse.

Il quadro granulomatoso appare qui sovrapponibile a quello dell'esemplare n. 3. Caratteristiche cellule giganti appaiono costituirsi prevalentemente a livello di spicole isolate o di microzolle di talco. Numerose spicole si trovano nel citoplasma di tali cellule giganti, simili per aspetto alle cellule di Langhans della tubercolosi. Caratteristica appare, rispetto al granuloma determinato dal solo carminio, la più elevata cellularità sia monocitoide che sinciziale.

Si evidenzia inoltre in questo preparato la presenza di una cellula macrofagica ripiena di carminio a livello dello strato basale dell'epitelio intestinale. Anche in questo caso non è stata osservata presenza di macrofagi contenenti carminio all'interno dei vasi. Non si è infine evidenziato trasporto attivo di talco al di fuori del granuloma.

Discussione

Pur con le dovute e già precisate riserve, l'attuale ripresa sperimentale ha permesso di ottenere acquisizioni senz'altro significative.

Appare intanto confermato che nel geotritone il processo infiammatorio cronico, e con maggior precisione la sua componente istogena, presenta una evo-

luttività assai lenta nel tempo, con variazioni tuttavia notevoli a seconda del flogogeno utilizzato: un processo infiammatorio florido, che era in atto con il benzopirene a distanza di sei mesi dalla iniezione sottocutanea della sostanza (10), è stato rilevato per il Talco + Carminio dopo un lasso di tempo notevolmente maggiore (oltre il doppio).

Le due sostanze utilizzate per la presente ricerca, a causa delle rispettive caratteristiche fisico-chimiche, hanno poi permesso di evidenziare, nell'ambito del processo infiammatorio cronico, due distinti tipi di risposta ad opera, probabilmente, dello stesso ceppo monocitoide ad attività macrofagica.

Di fronte al solo carminio, queste cellule sono in grado di espletare una attività di tipo fagocitario con inglobamento del colorante in piccoli granuli all'interno del loro citoplasma. In tempi successivi esse vengono a frammentare in maniera massiva la restante massa amorfa, ormai compresa nell'ambito del reticolo granulomatoso. Successivamente, con il loro contenuto in microgranuli, esse appaiono migrare verso altre strutture e territori cellulari a funzione «reticolo-istiocitaria» sensu lato. Secondo quanto risulta dalle nostre osservazioni, prima ad essere interessata a tale migrazione è la milza, in cui i macrofagi contenenti carminio erano già presenti a tre mesi dall'introduzione sottocute della sostanza; è poi la volta del fegato, verso il quale la migrazione dei citati macrofagi appare in atto a distanza di oltre un anno dall'inizio della sperimentazione.

Per quanto si riferisce al fegato, estremamente interessante appare l'osservazione che i già detti macrofagi vengono a porvisi in assai frequente contiguità con cellule melanofore, caratteristicamente presenti fra le cellule parenchimali e quelle della couche eritropoietica, a funzione probabilmente sovrapponibile a quella delle cellule di Kupffer degli animali a sangue caldo. Senza che sia stato possibile documentare se ci si trovi di fronte ad un semplice trasferimento della sostanza dai macrofagi alle cellule melanofore, oppure ad una vera e propria fusione dei due citoplasmi, è certo tuttavia che abbondante quantità del carminio trasportato al fegato dai macrofagi è ad un dato momento reperibile, fino ad infarcirlo, nel citoplasma delle cellule melanofore.

Sulla evoluzione successiva del fenomeno, e sulla destinazione metabolica del carminio «ricaptato», nulla ci è dato al momento di sapere. Ugualmente, causa l'unicità del reperto, l'osservazione di un macrofago con carminio fra le cellule dell'epitelio intestinale non autorizza ad ipotizzare in tale sede una possibile «escrescenza» per via intestinale di macrofagi contenenti materiale fagocitato.

Interessante appare poi ricordare come nel corso delle nostre osservazioni non ci sia stato possibile osservare un trasporto ematico dei macrofagi più volte ricordati, e ciò nonostante lungo o nello ambito della parete dei vasi circostanti il processo granulomatoso siano state reperite cellule di aspetto endoteliale o monocitoide contenenti granuli di carminio. Non solo: il confronto fra le cellule del granuloma, sia in situ che in fase di migrazione, ed i possibili corrispondenti cellulari del sangue circolante, (VANNI, 1986) non ha fornito sicura garanzia di identità morfologica.

Per quanto riferito infine alle caratteristiche del granuloma da talco, ed al diverso atteggiamento dei citati macrofagi nei confronti di tale sostanza, si è giunti a rilevare che, a parità di tempi sperimentali, nelle associazioni talco +

carminio e in presenza di solo talco tali cellule monocitoidi, nell'impossibilità di espletare una vera e propria fagocitosi, forse per il volume eccessivo delle spicole, si limitano ad una funzione di demarcazione della sostanza introdotta.

Non solo; nell'ambito di tale attività esse presentano un maggiore associazionismo sinciziale ed una più spiccata tendenza a confluire in cellule giganti polinucleate, nelle quali soltanto, spicole di talco sono costantemente reperibili. La mancata osservazione del trasporto del talco dal granuloma alle sedi splenica ed epatica, contribuiscono a spiegare la più elevata organizzazione del processo flogistico cronico in un vero e proprio granuloma da corpo estraneo, non osservabile con l'impiego del solo carminio.

Accertato sembra dunque il diverso duplice comportamento nei confronti dei due flogogeni. In un caso, tentativo di eliminazione della sostanza attraverso la fagocitosi e il successivo convogliamento alla milza e poi al fegato a mezzo del trasporto endocellulare; nel secondo, sola possibile strategia quella del «sequestro» e dell'inglobamento da parte di strutture polimorfonucleate e, più in generale, di un granuloma «stabile» del tipo da corpo estraneo.



Fig. 5 - Tumefazione dorsale nella sede del granuloma.

Ovviamente le ricerche future potranno venire in parte a modificare le «ipotesi di lavoro» formulate sulla base di queste prime osservazioni.

Bibliografia

- CAMPANELLA G., PASTORINO M.V., 1972 - *Osservazioni ematologiche in geotritoni provenienti da stazioni di raccolta inedite dell'Oltregiogo genovese: a) note di morfologia cellulare; b) tentativo di definizione del valore ematocrito*, Atti XI Congr. Naz. Speleol., R.S.I. Mem. XI/2: 99 - 104.
- LANERA P., PASTORINO M.V., 1974 - *Inquadramento citologico del sangue circolante di geotritone continentale europeo*, Atti XII Congr. Naz. Speleol., R.S.I., Mem. XII: 282 - 292.
- NOVELLI A., 1958 - *Nuova colorazione selettiva delle fibre connettivali*, Boll. Soc. It. Patol., 5: 145 - 148.
- NOVELLI A., 1962 - *A short method for Condrioma*, J. Istoch. Cytoch., 10: 102.
- NOVELLI A., 1970 - *Metodo rapido (citopolicromo) per la dimostrazione del polimorfismo funzionale dell'epatocita*, Atti IX Congr. Soc. It. Istoch. In Riv. Istoch. Norm. Pat. 325: 16-17.
- NOVELLI A., 1970 - *Prime osservazioni sull'esistenza nel surrene di categorie cellulari diverse dimostrabili con un nuovo metodo di colorazione*, Riv. Istoch. Norm. Pat. 16 (4): 213-230.
- NOVELLI A., 1972 - *A new staining method for collagen reticulum and other histological elements*, Anat. Anz. R.D. 130: 129-131.
- PASTORINO M.V., 1971 - *Notes pour une étude biospéléologique de la grotte des «Scogli Neri» N° 435 LI*, L'Electron, Bruxelles.
- PASTORINO M.V., 1972 - *Relazione preliminare su una sperimentazione con 20 - metilcolantrene in Hydromantes italicus Dunn e descrizione di primi quadri di reattività istogena determinatisi dopo introduzione sottocutanea del cancerogeno*, Atti XI Congr. Naz. Speleol., R.S.I., Mem. XI/2: 83 - 86.
- PASTORINO M.V., 1972 - *Prime osservazioni sulla reattività istogena a stimoli infiammatori - cancerogeni in Hydromantes italicus Dunn*, R.S.I., 4: 333 - 348.
- PASTORINO M.V., PEDEMONTE S., 1972 - *Nuove stazioni di raccolta del geotritone nell'oltregiogo genovese*, Atti XI Congr. Naz. Speleol., R.S.I., Mem. XI.
- VANNI S., 1986 - *Note sull'attuale situazione sistematica e nomenclaturale di geotritoni italiani (Anfibi urodeli pletodontidi)*, Riv. Spel. Toscana, 2: 15 - 18.

RICCARDO SCIACKY*

IL POPOLAMENTO IN ITALIA DELLE SPECIE «EUCAVERNICOLE» DEL GENERE *ANOPHTHALMUS* (COLEOPTERA CARABIDAE TRECHINAE)

RIASSUNTO - Il genere *Anophtalmus* appartiene alla tribù Trechini e, all'interno di questa, alla linea filetica di *Duvalius*. Si tratta di un tipico elemento faunistico delle Alpi Orientali, i cui limiti distributivi sono: a Ovest le Prealpi Friulane sulla destra orografica del Fiume Tagliamento, a Est l'Ungheria meridionale, a Nord il corso del Gail e della Drava e a Sud la «linea Ozalj-Veglia». Le specie appartenenti a questo genere presentano un livello di specializzazione molto vario e, accanto a specie esclusivamente endogee, se ne incontrano numerose note unicamente in ambiente cavernicolo.

Scopo del lavoro è aggiornare la distribuzione in Italia, intesa come territori oggi politicamente italiani, di questo genere.

ABSTRACT - The genus *Anophtalmus* belongs to the Trechini group and inside this, to the phyletic line of *Duvalius*.

It is a typical faunal specimen of the area of East Alps, and its range zone are: the West, the Pre-Alps of Friuli at the right side of Tagliamento river; to the east Southern Hungary; to the North the flow of Gail and Drava and the to South, the «Ozalj-Veglia line».

Species belonging to this genus have a various level of specialization and besides species which are exclusively endogenous, it's possible to find a lot of them only in cave's environments.

The researchers have the aim of updating this range zone in Italy nowadays meant as Italian Political territories.

Il genere *Anophtalmus* appartiene alla tribù Trechini e, all'interno di questa, alla linea filetica di *Duvalius*. Si tratta di un tipico elemento faunistico delle Alpi Orientali, i cui limiti distributivi sono: a Ovest le Prealpi Friulane sulla destra orografica del fiume Tagliamento, a Est l'Ungheria meridionale, a Nord il corso del Gail e della Drava e a Sud la «linea Ozalj-Veglia» (JEANNEL, 1928). Le specie appartenenti a questo genere presentano un livello di specializzazione molto vario e, accanto a specie esclusivamente endogee, di piccole dimensioni e con appendici brevi e corpo tozzo, incontriamo numerose specie note unicamente di ambiente cavernicolo, di grandi dimensioni, con appendici molto allungate e corpo snello e slanciato.

* Istituto di Psicologia della Facoltà di Medicina - Milano.

La sistematica di questo genere è sempre stata particolarmente difficile anche a causa del fatto che molte entità sono note solo sugli esemplari tipici oppure sono rarissime. Questo ha fatto sì che le specie venissero frequentemente confuse tra di loro, impedendo di comprendere chiaramente le diverse correnti di popolamento. In particolare in Italia la distribuzione del genere *Anophthalmus* è stata a lungo conosciuta in modo piuttosto confuso anche perché i cataloghi hanno continuato a riportare come italiane tutte le stazioni comprese entro i confini italiani precedenti alla seconda guerra mondiale (ad es.: MAGISTRETTI, 1965). Questo ha portato a far considerare come italiane anche specie che distano notevolmente dagli attuali confini italiani, generando quello che a mio avviso è un equivoco, in quanto è bensì vero che gli attuali confini politici non vengono rispettati dagli insetti, ma neanche i confini prebellici lo erano. È mia intenzione con questo lavoro aggiornare la distribuzione in Italia, intesa come territori oggi politicamente italiani, delle specie più evolute, quasi sempre rinvenute in grotta, di questo genere, rifacendomi alle ricche ma meno complete conoscenze sulle forme extraitaliane solo allo scopo di comprendere meglio le linee di popolamento delle forme presenti in Italia. Nella trattazione che segue i nomi tra parentesi quadre sono quelli delle specie estranee al territorio italiano.

A. schmidti (STURM, 1844)

Specie presente in numerose grotte in Jugoslavia, pur essendo nota anche di alcune stazioni endogee, prevalentemente in faggete fresche e umide. Nonostante JEANNEL (1928) la isoli in un gruppo a sé a causa della particolare conformazione dell'edeago, io ritengo che le sue parentele vadano ricercate nelle due specie seguenti, *A. mariae* e *A. baratellii*. Questa specie politipica è diffusa con varie forme in Jugoslavia; in Italia è presente una sola sottospecie e in un'unica cavità. Si tratta delle sottospecie *trebicianus* MÜLLER, 1914, descritta della Grotta di Trebiciano (17 VG) e nota finora solamente di questa grotta e di un'altra cavità in territorio jugoslavo (Gr. Abisso dei Serpenti).

La gravitazione di questa specie è comunque nettamente orientale, dal momento che il Carso Triestino rappresenta l'estremo limite occidentale del suo areale (Fig. 1). Allo stesso tempo, questa specie presenta un areale di distribuzione che è uno dei più vasti all'interno del genere, estendendosi a est fino alla conca di Lubiana e a sud oltre l'Istria.

A. mariae (SCHATZMAYR, 1904)

Specie monotipica, prevalentemente a costumi cavernicoli, diffusa in cavità sia naturali che artificiali (vedasi SCIANKY, 1985), ma nota anche di un paio di stazioni endogee. L'areale di distribuzione sinora noto di questa specie comprendeva sino a poco fa il massiccio del Dobratsch e quelli vicini, parte delle Karawanken e delle Alpi Giulie jugoslave. Recentemente è stata rinvenuta in territorio italiano, su una diramazione della catena del Monte Canin (GOVERNATORI E

SCIACKY, 1989), il che fa sì che il suo areale complessivo si estenda attraverso l'Austria, la Jugoslavia e l'Italia. Nonostante il vasto areale distributivo, sembra non presentare differenze tra le varie popolazioni.

L'areale di distribuzione di questa specie presenta una gravitazione nettamente settentrionale, risultando quindi allopatrica rispetto sia ad *A. baratellii* che ad *A. schmidti* (Fig. 1).

A. baratellii SCIACKY, 1985

Specie appartenente alla linea di *A. mariae* e finora rinvenuta solamente in ambiente endogeo, sotto sassi profondamente interrati in faggeta. Finora si conoscono solamente i due esemplari tipici provenienti dal Monte Matajur; nonostante reiterate ricerche svolte anche nella località tipica non è stato possibile rinvenire altri esemplari.

Questa specie, pur molto affine ad *A. mariae*, sembra presentare una gravitazione più meridionale (Fig. 1).

[A. ajdovskanus (GANGLBAUER, 1913)]

Specie politipica, diffusa soprattutto in cavità naturali e artificiali, ma nota anche di alcune stazioni in ambiente endogeo.

Il primo tentativo di suddivisione delle forme più evolute (il vecchio «gruppo *hirtus*») di *Anophthalmus* spetta a MÜLLER (1926), il quale si rese conto che si potevano distinguere forme con lamella copulatrice piana e a punte semplici e a punte uncinat e fortemente piegate. Egli incluse le forme con lamella copulatrice a punte semplici nella specie *A. micklitzi* e quelle a punta uncinata in *A. hirtus*. JEANNEL (1928) suddivise il gruppo in un numero maggiore di specie, mettendo così parzialmente in ombra le reali affinità tra le diverse specie, inoltre per un errore JEANNEL inizialmente considerò come *A. hirtus* ssp. *hirtus* una forma in realtà da attribuire a *A. micklitzi* ssp. *fallaciosus*, traendo in inganno molti Autori successivi, nonostante la sua successiva ammissione di errore (JEANNEL, 1930). PRETNER, in un catalogo dattiloscritto redatto intorno agli anni '70 e distribuito a vari colleghi, riunì quasi tutte le forme di *Anophthalmus* del vecchio «gruppo *micklitzi*» nella specie *A. ajdovskanus*, seguito poi anche da Vigna Taglianti (1982).

Il «gruppo *hirtus*» è stato in seguito studiato a fondo da Drioli (1981), il quale lo ha perfettamente definito e ha effettuato una revisione sistematica delle varie forme. Per quanto concerne il «gruppo *micklitzi*» ho invece tentato in passato (SCIACKY, 1987) un riassetto sistematico delle specie e delle sottospecie sebbene in buona parte basato sui vecchi lavori e non su nuovo materiale. Le specie principali che ho creduto di riconoscere in questo gruppo sono comunque *A. ajdovskanus*, *A. micklitzi* e *A. fabbrii*, ciascuna delle quali con varie sottospecie; alcune specie monotipiche sono poi da aggiungere a queste. La specie *A. ajdovskanus*, a cui vanno riferite non meno di sette sottospecie descritte, risulta finora

estranea alla fauna italiana, in quanto tutte le stazioni conosciute si trovano in territorio iugoslavo oppure austriaco (Fig. 2). Non è però impossibile che si rinvenga in futuro anche in Italia, come è già successo per *A. mariae*, il cui areale distributivo era abbastanza simile. Alle sottospecie elencate nel mio precedente lavoro (SCIANKY, 1987), ritengo oggi che si possa aggiungere la ssp. *sontiacus* MÜLLER, della Grotta Dante presso Tolmino, da me in precedenza attribuita ad *A. fabbrii*. Questa forma viene a colmare parzialmente lo iato esistente tra le popolazioni più settentrionali e le più meridionali, della Selva di Tarnova (ssp. *ravasinii* MÜLLER).

[*A. micklitzi* (GANGLBAUER, 1913)]

Anche questa specie, finora nota solo di ambiente cavernicolo, presenta numerose sottospecie, tutte però diffuse solo in territorio politicamente iugoslavo-

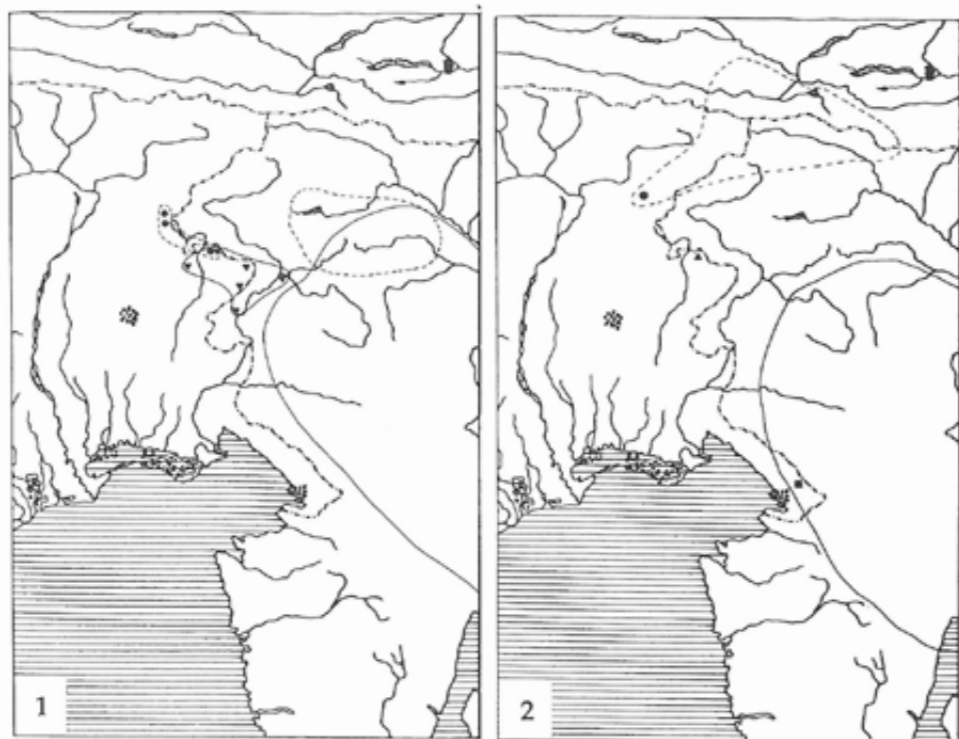


Fig. 1 - Stazioni italiane e areale di distribuzione di: *A. bohiniensis* (cerchi e linee tratteggiate) e *A. scopolii* (triangoli e linee continue).

Fig. 2 - Stazioni italiane e areale di distribuzione generale di: *A. mariae* (cerchio e linea tratteggiata), *A. baratellii* (triangolo) e *A. schmidtii* (quadrato e linea continua).

vo. La ssp. *fabbrii* MÜLLER, 1931, descritta come sottospecie di *A. micklitzi* e poi talvolta considerata come sottospecie di *A. ajdovskanus*, è stata in precedenza elevata a specie distinta (VIGNA TAGLIANTI, 1982).

Il suo areale di distribuzione è piuttosto ristretto e a gravitazione occidentale, risultando limitato alla valle della Sava a monte di Lubiana (Fig. 2). L'areale della specie precedente (*A. ajdovskanus*) si sovrappone ampiamente a quello di questa, sebbene il primo sia molto più ampio e soprattutto molto più esteso verso nord e verso ovest.

[*A. Tolminensis* (MÜLLER, 1922)]

Specie monotipica, rarissima, finora nota di una sola grotta in territorio un tempo italiano, ora jugoslavo (Grotta Dante VG 363, presso Tolmino). Si può quindi considerare estranea alla nostra fauna.

A. fabbrii MÜLLER, 1931

Questa specie, uno degli elementi più caratteristici della fauna cavernicola del Friuli orientale, è una delle poche di questo genere a presentare un areale di diffusione completamente in territorio italiano. Tutte le popolazioni finora note di questa specie sono strettamente localizzate nell'ambiente cavernicolo, dove sembrano abitare preferenzialmente le rive sabbiose di corsi d'acqua sotterranei. Attualmente la specie è da considerarsi politipica, con varie sottospecie distribuite in una serie di valli parallele e molto vicine, ma tuttavia ben distinte tra loro.

La mia precedente attribuzione di *sontiacus* MÜLLER, 1935, a questa specie in qualità di sottospecie ritengo ora che sia da considerarsi erronea e che tale entità vada invece attribuita ad *A. ajdovskanus*. Le sottospecie certamente attribuibili a questa specie hanno invece la seguente distribuzione.

La ssp. *fabbrii* è localizzata nel vasto sistema sotterraneo del Monte Bernardia (Valle del Torre), risultando nota solo della Grotta Nuova di Villanova (Fr 323) (loc. tip.), della Grotta Doviza (Fr 70), della Voragine Elicottero (Fr 700) e della Grotta E. Feruglio (Fr. 2175); tutte queste grotte, molto vicine tra di loro, costituiscono un vasto sistema di cavità molto probabilmente tra loro collegate, per lo meno parzialmente, anche se le giunzioni non sono state ancora scoperte. È comunque stato dimostrato che le acque di tutte queste grotte presentano la stessa composizione chimica e quindi hanno la medesima origine.

La ssp. *linicola* SCIACKY, 1987, è finora nota della sola grotta Pod Lanisce (Fr 573), che si apre presso Taipana, nella Valle del Cornappo; questa sottospecie è molto affine alla ssp. *fabbrii*, ma i caratteri differenziali dell'edeago e della lamella copulatrice sono abbastanza spiccati da permettere una separazione a livello sottospecifico; è stato inoltre dimostrato da studi sulle acque sotterranee che il sistema ipogeo del Monte Bernardia (grotte nei dintorni di Villanova) è del tutto distinto da quello della Pod Lanisce.

La ssp. *chiappai* SCIACKY, 1987, nota inizialmente con certezza della sola ca-

vità tipica (Grotta di San Giovanni d'Antro, Fr 43, presso Antro), è stata accertata in seguito anche della grotta Foran di Landri (Fr 46), presso Prestento (Torreano) e della Grotta di Montefosca (Fr 1649), peraltro già citate da CHIAPPA (1983) e SCIAKY (1987). È probabile che anche la citazione per la grotta Foran des Aganis (Fr 48) (SCIAKY, 1987), situata molto vicina al Foran di Landri, si riferisca a questa sottospecie. Questa sottospecie abita dunque la zona compresa tra la Valle del Grivo e la Valle del Natisone.

La ssp. *leander* SCIAKY, *in stampa* è finora nota solo di due cavità: Grotta di Mersino Alto (Fr 383), presso il paese omonimo, e Grotta di Iadrovizza (Fr 389), presso Savogna; curiosamente, questa forma, sebbene più vicina geograficamente alla precedente (ssp. *chiappai*), nella forma della lamella copulatrice sembra presentare maggiori affinità con la ssp. *linicola*, da cui è più distante. Sembra che la distribuzione di questa forma sia limitata a ovest dalla Valle del Natisone e a est dalla Valle dell'Alberone.

La ssp. *vignai* SCIAKY, *in stampa* è finora conosciuta in un solo esemplare maschio della Grotta di Osgnetto Fr 302, presso San Leonardo, rappresenta quindi tra tutte le forme appartenenti ad *A. fabbrii* quella più orientale.

Come si può vedere, questa specie rappresenta l'endemismo italiano con l'areale di distribuzione più vasto; contemporaneamente questa è la più occidentale tra le varie specie politipiche del «gruppo *micklitzi*», in quanto tutte le altre risultano estranee alla fauna italiana (Fig. 2).

A. nivalis (MÜLLER, 1922)

La forma tipica di questa specie era nota solo del Monte Tricorno, ma in seguito è stata rinvenuta una seconda popolazione in Italia e precisamente sul Monte Matajur, descritta come ssp. *montismataiuris* COLLA, 1986 e a tutt'oggi nota solo della Voragine a Sud-Ovest del Monte Matajur, o Sesna Jama (Fr 7). Ritengo ora di dover riportare a questa specie, in qualità di sottospecie, anche *A. charon* MEGGIOLARO, 1962, descritto come specie distinta e ritenuto endemico del massiccio del Monte Ciaurlec, ma in seguito rinvenuto anche sul Monte Cjarandeit (o Chiarandeit). Le località di cui la ssp. *charon* è finora nota sono: Grotta del Fous (Fr 229) (doc. tip.), Inghiottoio di Fornez (Fr 347), Grotta II nella Forra del Rio Molin (Fr 525), Inghiottoio di Juris (Fr 623) (REGALIN, 1982), Inghiottoio della Fontana Rugàt (Fr 214), sul Monte Cjarandeit (o Chiarandeit), presso Tramonti di Sopra.

Già COLLA (1986) aveva messo in evidenza come *A. nivalis* si potesse considerare come una forma di transizione tra le specie a lamella piana («gruppo *micklitzi*») e quelle a lamella fortemente piegata verso il lato ventrale e con lobi anteriori uncinati (gruppo *hirtus*). Lo stesso Autore aveva anche già rimarcato l'affinità tra *A. nivalis* e *A. charon*, considerandoli però ancora come specie distinte, ma l'assoluta identità delle lamelle copulatrici mi ha convinto della loro conspecificità.

È possibile che anche l'*Anophthalmus* del Monte Canin (PAOLETTI, 1979; VIGNA TAGLIANTI, 1982), raccolto in pochi esemplari nell'Abisso Comici (Fr 856), si possa ricondurre a questa specie. Secondo il collega Nicoli, che ne ha potuto esaminare un esemplare maschio, i caratteri dell'edeago e della lamella copulatrice sembrano quelli della specie *A. nivalis*, sebbene non si possa ancora stabilire a quale sottospecie. Potrebbe trattarsi tanto della sottospecie nominale quanto della ssp. *montismataiuris* o di una ancora differente. In quest'ultimo caso non si può escludere che vada ricollegato al misterioso *A. manhartensis* MESCHNIGG del Monte Mangart, descritto come specie distinta ma in modo completamente insufficiente. Il Monte Mangart e il Monte Canin si trovano sulla stessa dorsale a poca distanza l'uno dall'altro e potrebbero facilmente albergare lo stesso *Anophthalmus*.

Questa specie si può considerare come vicariante settentrionale del «gruppo *hirtus*» (Fig. 3), così come il «gruppo *mariae*» è vicariante settentrionale del «gruppo *schmidtii*».

A. hirtus (STURM, 1853)

Specie che si rinviene quasi esclusivamente in grotta, politipica, il cui areale di distribuzione è prevalentemente extraitaliano e a cui fanno capo varie altre specie. La tassonomia dell'intero gruppo è stata esaurientemente studiata da DRIOLI (1981), il quale ha caratterizzato le varie specie valide e riportato in qualità di sottospecie di *A. hirtus* altre forme meno distinte. In Italia si conoscono solamente due sottospecie: ssp. *mayeri* MÜLLER, 1909 e ssp. *terminalis* SCIAKY, 1987. La prima delle due, ssp. *mayeri*, sembra essere localizzata nella Grotta Noè (VG 90), che si apre presso Aurisina, nel Carso triestino. Questa forma, inizialmente descritta come specie distinta, era stata considerata come tale anche da JEANNEL (1928), il quale aveva creduto di poterle avvicinare la popolazione della Grotta di San Giovanni d'Antro, di cui peraltro non conosceva il maschio. DRIOLI (1981) è stato il primo a considerarla una semplice sottospecie di *A. hirtus*. La ssp. *terminalis* SCIAKY, 1987, già nota da tempo (PAOLETTI, 1979; VIGNA TAGLIANTI, 1982) sebbene non descritta fino a tempi recenti, è sinora nota solo della Grotta di Mulin Vecchio (Fr 1213), che si apre in località Molin Vecchio (comune di Prepotto).

L'areale di distribuzione di questa specie presenta una gravitazione nettamente meridionale, giungendo a nord solo fino alla zona di Santa Lucia di Tolmino, mentre verso sud si estende fino all'Istria (Fig. 3).

A. manhartensis MESCHNIGG, 1943 *sp. incertae sedis*

Rimane ancora dubbia la reale identità di questa specie, rinvenuta sul Monte Mangart in sede endogea e mai più ritrovata. Al momento sembra che la collezione Meschnigg sia andata dispersa e quindi non è più possibile esaminare gli esemplari tipici. Sarebbe pertanto opportuno ritrovare la specie per poterne

fornire una ridescrizione, in quanto dalla descrizione originale non è possibile neppure farsi un'idea delle sue reali affinità. In ogni caso, sebbene non specificato nella descrizione originale, la località di rinvenimento dovrebbe trovarsi sul versante jugoslavo, in quanto sul versante italiano la quota indicata da MESCHNIGG si trova a metà di una parete verticale di roccia. Ad ogni modo è già stato esposto in altra sede (SCIAKY, 1985) il motivo per cui questa specie non si può avvicinare ad *A. mariae*, come MESCHNIGG (1943) aveva proposto.

Conclusioni

Come si può osservare dalle pagine precedenti, il numero di specie «evolute» di *Anophthalmus* presenti in territorio politicamente italiano è pari a sei. Di queste, due si possono considerare endemiche italiane (*A. baratellii* e *A. fabbrii*), mentre tutte le altre hanno una distribuzione che si estende anche alla Jugoslavia e, in un caso, anche all'Austria. Le altre specie presentano areali di distribuzione

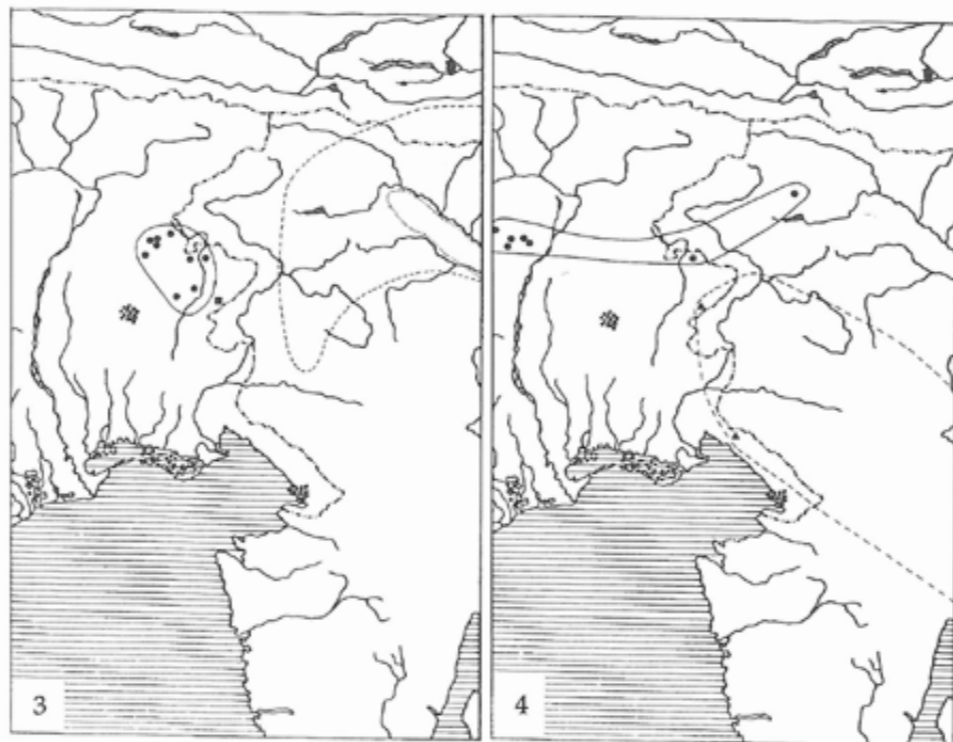


Fig. 3 - Stazioni italiane e areale di distribuzione generale di: *A. fabbrii* (cerchi e linea tratteggiata), *A. vignai* (quadrato), *A. micklitzi* (linea a puntini) e *A. ajdovskanus* (linea continua).

Fig. 4 - Stazioni italiane e areale di distribuzione generale di: *A. nivalis* (cerchi e linea continua) e *A. hirtus* (triangoli e linea tratteggiata).

più o meno estesi e con gravitazioni diverse, anche se spesso ampiamente sovrapposte.

Nonostante questa ricchezza faunistica, molte entità sono state raccolte una o pochissime volte, le stazioni note sono ancora poche e numerosissime grotte restano ancora da esplorare a scopi faunistici. Ad esempio, in tutta la vasta zona di confine tra Austria e Italia non si conosce nessun *Anophthalmus* in territorio italiano, mentre se ne conoscono alcune specie in Austria, sia di grotta che di ambiente endogeo. Ritengo pertanto certo che, una volta approfondite ed estese le ricerche sia nelle grotte che in ambienti adatti al di fuori di esse in tutte le zone ancora sconosciute del Friuli, il numero delle entità faunistiche note salirà ancora, permettendoci di comprendere meglio le diverse correnti di popolamento presenti in questa regione.

Ringraziamenti

Vorrei qui ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura di questo lavoro mediante l'offerta di materiale in studio oppure in altri modi. In particolare sono grato a Bernardo Chiappa, presidente del C.S.I.F., per il suo continuo appoggio e incoraggiamento, a Leandro Dreon (Frisanco), Gianluca Governatori (Pordenone) e Fabio Nicoli (Gruppo di Ricerche Carsiche «C. Seppenhof», Gorizia), entusiasti ricercatori nella loro regione, e infine al Prof. Augusto Vigna Taglianti (Università La Sapienza, Roma), con cui ho da sempre un debito di riconoscenza per tutto ciò che mi ha insegnato e continua ad insegnarmi.

Bibliografia

- CHIAPPA B., 1983, *Aggiornamento sulla diffusione del genere Anophthalmus (Coleopt. Carabidae) nel Friuli centro-orientale* - Mondo sotterraneo, Udine (n.s.) 7: 89-96.
- COLLA A., 1986 - *Ricerche biospeleologiche «Anophthalmus nivalis montismatajuris» n. ssp., cavernicolo del M. Matajur (Prealpi Giulie) (Coleoptera Carabidae)* - Atti Mus. civ. St. nat. Trieste, Trieste, 39: 185-198.
- DRIOLI G., 1981 - *Anophthalmus hirtus stygius n. ssp. ed osservazioni morfologiche sul «rassenkreis» dell'Anophthalmus hirtus Sturm (Coleoptera Carabidae)* - Gortania - Atti Museo Friul. Storia nat., Udine, 3: 245-270.
- GOVERNATORI G. E SCIACKY R., 1989 - *Anophthalmus mariae Schatzmayr, 1904 nuovo per l'Italia (Coleoptera Carabidae Trechinae)* - Gortania - Atti Museo Friul. Storia nat., 11: 183-88.
- JEANNEL R., 1928 - *Monographie des Trechinae. Troisième livraison* - Abeille, 35: 1-808.
- JEANNEL R., 1930 - *Monographie des Trechinae. Quatrième livraison (Supplement)* - Abeille, 34: 59-122.
- MAGISTRETTI M., 1965 - *Fauna d'Italia. VIII. Coleoptera: Cicindelidae, Carabidae - Catalogo topografico* - Calderini Ed., Bologna: 512 pp.
- MEGGIOLARO G., 1962 - *Descrizione del primo Anophthalmus raccolto sulle Prealpi Friulane a ovest del Tagliamento* - Boll. Mus. civ. St. nat. Venezia, 15: 117-124.
- MESCHNIGG J., 1943 - *Ein neuer Anophthalmus Sturm von Manhart* - Mitteil. Münchn. Entomol. Ges., 33: 671-673.
- MÜLLER G., 1926 - *I coleotteri della Venezia Giulia. Catalogo ragionato. Parte I: Adephaga* - Studi Entomol., Trieste, 1: 1-306.

- MÜLLER G., 1931 - *Nuovi coleotteri cavernicoli ed ipogei delle Alpi Meridionali e del Carso Adriatico* - Atti Mus. civ. Stor. nat. Trieste, Trieste, 11: 179-205.
- MÜLLER G., 1935 - *Nuovi contributi alla conoscenza del genere Anophthalmus* (Coleopt. Carabidae) - Atti Mus. civ. Stor. nat. Trieste, Trieste, 12: 183-225.
- PAOLETTI M. G., 1979 - *Microartropodi ipogei delle Alpi Orientali* - Mondo Sotterraneo, Udine (n. s.), 3: 23-32.
- REGALIN R., 1983 - *Ricerche biospeleologiche. IV. Tre nuove stazioni di Anophthalmus charon* MEGG. e altri dati geonemici inediti su coleotteri cavernicoli del Veneto e Friuli - Venezia Giulia - Atti II Congresso triveneto di Speleologia, Monfalcone, 4-5 dicembre 1982: 21-23.
- SCHATZMAYR A., 1904 - *Drei neue Arten der Kärntner Koleopteren* - Fauna - Münchn. Kol. Zeit., München, 2: 210-214.
- SCIACKY R., 1985 - *Anophthalmus baratellii* nuova specie endogea del M. Matajur (Alpi Giulie) (Coleoptera Carabidae) - Boll. Soc. ent. ital., Genova, 117, (8-10): 155-160.
- SCIACKY R., 1987 - *Proposte sulla sistematica del genere Anophthalmus* e descrizione di tre nuove sottospecie del Friuli orientale (Coleoptera, Carabidae, Trechinae) - Fragn. ent., Roma, 20 (1): 51-69.
- SCIACKY R., (in stampa) - *Due nuove entità del genere Anophthalmus* del Friuli Orientale (Coleoptera Carabidae, Trechinae) - Fragn. ent., Roma.
- VIGNA TAGLIANTI A., 1982 - *Le attuali conoscenze sui Coleotteri Carabidi cavernicoli italiani* - Lav. Soc. ital. Biogeogr., n.s., 7: 339-430.

Discussione

VOCE IN SALA - La relazione è molto interessante, ma manca una documentazione fotografica che permetta agli speleologi di riconoscere questi animali anche per aiutare gli specialisti, senza dover raccogliere troppo materiale, a volte inutilmente.

SCIACKY - È vero, ma ho un'attenuante: non li so fotografare e, d'altro canto, nell'aspetto esteriore i vari *Anophthalmus* sono molto simili fra loro. Comunque un'ottima immagine l'avete a disposizione nel volumetto «La vita nelle nostre grotte» che vi è stato distribuito dall'organizzazione del congresso.

VOCE IN SALA - È troglifilo, troglobio o troglosseno?

SCIACKY - Oggi questo tipo di distinzione non è più così netta ma vi sono varie sfumature. Andrebbe considerato come troglobio. Quasi tutte le specie presentano spiccati adattamenti alla vita ipogea, ma altre specie, con gli stessi adattamenti, vivono sotto i sassi. Le specie più evolute si trovano generalmente in grotta mentre si muovono su banchi di sabbia vicino a piccoli corsi d'acqua, non ruscelli impetuosi. In queste condizioni lo si ritrova alla Grotta Nuova di Villanova, dopo il trivio, o alla Grotta della Foos.

CHIAPPA - Rispetto all'osservazione dell'amico ligure, ricordo che è buona norma nei gruppi speleologici inserire la biospeleologia nei corsi di I livello. Esiste anche una serie di diapositive appositamente realizzate dalla SSI.

AUGUSTO BINDA *

IL PROGETTO SPA: GENESI, SITUAZIONE ATTUALE, PROSPETTIVE

RIASSUNTO - Il Progetto consiste in uno studio per conoscere gli effetti e le modalità con cui l'inquinamento atmosferico, ed in particolare le piogge acide, influiscono sull'ambiente carsico ed in particolare sulle acque. La sua durata è almeno triennale ed ha avuto inizio organizzativo nel 1988, mentre le campionature delle acque hanno avuto inizio effettivo nel 1989.

Gode del patrocinio dell'Assessorato all'Ecologia della Regione Lombardia e del Parco Naturale del Campo dei Fiori ed ha inoltre il sostegno operativo della U.S.S.L. n° 3 di Varese (analisi delle acque) e di altre organizzazioni e ditte private.

Una parte dei dati meteorologici è fornita dal Centro Geofisico Prealpino di Varese, con cui è in atto una collaborazione operativa ed uno scambio di dati scientifici.

ABSTRACT - It deals with a plan in order to seize some relationships between acid rains and air pollution together with their effect on the Karst's environment.

As water is a vehicle of pollution, it must be continually sampled and analyze during its water flow.

The analyses have been carried out in Ionic Chromatography. Sampling deals with three fundamental elements: rain water, water of cave and spring water.

La presentazione di questa relazione relativa al XVI Congresso Nazionale di Speleologia di Udine non ha lo scopo di illustrare dettagliatamente le modalità esecutive del Progetto, e nemmeno di presentare pubblicamente i primi dati raccolti. La presentazione del Progetto è già stata fatta al XIII Convegno di Speleologia Lombarda a Varese nel 1988, ed apparirà ben presto negli Atti del Convegno, attesi entro la fine dell'anno corrente; rimandiamo ad essa per l'insieme dei dettagli, anche se qualsiasi informazione verbale può essere data in questa o in qualunque altra sede.

Lo scopo della relazione a questo Congresso è invece quello di dare all'insieme degli Speleologi italiani un'informazione di carattere generale sul Progetto in modo da farlo conoscere e, se possibile, stimolare altre Associazioni e Gruppi Speleologici a seguire linee di ricerca uguali o quanto meno simili.

* Associazione Varesina per l'Eco-Speleologia; Società Speleologica Italiana.

Deve essere ben chiaro che nonostante vengano presentate alcune elaborazioni grafiche di dati analitici non è in nessun modo possibile trarne fin d'ora conclusioni generali; una raccolta dati di un solo anno, e per di più in periodo di grande irregolarità delle piogge, non permette di costruire teorie anche se fin d'ora appare evidente che esistono relazioni fra temporalità, quantità e qualità delle acque di pioggia, e di quelle di grotta e di sorgente e che esse sono misurabili.

Fino ad oggi, almeno per quanto consta allo scrivente, negli studi di idrologia carsica si è tenuto conto dei tempi e delle quantità delle precipitazioni ma non si è ancora presa in considerazione la composizione delle piogge stesse.

È nostra intenzione dimostrare che vi è un rapporto diretto fra il chimismo delle acque meteoriche e quello delle acque carsiche. Non è logico ammettere che le acque piovane veicolino inquinanti in quantità importanti, varie e crescenti, e che questi inquinanti non interagiscano con l'ambiente carsico e le acque sorgive.

Il Progetto SPA (le tre lettere della sigla significano «Studio Piogge Acide») è nato dalla considerazione che il crescente inquinamento delle acque atmosferiche, di cui uno dei sintomi è l'aumentata acidità delle piogge ma che si manifesta anche in altri modi, non può non influire sulle acque carsiche. A livello empirico esistono constatazioni di vario tipo sull'aumentata incidenza delle incrostazioni calcaree in tubazioni, caldaie ed elettrodomestici ed anche sull'incremento della corrosione delle strutture metalliche esterne, in particolar modo le grondaie; su un piano scientifico - applicativo è stato messo in evidenza da più parti un progressivo aumento della durezza delle acque di falda e di sorgente.

Un grave inconveniente di tutte le ricerche ambientali attuali è la mancanza della cosiddetta «situazione zero», cioè di un insieme di parametri ambientali di base che definiscano una «situazione di normalità» ed a cui riferire le condizioni misurate di volta in volta; purtroppo i dati storici mancano del tutto o sono scarsissimi, e le situazioni zero sono in pratica impossibili da definire; uno dei pochi parametri su cui tutti sembrano accordarsi è, ad esempio, il pH della pioggia normale che è accettato in 5,6, dove la debole acidità è dovuta ad anidride carbonica ed a piccole quantità di acido nitrico originato da scariche elettriche in atmosfera.

Le uniche fonti di dati storici sistematici sono state, per quanto ci riguarda, gli archivi delle società degli acquedotti che, per ragioni ovvie, tengono sotto controllo la qualità dell'acqua distribuita; anche le società che distribuiscono acque minerali tengono registrazioni del genere, tuttavia è praticamente impossibile ottenere dati da esse.

I controlli analitici sugli acquedotti erano fatti, fino a qualche anno fa, in modo molto sommario accontentandosi di una o due analisi annue finalizzate ai controlli di durezza e di presenza / assenza d'inquinamenti di origine fecale; per quanto questo sia insufficiente per una ricerca scientifica, i dati così accumulati mostrano in modo inequivocabile una tendenza all'aumento di durezza che non può essere spiegato altrimenti che con una maggiore quantità di carbonati disciolti nelle zone carsiche.

Un'indagine svolta negli archivi della società municipalizzata distributrice delle acque a Varese ha permesso di ricavare dati che, anche se sommari e troppo spazati nel tempo, evidenziano il fenomeno: in 17 anni una delle principali sorgenti dell'acquedotto di Varese è passata da una durezza media di 18 - 20 F° ad

una di 24 - 26 F°, e la stessa cosa accade altrove, anche nelle acque di falda di Milano che pur essendo in zona alluvionale sono alimentate da acque di origine montana e quindi carsica.

Non è stato possibile trovare letteratura sull'argomento specifico dell'influenza delle piogge acide del carsismo, e quindi ha preso corpo, attraverso varie vicissitudini, il Progetto SPA che, presentato alla Regione Lombardia, ne ha ottenuto il sostegno finanziario senza il quale non si sarebbe potuto fare nulla.

Fondamentalmente, il Progetto consiste nella raccolta di dati su tre tipi di acque: meteoriche, di grotta e di sorgente che vengono campionate ed analizzate; i dati raccolti vengono elaborati e studiati per tentare di individuare le correlazioni fra di esse.

Le acque di pioggia vengono campionate in quattro punti della provincia di Varese: Brebbia (sede dell'Associazione), Varese (città e Campo dei Fiori, dal Centro Geofisico Prealpino) e Corgeno di Vergiate (sede di un'associazione amica).

Le acque di grotta vengono campionate nella Grotta di Monte Tre Crocette a Varese - Campo dei Fiori (più nota come Grotta Marelli) in tre punti che hanno caratteristiche idrodinamiche che vanno dal passaggio rapido (pochi metri di roccia fratturata) a coperture crescenti e passaggi più lenti. Campionature occasionali vengono eseguite nella stessa grotta od in altre.

Le acque di sorgente vengono campionate sistematicamente in tre sorgenti, manualmente in una e con apparecchiature automatiche in altre due; la campionatura può essere quotidiana oppure avvenire ogni 3 - 4 giorni, a seconda delle possibilità operative; altre sorgenti ed acquedotti vengono monitorati con frequenze superiori, in genere settimanali.

Nella Grotta Marelli è stato allestito un laboratorio sotterraneo, in via di completamento, in modo da poter eseguire operazioni anche complicate come rilevamenti meteorologici e misure di portata; parallelamente alle operazioni del Progetto, nella grotta vengono eseguiti rilevamenti sul Radon (presente in quantità talvolta sorprendenti) e sulla corrosione delle rocce, quest'ultima oggetto di una relazione separata.

La parte chimica era una delle preoccupazioni maggiori fin dall'inizio, sia per i costi dell'operazione che per la sua complessità.

Il problema è stato risolto grazie ad una convenzione con la U.S.S.L. n° 3 di Varese, grazie alla quale il laboratorio delle acque del P.M.I.P. (Presidio Multizonale di Indagine e Profilassi) esegue gratuitamente circa 2000 analisi annue. Nonostante alcuni problemi dovuti alle strutture del laboratorio ed alla disponibilità ridotta di personale, questa soluzione ha permesso di accumulare una gran mole di dati analitici, per lo più ottenuti in cromatografia ionica; purtroppo fino ad ora non è stato possibile ottenere la determinazione di HCO_3^- , nonostante la sua importanza.

Nei grafici esposti sono evidenziati in forma grafica e con qualche accorgimento di scala i dati relativi a due sorgenti: Valle Luna, sorgente non sfruttata, ad alta durezza e conducibilità con piccola portata (circa 4 litri / sec, molto costanti nel tempo) campionata manualmente ogni 24 - 48 ore, e Luvinata 3 (Acquedotto di Varese, gruppo di 4 sorgenti a durezza e conducibilità media, con grande por-

tata (fino a 150 litri / sec), campionata automaticamente ogni 24 ore.

Ci troviamo ora nel pieno della fase di accumulo dei dati, dopo oltre un anno di attività sul terreno; nonostante che alcune evidenze inizino ad apparire dalle elaborazioni grafiche è ancora troppo presto per costruire teorie sull'insieme dei fenomeni che accadono nel sistema carsico del Campo dei Fiori.

Allo stato attuale si constata l'evidenza del «pistonaggio» dato che la «torbida» misurata a Luvinata segue di sole 24 - 26 ore le precipitazioni importanti, mentre gli effetti chimici sembrano essere molto più diluiti nel tempo, con sfasamenti che giungono fino a circa 35 giorni.

La più grande prudenza è comunque d'obbligo e gli specialisti che si occupano di questi aspetti del Progetto hanno bisogno anche dei dati del secondo anno in modo da completare e confermare quelli del primo, soprattutto se si tiene conto che la scarsità e l'irregolarità delle precipitazioni fanno sì che il 1989 - 90 debba essere considerato un anno meteorologicamente anomalo, ancor più dei due che lo hanno preceduto.

Dal punto di vista delle attrezzature e strumentazioni sono emerse alcune particolarità legate alle finalità del Progetto.

Per quanto riguarda i dati meteorologici e le campionature di acque piovane non vi sono problemi particolari salvo per quanto riguarda il volume dei campioni, che deve essere di almeno 500 ml.

Per i dati bastano le normali stazioncine meteorologiche, con riguardo particolare alla pluviometria in quanto è essenziale registrare quantità e tempi delle precipitazioni.

Il campionamento avviene, di norma, in modo manuale; i pluviometri normali non consentono la raccolta di quantità sufficienti d'acqua, e quindi sono stati appositamente costruiti pluviometri a bocca larga (12,5 dmq) con i quali bastano 4 mm di pioggia per raccogliere 500 ml d'acqua; con precipitazioni inferiori a 4 mm il campione è necessariamente inferiore a mezzo litro, e questo impedisce alcune analisi puntuali.

Sono in costruzione apparecchiature destinate a superare questo inconveniente (bocca da 100 dmq).

Le acque di grotta sono, per ora, campionate manualmente. Questa situazione è temporanea e sono in costruzione avanzati dispositivi per il campionamento automatico degli stillicidi unitamente alla registrazione della loro variabilità nel tempo e nella quantità.

La maggiore attenzione è stata finora accordata al campionamento delle acque sorgive, eseguito con campionatori automatici a giostra (molto costosi) che hanno un'autonomia di 24 campioni, quindi di 24 - 48 giorni a seconda della frequenza scelta.

I campioni vengono raccolti e trasportati in contenitori di polietilene per alimenti (quindi senza rilasci di sostanze chimiche) della capacità di mezzo litro. Dopo ogni uso tutti i contenitori vengono spazzolati internamente, lavati meccanicamente con acqua acidulata con acido cloridrico RPE al 2-3%, risciacquati con acqua demineralizzata ed asciugati; dato che l'acido cloridrico è un gas, l'asciugatura garantisce che con l'acqua evapora anche qualsiasi residuo d'acido che potrebbe falsare le misure di acidità.

Altre apparecchiature necessarie sono, oltre alle attrezzature normali da grotta per quanto riguarda la parte speleologica ed alle strumentazioni meteorologiche per la pluviometria: pH - metri, conducimetri, termometri, registratori grafici di vario tipo e soprattutto un'adeguata capacità informatica con la possibilità di acquisire ed elaborare grandi quantità di dati.

Come esempio, si consideri che 7 mesi di dati relativi ad una sorgente ed alla pluviometria che l'interesse richiedono un file Lotus di tipo WK1 di circa 120 Kb oltre ad almeno 28 files di tipo PIC di 5 - 7 ciascuno.

Altra disponibilità necessaria è quella di un'officina nella quale poter costruire quegli accessori di campionamento che non esistono in commercio e debbono venire progettati e realizzati ad hoc.

I dati analitici vengono ricevuti dal laboratorio sotto forma di certificati d'analisi ufficiali insieme a quelli di altro tipo (meteorologia, pluviometria, portate) e vengono tabulati elettronicamente sotto forma di foglio elettronico (Lotus) da cui vengono poi ricavate per successive elaborazioni dati statistici (massimi, minimi, medie, regressioni lineari) e rappresentazioni grafiche.

L'insieme di questi dati viene poi trasmesso agli specialisti.

Con queste descrizioni sommarie, che potranno essere completate dalla lettura del lavoro presentato al Convegno di Varese, è stata illustrata la struttura del Progetto SPA - 1 (prima fase); le fasi successive verranno sviluppate dopo il completamento della prima e dipenderanno sia dai risultati raccolti che dai mesi e dalle collaborazioni di cui sarà garantita la disponibilità.

Progetti di questo tipo riscuotono l'interesse delle Amministrazioni e non è molto difficile ottenerne il finanziamento.

La difficoltà maggiore è, paradossalmente, rappresentata dal fattore umano; un'associazione od un gruppo speleologico che intendano realizzare un programma di questo genere devono innanzi tutto poter contare su una forte coesione interna e sulla disponibilità certa e permanente di un gruppo operativo fortemente motivato.

Altre condizioni necessarie ed indispensabili sono la capacità di condurre trattative con amministrazioni ed enti a livello professionale e la capacità tecnico-amministrativa necessaria all'organizzazione interna del progetto ed alla gestione delle risorse ad esso connesse, soprattutto quando sono in gioco fondi pubblici.

Questo insieme di fattori è raro, di regola, all'interno dei gruppi speleologici, che in genere hanno un'impostazione essenzialmente sportiva legata all'utilizzo occasionale del tempo libero, a cui si sovrappone in molti casi un'attività scientifica motivata soprattutto da iniziative, ricerche o studi personali.

Un gruppo che volesse seguire una linea di ricerca collegata al Progetto SPA può, se lo desidera, approfittare dell'esperienza accumulata dall'Associazione Varsina per l'Eco - Speleologia per stabilire un programma d'azione e per condurre un'eventuale azione coordinata con l'A.V.E.S..

Non deve altresì essere sottovalutato il fattore tempo: ogni volta che si deve dipendere da organismi pubblici la lentezza sembra essere un obbligo, ed anche passaggi apparentemente semplici possono divenire interminabili per ragioni amministrative; il tutto è complicato dalle ricorrenti campagne elettorali, duran-

te le quali ogni attività decisionale pubblica è praticamente paralizzata.

L'A.V.E.S., che sta operando per estendere le ricerche ad altre regioni italiane e dar loro una dimensione internazionale, propone ed offre la sua collaborazione.

Discussione

P. FORTI - È noto che in alcune zone della pianura padana sono più diffuse le piogge basiche che quelle acide. Volevo sapere se ad alta quota, come a Campo dei Fiori, avete mai osservato precipitazioni basiche.

BINDA - Sì, esistono piogge basiche che paiono legate alla circolazione dei venti. Le piogge diventano basiche soprattutto quando arrivano acque che hanno sorvolato il Mediterraneo e che sono cariche di aerosol marini. Abbiamo assistito ad un caso nel quale, in 20 minuti, una pioggia è passata da pH 3.5 a 7.6, semplicemente perché c'è stato un cambio completo nella direzione del vento. Altra cosa da segnalare, anche se non ha nulla a che fare con la speleologia è la presenza di fosfati nelle nostre piogge. Abbiamo trovato fosfati con valori pari a 140 kg/mq di P_2O_5 , la cui origine è ancora incerta. Personalmente ritengo che provengano dal Nord Africa ove esistono enormi cave a cielo aperto.

AUGUSTO BINDA *

IL PROGETTO MICRO - SPA: GENESI, SITUAZIONE ATTUALE, PROSPETTIVE

RIASSUNTO - Il Progetto Micro - Spa è un'estensione del Progetto SPA, presentato in questa sede ed in altra relazione e consiste in una campagna di misurazioni, eseguita con tecniche e strumenti particolari, intesa a quantificare il tasso di corrosione delle rocce carbonatiche sottoposte all'azione disgregante degli agenti atmosferici, ed in particolar modo a quella delle piogge acide.

Le misurazioni vengono eseguite in grotta, ed all'esterno su rocce naturali di formazioni carbonatiche e su blocchetti standard di marmo di Carrara esposti all'intemperie nelle zone in cui non esistono formazioni naturali, ad esempio nelle zone di pianura.

ABSTRACT - The basic idea is not new: it has come from some works of F. Cucchi and F. Forti who have carried out this kind of methodology on the Karst in the area of Trieste and then published together with the first results.

Even though our technology seems to draw its inspiration from the work of our colleagues, it differs from some points.

All the informations gathered till now, seem to confirm some rates of corrosion already gauged by Cucchi and Forti - 0,03 mm year on average - but, before jumping to conclusions, it should be better to wait for some years, for various reasons.

I dettagli tecnici ed esecutivi del Progetto Micro - SPA (misure Micrometriche per lo Studio delle Piogge Acide) sono stati ampiamente esposti in una relazione presentata al XIII Convegno di Speleologia Lombarda a Varese nel 1988, a cui si rimanda per le parti descrittive rimanendo comunque a disposizione per qualsiasi informazione verbale immediata.

La relazione presentata a questo Congresso ha invece lo scopo di fornire alla comunità degli speleologi italiani informazioni di carattere generale sul Progetto, suggerendo nel contempo che campagne di misurazioni analoghe siano intraprese in modo da estendere le conoscenze in questo campo.

Oltre alle implicazioni puramente speleologiche e geologiche, la misurazione della corrosione riveste non poca importanza per chi si occupa della protezione degli edifici e dei monumenti; mentre il fenomeno della corrosione dei carbo-

* Associazione Varesina per l'Eco - Speleologia; Società Speleologica Italiana.

nati è ben noto nei suoi modi e nelle sue cause, ben poco è stato fatto per quantificarlo nonostante l'evidente interesse che ciò riveste.

Il Progetto è stato ispirato dai lavori di Franco Cucchi, e Fabio Forti, che hanno operato soprattutto sul Carso Triestino ed a cui siamo debitori dell'idea; abbiamo tuttavia introdotto alcune modifiche alla strumentazione ed alle tecniche da lui seguite.

I punti di contatto sono realizzati con tecnica particolare, in modo che fra lo strumento ed i punti di appoggio al suolo vi sia contatto solo su punti o linee invece che su superfici, in modo da minimizzare l'effetto di eventuali particelle estranee.

Per quanto riguarda la struttura dello strumento, essa è stata modificata portando a 6 il numero dei micrometri invece di uno solo ed installandoli su una piastra rigida circolare; inoltre il sistema di riscontri di cui essa è munita consente il suo uso in due posizioni concentriche e sfalsate di 40°.

In questo modo si ottengono 12 misure millesimali su una superficie inferiore al decimetro quadro, e la loro media aritmetica dà un'ottima rappresentazione della variazione subita dalla superficie in esame, minimizzando anche l'eventuale errore di lettura su un singolo micrometro.

La preparazione del sito da misurare (definito Punto di Misura o PM) è fatto forando la roccia in quattro punti con punte da muro da 8 mm fino a 25 mm di profondità; tre punti sono ai vertici di un triangolo equilibrato inscritto in un cerchio di 100 mm di diametro, ed il quarto è al loro centro.

Nei 4 fori vengono installati tasselli HILTI in acciaio inossidabile, bloccati con cono di espansione e muniti di sede filettata 6MA; nei tre tasselli periferici vengono avvitati due grani di fissaggio Allen (detti anche «viti Brugola») da 6 x 25 mm con la punta, conica a 90°, rivolta verso l'esterno mentre nel terzo foro periferico viene avvitata una vite Allen sempre da 6 x 25 mm ma con l'estremità piatta.

Con questa disposizione viene realizzato il già citato contatto puntuale, evitando il contatto fra superfici. Il quarto foro centrale riceve un'asta filettata che mantiene fisso lo strumento durante la regolazione dei micrometri prima delle letture vere e proprie. Durante gli intervalli fra le letture vi viene avvitato un tappo di protezione, mentre le tre viti d'appoggio vengono protette con cappucci in ottone.

Ogni PM è identificato da una scheda segnaletica che ne riporta i dati e da una targhetta con numero di matricola; i PM su rocce naturali hanno una sigla che inizia per «N» (naturale) mentre la sigla di quelli su blocchetti di marmo inizia per «A» (artificiale).

I PM artificiali sono installati su blocchetti standardizzati di marmo di Carrara, delle dimensioni di circa 14 x 14 x 15 cm, provenienti dallo stesso lotto, e vengono preparati allo stesso modo di quelli naturali.

La superficie di riferimento definita dalle tre punte forma l'elemento costante del sistema, mentre la variabile è rappresentata dalla superficie rocciosa che si altera sotto l'azione delle intemperie.

Al momento dell'installazione di ogni PM viene determinato il suo «punto

zero», cioè la lettura iniziale a cui fanno riferimento tutte le successive.

Le letture vengono effettuate almeno una volta all'anno, di preferenza due volte ed in qualche caso particolare anche più spesso, in primavera, od in autunno in modo da operare a temperature all'incirca uguali; la frequenza delle letture, quando esse debbono essere eseguite in siti lontani, dipende anche dalle possibilità di spostamento, dalla disponibilità di tempo e dalla facilità di accesso.

I risultati vengono annotati e successivamente inseriti in un foglio elettronico LOTUS che provvede automaticamente a calcolarne le medie aritmetiche, le differenze assolute rispetto alla lettura precedente ed il valore della differenza riportato a 365 giorni.

Quest'ultima elaborazione è necessaria per poter disporre di dati omogenei e quindi confrontabili; per il momento, a causa del troppo breve periodo trascorso dall'inizio delle misurazioni, non sono ancora state calcolate medie relative a periodi di 365 giorni contemporanei, tuttavia questo è previsto per il prossimo futuro. La strumentazione attuale, pur essendo sufficiente, è suscettibile di miglioramenti le cui tappe possono essere così riassunte:

MICROMETRI

- a) passaggio dagli strumenti meccanici a lettura manuale (micrometri a vite) a quelli elettronici con uscita dai dati
- b) adozione di trasduttori elettronici di posizione.

ACQUISIZIONE DEI DATI (attualmente trascritti manualmente):

- a) inserimento manuale in un computer da tasca (del tipo PSION ORGANISER, già disponibile) e loro successivo riversamento in un PC per l'elaborazione, con prima elaborazione sul campo in modo da rilevare immediatamente eventuali anomalie
- b) nel caso 1a), acquisizione elettronica automatica dei dati, loro prima elaborazione sul terreno e successivo riversamento nell'archivio generale
- c) nel caso 1b), acquisizione automatica dei dati tramite Data Logger e successivo riversamento nell'archivio generale.

Questi sviluppi sono tecnicamente possibili e la loro realizzazione dipende soprattutto dalle disponibilità finanziarie, per le quali sono già in corso opportuni contatti anche a livello internazionale. I problemi tecnici possono essere facilmente risolti dalle risorse interne dell'Associazione.

Dopo due anni dall'inizio della campagna di misure non è ancora prudente ricavare conclusioni sull'andamento generale della corrosione; per potervi arrivare riteniamo indispensabile letture eseguite su un arco temporale di almeno 5 anni. Durante il primo anno sono state soprattutto affinate le tecniche di installazione dei PM e di lettura, evidenziando di volta in volta gli inconvenienti e cercando i rimedi.

I risultati tabulari hanno mostrato una diversità di comportamento fra i PM naturali e quelli artificiali le cui cause non sono ancora ben chiare, richiedendo attenta investigazione e prove di laboratorio.

DATI RELATIVI A TUTTI I PUNTI DI MISURA FINO AD AGOSTO 1990 - 2020/AVE/707/MIC/033										
Medie generali per tutti i PM (1/1000 mm): Naturali -23.0 Artificiali 00.0 mm										
natr. PM	1.a lett.		2.a lett.		3.a lett.		Cumulativa		Tendenza annuale	Media gen. tendenziale
	Diff.	gg	Diff.	gg	Diff.	gg	Diff.	gg		
Campo dei Fiori (Varese)										
N1001	-39	336	-14	212			-53	548	-35	
N1002	-8	336							-9	
N1003	-63	336	+13	212			-50	548	-33	
N1004	-6	336	-7	212			-13	548	-9	-21.5
A006	+4	346	+3	212			+7	550	+5	
A198	-10	156							-25	
A109	+50	156							+117	+33.0
Varese città'										
A001	-13	331	-11	212			-24	563	-16	
A011	-16	323	+3	212			-13	535	-9	-12.5
Milano città'										
A007	+3	335							+5	
A012	+11	317	-10	213			+1	530	+1	
A100	-10	203	-91	213			-109	416	-96	
A101	-10	203	-13	213			-23	416	-20	-27.5
Como città'										
A016	-18	277	-4	197			-22	474	-17	
A017	-20	277	+3	197			-17	474	-13	-15.0
Torino città'										
A004	+13	411							+12	
A005	+75	411							+67	+39.5
Brescia (VA)										
N1005	-37	334	-45	208			-82	542	-55	-55.0
A002	-1	345	-20	207			-21	542	-14	
A013	-99	322	-9	207			-108	529	-75	-44.5
Corgeno di Vergiate (VA)										
A014	-48	470							-37	
A015	-39	470							-30	-33.5
Olgiate Molgora (CO)										
A102	-5	364							-5	
A103	-9	364							-9	-7.0
Grotta di Monte Tre Crocette (Grotta Marelli - VA)										
N1015	-28	37	-100	97			-128	134	-349	-349.0
A104*	+3	170	+17	105			+22	275	+29	
A105	+4	32	-10	138	+25	105	+19	275	+66	
A106	+6	32	-11	138	+21	105	+16	275	+56	
A107	+11	32	-13	138	+13	105	+11	275	+38	+47.2
Valle Camonica (BS). zona delle incisioni rupestri										
N1007	-7	322	-106	310			-113	632	-65	
N1008	-8	322	+63	310			+55	632	+32	
N1009	+239	322	-256	310			-17	632	-10	
N1010	-7	322	-25	310			-32	632	-18	
N1001	-8	322	-21	310			-29	632	-17	
N1012	-21	322	-88	310			-109	632	-63	
N1013	-20	322	-25	310			-45	632	-26	
N1014	-31	322	-117	310			-148	632	-85	-31.5
A008	-1	322	-4	310			-5	632	-3	
A009	-17	322	-3	310			-20	632	-12	
A010	-32	322	-8	310			-40	632	-23	-12.6

Non è ancora ben chiaro se alcune delle anomalie possano essere dovute al rilascio di tensioni interne della roccia dovute all'azione espansiva del cono del tassello HILTI (del tutto simile ai ben noti SPIT del modello non autoperforante); un'indagine in questo senso verrà eseguita sia nel nostro laboratorio che in quelli, meglio attrezzati, della HILTI.

Un'altra causa di anomalie potrebbe essere di origine chimico - fisica, soprattutto per quanto riguarda i PM artificiali in marmo di Carrara, che ha struttura cristallina omogenea a grossi cristalli.

I blocchetti in uso hanno dimensioni di 15 x 15 x 5 cm, sono ricavati da lastre di recupero, quindi ben stagionate e che non dovrebbero più possedere tensioni interne dovute all'estrazione in cava; la loro preparazione consiste in:

a) pulizia e levigazione della lastra con mola a grana fine usando esclusivamente acqua

b) taglio e misura con lama diamantata

c) tracciamento e perforazione non passante con punta al carburo di Tungsteno (punta da muro) su trapano a colonna, senza percussione

d) inserimento dei tasselli HILTI e loro dilatazione senza percussione, con chiave dinamometrica e senza oltrepassare il limite elastico del metallo

e) montaggio degli appoggi (viti Allen, rondelle, dadi) con le stesse cautele di cui sopra, inserendo fra rondella e marmo delle guarnizioni di gomma a schiacciamento per assicurare la tenuta all'acqua.

Il marmo di Carrara non ha caratteristiche ideali essendo costituito da cristalli più grandi di quelli dei calcari e delle dolomie, tuttavia è stato scelto per ragioni pratiche (facile reperibilità e lavorabilità) e soprattutto perché finora non è stato possibile trovare o preparare lastre di roccia carbonatica con struttura interna omogenea e costante, assolutamente prive di fenditure che le renderebbero gelive; un PM artificiale deve dare ampie garanzie di resistenza al gelo per almeno 10 anni.

Non è ancora ben chiaro se alcune anomalie, soprattutto l'apparente rigonfiamento, siano dovute al rilascio di tensioni elastiche od alla formazione iniziale di solfato di Calcio, che avendo volume molecolare superiore a quello del carbonato potrebbe aver rialzato la superficie; in questo caso però, data la maggiore solubilità del solfato, si dovrebbe riscontrare ben presto una corrosione.

Per verificare l'ipotesi del rilascio delle tensioni interne verranno preparati e sperimentati PM equipaggiati con tasselli chimici che non dovrebbero trasmettere al materiale di base tensioni di nessun tipo.

Dall'osservazione della tabella allegata appare che i PM naturali hanno un comportamento orientato alla corrosione, con una sola eccezione (N 1008) che non è significativa.

La media generale, riportata all'anno, dei PM naturali è per ora di 23/1000 di mm tuttavia le variazioni individuali, anche su PM installati su rocce del tutto simili, sono notevoli e richiedono attenzione per i prossimi anni.

Per quanto riguarda i PM artificiali la media è, paradossalmente, uguale a zero in quanto i rigonfiamenti, o presunti tali, sono mediamente pari alle corrosioni; anche in questo caso è d'obbligo la più grande prudenza, tanto più che non sono disponibili dati su esperienze analoghe.

Ci sembra utile suggerire agli Speleologi italiani di esaminare la possibilità di adottare nelle loro zone di attività una campagna di misurazioni simile o uguale a quella sopra descritta.

A differenza del Progetto SPA l'impegno personale è veramente minimo, in quanto il tempo di installazione iniziale di un PM corrisponde all'incirca alla posa di 4 SPIT in condizioni ideali e le letture successive richiedono una o due tornate annue con un tempo di circa 20 minuti per ogni PM; una sola persona può facilmente farsi carico di tutto il Progetto.

Per quanto concerne il materiale occorre:

a) un trapano a batteria (che ormai quasi tutti i Gruppi Speleologici possiedono e che comunque costa intorno alle 800.000 lire)

b) tasselli HILTI (o simili) in acciaio inox con la relativa viteria (costo attuale circa 4.000 lire per PM)

c) un insieme di piccola attrezzatura (chiave dinamometrica, accessori vari, cassetta attrezzi, con una spesa di circa 150.000 lire)

d) blocchetti di marmo per i PM (costo attuale, se si utilizza materiale di recupero, circa 2000 - 3000 lire per blocchetto)

e) strumento micrometrico, che non esiste sul mercato e deve essere fabbricato appositamente (l'A.V.E.-S. può fornire i disegni ed eventualmente collaborare alla costruzione); i sei micrometri costano circa 150.000 lire l'uno mentre per la piastra, gli accessori e l'astuccio di protezione occorrono altre 150.000 lire circa, manodopera esclusa.

È importante segnalare che un programma di questo tipo, ben presentato ad una pubblica amministrazione ed in particolare agli assessori all'Ecologia, trova facilmente appoggio e finanziamento e quindi non grava sulle risorse interne di un Gruppo Speleologico, anzi può contribuire a crearne di nuove. Anche l'industria privata, soprattutto la piccola e la media, non è insensibile a progetti di questo tipo ed è relativamente facile trovare appoggi materiali.

In Lombardia un gruppo di ricerche ha già avviato un programma del tutto parallelo, mentre sono già avviati contatti con università estere che richiederanno l'appoggio finanziario della Comunità Europea; altre iniziative a livello regionale extra lombardo stanno per essere avviate.

L'A.V.E.-S. offre la sua collaborazione, anche operativa, a chi intenda affiancarsi al Progetto Micro - SPA.

Discussione

CAPPA - Vorrei avere informazioni sul costo di questa attrezzatura.

BINDA - Lo strumento non esiste in commercio così com'è ma va costruito appositamente. È facile realizzarlo se si dispone di una piccola officina attrezzata, soprattutto per i piccoli lavori di tornitura. I pezzi più costosi sono i micrometri, circa 150.000 lire l'uno (ne servono 6, pari a circa un milione di lire). Per il resto la spesa si aggira sulle 200.000 lire. Serve poi un buon trapano a batteria da utilizzare nel lavoro in campagna.

GUIDO ROSSI* & ROBERTO ZORZIN**

NUOVI DATI SUI FENOMENI PALEOCARSICI DEI COVOLI DI VELO (M.TI LESSINI - VR)

RIASSUNTO - È stato eseguito uno studio di alcuni condotti carsici entro i Covoli di Velo (M.ti Lessini): numero di catasto 44 V VR. Si tratta di tre condotti subcircolari interpretabili a prima vista come filoni basaltici svuotati, ma che presentano morfologie di tipo carsico. Il condotto principale, che è accessibile per circa 6 metri poiché il riempimento di lava è stato eroso, presenta una serie di canali di volta anastomizzati.

Agli estremi del condotto accessibile è ben visibile la prosecuzione del canale di volta riempito ancora da basalto. La presenza del paleocarsico dà utili informazioni sull'assetto paleogeografico e paleotettonico dell'area in esame.

Una datazione K/Ar del basalto che riempie i condotti ha permesso di retrodatare l'inizio della carsificazione dei Monti Lessini al Terziario.

ABSTRACT - It has been done a study of some karstic conduits inside the Covoli di Velo (M.ti Lessini - cadastre number 44 V VR).

They are three subcircular conduits apparently interpretable as emptied basaltic veins, but they show sure karstic morfologies. The main conduit, where the basalt was eroded, is six metres long with anastomose roof - channels.

At the ends of the conduit is well visibile the roof-channel prosecution still filled by the basalt. The paleokarst gives useful informations about the paleogeographycal and paleotectonical of the considered area.

A K/Ar basalt datation permits to date the Lessini karstification back in the Tertiary Era.

Premessa

L'interesse verso i fenomeni paleocarsici dei Monti Lessini è iniziato circa cinque anni fa in seguito ad alcune esplorazioni effettuate all'interno dei Covoli di Velo.

Durante questo periodo di tempo sono state eseguite numerose osservazioni specialmente nelle cavità dei Lessini Veronesi Occidentali e Centrali.

Gli interessanti dati emersi ci hanno convinti ad eseguire una datazione K/AR del basalto (1) che riempie la rete paleocarsica dei Covoli di Velo.

* Gruppo Speleologico CAI Verona - SSI

** Museo Civico di Storia Naturale di Verona, CRN, SSI

(1) Datazione eseguita con il contributo del Museo Civico di Storia Naturale di Verona.

I Covoli di Velo

Sul versante idrografico destro della Valle del Covolo nei pressi di Velo Veronese, ad una quota di circa 880 metri s.l.m., affacciati su una falesia, si trovano gli ingressi dei Covoli di Velo (n° di catasto 44 V VR - coordinate geografiche: long. W 1° 19'54", lat. N 45° 36'28" - Roma M. Mario).

I Covoli di Velo sono costituiti da due cavità che si aprono a quote diverse denominate rispettivamente «Grotta inferiore» e «Grotta superiore». Nella cavità chiamata «Grotta inferiore», presso la sala terminale, esistono alcuni condotti subcircolari riempiti di basalto (ROSSI & ZORZIN, 1986; ROSSI & ZORZIN, 1989) che non mostrano evidenti relazioni funzionali con l'attuale cavità e risultano troncati da recenti canalizzazioni carsiche.

Si tratta di tre condotti interpretabili a prima vista come filoni basaltici svuotati ma che presentano morfologie di tipo carsico (Fig. 1).

La genesi carsica dei condotti subcircolari riempiti di basalto è dimostrata sia dalla presenza di canali di volta che da alcune mensole di erosione. I canali di volta sono costituiti da una serie di solchi isolati ed anastomizzati fra loro che si individuano sulla porzione superiore del condotto ove è stato eroso il riempimento di lava basaltica. La testimonianza del completo riempimento di basalto di questo tratto di galleria è data dalla presenza di piccoli frammenti residuali di basalto visibili sulla superficie del condotto in parola ed inoltre dal fatto che agli estremi del condotto in esame è ben visibile la prosecuzione del canale di volta riempito ancora da basalto (Fig. 2). Il fondo della galleria è, invece, mascherato da materiali detritici e croste stalagmitiche.

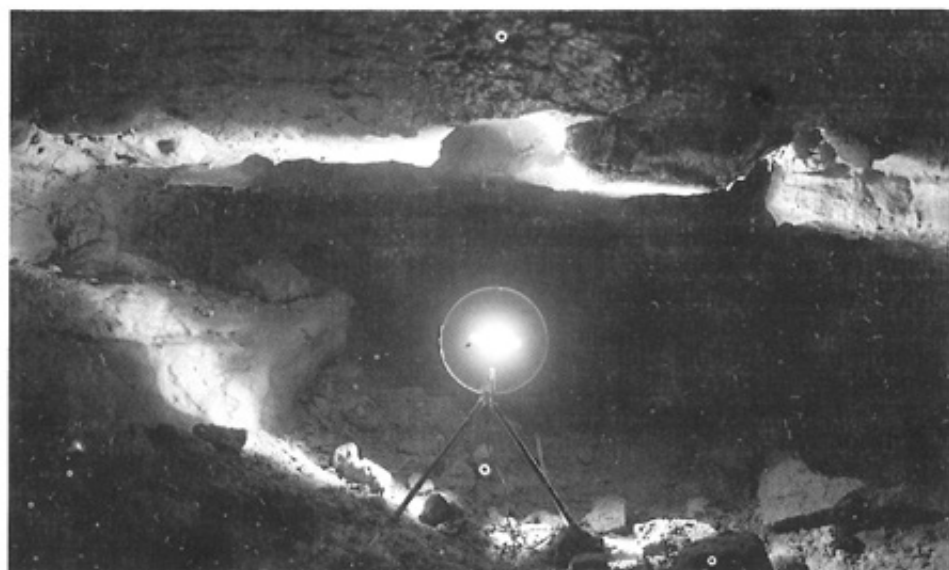


Fig. 1 - Sezione del condotto principale: in alto sono visibili due canali di volta. Il disco ha un diametro di 25 cm.

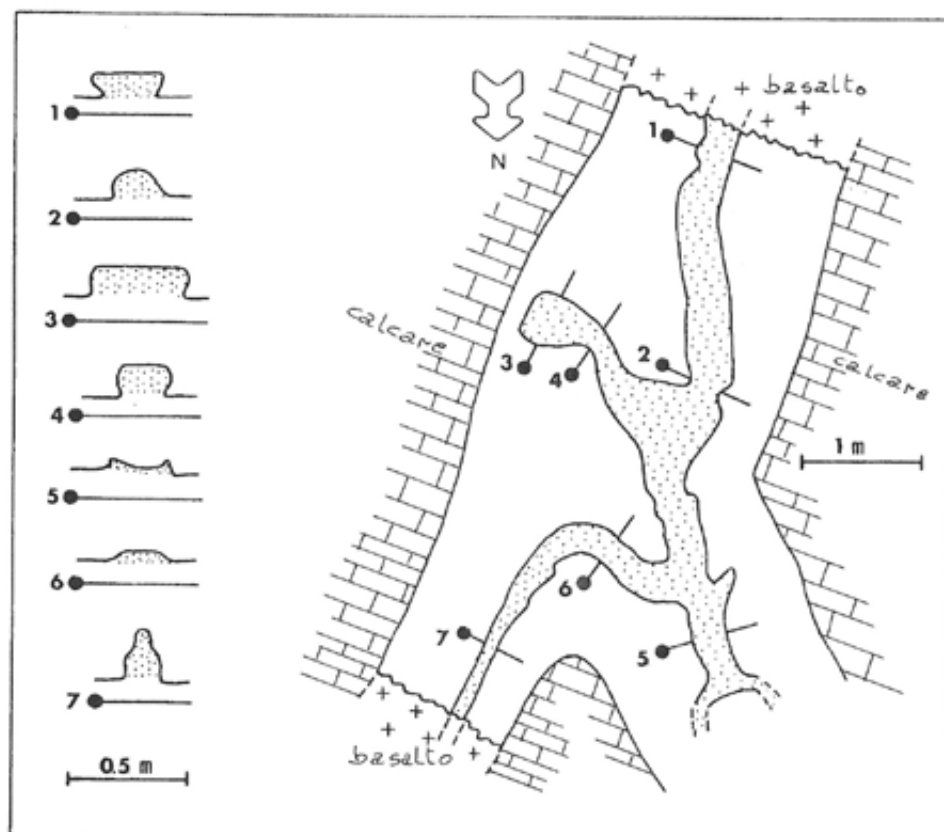


Fig. 2 - Pianta e sezioni dei canali di volta (evidenziati con punteggiatura).

Il riempimento basaltico

Il basalto che sigilla la rete paleocarsica si presenta alterato al contatto con la roccia incassante mentre risulta più compatto nella porzione centrale dei condotti. Il colore è in genere bruno - nero con locali sfumature più o meno scure.

La lava basaltica è interessata da una fitta rete di fratture, talvolta millimetriche, riempite da calcite di colore giallo-arancione.

Al fine di avere un quadro sufficientemente completo della rete paleocarsica sono stati prelevati n. 3 campioni di roccia per la preparazione di altrettante sezioni sottili (2) e n. 1 campione di basalto per eseguire la datazione K/Ar.

Per quanto riguarda le sezioni sottili, i campioni sono stati prelevati nei seguenti punti:

- a - al centro del condotto principale riempito da basalto;
- b - al contatto roccia incassante-basalto;

(2) Sezioni sottili eseguite con il contributo del Centro Ricerche Naturalistiche Monti Lessini.

c - nella roccia incassante, a pochi decimetri di distanza dal contatto col basalto.

Dall'esame macroscopico della roccia in affioramento e da quello microscopico delle sezioni sottili è risultato che i componenti principali del basalto (punto a) sono: plagioclasti, olivina e pirosseni; i cristalli si presentano generalmente piuttosto alterati. Il basalto ha una tessitura porfirica con fenocristalli di olivina e pirosseni; numerosi sono i vacuoli riempiti spesso da zeoliti o carbonati.

Il campione prelevato nel punto b evidenzia la presenza di una millimetrica banda metamorfosata, costituita essenzialmente da calcite e secondariamente da miche, talvolta poco o per nulla evidente perché alterata dalle acque d'infiltrazione (3). Nel punto c, invece, la roccia calcarea incassante si presenta variamente dolomitizzata e si riconoscono ooliti più o meno alterate e rari foraminiferi.

Per quanto riguarda il campione di basalto, sul quale è stata eseguita la datazione K/Ar, esso proviene dalla porzione centrale del tratto meridionale del condotto principale ancora sigillato dalla lava.

L'età del basalto iniettato in questo condotto è risultata, alla datazione K/Ar, di 33.2 ± 2 milioni di anni e pertanto corrispondente all'Oligocene inferiore.

Considerazioni paleogeografiche

L'età oligocenica dei condotti paleocarsici dei Covoli di Velo riempiti di basalto ci permette di retrodatare almeno a tale periodo l'inizio della carsificazione in questa porzione dei Lessini Centrali.

Inoltre, alla luce dei dati esistenti, è possibile affermare che i condotti paleocarsici dei Covoli di Velo, essendo più recenti del lembo di calcari eocenici affioranti nell'adiacente Monte Purga di Velo (4) — da cui distano circa 2 Km (Fig. 3) — testimoniano che nell'intervallo di tempo intercorso tra la deposizione dei calcari eocenici e la fossilizzazione dei condotti dei Covoli vi è stato un concreto sollevamento/emersione della zona dei Covoli di Velo, pari almeno allo spessore della serie stratigrafica superiore alla grotta.

Il dato sembra, inoltre, confermare che la mancanza in gran parte dei Lessini di rocce marine riferibili all'Oligocene, eccezion fatta per il piccolo lembo di Cavalo (CASTELLARIN & FARABEGOLI, 1974) — distante circa 19 Km dai Covoli di Velo, sia imputabile ad una situazione di continentalità piuttosto che ad una erosione di tali sedimenti successiva alla loro deposizione.

(3) Lungo il contatto roccia incassante - basalto i due litotipi hanno perso la loro tipica consistenza, a causa dell'alterazione operata dalle acque d'infiltrazione, tanto da apparire pulverulenti.

(4) I condotti paleocarsici dei Covoli di Velo sono più recenti dei calcari dell'Eocene medio affioranti sul M.te Purga di Velo poiché all'interno di questi calcari non si riconoscono depositi di spiaggia che possono far pensare alla presenza di terre emerse nelle vicinanze e nemmeno resti fossili di flora e fauna di tipo continentale.



Fig. 3 - Carta geologica schematica dei dintorni del Monte Purga di Velo e index map.

Spiegazione dei numeri della legenda:

- 1 - Detrito di falda ed alluvioni (Quaternario).
- 2 - Calcari organogeni (Cuisiano medio).
- 3 - Rocce vulcanoclastiche (Oligocene inferiore- Paleocene).
- 4 - Scaglia rossa (Cretacico superiore p.p.).
- 5 - Biancone (Cretacico superiore p.p. - Cretacico inferiore p.p.).
- 6 - Calcari nodulari, oolitici e argillosi (Cretacico inferiore p.p. - Giurassico).
- 7 - Dolomia Principale (Retico - Norico).
- 8 - Covoli di Velo.
- 9 - Faglie.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione ed i contributi ricevuti il dr. Lorenzo Sorbini direttore del Museo Civico di Storia Naturale di Verona e l'arch. Silvano Melotti presidente del Centro Ricerche Naturalistiche Monti Lessini. La nostra riconoscenza va inoltre alle sig.re Elena Rossini e Anna Maria Tezza per l'incoraggiamento ricevuto.

Bibliografia

- BARBIERI G., MEDIZZA F., 1969 - *Contributo alla conoscenza geologica della Regione di Bolca (Monti Lessini)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Centro di Studio per la Geologia e la petrografia, I^a Sezione Geologica, Padova.
- BOSELLINI A., CARRARO F., CORSI M., DE VECCHI G.P., GATTO G.O., MALARODA K., STURANI C., UNGARO S.C., ZANETTIN B., 1967 - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 49: Verona*. Serv. Geol. d'Italia, 62 pp., Roma.
- CASTELLARIN A., 1960 - *Sull'età delle vulcaniti veronesi*. Giornale di geologia, XXVII (2), pp. 1-12, Bologna.
- CASTELLARIN A., 1962 - *Gli apparati esplosivi di Contrada Taioli (Veronese occidentale) e di Monte Biaena (Trentino meridionale)*. Boll. Soc. Geol. St., LXXXI, n. 1, pp. 1-20, Roma.

- CASTELLARIN A., FARABEGOLI E., 1974 - *Cicli sedimentari di spiaggia nell'Oligocene di Cavalo*. Giornale di Geologia, s. 2; XXXIX (1971) pp. 393 - 409, Bologna.
- CASTELLARIN A., VAI G.B., (a cura di) 1982 - *Guida alla Geologia del Sudalpino Centro - Orientale*. Società Geologica Italiana, Bologna, pp. 1-145.
- DE ZANCHE V., 1968 - *La serie eocenica e i Nummuliti della Purga di Velo*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Centro di Studi per la geologia e la petrografia, I^a Sezione Geologica, Padova, pp. 1-12.
- FABIANI R., 1919 - *Guida Geologica delle Colline di Verona*. Mem. Acc. Agric. Sc. e Lett. Verona, XXI (4), pp. 241-252.
- FORLATI F., 1978 - *Aspetti geologici dei giacimenti di terra gialla sulla collina di Verona*. Boll. Mus. Civ. St. Nat., Verona pp. 73-85.
- PICCOLI G., 1964 - *Tettonica e attività vulcanica nel Paleocene dei Lessini (Alpi Meridionali, Italia)*. XXII International Geological Congress, Part. XI, New Delhi, pp. 141-147.
- PICCOLI G., 1966 - *Studio geologico del vulcanismo paleogenico veneto*. Mem. 3st. Geol. Miner. Univ. XXVI, pp. 1-100, Padova.
- PICCOLI G., DE ZANCHE V., 1968 - *Rapporti tra vulcanismo e sedimentazione nel Paleogene del Veneto (Italia nordorientale)*. XXIII International Geological Congress Praha, Vol 2, pp. 49-60.
- ROSSI G., ZORZIN R., 1986 - *Underling an interesting paleokarstic phenomenon in the Lessini (Prealpi Venete - Northern Italy)*. Atti IX Congresso Internazionale di Speleologia, Barcellona, Vol. 1, pp. 290-293.
- ROSSI G., ZORZIN R., 1989 - *Fenomeni paleocarsici nei Monti Lessini Centrali Veronesi*. La Lessinia - Ieri Oggi Domani, Quaderno Culturale, Verona, pp. 47-54.
- ROSSI G., ZORZIN R., 1990 - *Veja: un ponte vecchio quaranta milioni di anni? La Lessinia - Ieri Oggi Domani*, Quaderno Culturale, Verona, pp. 189-190.
- ROSSI G., ZORZIN R., (in corso di stampa) - *Nuove osservazioni sul complesso carsico del Ponte di Veja*. Atti XVI Congresso Nazionale di Speleologia, Udine 1990.

GILBERTO CALANDRI*

RICERCHE SULLA CO₂ NELLE GROTTE DELL'ESTREMO PONENTE LIGURE

RIASSUNTO - Nel corso degli ultimi anni sono state portate avanti ricerche preliminari sul tenore di anidride carbonica (correlato ad altri parametri ambientali) in diverse cavità delle alpi e Prealpi Liguri, dal livello del mare sino a quote superiori a 2.000 m.

Per un confronto, sia pure propositivo, sono state prese in esame cavità con differenti morfologie e sviluppate in diversi litotipi (conglomerati, calcari bioclastici, calcilutiti, calcari dolomitici, ecc.).

I confronti mettono in evidenza il ruolo degli ambienti confinati, la correlazione con le correnti d'aria ipogee e soprattutto la dipendenza dall'attività biologica delle zone sovrastanti le cavità. In particolare questi processi vengono evidenziati alla Grotta degli Strassasacchi (Rocchetta Nervina, IM), nei calcari nummulitici del Luteziano, individuata come grotta-campione, in cui le variazioni dei tassi di CO₂ sono stati esaminati nelle varie fasi stagionali e nei cicli giorno-notte.

ABSTRACT - In the course of the last years preliminary researches about the carbon dioxide rate (correlated to others ambient parameters) in several caves of the Ligurian Alps and Pre-Alps — from sea-level to altitudes of about 2000 meters — have been carried on.

For a comparison even only proposed caves with different morphologies and developed in different calcareous lithotypes (generally with low rates of CO₂: from 100 to 1700 ppm) have been considered. The analysis point out the function of the closed environment and especially the dependence with the biological activity of the vegetable covering.

These appearances are particularly evident in the Strassasacchi Cave (Rocchetta Nervina, IM) - bored in the Lutetian nummulitic limestones with covering at *Quercus ilex* — that is divided microclimatically into two parts by a gut (CO₂ rates also 10 times higher in the inner zone), with marked seasonal variations (in winter from 200 to 610 ppm; in summer from 2500 to 11000 ppm) and in the night-day cycles (20-25% variations).

Malgrado l'importanza primaria che il biossido di carbonio riveste come fattore di controllo del sistema CO₂-H₂O-carbonati, e quindi nei processi di carsificazione, del tutto saltuarie sono (a parte qualche cavità turistica) le ricerche in merito in Italia. Ricordiamo le misure di EK & GEWELT (1983) nella Caverna delle Fate (prov. Savona) che indicarono (settembre '82) tassi di CO₂ variabili da 350 a 1500 ppm.

* Gruppo Speleologico Imperiese CAI

Da oltre due anni stiamo portando avanti rilevamenti sulla concentrazione della anidride carbonica in cavità dell'estremo ponente ligure (Alpi e Prealpi Liguri), dal livello del mare sino ai carsi di alta montagna, con differenti caratteri litologici e di copertura vegetale. Per quanto, a parte la Tana degli Strassasacchi, le misure siano ancora frammentarie riteniamo possano sin d'ora offrire indicativi suggerimenti, anche per un confronto con altri paesi.

Metodologia delle misurazioni

Le misure di CO_2 sono state effettuate con una pompa a soffietto Drager. L'apparecchio aspira ad ogni pompaggio manuale 100 ml d'aria, attraverso un tipo di reattivo contenente un indicatore colorato. Il numero di pompaggi (da 1 a 10) è modulato a seconda della sensibilità della fialetta di reattivo.

La percentuale di anidride carbonica viene determinata dalla reazione della CO_2 con un composto di idrazina ($\text{CO}_2 + \text{N}_2\text{H}_4 \text{NH}_2 - \text{NHCOOH}$) con viraggio al violetto di un indicatore redox. Il tasso di CO_2 viene quindi letto direttamente sul tubo graduato del reattivo.

L'operatore (senza presenza di altre persone in alcuna parte della cavità) procedeva al monitoraggio provvisto di una maschera per l'assorbimento della CO_2 di espirazione, usando esclusivamente un fotoforo elettrico.

I valori registrati con le fialette Drager sono stati poi corretti in base alla pressione atmosferica ed alle temperature (tutte le misure sono state effettuate con p. atmosf., riportata al livello del mare, tra 760 e 765 mm/Hg e tempo soleggiato).

Cavità esaminate

1) Grotta della Madonna dell'Arma (103 Li/IM) (Bussana, Sanremo).

Quota 6 m s.l.m. Conglomerati poligenici del Pliocene.

Sviluppo 90 m ca. Cavità ed andamento suborizzontale, impostata su fratture fortemente inclinate, è caratterizzata da collassi di porzioni di puddinga: ridotte morfologie di erosione idrica. Nella parte più interna numerose radici di *Ficus*, anche a diametri centimetrici: la copertura di roccia è, al massimo, una decina di metri, scarsa la vegetazione (frammentaria gariga a prevalenza di *Cistus albidus* e due grossi alberi di *Ficus carica*).

È stato effettuato un ciclo estivo preliminare (7.7.1990) di monitoraggio della CO_2 . Nella prima parte della cavità (con marcati ricambi di aria, presenza di un secondo ingresso artificiale; stazioni n. 1, 2, 3, cfr. Fig. 2) il tenore di biossido di carbonio risultava grosso modo come all'esterno (intorno a 200 ppm = parti per milione). Nella parte più interna i valori passavano da 300 ppm (staz. n. 4), a 340 ppm (staz. n. 6, con marcata presenza di radici), a 400 ppm (punto 5 in una nicchia ascendente).

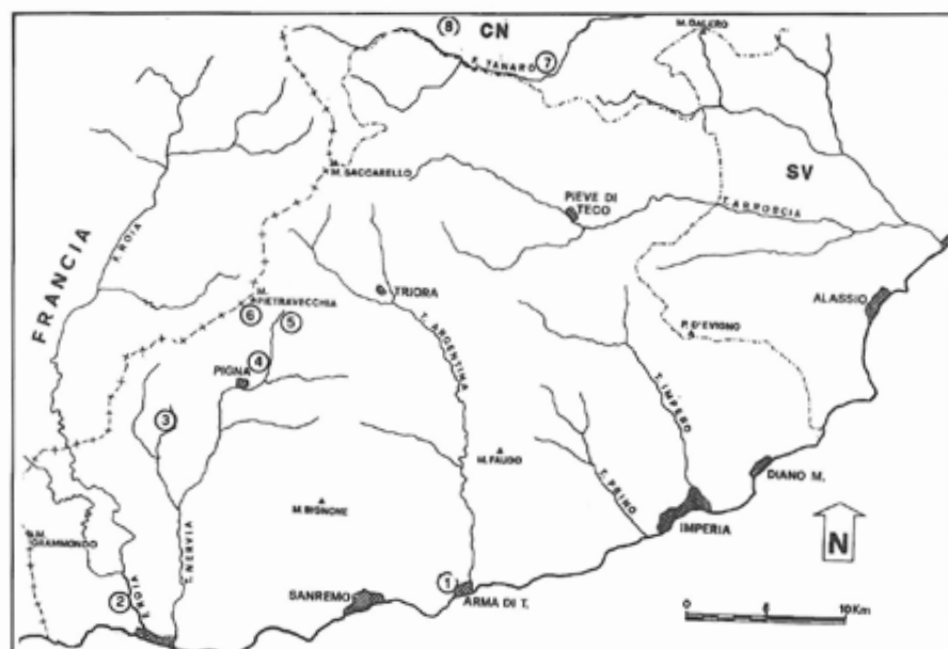


Fig. 1 - Localizzazione topografica delle cavit . 1) Grotta della Madonna dell'Arma. 2) Ciottu da Stria. 3) Tana degli Strassasacchi. 4) Grotta dei Rugli. 5) Grotta Grande di Tenarda. 6) Grotta E10. 7) Grotta dell'Orso. 8) Grotte del Marguareis meridionale (Labassa, ecc.) (dis. C. Grippa).

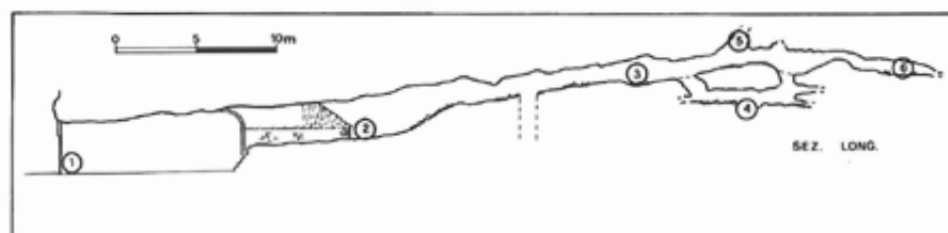


Fig. 2 - Sezione longitudinale della Grotta della Madonna dell'Arma. Stazioni di rilevamento (dis. G. Calandri, C. Grippa).

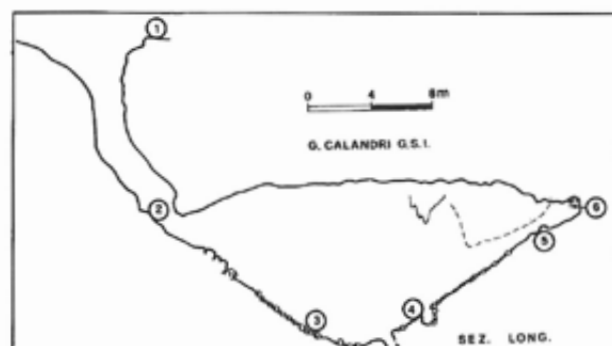


Fig. 3 - Sezione longitudinale della Grotta da Stria. Stazioni di rilevamento (dis. G. Calandri, G. Grippa).

2) Ciottu da Stria (738 Li/IM) (M. Magliocca, Ventimiglia)

Quota 470 m s.l.m. Conglomerati poligenici del Pliocene a cemento calcareo.

Cavità costituita da una dolina-pozzo di crollo seguita da una sala, lunga una trentina di metri, a sezione triangolare (allungata su una diaclasi subverticale che giunge in prossimità dell'esterno), con crolli, ascendente nella parte più interna.

Copertura vegetale e humica pressoché inesistente distrutta da incendi (alcune plantule colonizzatrici).

Una serie di misure nel giugno 1990 ha evidenziato (con valori esterni di CO₂ — stazione n. 1, cfr. Fig. 3 — di 180-190 ppm) nelle parti basse della sala, anche in fessura (punti 2, 3, 4) tassi simili o inferiori (da 130 a 190 ppm) a quelli dell'ingresso. Nel tratto ascendente i valori salgono a 800 ppm (staz. n. 5), sino a 1700 ppm (staz. n. 6) nel punto più alto chiuso da formazioni litogenetiche.

3) Tana degli Strassasacchi (1176 Li/IM) (Rio Coe, Rocchetta Nervina)

Quota 560 m ca. Calcarei nummulitici del Luteziano sup.

È una grotta ad andamento suborizzontale (svs. 600 m ca.), a morfologie prevalentemente freatiche, spezzata da alcune strettoie. Si sviluppa poco sotto (5-30 m) la zona del Rio Coe (saltuariamente attivo, le cui perdite alimentano la circolazione nella cavità, trascinandovi sostanze organiche vegetali). Nella prima parte del complesso, a gallerie sovrapposte, diverse salette concrezionate sono parzialmente coperte da piccole radici (presenza anche di guano). La superficie esterna è caratterizzata da una fitta macchia a *Quercus ilex* mista ad altri arbusti ed alberi sempreverdi (es. *Juniperus*, *Pistacea*, *Pinus pinaster*, ecc.).

Sono stati effettuati (dal dicembre '88 al maggio '90) 8 cicli di misurazioni (e una settantina di analisi) nelle diverse stagioni: i valori estremi registrati all'interno variano da 100 a 11.000 ppm (in inverno da 200 a 610 ppm, in estate da 2.500 a 11.000 ppm a seconda dei punti di monitoraggio). Nella prima parte (punti 2-5, cfr. Fig. 4) i tassi risultavano abbastanza costanti, con un brusco sbalzo dal punto 6 in avanti (CALANDRI, 1990).

4) Grotta dei Rugli (19 Li/IM) (Buggio, Pigna).

Quota 740 m. Calcarei nummulitici del Luteziano.

Grotta-risorgenza del massiccio del Toraggio: è caratterizzata da gallerie freatiche (generalmente a diametri metrici). Zona sovrastante (da 30 a oltre 100 m) la cavità con copertura a leccio e macchia, più a monte a castagneto su substrato flyscioide.

Un solo ciclo primaverile (21.5.1989) di analisi nel tratto sino al primo sifone (Fig. 5). A tassi di anidride carbonica all'esterno di 300 ppm, hanno fatto riscontro in tutta la parte interna (stazioni 2-3-4) valori da 800 a 920 ppm, con un repentino indice negativo (200 ppm) al punto 5, sul bordo del primo sifone, influenzato quindi dalla circolazione idrica. La relativa uniformità della distribuzione del biossido di carbonio si può spiegare con le dimensioni delle condotte che favoriscono ricambi d'aria anche con l'esterno.

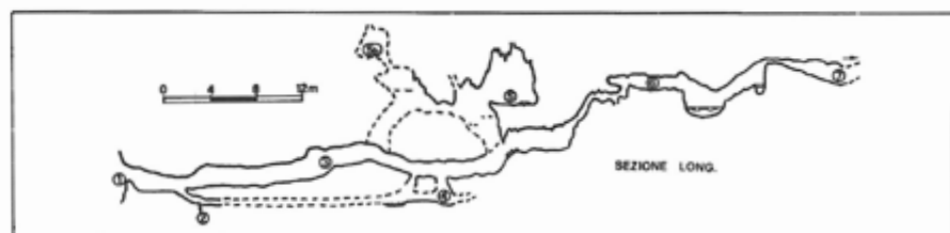


Fig. 4 - Sezione longitudinale della prima parte della Tana degli Strassasacchi. Stazioni di rilevamento della CO_2 (dis. G. Calandri, C. Grippa).

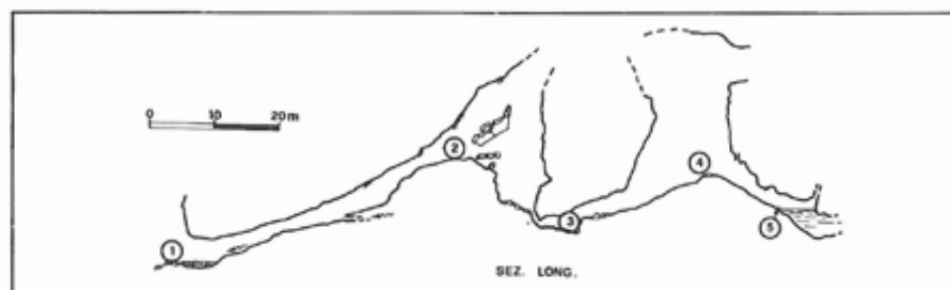


Fig. 5 - Sezione longitudinale della prima parte della Grotta dei Rugli. Stazioni di rilevamento di anidride carbonica (dis. G. Calandri, C. Grippa).

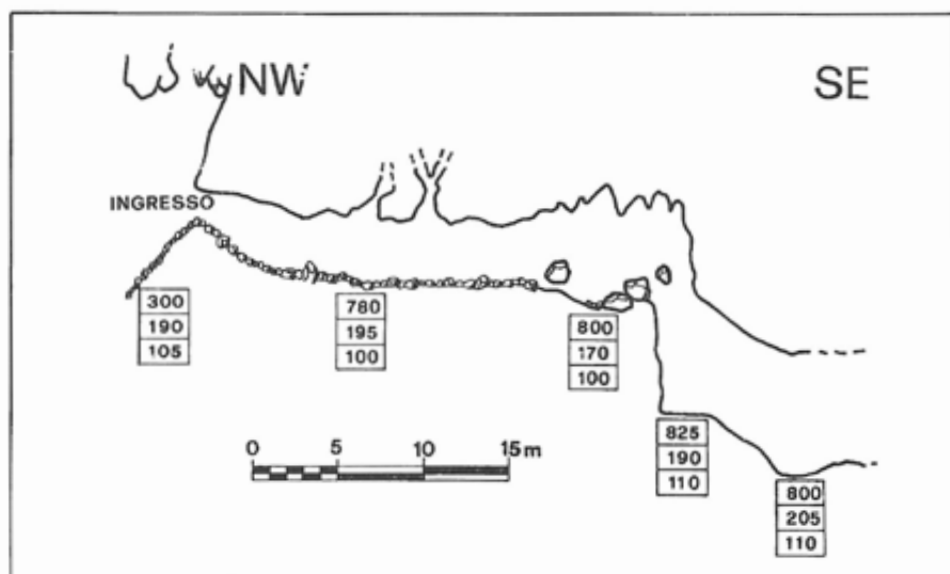


Fig. 6 - Sezione della Grotta Grande di Tenarda. Tenori di anidride carbonica (in parti per milione). Per ogni stazione dall'alto sono riportati i valori delle misure dell'11.9.88, del 21.5.89 e del 23.12.89 (dis. G. Calandri, C. Grippa).

5) Grotta Grande di Tenarda (376/Li/IM) (Buggio, Pigna).

Quota 1250 m. Calcarei nummulitici del Luteziano.

È costituita da una prima parte suborizzontale con morfologie di erosione-corrosione, seguita da pozzetti d'erosione. Tutta la grotta, impostata su una frattura subverticale, si sviluppa in prossimità dell'esterno: la superficie rocciosa superiore è stata in gran parte asportata da lavori di cava. La copertura vegetale è del tutto frammentaria, caratterizzata da poche piante rupicole.

Tre cicli stagionali di analisi (11.9.1988, 21.5.1989, 23.12.1989) hanno messo in evidenza bassi tenori di CO_2 che si spiegano con la scarsità di copertura vegetale ed i rapidi ed energici ricambi d'aria con l'esterno (CALANDRI, 1989). Mentre i valori invernali (e primaverili) sono estremamente ridotti e uniformati con l'esterno, intorno a 100 ppm (190 ppm a maggio), la concentrazione di CO_2 in estate risultava uniformata intorno a 800 ppm in tutta la parte interna (quasi il triplo dell'esterno) (Fig. 6): valori forse connessi alla modesta attività biologica ed ai ricambi d'aria. Non si sono evidenziate, in questi cicli preliminari, correlazioni tra temperature e tassi di CO_2 (Fig. 7).

6) Grotta E10 (637 Li/IM) (M. Pietravecchia, Pigna).

Quota 1585 m. Calcarei nummulitici del Luteziano.

Stretta cavità con forte corrente d'aria (temp. 5°C ca.), in possibile comunicazione con l'Abisso del Pietravecchia. Effettuate tre serie di misure (parallela-

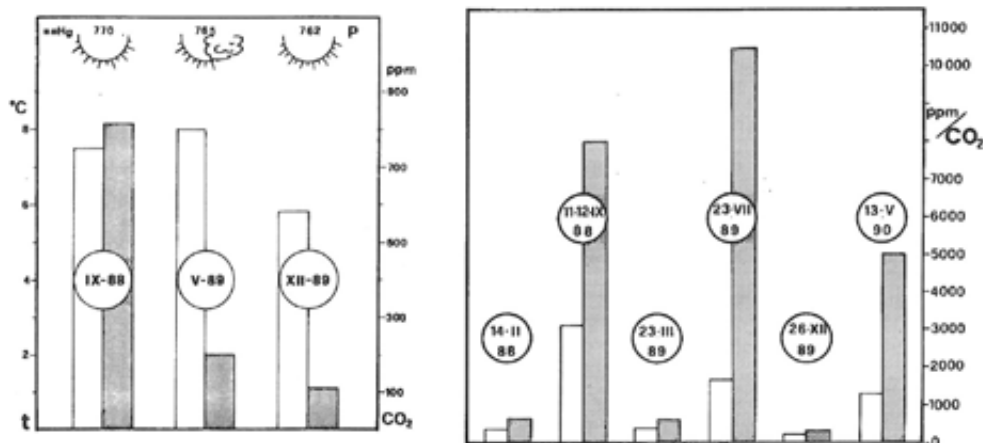


Fig. 7 - Grotta di Tenarda: ortogramma dei tassi medi interni di CO_2 (colonne retinate) e dei valori medi interni di temperature (colonne bianche). P = pressione atmosferica (riportata al livello del mare) in millimetri di mercurio (mm/Hg) (dis. G. Calandri, C. Grippa).

Fig. 8 - Tana degli Strassasacchi: ortogramma dei valori medi di anidride carbonica rilevati nella prima parte della cavità (colonne chiare) e dei tassi di CO_2 nella saletta sopra il primo laghetto (colonne retinate, punto 6 dei rilevamenti, cfr. sezione) (dis. G. Calandri, C. Grippa).

mente alla Grotta Grande di Tenarda) all'esterno e ad una decina di metri all'interno, in piena corrente d'aria. I valori, pressoché simili all'esterno, oscillavano intorno a 200 ppm.

7) Grotta dell'Orso (118 Pi/CN) (Ponte di Nava, Ormea)

Quota 808 m. Calcarei dolomitici dell'Anisico-Ladinico.

Cavità suborizzontale (svs. 600 m ca.) ad andamento complesso, a prevalenti morfologie freatiche, a zone attive. Copertura esterna con bosco a caducifoglie e prati.

Nel dicembre '87 sono state effettuate una serie di analisi di CO₂ nei tre rami principali: a fronte di un valore esterno di 130 ppm (temp. aria 3°C) i tenori nella prima sala e nel ramo sinistro in prossimità del lago-torrente salivano a ca. 200 ppm (temp. aria 10,5-11,5°C). Nel ramo destro semifossile registrati tassi di 280-290 ppm. Lungo il ramo principale fossile, di modeste dimensioni, sul fondo i valori di CO₂ erano di 410-420 ppm (temp. 15-16°C); con un massimo di 800 ppm (temp. 14,5°C) nel ramo ascendente in prossimità del fondo.

8) Cavità soffianti del Marguareis meridionale (Carnino, CN)

A diverse cavità «soffianti» collegate al Sistema Piaggiabella-Labassa (tra queste Labassa - 948 Pi/CN - q. 1890 m; Buchi degli Sciacalli - non cat. - q. 1840; Grotta delle Mastrelle - non cat. - q. 1927; Abisso Solai - 688 Pi/CN - q. 2033 m) sono stati rilevati, nella zona di ingresso, valori uniformi di CO₂ di 200 ppm ca. (fine agosto '88) e ca. 100 ppm (inizio novembre '88): tenori assai bassi, anche inferiori all'esterno, spiegabili con la forte ventilazione (oltre che con la modesta attività biologica superficiale). (CALANDRI, 1989). Inoltre le cavità fanno parte dello stesso complesso ipogeo.

Le variazioni di anidride carbonica agli Strassasacchi

La Tana degli Strassasacchi si presta a ricerche sui microclimi ipogei in quanto si tratta di una cavità quasi sconosciuta agli speleologi e con una copertura vegetale poco alterata.

Mentre la temperatura nelle parti interne risulta pressoché omogenea, con variazioni stagionali tra 12 e 15°C ca., per quanto riguarda l'anidride carbonica la cavità può essere distinta in due settori: il primo tratto (stazioni 1-5) di ca. 60 m (comprendente anche il cunicolo inferiore e le salette superiori prossime all'esterno) e la seconda parte tra il primo restringimento e la terza strettoia (ca. 100 m) (punti 6-7). In questo settore i tassi di CO₂ sono sempre maggiori rispetto alla prima parte, il divario tra le due zone si accentua nella stagione primaverile e soprattutto in estate.

In inverno o inizio primavera (14.2.1988, 23.3.1989, 26.12.1989) sono stati registrati nella prima parte tassi di biossido di carbonio mediamente tra 200 e 400 ppm (con la sola eccezione del punto 5a: 500 ppm nel febbraio '88) di poco superiori a quelli esterni (rispettivamente da 120 a 220 ppm). Dopo la strozzatura (sta-

zione 6) i valori invernali passavano da 300 a 610 ppm (cioè costantemente più elevati di ca. il 50% rispetto alla prima parte).

Una serie di misure a primavera inoltrata indicava valori medi nella prima parte di 1.300 ppm (esterno 250 ppm), mentre nelle stazioni 6-7, e nelle gallerie più interne, il tasso di CO_2 si stabilizzava tra i 5.000 ed i 6.300 ppm.

I cicli di rilevamenti estivi (CO_2 esterna da 280 a 500 ppm) facevano registrare omogeneamente nelle stazioni da 2 a 5 valori di anidride carbonica di oltre 3.000 ppm (nel settembre '88) e di 1.600 ppm (nel luglio '89), mentre al punto 6 (e segg.) toccava rispettivamente tenori medi di 8.000 e 10.500 ppm (cfr. Fig. 8). I valori estremi interni registrati tra inverno ed estate sono passati da 190 a 11.000 ppm (con aumenti di quasi 60 volte!).

Sembra evidente la relazione della concentrazione della CO_2 con l'attività

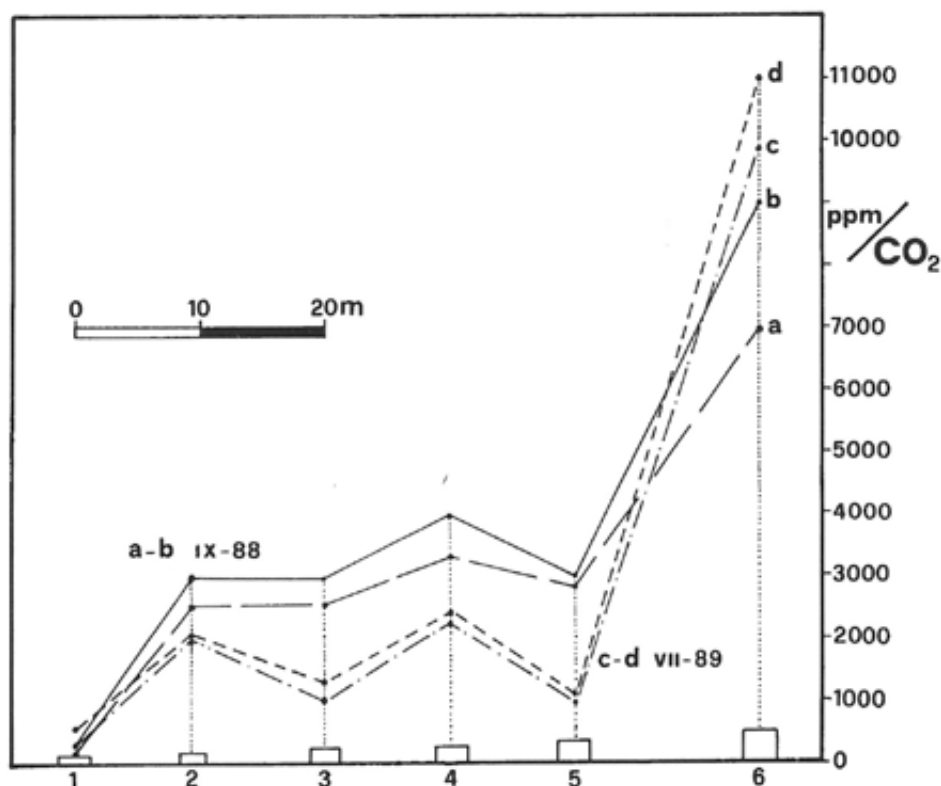


Fig. 9 - Variazioni giornaliere estive dei tassi di anidride carbonica registrati alla Tana degli Strassasacchi nel settembre 1988 (a: rilevamenti del giorno 11 ore 19; b: giorno 12 ore 7) ed il 23 luglio 1989 (c: ore 10.30; d: ore 17). In ascisse le stazioni di rilevamento (cfr. sezione grotta) allineate a seconda della distanza dall'ingresso.

Le colonne indicano i valori medi invernali (nelle singole stazioni) di anidride carbonica (media di 3 rilevamenti: 14.2.88; 23.3.89; 26.12.89) (dis. G. Calandri, C. Grippa).

biologica del suolo e della copertura vegetale: a valori bassissimi invernali fa seguito un netto aumento della CO_2 a primavera, per raggiungere i massimi nella stagione estiva. I ricambi d'aria sembrano lenti (modeste correnti d'aria) soprattutto nella seconda parte dove le strozzature morfologiche creano un microclima ben distinto, facilitando la concentrazione dell'anidride carbonica.

Nel settembre '88 e nel luglio '89 sono stati eseguiti due cicli di misurazioni nell'arco di 12 ore (CALANDRI, 1990): i risultati sono sintetizzati nella Fig. 9. Le variazioni giornaliere sono state (grosso modo in tutte le stazioni) del 20-25% nell'88, intorno al 10% e nell'89 in costanza degli altri parametri fisici (temperatura, umidità, press. atm). Se non è possibile ipotizzare un preciso riscontro tra variazioni di CO_2 ed attività pedologica e vegetale esterna si può notare come anche la parte più interna sia soggetta a sensibili oscillazioni dei tassi di CO_2 forse spiegabili con l'attività biologica.

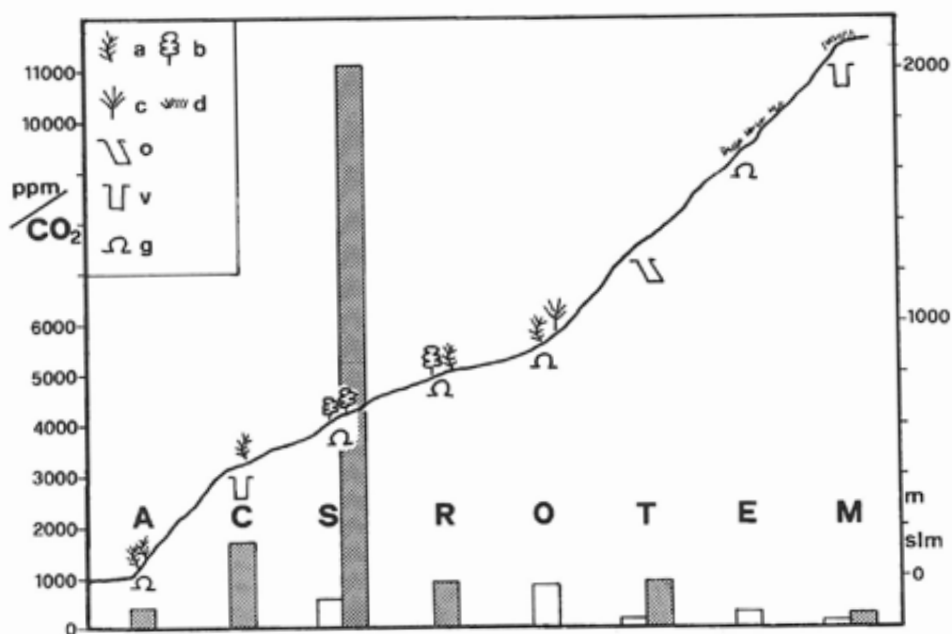


Fig. 10 - Ortogramma dei valori massimi di anidride carbonica registrati nelle grotte esaminate nei periodi estivi o tardo primaverili (colonne chiare) e invernali o tardo autunnali (colonne re-tinate). In ordinate l'altitudine degli ingressi delle cavità. A: Grotta della Madonna dell'Arma. C: Ciottu da Stria. S: Tana degli Strassasacchi. R: Grotta dei Rugli. O: Grotta dell'Orso. T: Grotta di Tenarda; E: Grotta E10. M: Grotte del Marguareis meridionale. Tipologia delle cavità: o: grotta ad andamento obliquo; v: cavità verticale; g: grotta suborizzontale.

Copertura vegetale: a: gariga fortemente degradata; b: copertura arborea a sempreverdi; c: copertura arborea a caducifoglie; d: prateria alpina discontinua.

N.B.: i tenori delle grotte di alta montagna (Pietravecchia e Marguareis) si riferiscono solo alla prima parte delle cavità (dis. G. Calandri, C. Grippa).

Considerazioni

Se pur le indagini sono ancora frammentarie pare possibile suggerire alcune considerazioni preliminari: netto sembra il legame (cfr. fig. 10) tra tassi di biossido di carbonio e copertura pedologica e vegetale, sia nelle variazioni stagionali, sia nei bassissimi tenori rilevati (anche a quote prossime al livello del mare) in grotte con povertà di suoli. L'assenza di vegetazione conduce a valori di CO_2 vicini spesso a quelli atmosferici. Meno netto il legame con quote e temperature che parrebbe secondario rispetto alla attività biologica ed alla morfologia della cavità.

La sorgente essenziale di CO_2 (BAKALOWICZ, 1979) è situata nella biosfera. In particolare nell'humus: acidi humici, acido fulvico, sostanze humiche che degradandosi danno CO_2 e H_2O . L'anidride carbonica è prodotta nei suoli anche dalla respirazione delle piante, anche se il suo ruolo è controverso.

Nella morfologia della cavità assai importanti per la CO_2 sembrano le strozzature. Infatti le strettoie si possono paragonare a sbarramenti che determinano microclimi nettamente diversi (agli Strassasacchi un diaframma di poche decine di cm porta a variazioni della CO_2 anche di 10 volte). Anche campanature, fessure, ecc. possono creare saccature con parametri specifici (es. al Ciottu da Stria, alla Madonna dell'Arma, alla Grotta dell'Orso valori nettamente più elevati di CO_2 sono stati rilevati nei tratti ascendenti chiusi o nei punti più alti della cavità). Non sono state notate decantazioni e accumuli di biossido di carbonio nelle parti più basse.

Grotte costituite da ampie gallerie (es. Rugli) sembrano avere minori tassi di CO_2 per facilità dei ricambi con l'esterno (cfr. Ek et al. 1989). Dove ci sono forti ventilazioni il biossido di carbonio si equipara a quello esterno (talora è addirittura inferiore). Bassi valori di CO_2 si notano con circolazioni suborizzontali di acque (es. Rugli, Grotta dell'Orso).

I valori registrati sembrano adeguarsi a quelli delle grotte calcaree di diversi paesi temperati (EK & GEWELT, 1985): es. Kentucky, Québec, Polonia, Ungheria, Cina, ecc.

Si può sottolineare infine come l'anidride carbonica possa essere utilizzata (RENAULT, 1979), per le sue variazioni topografiche, stagionali, ecc., come parametro significativo nello studio degli ambienti sotterranei (meglio di temperatura e umidità che hanno variazioni assai limitate e che creano talora problemi di finezza, e di taratura, degli strumenti di misura).

Anche per questo si evidenzia l'opportunità di proseguire i cicli preliminari di osservazioni nelle grotte del Ponente Ligure, estendendoli ad altre zone.

Bibliografia

- BAKALOWICZ M., 1979 - *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification*. Thèse d'Etat, C.N.R.S., Moulis: 1-269.
CALANDRI G., 1989 - *Grotta Grande di Tenarda (Alta Val Nervia, IM): misure preliminari di CO_2* . Bollettino del G.S. Imperiese CAI, XIX (33): 2-7.

- CALANDRI G., 1989 - *Il clima di Labassa*. Speciale Labassa, Speleologia (Rivista della S.S.I.), 10 (21): 35.
- CALANDRI G., 1990 - *Variazioni dell'anidride carbonica nella Grotta degli Strassasacchi (Val Nervia, IM): misure preliminari*. Bollettino del G.S. Imperiese CAI, XX (34): 2-8.
- EK C., GEWELT M., 1985 - *Carbon dioxide in cave atmospheres. New results in Belgium and comparison with some other countries*. Earth surface processes and landforms, 10:173-187.
- EK C., GEWELT M., ZHANG S., 1989 - *Carbon dioxide content of cave sediments and cave air in China. Preliminary results*. Proc. X Int. Congr. of Speleol. (Budapest 1989), 1:63-64.
- GEWELT M., EK C., 1983 - *Le CO₂ de l'air d'une grotte des Alpes Ligures: la Caverne delle Fate. Premières mesures*. Bull. Soc. Géogr. Liège, 19 (19): 107-117.
- RENAULT PH., 1979 - *Mesures périodiques de la pCO₂ atmosphérique dans des grottes françaises*. Actes Symp. Int. Erosion Karstique, U.I.S., Aix-en-Provence, A.F.K. Mémoires, Nîmes, 1:17-33.

Discussione

CAPPA - Due cose: la prima è che è necessario ricordarsi del corretto uso della maschera che si porta in faccia. Poi volevo sapere se avete fatto misure sul CO. Durante una prova di lunga permanenza in grotta realizzata dal GSP diversi anni fa, si scoprì che la percentuale di monossido di carbonio era tutt'altro che trascurabile, raggiungendo, in certi momenti, anche valori di quasi pericolo.

CALANDRI - Per quel che riguarda l'esperimento del GSP ritengo che gli elevati valori di CO fossero legati alla concentrazione umana, all'attività che si svolgeva nella grotta.

CAPPA - Ma gli esseri viventi non producono CO, questo veniva dall'interno della montagna.

CALANDRI - Io penso che fosse legato al fatto che il gruppo di speleologi cucinasse. Rispondo al resto della domanda dicendoti che non abbiamo fatto rilievi sul CO per questione di strumentazione che, per queste misure, pareva poco attendibile. Nelle grotte tropicali in cui andremo, queste misure sono invece previste. Comunque cercheremo di effettuare rilievi durante le prossime ricerche anche in grotte liguri.

CANCIAN - Una richiesta pratica, volevo conoscere il prezzo della strumentazione adottata.

CALANDRI - Il costo è di circa 500.000, ogni fialetta costa 4.000 lire e ce ne vogliono moltissime; la ditta è la Comesa di Milano.

AUGUSTO BINDA *

UN DISPOSITIVO PER MISURARE E CAMPIONARE GLI STILLICIDI

RIASSUNTO - Viene descritta un'apparecchiatura che permette di misurare le variazioni di portata di stillicidi e di piccole sorgenti di grotta con portate da 10 a 3000 litri/ora, memorizzando le variazioni nel tempo e prelevando in modo automatico campioni di cui viene registrata con esattezza la collocazione temporale.

I dati raccolti vengono registrati da un dispositivo elettronico di acquisizione dei dati che ne permette sia la stampa seriale diretta che il riversamento su Personal Computer e la successiva elaborazione con programmi del tipo Lotus 1 - 2 - 3.

L'apparecchiatura è autonoma e può funzionare senza assistenza per periodi relativamente lunghi, limitati dalla capacità delle pile del registratore d'eventi e dell'accumulatore del campionatore automatico nonché dal riempimento dei 24 contenitori del suddetto campionatore quando la campionatura è necessaria.

ABSTRACT - Description of a device allowing the assessment the changes of yield of drippings and small sources in caves, with yield varying between 10 and 3000 liters per hours, recording variations against time and automatically taking samples of which the sampling time is known and recorded.

The information is kept in memory by an electronic recording device; data can be directly sent to a serial printer or downloaded towards a Personal Computer where they can be processed by any program Lotus 1 - 2 - 3 or similar.

The device can work autonomously through long intervals, limited by the duration of the batteries of the event recorder and of the accumulator serving the auto - sampler and the complete filling of the 24 containers of the auto - sampler, if and when sampling is necessary.

Premessa

Nelle ricerche legate all'idrologia sotterranea può essere di fondamentale importanza conoscere l'entità degli stillicidi e le sue variazioni nel tempo. Se viene studiato anche il chimismo delle acque è essenziale prelevarne dei campioni ad intervalli che possono essere prestabiliti e regolari oppure determinati dal flusso delle acque stesse.

Le osservazioni e le campionature non sono intrinsecamente difficili, tuttavia la necessità di un'uscita in grotta per ogni osservazione o campionamento può renderle complicate, costose, penose e, in definitiva, impraticabili.

* Associazione Varesina per l'Eco-Speleologia; Società Speleologica Italiana.

Il dispositivo, o meglio l'insieme di dispositivi, presentato in questo lavoro permette di risolvere la maggior parte dei problemi legati a stillicidi di media entità (da 10 a 3.000 litri/ora), e può avere applicazioni parziali ma comunque importanti anche nei casi di stillicidi di piccola e grande entità. Le problematiche legate alla portata dello stillicidio verranno discusse più avanti.

Apparecchiatura

Come si può vedere dalla Foto 1, l'apparecchiatura si compone di cinque moduli fondamentali: l'impianto di raccolta ed il filtro, il contatore volumetrico, il registratore di eventi, l'accumulatore dell'acqua da campionare, il campionatore automatico. Quando la campionatura dell'acqua non è richiesta si possono tralasciare gli ultimi due moduli.

Si noti che le tubazioni flessibili di entrata ed uscita dal contatore sono sistemate in modo che quest'ultimo si trovi nella branca inferiore di una condotta ad U e quindi sia sempre pieno d'acqua. Questo accorgimento è indispensabile perché la turbinetta del contatore non deve mai lavorare in presenza di aria, che ne falserebbe vistosamente le prestazioni.

L'impianto di raccolta

L'unica parte che non può essere prefabbricata, in quanto va realizzata su misura in funzione del sito di stillicidio. Nel caso del prototipo descritto (installato nella Grotta di Monte Tre Crocette, 2235 LoVa, Varese - Campo dei Fiori, conosciuta anche come Grotta Marelli) è composto da un telo impermeabile molto robusto, sagomato a seconda della conformazione delle rocce. L'orlo della parte interna (verso la roccia) è stato ripiegato tre volte su se stesso e fissato alla roccia stessa con viti e rondelle in acciaio inossidabile, avvitate in tasselli di plastica posti in fori opportunamente posizionati ogni 15 cm circa.

Il lato esterno, che non ha appoggi, è sostenuto da un cavetto di acciaio fissato a due ancoraggi classici (tasselli tipo SPIT) a cui è fissato con ganci ed occhielli. Il tutto è molto solido, a tal punto che è stato possibile salirvi sopra per la siliconatura della giunzione telo - roccia.

Il telo così installato forma un imbuto poco profondo nel cui fondo inferiore è stata installata una «piletta» da lavandino in ottone cromato, sotto alla quale è fissato un sifone a bottiglia in plastica che serve ad arrestare una parte delle particelle solide. Una griglia posta sopra al sifone ferma i corpi solidi di grandi dimensioni.

Il filtro e la tubazione

Serve ad arrestare le grosse particelle che riescono a superare le due prime



Foto 1 - Veduta d'insieme dell'apparecchiatura.

Dall'alto a sinistra scende la condotta di alimentazione che entra nel sifone, collegato al contatore. La condotta che esce da quest'ultimo entra nell'accumulatore d'acqua. In primo piano, davanti al contatore, il registratore di eventi. A destra, il campionatore automatico ISCO 2900 ai cui piedi si trova la scatola nera del carica - batterie.

protezioni e che potrebbero bloccare la turbinetta del contatore volumetrico ed altre parti mobili dell'apparecchiatura. è composto da un corpo cilindrico di plexiglas, chiuso alle estremità ed ispezionabile. Alle estremità sono installati raccordi filettati per il collegamento alla piletta del telo (entrata) ed alla tubatura che conduce l'acqua (uscita). All'interno del corpo del filtro una serie di strati di tessuto spugnoso plastico filtra l'acqua e trattiene i corpi solidi.

Un tubo in gomma nitrilica, con diametro interno di 25 mm, collega i moduli di captazione a quelli di misurazione, che nel caso corrente sono installati all'interno del laboratorio sotterraneo della grotta Marelli per le ricerche del Progetto SPA, illustrato in un'altro lavoro di questo Congresso. L'insieme delle griglie, sifoni e filtri deve essere ripulito periodicamente, soprattutto dopo precipitazioni importanti; in questo sito è sorprendente la quantità di materiale di demolizione della roccia (sabbia, granuli, schegge) che si accumula.

Il contatore volumetrico

Si tratta di un comune contatore d'acqua per uso domestico del modello più piccolo (TYP 444, Classe A/HB, Dn 15, per portata nominale massima di

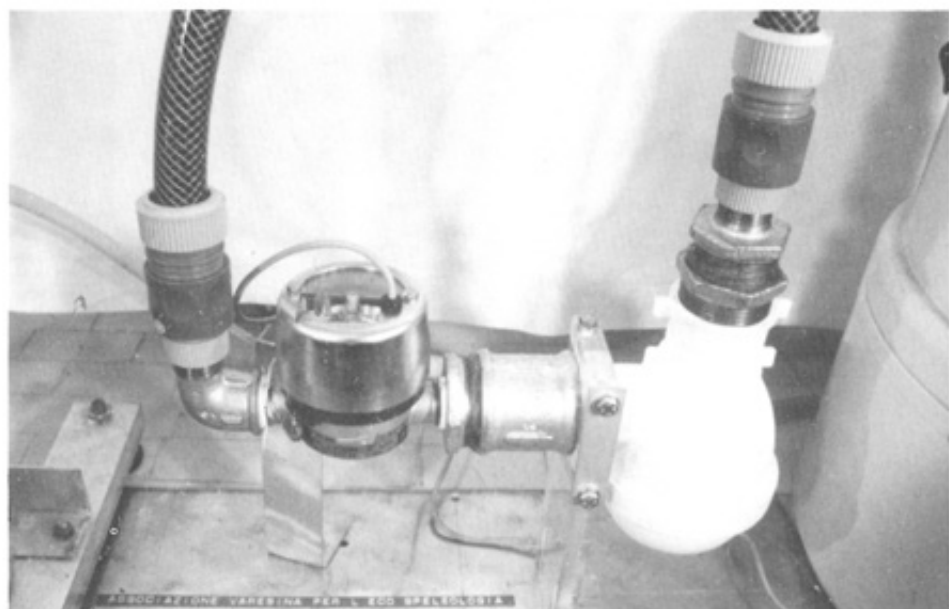


Foto 2 - Il contatore

L'apparecchio è preceduto da un sifone di protezione. Si nota il cavetto che conduce gli impulsi verso il registratore di eventi.

1500 litri - ora) fabbricato e venduto dalla Astra Contatori di Gavirate (Varese), munito all'origine di un generatore di impulsi costituito da un magnetino permanente fissato ad uno dei registri rotanti del contatore stesso. Ad ogni giro della freccia (ogni divisione del circolo corrisponde a $0,001 \text{ m}^3$) il magnete passa davanti ad un relè Reed (lamine magnetiche a contatto normalmente aperto contenute in una fialetta ermetica di vetro) ed il campo magnetico ne forza la chiusura, che viene rilevata dal registratore di eventi.

L'elemento di misura è costituito da una turbinetta in plastica che, trascinata dal flusso d'acqua, ruota con numero di giri direttamente proporzionale alla quantità d'acqua; le caratteristiche costruttive del contatore lo rendono affidabile per flussi variabili fra 10 litri/ora e 3000 litri/ora). Ne esistono modelli di maggior capacità. Il compartimento della turbinetta è separato da quello degli ingranaggi, che restano all'asciutto; la trasmissione del movimento avviene per trascinamento magnetico. Sul quadrante vi sono: un totalizzatore numerico per i metri cubi totali e quattro registri ad orologio le cui divisioni decimali indicano rispettivamente i decilitri, i litri, le decine e le centinaia di litri.

Il magnetino per la generazione d'impulsi può essere installato sulla lancetta dei millesimi di m^3 (10 litri per ogni giro completo) oppure, in alternativa, su quella dei centesimi (cento litri per giro). Dalla fialetta del relè Reed esce un cavetto per il collegamento agli apparecchi di registrazione.

All'ingresso del contatore un sifone protegge dai corpi solidi ed una gri-

glietta dà un'ulteriore protezione dalle particelle di grande dimensione (3 -4 mm).

Il registratore d'eventi

Il contatore, considerato isolatamente, sarebbe di ben poca utilità in quanto vi si potrebbero leggere soltanto le quantità totali d'acqua che lo hanno attraversato durante intervalli più o meno lunghi (in pratica vi si potrebbe leggere, ad ogni visita alla grotta, la quantità d'acqua che lo ha attraversato dalla lettura precedente) ma non sarebbe possibile determinare l'entità delle variazioni di flusso nel tempo e dar loro una collocazione temporale.

È stato quindi aggiunto un Thermos Data appositamente modificato dalla Ditta costruttrice per la registrazione temporale di eventi (chiusure di contatto) invece di grandezze analogiche (temperature o conducibilità); l'apparecchio è stato ampiamente illustrato su *Speleologia* (n 18, 1988), tuttavia, dato il suo grande interesse per la ricerca speleologica, ne daremo una breve descrizione.



Foto 3 - Il dispositivo di lettura del contatore

Nella parte alta del quadrante il totalizzatore dei metri cubi. In basso, da sinistra a destra, il registro dei decilitri (un litro ogni giro completo), il registro dei litri (10 litri ogni giro) ed i registri dei decaltri e degli ettoltri (rispettivamente 100 e 1000 litri ogni giro). In corrispondenza del registro dei litri si notano il magnetino fissato sulla lancetta rotante e, alla sua sinistra, il corpo del relè Reed da cui esce il cavetto di raccordo.

Si tratta di un dispositivo elettronico di piccole dimensioni (nella versione originale ha l'ingombro di circa due pacchetti di sigarette) per l'acquisizione e la memorizzazione di dati, con orologio interno, programmabile ed interfacciabile con un Personal Computer IBM o compatibile, con alimentazione autonoma a pile normali per l'acquisizione dei dati e con batteria interna al litio per la gestione dell'orologio - calendario e la conservazione della memoria (fino a 5 anni!).

Può avere uno o due ingressi e, nelle versioni standard, può acquisire temperature ed umidità relative (mantenendo umido il bulbo del secondo termometro); ne è stata recentemente sviluppata una versione che acquisisce contemporaneamente i dati di temperatura e conducibilità elettrica dell'acqua.

La versione speciale per registrazione di eventi ha le dimensioni di 220 x 135 x 75h mm ed è stata modificata in modo da avere due ingressi a ciascuno dei quali può essere collegato un contatto normalmente aperto, di cui viene registrata la chiusura.

La programmazione può essere fatta con micro - interruttori oppure direttamente con PC e si possono stabilire intervalli di misura che vanno da 1 minuto primo a 4 ore. Nelle versioni per temperatura e conducibilità la misura viene effettuata allo scadere di ogni intervallo ed i valori misurati vengono registrati in



Foto 4 - Il registratore di eventi

Mostrato privo del coperchio di protezione, posato a fianco. Al suo interno si notano: sulla sinistra, il circuito stampato con i componenti elettronici fra i quali è visibile, in blu e nella parte posteriore destra, la pila al litio per la memoria; in primo piano a destra il circuito rivelatore d'impulsi, in secondo piano sul fondo le quattro pile che alimentano il circuito di rilevazione. Sulla parte anteriore della scatola vi è un pressacavo per l'entrata del cavetto di collegamento.



Foto 5 - L'accumulatore d'acqua

Vi si notano: la tubatura d'arrivo dell'acqua, con un deflettore per evitare le turbolenze, la valvola di fondo con il relativo portello d'ispezione, al di sopra di essa l'interruttore a galleggiante che segnala al campionatore la presenza di acqua in quantità sufficiente al prelievo, il tubo di aspirazione dell'acqua che va al campionatore automatico (esce dalla parte posteriore, poco al di sopra della valvola di fondo), il contrappeso che compensa la massa del secchiello esterno, il sifone in rame, il filo flessibile (poco visibile) che scorre sulle pulegge ed è azionato dal secchiello, il gomito di troppo pieno e di alimentazione del secchiello, il secchiello con le sue guide di scorrimento. Si noti il pozzetto cilindrico al fondo del secchiello, al cui fondo arriva il tubo di rame e che serve a minimizzare l'acqua residua e quindi l'inerzia della parte mobile.

Foto 6 - L'accumulatore d'acqua

Dettaglio del secchiello esterno. Sopra l'incastellatura esterna si nota un contatto basculante che fornisce un segnale supplementare, non usato nell'applicazione descritta, ad ogni svuotamento del contatore. Sono ben visibili le pulegge ed il filo di trasmissione del movimento, con il contrappeso.

memoria. Alla fine di ogni giornata ed alla fine del periodo di registrazione vengono calcolati i minimi, i massimi, le medie giornaliere ed i minimi e massimi assoluti per tutto il periodo di funzionamento, indicandone anche l'ora ed il minuto.

Nella versione speciale per la registrazione di eventi il software è stato modificato in modo che l'apparecchio possa contare e registrare il numero di eventi



Foto 7 - Il campionatore automatico ISCO 2900

Veduta d'insieme dell'apparecchio. La parte alta contiene l'accumulatore, la circuiteria con il micro - processore, la pompa peristaltica, la tastiera di programmazione. Nella parte inferiore, facilmente separabile, si trovano i contenitori ed il distributore a braccio rotante.

Foto 8 - Il campionatore automatico ISCO 2900

Dettaglio della tastiera di programmazione. Sulla sinistra l'accumulatore ed i connettori per i cavi d'alimentazione e dei segnali, sulla destra la pompa peristaltica con il suo tubo di aspirazione.

(chiusure di contatto) che avvengono durante l'intervallo impostato. È quindi possibile dividere la giornata in intervalli temporali variabili fra 1 e 240 minuti (4 ore) e conoscere quanti eventi (nel caso del contatore, quanti passaggi di 10 di litri d'acqua) si sono verificati durante ciascuno degli intervalli. Moltiplicando per 10 (o per 100, se il generatore d'impulsi viene spostato sul registro delle decine di litri) il numero d'impulsi registrati si ottiene la quantità d'acqua che ha attraversato il contatore.

I dati possono essere restituiti direttamente su una stampante da computer che abbia collegamento seriale (RS232 - C) oppure letti sullo schermo del PC o memorizzati in un file che, con opportuni accorgimenti, può essere elaborato con programmi di foglio elettronico tipo Lotus 1 - 2 - 3. È possibile ricavare tutto l'insieme dei dati (si veda l'esempio della Tavola I) oppure ottenere la stampa o la visualizzazione dei soli dati riassuntivi (minimi, massimi, medie giornalieri ed assoluti, si veda l'esempio della Tavola II).

Dato che l'apparecchio dispone di due ingressi per i segnali d'evento è possibile collegarvi un secondo dispositivo, che nel nostro caso è il campionatore automatico, descritto più avanti; in quest'ultimo caso, valendosi di una delle funzioni del campionatore ISCO (chiusura di contatto al momento della campionatura) si ottiene la collocazione temporale (all'interno di uno degli intervalli prefissati) di ognuno dei 24 campioni prelevati ad ogni ciclo di campionatura.

L'accumulatore d'acqua

Il prelievo automatico di un campione d'acqua da uno stillicidio non è un'operazione così semplice come può sembrare a prima vista; in operazione manuale basta sistemare un contenitore pulito (in genere, per i laboratori sono sufficienti 500 ml) sotto il filo, o le gocce, d'acqua e attendere il suo riempimento.

Quando si usano apparecchi automatici occorre avere la certezza che, al momento in cui l'apparecchio entra in funzione, sia disponibile una quantità sufficiente d'acqua e che essa sia rappresentativa del flusso che si vuole campionare. Non è quindi possibile aspirare l'acqua da vaschette di accumulo, lentamente e continuamente ricambiate dal lento flusso dello stillicidio, ed occorre invece adottare un sistema autosvuotante che assicuri il ricambio totale dell'acqua ad ogni ciclo.

Tutti i campionatori automatici a giostra hanno un ciclo di funzionamento composto da:

- 1 - Una fase di svuotamento della condotta di aspirazione, mediante invio d'aria compressa, in modo da evitare l'aspirazione di residui del campione precedente, rimasti nella condotta, che potrebbero falsare i dati d'analisi.

- 2 - Una fase di aspirazione e misura, fino a riempimento del contenitore che di solito ha la capacità di 500 ml.

- 3 - Una fase finale di svuotamento della condotta, mediante invio di aria compressa.

- 4 - Il posizionamento automatico sul contenitore successivo, fino ad un massimo di 24 campioni contenuti in un basamento con braccio rotante (da cui proviene la definizione «a giostra»).

Mentre le fasi 1 e 3 potrebbero, teoricamente, svolgersi anche in assenza dell'acqua da campionare, la seconda necessita di un accumulo di acqua in quantità come minimo leggermente superiore a quella da campionare (500 ml), in modo che l'estremità della condotta di aspirazione sia sempre sommersa e non possa aspirare aria. Per risolvere questo problema è stato progettato e costruito un accumulatore d'acqua autosvuotante.

L'apparecchio è composto da un serbatoio cilindrico verticale in plexiglas della capacità di circa 15 litri, alimentato dall'alto tramite un tubo flessibile che lo collega all'uscita del contatore volumetrico. Alla sua base si trova una valvola di fondo del tipo usato nelle cassette a zaino per gabinetto, che ha la caratteristica di rimanere aperta per un breve periodo anche dopo l'uscita completa dell'acqua.

Lateralmente al corpo cilindrico si trova un secchiello, della capacità di circa 2,5 litri, che può scorrere verso il basso lungo due guide metalliche. Il secchiello è collegato con cavetto flessibile, scorrevole su pulegge, al galleggiante della valvola di fondo ed un sistema di contrappesi lo mantiene in posizione sollevata (valvola chiusa) fintanto che è vuoto.

Dopo che il corpo cilindrico si è riempito d'acqua fino alla sommità, un tubo di troppo -pieno devia l'acqua verso il secchiello che, quando è colmo, si abbassa sollevando il galleggiante della valvola di fondo; il corpo cilindrico si svuota allora rapidamente, in 2 - 3 secondi.

L'acqua, scendendo, crea una depressione nel tubo a sifone di rame (visibile nella foto) che sale lungo tutta la parete verticale del corpo cilindrico, ne attraversa la parete e scende nel secchiello fino al fondo di un pozzetto (il cilindretto grigio che sporge dal fondo e la cui funzione è di limitare al minimo indispensabile il volume di acqua restante nel secchiello). Si innesca così un sifone che aspira tutta l'acqua contenuta nel secchiello, che viene scaricata nel corpo cilindrico ed evacuata attraverso la valvola di fondo la quale rimane aperta per il tempo necessario.

Dopo che il secchiello si è svuotato, il contrappeso sistemato sul cavetto flessibile (cilindretto di ottone visibile nel terzo superiore) provoca la risalita del secchiello ed il sistema è pronto ad iniziare un altro ciclo.

Durante la fase iniziale di riempimento un contatto azionato da un galleggiante a bulbo di mercurio (contenitore stagno nero visibile subito al di sopra dello sportello d'ispezione della valvola di fondo) invia al campionatore automatico un segnale (chiusura di contatto) di presenza d'acqua; può così iniziare in tutta sicurezza il ciclo di spurgo - aspirazione - spurgo, con prelievo dell'acqua attraverso una tubazione flessibile di piccolo diametro che esce sul retro del corpo cilindrico ad un'altezza inferiore a quella del galleggiante (tubo chiaro visibile nella foto, che scompare dietro al contatore volumetrico).

Dopo il prelievo del campione (la cui collocazione temporale è descritta più avanti), il corpo cilindrico continua a riempirsi fino a traboccare nel secchiello ed avviare la fase di svuotamento descritta più sopra.

Nei casi in cui la campionatura non deve essere eseguita l'accumulatore d'acqua, ed il campionatore automatico, non sono necessari.

Il campionatore automatico

Insieme al registratore d'eventi costituisce la parte più sofisticata, e costosa, dell'apparecchiatura. Dopo l'esame di vari tipi d'apparecchio disponibili sul mercato (nessuno purtroppo di produzione europea) è stato scelto il modello ISCO 2900 (commercializzato dalla TCR - TECORA di Milano) perchè, oltre ad avere caratteristiche comuni agli altri modelli simili, mette a disposizione un segnale di temporizzazione (chiusura di contatto) che può essere registrato dal secondo canale del registratore d'eventi; oltre a ciò la sua regolazione è decisamente sofisticata essendo gestito da un microprocessore incorporato, programmabile

da tastiera. Nell'insieme delle sue caratteristiche sono state considerate determinanti le seguenti:

- In ciclo automatico, la possibilità di variare l'intervallo di campionamento fra 1 e 10.000 minuti (circa una settimana).

- In ciclo manuale, possibilità di avviare la campionatura su impulso esterno (chiusura di un contatto) scegliendo la frequenza degli impulsi (da 1 a 10.000 impulsi) quindi, nel nostro caso, da 1 a 10.000 cicli (circa 17 litri per ciclo) dell'accumulatore. Questo permette, agendo semplicemente sulla tastiera, di adeguarsi a qualsiasi situazione di portata.

- Disponibilità di un segnale in uscita (chiusura di contatto) al momento del prelievo di ogni campione; questo segnale, inviato al registratore di eventi, permette la collocazione temporale di ogni campione, indipendentemente dalla frequenza di prelievo dei campioni stessi.

L'apparecchio può avere alimentazione completamente autonoma (batteria al Piombo da 12V, 6,5 A/h), nel qual caso occorre provvedere regolarmente allo scambio con un accumulatore ben carico, oppure (quando è disponibile, come nel caso della grotta Marelli) può essere alimentato in tampone con apposito carica - batteria (la scatola nera al piede del campionatore).

Insieme dell'apparecchiatura

Occupi circa 1 metro quadrato di superficie, su un apposito bancone.

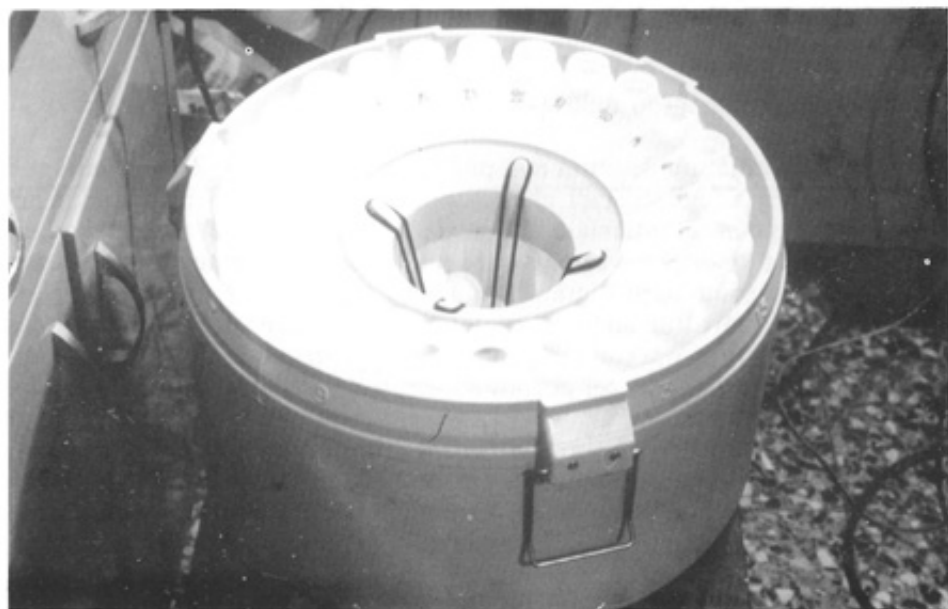


Foto 9 - Il campionatore automatico ISCO 2900
La base intercambiabile ed i 24 contenitori da 500 ml ciascuno.

Nonostante che tutte le apparecchiature siano protette contro gli spruzzi d'acqua, conviene assicurare loro una certa protezione sia contro i fatti naturali che contro le manomissioni indesiderate; questo è facilmente ottenibile nel laboratorio sotterraneo realizzato nella Grotta Marelli, dove è anche disponibile l'energia elettrica per l'alimentazione in tampone della batteria.

Principi di funzionamento

Sono già stati esposti nelle descrizioni dei singoli moduli, tuttavia può essere utile riassumerli.

A - Lo stillicidio viene raccolto da un impianto di captazione (modulo 1), che provvede anche alla filtrazione per arrestarne le parti solide; una tubazione canalizza l'acqua fino all'interno del laboratorio sotterraneo.

B - Un contatore volumetrico (modulo 2) misura l'acqua in transito e, ogni 10 (o 100) litri, invia un segnale al registratore di eventi a due canali.

C - Il canale 1 del registratore di eventi (modulo 3) conta gli impulsi che riceve all'interno di ogni periodo di misura prestabilito (in condizioni normali, e nella grotta, è stato scelto un periodo di 1 ora, che può però essere ridotto fino ad 1 minuto primo od esteso fino a 4 ore).

D - L'acqua in uscita dal contatore viene trattenuta in un accumulatore a svuotamento automatico (modulo 4) da cui viene prelevata automaticamente.

E - Un campionatore automatico a giostra (modulo 5) preleva un campione d'acqua quando ve ne è a sufficienza nell'accumulatore ed invia un segnale di temporizzazione al canale due del registratore di eventi (modulo 3).

Influenza delle portate dello stillicidio

L'apparecchiatura descritta non può risolvere tutti i problemi di misura e di campionamento degli stillicidi, che possono essere estremamente variabili nel tempo e nella quantità, tuttavia è sufficientemente flessibile da adattarsi ad un campo d'impiego piuttosto vasto; inoltre può essere facilmente modificata per l'utilizzo in condizioni particolari.

I limiti fisici di affidabilità del contatore volumetrico sono: 10 litri/ora come minimo e 3.000 litri/ora come massimo; al di fuori di questo campo le sue indicazioni non sono più esatte; per portate superiori a 1.500 litri/conviene adottare un modello più grande.

Per portate inferiori a 10 litri/ora, anche se non si può più contare sull'esattezza del contatore, rimane attiva la funzione di campionamento con la relativa temporizzazione; infatti, quale che sia il tempo di riempimento dell'accumulatore, il prelevamento è comandato dall'accumulo e il suo istante viene comunque memorizzato dal registratore di eventi.

Oltre a questo, l'accumulatore d'acqua è munito di un interruttore basculante a búlbo di mercurio che invia un segnale ad ogni svuotamento dell'accumulatore stesso; quando le portate sono minime il conteggio di questi impulsi, che

Tavola I - THERMOS DATA, Stampa dei dati in forma estesa

THERMOS DATA V. 1.1 TI	(Tipo e modello dell'apparecchio)
D.A.S. - E.N.E.A. - Italy	(Costruttore)
> SERIAL NUMBER 313 <	(numero di serie dell'apparecchio)
MODE : INSTANTANEUS VALUES	(modo di misurazione)
INTERVAL : 1 min.	(intervallo di misurazione)
SENSORS : PULSES 1 AND 2	(tipo dei sensori attivi)
DATE 15/12/1990	(giorno d'avvio delle misurazioni)
TIME 17: 8 PULSES 1 11 PULSES 2 1	(conteggio degli impulsi misurati per ognuno degli intervalli prefissati)
TIME 17: 9 PULSES 1 6 PULSES 2 0	
TIME 17:10 PULSES 1 5 PULSES 2 0	
TIME 17:11 PULSES 1 6 PULSES 2 0	
PULSES 1 28	(impulsi totali del giorno per il canale 1)
MIN PULSES 1 5 TIME 17:10	(numero min di impulsi e loro intervallo)
PULSES 2 1	(impulsi totali del giorno per il canale 2)
MIN PULSES 2 0 TIME 17: 9	(numero MAX di impulsi e loro intervallo)
MAX PULSES 2 1 TIME 17: 8	(numero min di impulsi e loro intervallo)
PULSES 1	(Canale 1: minimo e massimo assoluti di impulsi, loro giorno ed ora, totale degli impulsi registrati su tutto il periodo)
ABSOLUTE MIN 5 DATE 15/12/1990 TIME 17:10	
ABSOLUTE MAX 11 DATE 15/12/1990 TIME 17: 8	
TOTAL PULSES 28	(Canale 2: minimo e massimo assoluti di impulsi, loro giorno ed ora, totale degli impulsi calcolati su tutto il periodo)
PULSES 2	
ABSOLUTE MIN 0 DATE 15/12/1990 TIME 17: 9	
ABSOLUTE MAX 1 DATE 15/12/1990 TIME 17: 8	
TOTAL PULSES 1	

Il numero di serie dell'apparecchio può essere utile quando ve n'è in servizio più d'uno. Nell'esempio riportato, per una simulazione di eventi eseguita al banco è stato scelto l'intervallo di 1 minuto - si può arrivare fino a 240 minuti. In questo esempio le registrazioni sono state eseguite durante 4 intervalli, alle ore 17 del giorno 15/12/1990 ed ai minuti 8, 9, 10 ed 11; i sensori hanno registrato, rispettivamente, 11, 6, 5, 6 impulsi per il sensore 1 ed 1, 0, 0, 0 impulsi per il sensore 2. L'elenco delle registrazioni può essere molto esteso - occupando anche parecchi fogli - quando esse coprono un lungo periodo; in tal caso può essere utile ricorrere alla stampa ridotta (vedere la Tavola II). L'elenco delle registrazioni è dettagliato giorno per giorno, e per ogni periodo di 24 ore vengono calcolati i totali, i minimi ed i massimi giornalieri; i minimi, i massimi ed i totali assoluti si riferiscono a tutto il periodo di registrazione.

possono anche essere spaziate di giorni interi, moltiplicato per la capacità dell'accumulatore, permette la misurazione dello stillicidio anche in condizioni di portata minima.

Quando sono prevedibili portate ridottissime per tempi lunghi è sufficiente commutare la linea di segnalazione del contatore con quella dell'accumulatore, in modo che il Thermos Data registri comunque degli impulsi il cui numero dovrà, ovviamente, essere moltiplicato per la capacità dell'accumulatore a cui va sommato il volume del campione prelevato (in tutto, nel caso corrente, circa 18 litri).

Tavola II - THERMOS DATA, Stampa dei dati in forma ridotta

THERMOS DATA V. 1.1 TI	(Tipo e modello dell'apparecchio)
D.A.S. - E.N.E.A. - Italy	(Costruttore)
> SERIAL NUMBER 313 <	(numero di serie dell'apparecchio)
MODE : INSTANTANEUS VALUES	(modo di misurazione)
INTERVAL : 1 min.	(intervallo di misurazione)
SENSORS : PULSES 1 AND 2	(tipo dei sensori attivi)
DATE 15/12/1990	(giorno d'avvio delle misurazioni)
PULSES 1 28	(impulsi totali del giorno per il canale 1)
MIN PULSES 1 5 TIME 17:10	(numero MAX di impulsi e loro intervallo)
MAX PULSES 1 11 TIME 17: 8	(numero min di impulsi e loro intervallo)
PULSES 2 1	(numero MAX di impulsi e loro intervallo)
MIN PULSES 2 0 TIME 17:09	(numero MAX di impulsi e loro intervallo)
MAX PULSES 2 1 TIME 17: 8	(numero min di impulsi e loro intervallo)
PULSES 1	(Canale 1: minimo e massimo
ABSOLUTE MIN 5 DATE 15/12/1990 TIME 17:10	assoluti degli impulsi, loro
ABSOLUTE MAX 11 DATE 15/12/1990 TIME 17: 8	giorno ed ora, totale degli
TOTAL PULSES 28	impulsi registrati su tutto il periodo)
PULSES 2	(Canale 2: minimo e massimo
ABSOLUTE MIN 0 DATE 15/12/1990 TIME 17: 9	assoluti degli impulsi, loro
ABSOLUTE MAX 1 DATE 15/12/1990 TIME 17: 8	giorno ed ora, totale degli
TOTAL PULSES 1	impulsi registrati su tutto il periodo)

I dati riassuntivi sono sostanzialmente identici a quelli che si ottengono nel modo esteso (Tavola I) ma non viene stampato il dettaglio giornaliero della rilevazione degli impulsi, intervallo per intervallo. Viene stampato, per ogni giornata di misurazioni, il calcolo dei massimi, minimi e dei totali relativi. Questo modo di stampa può essere utile quando interessa conoscere soltanto i massimi ed i minimi ed i giorni e le ore in cui essi si sono verificati, oppure quando si esegue una stampa sul campo con un'attrezzatura portatile. In qualsiasi caso i dati completi rimangono memorizzati fintanto che non venga eseguita l'operazione particolare di avvio dell'acquisizione dati, che azzerla la memoria.

Questo sistema di misurazione della portata non è affidabile per flussi importanti perchè durante il tempo in cui la valvola di fondo rimane aperta si perderebbe una parte del flusso stesso; quando le portate sono minime la perdita diviene ininfluenza.

Per portate superiori a 3.000 litri/ora non si può più parlare di stillicidio ma di sorgente o cascatella, e sono disponibili altri tipi di misuratori (ad esempio gli idrometrografi); è tuttavia possibile montare contatori di capacità maggiore ed adattare l'accumulatore d'acqua a portate maggiori.

Entro i limiti di progetto la sperimentazione in atto dovrà dimostrare l'affidabilità dell'apparecchiatura, e questo avverrà nel quadro delle ricerche del Progetto SPA (Studio degli effetti delle Piogge Acide e dell'Inquinamento Atmosferico sull'Ambiente Carsico), descritto in una memoria separata.

SANDRO GALDENZI * & MARCO MENICHETTI *

L'AZIONE DI ACQUE MINERALIZZATE NELLA GENESI DEI SISTEMI CARSICI PROFONDI DELL'APPENNINO UMBRO MARCHIGIANO

RIASSUNTO - Nell'Appennino umbro - marchigiano esistono estesi sistemi carsici sotterranei, i più famosi dei quali si trovano a Frasassi e M.te Cucco, che si sviluppano entro la sequenza calcarea, spesso all'interno di un unico tipo litologico.

Le diverse cavità appaiono piuttosto differenti nelle loro caratteristiche morfologiche complessive, in conseguenza di situazioni idrogeologiche, attuali e passate, sostanzialmente differenti. E' tuttavia possibile evidenziare diverse e sostanziali analogie: il grande sviluppo delle gallerie riferibili alla fase freatica, che appare spesso inconciliabile con la limitatezza degli apporti meteorici osservabili o presumibili; l'abbondanza di depositi solfatici, non derivabili dalle impurità contenute nei calcari; la presenza di analoghe morfologie sia in grande che in dettaglio. Tutto ciò suggerisce che possa aver giocato una parte determinante nella origine di questi complessi la risalita di acque da circuiti relativamente profondi e comunque arricchite in H_2S e solfati, secondo modalità localmente differenziate sulla base dei differenti contesti idrogeologici.

Nelle cavità di Frasassi, ad esempio, dove il massiccio carsificato è tuttora interessato da una falda con acque solfato - clorurate contenenti H_2S , reazioni di ossidazione dei solfuri nelle parti superficiali della falda inducono anche attualmente intense azioni corrosive, a parziale conferma di quanto ipotizzabile per i sistemi fossili.

ABSTRACT - Important underground karst systems occur in the Umbria Marche Apennines. The most important are localized in the Monte Cucco area and in the Frasassi Gorge.

Both have a development over 30 km in the lower liassic carbonate bank and presents many common features. In particular the presence of large deposits of sulphates speleothems and the structural position of the caves permit to define a strong influence on the speleogenesis of the rise of deep waters rich in sulphates.

The M. Cucco Caves are fossils and develop at about 600 m above regional water table level instead the Frasassi caves are in part active and some galleries develop at the level of the river where are located different spring of juvenile water with geochemical characters of sulphates and chloride.

The commune features of the caves, permit to suppose that M. Cucco represent a fossil stage of Frasassi area where the speleogenesis mechanism related to the rises of hidrothermal water is still active.

* Gruppo Speleologico CAI Jesi

* Centro Nazionale di Speleologia M.Cucco - Dipartimento di Scienze della Terra Università di Perugia

1. Introduzione

I sistemi carsici del Monte Cucco e della Gola di Frasassi rappresentano sicuramente le più note ed estese manifestazioni sotterranee di tutto l'Appennino umbro - marchigiano; essi si sviluppano complessivamente per oltre 50 km ad una distanza non superiore ai 18 km l'uno dall'altro (Fig. 1).

Oltre a questi due sistemi, oramai famosi a livello nazionale e internazionale, esistono altre aree carsiche più o meno note caratterizzate dalla presenza di estesi e complessi fenomeni ipogei: tra di essi si possono ricordare il M.te Nerone nel settore settentrionale dell'Appennino umbro - marchigiano, la zona di Acquasanta nelle Marche, la Grotta del Chiochio nei monti di Spoleto e le grotte di Parrano, e i Pozzi della Piana nell'Umbria occidentale.

Nel resto dell'Appennino umbro - marchigiano sono poi conosciute un insieme di cavità minori presenti praticamente in tutte le strutture calcaree, recentemente descritte in un lavoro sintetico (GALDENZI, 1988). Esse sono costituite principalmente da brevi cavità ad andamento verticale, talvolta attive, che si sviluppano lungo i fianchi delle aree carsificate e da anguste risorgenti sui fianchi dei massicci montuosi.

Si può osservare che nei sistemi carsici maggiori sono presenti depositi gessosi, spesso associati a circolazione di acque sulfuree e soltanto nella Grotta del Chiochio, inghiottitoio saltuariamente attivo (CATTUTO, 1962), e nelle cavità di M.te Nerone (MENICHETTI, 1973) non è segnalata la presenza di gesso.

2. Litologia

Nella parte affiorante della successione umbro - marchigiana può essere distinta una parte basale costituita dai depositi di piattaforma carbonatica del Calcare Massiccio (Lias inf.), seguita dai depositi pelagici giurassici, cretaci e paleogenici. Terreni marnosi, argillosi ed arenacei depositi a partire dall'Oligocene sovrastano la sequenza carsificabile.

Il Calcare Massiccio rappresenta sicuramente il termine più carsificabile della successione umbro marchigiana, ed in esso si sviluppano i sistemi carsici di M.te Cucco, M.te Nerone e della Gola di Frasassi. Il Calcare Massiccio si presenta grossolanamente stratificato o a stratificazione indistinta; possono essere riconosciute sequenze ciclotematiche legate alla continua oscillazione dell'ambiente deposizionale dalla laguna carbonatica alla piana tidale. La parte sommitale della sequenza è costituita prevalentemente da facies oolitiche. Il suo spessore è di circa 700 m. E' piuttosto puro ($\text{CaCO}_3 > 98\%$), ed è dotato di una elevata permeabilità dovuta sia a pori singenitici che alla fitta rete di joints e faglie che tagliano le bancate calcaree (PASSERI, 1974; GALDENZI, 1990; MENICHETTI, 1990). Le Formazioni presenti al tetto del Calcare Massiccio sono differenti in conseguenza di una articolazione del bacino umbro a partire dal Lias. Nelle zone di alto strutturale, al di sopra del Calcare Massiccio giacciono i calcari della Maiolica del Malm - Cretaceo Inf. che insieme costituiscono un importante intervallo carsificabile di oltre 800 m di potenza e confinato al tetto dalle Marne a Fu-

coidi del Cretaceo inf. Nelle zone ribassate del bacino sedimentario umbro - marchigiano, a partire dal Lias medio si sviluppa una successione pelagica con termini marnosi impermeabili del Giura medio. In questo caso si ha una ridotta continuità verticale dei litotipi carsificabili che favorisce la formazione di piccoli bacini idrogeologici, ai quali sono legati sistemi carsici ipogei di modesta estensione (GALDENZI, 1988). La presenza di più estese cavità appare, invece, legata a situazioni particolari connesse a circuiti idrogeologici più profondi.

Il Calcare Massiccio, è confinato poi alla base da una sequenza evaporitica costituita da anidriti, gesso e dolomie del Trias sup. - Evaporiti di Burano - dello spessore di almeno 1800 m, non affiorante nell'area, la cui presenza è stata accertata mediante trivellazioni.

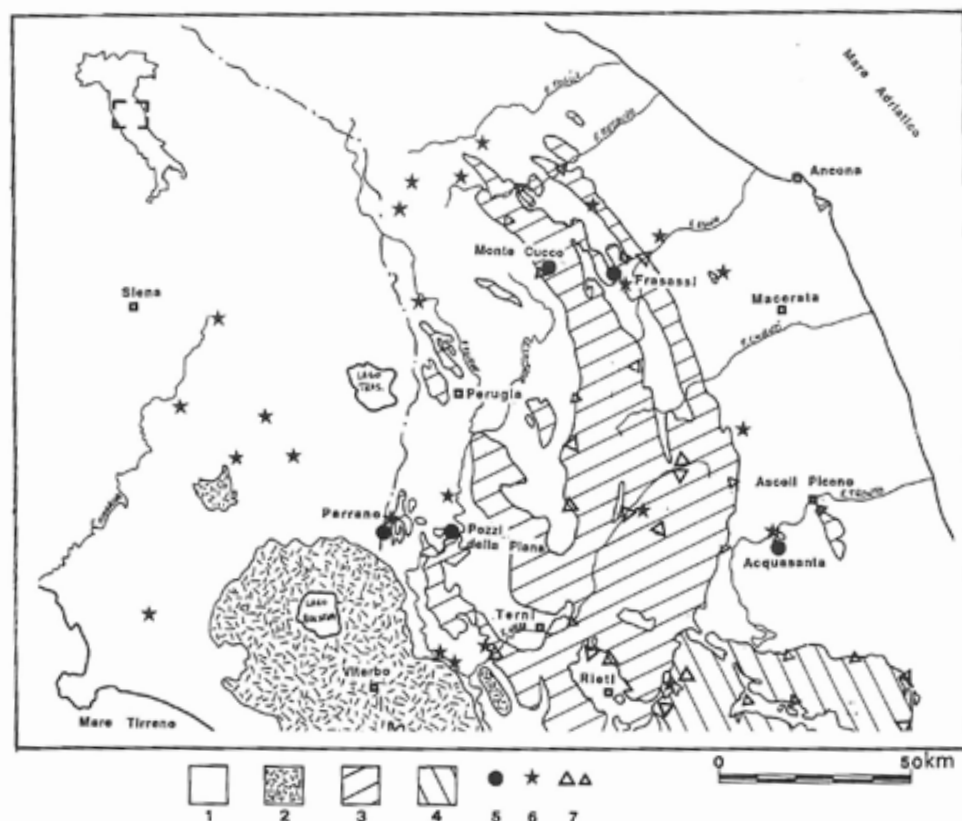


Fig. 1 - Schema geologico dell'Appennino umbro - marchigiano. 1: rocce terrigene non carsificabili (dal Paleocene al Pliocene); 2: rocce vulcaniche quaternarie; 3: rocce calcaree e calcareo marnose della successione umbro - marchigiana (dal Giurassico al Cretaceo); 4: rocce calcaree della successione laziale - abruzzese (dal Trias al Miocene); 5: aree carsiche con speleotemi solfatici; 6: principali sorgenti minerali; 7: principali sorgenti carsiche.

La presenza di questo importante livello evaporitico non affiorante influenza il chimismo delle acque provenienti dai massicci carbonatici di tutto l'Appennino centrale (BONI et al., 1986). La risalita di acque profonde, anche a causa di un debole termalismo, ha portato alla formazione di depositi travertinosi, talora abbastanza potenti, presenti generalmente in prossimità di grosse discontinuità tettoniche. Questi depositi del Pleistocene, si sviluppano entro valli fluviali e si presentano terrazzati, in relazione all'approfondimento del livello di base locale. Si tratta di materiali ad elevata permeabilità, che in più casi sono interessati da fenomeni carsici come nel caso delle Grotte delle Marmore (Terni), zona di Acquasanta Terme (Ascoli Piceno) e anche di rilevante estensione Pozzi della Piana (Fig. 1).

Altri fenomeni carsici si ritrovano nelle Marche in livelli carsificabili di modesto spessore (gessi messiniani, conglomerati marini pliocenici) compresi entro i depositi terrigeni.

3. Tettonica

L'Appennino umbro - marchigiano è costituito da una catena a pieghe con fronti di accavallamento vergenti a NE che si è sviluppata a partire dal Miocene sup. attraverso lo scollamento della copertura sedimentaria dal sottostante basamento.

L'area umbro - marchigiana è stata interessata da almeno tre fasi tettoniche: la prima giurassica, distensiva, responsabile dell'articolazione del bacino umbro - marchigiano e delle variazioni stratigrafiche nella successione stratigrafica. I suoi effetti sullo sviluppo del carsismo sono legati soprattutto alla delimitazione di strutture carbonatiche circondante da livelli impermeabili. La fase tettonica principale è costituita dalla compressione Neogenica che si è sviluppata dapprima con la formazione di pieghe ad asse orientato NW - SE, successivamente tagliate da faglie inverse e sovrascorrimenti NE vergenti. Queste strutture sono state successivamente interessate da faglie trascorrenti orientate N - S e E - W rispettivamente destre e sinistre. Questo tipo di fratture delimita i maggiori blocchi carbonatici carsici dell'Appennino umbro - marchigiano e lungo queste dislocazioni si ha la risalita di acque mineralizzate (MENICHETTI, 1987, 1990). I maggiori sistemi carsici attivi si sviluppano soprattutto lungo queste linee di discontinuità. Un sistema di joints distensivi orientati secondo un trend NE - SW più sviluppato e subordinatamente a direzione NW - SE. Queste fratture hanno un ruolo molto importante nello sviluppo del carsismo in quanto molte gallerie dei maggiori sistemi carsici del M. Cucco e della Gola di Frasassi sono impostate lungo joints a direzione NE - SW (MENICHETTI, 1987; 1990).

L'ultima fase tettonica, tutt'ora in atto come mostrato dall'attività sismica, è distensiva ed interessa tutta la parte interna della catena appenninica umbro - marchigiana. Essa è responsabile della formazione delle maggiori faglie dirette che tagliano le strutture compressive. Ad essa sembra essere associato il vulcanismo laziale e l'attività idrotermale che interessa l'Umbria occidentale.

4. Carsismo

In tutta l'area umbro - marchigiana il carsismo superficiale è poco sviluppato ed è limitato alla presenza di micromorfologie sugli affioramenti calcarei, principalmente alle quote più elevate. Piani chiusi con idrografia di tipo carsico sono diffusi invece lungo tutto la dorsale calcarea: i Piani di Monte Lago, i Piani di Colfiorito, i Piani di Castelluccio di Norcia. La loro genesi è legata soprattutto a sistemi di fratture che hanno determinate zone in tensione, ribassate rispetto alla morfologia circostante. Le caratteristiche tettoniche e l'evoluzione morfologica dell'Appennino, fanno sì che siano invece molto diffuse le forre che tagliano in molti punti i massicci carbonatici.

In generale i maggiori massicci carbonatici risultano, per effetto dell'evoluzione tettonico - strutturale isolati l'uno dall'altro e circondati da sequenze terrigene impermeabili. All'interno di ogni singola struttura lo sviluppo del carsismo è stato controllato dalla rapida evoluzione morfologica e dalla presenza di orizzonti impermeabili che interrompono in più intervalli la continuità della successione carbonatica.

I fenomeni carsici più diffusi nell'Appennino umbro - marchigiano sono normalmente riconducibili a modesti sistemi assorbenti verticali, attivi o fossili, presenti alla sommità delle strutture, accompagnati da brevi e strette risorgenti, a tubo semplice, sui fianchi delle pieghe (GALDENZI, 1988). Questo tipo di schema è applicabile con qualche modifica anche alla regione umbra, nella quale assumono maggior importanza le cavità verticali (CATTUTO & PASSERI, 1974). Pochi grandi sistemi escono da questo schema, ed evidentemente la loro origine va riconnessa a condizioni locali particolarmente favorevoli.

Si può osservare che ben quattro dei maggiori sistemi sono di andamento orizzontale, mentre i complessi di M.te Nerone e di M.te Cucco sono cavità inclinate sul fianco di anticlinali e la Grotta del Chiocchio rappresenta un inghiottitoio diretto, fatto che la differenzia decisamente da tutte le altre.

Ad eccezione della Gr. del Chiocchio e delle cavità di M.te Nerone, tutte le altre sono interessate da morfologie simili e da depositi gessosi: l'esistenza di depositi gessosi entro le cavità calcaree è piuttosto comune, ma in queste grotte diviene assai significativa, soprattutto per le notevoli dimensioni degli speleotemi gessosi. La formazione dei depositi di gesso sembra essere connessa con la circolazione di acque sulfuree provenienti dalle zone interne dei massicci carbonatici: in effetti in tre località (Acquasanta, Frasassi e Parrano) sono presenti anche attualmente emissioni di acque mineralizzate e sulfuree. Le caratteristiche di queste cavità verranno quindi analizzate in maggior dettaglio, per evidenziare analogie e differenze.

4.1. M.Cucco

A M.Cucco è possibile riconoscere sistemi fossili che sono notevolmente sviluppati ed impostati su livelli stratigrafici a più alta porosità, e le cavità attive che invece, risultano talvolta inpercorribili e impostate lungo le principali diret-

trici tettoniche (MENICHETTI, 1987). Le grotte principali sono rappresentate dalla Grotta e dalla Grotta del Faggeto Tondo.

La Grotta di Monte Cucco rappresenta l'entità carsica principale e si sviluppa per oltre 26 km raggiungendo una profondità di 945 metri (SALVATORI & NOVELLI, 1985). Il sistema ipogeo è costituito nella sua parte superiore da grandi gallerie fossili, disposte su piani sovrapposti collegate da pozzi. Tali morfologie sono comuni fino alla profondità di circa 300 m, dopo di che pozzi profondi, raccordati da gallerie inclinate secondo la stratificazione, raggiungono l'attuale livello di base a 580 m s.m. circa (MENICHETTI, 1987).

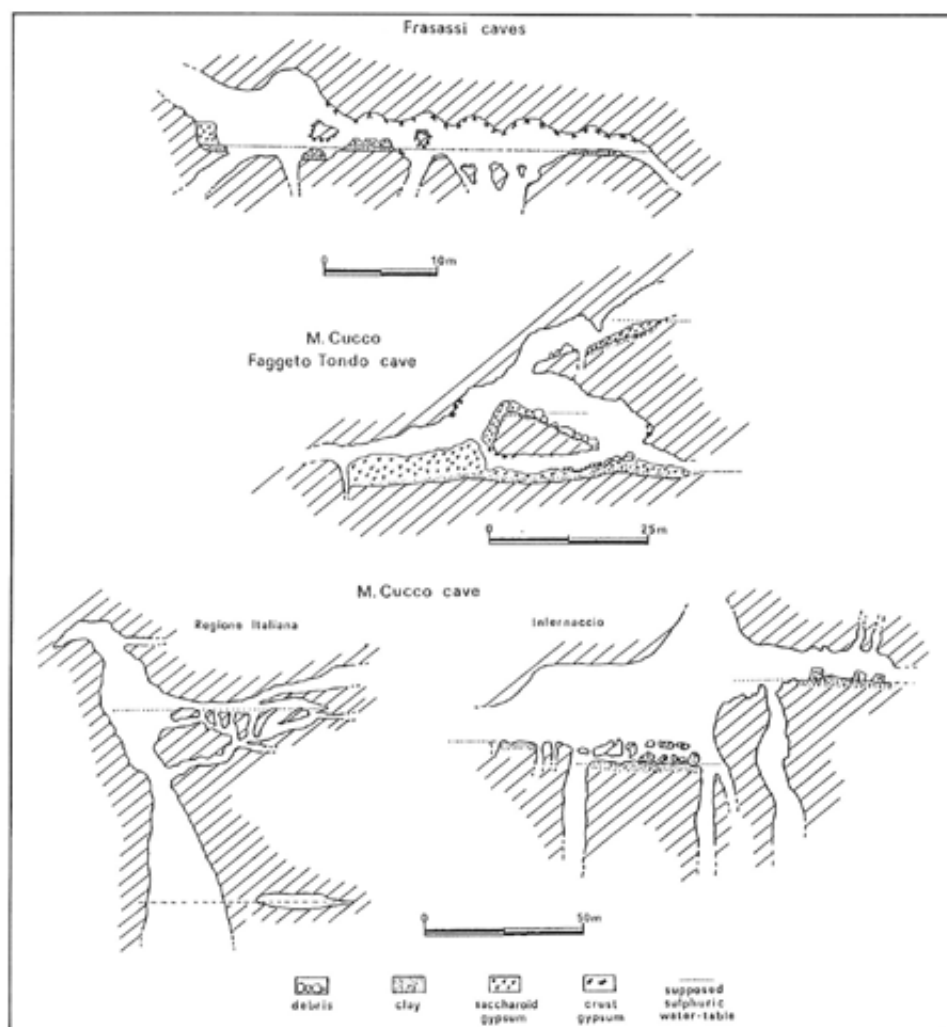


Fig. 2 - Morfologie ipogee e depositi di gesso nei maggiori sistemi carsici dell'Appennino umbro-marchigiano: Grotte di Frasassi, Grotta di Faggeto Tondo a Monte Cucco. Grotta di Monte Cucco.

La morfologia delle gigantesche gallerie è con volta ad arco allungata verso l'alto, tanto da raggiungere dimensioni di oltre 120 x 30 x 40 m sulle quali è evidente un controllo da parte di joints e faglie.

Esse presentano in alcuni punti numerose forme di concrezionamento, mentre grossi conoidi di blocchi di roccia ricoprono in più punti il pavimento. I depositi di gesso conosciuti sono situati nella Gallerie dei Barbari e nella Regione Italiana e Infernaccio (Fig. 2) e sono costituiti da gesso microcristallino in blocchi isolati per un volume complessivo di pochi metri cubi ed interessati da evidenti fenomeni di solubilizzazione da parte delle acque percolanti.

La Grotta del Faggeto Tondo (SALVATORI & NOVELLI, 1985; FORTI et al., 1989) si apre ad una quota di 1200 m s.m. sul versante occidentale del M. Cucco. Attualmente non presenta nessuna connessione con la Grotta principale. Si sviluppa completamente nella parte sommitale della Calcare Massiccio, seguendo l'andamento della stratificazione e mantenendosi al di sotto di una sottile copertura poco permeabile; è possibile suddividerla, rispetto all'ingresso, in due parti: una superiore e una inferiore. La prima, completamente fossile è costituita da una serie di gallerie di forma tubolare, inclinate secondo l'immersione degli strati, che vengono interrotte in alcuni punti da pozzi con morfologia sempre circolare. Tutta la parte superiore della grotta presenta potenti depositi di gesso macrocristallino (Fig. 2) per un volume complessivo di decine di metricubi. La Grotta di Faggeto Tondo è senza dubbio quella più ricca sia qualitativamente che quantitativamente di speleotemi solfatici. Anche nella parte inferiore della cavità si osservano morfologie simili; sono tuttavia assenti i riempimenti di gesso, al quale sembra sostituirsi una estesa deposizione di latte di monte. Questo tratto di cavità, interessato anche da una certa attività idrica, scende verso Scirca attraverso una serie di pozzi.

Uno degli elementi che caratterizzano il carsismo ipogeo di M. Cucco è costituito dal fatto che l'attuale assetto morfologico ed idrogeologico dell'area non permette di spiegare la formazione dell'esteso sistema sotterraneo, lo sviluppo di grosse gallerie e ampi pozzi di notevole profondità (MENICHETTI, 1987).

4.2. La Gola di Frasassi

Nella zona di Frasassi sono conosciute oltre 100 cavità carsiche, per uno sviluppo complessivo che supera i 25 km. La maggior parte di esse si sono sviluppate nella zona di cerniera della struttura anticlinale e sono legate alla falda principale mineralizzata; altre cavità meno estese sono legate a piccoli acquiferi sospesi o a condizioni litologiche particolari (livelli «oolitici» nel Calcare Massiccio). Le grotte collegate con l'acquifero principale si sviluppano nella zona assiale della struttura: una barriera di permeabilità costituita dalle Marne a Fucoidi del Cretaceo inf., sui fianchi della piega delimita il bacino idrogeologico e condiziona i drenaggi sotterranei. I condotti carsici hanno uno sviluppo prevalente orizzontale e sono disposti su piani sovrapposti correlabili all'evoluzione geomorfologica epigea secondo schemi proposti da diversi A. (CATTUTO 1976; BOCCHINI & COLTORTI, 1990; GALDENZI, 1990). In generale può essere riconosciuto che la

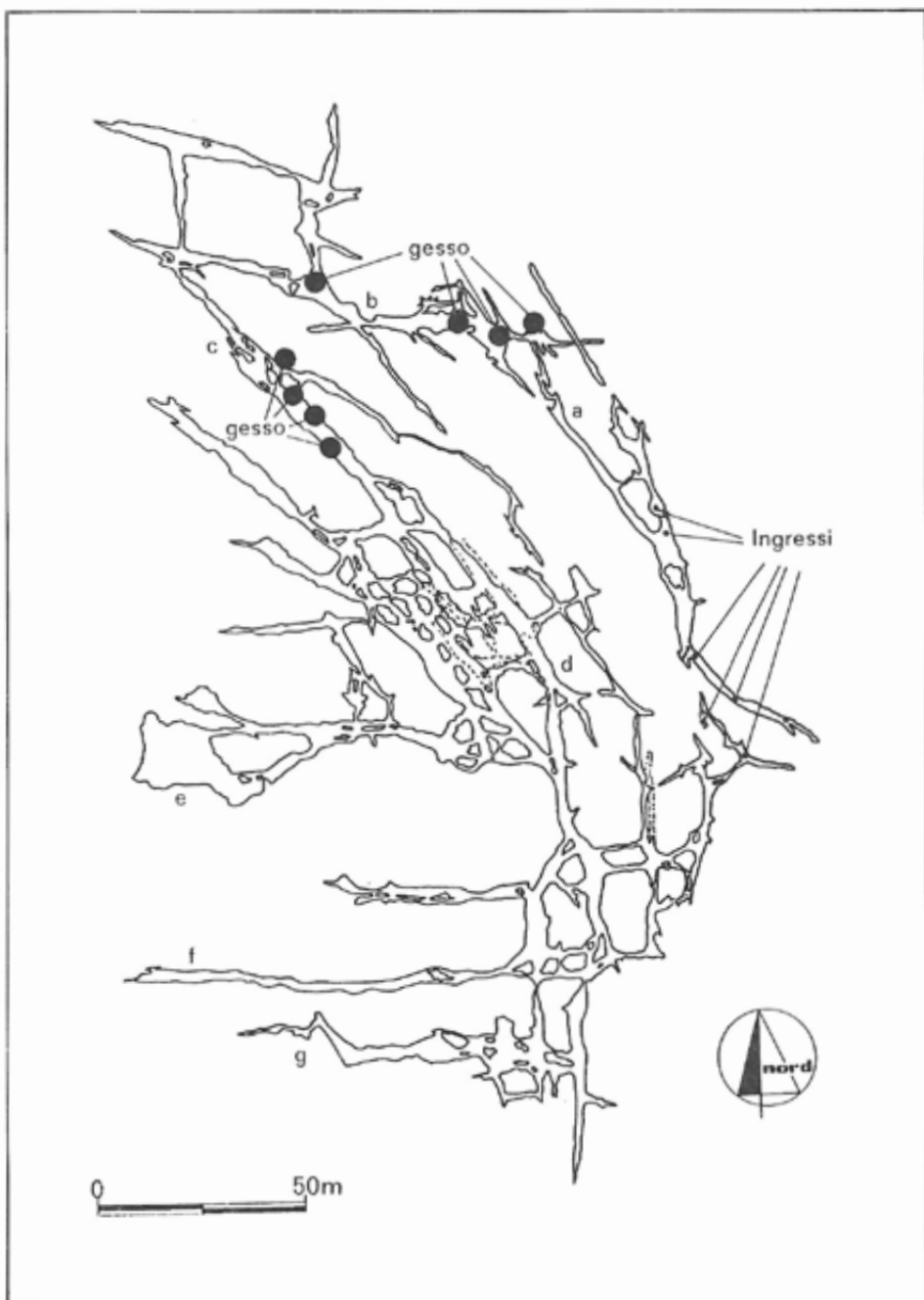


Fig. 3 - Pianta dei Pozzi della Piana 56 U/TR in comune di Orvieto (Tr). a: Cunicoli di Pirro; b: Galleria Bella; c-d: Galleria Gotica; e: Sala dei vortici; f: Galleria della grande Colonna; g: Galleria dell'Orso (Rilevo G.S.C.A.I. Perugia, 1964).

parte inferiore del sistema Grotta del Fiume - Vento si è sviluppato con modalità e situazione idrogeologica analoghe a quelle attuali; i sistemi sviluppati al di sopra dei 350 m di quota mostrano una organizzazione spaziale sostanzialmente diversa e probabilmente legata a condizioni esterne almeno in parte differenti.

Nelle grotte di Frasassi, sono assai comuni speleotemi gessosi microcristallini, presenti in grandi cumoli e in croste sulle pareti calcaree (Fig. 2); essi sono tuttora in formazione negli ambienti interessati dalla falda freatica e soggetti ad esalazioni di vapori solfurei. I grandi depositi che raggiungono anche i 1000 metri cubi, presenti sul pavimento dei maggiori saloni si sono formati in ambiente vadoso per risedimentazione gravitativa di latte di monte gessoso (GALDENZI, 1989; 1990).

In quest'area esiste una grande sproporzione tra il numero e le dimensioni dei sistemi orizzontali, assolutamente prevalenti, rispetto a quelli verticali legati agli afflussi vadosi. La sezione complessiva delle gallerie orizzontali nei diversi piani appare inoltre eccessiva rispetto alla portata delle sorgenti.

Il grande sviluppo del carsismo sotterraneo è stato generalmente collegato alla presenza di acque sulfuree secondo differenti modelli proposti da diversi Autori. Alcuni, (GALDENZI 1989; 1990) propongono per la genesi del complesso carsico, un'origine legata principalmente a reazioni di ossidazione dei solfuri nella parte superficiale della falda freatica per fenomeni di miscelazione delle acque sulfuree con normali acque bicarbonatiche percolanti, ed evidenziano il grande sviluppo delle azioni corrosive anche per effetto delle esalazioni solfuree in ambiente areato.

Altri, (CUCCHI & FORTI, 1990) ritengono invece che l'invasione di acque sulfuree (quarto stadio speleogenetico) abbia determinato un notevole incremento delle azioni corrosive in vani già esistenti, sia per reazioni di ossidazione dei solfuri, in ambiente areato, che di riduzione dei solfati, anche in fase freatica.

4.3. Pozzi della Piana e Tane di Parrano

I Pozzi della Piana, 56 U/PG, (Fig. 1) si sviluppano per oltre 2.500 m all'interno di una placca di travertino quaternario dello spessore di 70 m circa, depositasi al di sopra dei calcari e calcari marnosi del Cretaceo Sup. (Scaglia). Sono situati su un terrazzo fluviale sito sulla destra orografica del F. Tevere nelle Gole del Forello a circa 200 metri sul fondovalle. L'origine di questo travertino viene associata ad attività idrotermale legata al vulcanismo dell'area laziale. La cavità (Fig. 3), che presenta attualmente cinque ingressi praticabili, si sviluppa su piani suborizzontali sovrapposti collegati da piccoli pozzetti. Il livello più superficiale, è situato tra gli 8 e i 10 m di profondità, mentre il secondo va da 15 a 25 m dall'ingresso (PASSERI, 1973). L'andamento delle gallerie è strettamente controllato da un sistema di fratture ad andamento NW - SE, E - W e N - S. Il primo sistema è quello maggiormente sviluppato nella parte settentrionale del sistema carsico, mentre le fratture E - W controllano l'andamento delle maggiori gallerie. Le gallerie sono interessate da numerosi concrezionamenti, mentre depositi di argille ricoprono il pavimento di alcune sale. Gesso microcristallino è presente in nume-

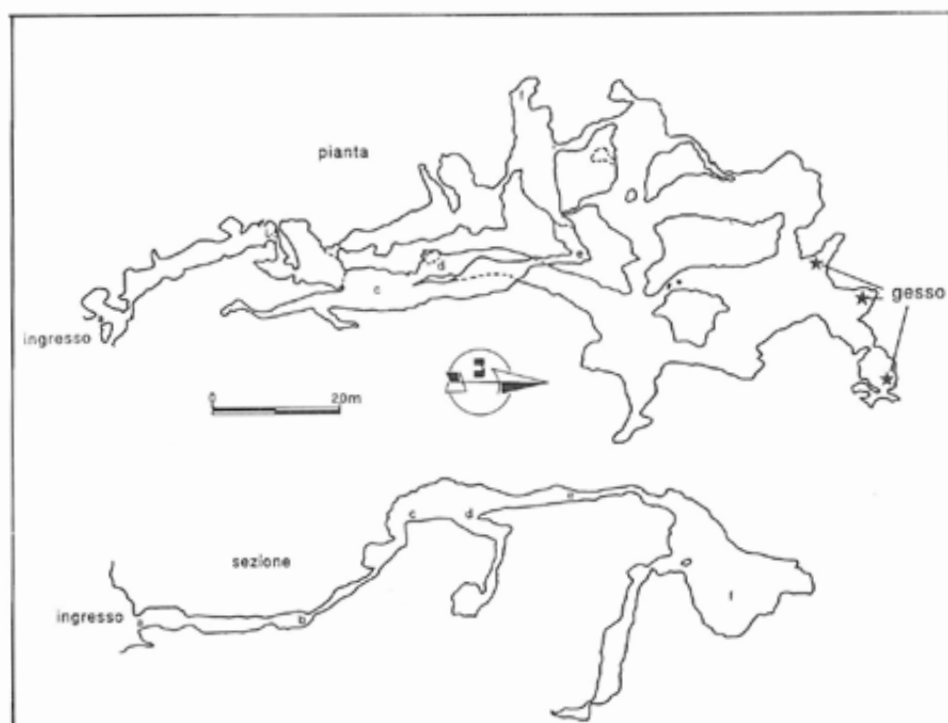


Fig. 4 - Grotta Grande di Parrano (Rilievo LIPPI BONCAMBI, 1939).

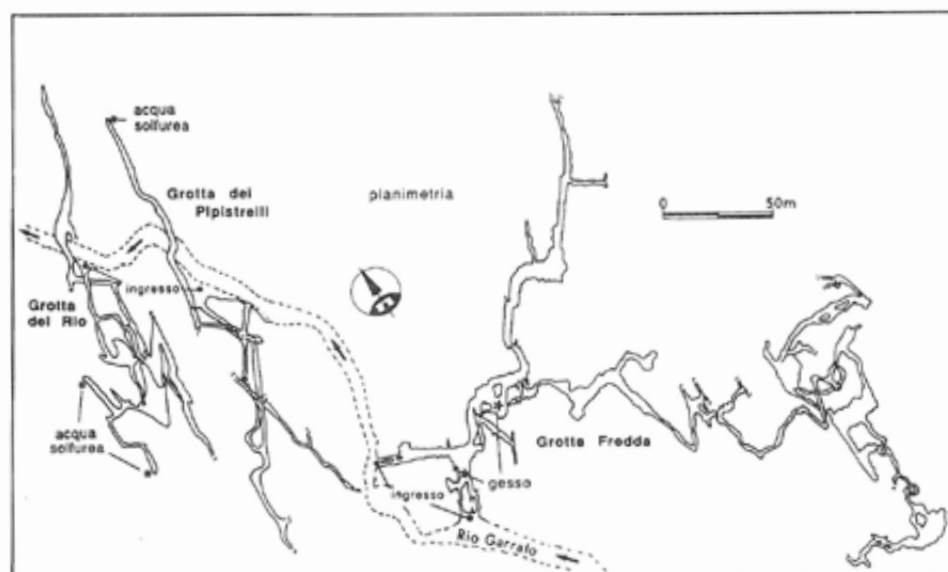


Fig. 5 - Schema del sistema carsico del Rio Garrafo, tratto dai rilievi del G.S. C.A.I. Teramo.

rose gallerie (Galleria Bella, Galleria Gotica e Cunicoli di Pirro - Fig. 4). Si tratta di depositi di alcuni decimetri cubi situati a quote diverse all'interno delle gallerie e presentano numerose tracce di dissoluzione ad opera di acque percolanti. Anche nei Pozzi della Piana i gessi sono di origine secondaria rispetto alla formazione della cavità. Le Grotte di Parrano (Fig. 1) si aprono lungo il corso del F.so del Bagno lungo la Valle del T. Chiani a NE di Orvieto, non molto distanti da una sorgente di acqua mineralizzata solfurea. Tutta l'area è interessata da un diffuso termalismo legato al vulcanismo laziale.

Si aprono all'interno di calcari del Cretaceo Sup. della Scaglia Rosata, per uno sviluppo complessivo di alcune centinaia di metri, con ampie gallerie interessate da una modesta circolazione idrica (LIPPI BONCAMBI, 1939). Nella parte terminale della cavità maggiore (Fig. 4) è presente un deposito di gesso microcristallino.

4.4. Sistemi di Acquasanta Terme

Nell'area di Acquasanta Terme (Fig. 1) in corrispondenza delle sorgenti minerali, affiorano alcuni depositi di travertino del Pleistocene inf. (BONI & COLACICCI, 1966) interessati da alcuni piccoli sistemi carsici (MAUCCI, 1951). Lungo la valle del F. Tronto in destra orografica nella Gola del Rio Garrafo si aprono numerose cavità all'interno dei calcari marnosi della Scaglia del Cretaceo sup.. Alcune di queste si sviluppano al di sotto del livello di base locale. Si tratta di tre cavità (Fig. 5) che non presentano connessioni tra di loro, la maggiore delle quali, la Grotta Fredda, si sviluppa per alcune centinaia di metri con un andamento orizzontale labirintico. In prossimità del suo ingresso sono presenti depositi di gesso microcristallino (Fig. 5). Le altre due cavità, Grotta dei Pipistrelli e Grotta del Rio, hanno un andamento verticale e raggiungono la profondità di circa 70 m dove intercettano un corso d'acqua mineralizzata e solfurea con debole termalismo (25).

5. Discussione

Risulta già ben descritta nei diversi aspetti, l'azione speleogenetica fortemente corrosiva, legata all'ossidazione di vapori di H_2S in ambiente areato (GALDENZI 1989, 1990; CUCCHI & FORTI, 1990) alla quale è stata attribuita importanza nell'ampliamento in fase vadosa dei condotti già esistenti. Nell'area umbro-marchigiana, invece le principali azioni speleogenetiche sembrano essere collegate ad una fase freatica. A tale asserzione concorrono tutta una serie di osservazioni note da molto tempo:

I - i maggiori complessi carsici si sviluppano principalmente in condizioni freatiche, in diversi litotipi calcarei.

II - la genesi e lo sviluppo di questi sistemi carsici appare generalmente legata alla presenza di acque mineralizzate, provenienti da orizzonti stratigrafici diversi da quelli carsificati, ed arricchiti in solfati, solfuri e cloruri.

III - in quelle zone dove mancano emissioni attuali di acque sulfuree si ritrovano speleotemi gessosi la cui deposizione deve necessariamente essere collegata alla risalita di acque mineralizzate.

IV - i sistemi carsici non legati alla presenza di acque mineralizzate hanno dimensioni assai più ridotte e risultano privi di depositi gessosi.

V - è già stata riconosciuta in diverse regioni, la possibilità che i sistemi carsici si sviluppino per effetto delle reazioni di ossidazione di acque sulfuree, in differenti contesti geologici.

VI - anche reazioni di riduzione dei solfati sono capaci di originare azioni corrosive sulle rocce calcaree, per effetto della liberazione di CO_2 .

Secondo quanto sopra evidenziato, si può affermare che la formazione di numerosi sistemi carsici nell'Appennino umbro - marchigiano è legata alla circolazione all'interno delle strutture carbonatiche di acque sulfuree, provenienti dagli orizzonti evaporitici triassici sottostanti al Calcere Massiccio; ciò innesca una serie di azioni corrosive per reazioni redox che coinvolgono gli ioni dello zolfo soprattutto nella zona di contatto tra la falda mineralizzata e le acque percolanti. Le modalità con cui queste azioni possono manifestarsi sono differenziate localmente per effetto delle condizioni idrogeologiche e geomorfologiche e ciò può giustificare le diverse morfologie che possono essere riscontrate in ogni singola struttura carsificata.

La comprensione del ruolo delle condizioni morfostrutturali ed idrogeologiche locali è tuttora difficoltosa: gli studi di dettaglio su questo problema risultano appena agli inizi e dati sufficienti sono noti solo per l'area di Frasassi ed, in parte, per quella di M.te Cucco; sono inoltre assai scarsi i dati sperimentali sulle caratteristiche del sistema chimico - fisico che è alla base di questi processi. Si può comunque sottolineare che tutti i sistemi carsici sono accumulati dal fatto che l'azione speleogenetica procede principalmente per effetto di fattori «esterni» al massiccio carbonatico stesso.

La risalita di acque mineralizzate sulfuree e clorate, provenienti dalla successione evaporitica triassica innesca le reazioni corrosive speleogeneticamente più significative.

A differenza di quanto avviene normalmente nel carsismo profondo, in questo caso le reazioni corrosive non si sviluppano dall'esterno del massiccio carbonatico verso il suo interno, ma procedono dall'interno stesso della massa carsificata, portando alla formazione di sistemi carsici volumetricamente sovradimensionati rispetto ai bacini idrogeologici entro i quali si sviluppano.

Bibliografia

- BERTOLANI M., GARUTI G., ROSSI A. & BERTOLANI MARCHETTI D., 1976 - *Motivi di interesse mineralogico petrografico nel complesso carsico Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume* (Genga - Ancona). *Le Grotte d'Italia*, 4, VI, 109-144.
- BONI C. & COLACICCHI R., 1966 - *I travertini della valle del Tronto*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 5, 315-339.

- BOCCHINI A. & COLTORTI M., 1990 - *Il complesso carsico Grotta del Fiume-Grotta Grande del Vento ed evoluzione morfologica della Gola di Frasassi*. In: GALDENZI & MENICHETTI (a cura di) - *Il Carsismo della Gola di Frasassi*, Mem. Ist. It. Spel., II, 4, 155-180.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G., 1986 - *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1021.
- CATTUTO C., 1962 - *Alcune considerazioni sulla Grotta del Chiocchio*. Rass. Spe. It., XIV, 3.
- CATTUTO C., 1976 - *Correlazioni tra piani carsici ipogei e terrazzi fluviali nella valle dell'Esino*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 313-326.
- CATTUTO C. & PASSERI L., 1974 - *Relazioni tra idrologia carsica e litologia nell'area umbro-marchigiana*. Atti Cong. Naz. Spel., Genova 1972, I, 227-238.
- CIARAPICA G. & PASSERI L., 1978 - *Speleotemi solfatici e fasi sedimentarie carsiche*. Int. Cong. «Paleokarstic versus neokarstic process and their economic importance» Napoli, 1978.
- CUCCHI F. & FORTI P., 1990 - *Evoluzione speleogenetica del complesso carsico Grotta del fiume - Grotta Grande del vento (S. Vittore di Genga - Marche)*. In: GALDENZI & MENICHETTI (a cura di) - *Il Carsismo della Gola di Frasassi*, Mem. Ist. It. Spel., II, 4, 143-154.
- FORTI P., MENICHETTI M. & ROSSI A., 1989 - *Speleothems and Speleogenesis of the Faggeto Tondo cave (Umbria - Italy)*. X Cong. Int. Speleol. Budapest, I, 74-76.
- FORTI P. & RABBI E., 1981 - *The role of CO₂ in gypsum spelogenesis: 1 contribution*. Int. J. Speleol., 11, preprints.
- GALDENZI S., 1986 - *Il carsismo dei calcari pelagici dell'Appennino umbro-marchigiano: il ruolo degli orizzonti impermeabili nella canalizzazione sotterranea di una catena a pieghe*. Journ. Int. de Karstologie, Metz, 23-25 Mai 1985.
- GALDENZI S., 1987 - *I depositi gessosi nelle grotte calcaree di Frasassi: giacitura ed origine* XV Cong. Naz. Spel. Castellana Grotte, Preprints p. 42.
- GALDENZI S., 1990 - *Litostratigrafia giurassica e speleogenesi nella struttura di Frasassi*. In «GALDENZI & MENICHETTI» Ed. «Il Carsismo della Gola di Frasassi» Mem. Ist. It. Spel. II, 4, 53 - 64.
- GALDENZI S., 1990 - *Un modello genetico per la Grotta Grande del Vento*. In «GALDENZI & MENICHETTI» Ed. «Il Carsismo della Gola di Frasassi» Mem. Ist. It. Spel., II, 4, 123 - 142.
- GALDENZI S., MENICHETTI M., 1989 - *Space time evolution of underground karst system in the Umbria - Marche Apennines in Central Italy*. X^o Cong. int. spel., Budapest, 3, 748 - 750.
- LIPPI BONCAMBI C., 1939 - *Le Grotte di Parrano*. Grotte d'Italia, 2, 3.
- MAUCCI W., 1951 - *La Grotta termale di Acquasanta*. Atti 6^o Cong. Naz. Spel.
- MENICHETTI M., 1974 - *Gli speleologi eugubini alla Grotta delle Tassare al Monte Nerone 9 MA/PS. L'Appennino, XXII, 2, 1 - 4*.
- MENICHETTI M., 1985 - *Caratteristiche chimico - fisiche delle acque carsiche dell'Appennino umbro - marchigiano*. Atti Congresso Naz. Biosp. Città di Castello - Marzo 1985, ed. Prhmos, 33 - 73.
- MENICHETTI M., 1987 - *Evoluzione spazio temporale del sistema carsico del Monte Cucco*. Atti XV Conv. Naz. Spel. Bari. 731 - 762.
- MENICHETTI M., 1990 - *Influenze tettonico - strutturali nello sviluppo del carsismo della Gola di Frasassi*. In «GALDENZI & MENICHETTI» Ed. «Il Carsismo della Gola di Frasassi» Mem. Ist. It. Spel., II, 4, 65 - 92.
- PASSERI L., 1972 - *Ricerca sulla porosità delle rocce carbonatiche nella zona di M. Cucco, in relazione alla genesi della canalizzazione interna*. Le Grotte d'Italia, 4 - 3, 5 - 44.
- PASSERI L., 1973 - *Canalizzazione sotterranea in regime di fluttuazione freatica nel travertino della Piana (Umbria)*. Ras. Spe. It., XXV, 1 - 4, 83 - 97.
- PASSERI L., 1974 - *Porosità primaria delle rocce carbonatiche e canalizzazione freatica*. Le Grotte d'Italia, 4, 3, 55 - 60.
- SALVATORI F., 1974 - *Ipotesi sulla carsificazione dei ciclotemi di M. Cucco in relazione alle caratteristiche dinamiche del flusso freatico*. Atti Congresso Naz. Spel., Genova, II, 5 - 12.
- SALVATORI F., 1978 - *Contributo alla conoscenza dei meccanismi speleogenetici delle reazioni di solubilizzazione delle rocce carsogene*. Atti XIII Congresso Naz. Speleol. Perugia 1978.

- SALVATORI F., 1987 - *Meccanismi speleogenetici e idrodinamica carsica*. Corso Nazionale di specializzazione in chimica dei carbonati e solfati in ambiente carsico. Centro Nazionale di Speleologia, Costacciaro, Aprile 1987.
- SALVATORI F., NOVELLI A., 1985 - *Sistema sotterraneo di Monte Cucco* - Sezione E - W e planimetria a scala 1:5.000. 2 fogli.

GRAZIANO CANCIAN*

LE CARATTERISTICHE MINERALOGICHE DEI SEDIMENTI TRASPORTATI DALLE ACQUE SOTTERRANEE DEL CARSO, TRA L'ISONZO ED IL TIMAVO SUPERIORE

RIASSUNTO - Con questa ricerca si è voluto vedere se i sedimenti fini, trasportati dalle acque sotterranee del Carso, possono essere usati come traccianti naturali. A questo scopo sono stati raccolti diversi campioni in 16 località: sorgenti, grotte attraversate dalle acque e fiumi che circondano l'area esaminata (Isonzo, Vipacco, Timavo).

È seguito poi uno studio tramite diffrazione ai raggi x (DRX).

In particolare si sono rivelate utili la composizione mineralogica totale e le caratteristiche cristallochimiche dell'illite.

Dove i sedimenti derivano, magari solo in parte, da litotipi marnoso-arenacei (ad esempio nel sistema idrico del Timavo), vi è una maggiore percentuale di quarzo e di feldspati, con presenza di K-feldspato ed Na-plagioclasio. Inoltre l'illite, pur essendo spesso attribuibile a «muscovite», rientra anche nei campi «biotite-muscovite» e «phengite».

Dove invece i sedimenti derivano da prevalenti litotipi carbonatici (ad esempio nel Carso goriziano), vi è una maggiore percentuale di carbonati o di minerali argillosi. Inoltre il K-feldspato è molto più scarso e l'illite è quasi sempre muscovitica, con un maggiore grado di cristallinità del caso precedente.

ABSTRACT - We have picked up several samples of sediments transported by underground waters in 16 localities of the Karst. Then we have identified the minerals by DRX (quartz, Na-plagioclase, K-feldspar, phyllosilicates, calcite and dolomite) and have made a quantitative estimation.

At last we have studied the clay-minerals (illite, chlorite, kaolinite and smectite) and in particular the features of illite, that is the most abundant.

These data show some mineralogical differences among the sediments of the Gorizia Karst, the system of Timavo's waters and the Moschenizze - Sardos - Aurisina springs.

This confirms the contribution of the Isonzo's waters to the underground waters of the Gorizia Karst and the contribution of upper Timavo to Trebiciano cave, 4853 VG cave and «Timavo's springs» near S. Giovanni di Duino.

Instead the sediments of the Moschenizze and Sardos springs show a intermediate features between the two above mentioned groups, while the hydrogeology of the Aurisina springs is conditioned by the barrage of flysch to the sea.

* Società di Studi Carsici «Lindner», Fogliano (Gorizia).

1. Introduzione

Le ricerche sull'idrologia sotterranea del Carso si sono avvalse di varie metodiche. In particolare in questi ultimi decenni si è ricorsi all'immissione di traccianti artificiali, anche radioattivi, (MOSETTI et al., 1963), oppure sono state eseguite analisi chimiche sui «traccianti naturali» (MOSETTI & POMODORO, 1967, GEMITI & LICCIARDELLO 1977, CANCIAN, 1987, ecc.). Poco invece è stato detto sui sedimenti che vengono trasportati dalle acque: a questo proposito ricordiamo soltanto gli studi mineralogici sulle sabbie di SALMOIRAGHI (1905) ed un lavoro di COMIN - CHIARAMONTI & BUSSANI (1973) sulle argille di S. Canziano, dell'Abisso di Trebiciano e delle foci del Timavo.

Volendo approfondire questo campo di ricerca, abbiamo effettuato nuove analisi su diversi campioni di sedimenti raccolti allo sbocco di sorgenti, in grotte attraversate dalle acque e nei fiumi che circondano l'area esaminata (Fig. 1). I prelievi sono stati effettuati nelle seguenti località:

- 1) fiume Isonzo, riva sinistra, località Mainizza;
- 2) fiume Vipacco, riva sinistra, località Gabria;
- 3) fiume Timavo sup. (Reka), presso Famlje;
- 4) abisso di Trebiciano 17 VG, cumulo di sabbia nella caverna Lindner;
- 5) grotta del Timavo 4583 VG, presso le «risorgive del Timavo»;

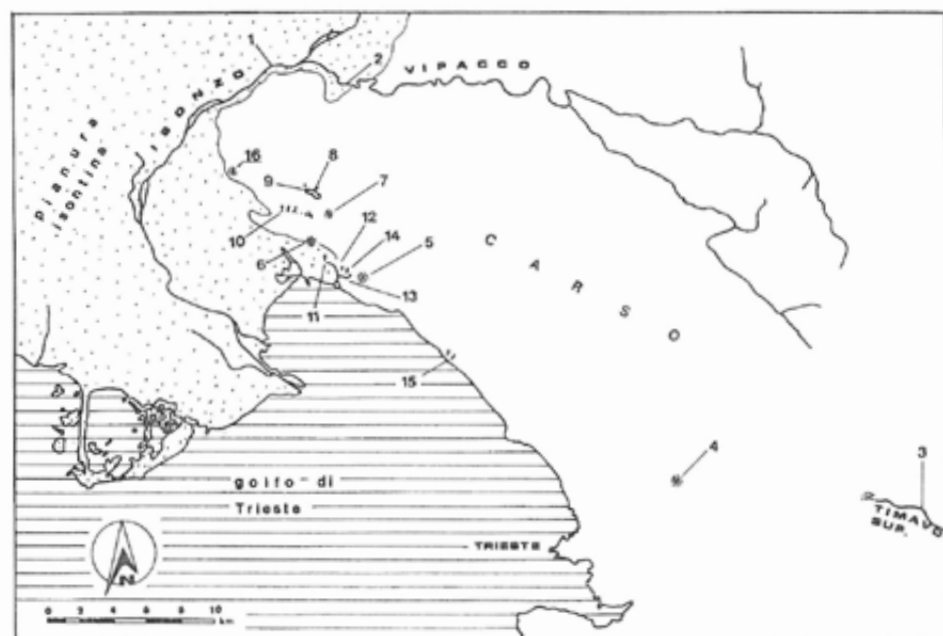


Fig. 1 - Pianta della zona esaminata. I numeri indicano le località di prelievo dei sedimenti.

- 6) *grotta presso la 4512 VG - 5467 VG*, Carso Monfalconese, lungo il nuovo raccordo ferroviario del Lisert;
- 7) *grotta Andrea 4804 VG*, Carso Monfalconese, presso Jamiano;
- 8) *sorgente «nord» del lago di Doberdò*, piccola sorgente nel lato settentrionale del lago;
- 9) *sorgenti principali del lago di Doberdò*, lato ONO del lago;
- 10) *sorgenti di Pietrarossa*, la più occidentale delle sorgenti perenni;
- 11) *sorgenti Lisert*, la più orientale delle sorgenti;
- 12) *sorgenti Moschenitze*, sorgente intermedia tra tutte quelle che si trovano nella riva sinistra del canale;
- 13) *risorgive del Timavo*, presso S. Giovanni di Duino, ramo secondo;
- 14) *sorgenti Sardos* (sorgenti Randaccio), nel bacino di presa;
- 15) *sorgenti di Aurisina*, presso il Laboratorio di Biologia Marina;
- 16) *pozzo di Polazzo*, pozzo profondo circa 18 m, con 3 m di acqua sul fondo.

2. Impostazione delle ricerche

I sedimenti sono stati studiati tramite diffrattometria ai raggi x (DRX) nell'Ist. di Mineralogia dell'Università di Trieste, usando il diffrattometro Siemens D-500 nelle seguenti condizioni: radiazione Cu- α filtrata con Ni, 20 mA, 40 kV, $v = 2^\circ$ (2 θ)/min. Le analisi sono state effettuate prima sul «totale» e poi sulla frazione di diametro sferico equivalente compreso tra 2 e 0.5 micron, ottenuta per sedimentazione in sospensione acquosa.

Per avere un'idea approssimata della composizione quantitativa si sono adottati i metodi usati in precedenti ricerche (CANCIAN et al., 1986). Pur trattandosi di una stima, adoperando la stessa metodica su tutti i campioni è possibile fare dei raffronti, e questo è quello che più ci interessa.

Tranne due eccezioni (grotte 4583 e 5467 VG) sono stati eseguiti più prelievi, per cui le percentuali riportate nelle Tab. 2 e 3 devono intendersi come medie.

3. Risultati della DRX sul «totale»

I risultati delle analisi, riportate in Tab. 2, indicano che i sedimenti sono composti da: *fillosilicati*, *quarzo*, *Naplagioclasio*, *K-feldspato*, *calcite* e *dolomite*. Sono state trovate anche tracce di: *gibbsite* (grotta Andrea, sorg. «nord» lago Doberdò), *boehmite* (Vipacco), *gesso* (Timavo sup., sorg. «nord» lago Doberdò), *rodocrosite* (sorg. Aurisina, abisso Trebiciano) e *carbonte* (abisso Trebiciano).

Il *quarzo* ed i *feldspati* sono più abbondanti nei sedimenti del sistema idrico del Timavo (camp. 3, 4, 5, 13) rispetto all'Isonzo ed al Carso isontino (camp. 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11). I carbonati invece (*calcite* e *dolomite*) hanno un comportamento contrario (Fig. 2); quando scarseggiano aumentano i minerali argillosi.

Inoltre *K-feldspato* è più frequente nelle acque che attraversano litotipi marnoso - arenacei (Vipacco, sistema idrico del Timavo, sorgenti di Aurisina).

Qui si trovano anche i più bassi rapporti Qz/F (Tab. 1), dove Qz = quarzo ed F = K-feldspato + Na - plagioclasio.

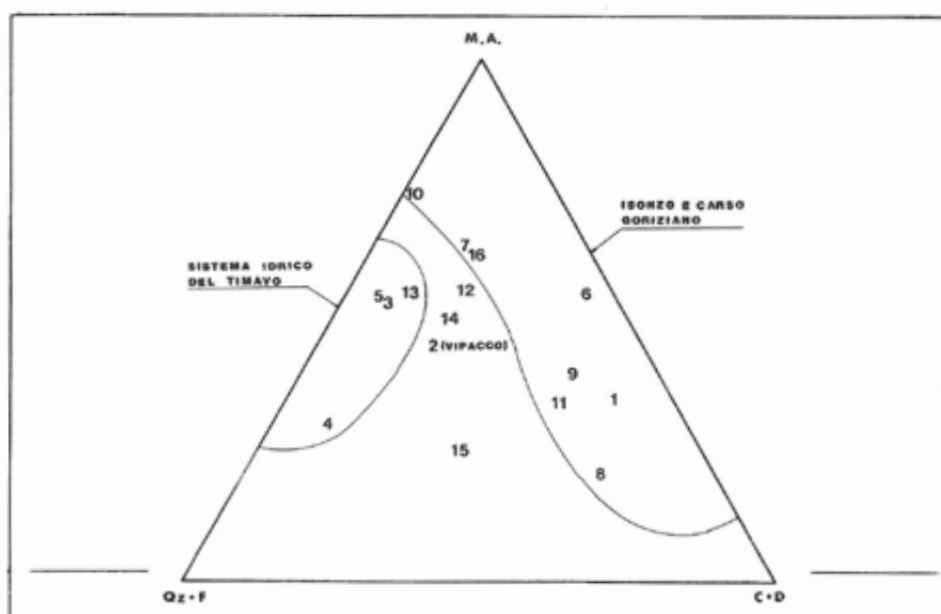


Fig. 2 - M.A.: totale dei minerali argillosi (illite + clorite + caolinite + smectite); Qz + F: quarzo + (K-feldspato + Na-plagioclasio); C + D: calcite + dolomite.

I numeri indicano le località di prelievo, come indicato dal testo e dalle tabelle.

Questo diagramma triangolare indica una diversità di composizione mineralogica tra i sedimenti del «sistema idrico del Timavo» e quelli dell'Isonzo e del Carso Goriziano. Intermedi tra i due gruppi si trovano i sedimenti del Vipacco e delle sorgenti Moschenizze (12), Sardos (14), Aurisina (15).

LOCALITA'	Qz/F	σ
- fiume Isonzo	5.1	2.0
- fiume Timavo (Reka)	4.0	0.9
- fiume Vipacco	4.2	2.1
- sorgenti e grotte del Carso isontino	7.2	3.9
- sorgenti e grotte collegate all'idrologia del Timavo	3.5	0.4
- sorgenti di Aurisina	2.1	0.5
- sorgenti Sardos (Randaccio)	3.3	1.5
- sorgenti di Moschenizze	4.5	0.5

Tab. 1 - Qz/F: rapporto quarzo/feldspati; σ : deviazione standard.

4. Risultati della DRX sulla «frazione argillosa»

Dal punto di vista statistico il minerale argilloso più abbondante è l'*illite* (60%), seguito da *clorite* (20%), *caolinite* (13%), e *smectite* (7%), che talvolta è addirittura assente. Purtroppo questa composizione è molto omogenea e quindi non è utilizzabile come tracciante.

Si potrebbe rilevare soltanto che la *smectite* è relativamente più abbondante nell'area compresa tra le «risorgive del Timavo», la grotta Andrea presso Jamiano e la grotta 5467 VG a Monfalcone.

Molto più interessanti si sono rivelate invece le caratteristiche cristallografiche dell'*illite*. Si è visto infatti che il suo grado di cristallinità, espresso dall'indice di Kubler, è più basso nell'Isonzo e nel Carso Isontino (camp. 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16) rispetto al sistema idrico del Timavo (camp. 3, 4, 5, 13) ed al complesso di sorgenti Moschenizze - Sardos - Aurisina (camp. 12, 14, 15).

Inoltre, riportando nel diagramma di Esquevin (in TOREZ, 1976) il rapporto delle intensità dei riflessi (002)/(001) si ricava che la *muscovite* è nettamente prevalente in tutte le località. Solo in alcuni casi l'*illite* rientra invece nei campi *phengite* e *biotite* + *muscovite*.

Le eccezioni sono state riscontrate in qualche campione del Vipacco, del Timavo superiore, dell'Abisso di Trebiciano e delle sorgenti di Aurisina, cioè dove vi è un apporto, magari parziale, di sedimenti che derivano da litotipi marnoso - arenacei.

5. Conclusioni

I dati raccolti confermano le suddivisioni delle acque, effettuate in passato, in base al loro chimismo. Si riconoscono infatti 4 gruppi:

a) Isonzo e Carso isontino (camp. 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 16): sedimenti più ricchi in carbonati oppure in minerali argillosi e relativamente poveri in quarzo + feldspati; rapporto Qz/F più alto degli altri gruppi; K-feldspato molto scarso o assente; *illite* meno cristallizzata e composizione quasi sempre *muscovite*.

b) Sistema idrico del Timavo (camp. 3, 4, 5, 13): sedimenti più ricchi in quarzo + feldspati e poveri in carbonati; rapporto Qz/F più basso del gruppo precedente; presenza di K-feldspato; *illite* con un maggior grado di cristallinità e composizione compresa tra *biotite* + *muscovite* e *muscovite*.

c) Sorgenti di Moschenizze e Sardos (camp. 12 e 14): presentano caratteristiche intermedie tra i due gruppi precedenti.

d) Sorgenti di Aurisina (camp. 15): sedimenti ricchi in carbonati; basso rapporto Qz/F; *illite* bene cristallizzata con composizione variabile tra *biotite* + *muscovite* e *muscovite*.

In precedenza si è visto che certe caratteristiche mineralogiche dei sedimenti possono indicare apporti tra litotipi marnoso - arenacei. Utilizzando questi dati, eventualmente integrati da altre informazioni, si conferma che le acque sotterranee del Carso goriziano sono alimentate in buona parte dall'Isonzo, ed in maniera solo subordinata dal Vipacco, il cui percorso si svolge in buona parte entro il flysch.

Le acque dell'Abisso di Trebiciano, della Grotta del Timavo 4583 VG e delle risorgive omonime ricevono invece forti contributi dal Timavo superiore (Reka). Ciò è testimoniato dai sedimenti che si originano sia da rocce carbonatiche sia da formazioni marnoso - arenacee, che affiorano per l'appunto nell'alto corso di questo fiume.

Si osserva inoltre una progressiva diminuzione del contenuto di illite nelle argille, procedendo da monte verso valle, mentre, al contrario aumenta la smectite. Una relazione inversa illite - smectite si osserva anche nelle argille del Carso isontino.

Più complessa è invece l'idrologia delle sorgenti di Moschenizze, Sardos ed Aurisina.

Sia in questa che in altre ricerche (CANCIAN, 1987, 1988) si vede sempre che le sorgenti di Moschenizze hanno caratteristiche intermedie tra quelle del Carso

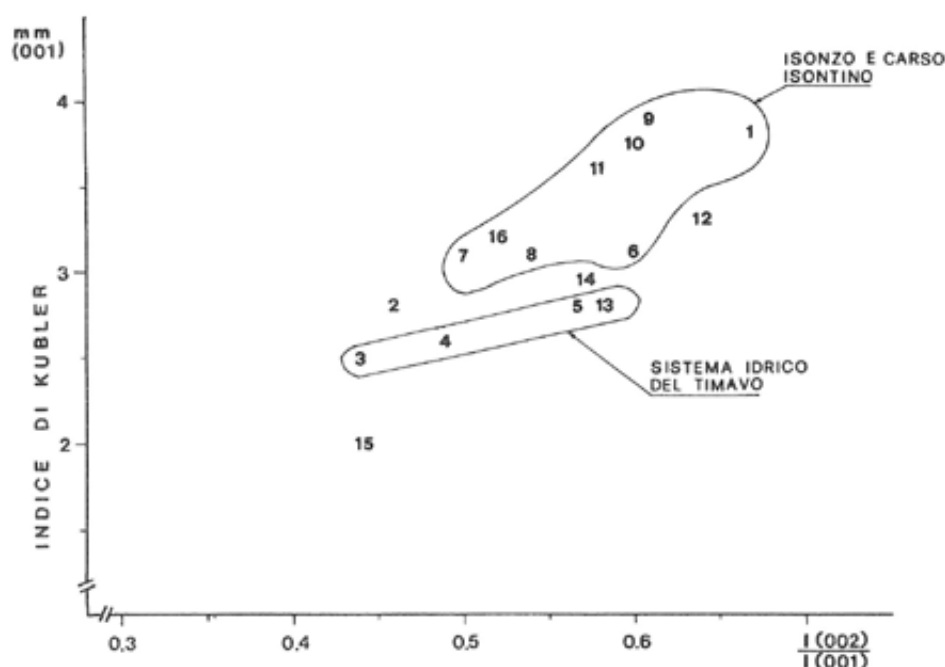


Fig. 3 - Caratteristiche cristallografiche dell'illite.

I numeri si riferiscono alle località di raccolta dei campioni, come appare nel testo e nelle tabelle.

In ordinate si riporta l'indice di Kubler, che misura il grado di cristallinità e che si ricava misurando la larghezza in mm, a metà altezza, del riflesso (001).

In ascisse invece viene indicato il rapporto tra le intensità dei picchi (002) e (001). Valori più alti di 0.4 indicano illiti a composizione muscovitica.

Anche in questo caso è possibile distinguere le illiti del «sistema idrico del Timavo», generalmente bene cristallizzate, da quelle dell'Isonzo e del Carso isontino che lo sono in misura inferiore.

I valori riportati sono stati ottenuti come media.

goriziano e le «risorgive del Timavo» (S. Giovanni di Duino), perciò non si esclude un contributo da entrambe le acque, e forse anche dal Vipacco. Importante dovrebbe essere inoltre l'apporto idrico delle acque di infiltrazione, collegate alla piovosità sul Carso.

Lo stesso discorso vale per le sorgenti Sardos, solo che in questo caso le caratteristiche dell'illite sono più vicine a quelle delle «risorgive del Timavo».

Infine l'idrogeologia delle sorgenti di Aurisina è condizionata dalla tampo-

LOCALITA'	Qz	Na-P	K-F	D	C	TA
1 fiume Isonzo	10	tr	-	25	30	35
2 fiume Vipacco	30	5	tr	5	15	45
3 fiume Timavo sup.	35	5	tr	tr	5	55
4 abisso Trebiciano	45	10	5	tr	10	30
5 grotta Timavo	30	10	tr	tr	5	55
6 grotta 5467 VG	5	tr	-	30	10	55
7 grotta Andrea	15	5	-	tr	15	65
8 sorg. nord lago Dob.	20	tr	-	40	20	20
9 sorg. lago Doberdo'	15	tr	-	15	30	40
10 sorg. Pietrarossa	20	5	tr	tr	-	75
11 sorg. Lisert	20	tr	-	5	40	35
12 sorg. Moschenizze	20	5	tr	15	5	55
13 risorg. Timavo	30	5	tr	tr	10	55
14 sorg. Sardos	25	5	tr	10	10	50
15 sorg. Aurisina	25	10	5	tr	35	25
16 pozzo di Polazzo	20	tr	-	-	15	65

Tab. 2 - Stima della composizione del «totale» dei sedimenti. Qz: quarzo, Na-P: Na-plagioclasio, K-F: K-feldspato, D: dolomite, C: calcite, TA: totale dei minerali argillosi (illite, clorite, caolinite, smectite). Tutti i valori sono espressi in %; tr: tracce.

natura flyschioide del Carso nel lato verso il mare. Nei campioni raccolti in questa località sono stati trovati infatti i più alti tenori in Na - plagioclasio ed in K-feldspato, fatto che può essere spiegato con un vicino apporto di sedimenti di natura flyschioide. Alla stessa conclusione si arriva esaminando le caratteristiche cristallografiche dell'illite. Si presume quindi che accanto ad acque di scorrimento verticale (acque di infiltrazione), ricche di carbonati, ne esistano altre di scorrimento orizzontale, a contatto tra i calcari ed il flysch.

Si ringrazia: l'Ist. di Mineralogia e Petro dell'Univ. di Trieste per aver consentito l'effettuazione delle analisi diffrattometriche.

	LOCALITA'	IL	CL	KA	SM
1	fiume Isonzo	60	25	15	0
2	fiume Vipacco	60	25	10	5
3	fiume Timavo sup.	70	20	10	tr
4	abisso Trebiciano	65	20	15	tr
5	grotta Timavo	60	20	10	10
6	grotta 5467 VG	60	15	15	10
7	grotta Andrea	55	20	15	10
8	sorg. "nord" lago D.	60	20	10	10
9	sorg. lago Doberdo'	65	20	10	5
10	sorg. Pietrarossa	65	25	10	tr
11	sorg. Lisert	50	15	20	15
12	sorg. Moschenizze	40	20	20	20
13	risorg. Timavo	50	15	20	15
14	sorg. Sardos	65	20	10	5
15	sorg. Aurisina	75	15	5	5
16	pozzo di Polazzo	60	20	15	5

Tab. 3 - Stima della composizione semiquantitativa dei «minerali argillosi». IL: illite; CL: clorite; KA: caolinite; SM: smectite. Tutti i valori sono espressi in %.

	LOCALITA'	IND. KUBLER	I (002)/I (001)	
1	fiume Isonzo	3.8	0.67	(0.58-0.77)
2	fiume Vipacco	2.8	0.46	(0.26-0.60)
3	fiume Timavo sup.	2.5	0.44	(0.22-0.66)
4	abisso Trebiciano	2.6	0.49	(0.27-0.62)
5.	grotta Timavo	2.8	0.57	
6.	grotta 5467 VG	3.1	0.60	
7.	grotta Andrea	3.1	0.50	(0.46-0.54)
8	sorg. nord lago Dob.	3.1	0.54	(0.50-0.62)
9	sorg. lago Doberdo'	3.9	0.61	(0.57-0.67)
10	sorg. Pietrarossa	3.7	0.60	(0.41-0.69)
11	sorg. Lisert	3.6	0.58	(0.45-0.77)
12	sorg. Moschenizze	3.3	0.64	(0.57-0.70)
13	risorg. Timavo	2.8	0.58	(0.44-0.68)
14	sorg. Sardos	2.9	0.57	(0.48-0.66)
15	sorg. Aurisina tot.	2.0	0.44	(0.30-0.72)
16	pozzo di Polazzo	3.2	0.52	(0.48-0.56)

Tab. 4 - Parametri cristallografici dell'illite.

Nella prima colonna compare l'indice di Kubler (indice di cristallinità espresso dalla larghezza in mm - a metà altezza - del riflesso (001)). segue il rapporto medio delle intensità dei riflessi (002)/(001). Tra parentesi vengono riportati valori estremi.

Statisticamente l'illite ha una composizione muscovitica predominante in tutti i campioni. Solo nel Vipacco, nel Timavo sup., nell'Abisso di Trebiciano e nelle sorg. di Aurisina alcune illiti rientrano anche nei campi biotite + muscovite e phengite.

Bibliografia

- CANCIAN G., 1987 - *L'idrologia del Carso goriziano - triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*. Studi Trent. di Sc. Nat., vol. 64, acta geol., 77 - 98, Trento.
- CANCIAN G., 1988 - *Significato idrologico della concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nelle acque sotterranee tra il lago di Doberdò e le risorgive del Timavo*. Mondo Sotterraneo, anno XII, n. 1-2, 11-19, Udine.
- CANCIAN G., CHIORBOLI S. & LENZI G., 1986 - *Studio mineralogico preliminare sulle «terre rosse» del Carso goriziano, monfalconese e triestino*. Univ. di Ferrara. Ist. di Mineral., SATE, Ferrara.
- COMIN CHIAROMONTI P. & BUSSANI M., 1973 - *Studio mineralogico delle argille di S. Canziano, dell'abisso di Trebiciano e delle foci del Timavo (Timavo inferiore)* Mondo Sotterr., 37-48.
- GEMITI F. & LICCIARDELLO M., 1977 - *Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*. Annali del Gr. Grotte Ass. XXX Ottobre, vol. VI, Trieste.
- KUBLER B., 1968 - *Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinité de l'illite. Etat des progres realises ces dernieres annees*. Bull. Cen. Rech. Pau. S.N.P.A., 2, 385-397.
- MOSETTI F., ERIKSSON E., BIDOVEC F., HODOSCHEK K. & OSTANEK L., 1963 - *Un nuovo contributo alla conoscenza dell'idrologia sotterranea del Timavo*. Tecnica Italiana, Riv. Ing. Sci., v. 28 (4).
- MOSETTI F. & POMODORO P., 1967 - *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema del Timavo*. L'acqua, XLV, n. 4.
- SALMOIRAGHI F., 1905 - *Sulla continuità sotterranea del fiume Timavo*. Alpi Giulie, sett. ott., Trieste.
- TOREZ J., 1976 - *Practical identification of clay minerals. A handbook for teachers and students in clay mineralogy*. Ed. Lelotte G. B4820 Dison (Belgique).

GIANNI ZORZENON & GRAZIANO CANSIAN *

LE ACQUE DI PERCOLAZIONE NEL CARSO GORIZIANO: CHIMISMO, TEMPERATURE E STIMA DELLA DISSOLUZIONE DEI CALCARI

RIASSUNTO - Viene riportato il risultato di una ricerca, durata circa 16 mesi, sulle acque di stillicidio della Caverna Generale Ricordi e della Grotta Due Piani (Carso Goriziano). In particolare è stata studiata la concentrazione dei seguenti ioni: Ca, Mg, K, Cl, NO₃, SO₄, SiO₂. Sul posto sono state effettuate anche misurazioni del pH e della temperatura. Si è visto così che alcuni parametri, come il calcio ed il pH, sono correlabili con l'entità dello stillicidio, mentre altri hanno andamenti irregolari.

Inoltre la temperatura media dell'aria delle due grotte (11.9 e 10.8°C) è risultata leggermente superiore a quella della roccia (11.6 e 10.6°C).

Utilizzando infine la formula di Pulina si è stimata l'entità della dissoluzione carsica, che è risultata di 68 m³/Km²/anno nella Caverna G. Ricordi e di 40 m³/Km²/anno nella Grotta Due Piani.

ABSTRACT - In this paper we report the result of a research, lasted 16 months, on the percolating waters of the Generale Ricordi cavern and Due Piani cave (Gorizia Karst). In particular we have studied the concentration of these ions: Ca, Mg, K, Cl, NO₃, SO₄ and SiO₂. Moreover measurements of pH and temperatures have been executed in these places. Thus we have seen that some parameters, like calcium and pH, are in relation with the quantity of the dripping waters, but other have irregular proceeding.

Besides the average temperature of the air of the two caves (11.9 and 10.8°C) is resulted lightly higher to the rock (11.6 and 10.6°C).

At least, by means of the Pulina formula, we have estimated the karstic dissolution, that is resulted of 68 m³/Km²/year in the zone of the Generale Ricordi cave and 49 m³/Km²/year in the zone of the Due Piani cave.

1. Premessa

Le acque di percolazione del Carso sono già state oggetto di qualche interessante lavoro da parte di altri autori (ad es.: MERLAK, 1977, ecc.) che si sono soffermati soprattutto sul loro chimismo.

* Società di Studi Carsici «Lindner», Fogliano (Gorizia).

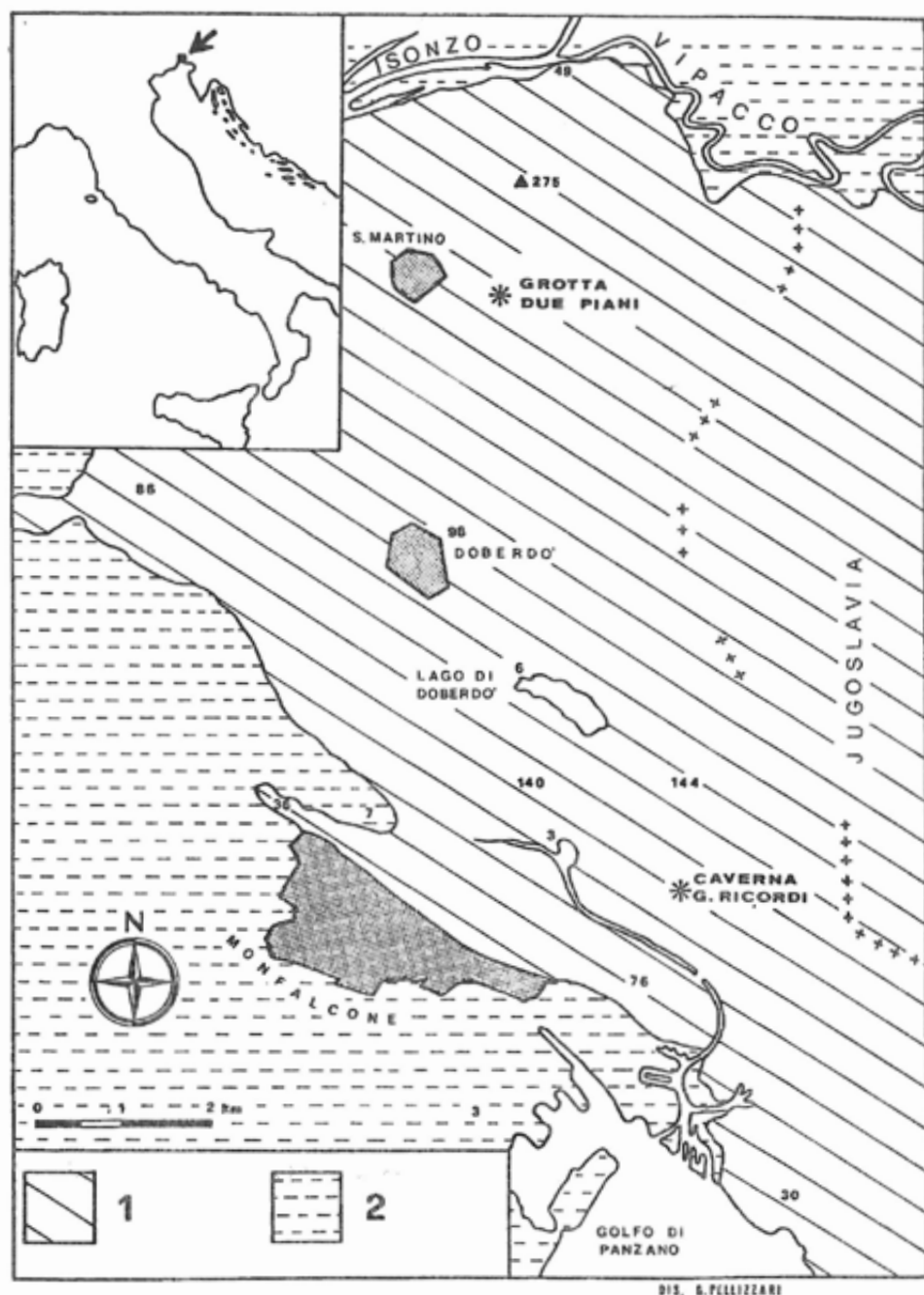


Fig. 1 - Pianta della zona ed ubicazione delle grotte utilizzate come stazioni sperimentali.
1: calcari prevalenti e dolomie subordinate (Cretacico - Terziario); 2: ghiaie, sabbie e limi della pianura (Quaternario).

Con questa nostra ricerca abbiamo voluto studiare invece l'andamento dei principali parametri chimico-fisici in un tempo piuttosto lungo, infatti le indagini sono iniziate nel gennaio 1988 e si sono protratte per circa 16 mesi. In particolare sono stati raccolti diversi campioni di acque di stillicidio da due stazioni sperimentali: la Caverna Generale Ricordi 1064 VG e la Grotta Due Piani 4253 VG.

La Caverna Ricordi consiste in una galleria inclinata, lunga 112 metri, profonda 33, che si sviluppa interamente nei calcari grigio scuri, bene stratificati, molto poveri di macrofossili, del Cenomaniano - Albiano (MARTINIS, 1962, MASOLI et al. 1969). Gli strati sono inclinati di circa 20° verso SSO ed il punto di raccolta delle acque è stato situato al di sotto di uno spessore di roccia di circa 24 metri. In superficie si trova una abbondante vegetazione ed il suolo è costituito da una copertura di terra rossa e detrito calcareo.

La Grotta Due Piani invece è costituita da due gallerie distinte alle quali si accede attraverso due pozzetti; lo sviluppo totale è di 106 metri e la profondità di 26. La grotta si è formata entro i calcari grigi, bene stratificati, riccamente fossiliferi a *Rudistae*, del Turoniano in generale (MARTINIS, 1962) e gli strati sono inclinati di 18° verso Nord.

In superficie, rispetto alla Caverna Ricordi, si trova una vegetazione leggermente più rada ed il suolo è costituito da uno strato discontinuo e più sottile di *terra rossa* e detrito calcareo.

Il punto di raccolta delle acque è stato collocato inizialmente nella galleria inferiore, ma poco tempo dopo ha dovuto essere spostato in quella superiore, sotto uno spessore di roccia di circa 13 metri, a causa della scarsità dello stillicidio.

A questo proposito bisogna sottolineare che nella Grotta Due Piani lo stillicidio è stato sempre molto più scarso rispetto alla Caverna Ricordi, anzi nell'ottobre 1988 non è stato possibile raccogliere una quantità d'acqua sufficiente per le analisi.

Va segnalato inoltre che tra l'ottobre 1988 e la metà di febbraio 1989 si è avuto un periodo di forte siccità e addirittura nell'intero mese di gennaio non è mai piovuto. Le piogge più intense si sono verificate invece tra aprile e giugno 1988, ma la piovosità totale annua (986 mm) è stata al di sotto della media (circa 1100 mm).

Le modalità di raccolta dei campioni sono state estremamente semplici. In entrambe le grotte è stata posta una bottiglia da 1.5 litri munita di imbuto, con l'avvertenza di lavarli preventivamente con abbondante acqua distillata ad ogni posa in opera.

Inoltre i punti di raccolta sono stati rigorosamente sempre gli stessi; addirittura nella Caverna Ricordi la bottiglia è stata collocata in un'apposita intelaiatura metallica, costruita proprio per questo scopo.

Le bottiglie sono state prelevate solo al loro completo riempimento, ossia in un tempo variabile da pochi giorni a qualche settimana, in funzione dell'entità dello stillicidio.

La consegna dei campioni al Laboratorio Chimico dell'USL «Goriziana» è avvenuta poi entro qualche giorno.

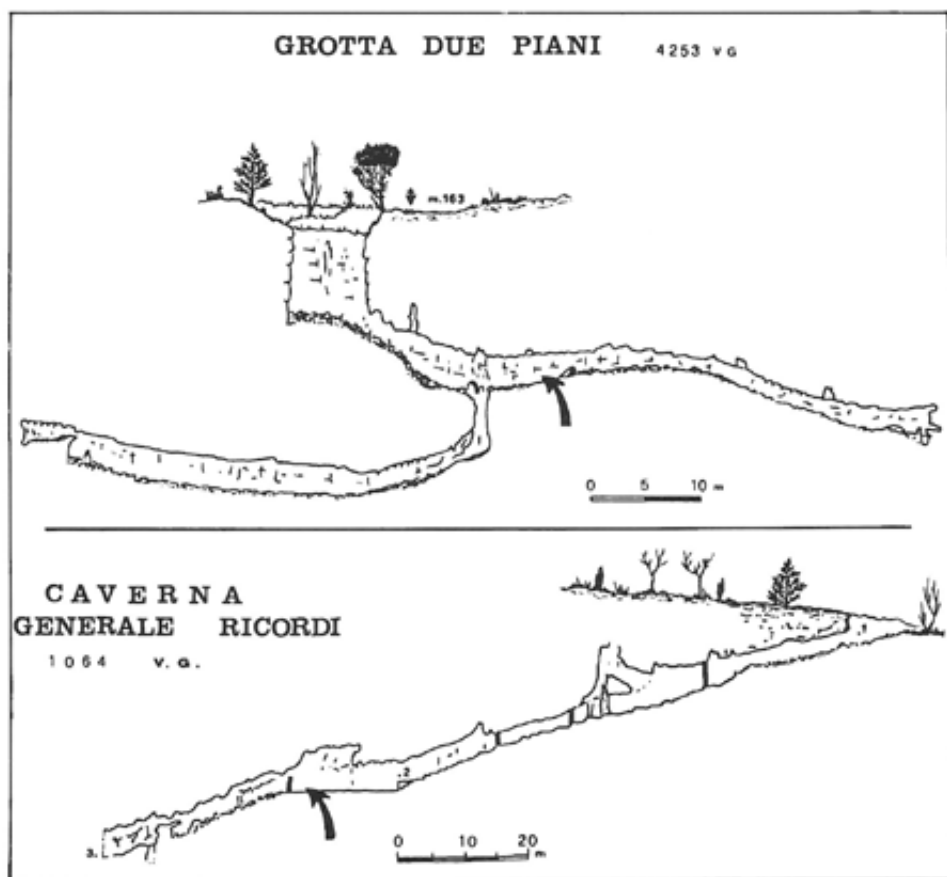


Fig. 2 - Rilievi topografici della Grotta Due Piani e della Caverna G. Ricordi. Le frecce indicano i punti di prelievo delle acque di stillicidio.

2. Caratteristiche chimiche delle acque di percolazione

a) *Calcio (Ca)*: La concentrazione di questo ione è sempre maggiore nella Caverna Ricordi (media: 108 mg/l) rispetto alla Grotta Due Piani (media: 75 mg/l).

Nella Caverna Ricordi si è avuto un picco massimo di 147 mg/l nel nov. 1988 all'inizio della siccità invernale, mentre il minimo si è verificato nella terza decade di marzo 1989, alla ripresa della piovosità.

Nella Caverna Due Piani la siccità si è fatta sentire invece con un certo anticipo (set. 1988), ed anche in questo caso si è raggiunto il picco massimo del calcio (91 mg/l).

Di più difficile interpretazione è stato invece il minimo (54 mg/l), che si è verificato nel gen. 1989, sempre durante la siccità.

b) Magnesio (Mg): In entrambi i casi l'andamento del magnesio non è stato molto regolare ed è difficilmente correlabile con gli altri parametri chimico-fisici. La concentrazione media annua è più alta nella Grotta Due Piani (2,1 mg/l) rispetto alla Caverna Ricordi (1,8 mg/l).

c) Potassio (K): La sua concentrazione è sempre molto bassa e la media annua è praticamente simile in tutte e due le grotte (0,05 - 0,06 mg/l).

Di particolare interesse sono due picchi massimi: il primo (0,15 mg/l) si è avuto nel giugno 1988, nella Grotta Due Piani, in un periodo piovoso; il secondo (0,14 mg/l) è stato registrato invece nella Caverna Ricordi nel gennaio 1989 durante la siccità.

d) Cloruri (Cl): Nella Caverna Ricordi la media annua (2,6 mg/l) è esattamente il doppio di quella della Grotta Due Piani (1,8 mg/l). Va osservato inoltre che in quest'ultima cavità la concentrazione è generalmente costante, mentre nella Caverna Ricordi si osserva un picco massimo (5,7 mg/l), nel maggio 1988, in coincidenza con un periodo di intenso stillicidio, ed un minimo (0,1 mg/l), nel gennaio 1989, durante la siccità invernale.

e) Solfati (SO_4): I solfati sono più abbondanti nella Caverna Ricordi, con una media annua di 14,6 mg/l, rispetto agli 8,5 mg/l della Grotta Due Piani.

Nella Caverna Ricordi la loro concentrazione segue un andamento inverso a quella dei cloruri, infatti il minimo (7,0 mg/l) si registra nel maggio 1988 ed il massimo (20,0 mg/l) nel gennaio 1988.

Curiosamente, quando nella Caverna Ricordi si registra il massimo, nella Grotta Due Piani si ha il minimo (5,2 mg/l).

f) Nitrati (NO_3): In questo caso si è osservato a un fenomeno molto interessante: in tutte e due le grotte l'andamento medio dei nitrati è crescente nell'arco dei 16 mesi di osservazione. Ad esempio nel primo trimestre del 1988 la concentrazione si aggirava tra 0 e 0,25 mg/l, ma in ottobre era arrivata a 0,6-0,7 mg/l e nel marzo 1989 si aggirava attorno al 1,2 mg/l.

Oltre a questa osservazione va detto che la media annua è di 0,5 mg/l nella Caverna Ricordi e 0,7 mg/l nella Grotta Due Piani. In entrambe le cavità il picco massimo si è avuto durante la siccità invernale, mentre i minimi si sono raggiunti in periodi di forte stillicidio.

g) Silice (SiO_2): La concentrazione media è più alta nella Caverna Ricordi (2,8 mg/l) rispetto alla Grotta Due Piani (1,9 mg/l). Oltre a questa osservazione rimane poco da dire, infatti l'andamento è stato abbastanza costante in tutte e due le grotte.

h) pH: Nei due punti di raccolta il pH medio annuo è stato di 7,4. Nella Caverna Generale Ricordi si è notata una precisa relazione inversa con la concentrazione del calcio.

I risultati complessivi di tutte queste analisi vengono riassunte nella Tab. 1.

Tab. 1 - Principali caratteristiche chimiche delle acque di stillicidio. Tutti i valori, tranne ovviamente il pH, sono espressi in mg/l. Il pH è stato misurato sempre sul posto

	CAVERNA G. RICORDI		GROTTA DUE PIANI	
	media 1988	min.-max. gen. 88 - apr. 89	media 1988	min.-max. gen. 88 - apr. 89
Ca	108	83 - 147	75	54 - 91
Mg	1.8	0.0 - 4.6	2.1	0.5 - 5.1
K	0.06	0.02 - 0.14	0.05	0.01 - 0.15
Cl	2.6	0.2 - 5.7	1.8	1.6 - 2.3
SO ₄	14.6	7.0 - 20.0	8.5	5.1 - 11.5
NO ₃	0.5	0.0 - 1.3	0.7	0.0 - 1.9
SiO ₂	2.8	2.6 - 3.2	1.9	1.1 - 2.3
pH	7.4	6.4 - 7.8	7.4	6.2 - 7.9

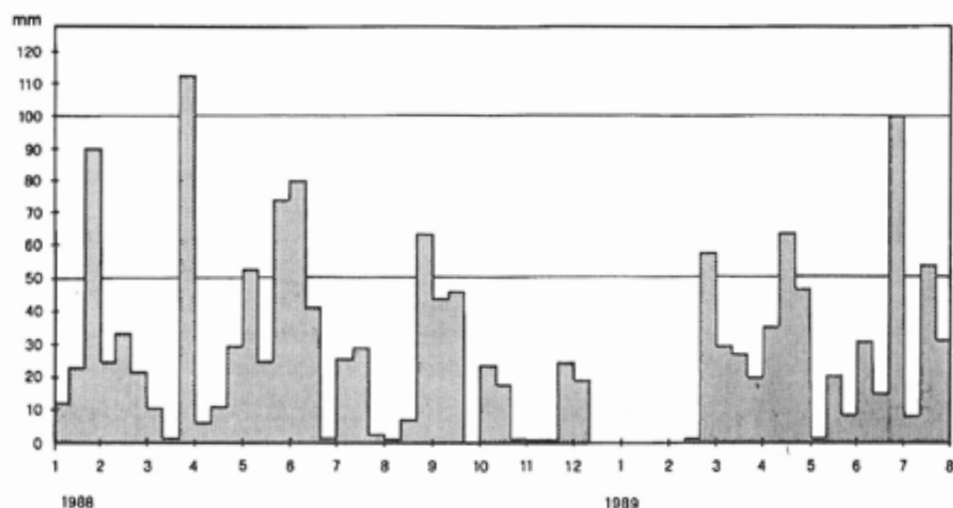


Fig. 3 - Andamento della piovosità (per decade) a Monfalcone nel periodo gennaio 1988 - luglio 1989.

In questo intervallo di tempo si è verificata una certa siccità tra l'ottobre 1988 e la metà di febbraio 1989. Da notare che nel mese di gennaio 1989 non è mai piovuto. Punte di massima piovosità si sono verificate invece nel marzo 1988 e nel giugno 1989.

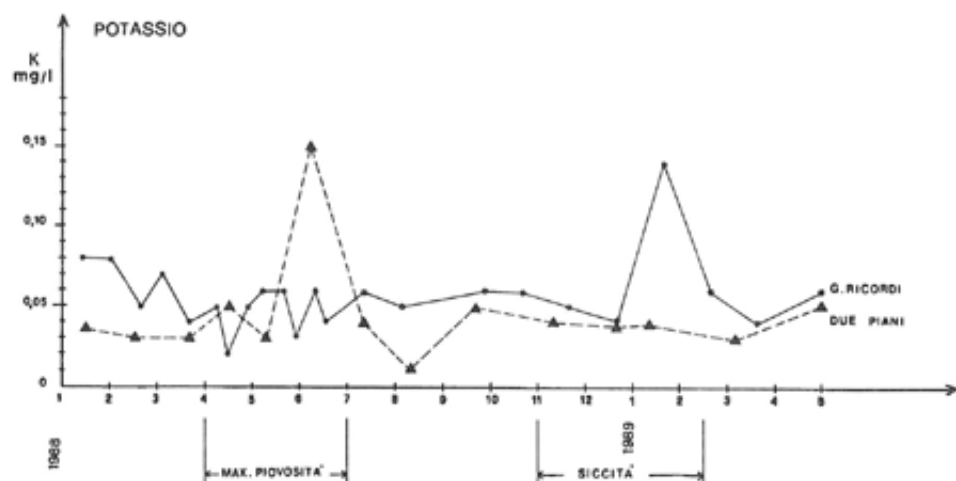
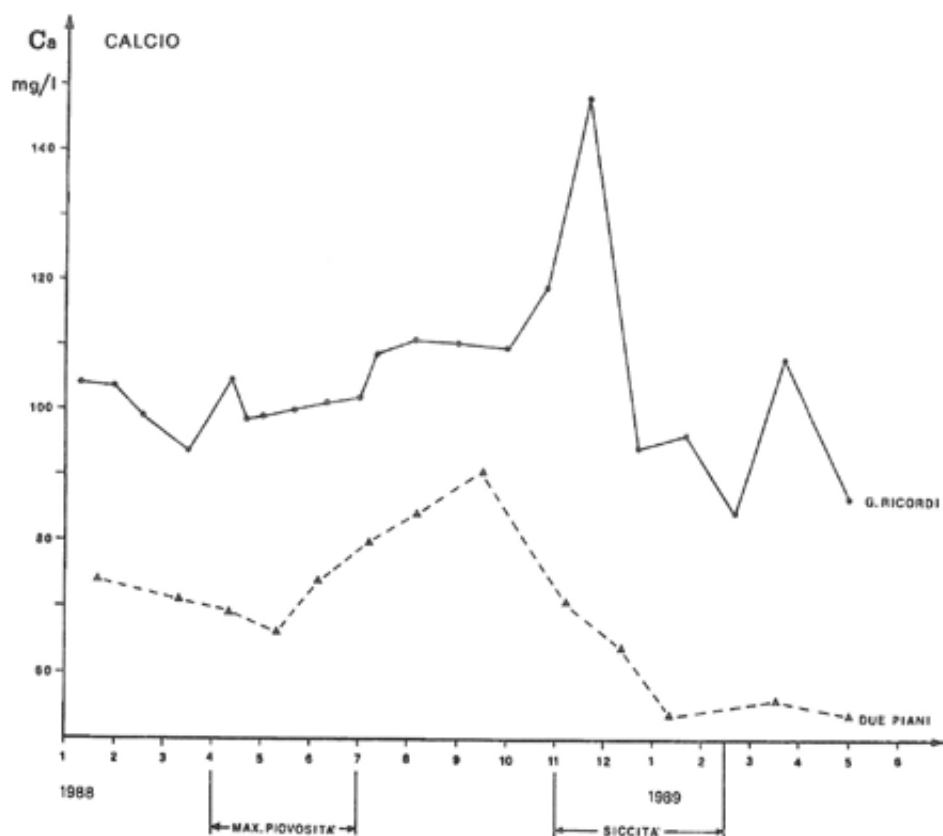


Fig. 4 - Andamento delle concentrazioni del calcio (Ca) e del potassio (K).

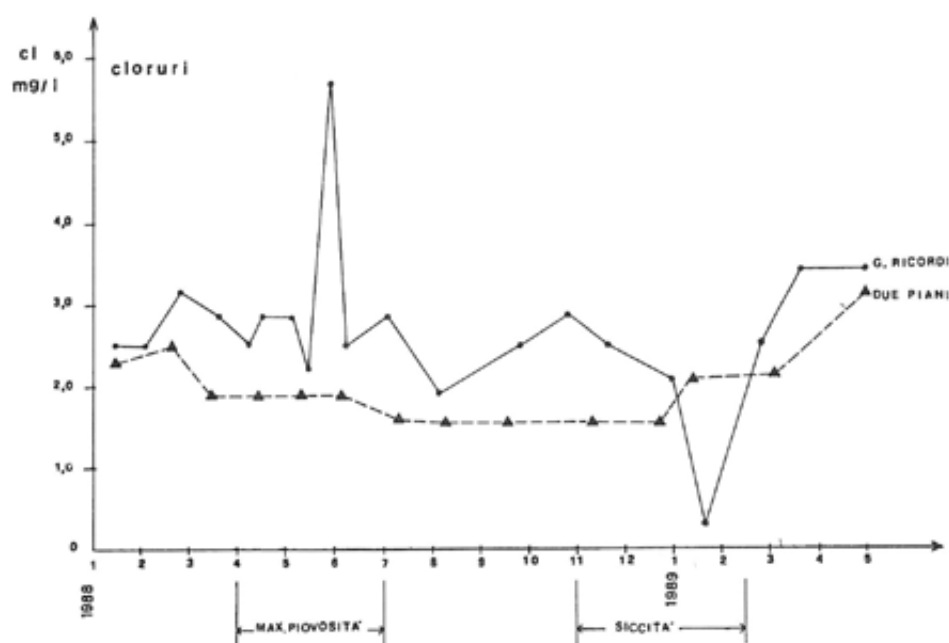
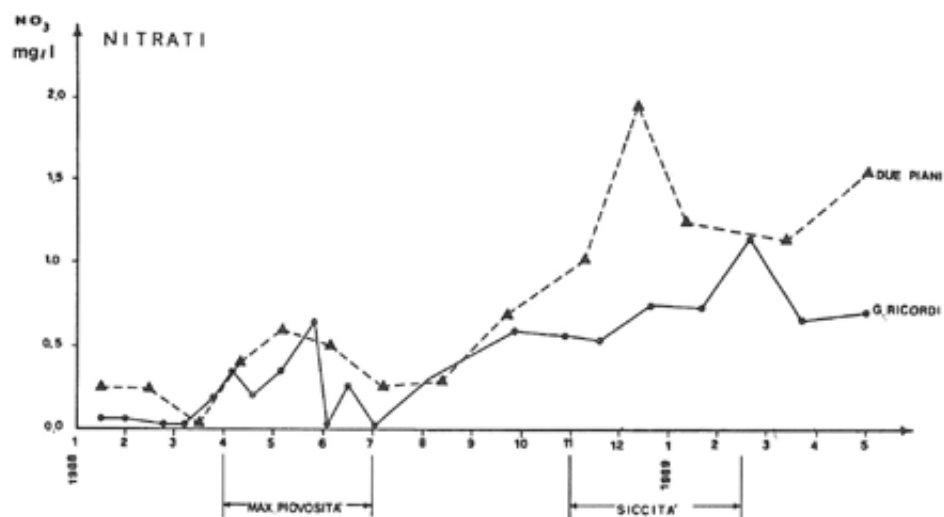


Fig. 5 - Andamento delle concentrazioni dei nitrati (NO₃) e dei cloruri (Cl).

3. Temperature

Durante le ricerche sono state effettuate alcune indagini sulle caratteristiche termiche delle due grotte. Dobbiamo rilevare però che nella Caverna Ricordi si è raggiunto un equilibrio termico maggiore della Grotta Due Piani. In quest'ultimo caso infatti il punto di misurazione si trova più vicino all'ingresso e quindi risente del clima esterno.

È interessante notare però che in entrambi i casi la temperatura media della roccia è leggermente più bassa di quella dell'aria.

I dati riassuntivi vengono riportati in Tab. 2.

Tab. 2 - Temperature dell'aria e della roccia della Caverna Ricordi e della Grotta Due Piani, presso i punti di prelievo delle acque (in °C).				
	CAVERNA RICORDI		GROTTA DUE PIANI	
	Media 1988	Min-max	Media 1988	Min-Max
T aria	11.9	11.3-12.9	10.8	8.2-13.2
T roccia	11.6	11.4-11.9	10.6	8.7-12.1

4. Stima dell'entità della dissoluzione carsica

Conoscendo la piovosità annua nella zona, l'evapotranspirazione ed il contenuto in CaCO_3 nelle acque di percolazione, si può tentare una stima della dissoluzione, intesa nel senso più ampio di «denudazione carsica».

Nell'osservatorio meteorologico di Monfalcone sono stati registrati 986 mm di piovosità nel 1988, ma da esperienze effettuate in passato nella situazione meteorologica di Marcottini, ora non più in funzione, si è visto che nell'altopiano carsico le piogge sono leggermente più abbondanti. Per questo motivo si è calcolato un 4% in più di piovosità nella zona della Caverna Generale Ricordi ed un 6% in più nella zona della Grotta Due Piani, che si trova ancora più a nord.

Successivamente, utilizzando la formula di TURC, si è calcolata l'evapotranspirazione. Tolto questo valore dalla piovosità totale, si ricava l'infiltrazione efficace:

Caverna Generale Ricordi: 637mm/anno
Grotta Due Piani: 660 mm/anno

Infine si è utilizzata la formula di PULINA (1974) per la stima dell'entità della dissoluzione carsica:

$$Dm = 0.0126 \cdot \Delta T \cdot q$$

dove: DM = erosione carsica media

ΔT = differenza fra la «mineralizzazione» che entra nell'area carsica e quella che esce (mg/l)

q: = quantità media d'acqua che «esce» in ogni secondo da 1 km² dell'area considerata.

Nei nostri calcoli abbiamo assunto che inizialmente le acque di pioggia che si infiltrano nel terreno siano prive di calcare, perciò ΔT è uguale al valore medio del CaCO₃ nelle acque di percolazione.

In base a tutti questi dati abbiamo trovato i seguenti valori.

Caverna Generale Ricordi: 68 m³/Km²/anno, oppure mm di spessore per 1000 anni.

Grotta Due Piani: 49 m³/Km³/anno, oppure mm di spessore per 1000 anni.

Pur trattandosi di una stima, questi dati rientrano nella media dei valori sperimentali trovati in altre zone carsiche (MENEGHEL et al., 1986, ecc.).

5. Conclusioni

I dati raccolti in 16 mesi di osservazioni hanno permesso per la prima volta di studiare l'andamento dei principali parametri chimici delle acque di percolazione del Carso goriziano.

In particolare si è notato che la concentrazione del calcio ha un andamento grossolanamente sinusoidale, con massimi durante i periodi di scarso stillicidio, quando vi è un certo ristagno delle acque.

Gli altri ioni invece presentano delle concentrazioni molto più basse e talvolta sono soggette a improvvise fluttuazioni, soprattutto quando le acque di percolazione mutano il loro percorso a causa di variazioni della portata. Per questo motivo le correlazioni con gli altri parametri fisico - chimici sono dubbie.

In ogni caso, considerata la maggiore profondità del punto di raccolta nella Caverna Ricordi, si può ritenere che in questa stazione i dati siano più attendibili.

Tra l'altro, l'esame termometrico ha dimostrato che nella Caverna Ricordi, la temperatura media della roccia è di 11,6°C, cioè uguale o molto simile a quella delle acque di fondo della zona (CANCIAN, 1987, 1988) con un'escursione molto ridotta (0.5°C), per cui si può dedurre che sia stato raggiunto un certo equilibrio termico.

Con i dati pluviometrici e chimici è stato possibile stimare poi l'entità della «denudazione carsica», che è risultata rispettivamente di 68 e 49 m³/Km²/anno (o mm di spessore per 1000 anni), rispettivamente nella zona della Caverna Ricordi ed in quella della Grotta Due Piani.

Questo dato è più alto di quello trovato da altri autori (CUCCHI et al., 1987) tramite misure micrometriche su superfici carbonatiche esposte del Carso (0.028 mm/anno). Riteniamo che questa differenza sia dovuta al fatto che nel nostro ca-

so viene sommata alla dissoluzione della roccia sovrastante la grotta quella del suolo. Nelle zone studiate, quest'ultimo è composto da detriti calcarei sciolti e da terra rossa contenente a sua volta una certa percentuale di calcite.

Ringraziamenti:

Gli Autori ricordano che questo studio è stato reso possibile grazie alla collaborazione di più persone. Innanzi tutto il personale del Servizio Chimico Ambientale dell'USL «Goriziana», diretto dal dott. Paolo Matcovich, ha effettuato le analisi di laboratorio, mentre il Centro Studi di Meteorologia e Mareografia di Monfalcone ha fornito tutti i dati sulla piovosità.

L'amico Enrico Cernigoi invece ha raccolto per parecchi mesi diversi campioni di acqua nelle grotte, mentre altri soci della «Lindner» hanno collaborato alla stesura dei diagrammi.

A tutte queste persone ed Enti gli Autori rivolgono i più sentiti ringraziamenti.

Bibliografia

- CANCIAN G., 1987 - *L'idrologia del Carso goriziano - triestino tra l'Isonzo e le risorgive del Timavo*. Studi Trent. di Sc. Nat., acta geol., v. 64, Trento.
- CANCIAN G., 1988 - *Significato idrologico della concentrazione di ossigeno e anidride carbonica nelle acque sotterranee tra il lago di Doberdò e le risorgive del Timavo*. Mondo Sotterraneo, anno XII, n. 1-2, Udine.
- CUCCHI F., FORTI F., FINOCCHIARO F., 1987 - *Carbonate surface solution in the Classical Karst*. Inter. Journ. of Spel., v. 16 (3-4).
- GEMITI F., & MERLAK E., 1975/a: *Caratteristiche chimiche di acque di percolazione del Carso Triestino*. Atti 2° Conv. di Spel. del Friuli Venezia Giulia.
- GEMITI & MERLAK E., 1975/b: *The influence of the surface ground on the chemical characteristic of the percolation water in karst soils*. Proc. Int. Symp. standard. field res. meth. of karst denudation, Ljubljana.
- GEMITI F., & LICCIARDELLO M., 1977 - *Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali*. Annali Gr. Grotte Ass. XXX Ottobre, v. VI, Trieste.
- MARTINIS B., 1962 - *Ricerche geologiche e paleontologiche sulla regione compresa tra il T. Judrio ed il F. Timavo*. Riv. It. Paleont. e Stratigr., mem. VIII, Milano.
- MASOLI M., & ULCIGRAI F., 1969 - *Termini albiani nella serie stratigrafica del Carso Triestino*. Studi Trent. Sc. Nat., sez. A, v. 46, Trento.
- MENEGHEL M., SAURO U., BACIGA M.L., FILECCIA A., FRIGO G., TONIELLO V. & ZAMPIERI D., 1986 - *Sorgenti carsiche ed erosione chimica nelle Prealpi Venete*. Studi Trent. Sc. Nat., acta geol., v. 62, Trento 1985.
- MERLAK E., 1977 - *Distribuzione della durezza delle acque nel «Complesso Dolomitico» del Carso Triestino*. Annali del Gr. Grotte XXX Ottobre, VI, Trieste.
- MOSETTI F., & POMODORO P., 1967 - *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema Timavo*. L'Acqua, XLV. n. 4.
- PULINA M., 1974 - *Denudacja chemiczna na obszarach krasu weglanowego*. Polska Akad. Nauk., Inst. Geogr. «Pr. Geogr», 105, Wrocław.

Discussione

CAPPA - La progressiva diminuzione del tenore di calcio durante la siccità potrebbe riflettere la notevole riduzione di attività della vegetazione sovrastante che per effetto della siccità invernale ha ridotto molto l'attività biologica e quindi la formazione di acidi humici e di tutto ciò che favorisce la formazione di CO_2 .

CANCIAN - Grazie dell'osservazione, questi punti ci hanno incuriosito. Siccome non siamo ancora in grado di fornire una risposta precisa, possiamo fare solo ipotesi. È per questa ragione che abbiamo deciso di chiudere la Caverna Generale Ricordi e di trasformarla in una stazione per poter effettuare misure più intense e precise.

CUCCHI - Vorrei fare due osservazioni. La prima nasce dalle esperienze che abbiamo fatto. 10 anni fa, per due anni consecutivi, abbiamo raccolto le acque di stillicidio della Grotta Gigante in 12 punti con cadenza quindicinale. I dati non sono stati ancora pubblicati perché non ne abbiamo capito niente, nel senso che c'erano andamenti anomali di chimismo che non sono spiegabili. Ci sono tre province chimiche nella Grotta Gigante, i cui comportamenti sono diversi in funzione del tempo e della piovosità. Ci siamo resi conto che le variabili in gioco erano notevoli. Per verifica abbiamo ripetuto l'esperimento l'anno scorso con il risultato di aumentare la confusione. Ricordo che sono stati esaminati 24 parametri chimici; questo per dire che comprendo benissimo come vi possano essere in casi analoghi dei problemi di interpretazione.

Seconda osservazione: non ricordo perché Pulina avesse usato quei parametri, però non vorrei si prendesse l'abitudine di utilizzare formule per il calcolo della dissoluzione senza disporre di dati medi validi per certe zone. Questo anche se i dati risultano a volte confrontabili con altri.

CANCIAN - Anche noi abbiamo rilevato elementi strani sul chimismo di questa grotta, ora trasformata in stazione sperimentale chiusa. Abbiamo considerato due parametri: la quantità media di acqua che esce dalla grotta (cioè lo stillicidio che si ricava dalla piovosità togliendo il valore dell'evapotraspirazione) e la differenza di mineralizzazione (conoscendo quanto calcare ha l'acqua che entra e quanto quella che esce).

BINDA - Un commento sull'incertezza dei risultati. Io ho a disposizione le analisi chimiche di parecchie centinaia di campioni di pioggia ed alle volte c'è più calcio di quanto si pensi. Abbiamo piogge con durezza 2, valore elevato per dell'acqua piovana. Calcio e Magnesio si ritrovano in quantità sorprendenti e questo sicuramente ha un'influenza sul chimismo degli stillicidi insieme al resto, come stiamo constatando anche adesso, anche se in maniera molto provvisoria. Il nostro lavoro, che tende a dimostrare l'influenza del chimismo delle piogge sul chimismo delle acque di grotta si ricollega a quanto è stato detto ora.

CANCIAN - Ringrazio per questa utilissima osservazione. È vero, noi ci siamo posti il problema della presenza di sali nelle acque piovane ed abbiamo effettuato apposite analisi, anche se solo sporadicamente. Il risultato ottenuto era di assoluta assenza di carbonati. Questo è un lavoro ancora preliminare che stiamo già proseguendo. Prima, inoltre, sentivo parlare di fosfati, ebbene anche in questa grotta abbiamo trovato incrostazioni di fosfati di origine non ancora spiegabile.

MARCO MENICHETTI ***, GUSTAVO REICHEMBACH **
& FRANCESCO SALVATORI *

ANALISI QUANTITATIVA DI TESTS
CON TRACCIANTI ARTIFICIALI
NEL SISTEMA CARSIKO
DEL M. CUCCO
(Appennino Umbro-Marchigiano)

RIASSUNTO - Negli ultimi dieci anni sono stati eseguiti numerosi tests con traccianti artificiali all'interno del sistema carsico del M. Cucco. Essi hanno permesso di definire l'idrografia sotterranea, i limiti del bacino idrogeologico, la risorgente nel versante SW a Scirca.

Le curve di transito e del tempo di residenza del colorante sono state analizzate con diversi metodi, derivanti dall'analisi dei sistemi e dall'analisi spettrale. Essi hanno fornito i parametri idrodinamici necessari alla costruzione di un modello del drenaggio ipogeo della sorgente Scirca controllato soprattutto da una rete di fratture con diverso grado di carsificazione. Il comportamento idrodinamico dei vari collettori sotterranei è funzione delle caratteristiche di deflusso presenti nel sistema. Nel Fiume dei Barbari, nella zona di trasferimento, l'onda del colorante avanza in un sistema di gallerie con scorrimento a pelo libero, con cascate, e raggiunge rapidamente una zona prossima all'area della sorgente. Nella propagazione del tracciante predominano i meccanismi della dispersione meccanica. Il Fiume Miliani poco al di sopra del livello freatico, la propagazione avviene soprattutto per diffusione meccanica in un sistema di gallerie allagate dove il tracciante segue dei percorsi molto articolati.

I valori di dispersione idrodinamica calcolati indicano una chiara vulnerabilità dell'acquifero nei confronti dell'inquinamento organico prodotto dall'intensa attività zootecnica presente anche in aree distanti dalla zona di risorgenza.

ABSTRACT - During the last ten years many tests using an artificial tracer have been carried out inside the carsic system of M. Cucco.

They gave the possibility to determine the subterranean hydrography, the limits of the hydrogeological basin, and the karst spring in the SW versant of M. Cucco, near Scirca.

The transit curve and they stay time of the dye have been analized with various methods that belong to the systems and spectral analysis.

They have supplied the hydrodynamic parameters necessary to the creation of a model for the hypogean drainage of the Scirca spring, mostly controlled by a net of fissures having different degrees of carsification.

* Centro Nazionale di Speleologia M. Cucco, Costacciaro

** Dipartimento di Scienze della Terra Università di Perugia

*** Dipartimento di Chimica dell'Università di Perugia

The hydrodynamic behaviour of the various subterranean collecting drains is determined by the downflow characteristics which are present in the system.

In the Barbari's river, within the transfer zone, the dye wave moves forward in a system of galleries characterized by free flowing and waterfalls, rapidly reaching a zone very near the spring area. In the tracer's propagation, the mechanisms of the mechanical dispersion prevail.

In the Miliani river, very little above the phreatic level, the propagation occurs mostly through the mechanical diffusion in a system of wide galleries where the tracer moves forward through very indented ways.

The calculated values of the hydrodynamic dispersion show a clear vulnerability of the aquifer if considering the organic pollution caused by the intense zootechnical activity that is carried out also in areas far from the karst spring.

1. Introduzione

I traccianti artificiali in idrogeologia carsica sono correntemente utilizzati in maniera qualitativa soprattutto per verificare le relazioni idrauliche tra corsi d'acqua sotterranei e le risorgenti. Informazioni molto più precise sulle caratteristiche idrauliche della rete di drenaggio carsica, possono essere ottenute utilizzando i traccianti artificiali in maniera quantitativa, cioè ricostruendo l'andamento nel tempo della concentrazione del tracciante in uscita dal sistema idrogeologico.

Gli acquiferi carsici sono gli unici che offrono la possibilità di poter accedere direttamente al loro interno, permettendo di controllare direttamente le condizioni del flusso idrico e a eseguire operazione di marcatura in punti diversi di uno stesso bacino idrogeologico.

L'immissione di una certa sostanza estranea, in un corso d'acqua sotterraneo, significa inserire un segnale in un fluido vettore. Segnale che verrà modulato nell'attraversamento del sistema dal quale assimila sia le caratteristiche del flusso idrodinamico che la geometria del mezzo (Fig. 1).

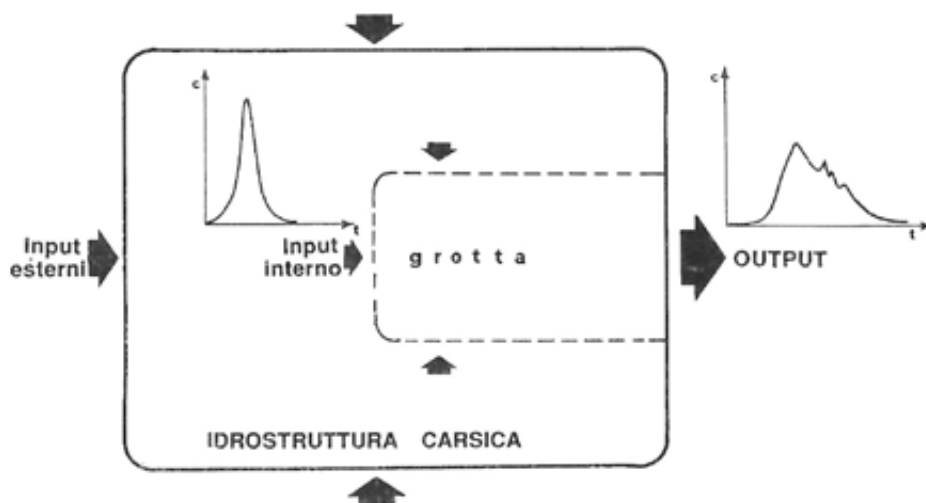


Fig. 1 - Propagazione del segnale fornito dal tracciante all'interno di una idrostruttura carsica.

Lo studio del segnale, in un'uscita può essere eseguita mediante l'analisi dei sistemi considerando l'idrostruttura carsica una vera e propria «scatola nera» all'interno della quale si svolgono processi idrodinamici controllati soprattutto dalla geometria della rete di drenaggio. Il segnale in ingresso, trasportato dal fluido vettore è costituito dal tracciante artificiale, il quale viene modulato dalle modalità di immissione (istantanea o continua), dalle condizioni di flusso (portata e regime idrologico), dalle interazioni con il sistema (assorbimento e adsorbimento del tracciante sulla roccia e/o minerali incassanti), ma soprattutto dalla geometria delle condotte nelle quali avviene lo scorrimento. Il segnale in uscita è rappresentato dalla curva di restituzione del tracciante nel tempo e dalla portata della risorgente.

L'interpretazione di tale segnale dovrà quindi tenere conto di questi fattori e la modellizzazione del sistema sarà un processo interattivo tra le informazioni fornite dal tracciante e quelle fornite dal flusso idrico. Un'analisi di questo tipo permette di ottenere dati importanti anche sulla propagazione di eventuali agenti inquinanti all'interno di un sistema carsico e quindi consente di predisporre tutte quelle misure di protezione necessarie alla salvaguardia della qualità delle acque.

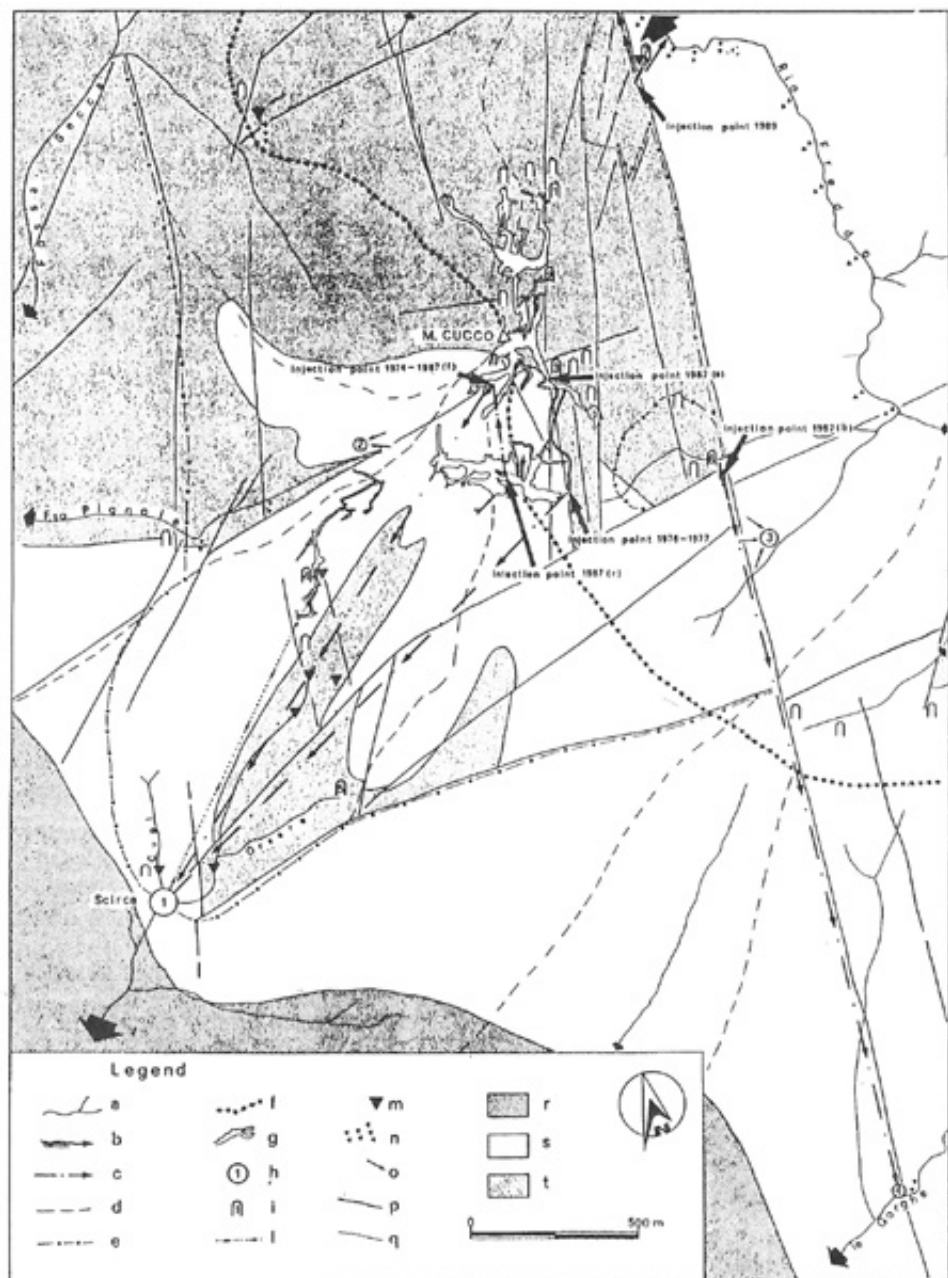
La Grotta di Monte Cucco nell'Appennino umbro-marchigiano (Fig. 2), si sviluppa per oltre 26 km all'interno di una serie stratigrafica carbonatica del Lias inferiore con grandi gallerie fossili disposte su livelli diversi, collegati da ampi pozzi, che raggiungono la profondità di 923 m (MENICETTI, 1987; SALVATORI, 1988). La Grotta intercetta in più punti il sistema di drenaggio attivo, costituito da strette gallerie e canyon, difficilmente percorribili ed impostati esclusivamente lungo linee tettoniche. Questa situazione permette di eseguire delle osservazioni dettagliate sulla idrografia sotterranea del massiccio calcareo (MENICETTI, 1986; 1989). Infatti sin dalle prime esplorazioni del 1970, furono fatte delle colorazioni dei torrenti sotterranei per avere informazioni sulla ubicazione delle risorgenti e sulle caratteristiche idrauliche e idrodinamiche delle acque sotterranee del massiccio calcareo (BERTUCCIOLI et al., 1975). La Sorgente Scirca è in parte captata attraverso un acquedotto che alimenta la città di Perugia, con un bacino di utenza di oltre 200.000 persone. Il 25% delle analisi chimiche e batteriologiche fatte durante l'ultimo decennio, indicano la presenza di inquinamento da materia organica soprattutto in concomitanza con forti apporti meteorici. Il movimento dell'agente inquinante all'interno dell'acquifero si può facilmente simulare attraverso lo studio della propagazione di un tracciante artificiale immesso in un corso d'acqua sotterraneo.

2. Analisi teorica delle curve di restituzione

In un fluido in movimento, un tracciante si propaga occupando gradualmente porzioni di spazio secondo un dominio che è funzione delle condizioni idrodinamiche di flusso e del mezzo attraversato.

Questo fenomeno di propagazione chiamato (Fig. 3) «*dispersione idrodinamica*», è un processo instabile ed irreversibile ed la sommatoria del contributo della diffusione molecolare e della dispersione meccanica; la prima è originata da

gradienti di concentrazione, mentre la seconda è dovuta al gradiente di velocità all'interno del fluido e dalle caratteristiche fisiche della rete dei canali attraverso i quali avviene la propagazione del tracciante.



La diffusione molecolare ha significato soprattutto in presenza di flussi laminari o in assenza di moto del fluido.

La curva di restituzione di un tracciante in uscita da un sistema è influenzata da numerosi fenomeni, come l'adsorbimento o la decomposizione, ma gli elementi fondamentali che la modellano sono:

- la dispersione idrodinamica
- la velocità del fluido
- caratteristiche fisiche del sistema quali porosità, permeabilità, geometria dei canali.

Le relazioni tra questi parametri, calcolate mediante un modello sperimentale (BEAR & BACHMAT, 1967) sono:

$$D_h = a_{xyz} V_m f(Pe, \beta) \quad [1]$$

dove D_h è il coefficiente di dispersione idrodinamica, V_m la velocità media, Pe il numero di Peclet $Pe = LV/D_m$ (numero adimensionale che corrisponde al rapporto tra il tracciante trasportato per convezione e quello trasportato per diffusione (HIMENBLAU, 1969)), dove L la lunghezza del percorso, D_m è il coefficiente di dispersione molecolare del colorante in acqua, β il rapporto tra le lunghezze del canale e il suo raggio idraulico, a_{xyz} è la dispersione geometrica del mezzo (dimensionalmente $[L]$) e rappresenta l'influenza della geometria degli spazi porosi e tiene conto delle conducibilità del singolo condotto, della sua tortuosità e della permeabilità dell'insieme. Molti esperimenti (GUIZERIX et al., 1980; BEAR, 1980) hanno dimostrato che D_h non è una funzione perfettamente lineare della velocità e la simmetria della curva di restituzione è legata soprattutto a D_h e al numero di Peclet. In pratica D_h rappresenta analiticamente la pendenza della curva di restituzione. Per confrontare curve di restituzione di traccianti ottenute in condizioni idrogeologiche diverse è necessario togliere l'influenza della portata e della quantità di tracciante utilizzato:

$$E = C_{obs}/M_o Q_{tot} \quad [2]$$

dove E è un numero adimensionale che esprime la quantità di tracciante in uscita dal sistema, C_{obs} è la concentrazione misurata, M_o è la quantità di colorante utilizzata e Q_{tot} è la portata totale in uscita. Una delle possibili equazioni che descri-

Fig. 2 - Carta idrostrutturale dell'area carsica del M. Cucco. a: idrografia superficiale; b: corso d'acqua sotterraneo; c: percorso idrico sotterraneo verificato con traccianti; d: limite bacini idrogeologici minori; e: limite bacino idrogeologico di Scirca; f: spartiacque appenninico; g: pianta sistemi carsici sotterranei; h: principali sorgenti: 1. Scirca; 2. Acqua Ghiacciata; 3. Acquafredda; 4. Le Gorghe; i: principali cavità sotterranee: 1. Ingresso principale Grotta di M. Cucco; 2. Ingresso del Pozzo del Nibbio; 3. Abisso del boschetto; 4. Grotta del Faggeto Tondo; 5. Risorgenti fossili di Valle Orsara; 6. Buca della Valcella; 7. Voragine Boccanera. l: percorso idrico sotterraneo ipotizzato; m: zone di assorbimento localizzato; n: zone di assorbimento diffuso; o: direzioni di flusso sotterraneo; p: contatti tettonici; q: limiti di permeabilità; r: marne e calcari marnosi del Cretaceo medio; s: calcari marnosi e calcari selciferi dal Giura medio al Cretaceo inf. t: Calcari del Giura inferiore.

vono il movimento nella direzione x , all'interno di un sistema carsico di una quantità di tracciante M_0 , immesso in un'unica soluzione, al tempo $t = 0$, con concentrazione $C(x, 0)$, con $M = \int_{t_0}^{t_f} n C dx$ e con restituzione totale del tracciante, è:

$$\delta C / \delta t = D_h \delta^2 C / \delta x^2 - V \delta C / \delta x \quad [3]$$

La soluzione analitica per le condizioni al contorno sopra specificate, proposta da CRANK (1956):

$$C_{obs}(x, t) = M/n / (4\pi D_h)^{1/2} \exp \{-(x-vt)^2 / 4D_h t\} \quad [4]$$

dove x rappresenta la distanza in tra il punto di immissione e quello di prelievo; n è la superficie di scorrimento dell'acquifero o la porosità del reservoir. Nella soluzione della [3] ha un ruolo importante il valore della velocità di transito del tracciante. Essa può essere calcolata sia sul tempo del primo arrivo t_i (Fig. 5) oppure su quello della concentrazione massima t_m sia utilizzando il t_m corrispondente alla moda nella curva di restituzione. L'utilizzo sia di t_i che di t_g non comporta grosse variazioni nel risultato finale della [3] (ERIKSSON et al., 1963; JAMIER, 1976). Il numeratore della [4], che rappresenta la massa di tracciante immessa per unità di superficie di flusso deve essere calcolato indirettamente. ERIKSSON et al. (1963) calcolano il rapporto M/n attraverso il prodotto tra la distanza percorsa dal tracciante e l'integrale della curva di restituzione (dimensionalmente $[M T L^{-3}]$). La dispersione longitudinale viene calcolata attraverso:

$$D_h = (M/n)^2 / 4\pi t_m C_{max} \quad [5]$$

La [4] e la [5] rappresentano un'ottima interpretazione della curva di restituzione, anche se nella pratica intervengono fattori come la non completa restituzione, le variazioni di portata durante la colorazione, che comportano soluzioni diverse e molto più complesse della [4], valida invece a $Q = \text{costante}$. Nelle diverse soluzioni alla [3], è possibile tenere conto anche di fenomeni di assorbimento del tracciante sulla roccia, ma i valori che si ottengono non sono statisticamente diversi (BEAR, 1980).

Il bilancio di restituzione del tracciante può essere seguito attraverso l'integrale della curva di restituzione:

$$M_r = \int_{t_0}^{t_f} Q(t) C(t) dt \quad [6]$$

La curva di restituzione è quindi descritta dall'equazione [4] e la sua forma teorica è riportata in Fig. 5. L'asimmetria che si nota è il risultato della dispersione idrodinamica D_h e quindi tanto maggiore sarà tale asimmetria tanto più grande sarà D_h .

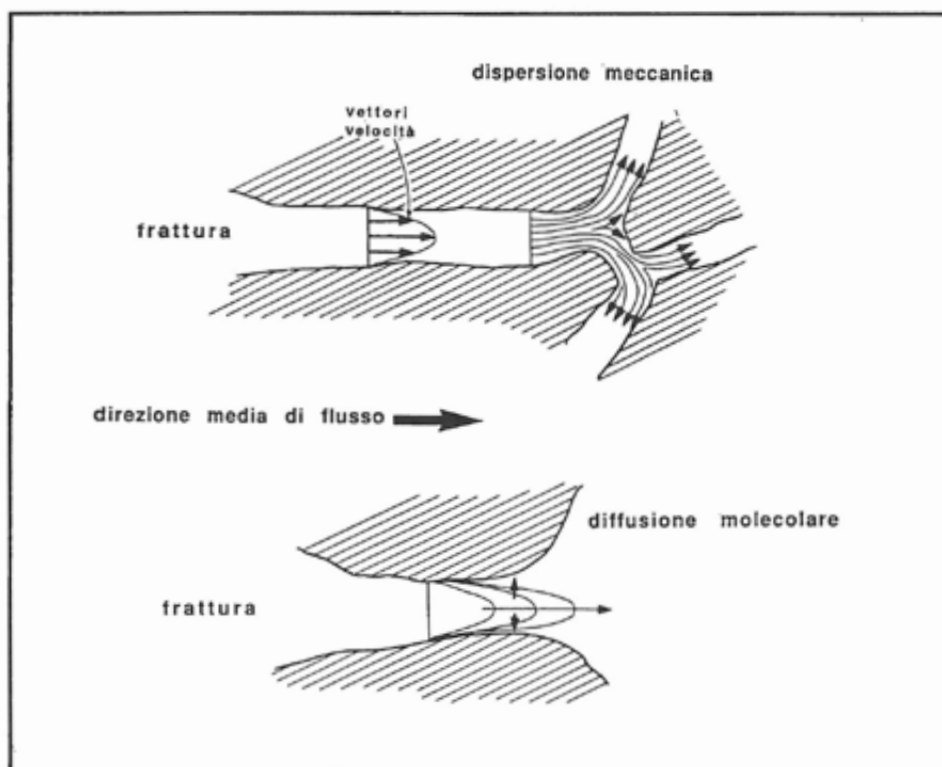


Fig. 3 - Dispersione idrodinamica in una sistema di fratture - dispersione meccanica e molecolare.

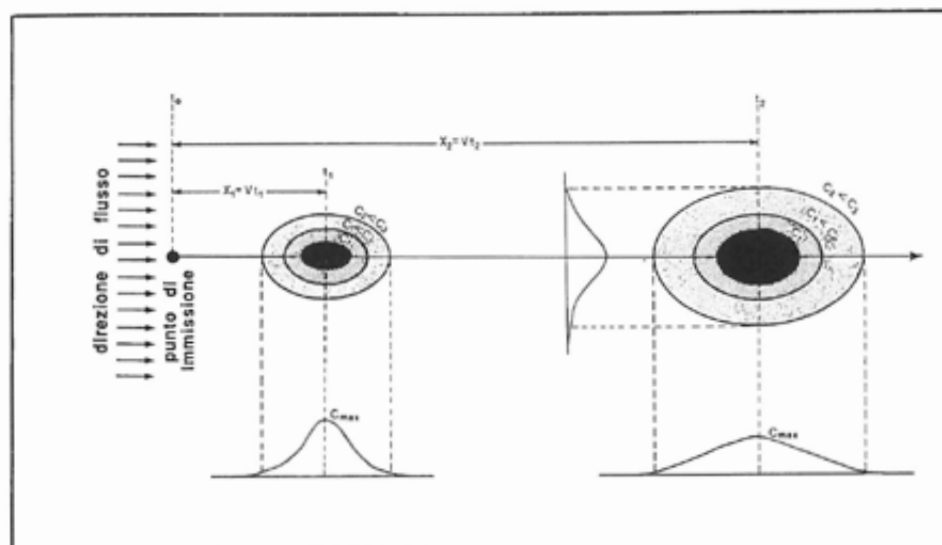


Fig. 4 - Propagazione teorica trasversale e longitudinale di un tracciante da un punto di immissione.

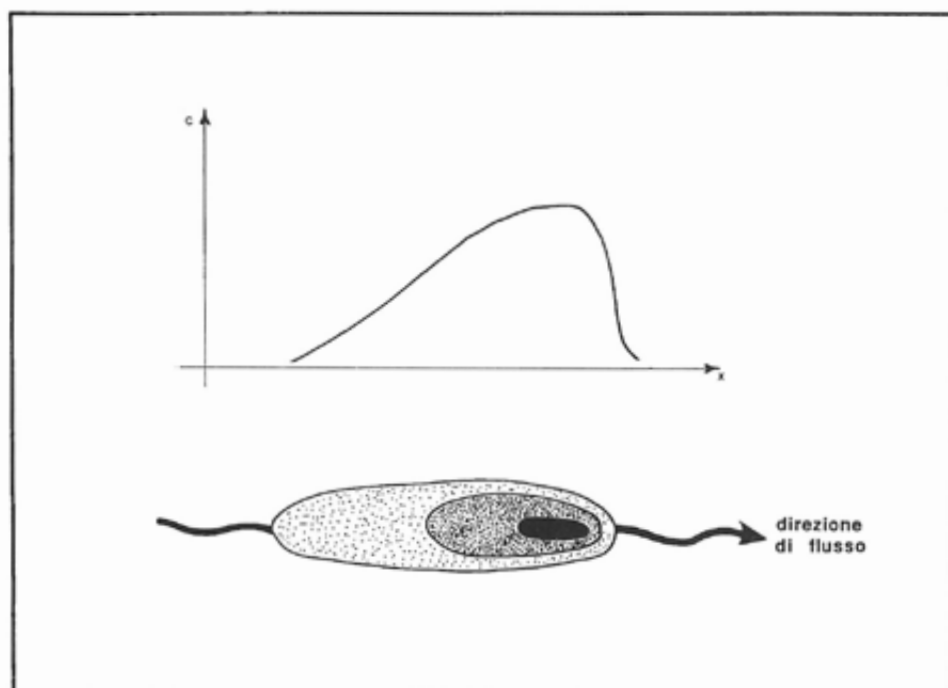


Fig. 5 - Propagazione di un tracciante in un sistema reale.

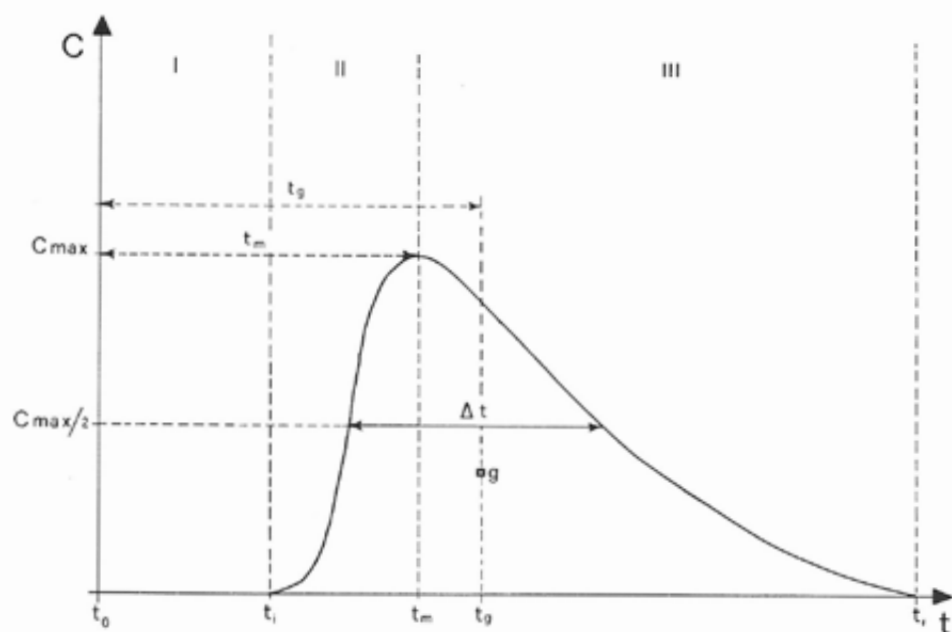


Fig. 6 - Suddivisione di una curva di restituzione di un tracciante nel dominio temporale.

Nell'esame della curva di restituzione del colorante è possibile individuare 3 tratti (Fig. 5).

Zona I: compresa tra i tempi t_0 e t_i , cioè tra il momento di immissione e il rilevamento alla sorgente. Il tracciante si propaga all'interno del sistema per diffusione idrodinamica. Nelle zone con moto turbolento prevale il trasporto di massa per dispersione meccanica, mentre nelle zone sature, con velocità di flusso molto basse, si possono avere fenomeni di dispersione molecolare. In questa regione il numero di Peclet assume valore compresi tra 0,4 e 5. Il tracciante sta saturando lentamente il percorso dal punto di immissione alla sorgente.

Zona II: zona di concentrazione compresa tra il tempo t_i e t_m . È il tempo di concentrazione con il quale la quantità di colorante alla sorgente aumenta fino a raggiungere il massimo al t_m . In tutto il sistema domina la dispersione meccanica del tracciante. In questo caso eventuale afflussi meteorici possono diminuire localmente la concentrazione del tracciante, che comunque tende ad aumentare. Il valore $t_i - t_m$ è una funzione propria del sistema, del percorso seguito dal tracciante e dal suo punto di ingresso nell'acquifero rispetto alla zona di risorgenza. La pendenza di questo tratto di curva è data da D_h della [3].

Zona III: compresa tra il t_m e il t_f . Nella zona dell'acquifero invasa dal tracciante arriva altra acqua, che tende sia a diluire che a spingere idraulicamente il colorante in uscita. In questa fase le piogge hanno un effetto secondario, mentre volumi idrici che hanno seguito percorsi più lunghi verso l'uscita possono portare alla sorgente acqua a più alta concentrazione. Se almeno parte dell'acquifero è stato interessato in maniera abbastanza omogenea dal tracciante, la decrescita della concentrazione e quindi il trasporto avviene seguendo una legge di tipo esponenziale (DROGUE, 1971).

5. Le colorazioni

La Tab. I e le figure 7, 8, 9 e 10 sintetizzano tutte le informazioni ottenute con i traccianti all'interno del sistema carsico del M. Cucco. La Tab. I riporta i valori significativi delle variabili che intervengono nella soluzione delle equazioni [3], [4], [5], [6].

5.1. Metodologie sperimentali

I campioni di acqua sono stati prelevati giornalmente in recipienti in PVC scuri di 250 ml, alla sorgente Scirca dove venivano misurate anche la portata e le precipitazioni. Le analisi in laboratorio, eseguite per gruppi di campioni venivano fatte con un fotospettrofluorimetro CGA mod DC/3000 per le colorazioni del 1974, 1976, 1977, eccitando a 490 nm e rilevando la fluorescenza a 540 nm. Nel 1987 è stato utilizzato uno spettrofluorimetro Hitachi Perkin-Elmer, e le analisi sono state eseguite facendo variare costantemente la frequenza di eccitazione partendo da 440 nm fino a 600 nm e rilevando la frequenza di emissione sempre in

INPUT										OUTPUT																	
t ₀		Place in the M.Cucco cave	X ₀ m (x)	X _r m	Dye						time			velocity			Q _{test} m ³ s	Mass of dye injected in unit of flow surface Kg/m ²	Integral of breakthrough curve Kg sec/m ²	Peclet number Pe	Longitudinal diffusion D _L m ² /sec	Q _d discharge at the injection point m ³ /sec	Q _d Discharge at the Scirca spring m ³ /sec				
Date	time				Mo Kg	MI Kg	moles	%	Crack width 10 ⁻⁸	t ₁ sec 10 ⁵	t ₂ sec 10 ⁵	t ₃ sec 10 ⁵	t ₄ sec 10 ⁵	V ₁ m/sec 10 ⁻³	V ₂ m/sec 10 ⁻³	V ₃ m/sec 10 ⁻³											
25.05.1974	19.30	Flume Milano	1800	26	1900	Fluorescent	5	13.2	3.2	8.8	66.8	0.98	6.48	16.4	41.5	103	10.5	2.93	4.0	1.13	1420000	0.0275	24.36	0.81	2.6	0.015	0.320
27.06.1976	15.30	Flume Barberi	1750	608	852	Fluorescent	10	26.5	3.9	10.4	39.2	4.28	8.35	23.9	16.5	57.0	7.5	2.04	3.8	1.05	1191715	0.0145	18.72	55.6	0.025	0.010	0.198
07.07.1977	12.30	Flume Barberi	1750	608	1852	Fluorescent	10	26.5	3.2	8.4	31.5	6.38	2.05	32.6	31.0	36.8	3.2	0.90	2.0	0.58	337400	0.021	36.72	56.8	0.018	0.010	0.112
30.05.1987	16.30	Flume Milano	1800	26	8905	Fluorescent	10	26.5	5.2	13.8	52.0	12.0	4.70	31.5	34.8	69.0	145	40.4	2.1	0.63	1165800	0.017	29.63	292	0.0039	0.015	0.272
30.05.1987	16.30	Flume Barberi	2150	338	2176	iodamine B	5	10.4	3.1	6.6	63.0	1.74	4.87	30.7	40.2	123	16	4.46	2.5	0.71	1649000	0.017	25.25	12.9	0.115	0.08	0.272

(*) Scirca spring is at 582 m. a.s.l.

Tab. 1 - Parametri fisici, temporali ed idrodinamici relativi alle esperienze di colorazioni nel bacino idrogeologico della sorgente Scirca di M. Cucco.

maniera sincrona e continua 20 nm in avanti secondo una metodologia sperimentata da vari A. (ANDRE et al., 1977; CHARRIERE, 1974). Lo spettro completo di emissione eseguito su tutti i campioni, veniva confrontato con quello costruito partendo da soluzioni di taratura fatte con acqua di Scirca prelevata prima della colorazione. In molti casi è stato necessario amplificare il segnale della rodamina rispetto alla fluoresceina, per la sua minore sensibilità.

5.2. Le Colorazioni

Il primo test qualitativo, nel 1970, (SALVATORI 1971; BERTUCCIOLI et al., 1975) è stato realizzato con l'immissione di 2.5 kg di fluoresceina in alcuni corsi d'acqua sotterranei della Grotta di M. Cucco. L'unico collegamento con una sorgente esterna è stato verificato dopo circa 70 giorni a Scirca, che rappresenta quindi l'unico collettore della rete idrografica sotterranea.

Nel 1974 è stato fatto il primo test quantitativo (BERTUCCIOLI et al., 1975), immettendo 5 Kg di fluoresceina al fondo della Grotta nel F. Miliani (Fig. 2), in un lago di 32 m³ con una portata di afflusso di 10 l/sec. L'analisi della curva di restituzione ha permesso di calcolare il volume di acqua interessato dalla colorazione pari a 300.000 m³ (BERTUCCIOLI et al., 1975).

Nel 1976 e 1977 sono state eseguite altre colorazioni con punti di immissione localizzati nel Fiume della Galleria dei Barbari (Fig. 2) a circa 600 m sopra la

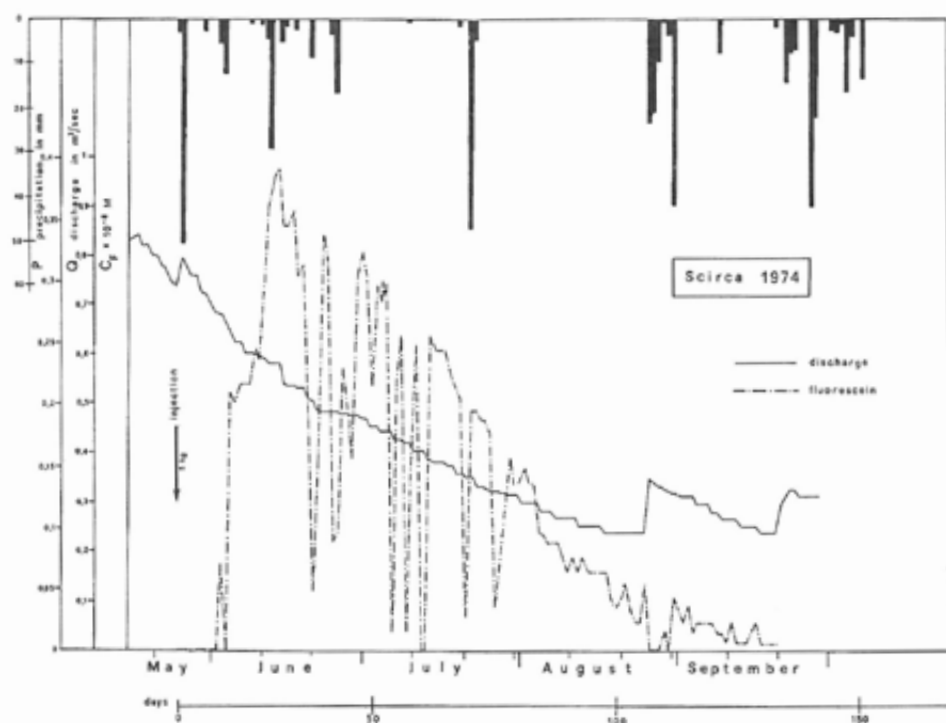


Fig. 7 - Colorazioni 1974. - Curve restituzione del colorante, portata della sorgente Scirca, piogge (da MENICETTI et al., 1988).

sorgente Scirca, in un corso d'acqua con una portata di $0.010 \text{ m}^3/\text{sec}$ che corre in uno stretto canyon, impostato su una faglia a direzione N-S (MENICHETTI et al., 1988).

Altre colorazioni (Fig. 2) hanno permesso di verificare che il corso d'acqua dell'Abisso del Boschetto alimenta in maniera diretta e rapida, la cascata del Fiume dei Barbari, mentre il torrente della Grotta della Valcella drena seguendo l'importante faglia N-S, 2 km più a valle nel F.sso delle Gorghe al di fuori del bacino idrogeologico della sorgente Scirca (MENICHETTI, 1989). Una situazione abbastanza simile è stata riscontrata nella voragine del Boccanera, nella parte più settentrionale del bacino idrogeologico, dove il torrente della parte terminale della grotta drena a nord lungo il corso del Rio Freddo in alcune risorgenti distanti diversi km.

Altre esperienze con traccianti eseguite nella Grotta di M.Cucco hanno permesso di verificare il collegamento tra il corso d'acqua della Cascata della Fluoresceina e parte del collettore del Pozzo del Berro.

Alla fine della primavera del 1987, è stato eseguito un altro test quantitativo, immettendo contemporaneamente alle ore 16.30 del 30 maggio, 10 kg di fluoresceina nel F. Miliani ($Q = 10 \text{ l/sec}$) e 5 kg di Rodamina B nel Fiume Indiana Jones nel Pozzo del Berro ($Q = 5 \text{ l/sec}$) (Fig. 2). Il 6 giugno 1987 nell'esplorazione di

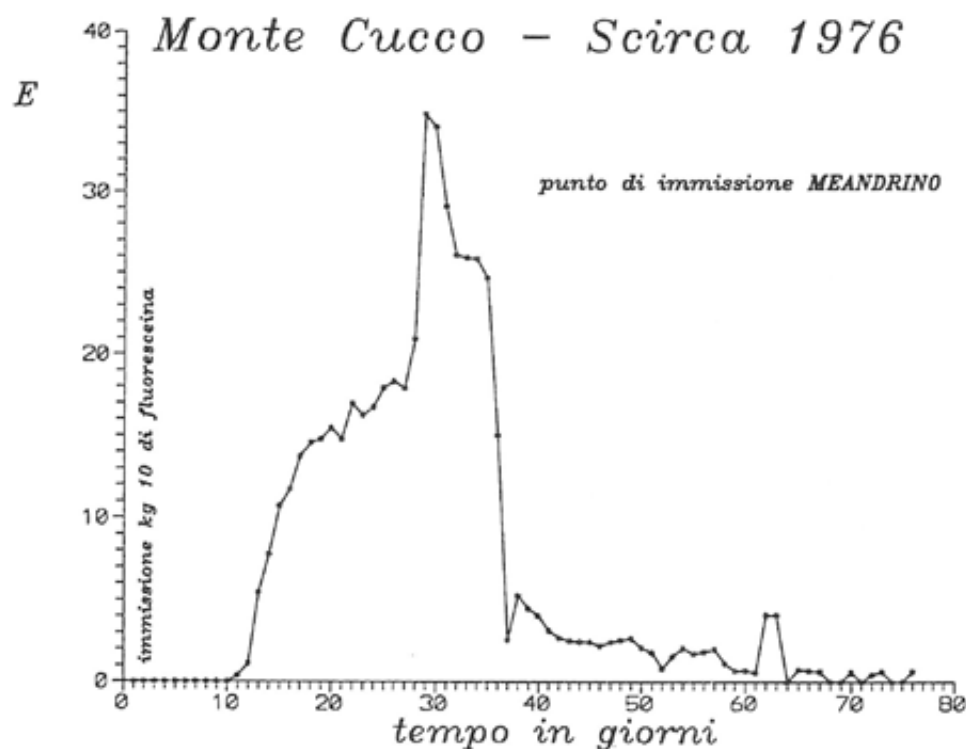


Fig. 8 - Colorazione 1976. - curva di restituzione E1976/t.

alcune gallerie attive del F. Miliani veniva scoperto, per la presenza di rodamina, che il Fiume del Berro e il Fiume Miliani non sono altro che lo stesso collettore sotterraneo. In definitiva i due coloranti, in tempi diversi (5 giorni circa), hanno percorso lo stesso tragitto.

6. Analisi delle curve sperimentali di Scirca

Le cinque curve di restituzione dei traccianti, normalizzate, (Fig. 8, 9) possono essere esaminate in due gruppi in quanto i luoghi di immissione sono gli stessi.

6.1. Il Fiume Miliani

Il Fiume Miliani è stato colorato sia nel 1974 che nel 1987 e presumibilmente il tragitto percorso dal tracciante appartiene allo stesso settore del sistema.

Il tracciante ha colorato la riserva d'acqua della sorgente per alcune settimane ed è stato praticamente impossibile eliminare l'effetto delle piogge, le quali pur non avendo portato variazioni significative alla portata, hanno prodotto oscillazioni significative alle concentrazioni dei coloranti in uscita. Le informa-

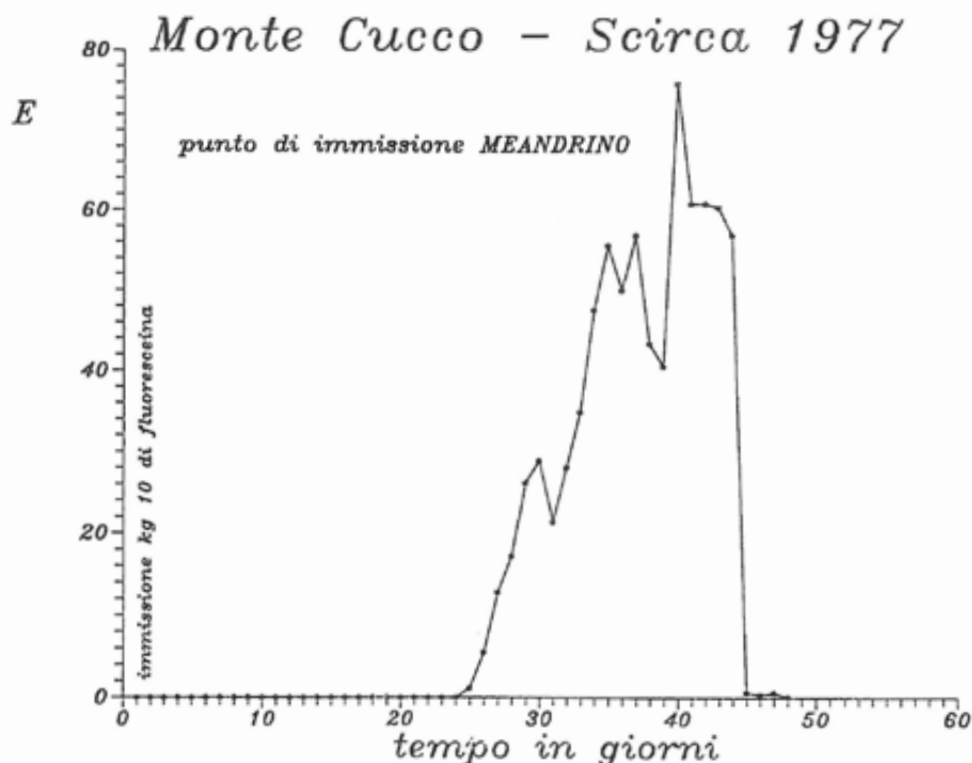


Fig. 9 - Colorazione 1977. - curva di restituzione E_{1977}/t .

zioni che possiamo trarre dall'esame di tali curve, dovranno quindi essere ricercate soprattutto nei tratti a regime non influenzato. I primi arrivi (t_i), sono sempre stati subordinati alle precipitazioni, infatti le velocità V_i del 1987 sono almeno in ordine di grandezza superiori a quelle del 1974 (rispettivamente 10,5 m/h contro i 145 m/h - Tab. I) per la fluoresceina mentre i valori sono confrontabili per la rodamina. Se consideriamo la velocità al t_m , i rapporti sono invertiti, con 4 m/h nel 1974 e 2,1 - 2,5 m/h nel 1987. Questa variazione può essere giustificata attraverso i maggiori apporti meteorici che influenzano l'andamento della curva nel I tratto.

La funzione di autocorrelazione del segnale in uscita dal sistema E_{1974} (Fig. 7b) indica la presenza di un certo rumore di fondo causato dalle piogge che non influenza il trend decrescente della quantità di colorante in uscita. La funzione di cross-correlazione tra E_{1974}/Q_{1974} indica che la massima correlazione, cioè quando l'acquifero è completamente invaso dal tracciante, si ottiene dopo circa 17 giorni. Lo spettro di potenza mostra un unico segnale con banda abbastanza stretta e conferma l'attendibilità della curva di restituzione del tracciante in uscita dal sistema. Durante la colorazione del 1987 eseguita sempre sul F. Miliani, contrariamente alle aspettative, la concentrazione massima della Rodamina ha luogo con circa 24 ore di anticipo su quella della Fluoresceina. Da notare che i massimi e le variazioni indotte dalla pioggia seguono lo stesso trend per ambedue i traccianti. Raggiunto il massimo, la concentrazione della Rodamina diminuisce in maniera esponenziale, mentre quella della Fluoresceina subisce delle variazioni del tutto casuali, con picchi di concentrazione improvvisi (coincidenti tra l'altro con quelli della Rodamina), per poi ritornare ad un valore di fondo dell'ordine di $3 \cdot 10^{-9}$ moli/l. Il 90% della fluoresceina totale restituita pari al 52% del totale imesso, esce dall'acquifero di Scirca dopo 62 giorni. Nella curva di restituzione (Fig. 10a) si può notare alla fine di Luglio un massimo secondario che può essere messo in relazione a percorsi molto diversi del tracciante. Tale diversità di comportamento escludendo fenomeni di adsorbimento ed errori sperimentali, può essere spiegata esclusivamente con una notevole eterogeneità dell'acquifero. I due traccianti possono aver seguito lo stesso percorso in tempi diversi ma con regimi idraulici differenti. La fluoresceina è stata immessa praticamente nella zona satura dell'acquifero e si è mossa con bassa velocità. Gli apporti idrici delle piogge hanno avuto uno scarso effetto sulla sua propagazione. La rodamina immessa più a monte nella zona di trasferimento dell'acquifero è stata trasportata velocemente nella zona satura dai nuovi apporti idrici delle piogge, trovando condizioni idrauliche diverse che le permettevano una maggiore velocità di propagazione.

La funzione di autocorrelazione della E_{f1987} e lo spettro di potenza indicano che il segnale fornito dalla fluoresceina ha un notevole rumore di fondo che non permette una buona interpretazione del risultato. Il segnale fornito dalla rodamina E_{r1987} mostra invece una funzione di autocorrelazione decrescente molto meno disturbata di quella della fluoresceina. La funzione di cross-correlazione tra E_{r1987}/Q_{1987} indica che l'acquifero viene saturato dal tracciante dopo 19 giorni. Lo spettro di potenza di E_{r1987} mostra un segnale netto a conferma della bontà dell'esperimento.

La dispersione longitudinale ci dà informazioni sulla velocità con cui l'acquifero viene invaso dal tracciante; i dati ottenuti (Tab I), risultano abbastanza diversi con variazioni che vanno da un massimo di $2.6 \text{ m}^2/\text{sec}$ a $3.9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$.

Tali valori sono relativamente bassi per acquiferi carsici, ma comunque abbastanza alti per rendere molto vulnerabile all'inquinamento l'intera idrostruttura carbonatica.

I valori del numero di Pe trovati e compresi tra 0.8 e 12 indicano che il meccanismo predominante di propagazione del tracciante è la dispersione meccanica con una certa influenza della diffusione.

6.2. Il Fiume dei Barbari

Le curve di restituzione dei test eseguiti nel 1976 e 1977 (Fig. 8 e 9) sul Fiume dei Barbari (Fig. 2), mostrano un andamento nettamente diverso rispetto alle precedenti, ma abbastanza simili tra loro, considerando anche le diverse condizioni idrauliche della sorgente.

In questi due tests, il t_i raggiunge valori di 232 e 569 ore, mentre il t_m non si discosta di molto dalle altre colorazioni.

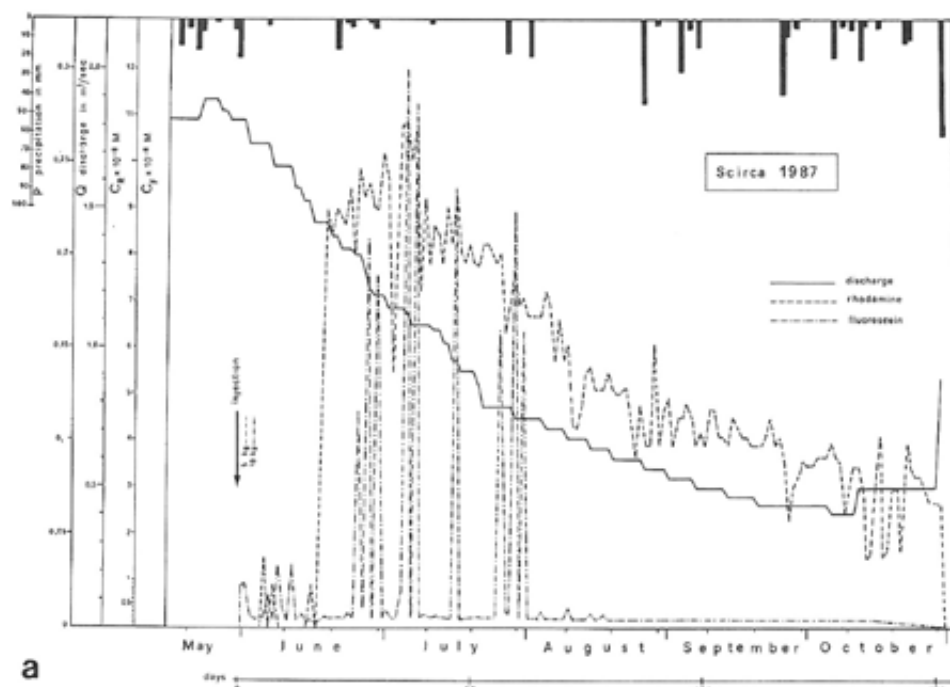
Le piogge e le variazioni di portata hanno influenzato notevolmente la forma delle due curve che si presentano abbastanza simmetriche e notevolmente spostate verso il tratto di concentrazione (zona II di Fig. 5), così come le brusche cadute di concentrazione nella parte terminale. Ciò è evidente ad esempio con le piogge della fine di luglio 1976 che fanno variare la portata della sorgente da 0,125 m³/sec a 0,180 m³/sec e con i temporali della prima decade di agosto 1977 che pur non modificando la portata della sorgente abbassano la concentrazione del colorante a valori molto bassi. Le velocità al tempo t_m si discostano poco tra loro nelle varie colorazioni e sono sempre dello stesso ordine di grandezza. Per quanto riguarda i t_i , le diversità registrate, confermano quanto già osservato direttamente nella grotta e cioè che il collettore del Fiume dei Barbari è notevolmente influenzato dalle precipitazioni soprattutto quelle provenienti da NE, con tempi di risposta di pochissime ore.

Le funzioni di autocorrelazione E_{1976} e E_{1977} sono abbastanza pulite e mostrano un chiaro trend decrescente nel tempo con correlazione nulla per ambo i segnali dopo 12-14 giorni. Le funzioni di cross-correlazione tra E/Q indicano che il tracciante non ha mai saturato completamente l'acquifero. Gli spettri di potenza presentano una banda relativamente larga dell'impulso del tracciante nell'acquifero e confermano la buona qualità dei dati ottenuti. I valori di dispersione longitudinale sono dello stesso ordine di grandezza e sono compresi tra 0.025 e 0.018 m²/sec mentre il valore del numero di Pe uguale a 56 indica che la propagazione del tracciante è avvenuta soprattutto per dispersione meccanica.

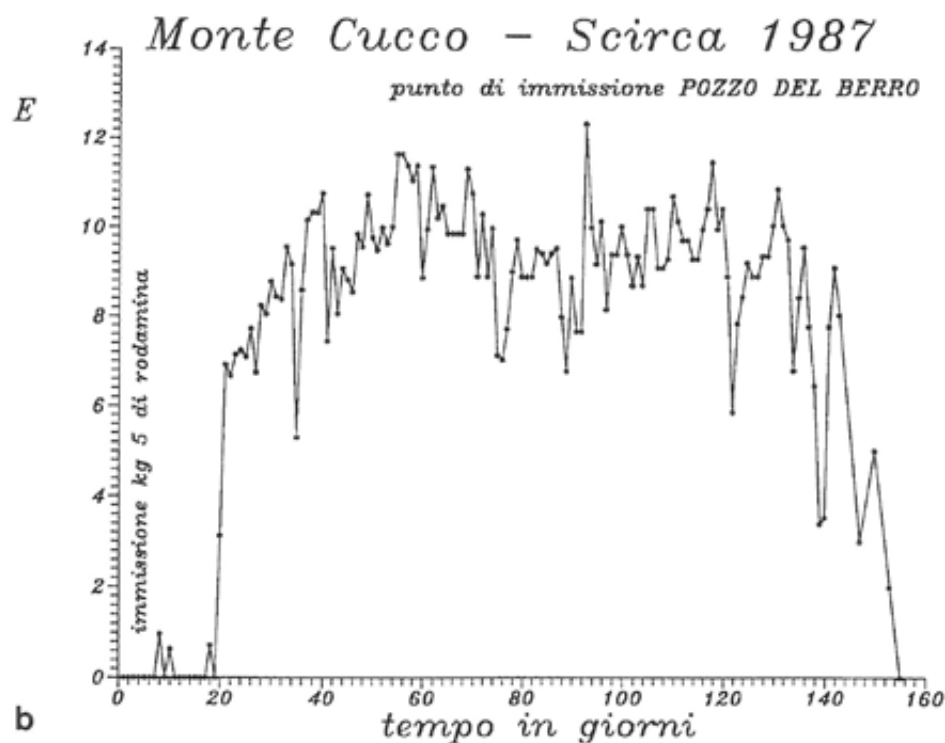
La restituzione del tracciante è superiore al 50% per i test al F. Miliani, mentre inferiore al 40% in quelli al F. dei Barbari. Tale situazione non è spiegabile solo attraverso un maggior percorso seguito dal tracciante, ma probabilmente è necessario considerare che esistono perdite di subalveo a valle della sorgente Scirca non computate nella Q_{tot} .

7. Discussione

Le cinque curve di restituzione dei tracciante si prestano difficilmente a ulteriori considerazioni analitiche quantitative in quanto è abbastanza evidente co-



a



b

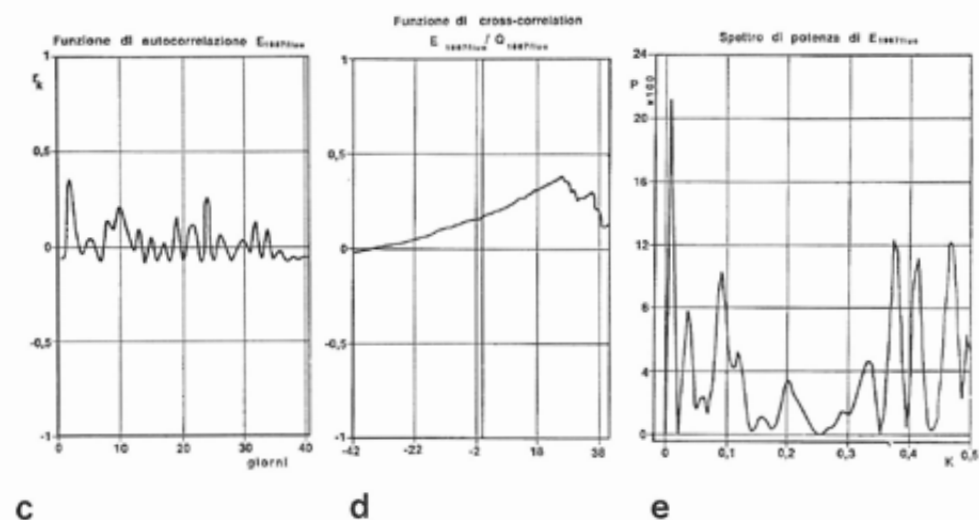
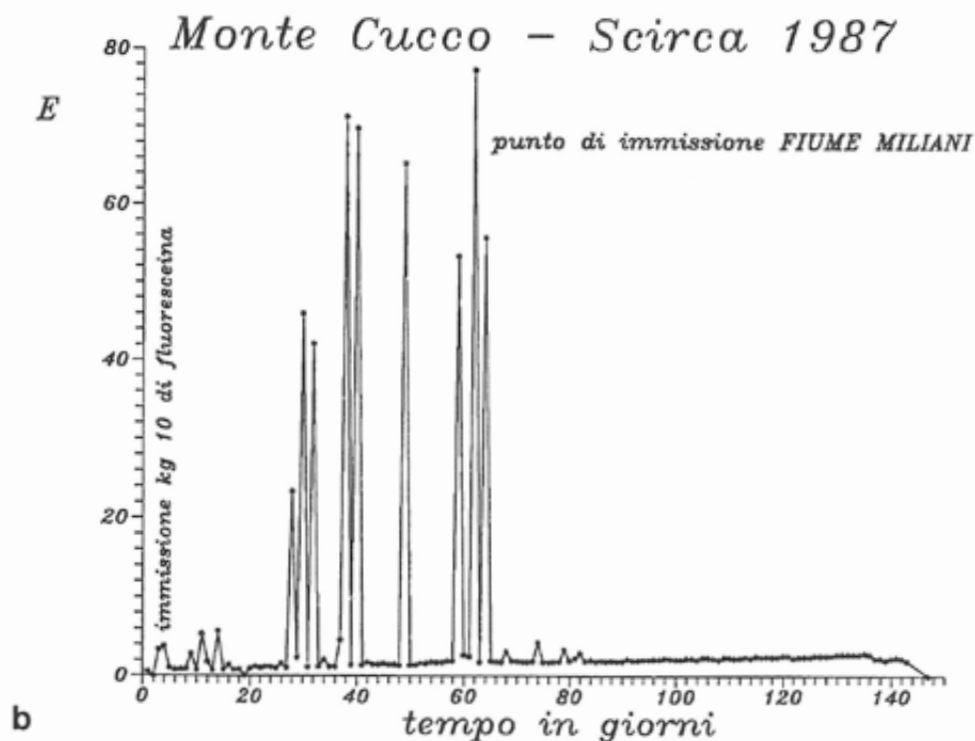


Fig. 10 - Colorazione 1987. a - Curve restituzione del colorante, portata della sorgente Scirca, piogge; b - curve di restituzione E/t ; c - funzione di autocorrelazione; d - funzione di cross-correlazione E/Q ; e - spettro di potenza di E .

me il regime idraulico abbia influenzato la forma delle curve. Le velocità corrispondenti al t_m hanno valori pressochè simili in tutti i test eseguiti con un valore medio di 2.3 m/h.

I valori di dispersione idrodinamica e del numero di Pe trovati e riportati in Tab. I, sono più bassi di quelli calcolati in acquiferi di tipo carsico, mentre corrispondono abbastanza bene ad acquiferi carbonatici controllati da fratture. I numeri di Pe calcolati per le cinque curve di restituzione di tracciante indicano un meccanismo di propagazione e diluizione longitudinale dove prevale la dispersione meccanica con un modesto contributo, nel caso del Fiume Miliani, del meccanismo di diffusione (LEVENSPIEL, 1972).

I due collettori sotterranei, il Fiume Miliani e il Fiume dei Barbari, anche per la loro posizione spaziale rispetto all'acquifero di base hanno un comportamento diverso.

Il Fiume Miliani, situato a poche decine di metri sopra il livello di fondo si inserisce in una posizione abbastanza arretrata rispetto alla sorgente. Ciò è evidenziato anche dal diverso comportamento rispetto alle piogge che non modificano sostanzialmente le curve di concentrazione del colorante in uscita. Nella parte decrescente delle curve di restituzione i nuovi apporti idrici da parte delle piogge, tendono a diluire il traccianate per poi ripristinare la situazione precedente. Ciò potrebbe essere dovuto all'apporto, in prossimità della sorgente, di afflussi da altri dreni sotterranei provenienti da regioni diverse dell'idrostruttura. La diversità tra le due curve di restituzione del 1987 indica come il drenaggio nello stesso collettore sia fortemente controllato dal regime idraulico dell'intero acquifero. Le fluttuazioni apparentemente casuali e la presenza di variazioni anomale della concentrazione indicherebbero una diversità di percorso seguita dal tracciante. Percorsi più lunghi, senza diluizione, restituiscono in tempi maggiori volumi di acqua a più alta concentrazione (LEVIENSPIEL, 1972; FORNEAUX & SOMMERA, 1986). Il rilevamento geologico strutturale permette di individuare in una serie di fratture orientate NE-SW (joints + faglie) le principali direttrici di drenaggio di questa parte del sistema (MENICHETTI, 1987).

Il Fiume dei Barbari, per contro sembra essere costituito da un collettore

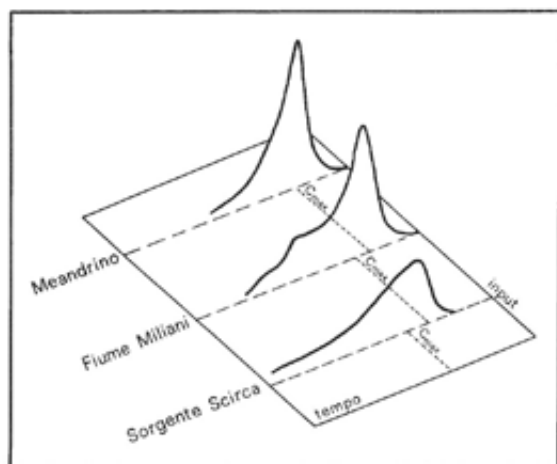


Fig. 11 - Propagazione schematica di un tracciante nei diversi corsi d'acqua sotterranei del bacino idrogeologico della sorgente Scirca.

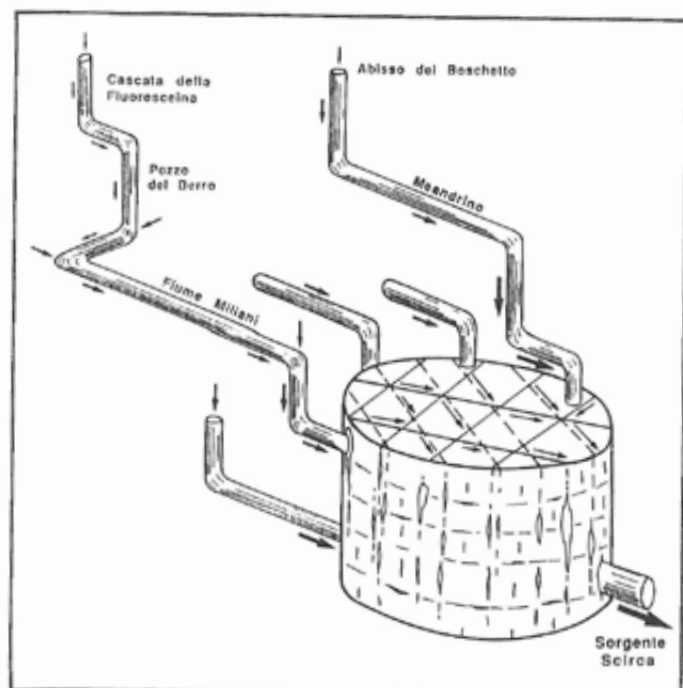


Fig. 12 - Schema idraulico della sorgente Scirca.

ben individuato che si porta a ridosso dell'area sorgente senza ricevere grossi apporti laterali. Inizia nell'Abisso del Boschetto nel versante NE del M. Cucco, dove attraverso una serie di fratture orientate N-S, non percorribili, raggiunge la parte terminale della Galleria dei Barbari, dove una stretta galleria impostata sempre sulle stesse fratture raggiunge il «fondo galante» a -780 m. Le curve di restituzione dei coloranti del 1976 e 1977, mostrano chiaramente come piogge anche di pochi cm, possono «pulire» completamente il collettore e spingere fuori tutta l'acqua colorata.

La Fig. 2 e lo schema di Fig. 10 sintetizzano il quadro sulla idrostruttura carbonatica del M. Cucco. I numerosi test con traccianti eseguiti all'interno del vasto sistema carsico sotterraneo, hanno permesso di caratterizzare due collettori minori della sorgente Scirca. Essi sono impostati in gallerie controllate da un sistema di fratture poco carsificate. Zone dell'idrostruttura carbonatica, anche molto distanti dall'area sorgente, hanno un drenaggio rapido con bassa dispersione idrodinamica. La modellizzazione delle curve di restituzione indicano una notevole vulnerabilità dell'acquifero della Scirca, sia per quanto riguarda i tempi di transito che la diluizione idrodinamica di eventuali agenti inquinanti.

Ringraziamenti

L'insieme dei dati fin qui presentati non poteva essere raccolto senza la collaborazione di moltissime persone. Un ringraziamento alla Società CESAP di Perugia che gestisce l'acquedotto di Scirca, e ai Sig.ri Luigi Costantini e Domenico Co-

stanzi, custodi dell'opera di presa della sorgente. Un ringraziamento per la collaborazione al Direttore e al personale dell'Istituto di Chimica Fisica dell'Università di Perugia. Infine un ringraziamento a tutti gli speleologi del G.S.C.A.I. Perugia, dello Speleo Club C.A.I. Gubbio, del Centro Nazionale di Speleologia: senza la loro collaborazione questo lavoro non sarebbe mai stato possibile.

Bibliografia

- ANDRE J.C., BOUCHY M. & NICLAUSE M., 1977 - *Quantitative studies of synchronous excitation method in spectrofluorimetry: application to tracer concentration measurements in hydrology*. Analytica Chimica Acta, 92, 369-378.
- BEAR J., 1979 - *Hydraulics of groundwater*. Mc Graw Hill Comp., New York, 567 p..
- BEAR J. & BACHMAT Y., 1967 - *A generalized theory on hydrodynamic dispersion in porous media*. I.A.H.S. Pub. n. 72, 7-16.
- BERTUCCIOLI M., REICHEMBACH G. & SALVATORI F., 1975 - *Relations between Monte Cucco underground hydrography and Scirca spring*. Annales de Spéléologie, 30, 473-741.
- CHARRIERE R., 1974 - *Perfectionnement à la mesure de traceurs fluorescents. Application à l'Hydrologie*. Comm. Energie Atomique. Centre d'Etudes Nucleaires de Grenoble. These 3ème cycle. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 197 p.
- ERIKSON E., MOSETTI F., HODOSCEK K. & OSTANEK L., 1973 - *Some new results on the hydrology with the employ of tritiated water as tracer*. Boll. Geof. Teor. App., 17.
- FORNEAUX J.C. & SOMMERA L., 1986 - *Utilisation de la méthode des tracages par l'étude des aquifères fissurés en milieu calcaire*. Karstol., 7, 21-24.
- GUIZERIX, MAGRITA, MOLINARI, GAILLARD B., CALMES P. & COROMP P., 1970 - *Contribution à la mesure de débits en régime variable par une méthode de dilution de traceurs radioactifs*. Isotope Hydr., 197 A, AIEA Wien 1970, STI (PUB) 255, 463-477.
- JAMIER D., 1976 - *Interpretation des essais de tracage des eaux karstiques*. Deux. Coll. Hydr. Pays calcaires. Ann. Sci. Univ. Besancon Geologie, 25, 3, 229-240.
- HIMMELBLAU D.M., 1969 - *Process analysis by statistical methods*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 463 p.
- LEVENSPIEL O., 1972 - *Chemical reaction engineering*. John Wiley & Sons Inc., New York, p. 578.
- MANGIN A., 1974 - *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Ann. de Spéléol., 29, 3, 233-332; 29, 4, 494-601; 30, 1, 21-124.
- MENICHETTI M., 1985 - *Caratteristiche chimico-fisiche delle acque carsiche dell'Appennino umbro-marchigiano*. Atti Congresso Naz. Biosp. Città di Castello - Marzo 1985, ed. Primos, 33-73.
- MENICHETTI M., 1987 - *Analisi spazio-temporale del sistema carsico del M. Cucco*. Atti XV Cong. Naz. Spel. Castellana Grotte, Bari, 731-762.
- MENICHETTI M., SALVATORI F. & REICHEMBACH G., 1988 - *Contribution des essais de multitracages à la définition de l'hydrostructure carbonatique de Monte Cucco et de la Source Scirca - Italie - Appennin Central*. Coll. Hydrol. en pays calcaire, Ann. Sc. Univ. Besancon, 6, 2, 347-364.
- MENICHETTI M., 1989 - *Hydrogeology of M.Cucco karst system in Central Italy*. X Cong. Int. Speleol. Budapest, 3, 748-750.
- MENICHETTI M., 1990 - *Hydrodynamics of the fissured karst system of M. Cucco in Central Italy*. Int. Symp. Field Sem. «Hydrogeologic processes in karst terranes», Antalya/Turchia, ott. 1990.
- MOLINARI J., 1976 - *Perspective offerts par l'utilisation rationnelle des traceurs naturels et artificiels en hydrologie karstique*. Commentaires de nombreux exemples recents de multitracages. Deux. Coll. Hydrol. Pays Calcaires. Ann. Sci. Univ. Besancon, Geologie, 25, 3, 275-306.
- ROCHAT J., ALLARY J. & FORNEAUX J.C., 1981 - *Comportement des traceurs fluorescents xanthéniques*. Spelunca, 3, 22-26.

STEFANO LUGLI *

CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SULLA GENESI DELLE CAVITÀ AD «ANSA IPOGEA» NELLE EVAPORITI TRIASSICHE DELL'ALTA VAL SECCHIA (RE)

RIASSUNTO - Le anse ipogee sono complessi sistemi carsici presenti negli affioramenti della Formazione Evaporitica di Burano (a prevalenti litotipi gessosi, dolomitici ed anidritici) nell'alta Valle del F. Secchia (Reggio Emilia, Italia). Esse devono la loro origine all'inghiottimento di rami di corsi d'acqua all'interno del corpo evaporitico con formazione di torrenti ipogei che scorrono a breve distanza dall'alveo esterno, al quale ritornano dopo un tragitto di varia lunghezza. Recenti indagini petrografiche e speleologiche hanno permesso di individuare i seguenti fattori che ne determinano la genesi e ne condizionano lo sviluppo:

- fratture di rilascio dei versanti connesse al rapido approfondimento delle incisioni vallive;
- meccanismi di idratazione dell'anidride a gesso;
- depositi alluvionali e frane per colata provenienti dalle formazioni argillose affioranti intorno alle dorsali evaporitiche.

Viene proposto uno schema di classificazione delle anse ipogee secondo criteri genetico - evolutivi: 1) anse ipogee di tipo semplice; quando la risorgenza si verifica nella stessa vallata di inghiottimento delle acque; 2) anse ipogee di tipo composto; quando la risorgenza avviene in una vallata differente da quella di inghiottimento a causa di fenomeni di cattura dei torrenti sotterranei lungo famiglie di fratture di rilascio di orientazione diversa. Le deviazioni dei percorsi sono determinati dalla presenza di a) depositi franosi; b) depositi alluvionali.

ABSTRACT - The «anse ipogee» (hypogean bends) are complex karst systems crossing the Triassic Burano evaporite outcrops (mainly gypsum rocks, dolostones and anhydrite rocks) of the upper Secchia River Valley (Reggio Emilia, Northern Italy). They are fed by the sinking of water from the superficial rivers and run just few tens of meters from the rock - wall along directions strictly parallel to the external fluvial beds. The streams rise back to the main valleys after a variable hypogean way, which is controlled by:

- vertical fractures transecting the most external belt of the evaporite outcrops. They are due to tectonic processes related to high - rate deepening of the valleys by fluvial erosion and dissolution;
- relatively superficial anhydrite - gypsum mechanisms preventing the cavities to develop within the core of the outcrops;
- alluvial deposits and fan - shaped landslides moving from the tertiary shales Formations surrounding the evaporite ridges. They act as impediment to the rising up of the streams.

A genetical - evolutionary classification of the hypogean bends is proposed: 1) simpletype hypogean bends, when the water is free to rise back to the same valley where sinking took place; 2) composite - type hypogean bends, when the presence of: a) alluvial or b) landslide deposits, cau-

* Istituto di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Modena / Gruppo Speleologico Emiliano - CAI Modena.

ses the capture of the water flow by a new detentfracture systems and the rising up of the stream into a different valley.

La formazione evaporitica triassica

Lungo il corso del fiume Secchia, nell'alto Appennino reggiano, affiora estesamente la Formazione evaporitica di Burano (MARTINIS & PIERI, 1963) di età norico-carnica (PASSERI, 1975; Fig. 1). Essa è costituita prevalentemente da litotipi gessosi, dolomitici ed anidritici (BERTOLANI, 1984; BERTOLANI & ROSSI, 1986). Tali rocce si trovano in giacitura estremamente caotica sia in seguito ad intensi fenomeni diagenetici che di tettonizzazione legati ai complessi meccanismi di messa in posto durante l'orogenesi appenninica (BARCHI, a.a. 1987/88; LUGLI, a.a. 1988/89a e b; TOSATTI, a.a. 1988/89). La prevalente componente solfatica della Formazione evaporitica ha permesso l'instaurarsi di numerosi fenomeni carsici sia superficiali che ipogei (MALAVOLTI, 1949; BERTOLANI, 1984; BERTOLANI & ROSSI, 1986; CATELLANI *et al.* 1986; CHIESI, 1986; FORTI *et al.*, 1986).

Caratteri morfologici

La valle del F. Secchia - La zona presa in esame è delimitata, ad ovest, dal T.

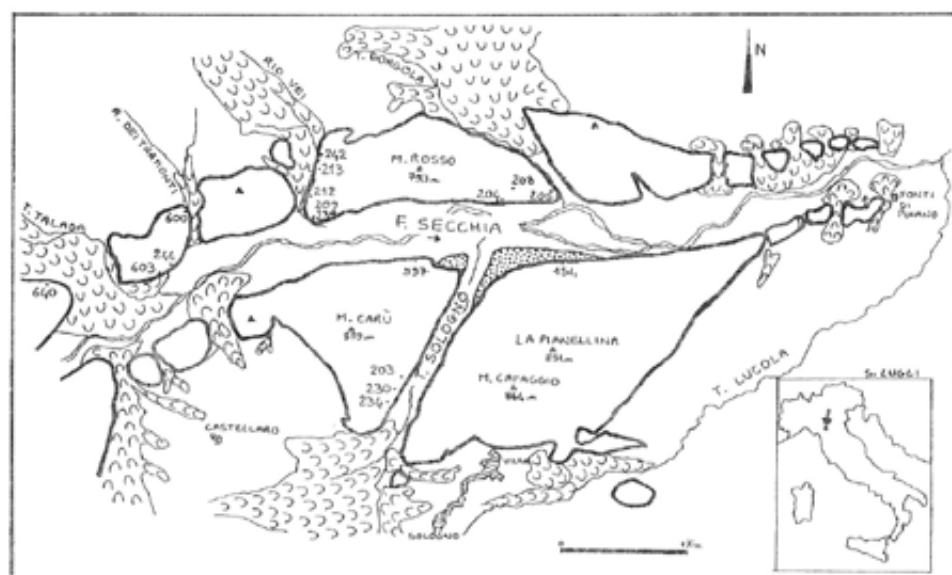


Fig. 1 - Carta schematica degli affioramenti della Formazione evaporitica di Burano (Trias sup.) nell'alta valle del F. Secchia. Sono evidenziati i movimenti franosi per colata e sono ubicate, con relativo numero catastale, le principali cavità citate nel testo. Al centro (punteggiati) sono visibili i due lembi del deposito fluviale terrazzato del Mulino della Gacciola (ad ovest) e di Cà Rabacchi (ad est).

Ozola e, ad est in prossimità delle sorgenti di Poiano, dal T. Lucola (Fig. 1).

La morfologia di questo territorio presenta aspetti molto particolari. Infatti a causa della forte erosione e dissoluzione che le acque del F. Secchia esercitano sulle rocce evaporitiche al piede dei versanti, l'alveo risulta delimitato da pareti strapiombanti e la sezione valliva presenta una caratteristica forma ad «U» (Fig. 2).

Nel fondovalle, alla base delle pareti, l'azione modellatrice del fiume si manifesta con un andamento di tipo ciclico: la divagazione continua del filone principale di corrente sull'ampio materasso alluvionale fa sì che, in aree un tempo soggette ad erosione e dissoluzione, possa momentaneamente prevalere l'accumulo per crollo di massi e blocchi rocciosi dalle ripide ed instabili pareti sovrastanti. In questo modo si formano ampie e potenti coltri di detrito di falda che, talora, possono essere soggette ad una azione cementante da parte di soluzioni circolanti ricche in solfati. Un esempio specifico di tale evoluzione si osserva sulla parte superiore della scarpata meridionale della dolina di crollo del Tanone Grande della Gaggiolina (154 E/RE). Qui un prisma relitto di detrito di falda rimane in gran parte pensile perché parzialmente cementato da acque selenitose.

In una fase successiva, generalmente in occasione di grandi piene, l'asta fluviale può di nuovo variare il suo percorso, lambire le conoidi e, con la sua azione di asporto, chiudere quel ciclo. Tale fenomeno è visibile in sponda sinistra del F. Secchia, dove la corrente sta attualmente incidendo alcune potenti coltri detritiche al piede di M.te Rosso.

In destra idrografica i versanti, generalmente non lambiti dal fiume da tempo, hanno raggiunto un buon grado di regolarizzazione morfologica, con lo sviluppo di vaste aree boschive (pendici settentrionali di M.te Cafaggio - La Pianellina). Attualmente, ed in particolare dopo le grandi piene dell'estate -autunno 1987, il F. Secchia, di nuovo, tende progressivamente a divagare verso la sua destra idrografica.

La valle del T. Sologno - Anche la valle del T. Sologno (affluente di destra del F. Secchia; Fig. 1 e 4) presenta una tipica sezione ad «U», probabile retaggio morfologico di passati momenti climatici a più intensa piovosità e conseguente maggiore deflusso d'acque in alveo. Infatti questo torrente, in corrispondenza degli affioramenti evaporitici, ha assunto un regime idrico di netta sporadicità: le sue scarse acque vengono in gran parte drenate in sub-alveo od inghiottite dal sistema carsico del Tanone Grande della Gaggiolina (154 E/RE) attraverso una rete di fratture e di superfici di discontinuità beanti (Fig. 4). I versanti molto acclivi di questa valle stanno pertanto evolvendo in prevalenza per crollo senza che il torrente eserciti alla loro base una efficace azione di asporto, che si verifica solo saltuariamente in occasione di piene eccezionali.

Le anse ipogee

Si tratta di cavità peculiari dell'alta val Secchia descritte per la prima volta da MALAVOLTI nel 1949 come: *«ramo di un corso d'acqua che, penetrato nelle roc-*

ce carsiche della sponda, attraverso multipli e piccoli inghiottitoi, forma un condotto che segue, generalmente a piccola distanza, il corso esterno per ritornare ad esso, dopo un percorso di varia lunghezza, mediante una risorgenza solitamente piuttosto ampia».

Nell'area studiata le principali anse ipogee sono (Fig. 1, 3 e 4): la Risorgente del Mulino della Gacciola (597 E/RE), il Tanone Grande della Gaggiolina (154 E/RE), la Risorgente di M.te Rosso (204 E/RE), la Risorgente del Torrente Dorgola (205 E/RE), le Risorgenti di Rio Vei (212, 213 e 242 E/RE), l'Inghiottitoio del Rio dei Tramonti (600 E/RE), la Risorgente di Cà della Ghiaia (244 E/RE), e l'Inghiottitoio di Talada (640 E/RE).

Considerazioni sulla genesi delle anse ipogee

Condizioni strutturali - MALAVOLTI (1949) riteneva fosse «totalmente da escludere il rapporto costante delle anse ipogee con determinate condizioni tettoniche. Infatti alcune anse ipogee di notevole sviluppo attraversano successivamente strati e banchi alternati delle rocce triassiche che assumono, in breve spazio, le più disparate varietà di rapporti stratigrafici quali solo può consentire l'assetto estremamente tormentato della formazione gessoso-calcareo». Alcuni studi hanno evidenziato la presenza di importanti lineazioni tettoniche e fasce di deformazione in corrispondenza degli alvei del Fiume Secchia e del Torrente Sologno (Gruppo

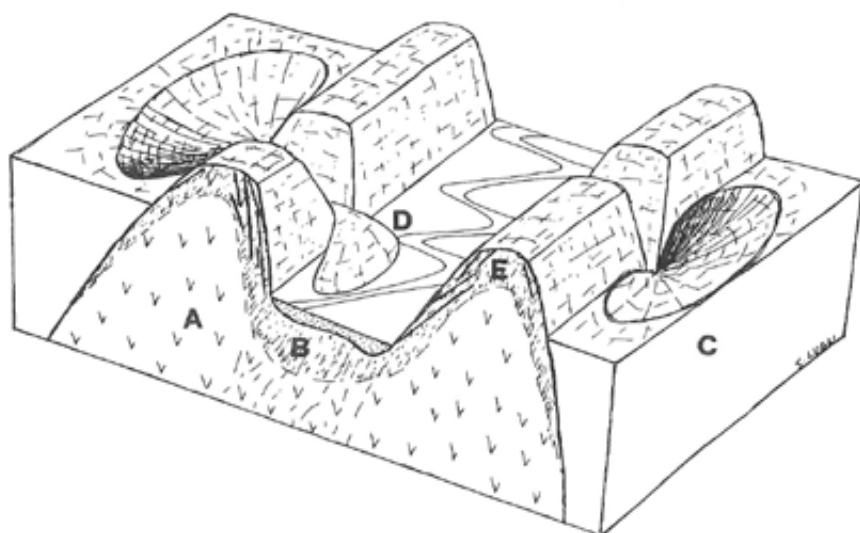


Fig. 2 - Schema geologico dell'alta Valle del F. Secchia.

Formazione evaporitica di Burano (Trias sup.): A) nuclei anidritici in via di «gessificazione periferica»; B) fascia di superficie a «gessificazione totale»; C) Complessi argillosi alla base dei flysch terziari (M.te Caio e Solignano); D) frane per colata; E) fratture di rilascio dei versanti.

Ricerca Geomorfologica CNR, 1982); appare inoltre evidente il parallelismo delle direzioni di sviluppo dei condotti carsici con l'andamento delle incisioni fluviali stesse (CATELLANI et. al., 1986; CHIESI, 1986). Non sono tuttavia disponibili dati sui reali effetti e sulle entità delle dislocazioni individuate. Lo stesso meccanismo di messa in posto della Formazione Evaporitica nell'area reggiana è ancora oggetto di controversie interpretative (FAZZINI, 1976; CALZOLARI et al., 1987).

Recenti indagini (LUGLI, a.a. 1988/89b) sembrano confermare l'ipotesi formulata nel 1935 da ANELLI, secondo la quale, in seguito ai fenomeni orogenetici appenninici, la Formazione Evaporitica si trova oggi in giacitura di «grandiosa breccia tettonica». In base a tali ricerche si può affermare che, causa gli stress tettonici connessi all'orogenesi appenninica, si sono verificati vasti fenomeni di ricristallizzazione e caoticizzazione delle rocce della formazione triassica, meccanismi chiaramente legati alle intrinseche e peculiari proprietà fisiche dei minerali evaporitici e alla loro attitudine ai passaggi di fasi strutturali in funzione dei mutamenti delle condizioni ambientali.

Il rilascio dei versanti - Le fratture più importanti e più evidenti che interes-

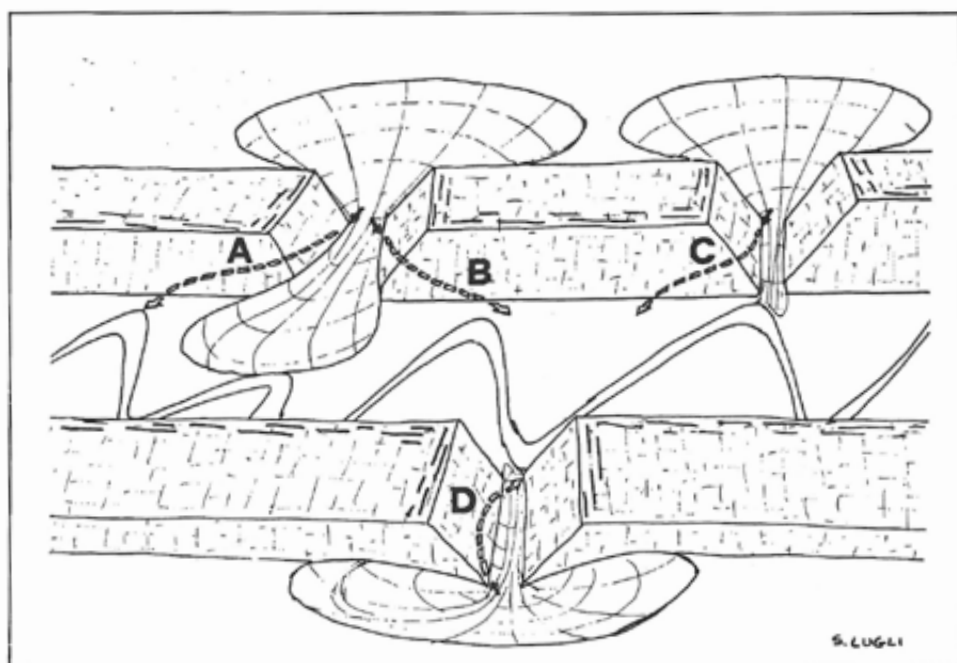


Fig. 3 - Schema genetico-evolutivo delle anse ipogee.

Anse ipogee di tipo composto con controllo da parte di depositi franosi: A) tipo Inghiottitoio di Talada (640 E/RE); B) tipo Risorgente Melli (603 E/RE); C) tipo Inghiottitoio dei Tramonti/Risorgente di Cà della Ghiaia (600 e 244 E/RE); anse ipogee di tipo semplice; D) tipo Risorgente del T. Dorgola (205 E/RE) e Risorgenti di Rio Vei (212, 213 e 242 E/RE).

sano il corpo evaporitico posseggono caratteristiche tipiche ascrivibili a fenomeni di tettonica passiva. Si trovano infatti esclusivamente lungo i pendii più acclivi e lungo le dorsali affacciate verso le incisioni fluviali, rispetto alle quali mantengono uno stretto parallelismo (Fig. 2).

Si tratta di fratture allargate a prevalente sviluppo verticale, alcune delle quali percorribili (Pozzi di M.te Carù: 203, 230, 234, 237 E/RE e Pozzi di M.te Rosso: 208, 209, 239 E/RE; Fig. 1), che devono la loro origine a fenomeni di rilascio dei versanti, per rapida decompressione connessa al veloce approfondimento delle valli che solcano la Formazione di Burano. Spesso i «lastroni» verticali di roccia così formati vengono disarticolati per mancanza di sostegno al piede causata dall'erosione e dalla dissoluzione esercitate dal corso d'acqua sottostante (scarpata di M.te Rosso), Tali superfici di discontinuità, di tipo secondario, possano quindi costituire percorsi di deflusso preferenziale sia per le acque carsiche che per quelle fluviali. In quest'ultimo caso è sufficiente che un ramo di un corso d'acqua esterno giunga a lambire le pareti gessose per esserne rapidamente inghiottito.

La gessificazione dell'anidrite - Studi recenti hanno evidenziato la presenza di almeno due fasi principali di idratazione della anidrite (LUGLI, a.a. 1988/89a; TOSATTI, a.a. 1988/89):

a) gessificazione periferica limitata ai bordi esterni ed ai piani di sfaldatura dei singoli cristalli; tale processo sembra arrestarsi una volta che è stato occupato tutto il volume libero disponibile a spese della porosità iniziale della roccia anidritica.

b) gessificazione totale; in questo caso l'idratazione procede per fronti netti, mentre i fluidi circolanti asportano il gesso volumetricamente in eccesso che man mano viene prodotto.

La fase a) sembra riferibile a condizioni ambientali di sub-affioramento, quando le acque meteoriche incominciano a permeare l'ammasso evaporitico.

La fase b), invece è ascrivibile a condizioni ambientali di affioramento, quando si verifica «l'invasione» carsica nel corpo evaporitico delle acque meteoriche.

L'effetto fisico di questi meccanismi si traduce in un aumento del volume totale della roccia estremamente poco significativo o addirittura nullo. L'ipotesi che intervengano fattori compensativi in grado di annullare l'effetto globale dell'aumento di volume connesso al passaggio anidrite - gesso è sostenuta da numerose evidenze sia petrografiche che geologiche (vedi LUGLI, a.a. 1988/89a; TOSATTI, a.a. 1988/89), alcune delle quali in precedenza segnalate anche da CIARAPICA & PASSERI (1976), per gli affioramenti toscani ed umbri della Formazione di Burano e da altri Autori per numerosi depositi evaporitici di tutto il mondo (HOLLIDAY, 1970).

Un sondaggio effettuato a M.te Carù ha permesso di accertare che, già alla profondità di 40 m dal piano di campagna la presenza percentuale dell'anidrite diviene sempre più significativa (BERTOLANI, 1984, Fig. 1 e 2).

In base a quanto esposto diventano più comprensibili le cause per le quali non sono presenti in alta val Secchia le «cavità di attraversamento», tipiche delle

evaporiti messiniane. I nuclei centrali dei singoli corpi evaporitici, costituiti da rocce anidritiche in via di gessificazione periferica a scarsa o nulla porosità (Fig. 2), vengono «evitati» dai condotti carsici principali. Questi ultimi si localizzano nella fascia più esterna degli affioramenti, dove prevalgono le rocce gessose, più facilmente solubili ed erodibili, e dove un costante approvvigionamento idrico è assicurato dalla vicinanza dei corsi d'acqua e dalla presenza di imponenti fratture di rilascio.

Evoluzione delle anse ipogee: le catture

La stretta interdipendenza tra la presenza di fratture di rilascio e lo sviluppo dei condotti ad ansa ipogea condiziona direttamente l'evoluzione nel tempo di questi ultimi. In particolare esistono evidenze di «catture» di alcuni torrenti sotterranei la cui risorgenza non avviene nella loro stessa valle di origine, in quanto impedita dalla presenza di depositi fisici a variabile grado di permeabilità (accumuli franosi o alluvionali; Fig. 2, 3 e 4). Esisterebbero pertanto alcuni sistemi ad ansa ipogea il cui meccanismo genetico non corrisponderebbe alla definizione data da MALAVOLTI (1949).

Le frane per colata - Nella Valle del F. Secchia, in corrispondenza delle maggiori discontinuità negli affioramenti evaporitici, sono presenti estese colate di materiale argilloso includenti blocchi lapidei appartenenti ai complessi di base di alcuni flysch terziari (M.te Caio e Solignano; Fig. 1). Tali materiali eterogenei, il cui movimento gravitativo è causato dall'accentuato dislivello di quota esistente tra la loro fascia di affioramento e l'alveo del F. Secchia, si inseriscono nelle profonde incisioni torrentizie, trasversali all'asse della vallata sottostante, oltrepassano gli affioramenti evaporitici che in pratica li sostengono, e si riversano in lunghe colate nel fondovalle stesso (Fig. 2). Le colate continuano il loro movimento fino a quando il bacino di alimentazione raggiunge un nuovo profilo di equilibrio più stabile.

La velocità di spostamento è variabile e può essere accentuata dall'azione erosiva del F. Secchia al fronte delle colate stesse fino al loro totale asporto (Rio Vei, Rio dei Tramonti, T. Dorgola (Fig. 1).

L'allargamento e l'approfondimento delle forre torrentizie sono legati a varie situazioni locali. In un primo momento prevale l'approfondimento, dato che le acque scorrono su di un «pavimento» di rocce facilmente solubili ed erodibili; successivamente, allorché le argille cominciano a riversarsi verso valle, si formano due incisioni secondarie a lato della lingua in movimento. Le acque drenate vengono così costrette a defluire a diretto contatto con le rocce evaporitiche su entrambe le pareti della gola, erodendole e solubilizzandole.

Lungo i versanti delle forre, rapidamente approfonditesi, si creano così le condizioni per lo sviluppo di fratture di rilascio. Queste ultime possono inghiottire completamente o solo in parte le acque provenienti dai bacini argillosi sovrastanti creando sistemi ad ansa ipogea (Risorgente del T. Dorgola, Risorgenti del Rio Vei; Fig. 3).

A valle la risorgenza delle acque, naturalmente captate, può essere ostacolata od impedita dalla presenza delle stesse articolate ed estese conoidi di frana. In tal caso i torrenti sotterranei vengono costretti ad abbandonare le fratture parallele alle incisioni trasversali agli affioramenti evaporitici, per essere «catturati» da quelle, ad esse ortogonali, parallele alla Valle del F. Secchia (Fig. 3).

I depositi alluvionali - Catture del tutto simili a quelle sopra descritte, si verificano anche quando la risorgenza, nell'alveo di origine, è ostacolata dalla presenza di depositi alluvionali (terrazzi e conoidi). Tipici esempi sono il sistema carsico del Tanone Grande della Gacciolina e del Mulino della Gacciola le cui acque, inghiottite lungo la valle del T. Sologno, si riversano nel F. Secchia, aggirando, rispettivamente a valle ed a monte, i lembi relitti del potente deposito fluviale terrazzato da Cà Rabacchi e del Mulino della Gacciola (Fig. 4).

Discussione di uno schema genetico-evolutivo delle anse ipogee

MALAVOLTI nel 1949 si limitò ad identificare «due varietà» di anse ipogee: «la prima, che potremmo dire fluviale, in quanto si sviluppa soprattutto lungo il Secchia, è complicata da fenomeni di crollo, di sedimentazione, ecc.; la seconda, tipica dei torrenti minori, è ridotta alla semplice espressione di un condotto piuttosto angusto...».

Tali «varietà» erano poi ulteriormente suddivise dall'Autore in due categorie specifiche:

- a) sviluppate a partire dal livello di base;
- b) con iniziale forte dislivello.

Tuttavia, come evidenziato da CHIESI (1986) questa distinzione conserva validità puramente descrittiva.

In base alle nuove osservazioni, potrebbe essere proposto un diverso schema genetico - evolutivo per le anse ipogee (Fig. 3 e 4).

1) *Anse ipogee di tipo semplice*. La risorgenza avviene nella stessa vallata dove si verifica l'inghiottimento delle acque: Risorgente di M.te Rosso (204 E/RE), Risorgente del T. Dorgola (205 E/RE), Risorgenti di Rio Vei (212, 213 e 242 E/RE; Fig. 3 e 4).

2) *Anse ipogee di tipo composto*. La risorgenza avviene in una vallata diversa da quella dove si verifica l'inghiottimento idrico; il loro sviluppo è condizionato da:

a) *Depositi franosi*: Risorgente Melli (603 E/RE), Inghiottitoio di Talada (640 E/RE; Fig. 3).

b) *Depositi alluvionali*: Tanone Grande della Gacciolina (154 E/RE), Risorgente del Mulino della Gacciola (597 E/RE; Fig. 4).

Secondo lo schema sopra esposto, il sistema Inghiottitoio dei Tramonti/Risorgente di Cà della Ghiaia (600 e 244 E/RE), a sua volta, rappresenterebbe una ansa ipogea di tipo composto, con controllo da parte di un deposito franoso, la cui parte frontale è stata quasi del tutto asportata dal F. Secchia (Fig. 1 e 3).

Conclusioni

La genesi e lo sviluppo delle anse ipogee in alta val di Secchia appaiono condizionati da numerosi fattori di tipo strutturale, mineralogico-petrografico e di accumulo di depositi fisici.

1) Le fratture di rilascio dei versanti, per rapido approfondimento delle incisioni vallive, costituiscono le principali linee di discontinuità attraverso le quali si sviluppano i condotti delle anse ipogee.

2) I meccanismi di idratazione dell'anidrite avvengono con modalità tali da inibire lo sviluppo di condotti carsici attraverso i nuclei interni degli affioramenti evaporitici.

3) L'accumulo in grandi colate gravitative di materiali argillosi e la presenza di potenti depositi fluviali, possono ostacolare la risorgenza dei flussi idrici sotterranei nella stessa valle di inghiottimento. In questo caso i torrenti ipogei vengono «catturati» dai sistemi di fratture paralleli alla valle principale (F. Secchia).

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Prof. Antonio Rossi dell'Istituto di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Modena per l'attenta e stimolante lettura critica del manoscritto.

Bibliografia

- ANELLI M., 1935, *Considerazioni sulla posizione tettonica del Trias nell'alta Val Secchia* (Reggio Emilia). Atti. Soc. Sc. Nat. Mat. Modena, 66.
BARCHI M.L., a.a. 1987-1988 - *Studio petrografico delle evaporiti triassiche nell'Alta Val di Secchia, I, l'area compresa tra Cà de' Ferrari e l'estremità est dell'affioramento*. Tesi di laurea inedita.

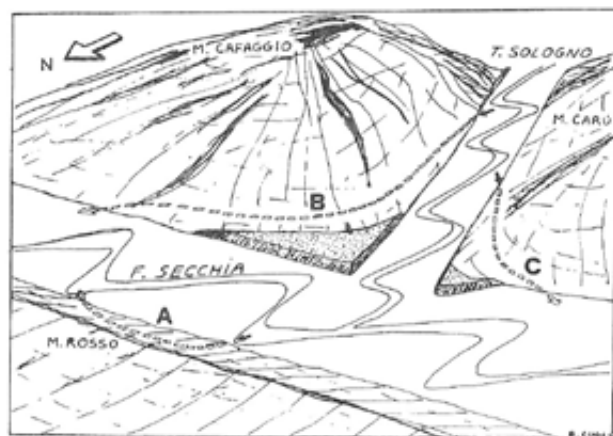


Fig. 4 - Schema genetico evolutivo delle anse ipogee.

Anse ipogee di tipo semplice: A) tipo risorgente di M. Rosso (204 E/RE); anse ipogee di tipo composto con controllo da parte di depositi alluvionali: B) tipo Tanone Grande della Gracciola (154 E/RE), C) tipo risorgente del Mulino della Gracciola (597 E/RE).

- BERTOLANI M., 1949 - *Rocce e minerali dell'alta Valle del Secchia*. In «Studio sulla form. gesso-so-calc. dell'alta Valle del Secchia». Com. Scient. C.A.I., 1, 2-70.
- BERTOLANI M., 1984 - *Studio geomorfologico petrografico e naturalistico della parte orientale delle evaporiti triassiche dell'alta Val di Secchia anche in rapporto al costituendo parco della pietra di Bismantova e alle Fonti di Poiano*. Comunità Montana dell'Appennino Reggiano, Castelnovo ne' Monti. (Rapporto interno).
- BERTOLANI M., ROSSI A., 1986 - *La petrografia del «Tanone grande della Gaggiolina» (154 E/RE) nelle evaporiti dell'Alta Val Secchia (Reggio Emilia - Italia)*. Le Grotte d'Italia, Vol. (4) XII, pp. 79-105.
- CALZOLARI M.A., FERRARI S., PATERLINI P.E. & ZANZUCCHI G., 1987 - *Segnalazione di meta-sedimenti tra le evaporiti triassiche dell'alta Val Secchia (RE)*. Mem. Soc. Geol. It., 39, 77-81.
- CATELLANI C., CHIESI M. & FORMELLA W., 1988 - *Il catasto speleologico degli affioramenti triassici (zona settentrionale della formazione evaporitica dell'alta Valle del Secchia)*. In «L'area carsica dell'alta Val di Secchia», Regione Emilia Romagna.
- CHIESI M., 1986 - *Genesi e sviluppo delle «anse ipogee», caratteristiche delle cavità carsiche nella formazione evaporitica triassica dell'alta val di Secchia (Reggio Emilia)*. Le Grotte d'Italia (4) XII, 1984/85, 209 - 219.
- CIARAPICA G. & PASSERI L., 1976 - *Deformazioni da fluidificazione ed evoluzione diagenetica della formazione evaporitica di Burano*. Boll. Soc. Geol. It., 95, 1175-1199.
- FORTI P., FRANCAVILLA F., PRATA E., RABBI E. & CHIESI M., 1986 - *Hydrogeology and hydro-geochemistry of the triassic evaporite in the upper Secchia valley (Reggio Emilia, Italy) and the Poiano karst spring*. Le Grotte d'Italia (4) XII, 1984/85, 267-278.
- GRUPPO RICERCA GEOMORFOLOGICA CNR, 1982 - *Geomorfologia del territorio di Febbio tra il M. Cusna e il F. Secchia (Appennino Emiliano)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 5.
- G.S.U.E.G., 1976 - *Geomorfologia dell'area circostante la Pietra di Bismantova (Appennino reggiano)*. Boll. Serv. Geol. It., 97.
- HOLLIDAY D.W., 1970 - *The petrology of secondary gypsum rocks: a review*. Jour. Sed. Petrology, v. 40, pp. 734-744.
- LUGLI S., a.a. 1988/89a - *Studio petrografico delle evaporiti triassiche nell'alta Val di Secchia, parte II, destra idrografica: l'area compresa tra le fonti di Poiano ed il fosso della Fornace*. Tesi di laurea inedita.
- LUGLI S., a.a. 1988/89b - *Le deformazioni nella Formazione Evaporitica di Burano nell'alta Valle del F. Secchia*. Tesina di laurea inedita.
- MALAVOLTI F., 1949 - *Morfologia carsica del Trias gessoso - calcareo nell'alta valle del Secchia*. Mem. Com. Sc. Centr. CAI Modena, 1, 129-225.
- MARTINIS B., & PIERI M., 1963 - *Alcune notizie sulla formazione evaporitica del Triassico nell'Italia centrale e meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., 4.
- PASSERI L., 1975 - *L'ambiente deposizionale della formazione evaporitica nel quadro della paleo-geografia del Norico Tosco - umbro - marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 231-268.
- TOSATTI P., a.a. 1988/89 - *Studio petrografico delle evaporiti triassiche nell'Alta Valle del F. Secchia (R.E.) - III: Le valli del T. Ozola e Rossendola*. Tesi di laurea inedita.

Discussione

VOCE IN SALA - Quali sono gli elementi che vi fanno ritenere che il confronto possa avvenire con un terrazzo alluvionale che ha un grado di permeabilità abbastanza elevato?

LUGLI - Certo il grado di permeabilità è molto alto ma non è certo confrontabile con quello di una permeabilità per fessurazione o per carsismo. In ogni caso c'è questa fascia preferenziale gessificata e di fratture di rilascio, per cui si può dire che avviene la cattura tra due sistemi praticamente ortogonali e basta poco; se la risorgenza è un minimo ostacolata, l'acqua sceglie la fascia, la frattura a fianco e se ne va.