Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Nac. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 267-278.

GILBERTO CALANDRI*

CARATTERI IDROGEOCHIMICI DEI SISTEMI CARSICI DEL M. CARMO (PROV. SAVONA)

RIASSUNTO - Il M. Carmo s.l. è la principale area carsica ligure per estensione dei fenomeni carsici ipogei: la complessa struttura tettonica polifasata ha suddiviso il massiccio in una serie di sistemi idrogeologici di cui vengono analizzate succintamente le caratteristiche (anche mediante una carta idrogeologica preliminare). A sistemi carsici di tipo «sospeso», con ridotta zona satura e deflussi sotterranei rapidi, si alternano sistemi con falde freatiche subalvee.
Ai principali esutori carsici (Sorgenti della Bormida, Risorgenza della Tana da Giera, Sorgenti del Maremola, Sorgente della Tana de' Conche, Sorgente Armandino, è stata svolta una indagine chimico-fisica poliennale: i caratteri idrogeochimici permettono di definire i vari sistemi in base alla tipologia carsica.

ABSTRACT - The Mt. Carmo s.l. is the main ligurian karst area for extension of the hypogean phenomena: the complex tectonic subdivided the massif in a series of hydrogeologic systems. To the karst systems of «suspended» type with reduced saturated zone and subterranean rapid flows, alternate systems with waterbearing strata.
To six karst springs (Sorgente Bormida, Fontana Garesca, Sorg. Servaira, Sorg. Conche, Sorg. Armandino, Sorg. Isorella) have been carried out chemical-physical researches that point out low mineralizations rates (in spite of the vegetable covering) and homogeneity of the chemical spectra.
A comparison with springs of the high-mountain nude karsts of the Ligurian Alps points of homogeneous hydrometric and higher Mg^2 values for Mt. Carmo springs (pointing out the importance of the dolomitic substratum and the modest corrosion balance of the area).

Premessa

Il massiccio del M. Carmo (1389 m) s.l. (prov. Savona) è la principale area carsica della Liguria per estensione delle superfici carbonatiche e per sviluppo dei fenomeni carsici ipogei: Grotta degli Scogli Neri (sviluppo spaziale 4,8 Km, prof.: -209 m), Buranco di Bardineto (svs. 1900 m), Buranco Rampiun (svs. 1300 m, - 150 m), Tana da Bazura (svs. 605 m), Abisso Bric Pagliarina (-140 m), ecc.

Una complessa struttura tettonica ha compartimentato il settore in una serie di sistemi idrogeologici con peculiari caratteristiche. Da ca. 3 anni stiamo por-

* Gruppo Speleologico Imperiese CAI

tando avanti una serie stagionale di analisi chimico-fisiche ad alcune delle principali sorgenti carsiche del massiccio di cui vengono presentati i primi dati.

Oltre all'importanza pratica, per una corretta programmazione delle risorse idriche del settore, l'interesse di tali ricerche risiede nell'omogeneità dei caratteri litostratigrafici (sviluppo dei sistemi esclusivamente nelle Dolomie di S. Pietro ai Monti) ed in parte climatici e della copertura vegetale che permette una comparazione dei relativi sistemi carsici, estendendo, sia pur preliminarmente, alcuni confronti anche ai maggiori complessi idrogeologici dei carsi di alta montagna delle Alpi Liguri.

Caratteri strutturali e idrogeologici

La zona Brianzonese nel Ponente ligure affiora su una fascia allungata da NW (confine francese-massiccio del Marguareis) sino alla costa savonese (Est). La copertura sedimentaria carbonatica mesozoica decisamente omogenea ha creato le condizioni per la formazione di numerosi sistemi carsici da quelli di alta montagna delle Alpi Liguri (es. Mongioie-Marguareis) ai carsi di media e bassa quota della Provincia di Savona, che trovano le massime estensioni nel massiccio del M. Carmo.

L'unità di M. Carmo (la più profonda del settore orientale del Brianzonese ligure) è stata caratterizzata da un'evoluzione tettonica polifasata che l'ha strutturata in un complesso sistema di duomi e bacini sinformi asimmetrici (MENARDI NOGUERA 1984). Le strutture plicative hanno controllato l'instaurarsi e lo sviluppo dei sistemi idrogeologici e quindi del carsismo.

Il massiccio presenta (su un basamento di metavulcaniti acide permiane) una potente successione sedimentaria mesozoica data da quarziti (Scitico) e dalla serie calcareo-dolomitica dell'Anisico-Ladinico, denominata Dolomie di S. Pietro ai Monti (VANOSSI 1980). Mancano i termini carbonatici carsificabili posttriassici (diffusi invece in tutta la porzione occidentale — Unità di Ormea — cioè nei settori carsici di alta montagna).

Le Dolomie di S. Pietro ai Monti costituiscono quindi l'unica formazione carsificata del M. Carmo: malgrado uno spessore stratigrafico di ca. 200 m (max 300) l'evoluzione tettonica ha creato le condizioni per lo sviluppo di sistemi idrogeologici assai complessi. Si può distinguere un Ladinico spiccatamente dolomitico, sotteso dall'Anisico a prevalenza calcareo-dolomitico: la successione è articolata a strati da decimetrici (specie l'Anisico) a metrici sino a grosse bancate (Ladinico).

Il livello di base è rappresentato dai terreni cristallini, ma localmente (per la complessa struttura plicativa) dalle dolomie del Ladinico.

La tettonica fragile ha contribuito a indirizzare e compartimentare i sistemi carsici del M. Carmo che presentano caratteri peculiari malgrado la relativa omogeneità delle condizioni climatiche e della copertura vegetale.

Le precipitazioni oscillano tra 1200 e 1500 mm/annui (concentrate tra autunno e primavera) con forte variabilità annuale. La zona è caratterizzata da copertura arborea continua, costituita da caducifolie con larghi settori a ceduo.

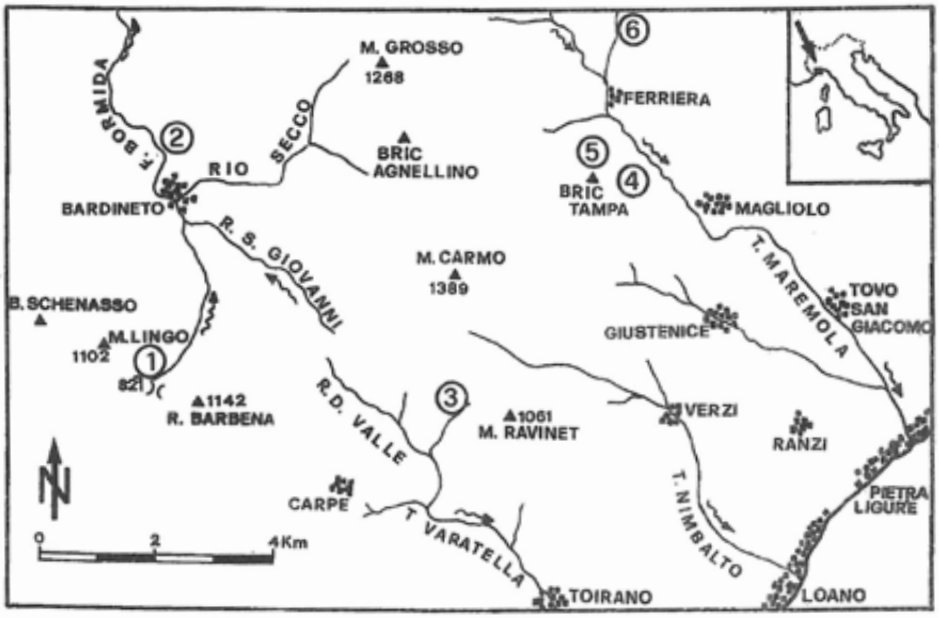


Fig. 1 - Ubicazione delle sorgenti esaminate. 1) Sorgente della Bormida. 2) Fontana Garesca. 3) Sorgente Servaira. 4) Sorgente della Tana de' Conche. 5) Sorgente della Grotta Armandino. 6) Sorgente Isorella (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

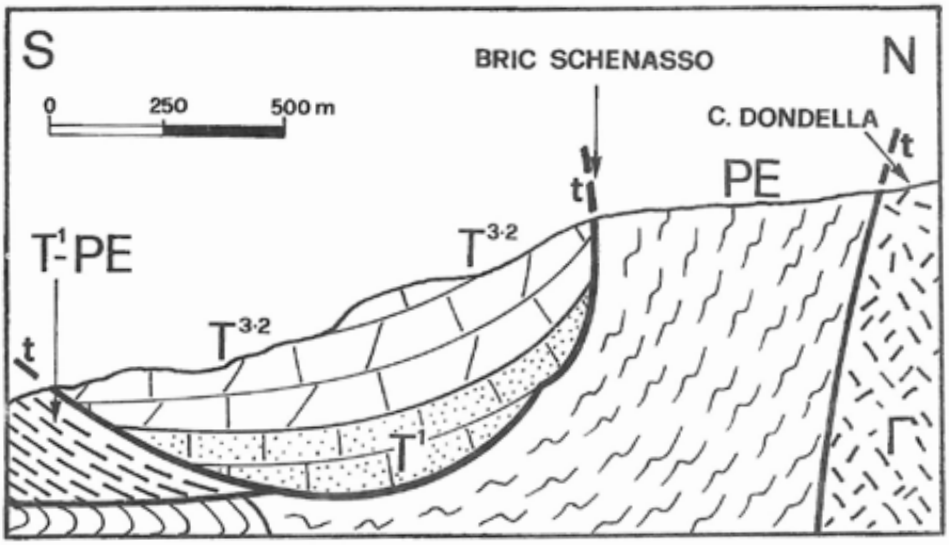


Fig. 2 - Sezione geologica dei margini settentrionali delle sorgenti della Bormida. T^{3-2}: calcari dolomitici dell'Anisico-Ladinico (Dolomie di S. Pietro ai Monti). T^{1}: quarziti dello Scitico. T^{1}: peliti e scisti quarzo-sericitici (Scitico? - Permico sup?) PE: Quarzo-scisti, ecc. (Permico medio? - Carbonifero sup?). Graniti gneissici (Permico medio?). t: contatti tettonici. (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

La formazione delle Dolomie di S. Pietro ai Monti presenta permeabilità medio-alta per fratturazione, fessurazione e carsismo. Si tratta di un acquifero con elevata capacità di ingestione e trasporto.

Generalmente la fascia non satura presenta una zona di trasferimento verticale poco potente, mentre in alcuni sistemi (es. Buranco Rampiun, B. Bardineto) estesa è la zona di ruscellamento sotterraneo con collettori a debole pendenza, spesso approfonditi da precedenti canalizzazioni a pieno carico.

Lo sviluppo della zona satura è estremamente variabile da settore a settore: in genere ridotto nei sistemi carsici «sospesi», può avere sviluppo rilevante (anche se non dettagliatamente conosciuto) dove il livello di base si trova al di sotto delle incisioni vallive (es. Isorella).

I 6 sistemi esaminati sono tutti di bassa montagna (quote delle sorgenti tra 400 e 800 m ca.), l'alimentazione degli acquiferi è regolata prevalentemente da apporti infiltrativi delle precipitazioni, talora con il controllo e l'apporto di coperture detritiche. Modesti gli apporti secondari di deflussi idrici provenienti da zone impermeabili.

Caratteri dei sistemi esaminati

1) Sorgente della Bormida: Q. 821 m Comune: Bardineto. Località: M. Scravaion.

L'area di assorbimento (valutabile intorno a 2 Kmq) comprende la dorsale del M. Lingo (1102 m) - Bric Schenasso (1084 m). Strutturalmente fa parte dell'Unità (prepiemontese esterna o di raccordo tra Brianzonese e Prepiemontese) di Case Tuberto, sovrascorsa tettonicamente; ma la zolla carbonatica è costituita da calcari dolomitici e dolomie dell'Anisico (Dolomie di S. Pietro ai Monti, del tutto analoghe a quelle del M. Carmo). Calcari e dolomie sono fortemente fratturate o brecciate-cataclasate. La struttura del lembo mesotriassico è grossolanamente a sinclinale (Fig. 2) indirizzando i drenaggi idrici ipogei verso la sorgente della Bormida.

Scarse le morfologie carsiche superficiali. Abbastanza continua la copertura vegetale a ceduo e a macchia.

Il settore M. Lingo-Schenasso è un acquifero con elevata capacità di ingestione: alta permeabilità per fratturazione con carsismo scarsamente sviluppato.

7 cicli di analisi chimico-fisiche stagionali hanno evidenziato una spiccata costanza dei principali parametri (Fig. 3), indici dell'esistenza di un'ampia riserva permanente. Si tratta di acque semidure (TH variabili da 18 a 21° francesi) con temperature da 9,5 a 10,2°C: a conferma dell'estensione della zona satura e del prolungato contatto delle acque con i calcari dolomitici brecciati (CALANDRI 1989). Infatti la mineralizzazione (ed in particolare i tassi idrotimetrici e la concentrazione di cationi magnesio) risulta nettamente più elevata e più costante rispetto alle acque degli altri sistemi esaminati (cfr. Fig. 13).

2) Fontana Garesca. Q. 700 ca. Comune: Bardineto. Loc: rotabile Bardineto-Calizzano.

Le acque provengono direttamente dal Buranco di Bardineto (svs. 1900 m), sistema freatico polifasico, ma il bacino di assorbimento (come evidenziato dalle esperienze con traccianti del G.S. Savonese) si estende per ca. 5 Km (in linea d'aria verso Est) sino al Buranco Rampiun (svs. 1300 m, prof.: - 150 m). Riceve anche acque provenienti da perdite superficiali (es. Grotta Balbiseolo), in parte alimentate da substrati silicei.

L'area di alimentazione, che comprende anche il Monte Mezzano, è caratterizzata (ad Est) da una fitta copertura a bosco d'alto fusto (faggeta) su un substrato modellato a depressioni doliniformi; nel tratto occidentale, dove la serie carbonatica si immerge decisamente verso Ovest, indirizzando i drenaggi verso la conca di Bardineto, prevalgono fitte boscaglie a ceduo.

Il sistema idrogeologico è caratterizzato da una breve (100-200 m) zona di trasferimento verticale (es. Buranco Rampiun) o a baionetta (sempre ad elevata carsificazione) e da una zona suborizzontale (in parte falda freatica carsica) con asse assai esteso.

Risorgenza (temperatura tra 8,3 e 9,7°C) caratterizzata dalla costanza dei parametri chimici (es. la conducibilità oscilla, nell'arco stagionale, da 170 a 200 µS/cm): la minore mineralizzazione, rispetto agli altri sistemi carsici del M. Carmo, si può spiegare con apporti di acque drenate su substrati silicei (Figg. 4 e 13).

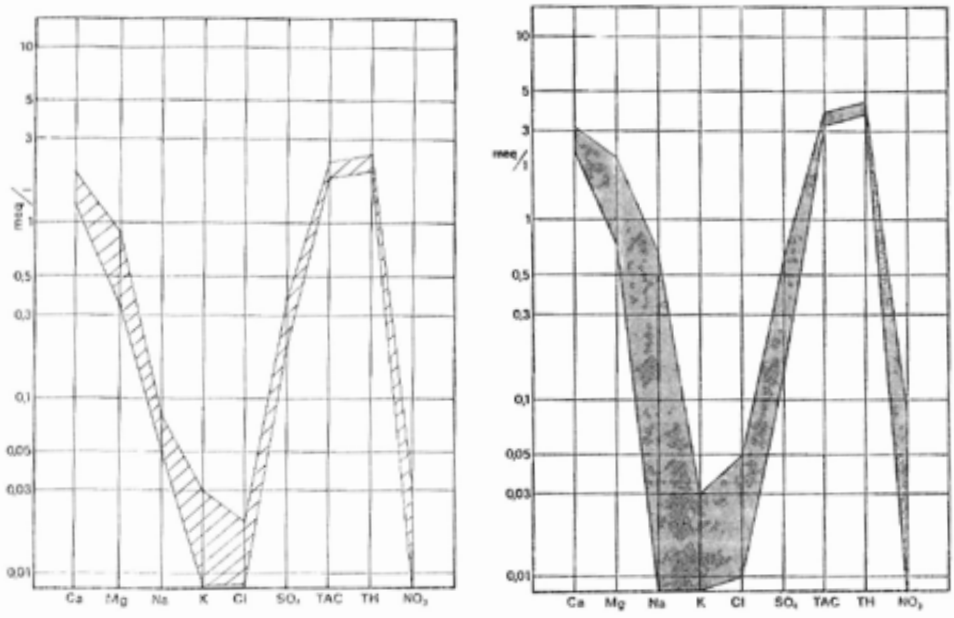


Fig. 3 - Diagramma semilogaritmico di Schoeller delle acque della Sorgente della Bormida. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 7 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

Fig. 4 - Diagramma di Schoeller delle acque della Fontana Garesca. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 6 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

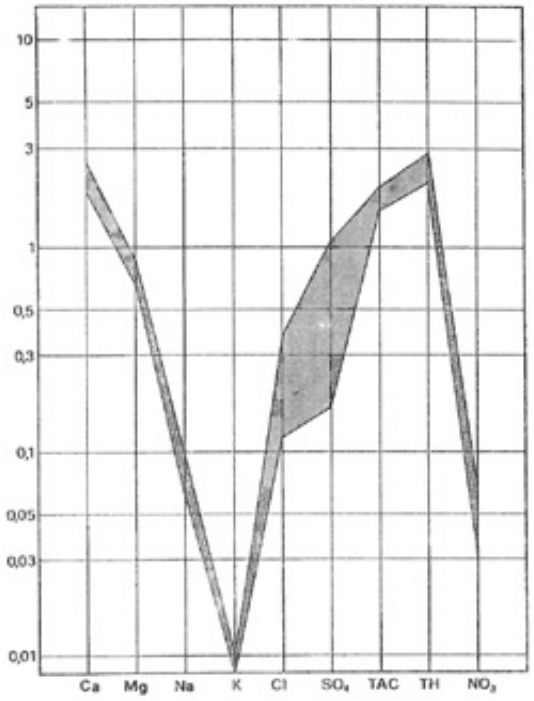


Fig. 5 - Diagramma di Schoeller delle acque della Sorgente Servaira. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 6 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

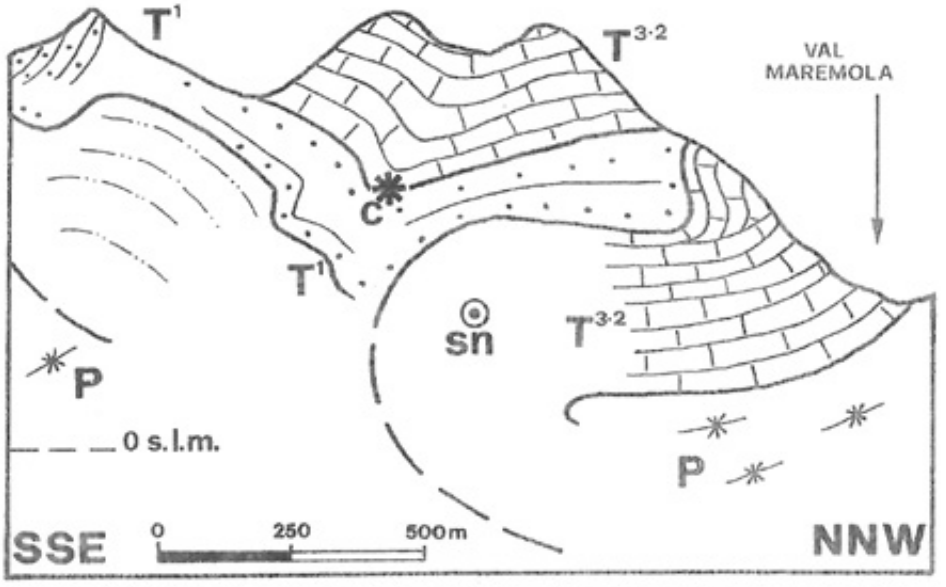


Fig. 6 - Sezione geologica lungo il Bric Tampa (dai rilevamenti di A. Menardi Noguera). T^{3-2}: Dolomie di S. Pietro ai Monti (Anisico - Ladinico). T^{1}: Quarziti di Ponte di Nava (Scitico). P: Porfiroidi del Melogno (Permiano). Linea a tratto e punto: traccia dell'antiforme coricata e rovesciata del Bric Tampa. C: Grotta delle Conche (posizione proiettata): sn: risorgenza Scogli Neri (posizione proiettata) (ridis.: G. Calandri, C. Grippa).

3) Sorgente Servaira. Q. 511. Comune: Toirano. Loc.: vallone Servaira.

Le acque sgorgano da diaclasi subverticali (captate dall'acquedotto di Toirano): costituiscono l'esutore della falda freatica che comprende la zona attiva della Tana della Giera (svs. 500 m), sistema di condotte a pieno carico in gran parte fossili.

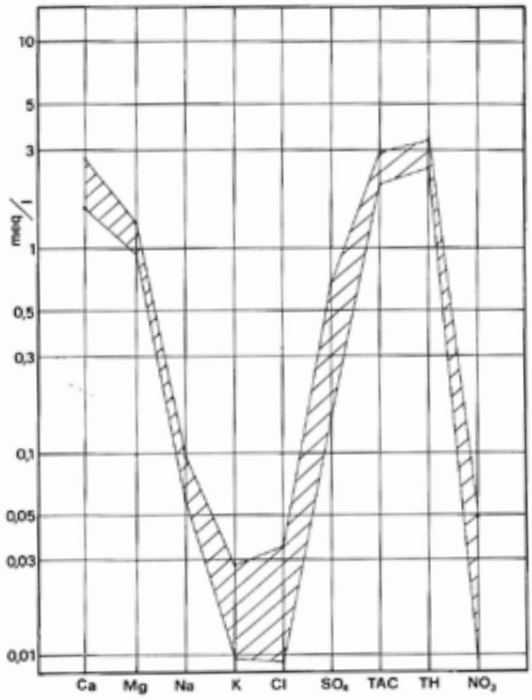


Fig. 7 - Diagramma di Schoeller delle acque della Tana de' Conche. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 5 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

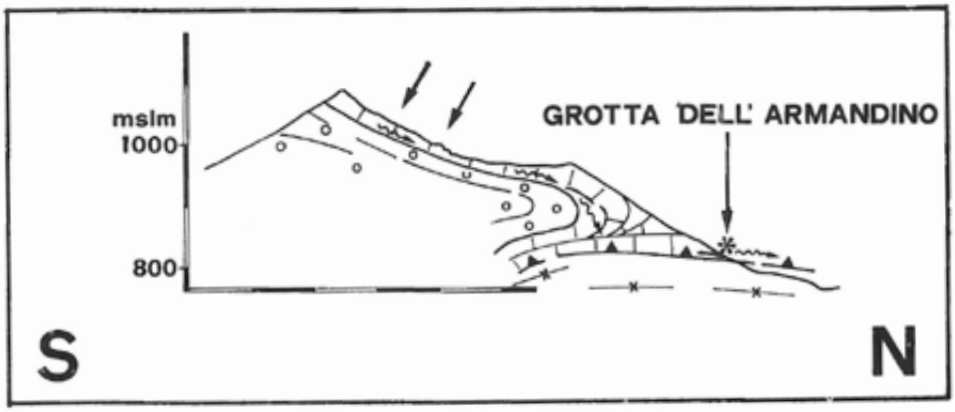


Fig. 8 - Posizione strutturale della sorgente della Grotta dell'Armandino e sua supposta area di assorbimento (da MENARDI NOGUERA 1983) (dis.: C. Grippa).

Si tratta di un sistema carsico «sospeso» con zona satura poco estesa che si è formato in corrispondenza degli accavallamenti interni dell'elemento del M. Ravinet, in particolare di una vasta antiforme isoclinale coricata.

Copertura arborea a ceduo e secondariamente ad alto fusto. Elevata carsificazione e drenaggi rapidi in profondità anche per la marcata fratturazione dei calcari dolomitici.

Costanza di parametri fisici (temp. tra 12,3 e 13,2°C) e chimici (Fig. 5) con acque spiccatamente bicarbonato-calciche. Acque dolci con mineralizzazione nettamente collegata alla variazione delle portate (es. con bassi deflussi aumenta la concentrazione degli ioni, in particolare Ca^{++}, Mg^{++}, SO_4^{--}).

4) Sorgente della Tana delle Conche. Q. 500 ca. Comune: Magliolo. Loc.: Val Maremola-Conche.

La Tana delle Conche (93 Li/SV) è situata sul versante orientale del Bric Tampa strutturalmente caratterizzato da un'antiforme coricata e rovesciata a Nord: questa struttura plicativa ha separato due settori carbonatici divisi da una fascia impermeabile (Fig. 6), in cui si sono instaurati due sistemi carsici completamente separati. Sul fianco inverso dell'antiforme si è sviluppato il complesso degli Scogli Neri (svs. 4,8 Km - 290 m, maggiore cavità ligure); mentre il fianco normale della piega, diviso dalla faglia del Bric Tampa, è caratterizzato, sul lato meridionale, dal sistema della Tana de' Conche (MENARDI NOGUERA 1983), instaurato su una sinforme minore a direzione N80°E, complicata da una piega a ginocchio, che ha controllato la genesi del reticolo ipogeo.

La grotta-sorgente (svs. 500 m, - 100, +4m), al contatto tra i calcari dolomitici e le quarziti del Trias inf., è caratterizzata da gallerie a pieno carico con approfondimenti vadosi condizionati dall'immersione degli strati carbonatici. È un sistema idrico «sospeso» privo di zona satura, a parte bacini idrici ridotti.

Le portate (ca. da 10 a 200 l/sec) sono relativamente costanti, contrastando in apparenza con la mancata acclività del torrente ipogeo (ca. 50° in media). In realtà il bacino di alimentazione comprende le pendici del Bric Aguzzo, a substrato siliceo, con ampie conoidi detritiche che regolarizzano i deflussi idrici verso il collettore delle Conche.

Alcuni cicli preliminari di analisi sembrano proprio evidenziare il controllo idrochimico della copertura detritica sia nell'uniformità delle temperature (intorno ai 10°C) che dei parametri chimici (cfr. diagramma di Schoeller, Fig. 7): acque dolci, con tassi idrotimetrici inferiori ai vicini settori ad elevata carsificazione (CALANDRI 1990).

5) Sorgente della Grotta Armandino. Q. 820 m ca. Comune: Magliolo. Loc.: Bric Tampa.

Sul fianco normale dell'antiforme coricata del Bric Tampa, ad Ovest della faglia omonima, si estende l'area di alimentazione della grotta-sorgente dell'Armandino (al contatto con i porfiroidi) (Fig. 8) che dovrebbe comprendere le pendici orientali della montagna e ampi accumuli detritici che alimentano i deflussi, marcatamente variabili, dell'esutore.

Il sistema idrogeologico dell'Armandino, di tipo «sospeso», presenta una ridotta zona satura.

Le acque sono tipicamente bicarbonato-calciche (Fig. 9), con mineralizzazione relativamente costante, controllata dalla copertura detritica e dalla continua vegetazione arborea a caducifolie. Temperatura delle acque (8-9° C) inferiore agli altri sistemi carsici vicini.

6) Sorgente Isorella. Q. 440 m. Comune: Magliolo. Loc.: Rio Isorella.

Sgorga nel letto del torrente omonimo, al contatto tra calcari dolomitici e intercalazioni quarzitico-scistose. I calcari si immergono al disotto del solco vallivo (formando una sinclinale coricata) dando origine ad una falda freatica carsica subalvea.

Le acque sono in parte di origine superficiale, infatti una perdita (600 m a monte), tra gli scisti permiani ed i calcari dolomitici fessurati, va ad alimentare la scaturigine del Rio Isorella.

Le acque della perdita sono a bassa mineralizzazione (specie per quanto riguarda gli elementi alcalino-terrosi, es. - 8.7.1990 - Mg^{2+} 1 ppm): durezza totale 5,7° francesi, condutt. 132 µS/cm. Mentre alla risorgente Isorella rispettivamente i valori passano a: TH 10,15° f, condutt. 196, Mg^{2+} 10,5. Infatti la sorgente Isorella è in buona parte carsica ricevendo importanti apporti dai settori carsificati alla destra idrografica della vallata e da detriti di falda in parte carbonatici.

Gli apporti di diversi tipi di acque determinano caratteri bicarbonato - cal-

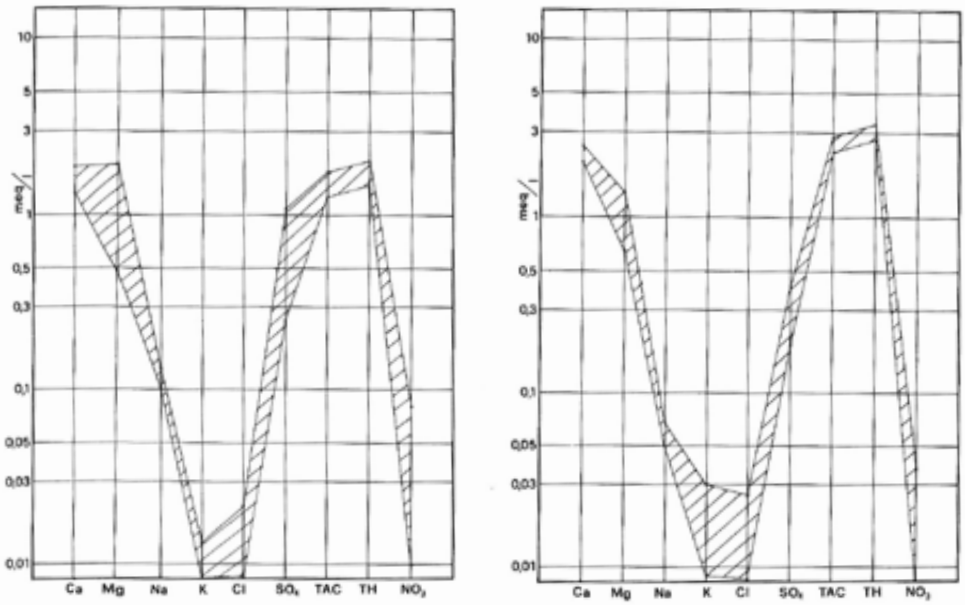


Fig. 9 - Diagramma di Schoeller delle acque della Grotta dell'Armandino. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 4 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

Fig. 10 - Diagramma di Schoeller delle acque della Sorgente Isorella. Campo di variazione dei caratteri ionici nell'arco di 4 cicli di misure (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

cici meno spiccati, ma vicini ad altri sistemi del M. Carmo, in particolare si può notare una concentrazione di cationi sodio e magnesio relativamente più elevata. Malgrado la parziale alimentazione superficiale i costanti parametri chimici e fisici (temp. tra,9,4 e 10,12°C) sottolineano l'importanza della falda freatica subalvea.

Considerazioni idrogeochimiche

Nonostante la relativa uniformità delle condizioni litologiche, climatiche e di copertura vegetale il confronto tra le principali sorgenti carsiche del M. Carmo evidenzia aspetti idrochimici variati da sistema a sistema.

Tutte le acque presentano mineralizzazioni modeste (considerate anche le basse quote, la relativa vicinanza con il mare da 6 a 15 Km e lo sviluppo della vegetazione): i valori medi di conducibilità passano da 300 (Sorg. Bormida) a 150 µS/cm (Sorg. Isorella), in genere misurati con modeste portate o in magra. Netta la relazione tra conducibilità e durezza, evidenziando come gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} rappresentino la quasi totalità dei cationi.

Nel diagramma di Langguth (Fig. 11), riportando i valori dosati degli ioni più importanti, emerge come tutte le acque siano tipicamente bicarbonato-calciche. Limitata la variazione dei cationi (in particolare del Calcio), più alterna quella degli anioni.

I tassi idrotimetrici ed i bilanci ionici sono influenzati vistosamente dagli apporti di acque con scorrimenti su substrati cristallini (anche detritici): il fenomeno assume aspetti macroscopici alla Sorgente Isorella, ma si nota anche in altri sistemi idrogeologici (Bardineto, Conche).

Da notare (parallelamente a quanto già rilevato in altri sistemi carsici delle Alpi Liguri, CALANDRI 1989) come il regime idrochimico sia, in genere, inverso al regime idrologico: la mineralizzazione diminuisce, grosso modo, con l'aumento delle portate.

Il diagramma di equilibrio pH-TH (rettificazione delle curve di Tilimans) indica come le sorgenti risultino teoricamente aggressive da un punto di vista chimico (Fig. 12). Per una, sia pur preliminare, valutazione dell'attuale evoluzione del carsismo, applicando la classica formula di Corbel, si possono suggerire tassi

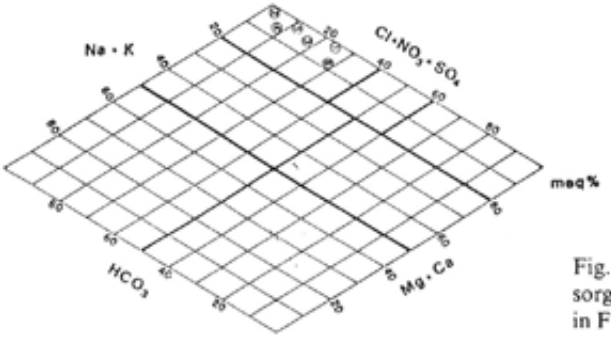


Fig. 11 - Diagramma di Schoeller delle sorgenti esaminate. Numerazione come in Fig. 1 (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

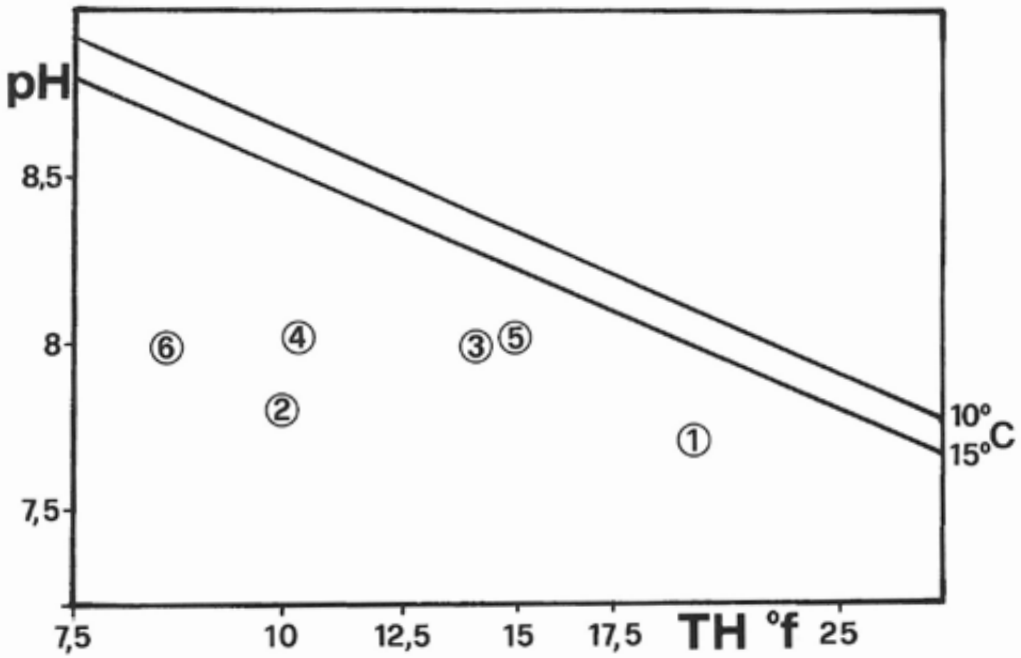


Fig. 12 - Diagramma di equilibrio pH-TH delle sorgenti esaminate. Numerazione come in Fig. 1 (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

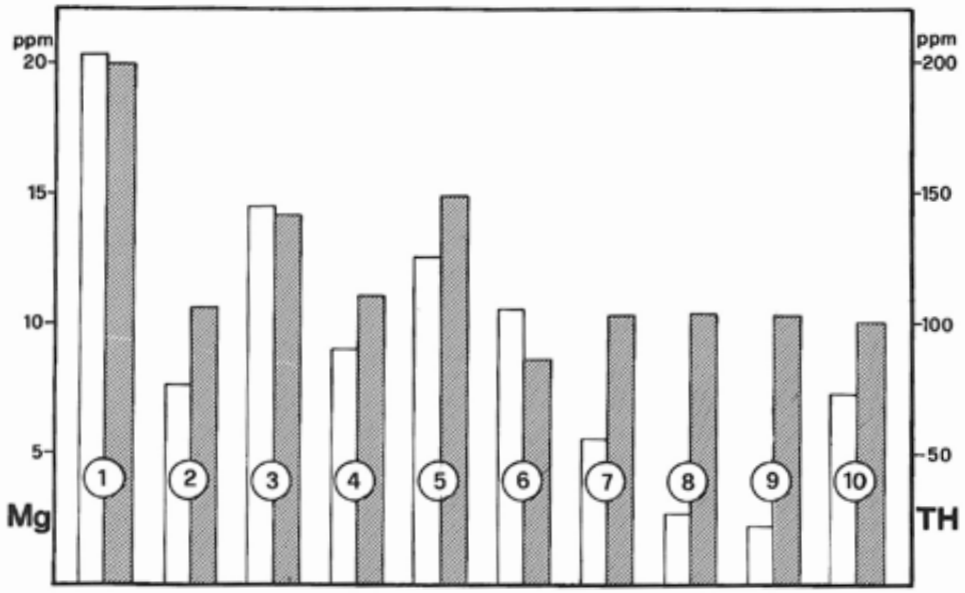


Fig. 13 - Ortogramma dei valori medi di ioni Magnesio (colonne chiare) e dei tassi idrotimetrici (colonne retinate). 1) Sorg. della Bormida. 2) Fontana Garesca. 3) Sorg. Servaira. 4) Sorg. Tana de' Conche. 5) Sorg. Grotta Armandino. 6) Sorg. Isorella. 7) Sorg. del Regioso. 8) Sorgenti Vene e Fuse. 9) Sorg. del Pis dell'Ellero. 10) Sorg. del Pis del Pesio (dis.: G. Calandri, C. Grippa).

di dissoluzione specifica oscillanti tra 40 e 60 mm per 1000 anni (ossia m^3/Km^2 per anno).

Un confronto, per quanto parziale, con i sistemi carsici di alta montagna delle Alpi Liguri, evidenzia (Fig. 13) come i tassi idrotimetrici (uniformi, su valori intorno a 10° francesi, per le risorgenze d'alta quota) presentino incrementi relativamente modesti nei carsi di bassa montagna (prossimi al mare e con accentuata copertura vegetale) del massiccio del M. Carmo. In tal senso sembrerebbe che il litotipo calcareo-dolomitico possa determinare una rallentata evoluzione del carsismo, malgrado la favorevole componente climatica e vegetale.

Una conferma potrebbe venire dalla concentrazione dei cationi Magnesio che risulta nettamente più elevata (Fig. 13) nelle acque carsiche del M. Carmo che attraversano, come sottolineato, solo le sequenze delle Dolomie di S. Pietro ai Monti, rispetto alle risorgenze carsiche di alta montagna (Alpi Liguri) in cui la zona di assorbimento è prevalentemente nei calcari giurassici (ed il settore saturo nelle Dolomie di S. Pietro ai Monti). Sembrerebbe quindi emergere un controllo «litologico» sulla evoluzione del carsismo.

Si tratta tuttavia di considerazioni preliminari: si è voluto proporre una prima serie di dati che possono fornire una base per successivi approfondimenti sui caratteri idrogeochimici dei sistemi carsici del Brianzonese Ligure.

Desidero ringraziare particolarmente per la collaborazione gli amici Carlo Grippa (disegni), Paola Guglielmi (documentazione) e Luigi Ramella (dattiloscritto).

Le analisi degli ioni Mg, Na, K, Cl sono state effettuate presso il Laboratorio chimico dell'U.S.L. n. 3 (dir.: Ferri) che si ringrazia vivamente.

Bibliografia

CALANDRI G., 1989 - *Il M. Lingo e le sorgenti della Bormida (prov. SV)*. Bollettino del G.S. Imperiese CAI, XIX (33): 12-17.

CALANDRI G., 1989 - *Le sorgenti carsiche delle Alpi e Prealpi Liguri*. Atti del XV Congr. Naz.le di Speleologia (Castellana Grotte 1987): 381-398.

CALANDRI G., 1990 - *Note idrologiche sul Garbo de' Conche, 93 Li (Val Maremola, SV)*. Bollettino del G.S. Imperiese CAI, XX (34): 11-18.

CIVITA M., OLIVERO G., VIGNA B., 1989 - *Caratteristiche idrogeologiche di alcuni sistemi carsici «sospesi» delle Alpi Liguri*. Atti del XV Congresso Naz.le di Speleologia (Castellana Grotte 1987): 319-347.

DELLAGIOVANNA G., LUALDI A., SENO S., VANOSSI M., 1986 - *Nuovi dati e precisazioni sull'Unità di Case Tuberto (Prepiemontese delle Alpi Liguri)*. Mem. Soc. Geol. Ital., 28: 419-430.

MENARDI NOGUERA A., 1983 - *Il controllo strutturale del carsismo del Bric Tampa: osservazioni preliminari (Val Maremola, Liguria occ.)*. Bollettino del G.S. Imperiese CAI, XIII (20): 2-14.

MENARDI NOGUERA A., 1984 - *Nuove osservazioni sulla struttura del Massiccio del M. Carmo (Alpi Liguri)*. Bollettino Soc. Geol. Ital. 103 (2): 189-203.

VANOSSI M., 1980 - *Les unités géologiques des Alpes Maritimes entre l'Ellero et la Mer Ligure: un aperçu schématique*. Mem. Sc. Geol., Padova, 34: 101-142.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 279-288.

RINALDO MASSUCCO * & MAURO MOLINARI *

INDAGINI IDROLOGICHE DELL'ACQUIFERO CARSICO DI BARDINETO (SV)

RIASSUNTO - Nell'ambito della ricerca speleologica che il Gruppo Speleologico Savonese da parecchi anni conduce nel territorio carsico di Bardineto (SV) si sono condotte una serie di analisi fisico-chimiche sulle acque delle sorgenti carsiche e dei corsi d'acqua sotterranei, per avere un primo confronto tra le caratteristiche delle acque sotterranee e i dati acquisiti con l'esplorazione diretta degli inghiottitoi, delle grotte e delle risorgenze o con il tracciamento idrologico. Alcuni dati paiono significativi e contribuiscono a fornire un migliore quadro interpretativo del carsismo di Bardineto.

ABSTRACT - In the ambit of speleological researches that the «Gruppo Speleologico Savonese» has been leading for many years in the karst area of Bardineto (province of Savona, Liguria, Italy), a series of physical and chemical analysis on the water of karst springs have been made in order to have a preliminary comparison between the characteristics of underground water and the data acquired with direct explorations of swallets, caves and resurgences and with water tracings. Some data appear significant and useful for a better interpretative picture of karst phenomena in Bardineto.

Introduzione

Nel corso delle indagini idrogeologiche per ricerche d'acqua effettuate nell'Alta Val Bormida per conto della Comunità Montana di Millesimo durante il 1987 si è ravvisata la necessità di censire e campionare le acque delle sorgenti esistenti sul territorio. Pertanto dopo aver effettuato un censimento delle opere di captazione utilizzate per fini idropotabili dagli acquedotti comunali si è esteso il campionamento alle sorgenti che caratterizzano le formazioni carsiche affioranti nei dintorni di Bardineto. Tali sorgenti sono da tempo oggetto di studio da parte del Gruppo Speleologico Savonese che da diversi anni sta procedendo con sistematicità al tracciamento delle acque sotterranee e all'esplorazione e documentazione dell'area carsica circostante, tanto in superficie quanto nel sottosuolo.

Le analisi sono state effettuate dal Laboratorio Chimico Provinciale della VII USL del Savonese.

* Gruppo Speleologico Savonese

Cenni geologici

Nei dintorni di Bardineto affiorano i terreni della cosidetta «Dolomia di S. Pietro dei Monti»: si tratta di una formazione della Serie Brianzonese ossia di un insieme di Unità tettoniche che le fasi deformative che hanno portato alla formazione delle Alpi e dell'Appennino Ligure hanno variamente traslato, sovrapposto, piegato e ripiegato così che i rapporti originariamente esistenti fra le singole unità non sono sempre decifrabili in modo chiaro.

In particolare la Dolomia di S. Pietro è una formazione costituita essenzialmente da dolomie più o meno calcaree grigie in grosse bancate alternate a calcari e calcari dolomitici, mentre localmente sono presenti livelli di brecce calcaree, peliti e calcari marmorei.

I termini calcarei predominano nella parte inferiore, mentre quelli strettamente dolomitici in quella superiore.

Globalmente questa formazione ha uno spessore di 200-300 metri, spessore che si suppone fosse in origine maggiore e sia stato successivamente ridotto dall'erosione.

Queste rocce sono caratterizzate da una elevata permeabilità in grande, o permeabilità secondaria, determinata sostanzialmente da due fattori, l'elevato grado di fratturazione (generalmente localizzato, in conseguenza alla rigida reazione che questo tipo di rocce hanno offerto alle forze esercitate su di esse) e la solubilità alle acque meteoriche, che favorisce l'allargamento per dissoluzione delle fratture determinando in questo modo una permeabilità crescente col tempo: il carsismo.

Le sorgenti che prendono origine in questo tipo di terreni sono caratterizzate generalmente da portate elevate, ma presentano una notevole variabilità perchè la circolazione idrica avviene più velocemente che in altri tipi di terreni.

Le più importanti sorgenti campionate (Dotte, Cascinasso, Buranco, Garesca) sono ubicate sul fondo valle della Bormida, dove il sistema carsico viene a contatto (presumibilmente su una faglia mascherata dalle alluvioni della piana di Bardineto) con le formazioni rocciose impermeabili cristalline, che hanno l'effetto di uno sbarramento sulle circolazioni dell'acqua sotterranea e ne provocano l'emergenza.

L'idrologia carsica e le grotte

Il territorio carsico di Bardineto si estende sulla destra della Bormida, compreso tra il fiume e il crinale prealpino che dal Giogo di Toirano raggiunge il Giogo di Giustenice e quindi il Colle del Melogno.

In questo settore già avevano operato diversi Gruppi Speleologici, ed erano note prima del 1982 alcune grotte, tra le quali il Buranco de Dotte, la Risorgenza e la Grotta di Rio Secco, la Risorgenza di Bardineto, la Grotta Balbiseolo e il Buranco Rampiùn: tutte grotte percorse da torrenti sotterranei.

Si ignorava però se vi fosse una relazione tra le acque circolanti nelle diverse grotte e in particolare non era stato possibile appurare se le emergenze carsiche

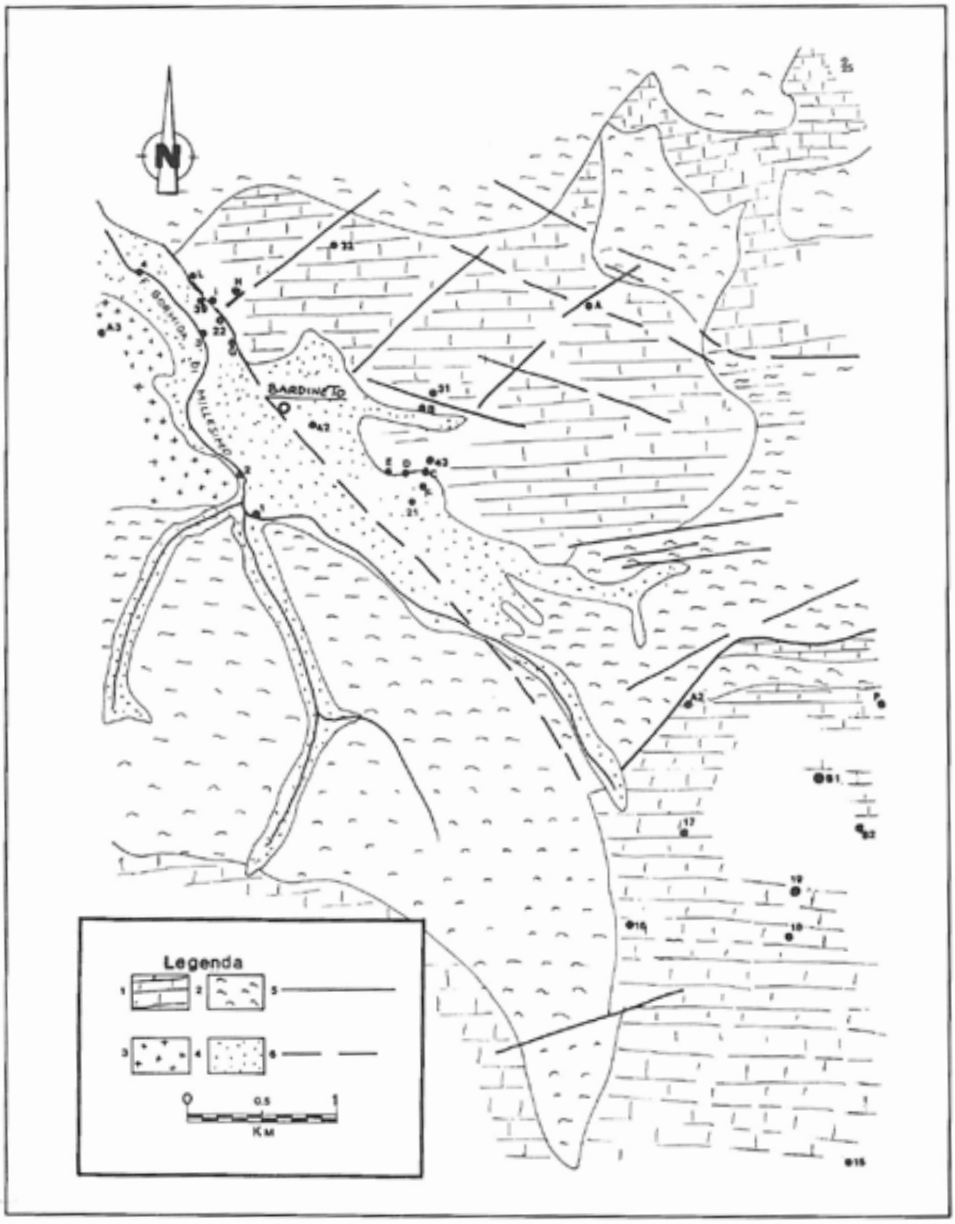


Fig. 1 - Schizzo geologico dei dintorni di Bardineto, con l'ubicazione dei punti di campionamento idrico (cfr. tabella 2).
Legenda: 1: rocce calcaree; 2: rocce metamorfiche; 3: rocce cristalline; 4: alluvioni; 5 e 6: faglie (accertate e presunte).
Sono indicati con numeri o con lettere indiciate i campionamenti singoli; sono invece indicati con lettere singole i punti dove si sono effettuati più campionamenti, che vengono qui precisati entro parentesi: A (BA1-30); B (9-9A4 - 34 - 35); C (5 - 35 - 41); D (38); E (7 - 20 - 36 - 40); F (6 - 44); G (24 - 37); H (26 - 27); I (28 - 29); L (8 - 23 - 33 - 46 - 47).

del complesso del Buranco Rampiùn fossero ubicate in Val Bormida oppure in Val Maremola (la zona d'assorbimento di tale complesso si trova sullo spartiacque valbormidese, ma la grotta si sviluppa tutta sull'opposto versante maremolese).

Nell'autunno 1986 il Gruppo Speleologico Savonese (che già da qualche anno aveva iniziato ad operare nella zona effettuando tra l'altro nel 1982 la prima esplorazione topografica delle Dotte), con una lunga operazione di pompaggio riusciva a superare il sifone iniziale della Risorgenza di Bardineto, scoprendo in successive esplorazioni una serie di gallerie per uno sviluppo complessivo di due chilometri, in parte percorse da un torrente sotterraneo: il nuovo Buranco di Bardineto.

L'importante risultato conseguito diede l'impulso per l'avvio di una vera e propria campagna di tracciamento (e campionamento) idrogeologico, volto ad appurare le relazioni esistenti tra gli inghiottitoi dei torrenti epigei, le emergenze carsiche e i corsi d'acqua sotterranei: ci si avvalse di fluoresceina (uranina) e fluocaptori.

Nell'arco di un'attività protratta per oltre tre anni si sono così definite in modo certo le principali connessioni idrogeologiche del territorio carsico di Bardineto, qui riassunte:

1) l'emergenza carsica delle acque circolanti nel Buranco Rampiùn si trova a 5 Km di distanza, in Val Bormida, a Bardineto (la Fontana Garesca o d'Aesca). Il Buranco Rampiùn si apre a 1150 metri slm e si sviluppa attualmente per circa 1300 m, con un dislivello totale di 150 metri; la Fontana scaturisce a quota 685 m da una grotta, sconosciuta prima dei lavori di disostruzione effettuativi dal G.S. Savonese, percorribile per qualche metro e poi totalmente allagata (in corso di esplorazione);

2) pure l'Inghiottitoio di Rio Avoiai (o Grotta Balbiseolo), a 850 metri di quota, è connesso idrologicamente con la Fontana Garesca: il piccolo rivo che percorre la grotta effettua un traforo idrogeologico di circa 1 Km (lo si è potuto però esplorare e topografare solo per 200 metri circa);

3) anche il Rio di Barozzo, un affluente della Bormida in Comune di Calizzano, è tributario della Fontana Garesca, tramite una serie di inghiottitoi ubicati sul contatto tra gli scisti gneissici di Gorra e l'adiacente lente calcarea: l'inghiottitoio più a valle, a 800 m slm, assorbe completamente l'acqua del torrente, almeno fino a portate dell'ordine dei 50 l/s;

4) l'Inghiottitoio di Rio Secco, la Grotta e la Risorgenza di Rio Secco (rispettivamente a quota 870, 880 e 820 m) costituiscono un unico sistema ipogeo (l'acquedotto comunale di Bardineto capta l'acqua della Risorgenza, che scaturisce dopo un percorso epigeo di quasi 1 Km e un successivo tratto ipogeo di circa 500 metri: dato lo scarso potere filtrante delle condotte carsiche dei calcari, la cosa è stata prontamente segnalata all'Amministrazione Comunale.

Va comunque rilevato che le acque della Risorgenza potrebbero non provenire unicamente da Rio Secco, ma forse anche in parte dalla sovrastante zona di assorbimento di Pianfieno).

Le tre grotte del Rio Secco appartengono al medesimo complesso sotterraneo, ma non è stato finora possibile collegarle con l'esplorazione diretta;

5) dalla Risorgenza, le acque di Rio Secco scorrono all'aperto per 300-500 metri per scomparire progressivamente definitivamente in una serie di inghiottitoi impraticabili nel greto del torrente a quota 800 m circa, e riaffiorare (nei mesi invernali e primaverili) a circa 1,5 Km di distanza, dalle risorgenze delle Dotte, effettuando il traforo idrogeologico di Bric Cornavento e della Collina della Crosa. Solo in caso di precipitazioni eccezionali, le acque di Rio Secco riescono a raggiungere la piana di Bardineto.

Le Dotte costituiscono un gruppo di sei sorgenti, allineate lungo 450 metri da Est ad Ovest, a quota 715 m, che si attivano (e disattivano) progressivamente da valle a monte (e viceversa) nei mesi invernali - primaverili o comunque in caso di forti precipitazioni: da esse scaturisce il ramo settentrionale del Rio Redegore. Due di esse provengono da grotte: la Tana de Dotte, cavità d'interstrato lunga una trentina di metri, e il Buranco de Dotte, complesso reticolo di gallerie freatiche che si sviluppa per circa 500 metri (totalmente allagato per diversi mesi all'anno).

La zona di alimentazione delle Dotte è comunque ben più vasta del bacino di Rio Secco, è certamente legata agli inghiottitoi del Rio della Giaire e del Rio Derere (anche se non è stato finora possibile accertarlo direttamente con tracciamenti) e con tutta probabilità si estende almeno fino a Pianfieno;

6) anche in regime di magra la galleria terminale del Buranco de Dotte è occupata dall'acqua di un sifone; nelle particolari condizioni idrologiche presentatesi sul finire del 1989 si è potuto verificare che il lago - sifone terminale maschera

G	Q l/s	F Kg	V m/h	D m/h	P %	I	O
22.03.87	10-15	0,5	17	1	5,6	R.S.	B.D.
18.04.87	10-20	2,5	60	4	6	B.R.	F.G.
17.10.87	1	0,2	22	3	11,5	G.B.	F.G.
01.10.88	2-3	0,5	16	1	6	B.R.	F.G.
15.10.89	1-3	0,1	30	1	4	B.D.	P.F.
01.05.90	10-20	0,5	50	3	6,4	R.B.	F.G.

Tab. 1 - Prospetto dei 6 più significativi tracciamenti con Fluoresceina realizzati dal G.S.S. tra il 1987 e il 1990 (non si analizzano volutamente in questa relazione preliminare i dati sopra riportati, che saranno oggetto di successivi studi interpretativi dei possibili modelli idrogeologici dell'acquifero carsico di Bardineto.

Legenda: G: data del tracciamento; Q: portata idrica; F: quantità di fluoresceina immessa; V: velocità orizzontale minima di deflusso; D: velocità verticale di deflusso; P: pendenza complessiva; I: input (luogo di immissione del tracciante); O: output (luogo di restituzione del tracciante)

Simbologia delle località (I/O): B.D.: Buranco e sorgenti delle Dotte; B.R.: Buranco Rampiun; F.G.: Fontana Garesca; G.B.: Grotta Balbiseolo; P.F.: pozzo Frascheri; R.B.: inghiottitoio di rio Barozzo; R.S.: inghiottitoio di Rio Secco.

usualmente una situazione più complessa, dove da un sifone a monte (in corso di esplorazione subacquea) l'acqua defluisce in un sifone a valle immediatamente adiacente, impraticabile. Il tracciamento dell'acqua ha permesso di appurare che in regime di magra vi è una circolazione idrica tra il sifone a valle del Buranco de Dotte e le acque carsiche sotterranee che (incanalate in condotte o interstrati) fluiscono nei calcari al di sotto della copertura detritica della piana di Bardineto: in particolare si è accertata la connessione idrologica con il punto dove viene prelevata acqua dal pozzo artesiano del caseificio Frascheri.

Prelievi idrici sono stati effettuati pure nel fiume Bormida, a monte e a valle delle principali emergenze carsiche conosciute, per verificare l'eventuale variazione dei parametri (va comunque tenuto presente che pure le sorgenti della Bormida scaturiscono da terreni calcarei).

Le ricerche e i campionamenti idrici sono stati estesi pure alle grotte e alle sorgenti carsiche della limitrofa Alta Val Varatella (Valloni dei rii della Valle, dell'Acquaranda e della Servaira), nell'intento di impostare una prima verifica di eventuali (per quanto improbabili) interconnessioni idrologiche tra i sistemi carsici valbormidesi e toiranesi e, quanto meno, delinearne un primo confronto (cfr. Fig. 1 e Tabb. 1 e 2).

Caratteri chimici delle acque sotterranee

Le sorgenti risentono dei caratteri chimici della roccia in cui è contenuta la falda da cui derivano.

Le sostanze che contengono provengono dalla dissoluzione delle rocce e dei minerali o dall'alterazione di questi ultimi. La maggior parte delle acque sorgive rispecchiano dunque la natura delle rocce cui sono legate.

La dissoluzione si accresce con la temperatura e quindi con la profondità della falda e con la lunghezza del percorso delle acque sotterranee, del tempo e della superficie di contatto acqua - roccia.

La composizione chimica di una sorgente può subire dei cambiamenti nel tempo sia per diluizione del contenuto salino in seguito ad un maggiore afflusso di acque meteoriche, sia per un aumento della sua concentrazione in seguito ad evaporazione o ulteriore dissoluzione.

Aumentando la concentrazione del soluto in certi casi si può arrivare alla saturazione di certi composti e ad una loro parziale precipitazione.

Le acque che escono da uno stesso tipo di roccia possono avere caratteri comuni ma non necessariamente la stessa composizione chimica che è condizionata da vari fattori, quali ad esempio la lunghezza del percorso sotterraneo, il clima, la velocità delle acque.

Riassumiamo brevemente i caratteri chimici dei principali tipi di rocce:

Rocce cristalline (eruttive e metamorfiche): presentano generalmente una solubilità molto bassa e quindi le acque presentano un residuo fisso molto basso, tra gli ioni predominano gli alcalini, è basso il contenuto in bicarbonati ma superiore a cloruri e solfati; molto abbondante la silice;

Rocce sedimentarie

- *calcari:* il residuo fisso è scarso nei calcari saccaroidi e puri mentre è maggiore in quelli porosi più teneri, si ha una prevalenza di bicarbonati e ione calcio mentre sono scarsi cloruri e solfati;
- *dolomie:* le acque delle dolomie sono simili a quelle dei calcari ma con presenza di ione magnesio in varie proporzioni;
- *gessi* e *salgemma:* le prime sono ricche di $CaSO_4$, le seconde di sale;
- *marne* ed *argille:* contengono spesso cloruri e solfati e in quantità elevata anche Ca, Mg, Na e SiO_2;
- sabbie e *arenarie:* residuo fisso basso nelle sabbie silicee e maggiore nelle altre: queste ultime hanno un residuo superiore a quelle dei calcari puri, gli ioni prevalenti sono Ca, Mg, Cl, Na, SO_4.

In casi particolari minerali come sideriti, limoniti e magnetiti possono evidenziare contenuti elevati di ferro, presenza di torbe e ligniti determinano formazione di ambienti riducenti in cui si forma idrogeno solforato per riduzione dai solfati. In presenza di idrocarburi si hanno fenomeni simili.

Generalmente il contenuto in sali di una acqua si determina misurandone la durezza che si esprime in gradi idrotimetrici: quello francese adottato in Italia corrisponde ad un tenore di 10,3 mg/litro di $CaCO_3$.

In base alla durezza le acque vengono così classificate:

molto dolci	0 - 7	gradi
dolci	7 - 14	"
mediamente dure	14 - 22	"
abbastanza dure	22 - 32	"
dure	32 - 54	"
molto dure	54	"

I risultati delle caratterizzazioni delle acque di tutte le sorgenti campionate sono riportate in tabella 2 e le relative ubicazioni nell'allegato schizzo geologico indicativo (Fig. 1). Come si può osservare la maggior parte delle sorgenti presenta caratteristiche chimiche molto simili senza grandi differenziazioni. Siamo in presenza di acque che si possono definire dolci o mediamente dure: l'esame del contenuto di calcio e magnesio indica che il complesso calcareo di Bardineto da un punto di vista idrochimico presenta caratteristiche molto simili nelle varie zone e le minime differenze paiono legate ad una maggiore o minore permanenza delle acque sotterranee nel sottosuolo e ad una differente lunghezza del percorso delle acque stesse nel sottosuolo, fenomeno che può, ad esempio, spiegare la differenza delle acque campionate alla Dotte da quelle del Buranco di Bardineto che, in teoria, dovrebbero essere uguali.

In alcuni casi, come ad esempio per la Fontana Garesca, va rilevata la possibilità di scorrimento delle acque carsiche tra i calcari e i sottostanti porfiroidi, scisti e rocce metamorfiche; l'accertamento delle zone di alimentazione degli acquiferi carsici di Bardineto ha d'altronde evidenziato l'apporto stagionale di acque superficiali che hanno una propria rete idrografica impostata su terreni non calcarei e che vengono inghiottite nella zona di contatto con i calcari: ne derivano ovvie variazioni del chimismo delle acque sotterranee.

C	DATA	DENOMINAZIONE	PORTATA MEDIA (Min/Max) l/s	TEMP. °C	pH	CONDUC. El. spec. a 20 °C µS/cm	Cl mg/l	Ca mg/l	NO3 mg/l	DUREZZA TOTALE °F	SO4 mg/l	Mg mg/l	Ca/Mg
1	02.04.88	FIUME BORMIDA - S. NICOLO'	-	-	7,65	168	6	22	2,1	8,5	11,4	7,4	2,97
2	02.04.88	FIUME BORMIDA - REDEGORE	-	-	7,73	165	6	23	2,6	8,5	6,0	6,7	3,43
3	02.04.88	FIUME BORMIDA - CASCINASSO	-	-	7,86	178	5,5	24	2,8	9,0	4,7	7,6	3,16
4	02.04.88	FIUME BORMIDA - ESCA	-	-	7,83	174	6	25	3,0	9,0	5,0	7,0	3,57
BA1	20.10.87	ACQUEDOTTO RIO SECCO	5	-	8,31	196	10	26	2,2	11,0	4,0	1,0	26,00
30	26.01.88	SORGENTE RIO SECCO	5 (2,5-40)	7,3	7,84	198	5,5	29	1,2	11,1	5,2	9,2	3,15
42	30.01.88	ACQUEDOTTO COMUNALE	5	-	7,88	194	5	26	1,5	11,0	6,0	8,5	3,06
9A4	20.10.87	POZZO ACQUED. RIO SECCO	-	10,1	8,16	244	4	37	1,7	14,6	3,6	9,8	3,78
9	08.05.88	"	-	"	8,00	251	5	43	3,0	14,0	3,7	8,3	5,18
45	17.10.89	"	-	"	7,88	250	3	43	2,7	14,4	-	n.r.	-
34	28.05.88	SFIATO POZZO RIO SECCO	-	-	7,86	175	6	23	1,7	9,8	4,0	7,1	3,24
31	28.05.88	GROTTA CAVA VECCHIA	0	-	7,97	233	4	37	0,5	13,8	9,0	6,3	5,87
7	24.04.88	SORGENTE DOTTE 1	(0-100)	7,6	7,89	243	5	37	1,5	13,8	3,3	11,2	3,30
20	01.11.87	"	"	"	7,89	253	5	37	1,2	14,6	4,5	12,1	3,06
36	30.01.88	"	"	"	7,87	251	5	35	1,3	14,6	7,0	10,8	3,24
40	23.01.88	"	"	"	7,73	239	5	33	1,7	13,8	7,0	11,2	2,95
38	30.01.88	SORGENTE DOTTE 2	(0-100)	-	8,00	246	6	34	1,3	14,4	6,0	11,2	3,04
5	24.04.88	BURANCO DOTTE (flusso dx)	15	-	8,18	199	5	27	1,1	11,0	2,7	10,4	2,60
35	17.01.88	"	"	-	7,72	231	6	32	3,1	13,2	6,0	9,7	3,30
41	23.01.88	"	"	-	7,77	213	6	27	2,0	12,2	6,0	10,0	2,70
43	17.10.89	BURANCO DOTTE (sifone)	(0-3)	7,9	8,02	261	4	40	2,1	15,6	-	n.r.	-
44	17.10.89	1° POZZO FRASCHERI	-	9	7,55	256	4	36	2,2	14,8	-	n.r.	-
6	24.04.88	"	-	"	7,78	200	6	26	1,0	10,6	2,0	10,1	2,57
21	30.01.88	2° POZZO FRASCHERI	-	-	7,94	244	7	34	0,3	13,7	3,5	11,7	2,91
24	01.11.87	SORGENTE CASCINASSO	20	9	7,89	252	7	34	4,5	13,9	5,5	12,1	2,81
37	24.01.88	"	"	"	7,67	250	8	32	5,4	14,0	7,0	11,4	2,81
22	01.11.87	POLLA CASCINASSO	(0-2)	-	7,59	284	7	47	4,6	16,6	10,0	10,9	4,31
39	01.11.87	RIO BURANCO	(0-50)	9,8	7,85	309	7	45	1,1	18,4	10,0	13,2	3,41
26	31.10.87	BURANCO BARDINETO (torrente)	(0-50)	9,8	7,88	307	4	47	1,5	18,2	8,0	12,9	3,64
27	29.12.87	"	"	"	7,85	301	7	46	1,3	18,5	7,5	13,4	3,43
28	29.12.87	BURANCO BARDINETO (affluente)	(0-5)	-	7,89	328	6	50	0,3	19,6	8,0	13,8	3,62
29	31.10.87	"	"	-	7,91	335	5,5	52	0,3	20,2	8,0	14,0	3,71
32	07.02.88	GROTTA BALBISEOLO	0,5-1	7	7,76	72	5	10	3,9	3,5	6,0	1,2	8,33
25	05.01.88	BURANCO RAMPIUN	(3-30)	7	8,03	231	5,5	34	2,0	13,2	3,0	10,0	3,40
23	08.01.88	FONTANA GARESCA 1	(20-100)	7,6	7,39	204	5,5	32	1,0	11,1	3,5	8,2	3,90
8	24.04.88	"	"	"	7,91	189	5	28	1,8	10,0	2,3	8,1	3,46
33	23.11.88	"	"	"	7,78	217	7	32	1,6	12,4	15,0	8,5	3,76
46	17.10.89	"	"	"	8,05	200	4	30	2,1	11,4	-	n.r.	-
47	17.10.89	FONTANA CARESCA 2	-	-	7,88	201	4	26	1,4	11,4	4,0	-	-
A3	20.10.87	S. PIETRO	-	-	7,58	41,5	6	3	0,4	2,2	0,8	1,0	3,00
A2	20.10.87	SORGENTE M. CARMO SECCAI	7	8,1	8,22	257	6	31	1,4	18,0	3,6	14,7	2,11
P	06.05.90	BURANCO DELLA PAGLIARINA	0,1	7	-	280	-	34	-	15,5	-	-	-
17	12.02.88	BURANCHINO DEL GIOGO	0,01	-	7,95	204	5,5	38	1,4	11,4	11,0	4,1	9,27
16	13.02.88	SORGENTE VACCARINI	20	9,8	7,95	269	5,5	38	0,7	15,0	5,2	14,1	2,70
B1	07.07.90	SORGENTE CORNA'	2	9,6	-	258	20	31	-	15,8	-	-	-
B2	07.07.90	SORGENTE BOZZERA	5	8,6	-	218	7	27	-	10,8	-	-	-
19	13.02.88	INGHIOTTITOIO ACQUA RANDA	(0-1)	-	8,07	213	4	29	0,3	12,8	4,7	11,9	2,44
18	13.02.88	SORGENTE ACQUA RANDA	(0,5-5)	10,7	8,18	252	5	33	0,2	15,4	7,4	14,2	2,32
10	27.02.88	SORGENTE PALLARETA	-	-	7,94	284	5,5	42	0,4	16,5	3,0	14,8	2,84
11	27.02.88	BURANCHINO	0,01	-	7,38	355	11	47	8,0	20,0	12,5	16,6	2,83
14	21.02.88	GROTTA GIARA	(0-1)	10	7,91	253	7	38	0,3	14,8	8,0	10,5	3,62
12	21.02.88	SORGENTE RIO SERVAIRA	10	12,2	8,17	296	6,5	40	0,3	17,8	7,0	16,3	2,45
13	21.02.88	RIO SERVAIRA	-	-	8,21	295	7	42	0,1	17,4	10,0	15,7	2,68
15	21.02.88	RISORGENZA VEI	40	-	8,18	273	6	40	0,4	16,0	8,0	14,3	2,80

Le portate indicate sono quelle media, minima e massima, non quelle della data del prelievo; le temperature sono state misurate nei mesi di maggio - giugno 1990, con Test media = 18 °C; la colonna C riporta i riferimenti ai numeri dei diversi campionamenti (cfr. fig. 1).

Tab. 2 - Analisi chimico-fisiche delle acque.

Per alcuni corsi d'acqua la campionatura è stata ripetuta più volte nel corso dell'anno, anche per avere una prima idea della variazione parametrica nelle diverse condizioni stagionali di magra e di massima: non sempre però questo è stato possibile e il discorso è d'altronde complicato dal fatto che il flusso idrico è perenne solo nella Risorgenza di Rio Secco, nel Buranco Rampiùn e nella Fontana Garesca, mentre risulta temporaneo al Cascinasso, alle Dotte e al Buranco di Bardineto (queste due grotte hanno comunque rami sifonanti anche in regime di magra).

Per una migliore interpretazione dei risultati si è posta particolare attenzione ai raggruppamenti di valori campionati presso le principali emergenze carsiche nel medesimo periodo (ottobre - dicembre 1987, gennaio 1988, aprile 1988, ottobre 1989: le prime 3 date sono corrispondenti a situazioni di piena, mentre l'ultima è contemporanea alla massima magra registrata a Bardineto negli ultimi 8 anni).

In questo contesto risultano evidenti e costanti gli scostamenti dei valori registrati alla Fontana Garesca, alle Dotte e al Buranco di Bardineto (ad esempio le acque delle Dotte e del Buranco sono mediamente più dure della Garesca rispettivamente del 35 e del 45%; analoghe osservazioni sono deducibili dalla concentrazione degli ioni calcio e dalla conducibilità).

Meritevoli di studi più approfonditi sono d'altronde le temperature (più elevate rispetto alle sorgenti Dotte e Garesca, che pure scaturiscono tutte alla medesima quota) registrate nel Buranco di Bardineto e alla Sorgente Cascinasso, oltre che nei pozzi artesiani circostanti le Dotte, indici probabilmente di scorrimenti lentissimi a livello di falda e forse anche di risalita di acque profonde lungo la faglia occidentale che separa i calcari delle rocce cristalline.

Dal punto di vista strettamente idrologico sono comunque analoghi i tempi di carica e di scarica degli acquiferi carsici connessi alle diverse sorgenti, che paiono soggette ad analoghi regimi di piena e di magra strettamente correlati con le precipitazioni esterne e con lo scioglimento primaverile delle nevi.

Le prime osservazioni idrogeochimiche effettuate concordano d'altronde con le prove condotte con i traccianti, che hanno evidenziato che gli inghiottitoi presenti negli alvei dei torrenti nella zona nord - occidentale sono strettamente collegati con la Fontana Garesca, dove confluiscono pure le acque sotterranee del Buranco Rampiùn.

Le sorgenti delle Dotte e i pozzi nelle vicinanze (Frascheri e Pozzo Acquedotto) sono alimentati da acque sotterranee di cui è stata accertata la stretta correlazione con gli inghiottitoi di Rio Secco; in particolare Dotte e Pozzo Frascheri appartengono sicuramente al medesimo acquifero carsico.

Per quanto riguarda le emergenze nella grotta del Buranco di Bardineto, in assenza per il momento dei risultati delle prove con i traccianti (nel Buranco i fluocaptori non sono finora risultati positivi in nessuna delle prove eseguite), le analisi chimiche evidenziano forse un differente percorso sotterraneo, con un più lungo tempo di permanenza (o percorrenza) nel sottosuolo.

Soltanto il proseguimento di indagini e analisi più sistematiche, protratte in modo ripetitivo per almeno un intero ciclo idrologico nel complesso dell'ac-

quifero carsico di Bardineto, permetterà di definire con maggiore precisione le caratteristiche della circolazione dell'acqua sotterranea.

Hanno collaborato al tracciamento delle acque sotterranee i seguenti soci del Gruppo Speleologico Savonese (G.S.S.), negli anni indicati entro parentesi:

Andrea Balbis (1987-1990), Giorgio Basso (1988), Davide Berlingieri (1988 e 1990), Alessandro Briozzo (1988), Vittorio Cerruti (1987), Giorgio Dal Bo (1987-1990), Laura Dellavalle (1987-1990), Patrizia Diani (1987), Giuliano Donzellini (1987), Carlo Ferrari (1987), Silvano Franchelli (1987-1990), Marco Gambetta (1990), Rinaldo Massucco (1987-1990), Marco Nobile (1990), Paolo Patrucco (1987), Marcello Penner (1988-1990), Adele e Claudia Sanna (1987-1990), Fabio Siccardi (1988-1990), Tatiana Sidoti (1988-1990), Ida Tonero (1987-1990).

Hanno collaborato alla campagna di campionamento idrologico i seguenti soci del G.S.S.: Silvano Franchelli, Rinaldo Massucco, Adele, Antonio e Maria Teresa Sanna.

Bibliografia

AA.VV., 1987 - *Le nostre grotte*. Guida speleologica ligure - Genova.

Note illustrative alla Carta Geologica d'Italia, F. 92-93 Albenga - Savona

MENARDI NOGUERA A., 1984 - *Nuove osservazioni sulla struttura del Massiccio del Monte Carmo (Alpi Liguri)* - Boll. Soc. Geol. It. 103-103.

PASSERI L., 1984 - *Le successioni triassico-giurassiche dell'Appennino Settentrionale nel quadro dell'evoluzione preeocenica della Tetide occidentale* - Mem. Soc. Geol. It. - 28.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 289-302.

SANDRO UGGERI* &BARTOLOMEO VIGNA**

UN TRACCIANTE ALTERNATIVO NELLO STUDIO DEGLI ACQUIFERI CARSICI: IL TINOPAL

RIASSUNTO - Il Tinopal è uno dei tanti candeggianti ottici che può essere utilizzato come tracciante artificiale nel campo dell'idrogeologia carsica.
Esso viene impiegato da numerosi ricercatori stranieri come colorante alternativo alle più comuni sostanze quali la fluoresceina, le rodamine ecc.
Il Tinopal, oltre ad essere atossico, possiede una particolare caratteristica: in concentrazioni non elevate è totalmente invisibile all'occhio umano.
Il suo utilizzo diventa quindi indispensabile in tutte quelle esperienze di tracciato nelle quali esiste il rischio che quantità più o meno elevate di colorante finiscano nelle acque delle numerose sorgenti carsiche captate per scopi idropotabili.
In alcune regioni italiane l'uso della fluoresceina è addirittura vietato, in ogni caso è molto difficile ottenere da enti pubblici o privati l'autorizzazione a compiere studi in quelle aree dove esiste la possibilità che coloranti ben visibili, anche se innocui, finiscano nella rete acquedottistica. La bibliografia riguardante il Tinopal è piuttosto scarsa, per questo motivo sono presentati gli studi effettuati dagli autori sulle metodologie adottate e sull'utilizzo razionale di questo interessante tracciante artificiale.

ABSTRACT - TINOPAL is one of the optical whiters which may be used as artificial tracer in the field of karstic hydrogeology.
It is used by a lot of foreign researchers as alternative dye to the most common substances as: fluoroscein, Rhodamine...
TINOPAL is a non - toxic substance and the same time it has distinctive peculiarity: in low concentrations it is completely invisible to nacked eye.
Its exploitation becomes absolutely necessary in all those experiments of tracing, in which you take the risk that small or large quantities of dye fell into the water of Karst springs picked up for potable purposes.

Premessa

L'utilizzo dei traccianti artificiali nel campo idrogeologico ed in particolare

* Univ. di Milano - Dip. Scienze della Terra.
** Politecnico di Torino - Dip. Georisorse e territorio.
Pubblicazione n. 371 del Gruppo Naz. per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del C.N.R. - U.O. 4.1

nello studio degli acquiferi carsici, è senza dubbio un apporto quasi indispensabile per conprendere il funzionamento di un sistema riuscendo a definire la geometria dell'acquifero , la velocità di deflusso nelle diverse condizioni di ricarica ed i diversi parametri idrodinamici dell'acquifero (dispersività, presenza di vie preferenziali di deflusso, estensione delle riserve regolatrici). L'applicazione di questa tecnica presuppone che il tracciante utilizzato presenti caratteristiche prossime a quelle di un tracciante ideale (ARANYOSSY J.Fr,1978, MOLINARI J.,1976) caratterizzate da:

- altissima solubilizzazione in acqua ed in tempi molto brevi al fine di poter considerare istantanea l'immissione;
- essere chimicamente neutro, cioè non subire fenomeni di adsorbimento, reazioni chimiche , precipitazione di minerali secondari che ne diminuiscono la massa disciolta;
- essere fisicamente neutro, cioè non separarsi per gravità o non rimanere intrappolato nei pori della matrice litologica;
- non modificare le caratteristiche dinamiche dell'acqua (viscosità, densità, temperatura);
- un limite di rivelazione molto basso;
- un'analisi facile, rapida e poco costosa;
- una tossicità nulla.

I traccianti artificiali attualmente in uso hanno un comportamento che si approssima a quello ideale, ma ognuno di loro presenta alcune controindicazioni:

- gli isotopi artificiali, emittenti radiazioni gamma (MV Br, I, Tritio) sono molto validi e possono essere rilevati direttamente in sito, ma richiedono uno stretto controllo da parte delle autorità sanitarie, tale da risultare poco pratico il loro impiego;
- i traccianti chimici (NaCl, KCl, Silice amorfa) molto utilizzati negli studi degli acquiferi porosi, presentano lo svantaggio di essere poco solubili in acqua e quindi la necessità di utilizzarne in grosse quantità (Tab. 1). Inoltre, alterando le caratteristiche dell'acqua (elevate densità), possono presentare fenomeni di stratificazione;
- i traccianti biologici (spore, batteri) utilizzati soprattutto all'estero sono di difficile reperibilità nel nostro paese e con prezzi elevati; i test con i fagi sono addirittura vietati in Italia;

Tracciante	Conc. media kg/m^3 o Ci/m^3	Quantità di tracciante
NaCl	5*10^-4	90 kg
Rodamina WT	1*10^-5	1.8 kg
Tritio	6.4*10^-7	115 mCi

Tab. 1 - Raffronto tra le quantità di tracciante necessarie per marcare 100 mc/sec nella misura di portata di corsi d'acqua relativi ad alcuni traccianti.

- i traccianti fluorescenti (fluoresceina, rodamina, ecc., Tab. 2) sono largamente utilizzati nello studio degli acquiferi carsici, facili da usare, hanno un comportamento molto simile a quello di un tracciante ideale, ma presentano alcuni inconvenienti legati alla tossicità di alcuni (Tab. 3) o alla loro eccessiva visibilità anche in concentrazioni non molto elevate (a 0.1 ppm la fluoresceina è ancora ben visibile all'occhio umano). In alcune regioni italiane l'utilizzo di questo colorante è stato vietato, anche se gli approfonditi studi riguardanti la tossicità dei diversi traccianti fluorescenti dimostrano la completa atossicità di questa sostanza. In ogni caso l'esecuzione di test in zone dove esiste la possibilità che il tracciante finisca in sorgenti captate per scopi idropotabili, ne viene generalmente sconsigliato o vietato l'uso dalle autorità competenti in quanto la colorazione anomala delle acque crea allarmismo (anche se ingiustificato) da parte dei singoli utenti. Per ovviare tale inconveniente è possibile l'utilizzo di queste sostanze in concentrazioni molto basse, tale da risultare invisibili all'emergenza.

Quando si eseguono test in sistemi il cui funzionamento è ancora poco conosciuto si possono avere risposte inattese con valori elevati del colorante legati ad esempio ad un'improvvisa piena con rapido pistonaggio alla sorgente del tracciante immesso.

I traccianti incolori

In commercio esistono alcune sostanze che possono essere utilizzate come traccianti alternativi ai comuni coloranti, conosciuti con il nome generico di can-

Nome	Colore	Valore minimo di rilevazione mg
Fluoresceina	verde	.29
Piranina	verde	.087
Fotina CU	blu	.36
Rodamina WT	arancio	.013
Sulforodamina B	arancio	.061

Tab. 2 - Principali traccianti fluorescenti.

Tracciante	Cancerogeno	Mutageno
Fluoresceina	NO	NO
Rodamina WT	nessun dato	probabilmente NO
Rodamina B	SI	probabilmente SI
Sulforodamina B	nessun dato	probabilmente SI
Tinopal CBS-X	NO	NO

Tab. 3 - Tossicità dei diversi traccianti fluorescenti (da Smart, 1984).

deggianti ottici. Questi presentano il vantaggio di essere facili da usare, non visibili all'occhio umano, non tossici, offrono la possibilità di effettuare test quantitativi e quindi risultano ideali nello studio di sorgenti captate per uso idropotabile. Anche gli isotopi artificiali ed i traccianti chimici e biologici sono incolori, ma alcune controindicazioni, elencate in precedenza li rendono di difficile utilizzazione.

Con la terminologia di «candeggianti ottici» sono raggruppate numerose sostanze, di uso industriale, fluorescenti, incolori se diluite in acqua, in bibliografia conosciute con il nome di Calcofluor white ST, Direct yellow 96, Tinopal CBS - X. Le prime esperienze in campo idrogeologico sono state eseguite in Europa da CRABTREE e GLOVER (1970 - 72) negli Stati Uniti da QUINLAN (1976) nella Mammuth Cave e da BEHRENS et al. (1976) per un tracciamento multiplo, in un'area carsica iugoslava, mentre non sono conosciuti lavori eseguiti nel nostro paese. In letteratura le informazioni riguardanti la metodologia d'uso dei «candeggianti ottici» è assai scarsa, per questo motivo è stata messa a punto dagli scriventi una tecnica per l'utilizzo razionale ed efficiente di questi traccianti.

Il tinopal DMS - X

Tra i diversi candeggianti presenti sul mercato ne è stato scelto uno in particolare, il Tinopal DMS - X denominato anche Fluorescente Brightener 260 fornitoci dai laboratori B & B (Occhieppo Inferiore, VC), sconosciuto in bibliografia. Questo tracciante ha un prezzo di mercato molto contenuto, circa 30.000 lire al Kg e soprattutto rispetto al CBS - X (molto più caro) risulta di più facile reperibilità sul mercato essendo comunemente utilizzato come sbiancante nei comuni detersivi.

I numerosi test di tossicità effettuati dalla Ciba - Geigy indicano che il Tinopal è un prodotto non mutageno e non cancerogeno, con bassa LD50 e limitati effetti sulla flora acquatica nelle concentrazioni prevedibili durante i test di tracciamento; un confronto con gli altri traccianti fluorescenti in uso idrogeologico (Tab. 3) segnala che solo la Fluorescina sodica fornisce analoghe garanzie di atossicità. I test di irritazione indicano che il Tinopal può essere maneggiato senza pericolo mantenendo le usuali precauzioni; se accidentalmente finisce negli occhi sotto forma di polvere o in soluzione ad elevata concentrazione, per evitare l'irritazione è sufficiente lavare immediatamente con molta acqua. Infine, i dati di tossicità riportati dalla Ciba Geigy sono confermati da uno studio realizzato da P.L.SMART (1984) che, confrontando dal punto di vista sanitario ed ecologico i vari traccianti fluorescenti in uso idrogeologico, conclude che solo il Tinopal CBS - X, la Fluorescina Sodica e la Rodamina WT posseggono caratteri tali da essere adeguati all'utilizzo previsto.

Prove di taratura

Le prove di taratura della sostanza sono state effettuate con uno spettrofotometro Beckman UV 5270 con modifiche originali in dotazione del Laboratorio di geochimica del Politecnico di Torino. L'analisi dello spettro UV - visibile ha ri-

velato la presenza di un picco di energia corrispondente ad una sollecitazione con 370 nm di lunghezza d'onda ed un minimo con lunghezza d'onda del raggio incidente a 405 nm (Fig. 1). La curva di taratura è stata ricavata da prove effettuate a temperatura ambiente (20°C) con raggio incidente con lunghezza d'onda 370 nm ed apertura 4; il candeggiante era diluito in acqua distillata; in Tabella 4 sono riportati i risultati e, per confronto, i valori ottenuti variando l'apertura o la lunghezza d'onda. Non è stato possibile riconoscere il tracciante per concentrazioni inferiori a 0.001 ppm. I risultati sono stati riportati in diagramma semilogaritmico (Fig. 2) e bilogaritmico (Fig. 3): appare evidente che i punti si allineano secondo due differenti rette che si intersecano in corrispondenza di 0.1 ppm; è pertanto possibile effettuare test quantitativi col Tinopal fino a tali concentrazioni, al di sotto di questi valori le indicazioni vanno considerate semi - quantitative.

L'influenza della temperatura

E' stata realizzata una prova per valutare gli effetti della temperatura sul valore del picco a 370 nm, raffreddando alla temperatura di 13.2°C un campione d'acqua proveniente dal Fontanone di Barasso (sorgente carsica situata alla base

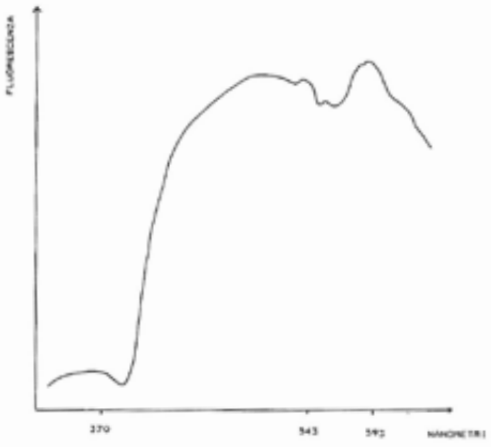
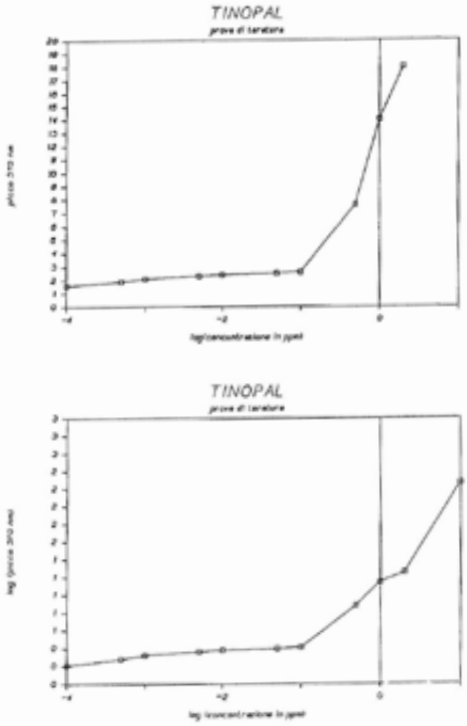


Fig. 1 - Analisi della fluorescenza di una soluzione di Tinopal ed acqua; sono indicati i picchi di Tinopal (370 nm) e dell'acqua (543 e 593 nm).



Figg. 2 e 3 - Curve di taratura del Tinopal.

del massiccio del Campo dei Fiori, Varese) con una concentrazione di 1 ppm di Tinopal; durante il riscaldamento fino alla temperatura del laboratorio (20.2°C) sono stati misurati ad intervalli di 1°C i picchi a 370 e 405 nm. I risultati sono riportati in Tab. 5 e raffigurati in Fig. 4. Durante la prova tuttavia i campioni hanno ricevuto luce naturale proveniente dalle finestre. Per distinguere l'effetto temperatura dal decadimento fotochimico durante la prova è stata esposta alla luce una provetta contenente la medesima soluzione; i valori misurati 75 minuti prima ed al termine della prova sono riportati in Tab. 4, mentre le rette di decadimento, ricavate dalle quattro misure, sono rappresentate in Fig. 4. Il test ha evidenziato una relazione tra intensità della fluorescenza e temperatura, di entità trascurabile in ambiente di laboratorio.

L'influenza del pH

Per valutare le relazioni tra pH e fluorescenza del Tinopal ad una soluzione a 5 ppm sono stati aggiunti piccoli quantitativi di HCl e di NaOH. Sono quindi stati misurati pH e fluorescenza dei composti in condizioni strumentali costanti. Si constata un aumento della fluorescenza proporzionale al valore del pH. Considerato che in ambiente carsico il pH delle acque è generalmente superiore a 7, con valori medi compresi tra 7.5 e 8, questo fenomeno non ha incidenza di rilievo nei test coi traccianti.

Concentrazione	A	B	C	D
0.0001	1.5	2.9		
0.0005	1.9	4.5		
0.001	2.1			
0.005	2.3	4.4	2.1	7.1
0.01	2.4	4.9	2.8	9.5
0:05	2.5	4.6	2.0	6.8
0.1	2.6	5.0	2.1	6.8
0.5	7.6	16.4	2.9	9.0
1.0	14.0	30.0	4.5	12.2
2.0	18.0	38.0	4.4	11.2
10.0	184	338	151	294

Tab. 4 - Curva di taratura del Tinopal.
Legenda:
A: 370 nm apertura 4
B: 370 nm apertura 6.5
C: 405 nm apertura 4
D: 405 nm apertura 6.5

pH	Fluorescenza
5.3	81.4
6.7	84.5
7.8	90.0
8.5	102.9

Tab. 5 - Influenza del pH sulla fluorescenza.

Filtrazione da parte di sedimenti

La possibile filtrazione da parte di terreno vegetale o sedimenti fini è stata simulata facendo attraversare alla soluzione uno strato di 12 centimetri di terreno vegetale (contenuto in un recipiente), raccogliendola ai fori inferiori e reimmettendola in circolo; questa operazione è stata ripetuta per nove volte, per un attraversamento totale di 108 centimetri. La soluzione era costituita da acqua, Tinopal (5 ppm) e Fluoresceina sodica (5 ppm). Prima e dopo la prova è stata misurata la fluorescenza in corrispondenza dei picchi di entrambi i soluti. E' stata riscontrata una diminuzione della fluorescenza della Fluoresceina del 60% ed un abbattimento totale del Tinopal, presumibilmente causato dal notevole trattenimento di queste grosse molecole da parte dei sedimenti fini.

L'influenza della luce

E' stata effettuata una prova a lungo termine per valutare la fotosensibilità del prodotto; una soluzione di Tinopal a 5 ppm è stata messa in due contenitori, uno scuro ed uno traslucido; i contenitori sono messi in laboratorio esposti alla luce indiretta del sole; ad intervalli di tempo prestabiliti è stata misurata la fluorescenza delle due soluzioni. Si è constatata una progressiva diminuzione della fluorescenza, molto marcata nei primi giorni di esposizione; la soluzione conservata al buio non ha invece subito decadimento, indicando così l'assoluta necessità di contenitori opachi per la raccolta di campioni d'acqua durante i test con Tinopal. Una conferma della fotosensibilità si è avuta controllando dopo 5 mesi le soluzioni utilizzate per la taratura del metodo; i campioni erano stati conservati entro contenitori semi - trasparenti in ambiente poco luminoso; le soluzioni con concentrazioni inferiori ad 1 ppm non sono risultate fluorescenti.

Modalità pratiche di utilizzo

Immissione del tracciante

Il Tinopal, sotto forma di una polvere fine di colore bianco, viene immesso direttamente in acqua spargendolo manualmente o preparando in loco in un recipiente una soluzione limpida. Generalmente si osserva durante l'immissione che, a causa della bassa solubilità del tracciante, solo una parte della sostanza va direttamente in soluzione, il rimanente viene trasportato in sospensione dalla cor-

rente e può sedimentare nelle zone con bassa energia. Prove di laboratorio indicano una tendenza del fenomeno con concentrazioni del tracciante superiori ai 100 mg/l. L'immissione deve quindi essere effettuata molto lentamente , si sconsiglia l'uso del Tinopal in corsi d'acqua con portate inferiori ad 1 l/s.

Raccolta di dati alle emergenze

Le emergenze possono essere controllate campionando periodicamente le acque o recuperando i captori precedentemente posizionati. Nel primo caso, che consente un'analisi quantitativa del test di tracciamento, l'unica precauzione da prendere è la conservazione al buio assoluto del campione nel tempo intercorrente tra la raccolta e l'analisi in laboratorio; è stata infatti accertata una elevata fotosensibilità del prodotto. Nel secondo caso, devono essere utilizzati dei captori costruiti in modo differente rispetto quelli tradizionali con il carbone attivo. Il materiale in grado di fissare la molecola del Tinopal è infatti il cotone, in particolare viene consigliato l'uso di cotone chirurgico non trattato , fissato su supporti metallici. I captori costruiti dagli scriventi sono delle semplici bustine di circa 8 centimetri di lato , in tulle o ancora meglio in reti plastiche o metalliche contenenti una garza sterile, piegata in due, tali da facilitare il passaggio dell'acqua. Vanno posizionati al riparo della luce, in alcune esperienze sono stati fissati in contenitori scuri immersi nella corrente. E' stato inoltre osservato dopo una lunga permanenza dei captori in acqua un attacco algale tale da compromettere l'analisi in laboratorio.Per ottenere migliori risultati è inoltre consigliabile la conservazione al buio subito dopo la loro raccolta. E' stato infatti accertato un leggero decadimento conseguente all'esposizione alla luce ed una leggerissima diminuzione dell'intensità di risposta se contenenti sostanze organiche o sedimenti.

Analisi di laboratorio

Per l'analisi dei captori e dei campioni d'acqua è indispensabile l'uso di uno spettrofluorimetro o di uno spettrofotometro; è sconsigliabile l'uso, citato in letteratura, della lampada di Wood, che non fornisce risultati univocamente interpretabili. Considerata l'elevata fotosensibilità del tracciante, è opportuno operare entro laboratori isolati dalla luce esterna. Per l'analisi dell'acqua è sufficiente inserire i campioni nello strumento; nel caso dei captori è invece necessario tagliare una strisciolina (5 cm di lunghezza per una larghezza di 1 cm), inserirla nel portacampioni, misurare la fluorescenza nelle quattro posizioni ortogonali e mediare i risultati ottenuti. Non è stata ancora individuata una tecnica per estrarre il tracciante dal captore. L'analisi di soluzioni con concentrazioni di Tinopal superiori a 0.1 ppm sono da considerarsi quantitative, mentre per concentrazioni inferiori e per i fluorocaptori si hanno solo indicazioni semiquantitative. La soglia di rilevabilità strumentale in campioni d'acqua è di 0.001 ppm, mentre il tracciante è debolmente visibile ad occhio nudo (tenue colore blu - verde) fino a 2 ppm..

Test effettuati

Sono stati effettuati cinque test per verificare l'applicabilità di questo tracciante allo studio degli acquiferi carbonatici.

Sorgente di Valle Luna

La sorgente di Valle Luna è un'emergenza carsica situata alla base del massiccio calcareo del Campo dei Fiori (Varese); l'acqua presenta una elevata mineralizzazione (durezza compresa tra 35 e 40 gradi francesi) con facies idrochimica bicarbonato - calcica; la sorgente non è interessata da inquinamenti. È stato effettuato un test per verificare il funzionamento dei traccianti in situazioni naturali. Sono stati immessi nel Rio Valle Luna (portata: 4 l/s), all'immediata uscita dalla sorgente, 30 grammi di Tinopal e sono stati posizionati 20 metri a valle quattro captori costruiti secondo le modalità sopra descritte. Il primo captore è stato tolto prima dell'arrivo del tracciante, il secondo ed il terzo, ubicati all'interno di un tubo per proteggerli dalla luce, dopo 3 giorni e 5 giorni, il quarto dopo 5 giorni durante i quali è rimasto esposto alla luce; il secondo ed il terzo captore presentavano colorazione marroncina dovuta a sostanze organiche. I captori sono poi stati esaminati in laboratorio; in figura 5 sono riportate le curve ricavate dallo screening tra 420 e 350 nm: è evidente l'arrivo del tracciante, il leggero decadi-

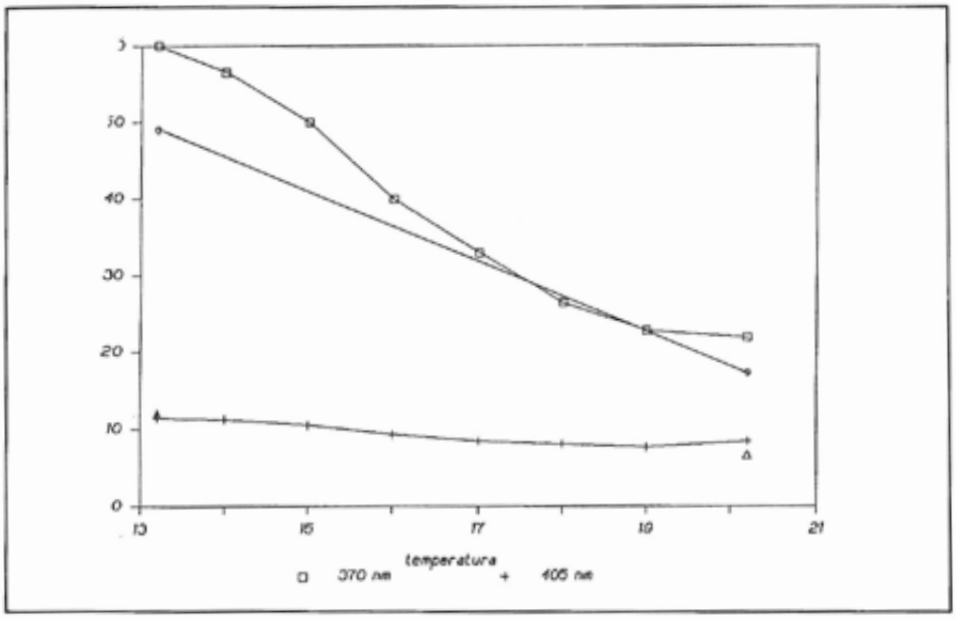


Fig. 4 - Fluorescenza del Tinopal a diverse temperature; la linea retta che unisce i due rombi indica il decadimento della fluorescenza a temperatura costante per effetto della luce.

mento causato dalla luce entrata dalle estremità del tubo ed un abbassamento più consistente del captore rimasto alla luce.

Sorgente di Rio Margorabbia

Il Rio Margorabbia è un torrente (portata stimata durante il test 100 l/s) che funge da emissario del Lago di Ghirla (Varese); le acque si presentano frequentemente maleodoranti a causa della discarica abusiva situata a Pont Niv e dell'immissione di scarichi fognari non depurati nel Lago di Ghirla. Il rio subito dopo l'uscita dal lago ha un percorso sotterraneo di circa 500 metri, interamente percorribili (Fig. 6), poi scorre in superficie fino al Lago Maggiore. La prova è stata progettata per valutare la possibilità di effettuare colorazioni in acquiferi inquinati da scarichi civili. Sono stati immessi 250 grammi di Tinopal nel punto in cui il torrente si inabissa e sono stati raccolti campioni d'acqua e captori dopo 0, 30 e 90 minuti all'emergenza; il tracciante è arrivato in un tempo compreso tra 30 e 90 minuti in concentrazioni non riconoscibili ad occhio nudo. Lo screening tra 450 e 350 nm dei campioni d'acqua e dei captori non ha evidenziato alcuna interferenza tra il carico inquinante ed il tracciante usato.

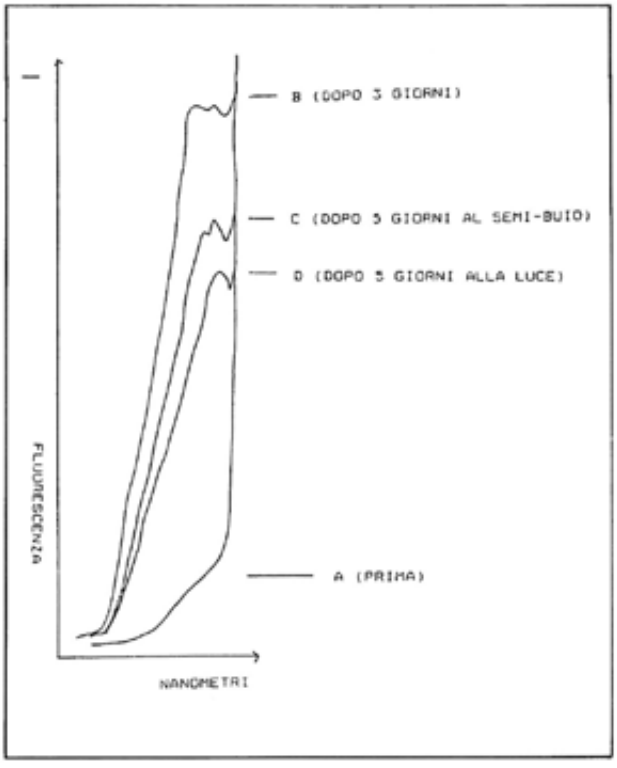


Fig. 5 - Analisi dei fluorocaptori di Valle Luna.

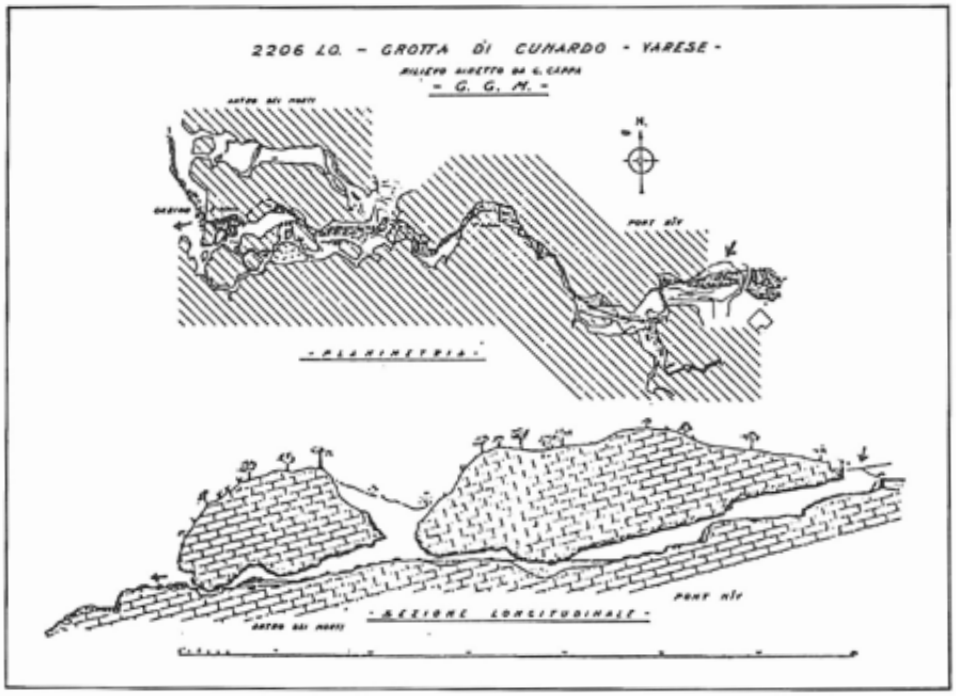


Fig. 6 - Orrido del Cunardo; le frecce indicano i punti di immissione del Tinopal e di raccolta dei campioni.

Sorgenti di Borello

Si tratta di una serie di emergenze localizzate in Val Corsaglia (Alpi Liguri), alcuni Km a monte della Grotta di Bossea, denominate rispettivamente Sorgente di Borello Superiore, (portata media 130 l/s), Sorgente di Borello Inferiore (portata media 40 l/s) e Sorgente di Ponte Murao (portata media 15 l/s). Le prime due emergenze sono captate da un importante acquedotto che serve una parte del Piemonte meridionale. Non erano mai state effettuate colorazioni con traccianti coloranti vietati dalle autorità competenti. Il test doveva verificare la presenza di un unico e complesso sistema o di una serie di circuiti indipendenti tra loro. Le indagini geochimiche e strutturali non fornivano indicazioni dettagliate sulla modalità delle circolazioni profonde. Tre chilogrammi di Tinopal sono stati immessi in un corso d'acqua superficiale, il Rio La Mastra, con portata al momento del tracciamento di circa 3 l/s, totalmente assorbito da un inghiottitoio localizzato a 2,5 Km di distanza dalle sorgenti. Tra tutti i captori recuperati dopo 12 e 56 giorni, risultavano positivi solo quelli di Borello Superiore (Fig. 7). Le informazione ottenute sono state estremamente importanti anche per valutare la vulnerabilità del sistema. Purtroppo la campionatura in continuo non ha fornito alcuna indicazione essendo stati lasciati alla luce per oltre un mese i contenitori delle acque che presumibilmente presentavano concentrazioni molto basse del tracciante.

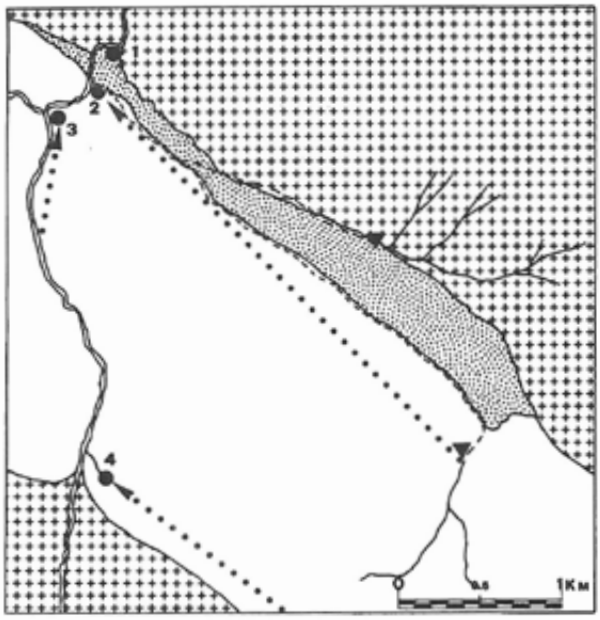


Fig. 7 - Sorgenti di Borello. 1) Borello inf., 2) Borello sup., 3) Sorgente di Ponte Murao, 4) Sorgente della Mottera. In bianco il complesso carbonatico, con le crocette il complesso basale impermeabile, con il puntinato il complesso morenico; puntinato grosso e freccetta indicano i collegamenti accertati con i traccianti.

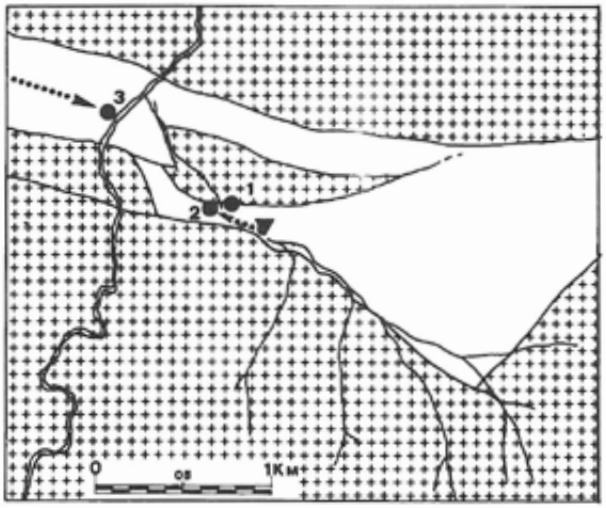


Fig. 8 - Sorgenti di Rio Mondini. 1) Sorgente captata, 2) Sorgente non captata, 3) Sorgente di Bossea. In bianco il complesso carbonatico, con le crocette il complesso basale impermeabile, il triangolo nero indica la posizione dell'inghiottitoio; puntinato grosso e freccetta indicano il percorso accertato con il tracciante.

Sorgenti di Rio Mondini

Sono due emergenze localizzate nella media Val Corsaglia, ubicate a pochi metri dall'alveo generalmente asciutto di un corso d'acqua ,il Rio Mondini, che viene inghiottito solamente a circa 500 metri di distanza (Fig. 8). L'emergenza più importante, con portate molto costanti intorno ai 40 l/s è captata dallo stesso acquedotto consortile precedentemente menzionato. Le acque della seconda, cir-

ca 6 l/s, defluiscono liberalmente nel rio sottostante. Il test doveva indicare le modalità di alimentazione delle sorgenti da parte del Rio Mondini, saltuariamente inquinato da scarichi civili e zootecnici provenienti dalle cascine e stalle sovrastanti. Una precedente colorazione, effettuata dai tecnici dell'acquedotto utilizzando tenori bassi di fluoresceina, aveva dimostrato un collegamento diretto tra il corso d'acqua e la sorgente captata. Al contrario il test da noi effettuato ha indicato che il torrente alimenta esclusivamente la seconda emergenza verificando così la completa estraneità del sistema principale a possibili inquinamenti provenienti dal rio Mondini.

Sorgenti del Campo dei Fiori

Il massiccio del Campo dei Fiori è un importante area carsica che sovrasta la città di Varese. Le acque assorbite in questo settore sono drenate in parte dalle numerose cavità presenti, di queste la Grotta Marelli è la più importante con 505 metri di profondità e sviluppo superiore ai 5,5 Km. Le gallerie sono percorse da vari corsi d'acqua temporanei e, verso il fondo, da un torrentello permanente (Rio Orinoco), con portata variabile da un litro a qualche litro al secondo. Tre emergenze, Valle Luna, Fontanone di Barasso e Sorgente di Luvinate sono situate alla base del massiccio a distanze variabili tra 2.5 e 3.5 chilometri, ed hanno una portata complessiva di oltre 200 l/s. Essendo captate per scopi idropotabili, è stato necessario effettuare il test con il Tinopal, a causa del divieto da parte delle autorità sanitarie di utilizzare la fluoresceina sodica. Sono stati immessi nel Rio Orinoco 5 chilogrammi di tracciante, le operazioni di miscelamento sono durate un'ora, necessaria per ridurre la flocculazione e la sedimentazione. Il test ha avuto inizio durante un periodo siccitoso, ma tre giorni dopo l'immissione sul massiccio si è verificata una forte precipitazione (160 millimetri in due giorni). Le tre sorgenti sono state controllate tramite fluorocaptori, sostituiti mediamente ogni 5 giorni e tramite campionatori automatici, che raccoglievano un campione d'acqua ogni 24 ore. I risultati, estremamente interessanti, hanno confermato l'esistenza di una importante ed unica rete sommersa che alimenta in modo differenziato le tre emergenze.

Conclusioni

L'insieme delle prove effettuate e dei dati raccolti in bibliografia dimostra che il Tinopal è un tracciante di grande interesse per indagini idrogeologiche in acquiferi carbonatici, soprattutto quando i test di tracciamento possono interessare sorgenti captate. In questi casi, infatti, è difficile ottenere l'autorizzazione da parte delle autorità sanitarie all'uso delle rodamine (tossiche) e della Fluoresceina Sodica (non tossica ma troppo visibile ad occhio nudo); il Tinopal offre invece buone garanzie, come attestato dalle diverse autorizzazioni da parte delle USL o dai responsabili dei diversi acquedotti.

Si possono quindi brevemente riassumere i pregi ed i difetti di questo interessante tracciante:

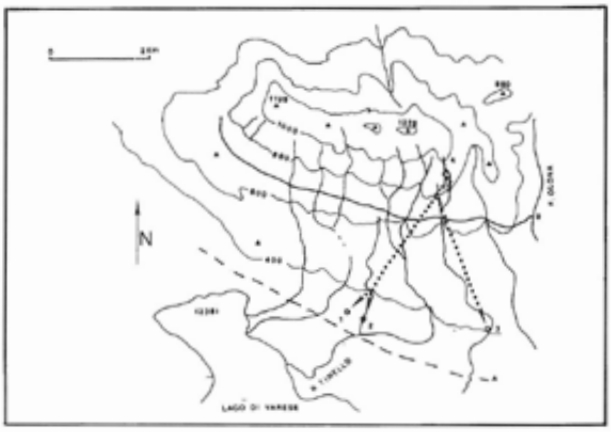


Fig. 9 - Carta del Campo dei Fiori (Va). I collegamenti accertati con il tracciante sono raffigurati con i pallini.
1. Fontanone di Barasso, 2. Sorgente di Luvinate, 3. Sorgente di Valle Luna, 4. Grotta F. Marelli (Lo Va 2234), A. Limite meridionale carbonatico (Maiolica) - impermeabile (Scaglia), B. Limite superiore dei depositi glaciali s.l.

Pregi

Atossicità nelle concentrazioni previste nelle colorazioni; insensibilità alle variazioni di pH nelle condizioni naturali degli ambienti carsici; possibilità di test in zone dove sono ubicati acquedotti; basso costo; possibilità di risultati quantitativi (concentrazioni superiori a 0.1 ppm) o semiquantitativi (sotto 0.1 ppm o captori); possibilità di effettuare test multipli; possibilità di effettuare test in acque inquinate.

Difetti

Bassa solubilità della sostanza; forte sensibilità alla luce; necessità di quantità maggiori rispetto alla fluoresceina; impossibilità di estrazione dai fluorocaptori e di analisi senza attrezzature adeguate (spettroflutrimetro o spettrofotometro); trattenimento da parte del terreno vegetale o di sedimenti fini.

Bibliografia

ALEY T. & FLETCHER M., 1976 - *The water tracer's cookbook*. - Missouri Speleology, v. 16, n. 3.

BURGER A., 1983 - *Prospection et captage des eaux souterrains des roches carbonatèes du Jura*. Gaz, Eaux, Eaux usèes n. 9, pp. 569 - 573.

CIBA GEIGY, 1973 - *Tinopal CBS - X. Importantes donnèes toxicologiqueet ècologique*. Documentazione Ciba - Geigy, Svizzera.

LEPILLER M. & MONDAIN P.H., 1986 - *Les tracages artificiels en hydrogèologie karstique*. Hydrogèologie, n.1, pp. 33 - 52.

SMART P.L., 1984 - *A review of the toxicity of twelve fluorescent dyes used for water tracing*. NSS Bull., n. 46, pp. 21 - 31.

SPANGLER E.L., BYRD P.E., THRAILKILL J., 1984 - *Use of optical brightener and direct yeoolw dyes for water tracing in the inner Bluegrass karst region*, Kentucky. NSS Bull., n. 46, pp. 10 - 16.

ZUPPI G.M., 1988 - *Tecniche per la determinazione di parametri idrogeologici mediante prove idrochimiche*. In: CIVITA M. & FRANCANI V. (a cura di) - Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione di acque sotterranee. Geo -graph, Milano, pp. 141 - 175.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 303-318.

GRUPPO SPELEOLOGICO SAVONESE

L'AREA CARSICA DI BARDINETO (SV): APPUNTI PRELIMINARI

RIASSUNTO - L'area carsica di Bardineto (prov. di Savona) a nord - ovest dello spartiacque delle Valli Bormida, Maremola e Varatella, ha uno sviluppo di circa 20 kmq: dal 1982 vi conduce assidue ricerche il Gruppo Speleologico Savonese, che — anche tramite una serie di tracciamenti delle acque con fluoresceina — va delineando una carta idrogeologica della zona e vi conduce una sistematica attività di esplorazione e di indagine sul territorio.
Si è così verificato che sono numerosi i casi di «traforo idrogeologico» e che in più parti non vi è coincidenza tra lo spartiacque esterno e lo spartiacque sotterraneo.
Le grotte più notevoli della zona sono il Buranco Rampiun, profondo 150 metri e con un sviluppo di circa un km, percorso da un torrente sotterraneo perenne, e il Buranco di Bardineto, le cui gallerie si sviluppano per quasi due km e sono percorse da un torrente temporaneo. Allo stato attuale delle ricerche i due complessi carsici non sembrano correlati tra loro.

ABSTRACT - The karst area of Bardineto (Province of Savona, Liguria, Italy) is situated at the north - west the watershed among three valleys («Val Bormida», «Val Maremola» and «Val Varatella») and extends for about 20 km.
The «Gruppo Speleologico Savonese» has been leading steady researches in this area since 1982 and is outlining an hydro-geologic map of the zone through a series of water tracings with fluorescein and a systematic activity of exploration of caves and investigation on the territory.
The «Gruppo Speleologico Savonese» has in this way verified that there are many cases of «hydrologic tunnel» and that in many parts there is no correspondence between the surface and the underground drainage.
The most remarkable caves of the area are the «Buranco Rampiun», 150 m deep and about 1 km long, with a perpetual river, and the «Buranco di Bardineto», whose galleries develop for about 2 km and are run through by a temporary river.
At the present state of knowledge, the two karst systems do not seem to have correlations.

L'area carsica di Bardineto, nel settore nord - occidentale della Provincia di Savona, si estende, sia pure con discontinuità, in un territorio di circa 20 kmq, prevalentemente in Alta Val Bormida (Comuni di Bardineto e, in parte, di Calizzano), con propaggini nell'adiacente Val Maremola (Comune di Magliolo).

Negli ultimi 40 anni diverse associazioni vi hanno condotto esplorazioni, ma solo dal 1987 si cominciano ad avere le idee più chiare sul carsismo della zona, dopo l'inizio delle assidue e intensive ricerche del Gruppo Speleologico Savonese, che va delineando una carta idrogeologica di tale area, anche tramite una serie di tracciamenti delle acque con fluoresceina e analisi idrologiche sulle principali

sorgenti, e vi conduce una sistematica attività di esplorazione e di indagine sul territorio.

Storia delle esplorazioni

La presenza di grotte è nota da sempre agli abitanti di Bardineto, che in epoche remote vi trovarono certamente adeguato riparo (ancora nel corso della 2ª guerra mondiale il tratto iniziale del Buranco de Dotte fu adattato a provvisorio rifugio antiaereo): l'imbocco delle Dotte è già raffigurato in una planimetria settecentesca e i fenomeni di scomparsa e risorgenza delle acque superficiali erano ben evidenti ai locali che, dediti un tempo soprattutto all'agricoltura, alla pastorizia e alla silvicoltura, avevano una buona conoscenza del loro territorio e spesso provvedevano ad occludere gli imbocchi di pozzi ed anfratti pericolosi per il bestiame.

Particolare timore incuteva il Buranco Rampiùn, il cui imbocco a voragine contribuiva ad alimentare leggende.

Le prime esplorazioni furono condotte tra il 1885 e il 1887 da un ricercatore di Borghetto S. Spirito, l'Avv. Agostino Vacca, che visitò la Grotta della Madonna e il Buranco de Dotte (la sua attività è documentata dal Gestro); il Maineri cita inoltre due pozzi carsici lungo Rio Secco.

Solo nel 1949 però Mario Franciscolo (G.S. Ligure «Issel») avvia le prime ricerche propriamente speleologiche lungo Rio Secco e la collina della Crosa, catastando 4 grotte e ipotizzando connessioni idrologiche tra Rio Secco e le Dotte; gli è ben noto il Buranco de Dotte, ma stranamente non può mai percorrere la grotta, perché tra il 1949 e il 1952 la visita nei mesi di maggio e giugno e non tiene conto dell'avvertenza del Vacca, riportata dal Gestro: *«Non si può esplorare che durante l'estate e nell'epoca di maggiore siccità»*. Durante le ricerche il Franciscolo viene probabilmente a conoscenza dell'esistenza del Buranco Rampiùn, dove infatti sul finire del 1951 il G.S. Ligure «Issel» conduce una ricognizione esterna, preludio dell'esplorazione del primo pozzo (profondo 50 metri), del rilievo e della messa a catasto, realizzati nel 1952.

Nel 1956 il Rampiùn è visitato dal G.S. Piemontese, che due anni dopo con un lungo lavoro forza la strettoia alla base del primo pozzo ed esplora e rileva una breve prosecuzione (due pozzetti e un meandro, portando a 90 metri la profondità totale della grotta, allora la più profonda della Liguria). Sporadica attività nell'area di Bardineto è ancora condotta negli anni immediatamente successivi dal G.S.L. «Issel»: tra il 1955 e il 1961 Pietro Maifredi cura la messa a catasto della Risorgenza di Bardineto (364 Li/SV).

Le ricerche del G.S.L. «Issel» non vengono però proseguite ulteriormente: è così che nel 1970, attirato anche da quanto letto sul Maineri, si affaccia sulla piana di Bardineto il G.S. Savonese, che dal 1967, anno della sua costituzione, va conducendo esplorazioni nella limitrofa Val Varatella, al di là dello spartiacque meridionale ligure - padano.

Tra il 1970 e il 1972 il G.S.S. riceve la segnalazione di diversi punti dove condurre battute e compie alcune ricognizioni alle Dotte in periodo primaverile,

trovandole regolarmente allagate, alla Risorgenza di Bardineto e in altre piccole cavità, estendendo il proprio interesse al Buranco Rampiùn e verificandone l'improponibilità della disostruzione della fessura terminale.

Nel frattempo, dal 1972, inizia ad interessarsi dei dintorni del Buranco Rampiùn pure il Gruppo Grotte Genova (G.G.G.), che ha da poco concluso lo studio della sottostante testata dell'Alta Val Maremola (zona di Isorella), al di là dello spartiacque orientale ligure - padano: dal Rampiùn il G.G.G. svalica in Val Bormida e tra il 1974 e il 1978 conduce un'intensa attività, esplorando e catastando 7 cavità, alcune di una certa importanza, quali la Grotta e la Risorgenza di Rio Secco e la Balbiseolo, mentre il G.S.S., contemporaneamente maggiormente impegnato nella Val Varatella, anche per non interferire nelle interessanti ricerche del G.G.G. restringe le proprie ricerche al settore meridionale del territorio Bardinetese, sui versanti settentrionali di M. Carmo e della Rocca Barbena.

Nel 1976 il Gruppo Ricerche Speleologiche di Genova - Rivarolo compie una difficile traversata alla sommità del pozzo iniziale del Buranco Rampiùn ed esplora una serie di pozzi fino alla profondità di -100, dove verifica la presenza di interessanti prosecuzioni; nel 1977, considerata la vicinanza all'area dove opera il G.G.G., ne chiede la collaborazione: i due Gruppi scoprono così il torrente sotterraneo del Rampiùn e sul finire di quell'anno viene coinvolto nell'esplorazione pure il G.S. Imperiese (G.S.I.). Nel 1978 vengono totalmente esplorati e rilevati i rami attivi principali a monte e a valle (fino al sifone terminale) e diverse diramazioni laterali (per uno sviluppo complessivo di oltre un chilometro) e nel contempo si intensificano le ricerche sulle possibili risorgenze. Nel 1980 il G.S.I. effettua diverse uscite al Rampiùn, risalendo senza risultato camini e gallerie sopra il sifone terminale ed effettuandone il tracciamento delle acque con fluoresceina: i fluocaptori posti in Val Maremola e lungo Rio Secco rimangono però negativi.

Nel 1981 i soci del G.G.G. decidono la «fusione» con il G.S.L. «Issel» ed è pertanto tale Gruppo che tra il 1981 e il 1982, trascinato da R. Bixio e M. Anaclerio, riprende le ricerche nell'area di Bardineto, effettuando alcune ricognizioni nella Grotta Balbiseolo (della quale viene rilevato il tratto iniziale) e provvedendo nuovamente nel 1982 al tracciamento con fluoresceina delle acque del Buranco Rampiùn, con esito negativo, come pure negativo risulta il tracciamento della Balbiseolo, allora ritenuta un inghiottitoio legato alla Risorgenza di Bardineto.

Nell'estate 1982 il G.S. Savonese visita il Buranco de Dotte, trovandolo finalmente in secca e con una serie di uscite, seguendone il lento ritiro delle acque, ne effettua l'esplorazione completa e il rilievo, fino al sifone a monte, che viene inutilmente tentato nel 1985 dapprima da una squadra subacquea del G.S.S. e successivamente da una squadra G.S.L. (quest'ultima tenta pure inutilmente di superare il sifone iniziale della Risorgenza di Bardineto).

La bellezza e l'ampiezza delle Dotte, oltre al fatto strano di essere i primi a rilevarle dopo oltre trent'anni di esplorazioni condotte anche da altri Gruppi a Bardineto, suscitano immediatamente l'interesse del G.S.S.: alcuni membri del G.S.S. iniziano a interessarsi del territorio circostante, ma il Gruppo è restio a intraprendere sistematiche ricerche, per non interferire con gli studi già condotti dai soci dell'ex G.G.G. confluiti nel G.S.L. «Issel».

Solo nel 1986 è ormai chiaro che più nessuno dei precedenti ricercatori è

ancora direttamente interessato all'area carsica di Bardineto e da questo momento si intensificano quindi le ricerche del G.S.S., dapprima con una serie di osservazioni sulle sorgenti carsiche e di ricognizioni nelle grotte già catastate; sul finire dell'anno l'iniziativa del presidente G. Dal Bò di pompare il sifone iniziale della Risorgenza di Bardineto porta alla scoperta del Buranco di Bardineto. Per parecchi week - end il G.S.S. è impegnato a pompare l'acqua per tutta la giornata del sabato per poter condurre l'esplorazione alla domenica (il sifone risulta infatti alimentato a monte), finché la presenza di foglie alla base di un camino nel punto più lontano dall'imbocco fa pensare alla possibile esistenza di un ingresso superiore, che viene dapprima localizzato, sovrapponendo la planimetria della grotta alla cartografia esterna, e successivamente disostruito e reso accessibile: si rilevano così oltre 2 km di gallerie, articolate su più piani sopra al torrente sotterraneo.

Contemporaneamente viene eseguito il primo rilievo completo della Grotta Balbiseolo, e si decide di iniziare tutta una serie di analisi idrologiche, con il tracciamento con fluoresceina delle acque superficiali e sotterranee.

Se risulta scontato il collegamento idrico tra Rio Secco e le Dotte, totalmente inedito è l'accertamento della connessione idrologica del Buranco Rampiùn e della Balbiseolo con la Fontana Garesca, che non era stata riscontrata con le precedenti colorazioni eseguite da G.G.G., G.S.I. e G.S.L. (le ricerche anteriori al 1986 non avevano attribuito sufficiente importanza alla Fontana, già citata da Arturo Issel, che con flusso perenne origina il laghetto che alimenta il vecchio mulino di Bardineto).

Tra il 1986 e il 1987 la scoperta del Buranco di Bardineto e l'esito del tracciamento delle acque del Rampiùn comportano pertanto l'indirizzamento di ricerche sempre più intensive nell'area circostante, volte a definire l'acquifero carsico di Bardineto e ad approfondire lo studio delle grotte e del carsismo locale.

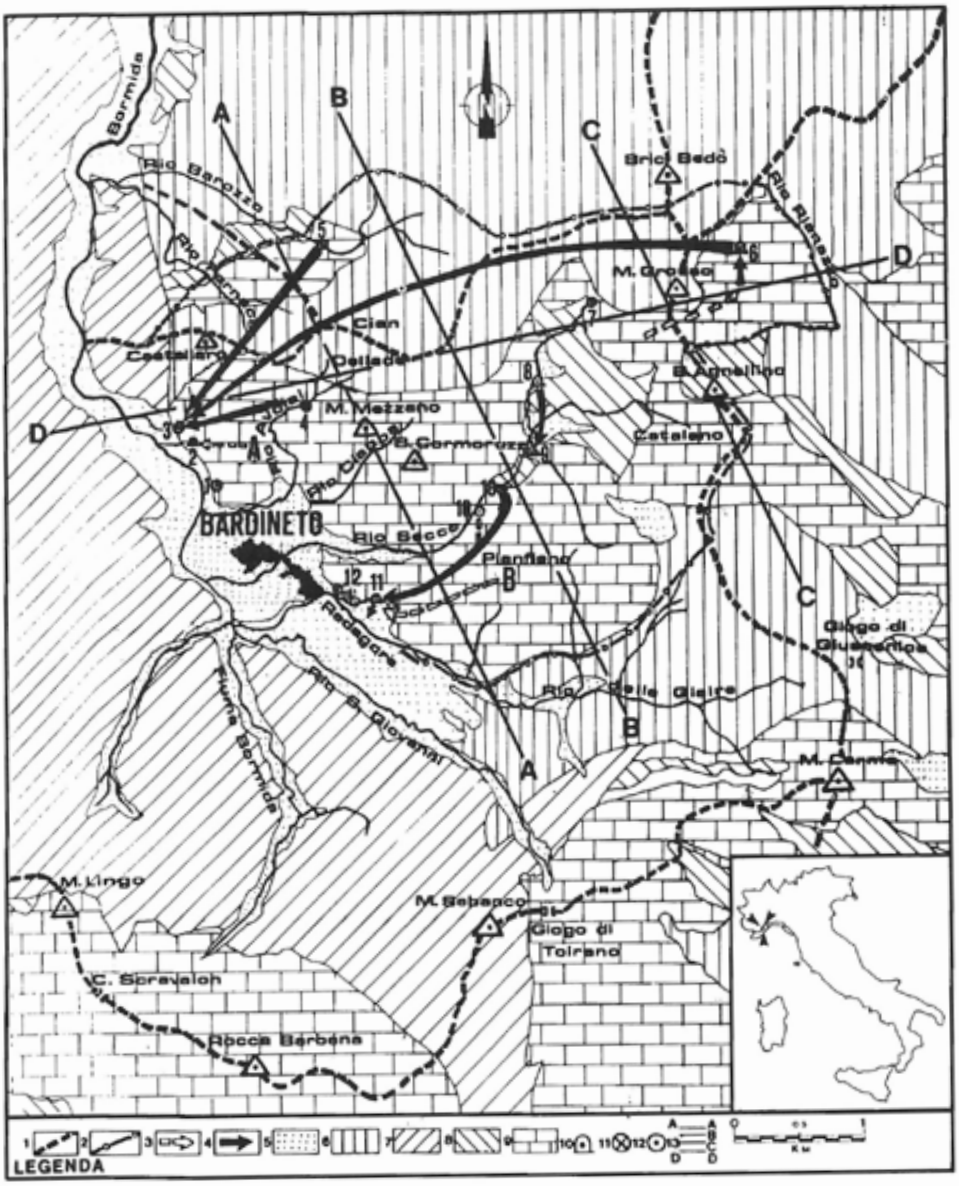
L'attività iniziata nel 1986 è tuttora in corso (tra il 1986 e il 1990 sono state reperite dal G.S.S. 30 nuove cavità ed eseguiti 9 diversi tracciamenti con fluoresceina; nel 1990, tra l'altro, una squadra del G.S.S. ha superato per via subacquea il sifone terminale a valle del Buranco Rampiùn e iniziato l'esplorazione e il rilievo delle nuove gallerie), ma in via preliminare si presenta in questa sede il primo punto della situazione.

Fig. 1 - Schema idrogeologico dell'area carsica di Bardineto.
Simbologia della legenda
1: spartiacque superficiale; 2: spartiacque sotterraneo; 3: vie di deflusso sotterraneo ipotizzate; 4: vie di deflusso sotterraneo accertate; 5: coperture detritiche e terreni alluvionali; 6: porfiroidi del Melogno e scisti di Gorra (Permiano); 7: gneiss di Albisola (Carbonifero), graniti del torrente Letimbro (Permico medio), prasiniti e scisti prasinitici (Permico medio? Carbonifero medio?); 8: quarziti di Ponte di Nava (Scitico); 9: Dolomie di S. Pietro dei Monti (Trias); 10: principali grotte; 11: inghiottitoi; 12: sorgenti; 13: profili delle sezioni geologiche di Fig. 2.
Riferimenti numerici nella planimetria
1: sorgente Cascinasso; 2: Buranco di Bardineto; 3: Fontana Garesca; 4: Inghiottitoio di Rio Avoiai (Grotta Balbiseolo); 5: inghiottitoio di Barozzo; 6: Buranco Rampiùn; 7: Fontana da Rocca; 8: inghiottitoio di Rio Secco; 9: Risorgenza di Rio Secco; 10: inghiottitoi di Rio Secco; 11: Buranco de Dotte; 12: sorgenti delle Dotte; 13: inghiottitoi di Rio delle Giaire e Rio Derere.

La situazione geologica

Nell'area carsica di Bardineto il fenomeno carsico si è sviluppato nei calcari grigi dolomitici del Trias Medio (Dolomie di San Pietro dei Monti), in una situazione geologica relativamente complessa.

All'analisi superficiale i calcari sembrano distinti in tre grandi affioramenti separati tra loro, denominabili rispettivamente affioramenti di M. Grosso (a



Nord - Ovest), di Barozzo (a Nord - Est) e più propriamente di Bardineto (a Sud e a Ovest).

L'affioramento di Barozzo pare delimitato a Nord da una faglia diretta e pure faglie dirette limitano a Nord - Est e a Sud - Ovest i calcari di Monte Grosso; a Ovest i calcari di Bardineto sono in contatto tettonico con i graniti e gli gneiss del massiccio cristallino di Calizzano, tramite faglie dirette mascherate dalla copertura alluvionale della piana di Bardineto.

In realtà i calcari hanno in profondità un'estensione ben più vasta, in quanto sopra di essi sono presenti sovrascorrimenti dei più antichi porfiroidi e scisti di Gorra, del Permiano, come già osservato dal MENARDI, che evidenzia che *«l'elemento del Bric Agnellino (così denomina l'area in oggetto), che emerge in finestra tettonica da sotto la copertura alloctona dei porfiroidi permiani, e la sua copertura alloctona sono deformati in una grande antiforme orientata 80° NE, interessata da una serie di ondulazioni parassite le cui caratteristiche si ripetono in diversi ordini inferiori di pieghe»*.

In questo contesto geologico assumono particolare significato, pure dal punto di vista speleologico, la sinforme di Barozzo - M. Mezzano, l'antiforme di Rio Secco, l'antiforme di località Fontana da Rocca e la piccola antiforme di M. Grosso, bene evidenziate nelle sezioni geologiche del Menardi.

Il fenomeno carsico

Il territorio di Bardineto si estende dai 1300 ai 700 metri di quota: la zona alta ha una flora di tipo alpino, con faggi, sorbi e aceri montani, abeti bianchi, frassinelle, rododendri e felci. Scendendo verso valle si incontrano il castagno, il carpino nero, l'orniello e il nocciolo e sporadicamente la betulla e il pino silvestre. Sotto a quota 800 iniziano i pascoli che a causa dell'abbandono si stanno però trasformando in bosco ceduo.

Le forme carsiche superficiali sono mediamente poco sviluppate, dato il litotipo calcareo non particolarmente solubile: sono presenti diversi inghiottitoi, legati alla fratturazione, mentre le emergenze carsiche sono per lo più localizzate sul contatto tra i calcari e il substrato impermeabile (in particolare le rocce cristalline della sponda sinistra della Bormida, che una faglia separa dai calcari, determinano uno sbarramento che costringe le acque carsiche ad emergere dal Buranco de Dotte, dal Buranco di Bardineto e dalla Fontana Garesca). Solo in poche località (Crosa, Cormoruzzi, Pianfieno, Vigna e Catalano - Conca Carbonai) sono presenti diverse doline, per lo più di limitata estensione.

Allo stato attuale delle ricerche l'area carsica di Bardineto pare legata a tre sistemi principali (Rio Secco - Dotte, Buranco di Bardineto e Rampiùn - Garesca).

Il sistema Rio Secco - Dotte

Il Rio Secco nasce a 1020 m slm dalla sorgente carsica della Fontana da Rocca, sul contatto con le sottostanti quarziti: la zona di alimentazione è proba-

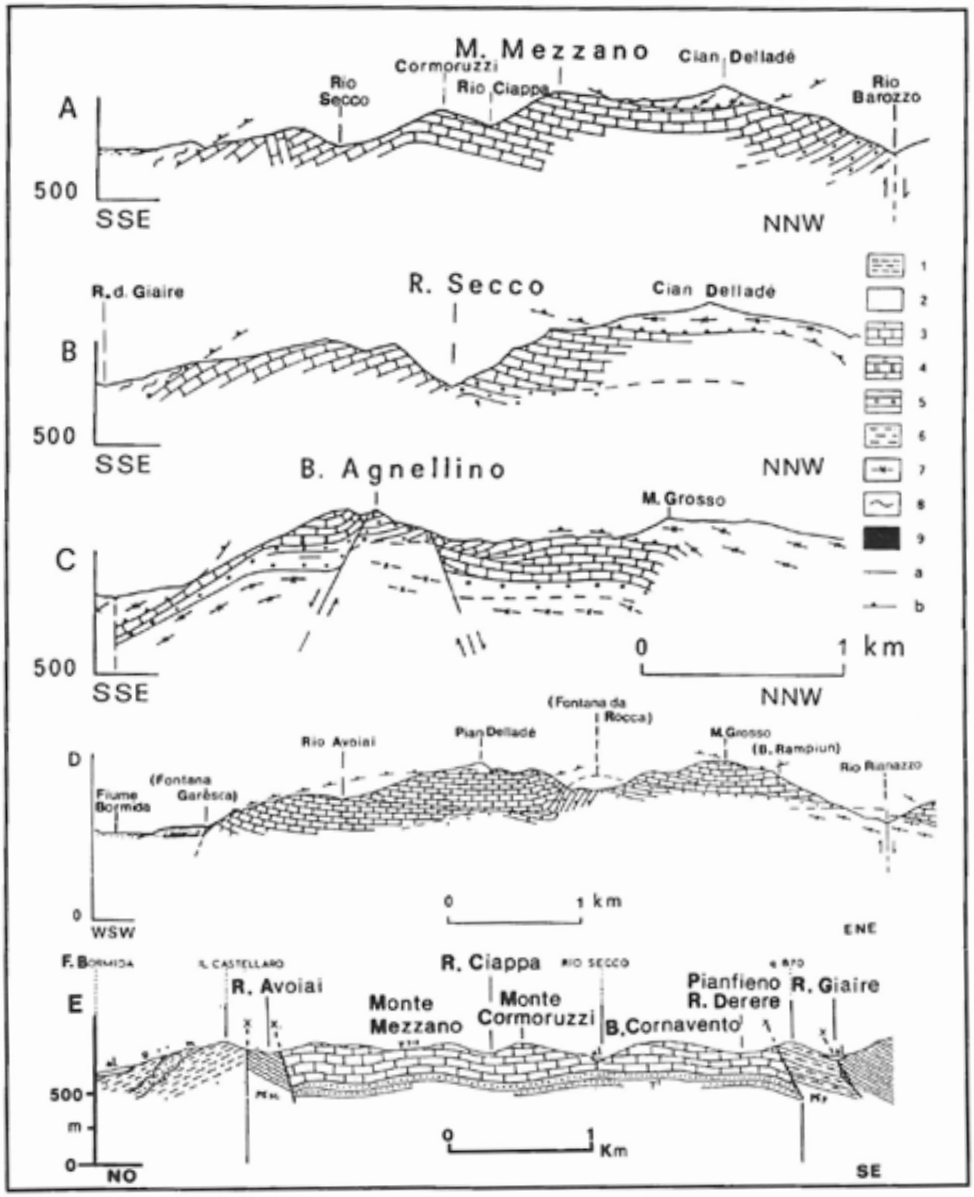


Fig. 2 - Sezioni geologiche dell'area carsica di Bardineto (A, B, C, D: da A. Menardi Noguera 1984; E: da M. Vanossi 1971, v. bibliografia, con aggiunte toponomastiche) cfr. Fig. 1.
Legenda: 1: formazione di Caprauna (Eocene - Cretaceo sup.); 2: calcari di Val Tanarello (Malm); 3: Dolomie di S. Pietro dei Monti (T3-2, Trias medio); 4: Dolomie di S. Pietro dei Monti (Anisico); 5: quarziti di Ponte di Nava (T1, Scitico); 6: Verrucano Brianzonese (Scitico - Permiano); 7: porfiroidi del Melogno (Pep, Permiano); 8: scisti di Gorra (PEsc, Permiano - Carbonifero); m: migmatiti di Nucetto (Permico Medio?); g: gneiss di Albisola; (pre - Carbonifero Medio); 9: unità prepiemontesi; a: contatti litologici; b: accavallamenti, sovrascorrimenti, sovrascorrimenti rovesciati e retroscorrimenti.

bilmente costituita dal sovrastante Piano della Mandola, a Nord, e dalle pendici sud - occidentali di M. Grosso.

Dalla sorgente il Rio scorre per circa 900 metri, dapprima sulle quarziti e poi sui calcari, dove subisce una progressiva diminuzione di portata in corrispondenza di inghiottitoi impraticabili impostati su fratture perpendicolari al corso del torrente, fino all'Inghiottitoio di Rio Secco (m 870 slm), oltre il quale è assai raro vedere scorrere l'acqua. Immediatamente sopra si apre la grotta omonima, dove è possibile seguire per qualche metro il percorso sotterraneo del torrente, presto impraticabile all'esplorazione diretta: l'acqua scaturisce all'aperto 350 metri più a valle, sopra a un secondo affioramento di quarziti, dalla Risorgenza di Rio Secco, incondottata dal vecchio acquedotto comunale, a 820 m slm, percorribile all'interno per oltre 30 m, fino al sifone terminale. Il corso sotterraneo del Rio è percorribile per una cinquantina di metri nel tratto intermedio tra Inghiottitoio e Risorgenza, nella Grotta di Rio Secco, che si apre a 880 m slm sul versante orografico sinistro del Vallone, in località Costa degli Abeti.

Più a valle della Risorgenza, superato l'affioramento impermeabile delle quarziti, il torrente subisce una progressiva diminuzione di portata su una nuova serie di inghiottitoi impostati su fratture ortogonali al letto del torrente; in condizioni idriche primaverili usuali il corso d'acqua scompare definitivamente in un laghetto - inghiottitoio a valle della vecchia discarica comunale (d'estate, in condizioni di magra, l'acqua è spesso totalmente prelevata dall'acquedotto, alla Risorgenza). Altri inghiottitoi sono comunque localizzati più a valle, anche se solo eccezionalmente vi arriva l'acqua del torrente: i più interessanti sono ubicati 40 m a monte del ponte della strada comunale di Rio Secco e, più oltre, in corrispondenza del pozzo comunale dell'acquedotto, dove, in mezzo al greto si apriva un vero e proprio pozzo carsico, ostruito con massi e definitivamente chiuso con una colata di cemento pochi anni or sono, ad opera del Comune.

Le acque tornano definitivamente a rivedere la luce dal complesso del Buranco de Dotte, a oltre un km di distanza, effettuando un traforo idrogeologico tra il Vallone di Rio Secco e l'adiacente Vallata di Rio Gorra - Rio S. Giovanni.

Il Buranco de Dotte è percorribile per oltre un centinaio di metri fino al sifone terminale nei mesi estivo - autunnali, mentre è usualmente completamente allagato nei mesi invernali e primaverili: è prevalentemente impostato in interstrato, con tipiche condotte di circolazione a pieno carico. Dal suo imbocco, a 715 m slm, ha origine un ramo del Redegore, che solo in casi eccezionali è alimentato direttamente dalla grotta, mentre risultano stagionalmente sempre attive le adiacenti omonime emergenze carsiche che scaturiscono a lato del torrente, distribuite nell'arco di 450 metri a valle del Buranco.

L'area di alimentazione delle Dotte è comunque estesa alla sovrastante collina della Crosa, con alcune grandi doline, alle perdite e agli inghiottitoi del Rio delle Giaire e del Rio Derere e soprattutto al limitrofo pianoro di Pianfieno, dove a 1000 m slm si aprono parecchie doline (nessuna di esse ha finora consentito l'accesso speleologico in profondità, a causa della notevole copertura detritica). Non si possono comunque escludere altri apporti idrici alle Dotte derivanti dall'assorbimento distribuito nell'area di Monte Mezzano, Monte Cormoruzzi e Rocca Suscera.

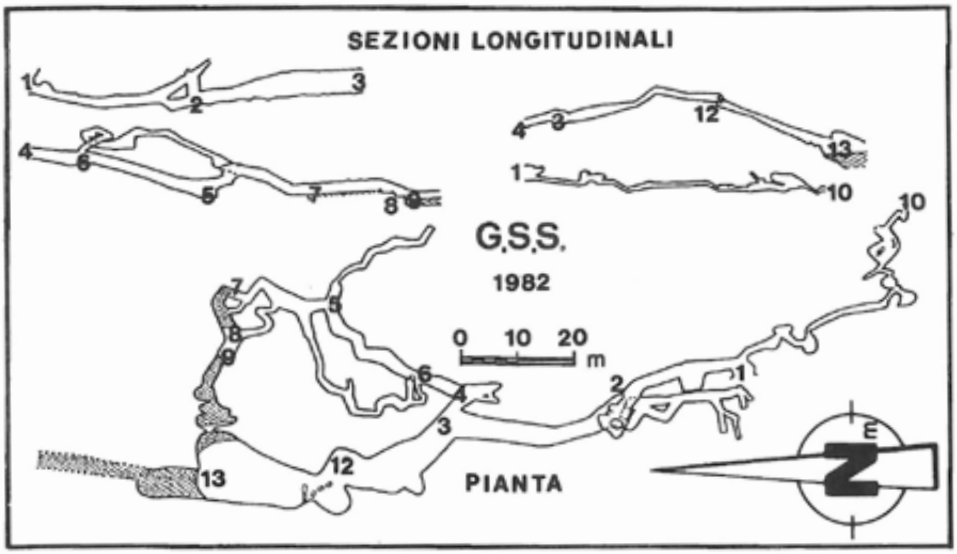
L'esplorazione subacquea diretta e il tracciamento che il G.S.S. ha potuto effettuare nel 1989 nel Buranco de Dotte, in particolari condizioni idriche di magra (è stata accertata la correlazione con un pozzo artesiano scavato anni or sono), conferma l'appartenenza delle Dotte a un vasto acquifero carsico che si sviluppa nei calcari al di sotto della copertura detritico - alluvionale della piana di Bardineto, contribuendo probabilmente ad alimentare in subalveo la Bormida.

Può essere probabile che il reticolo carsico sotterraneo si estenda fino a comprendere anche il complesso idrogeologico del Buranco di Bardineto, che si apre sulla destra del fiume Bormida quasi 2 km più a valle, anche se non è finora stato possibile averne qualche indicazione dai tracciamenti idrici effettuati.

Il Buranco di Bardineto

La grotta si apre a 685 m slm e ha uno sviluppo totale di oltre 2 km, distibuiti su un dislivello di 100 metri; le gallerie, prevalentemente impostate su interstrato, si articolano su 7 piani sovrapposti, che si sono presumibilmente sviluppati in condizioni freatiche, in epoche diverse, in relazione con l'evoluzione geomorfologica della vallata della Bormida. I rami più alti sono fossili, con abbondanti riempimenti argillosi e chemioclastici; il livello inferiore, stagionalmente attivo, è caratterizzato da 4 sifoni, presenti anche in regime di magra, quando tra l'uno e l'altro non scorre a pelo libero il torrente sotterraneo che confluisce nella Bormida.

La grotta ha anche un interesse paletno - paleontologico: il G.S.S. vi ha rinvenuto resti di Ursus Spelaeus e di rinoceronte e tracce di industria umana (le fu-

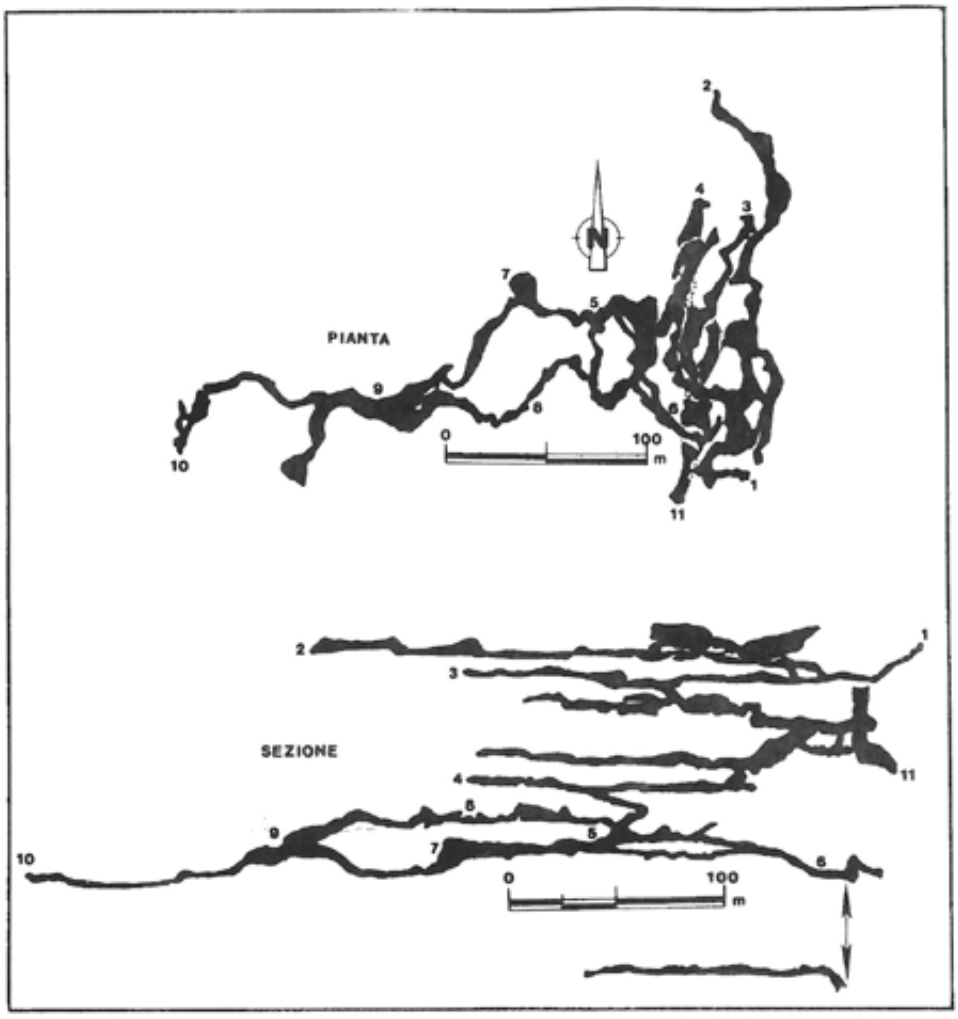


Buranco de Dotte (39 Li/SV): planimetria e sezioni (riduzione dal rilievo originale scala 1:500 eseguito dal G.S.S.).

ture ricerche, coordinate pure con il Comune locale e con le istituzioni competenti, forniranno il materiale per creare un'apposita struttura museale).

Correlata al Buranco pare essere la vicina sorgente Cascinasso, con flusso quasi perenne (è completamente secca solo in periodo di forte siccità).

La zona di alimentazione del Buranco non è ancora ben definita: certamente vi sono apporti idrici dalle doline della sovrastante collina della Vigna e probabilmente anche dalle pendici di Monte Mezzano e Bric Cormoruzzi (che sul versante settentrionale presenta alcune doline), mentre allo stato attuale delle ricerche è solo ipotetico il collegamento con l'acquifero carsico delle Dotte. È inoltre probabile che dai sifoni del Buranco (della Sabbia e del Pantano) l'acqua defluì-



Buranco di Tardineto (364 Li/SV): planimetria e sezione longitudinale (riduzione dal rilievo originale scala 1:500 eseguito dal G.S.S.).

sca pure verso la Fontana Garesca, che sgorga da una grotta freatica 300 metri più a valle.

Il sistema Rampiùn - Garesca

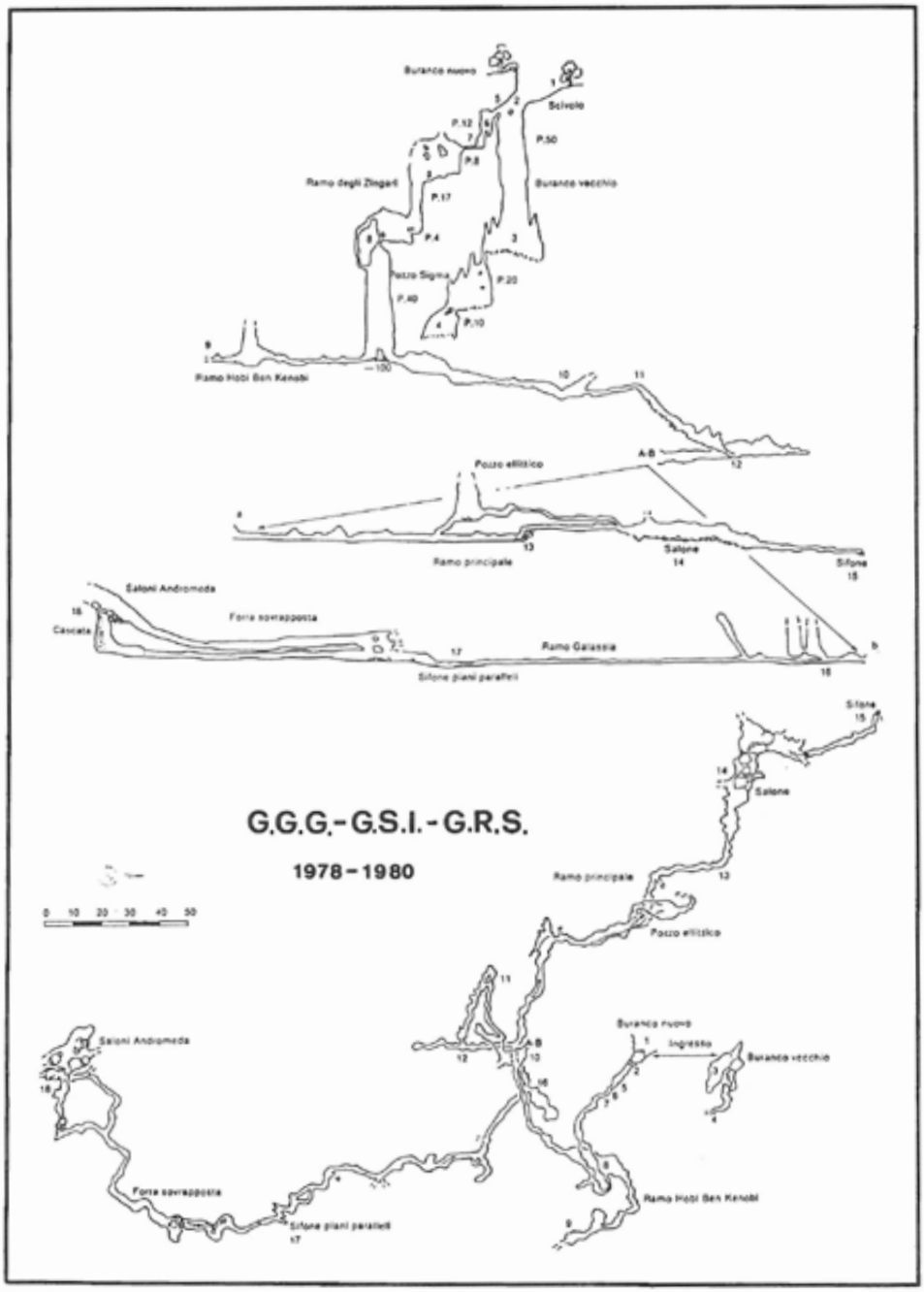
La Fontana Garesca è l'emergenza carsica più settentrionale del Bardinetese, a 685 m slm: è l'unica sorgente perenne ed è alimentata con flusso perenne dal reticolo carsico del Buranco Rampiùn, dall'Inghiottitoio di Rio Avoiai (la Grotta Balbiseolo, che si apre 1 km più ad Est, a quota m 850, ed è percorribile per circa 200 metri) stagionalmente notevoli (anche 50-100 l/s) dall'inghiottitoio di Rio Barozzo (a 800 m slm, 1800 metri a Nord - Est). Entrambi i corsi d'acqua hanno origine nei porfiroidi e negli scisti e scompaiono sul contatto con i calcari, effettuando trafori idrogeologici; particolarmente significativo è quello di Barozzo, dove il relativamente limitato affioramento calcareo costituisce il fianco settentrionale di una sinclinale sovrascorsa dai porfiroidi: la struttura geologica spiega così la connessione idrologica di quella che a prima vista sembrerebbe un'area isolata.

Il Buranco Rampiùn si apre a pozzo a 1150 m slm, oltre 4 km a Nord - Est della F. Garesca, dove i calcari del Bardinetese si affacciano a strapiombo sull'adiacente Val Maremola: la grotta dà accesso a un reticolo carsico profondo che si sviluppa sopra al substrato impermeabile attorno ai 1000 m slm. L'area di assorbimento va localizzata nella valle cieca che con parecchie doline si snoda tra Monte Grosso, Bric Agnellino e Casa Catalano: in regime di piena il Rampiùn è percorso dal torrente sotterraneo per oltre 500 m, mentre in magra l'acqua si perde sotto alla cascata del ramo a monte e ricompare poco prima del sifone a valle (connessione provata dal G.S.S. con tracciamento).

Le pendici occidentali di M. Grosso mostrano un interessante fenomeno d'assorbimento, con alcune doline (10-17 m di diametro e 5-6 m di profondità) che si aprono direttamente nei porfiroidi: è evidente che sono impostate su fratturazioni dei sottostanti calcari e si sono aperte per subsidenza.

Per il momento si possono solo fare ipotesi circa il flusso dell'acqua del Rampiùn al di là di M. Grosso: l'affioramento di quarziti dell'anticlinale (erosa) della Fontana da Rocca spezza la continuità superficiale dei calcari e fornisce una prima spiegazione di come il Rampiùn sia tributario della F. Garesca e non delle Dotte. Ne consegue che tra M. Grosso e Barozzo - Castellaro si ha spesso una falda carsica «prigioniera» tra il substrato impermeabile e il sovrascorrimento di porfiroidi e scisti (un possibile indizio di tale supposto percorso sono le doline di Slaöiu Riundu, nell'Acquetta).

Le ricerche idrologiche preliminari condotte dal G.S.S. negli ultimi 4 anni indicano che Rampiùn, Rio Barozzo e Rio Avoiai non sono correlati né con le Dotte né con il Buranco di Bardineto, mentre non si può escludere che pure le acque di questi ultimi due sistemi possano confluire nella F. Garesca, il cui acquifero potrebbe pertanto essere tributario di acque carsiche di diversa provenienza.



Buranco Rampiùn (232 Li/SV): planimetria e sezione (da «Le nostre Grotte», pp. 76-77, Genova 1987, v. bibliografia).

NOTA

Questa nota preliminare sull'area carsica di Bardineto è la sintesi di 652 giornate di ricerche, battute, lavori ed esplorazioni condotti dal G.S.S. tra il 1982 e il 1990, ad opera dei seguenti partecipanti (è indicato entro parentesi il numero di uscite effettuate negli anni indicati): Sergio Aicardi (5 u.: 1990), Stefania Badano (24 u.: 1988-89), Andrea Balbis (59 u.: 1987-90), Bruno Balbis (46 u.: 1986-90), Giorgio Basso (36 u.: 1987-90), Davide Berlingieri (10 u.: 1982-90), Giorgio Bianchi (5 u.: 1988-90), Sandro Briozzo (10 u.: 1987-90), Renato Canepa (23 u.: 1987-90), Gianni Capra (25 u.: 1986-89), Sergio Carozzo (111 u.: 1982-89), Alessio Casati (4 u.: 1990), Vittorio Cerruti (71 u.: 1986-90), Giorgio Dal Bò (204 u.: 1982-90), Jean e Yuri Dal Bò (14 u.: 1986-89), Laura Della Valle (37 u.: 1987-90), Patrizia Diani (160 u.: 1986-89), Giuliano Donzellini (8 u.: 1987-89), Carlo Ferrari (44 u.: 1986-90), Silvano Franchelli (202 u.: 1986-90), Marco Gambetta (12 u.: 1990), Fabio Gasparini (15 u.: 1988), Giovanni Laiolo (20 u.: 1982-89), Andrea Lamberti (6 u.: 1986-88), Giuseppe Lazzarini (2 u.: 1982-87), Vittorio Lazzarini (7 u.: 1987), Danilo Magliano (42 u.: 1982-89), Angelo Manella (58 u.: 1988-89), Rinaldo Massucco (267 u.: 1982-90), Lorenzo Mattiauda (8 u.: 1987-89), Giovanni Minuto (7 u.: 1990), Marco Nobile (11 u.: 1990), Renato Pastorino (129 u.: 1986-89), Giampaolo Patrucco (36 u.: 1986-89), Marcello Penner (44 u.: 1988-90), Denis Ribic (14 u.: 1986-90), Giorgio Roascio (16 u.: 1987-90), Adele Sanna (226 u.: 1985-90), Antonio e Maria Sanna (15 u.: 1989-90), Claudia Sanna (142 u.: 1985-90), Sergio Sdobba (173 u.: 1985-89), Fabio Siccardi (74 u.: 1987-90), Tatiana Sidoti (74 u.: 1987-89), Ludovico Spiota (12 u.: 1986-89), Fabrizio Tampelloni (34 u.: 1986-89), Ida Tonero (90 u.: 1986-89), Alberto Verrini (14 u.: 1988-90), Guido Verrini (3 u.: 1988-89), Nicolino Zunino (2 u.: 1985-90).

Bibliografia

Archivio del Gruppo Speleologico Savonese, *Consuntivi di attività settembre-dicembre 1970 e 1971-1990.*

Archivio di Stato di Genova, *Raccolta cartografica, Bardinetto, busta 3, 1790: Copia di parte della Carta Topografica...*

Archivio di Stato di Torino, *Confini con Genova, Miscellanea; 33/50, marzo 5, sec. XVIII: Carta topografica del territorio di Bardinzetto colle sue adiacenze.*

1982-83 - *Attività 1981,* in «Notiziario Speleologico Ligure», Bollettino G.S.L., a. XIV, pp. 12-13 e a. XV, n. 1, pp. 7-10, Genova.

1983 - *Attività 1982,* in «Notiziario Speleologico Ligure», Bollettino G.S.L., a. XV, n. 2, pp. 7-10, Genova.

1978 - *Bardineto (chiusura della Gr. Rio Secco a cura dello scopritore* G.G. Genova), in «Notiziario della Delegazione Speleologica Ligure», a. I, n. 1, p. 2.

1959 - *Il Buranco Rampiun,* in *«Grotte»*, Bollettino del G.S. Piemontese, a. II, n. 8, pp. 7-8, Torino.

1970 - *La nostra attività,* in «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, a. IV, n. 8, pp. 2-5, Savona.

ANACLERIO M, 1982 - *La grotta Balbiseolo,* in «Notiziario Speleologico Ligure», Bollettino del G.S. Ligure «Issel», a. XIV, pp. 32-33, Genova.

BENSA P., 1900 - Le grotte dell'Appennino Ligure e delle Alpi Marittime, in *«Bollettino CAI»*, XXXIII, p. 87, Torino.

BIXIO R., 1982 - *Balbiseolo,* in «Notiziario Speleologico Ligure», Bollettino G.S.L., a. XV, n. 1, pp. 26-28, Genova.

BIXIO R., 1990 - *Bardineto, un'ideale continuità di ricerca in corso di stampa* su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino G.S.S., n. 17, Savona.

BONI A. - CERRO A. - GIANNOTTI R. - VANOSSI M., 1971 - *Note illustrative della carta geologica d'Italia,* f. 92-93 (Albenga-Savona), Roma.

BRIAN A., 1938 - *Notizie topografiche su alcune caverne della Regione di Toirano*, in «Rivista Ingauna e Intemelia, Bollettino della Regia Deputazione di Storia Patria, sez. Ingauna e Intemelia», a. IV, n. 1/4, pp. 125-126, Bordighera.

BRIAN A., 1940 - *Le grotte di Toirano* in «Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova», vol. LX, Genova.

CODDÈ E., 1952 - *La Voragine del Rampione*, in «Notiziario CAI, Sez. Ligure», n. 3, pp. 19-20, Genova.

CODDÈ E., 1955 - *L'attuale situazione del catasto speleologico in Liguria*, in «Rassegna Speleologica Italiana», a. VII, fasc. 4, Milano.

CONCI C., 1953 - *Il Buranco Rampiùn*, in «Rassegna Speleologica Italiana», a. V, n. 3, pp. 86-88, Como.

CUCELLI T., 1750 - *Carta topografica di Loano*, (Archivio di Stato di Torino, Confini con Genova, mazzo 17, fasc. 4).

DAL BO G. - FRANCHELLI S. - MASSUCCO R. - PENNER M. - SANNA A. e C. - SICCARDI F. - SIDOTTI T. - TONERO I., 1990 - *Grotte del Bardinetese: la situazione catastale a fine anno 1990*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

DAL BO G. - FRANCHELLI S. - MASSUCCO R. - SANNA A., 1990 - *Il Buranco di Bardineto*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

DAL BO G. - FRANCHELLI S. - MASSUCCO R. - PENNER M. - SANNA A. e C. - SICCARDI F. - SIDOTI T. - TONERO I., 1990, 1986-1990: *5 anni di ricerche del G.S.S. nell'area carsica di Bardineto*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

DELLEPIANE G.B., 1924 - *Guida per escursioni nelle Alpi e Appennini Liguri*, p. 122, Genova.

DINALE G. - RIBALDONE G.B., 1961 - *Primo aggiornamento al Catasto Speleologico Ligure*, in «Rassegna Speleologica Italiana», a. 13, n. 2, Milano.

FRANCISCOLO, M., 1949 - *Su alcune grotte dei dintorni di Bardineto*, in Rassegna Speleologica Italiana», a. I, fasc. 2 - pp. 43-52, Milano.

FRANCISCOLO M., 1955 - *Fauna cavernicola del Savonese*, in «Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova», vol. LXVII, pp. 97-103, Genova.

GESTRO R., 1887 - *Gli Anophthalmus trovati finora in Liguria*, in «Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova», s. 2, vol. V, p. 495, Genova.

GHERSI M. - GIACCHINO R. - MASSA S. - MASSUCCO R., 1972 - *Un anno di attività*, in «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino G.S.S., a. VI, n. 10, p. 1, Savona.

G.G. Genova - G. Ricerche Speleologiche - G.S. Imperiese, 1978 - *Il Buranco Rampiùn: una delle maggiori grotte liguri*, in «Bollettino del G.S. Imperiese», a. VIII, n. 10, pp. 7-11, Imperia.

GRUPPO RICERCHE SPELEOLOGICHE e GRUPPO GROTTE GENOVA, 1977 - *Comunicato*, in «Notiziario della Società Speleologica Italiana»», a. VIII, n. 5/6, p. 127.

GRUPPO SPELEOLOGICO SAVONESE, 1990 - *Ricerche e scoperte in Alta Val Bormida*, in «Speleologia», Rivista della Società Speleologica Italiana, a. XI, n. 22, pp. 63-64, Milano.

GRUPPO SPELEOLOGICO SAVONESE, 1990 - *Nel Buranco di Bardineto*, in «Savona Economica», Rivista della Camera di Commercio di Savona, a. 81, n. 10 (31/5/90), p. 19, Savona.

ISSEL A., 1904 - *Note spiccate, II. Valle di Calizzano* (con appendice di G. Rovereto), pp. 30, Genova.

MAINERI B.E., 1900 - *La leggenda del Buranco*, Firenze.

MASSA S., 1971 - *Entomofauna del Buranco Rampiùn*, in «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino G.S.S., a. V, n. 9, pp. 14-15, Savona.

MASSUCCO R., 1976, 1967-1976: *10 anni di speleologia a Savona*, in «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S.S., n. 14, pp. 13-20, Savona.

MASSUCCO R., 1971 - *Il Buranco Rampiùn*, in «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino G.S.S., a. V, n. 9, pp. 6-7, Savona.

MASSUCCOR., 1990 - *La premessa: il Buranco de Dotte*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

MASSUCCO R., 1990 - *Primi appunti per la stesura di una carta geomorfologica e i drogeologica del territorio carsico di Bardineto (Alta Val Bormida/SV): il Fenomeno carsico e le prime esperienze di analisi e tracciamento delle acque sotterranee*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

MASSUCCO R., 1990 - *Storia delle esplorazioni nell'area carsica di Bardineto*, in corso di stampa su «Stalattiti e Stalagmiti», Bollettino del G.S. Savonese, n. 17, Savona.

MENARDI A - NOGUERA A., 1984 - *Nuove osservazioni sulla struttura del Massiccio di Monte Carmo (Alpi Liguri)*, in «Bollettino della Società Geologica Italiana», n. 103, pp. 189-203, Roma.

MERCATI M. - MUREDDU R., 1980 - *Pigramente esplorando il Buranco Rampiùn*, in «Bollettino del G.S. Imperiese», a. X, n. 14, pp. 31-33, Imperia.

R. A., 1952 - *Né cadaveri né diavoli nel leggendario Buranco di Melogno*, in «Corriere del Popolo», ed. Imperia, Genova, 14/5/1952.

SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA (AA.VV.), 1987 - *Le nostre grotte*. Guida Speleologica Ligure (Buranco Rampiùn, pp. 76-80, a cura di R. Bixio; Buranco de Dotte, pp. 68-70, a cura di R. Massucco; Elenco catastale, pp. 127-175), Genova.

VANOSSI M., 1969 - *La serie brianzonese del Salto del Lupo (Liguria occidentale): osservazioni sedimentologico - stratigrafiche*, in «Atti dell'Ist. di Geologia dell'Università di Pavia», n. 20, pp. 3-16, Pavia.

VANOSSI M., 1971 - *Contributi alla conoscenza delle unità stratigrafico - strutturali del Brianzonese ligure. Le strutture tettoniche nella zona tra Bardineto e Noli*, in «Atti dell'Ist. di Geologia dell'Università di Pavia», n. 21, pp. 37-66, Pavia.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 319-328.

GABRIELE CREVATIN*, PAOLO GUGLIA* & SERGIO VOLPE**

NUOVE ESPLORAZIONI E RICERCHE NELL'ABISSO DI TREBICIANO (17 VG)

RIASSUNTO - In questo lavoro si espongono i risultati di un anno di esplorazioni e rilievi topografici eseguiti dalla Società Adriatica di Speleologia nell'Abisso di Trebiciano (17 VG), durante e dopo l'installazione della via ferrata «Adriatica». La posa in opera delle nuove attrezzature di discesa nella cavità, oltre a facilitare il ritrovamento di rami sconosciuti, ha permesso l'inizio di una nuova esplorazione subacquea del sifone posto nella caverna Lindner, e l'avvio di accurate indagini idrologiche, con analisi delle acque di percolazione lungo tutta la serie dei pozzi. I lavori sinora svolti possono ritenersi un indispensabile punto di partenza per tutti i futuri lavori esplorativi e scientifici che verranno avviati in questa cavità e sul fiume Timavo.

ABSTRACT - This work shows the results of a year of exploration and topographic relieves carried out in the «Abisso di Trebiciano» (17 VG) by the Società Adriatica di Speleologia, during and after the installation of the steel ladders which compose the «via ferrata Adriatica». The implementation of such means for descending into the cavity has not only favoured the discovery of unknown passages, but also the underwater exploration of the sump in the Lindner cave. Accurate hidrologic research has also been made possible, consisting of the analysis of the water found along the whole series of shafts. The investigation carried out so far can be considered as the starting-point for all future exploration and scientific research on this cavity and the Timavo river.

Esplorazioni

L'Abisso di Trebiciano (n. catastale 17 VG), oltre ad essere la più profonda cavità del carso triestino, è stato da sempre oggetto di accurati studi scientifici.

Questo particolare interesse è derivato dal fatto che questa grotta intercetta il fiume Timavo lungo il suo corso sotterraneo e ciò, al momento della scoperta, poteva rappresentare la definitiva soluzione al grave problema dell'approvvigionamento idrico della città di Trieste.

Però, seppur visitata e studiata fin nei minimi particolari, un aspetto curioso è emerso dalla consultazione delle ricche documentazioni esistenti su questa cavità: non esiste a tutt'oggi un rilievo accurato e preciso dell'abisso. Le vecchie topografie tendevano solamente ad evidenziare, ed in qualche caso ad esagerare,

* Società Adriatica di Speleologia
** Istituto di Chimica Applicata ed Industriale - Università di Trieste

la vastità della caverna Lindner, limitando la descrizione dei pozzi al solo percorso di discesa, senza alcun ramo o caverna laterale.

Durante le numerose uscite effettuate nell'abisso avevamo notato invece che lungo i pozzi si aprivano varie imboccature di finestre che potevano dar adito ad ulteriori prosecuzioni e che molti camini dovevano essere controllati accuratamente.

L'installazione della ferrata «Adriatica» ha permesso di accedere con facilità alle parti profonde dell'abisso, e ciò ha sicuramente agevolato l'esplorazione attenta di tutti i pozzi della parte verticale dell'abisso.

Secondo le nostre osservazioni, anche la caverna Lindner non era stata descritta con molta fedeltà nei vari rilievi esistenti, ed alcune direzioni dovevano essere sicuramente ricontrollate.

Per questi motivi, nei primi mesi del 1989, la Società Adriatica di Speleologia ha deciso di intraprendere una campagna di esplorazioni e di rilievi topografici nell'abisso di Trebiciano, al fine di definire, una volta per tutte, l'aspetto e le dimensioni di questa importante cavità.

Fin dall'inizio è apparso chiaro che le esplorazioni dovevano riguardare quattro punti precisi dell'abisso: i numerosi pozzi laterali compresi fra l'ingresso e la «caverna del ponte del brivido»; il ramo parallelo intravisto lungo il pozzo «53»; le varie diramazioni esistenti tra la quota — 220 m e la fine della parte verticale; la caverna Lindner con le sue varie diramazioni.

La parte iniziale dell'abisso è interessata dalla presenza di numerosi pozzi paralleli, con varie finestre che li collegano formando un complesso di vani ad andamento alquanto complicato. Solo alcuni di questi pozzi erano evidenziati nelle vecchie planimetrie e numerose sono state le nuove prosecuzioni ritrovate. In particolar modo è da segnalare la risalita di due camini paralleli, per oltre 40 m di dislivello complessivo, con il ritrovamento di una cavernetta orizzontale interessata da notevoli fenomeni di concrezionamento.

Sempre in questa prima parte della cavità, sono stati verificati e rilevati i due pozzi che si aprono alla sommità della «caverna del ponte del brivido», rispettivamente di 45 m (+28 -17) e di 31 m, che portano ad uno dei fondi dell'abisso alla quota di -130 m.

Il pozzo detto «53», che nella sua seconda parte scende formando il vano verticale più grande dell'abisso, presentava alcune finestre fra le fessure della parete Sud - Ovest.

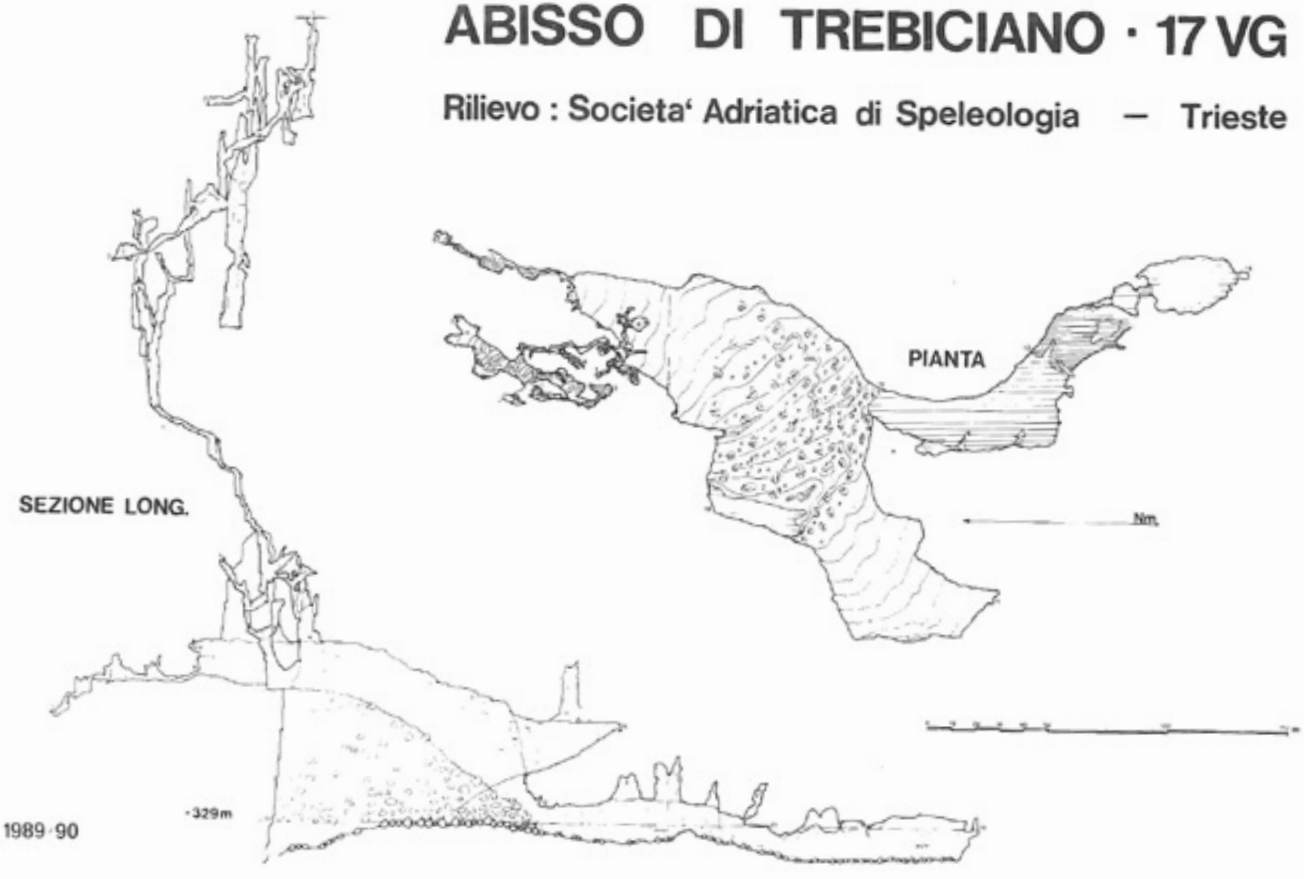
Non è stato facile superare le varie strettoie presenti in questa diramazione, e numerose sono state le risalite fatte utilizzando tecniche di progressione artificiale, ma alla fine tutto il ramo laterale è stato definito nel suo intero sviluppo: una serie di 6 pozzi verticali, uniti in due punti al pozzo «53», per un dislivello totale di quasi 70 m.

Anche il settore più profondo della parte verticale dell'abisso ha presentato delle prosecuzioni non ancora esplorate. Specialmente seguendo la diramazione che forma il secondo ingresso alla caverna Lindner, sono stati trovati camini, pozzetti laterali, ed un ramo parallelo interessato da una notevole attività idrica che sfocia anch'esso nella grande caverna.

Riassumendo, nella parte verticale dell'abisso sono stati esplorati ben 23

ABISSO DI TREBICIANO · 17 VG

Rilievo : Societa' Adriatica di Speleologia — Trieste



pozzi secondari rispetto ai 20 pozzi della via principale di discesa che, assieme alle varie cavernette laterali, ammontano ad uno sviluppo planimetrico di ben 333 m.

Per quanto riguarda la caverna Lindner, sono stati esplorati e controllati la galleria Beram, il lago Timeus ed alcune finestre lungo le pareti. Da queste verifiche è emersa la presenza di un grande camino alto 62 m posto presso l'imboccatura della galleria Beram ed uno scivolo di sabbia orientato in direzione Sud che nelle precedenti piante era appena accennato, mentre in realtà presenta uno sviluppo planimetrico di 72 m, per un dislivello positivo di oltre 40 m.

Infine, un'esplorazione subacquea ricognitiva nel sifone d'entrata del Timavo ha permesso di identificare una nuova via di prosecuzione, seguita fino alla riemersione in una caverna a pelo libero. Oltre questa caverna, è stata individuata e parzialmente sagolata un'ulteriore galleria sommersa.

Rilievo S.A.S. 1989/90

Dal nuovo rilievo sono emersi i seguenti dati definitivi:

Nome della cavità:	ABISSO DI TREBICIANO
N. Catasto:	17 VG
Posizione ingresso:	1° 22' 51" - 45° 41' 09"
Quota ingresso:	m 341 s.l.m.
Profondità:	m 329
Sviluppo planimetrico:	m 817 (m 333 pozzi verticali, m 296 caverna Lindner m 188 sifone e lago Boegan)
Pozzo accesso:	m 3
Pozzi interni: (via principale di discesa)	m 19,1 5.6 10,5 6,4 3,4 20,0 30,0 52,6 12,2 9,9 6,4 3,3 2,0 6,5 20,8 4,8 4,0 3,8 19,7
Pozzi interni: (laterali)	m 20; 30 (+20 -10); 12; +32; +16; +28; 45 (+28 -17); 31; +10; +6; +8; +30; +16; +20; +10; +18; +10; +2; +6; 5; 38; 4; 8; 5 e 5.
Rilievo:	SOCIETÀ ADRIATICA DI SPELEOLOGIA E. Basso, S. Cleva, G. Crevatin, P. Guglia, L. Marini e B. Voitisek Settembre 1989 / Aprile 1990
Grafica:	SOCIETÀ ADRIATICA DI SPELEOLOGIA P. Guglia Maggio 1990

Tutte le diramazioni rinvenute ed esplorate sono state accuratamente rilevate al fine di disporre di una raffigurazione dell'abisso di Trebiciano la più fedele possibile e notevoli sono state le differenze nel confronto con i vecchi disegni.

Mentre è stata riconfermata la profondità (-329 m riferita al livello medio del Timavo), lo sviluppo planimetrico totale viene portato a 817 m, con un incremento di 337 m rispetto alle vecchie misurazioni.

Per concludere accenneremo che, escluse tutte le operazioni di esplorazione e verifica preliminare, il tempo necessario a completare i lavori di topografia dell'abisso è ammontato a 14 uscite, per un totale di 101 ore/uomo nella cavità e 18 ore/uomo per l'elaborazione grafica delle varie rappresentazioni.

La ferrata Adriatica

L'allestimento della nuova via ferrata «Adriatica», nell'abisso di Trebiciano, è stato motivato dalle stesse considerazioni che hanno portato alle sei precedenti realizzazioni: creare un percorso agevolato per poter scendere rapidamente, ed in completa sicurezza, nella caverna Lindner e raggiungere così il fiume Timavo.

Il disfacimento delle scale lignee del VI allestimento (1912) aveva costretto

L'ampia caverna Lindner, alla profondità di 329 m, illuminata da potenti fari.

ad iniziare, nel 1975, la bonifica completa dei pozzi dell'abisso, ed al successivo riarmo con scalette speleologiche. Ciò rese evidente, soprattutto durante la spedizione del 1977 per il forzamento del sifone d'entrata, l'enorme difficoltà ed i grossi sforzi logistici necessari per l'effettuazione di esplorazioni o ricerche sul Timavo, nonostante si fossero già installate scale metalliche fisse fino alla profondità di 60 m.

La realizzazione del nuovo progetto, iniziato nel 1986, prevedeva strutture in acciaio di grande resistenza, trattate con opportuni procedimenti di zincatura a caldo, costruite secondo criteri di modularità e flessibilità, per adattarsi alle particolari situazioni ambientali.

Il notevole impegno finanziario della Società, coadiuvato da alcuni sostenitori (l'editore triestino Bruno Facchin, la ditta Avventura ed il dott. M. Stock), assieme all'impegno lavorativo dei soci permisero, nell'arco di 12 mesi, di raggiungere la caverna Lindner. Successive opere di finitura, alcune in fase di ultimazione, hanno portato all'installazione di nuovi terrazzini metallici di sosta, alla posa del cavo di autosicura ed alla pulizia e risistemazione delle caverne, dei cunicoli e dei sentieri di collegamento tra i vari pozzi dell'abisso.

L'installazione delle scale metalliche fisse ha così consentito il raggiungimento di diversi obbiettivi:

— agevolare speleologi e speleoturisti nelle loro escursioni e visite all'abisso ed al fiume Timavo;

Con l'aiuto del canotto si percorre l'ampio lago in prossimità del sifone d'entrata del fiume Timavo.

— effettuare la completa stesura di una potente linea elettrica fissa, per l'illuminazione del percorso e della caverna terminale, nonché per l'alimentazione delle apparecchiature previste;

— consentire la ripresa di accurate esplorazioni e rilievi topografici, i cui risultati si sono già resi evidenti;

— dare inizio ad una nuova determinante campagna esplorativa speleosubacqua, per l'esplorazione dei sifoni di entrata e di uscita del Timavo, per la quale è prevista la realizzazione di un campo base fisso nella caverna Lindner;

— creare, nell'ambito dell'abisso, una struttura didattica permanente per l'effettuazione dei corsi di speleologia di I e II livello (Palestra speleologica attrezzata nel pozzo «53»);

— realizzare una stazione di monitoraggio delle acque del Timavo, mediante l'installazione di sensori idrometrici ed il controllo dei vari parametri fisico-chimici e biologici a livello di falda acquifera;

— installare, a fianco dell'esistente laboratorio biospeleologico un laboratorio chimico ipogeo per l'analisi immediata delle acque di percolazione.

Il laboratorio chimico di Trebiciano

La parola «laboratorio» richiama alla mente un ambiente luminoso e pieno di apparecchiature sofisticate. In effetti il «laboratorio chimico» di Trebiciano consiste in una stazione dotata di mensole fisse, sulle quali trovano posto delle microburette, vetreria varia e i reagenti necessari per l'esecuzione di alcune semplici analisi chimiche.

Il «laboratorio» è situato nella cosiddetta «caverna dei protei», a circa 50 m di profondità. La collocazione in quella posizione è dovuta a varie considerazioni pratiche: per prima cosa la caverna in oggetto è una delle maggiori dell'abisso (esclusa la caverna Lindner); in secondo luogo si è trovato conveniente effettuate le analisi alla fine della risalita, infatti durante la discesa si mettono in posizione i raccoglitori dello stillicidio che fungono anche da misuratori di portata e durante la risalita si leggono i volumi raccolti e si eseguono le misure di temperatura e pH; in terzo luogo la profondità di 50 m è sufficiente ad evitare le variazioni di temperatura dovute a variazioni nella temperatura esterna, salvo quando l'abisso «succhia aria»; quale ultima considerazione si è tenuto conto del fatto che la caverna precede ed è affiancata da due pozzi in cui si notano vistosi fenomeni di corrosione, che in questo modo possono essere tenuti in particolare considerazione dal punto di vista dell'esame delle acque che vi percolano.

Nella stessa caverna si notano inoltre alcuni dei pochi fenomeni di concrezionamento presenti nell'abisso, che così possono anch'essi essere fatti oggetto di indagine.

Le analisi che si eseguono in questi punti particolari avvengono con ritmo settimanale, mentre per il complesso dei pozzi la cadenza è bisettimanale o mensile.

La necessità di effettuare analisi chimiche direttamente in cavità nasce dal fatto che le acque di percolazione nelle rocce carbonatiche sono soluzioni nelle

quali gli equilibri che si instaurano tra i vari soluti sono influenzati dalla pressione parziale della CO_2 e inoltre in maniera notevole, dalla temperatura. Per questi motivi alcuni dei parametri necessari a studiarli devono essere ricavati sul posto. Il trasporto dei campioni e la loro analisi in laboratori meglio attrezzati fa sì che vengano alterati i parametri di temperatura e pH (dovuto alla CO_2 disciolta) ottenendo quindi valori non rispondenti alla realtà del campione quale prelevato.

Gli altri parametri che interessano gli equilibri chimici delle soluzioni carbonatiche quali: contenuto in Calcio, Magnesio, Sodio, Potassio, Bicarbonati, Cloruri e Solfati, possono invece essere determinati con comodo e successivamente in un «vero» laboratorio chimico.

Il rilevamento del pH delle soluzioni percolanti si rivela in particolar modo difficile in una cavità. È infatti noto a quanti si siano occupati del problema, che i pHmetri, sia fissi che portatili, non sono affidabili quando la concentrazione della soluzione in esame è molto bassa.

È necessario, infatti, tararli ogni volta che si effettua una misura, altrimenti, anche operando con strumenti dotati della seconda cifra decimale, la misura sarà quanto meno opinabile.

Per questo motivo le misure di pH vengono effettuate sul posto di raccolta mediante metodo colorimetrico con un pHmetro portatile a comparazione di colore, cosa che dà un'indicazione (del resto abbastanza precisa) del valore, poi vengono portati alla postazione dove si effettuano le misure reali avendo a disposizione un posto pulito, stabile, illuminato con una lampada portatile al neon e dotato dei tamponi necessari per la calibrazione dello strumento e di tutta la vetreria necessaria.

Il tempo che intercorre tra il prelievo del campione e la sua analisi può arrivare al massimo alle due ore, durante le quali non si sono avute variazioni di temperatura né di pressione parziale di CO_2; l'eventuale perdita di CO_2 disciolta è resa praticamente nulla se si fa attenzione a che i contenitori dei campioni siano completamente pieni e ben chiusi.

Un'altra determinazione che si dovrebbe effettuare sul posto di prelievo riguarda il grado di saturazione rispetto alla calcite. Il metodo si basa sull'aggiunta di carbonato di calcio, in polvere fine, all'acqua in esame; il contenitore viene accuratamente tappato senza intrappolare aria ed agitato periodicamente per un tempo di due ore. Si esegue poi un'analisi del contenuto di carbonato di calcio (o meglio della durezza totale) sul campione tal quale e su quello trattato; se l'acqua era aggressiva la durezza del campione trattato sarà maggiore, se l'acqua era satura o sovrassatura, la durezza sarà uguale o minore. Anche per questa determinazione è necessario operare nelle stesse condizioni in cui si è raccolto il campione e non rimandare l'analisi per più di 24 ore.

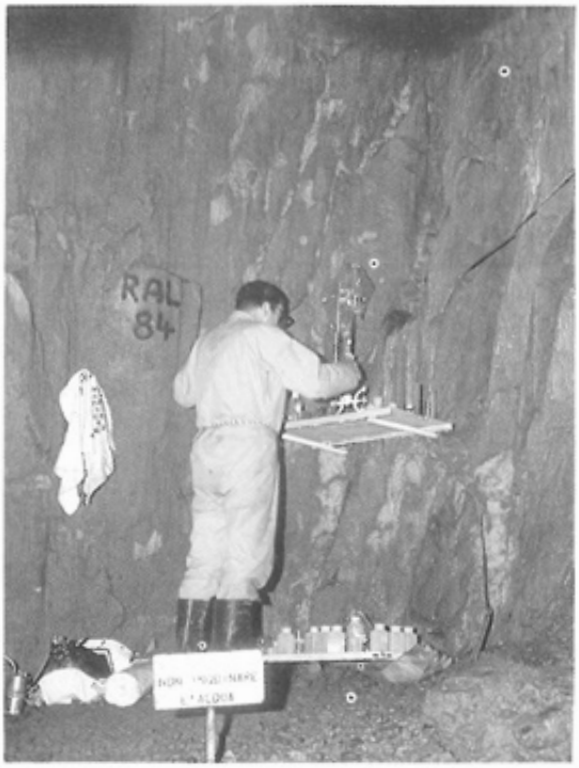
La determinazione della durezza totale (dovuta al bicarbonato di calcio, all'eventuale bicarbonato di magnesio e ad altri sali di questi elementi) viene eseguita per via complessometrica, usando quale titolante l'EDTA M/100 e come indicatore un indicatore misto che dà un punto di viraggio ben visibile anche nelle difficili condizioni di luce in cui ci si trova.

Un'altra analisi che è possibile effettuare nel «laboratorio» è la determinazione della pressione parziale di CO_2, che altrimenti dovrebbe essere fatta prele-

vando campioni di aria e sottoponendoli poi ad analisi gas-cromatografica. Per esperienza, il prelievo di campioni gassosi è estremamente delicato e i risultati ottenuti non sono molto affidabili. Si preferisce quindi calcolare la pressione parziale della CO_2 dalla quantità di carbonato di calcio che si scioglie in acqua distillata e deionizzata, messa in equilibrio con l'aria ambiente.

Il «laboratorio chimico» è entrato in funzione attiva da soli 6 mesi e non si possono quindi trarre ancora delle conclusioni, che dovrebbero riguardare un periodo di almeno un anno. Si tenga inoltre conto del fatto che l'inverno trascorso è stato particolarmente secco e che anche la primavera e l'estate appena iniziata non si sono rivelate ricche di precipitazioni; sarà quindi forse necessario prolungare il tempo di osservazione a più di un anno prima di trarre delle conclusioni accettabili.

Allo stato attuale si può solo anticipare che il metodo di determinazione dell'aggressività delle acque di percolazione, come descritto e come viene applicato da numerosi autori, almeno per quanto riguarda le acque di percolazione nell'abisso non si è rivelato affidabile. Sembra che il tempo di contatto del carbonato di calcio in polvere con la soluzione debba essere di molto superiore alle due ore indicate. Prove in tal senso vengono eseguite nei laboratori dell'Istituto di Chimica Applicata ed Industriale dell'Università di Trieste e saranno rese note in un prossimo futuro.



Parte del laboratorio chimico allestito nella «caverna dei protei», alla profondità di 50 M. (Foto L. Longo).

Conclusioni

I risultati esplorativi ottenuti, la presentazione del rilievo topografico con un incremento dei 337 metri dello sviluppo planimetrico conosciuto ed una nuova raffigurazione grafica dell'abisso, la realizzazione della ferrata «Adriatica», la scoperta di una prosecuzione subacquea del sifone d'entrata del fiume Timavo, la realizzazione della Palestra speleologica, della Stazione di monitoraggio e del Laboratorio chimico costituiscono una valida premessa per poter affermare che, dopo 70 anni, un nuovo ciclo di ricerche ed esplorazioni si è aperto con buone prospettive nell'abisso di Trebiciano.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 329-338.

ANDREA BEZEREDY, MARCO LOLEO & MAURO VALERIO PASTORINO

MUIN DE STRIE LI N° 1253 PRIME OSSERVAZIONI MORFOLOGICHE E GEOIDROLOGICHE

RIASSUNTO - Viene riferito sulla inattesa scoperta di due nuove cavità naturali di notevole sviluppo nei Calcari a Calpionella di Monte Veruga in Provincia di La Spezia e, unitamente a prime osservazioni morfologiche e geoidrologiche relative al tratto già esplorato del maggiore dei due complessi, il «Muin de Strie» N° 1253 Li, si avanzano preliminari ipotesi speleogenetiche.

ABSTRACT - It has ben given a piece of information about the unexpecred discovery of two new caves of considerable development in the «Calcari a Calpionella» of M. Veruga in the province of la Spezia; together with first morphologic and geohydrological observations concerning the already explored part of the bigger of the two sets, the «Muin de Strie» N° 1253 Li, preliminary speleogenetic hypotheses are put forth.

Premessa

A partire dal 1988 il G.S.L. «A. Issel», proseguendo ricerche da tempo iniziate in provincia di La Spezia, ha effettuato prospezioni anche in Val di Vara, nonostante le caratteristiche delle possibili aree carsificabili non fossero tali da far sperare nel reperimento di cavità naturali di ampio rilievo.

Al contrario, il riscontro di alcune lontane segnalazioni del 1973, a suo tempo annotate dal socio Ezio Masante che opera nella zona, ha permesso la scoperta di due sistemi carsici a sviluppo veramente eccezionale per il comprensorio ed ha dato l'avvio ad una serie di ricerche delle quali la presente comunicazione rappresenta un semplice ed iniziale «appunto di lavoro».

Si è trattato nel primo caso della riapertura di una risorgente, il «Muin de Strie», in piccola parte visitata da Masante e collaboratori nel 1984, e dell'accertamento che la stessa corrisponde ad un sistema carsico solo in parte esplorato e di sviluppo già vicino al km; nel secondo caso della scoperta di un altro interessante sistema, denominato «Scrigno del Borsa», aperto artificialmente sulla direzione di una corrente d'aria tra massi di frana poco sopra le risorgenti del Rio omonimo e tuttora in corso di esplorazione.

Riferendoci al solo Muin de Strie, oggetto della presente comunicazione, ricordiamo che la parziale esplorazione del 1984 era stata resa possibile da una violenta alluvione, che portò le acque interne (scorrenti in regime ordinario fra i massi del detrito ostruente l'ingresso fino ad una vasca di captazione) a «sfonda-

re» tale copertura e ad aprirsi un precario passaggio che negli anni successivi andò incontro a rapida ricostruzione. Era stato comunque già possibile all'epoca accertare che dopo una ventina di metri la cavità «chiudeva» in corrispondenza di un lago sifonante.

La prima ricognizione in loco fu effettuata il 13/3/88; i lavori di «sgombero» del detrito, davvero imponenti se si pensa che furono sollevati e fatti precipitare massi del peso di oltre una tonnellata, si protrassero fin al 3/4/88: quel giorno fu nuovamente raggiunto il sifone «terminale». Nei mesi successivi, dopo che i sub avevano accertato la prosecuzione in regime vadoso della cavità, si iniziò a lavorare alla messa in opera di un dispositivo che permettesse il temporaneo abbassamento del livello del sifone. Ciò al fine di rendere possibile, nel corso degli accessi, l'attraversamento del tratto di galleria interessato senza dover far ricorso a pericolose tecniche ed attrezzature subacquee. Il che fu realizzato, con notevole dispendio di energie e di mezzi, prima abbassando per quanto possibile il livello del lago (che rimaneva tuttavia sifonante) e poi con un complesso sistema di tubi che ancora attualmente permettono, da una parte, la costante captazione delle acque dei due collettori interni e, dall'altra, la regolazione secondo necessità dello svuotamento e del successivo riempimento del tratto sifonante. In tale modo, allorché non sono in corso accessi alle parti interne della cavità, il sifone è ricostituito e viene interrotta la notevole corrente d'aria che si determina in seguito alla «apertura». E questo al fine di garantire il pieno rispetto delle condizioni microclimatiche interne in atto prima dell'esplorazione. La realizzazione di tale complicato ma certamente originale sistema di accesso alla grotta si protrasse fino al Luglio di quell'anno; il 10/7/88 vi fu la prima «corale» esplorazione, con la quale furono raggiunti il «lago Smeraldo» e, nel ramo principale, l'ingresso della «strettoia».

In seguito, l'esplorazione e lo studio della cavità sono proseguiti con lunghe pause forzate, legate in parte all'impiego estivo ad uso potabile delle acque interne (anche se di vera potabilità è improbabile si possa parlare), e in parte all'inaccessibilità della grotta nei periodi piovosi.

Inquadramento geografico

La grotta e l'area carsica relativa sono ubicate sul versante SO del monte Verruga (1211 m.), di cui la citata area occupa la porzione compresa tra i 760 e i circa 900 m. di quota, presso la località Campore di Maissana (SP). (Per l'individuazione topografica: C.T.R. in scala 1:10.000 sezione n. 232030, OSSEGNA; C.T.R. in scala 1:5000 elementi OSSEGNA E VERRUGA) (Vedi Fig. 1).

L'ingresso della cavità si apre a circa 765 m di quota in corrispondenza di un pendio a copertura detritica prevalentemente ghiaiosa con frequenti trovanti di grosse dimensioni, alla testa di un ripido ed ampio canalone, evidentemente originato dalle sue acque, il quale si immette a breve distanza nel Rio Recueso di cui risulta tributario di sinistra. Ordinariamente dal fondo del canalone, subito dopo l'ingresso, l'acqua fuoriesce fra il detrito solo in regime di piena, mentre in massima parte si porta alquanto più in basso fino ad un'uscita a giorno al lato de-

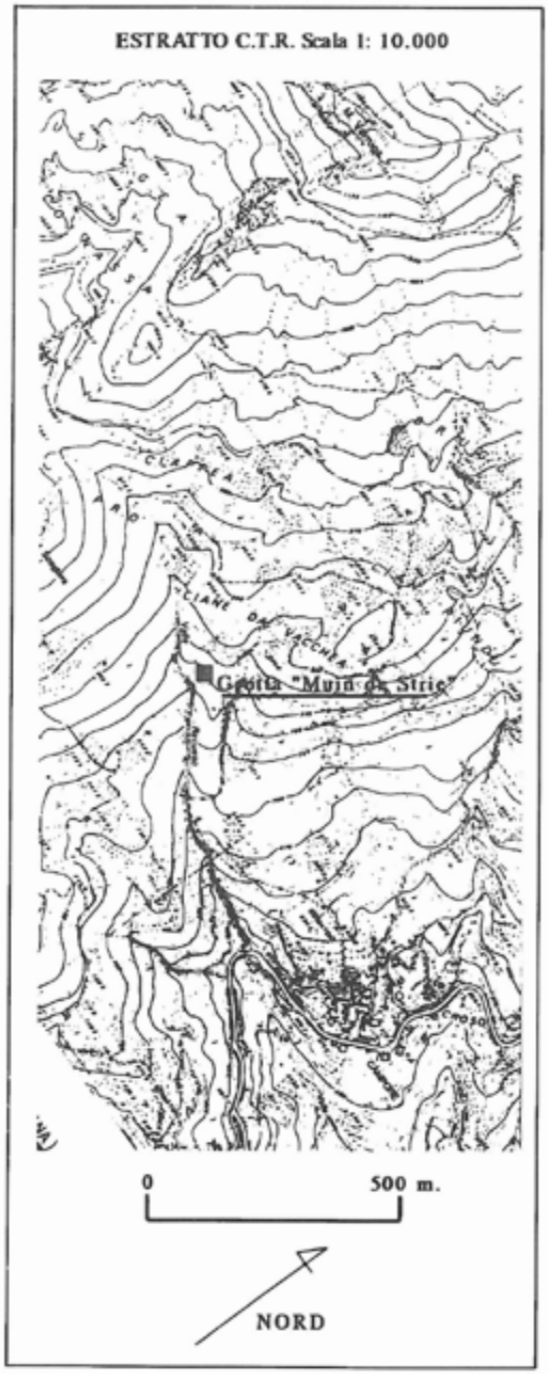


Fig. 1 - Localizzazione della cavità sulla Carta Tecnica regionale alla scala 1:10.000.

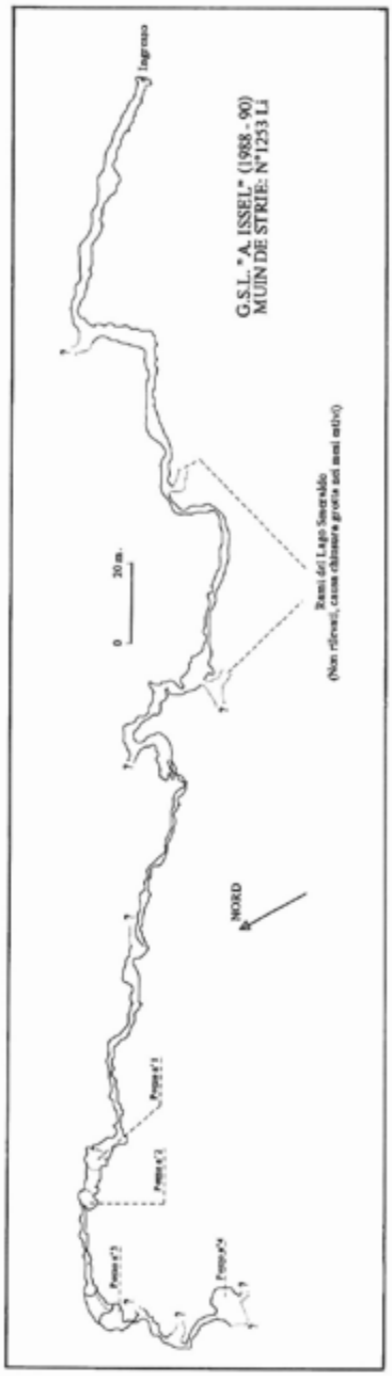


Fig. 2 - Rilievo del Muin de Strie (Li 1253).

stro dell'alveo, ove viene utilizzata in periodo estivo, mediante una captazione rudimentale, come «riserva» per il locale acquedotto privato.

Inquadramento geologico

La serie geologica che interessa la zona è detta (Carta Geologica d'Italia F. 84 PONTREMOLI) «della Val di Vara», ed è costituita, da: ofioliti, diaspri, calcari a calpionella, argille a palombini.

OFIOLITI (Giura inf.)

Le facies ofiolitiche presenti sono rappresentate dai soli diabasi affioranti alle quote più alte del M. Verruga e M. Scogliera, sul cui versante Ovest si può reperire una lente di ofilcalce in contatto con i Diaspri.

DIASPRI (Titonico?)

È costituita da radiolariti e ftaniti (sia alla base che a tetto della formazione) generalmente solettati e spesso (in particolar modo nella zona in oggetto) fittamente contorti e fratturati.

CALCARI A CALPIONELLA (Titonico-Neocomiano)

È la formazione in cui nasce e si sviluppa la grotta; affiora nella porzione medio - superiore del versante occidentale di M. Verruga ed è costituita da strati di potenza variabile da qualche metro a pochi centimetri di calcari silicei compatti a grana finissima, aspetto ceroide generalmente di colore da grigio chiaro a biancastro, intercalati a calcari marnosi, spesso con liste e noduli di selce grigio chiara, e, specie nella porzione inferiore in prossimità del contatto con la formazione sottostante, a straterelli argillosi ed argilloscistosi.

ARGILLE A PALOMBINI (Cretaceo inf.)

È la formazione di maggiore estensione areale della zona ed è il livello di base della grotta; è costituita da un'alternanza di argille e argilliti siltose grigio nerastre con intercalazioni di calcari marnosi e silicei e in subordine da arenarie organizzate in banchi di spessore variabile tra uno - due metri e pochi centimetri.

L'assetto strutturale è caratterizzato: A) da una tettonica di stile plastico con anticlinali e sinclinali sovente coricate (terminazione meridionale di M. Scogliera), per cui le formazioni si presentano spesso (come nella zona in oggetto, dove si apre e si sviluppa la grotta), in serie rovesciata: con le «Argille a palombini» (a comportamento plastico) geometricamente sottostanti i «Calcari a calpionella» e i «Diaspri» (a comportamento rigido); B) da una tettonica di stile rigido con faglie e pieghe faglie non sempre direttamente riconoscibili sul terreno perché obliterate da detrito e identificabili solo mediante le discordanze o tramite osservazione da foto aeree.

Non si ritiene qui opportuno soffermarsi sull'analisi delle varie interpretazioni basate principalmente su teorie faldiste, da una parte, o su quelle più semplici (tettonica dovuta a successioni di pieghe) dall'altra, in quanto esulano dagli scopi di queste brevi note per le quali è sufficiente la semplice descrizione dei rap-

porti giaciturali tra le formazioni sopra citate. A tale proposito ci sembra risultino assai importanti per la comprensione dello sviluppo del fenomeno carsico ipogeo in oggetto i seguenti fatti:

1) presenza di lineazioni tettoniche (evidenziate dall'andamento del reticolo idrografico, da accumuli detritici potenti lungo i versanti, da rotture di pendio, dall'esistenza di terrazzi morfologici nonché dai dati desunti dal rilevamento geologico-stratigrafico di superficie) che hanno provocato la fratturazione in grande del massiccio montuoso talora, presumibilmente, anche con dislocazioni di qualche decina di metri.

Le pieghe hanno generalmente il piano assiale immergente verso sud-ovest e inclinazione di 10-20° (M. Scogliera), le faglie e le fratture principali OSO-NNE, SSE-NNO, accompagnate da faglie minori di direzione SSO-NNE, ESE-ONO tutte subverticali (distensive).

Le giaciture dei giunti di stratificazione anche a causa della presenza di pieghe a piccola scala, sono assai variabili sia come immersione che come inclinazione: non sembra comunque che abbiano avuto parte significativa nella genesi e nello sviluppo della grotta. *Ci si riserva di fornire in un secondo tempo informazioni più dettagliate a questo proposito.*

2) presenza di «Calcari a calpionella», silicei (rigidi a comportamento «fragile») poggianti su «Argille a palombino» (plastiche) che potrebbero avere accentuato lo stato di fratturazione per cause meramente meccaniche, (Bibl. 8-11), con ciò favorendo ulteriormente la percolazione in profondità delle acque meteoriche e soprattutto inducendo uno stato di fratturazione latente che avrebbe prodotto un deterioramento delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso. Questo fatto unito alla presenza di fratture aperte per dissoluzione carsica ed erosione, avrebbe così provocato il franamento delle pareti delle diaclasi, allargando ulteriormente i vacui (formazione di sale e semplici allargamenti della sezione trasversale di larghe porzioni del «Muin de Strie»).

Geomorfologia

Le caratteristiche geomorfologiche di questa zona sono il frutto dell'azione di più fattori dinamici tra cui dovrebbero in prima analisi avere avuto un ruolo significativo le «deformazioni gravitative profonde di versante», cui potrebbe essere attribuita in parte la genesi delle forme a «terrazzo» che modellano le pendici di monte Verruga verosimilmente conseguenti sia all'orogenesi alpina, che ai movimenti neotettonici.

I ripiani dei «terrazzi morfologici» più alti (come quello situato a quota 1060 nei pressi della culminazione di M. Verruga, lungo il crinale che lo collega a M. Scogliera) presentano contropendenze e zone di assorbimento e ristagno di acqua.

Il reticolo idrografico, poco organizzato, ma spesso fitto, scarsamente inciso e casuale alle quote più elevate, è invece rado e molto inciso alle quote inferiori (in corrispondenza alle zone di affioramento dei «calcari a calpionella») nonostante i rii siano in ogni caso in secca per gran parte dell'anno.

Nella porzione mediana del versante, nella zona denominata «Ciane da vacchea», si possono notare invece morfologie carsiche superficiali quali: la valle cieca posta a occidente del crinale della Cappella di S. Bernardo, (avente direzione SSO-NNE) cui segue la valle morta che discende parallelamente in sponda sinistra rispetto al solco di Rio Recueso, che peraltro ha anch'esso le caratteristiche di una valle secca sino alla quota 750, in corrispondenza della risorgente del Muin de Strie.

Risalendo lungo il tributario di sinistra di Rio Recueso (confluenza di quota 820), che da una iniziale direzione NNO-SSE piega improvvisamente alla quota 855 di circa 60 ÷ 70° in direzione ONO, si trovano due depressioni di circa due metri di profondità ricoperte di rovi ed arbusti: si tratta di due piccole doline (due-tre metri di raggio). Procedendo oltre, a circa 200 metri più a monte in una fascia coltivata, si trova un'altra piccola depressione (1.5 m di diametro e 0.5 di profondità) presumibilmente dovuta a richiamo dal basso di materiali. Interessante poi è uno sprofondamento situato nei pressi della stessa direttrice degli altri tre ma a quota sensibilmente più elevata (970 c.a.) e in rocce non carsificabili (Diaspri) lungo un versante fortemente acclive: esso ha dimensioni più ragguardevoli degli altri, forma pseudo ellittica con asse maggiore di circa 6 metri parallelo al pendio e presenta una morfologia asimmetrica (con pareti scoscese alte circa 5 metri verso monte e circa un metro verso valle).

In prima approssimazione sembra verosimile definire le prime due come inghiottitoi semifossili (forse funzionanti solo in occasione di eventi piovosi di grande rilevanza) e come doline di subsidenza (considerata la loro posizione decentrata rispetto alle incisioni torrentizie) i secondi due.

Si segnala infine la presenza di emergenze idriche di detrito nei pressi del contatto «Calpionella - Diaspri», utilizzate dalla locale cooperativa zootecnica per l'abbeveramento del bestiame, che si infiltrano dopo pochi metri di scorrimento superficiale.

Descrizione della cavità (Vedi Fig. 2).

Il «Muin de Strie» è accessibile, a partire dallo sbocco del suo collettore terminale, dopo la creazione di un cunicolo artificiale fra i massi del detrito di pendio che ne ostruivano l'entrata prima del 1984 e poi del 1988. Tale galleria in viva roccia presenta tracce anteriori all'attuale circolazione vadosa, di un più antico e sovrapposto condotto, di sezione subellittica, a possibile circolazione freatica. L'equilibrio apparentemente precario fra i grossi trovanti del già citato detrito ghiaioso è in realtà garantito da valori molto alti di coesione, legati essenzialmente alla presenza di cemento calcitico. Dopo la riapertura, tale accesso in frana è stato ad ogni buon conto consolidato con opera muraria e poi chiuso con cancello a fini di tutela.

Al fondo del pozzetto di ingresso (non più di 2,5 m. circa) si perviene in un piccolo vano nel quale scorre il torrentello interno, che qui si perde tra i massi del detrito e che è possibile seguire a ritroso lungo la galleria già citata, la quale, dagli iniziali 80 cm. di altezza, raggiunge i 4 m. a una ventina di metri dall'ingresso in

corrispondenza di una saletta di crollo. In questa il torrente si immetteva a cascata formando un piccolo bacino; attualmente, abbassato il livello, i tubi di captazione scaricano ivi le acque dei due collettori interni.

Oltre la cascata, alta ormai poco più di un metro, la volta della galleria si abbassa progressivamente, è questo il punto nel quale le acque del torrente vengono a costituire il laghetto sifonante che ha bloccato in un primo tempo l'esplorazione del complesso (al momento la lunghezza del tratto sommerso, che raggiungeva i 25 m., è ridotta a una decina di metri). In questa galleria sono alloggiati sia i tubi di captazione dei torrentelli interni che quelli utilizzati per il temporaneo svuotamento del sifone (vedi Fig. 3).

Superato quest'ultimo, la cavità si amplia in una saletta, nella quale pervengono ed in cui sono captate a mezzo tubo ad Y le acque dei due rami idrologicamente attivi. Di questi, il primo corrisponde alla parte di cavità già nota od in via di esplorazione. Il secondo, invece, quasi ortogonale al precedente, sembra provenire dalla direzione «Cappella di San Bernardo» e risulta essere, per portata e relativa costanza delle acque, quello idrologicamente più importante. Purtroppo tale ramo non è attualmente accessibile che per un breve tratto in quanto, per l'abbassamento della volta, si viene a determinare un secondo tratto sifonante al momento non percorribile.

Procedendo lungo il ramo principale, ad andamento lievemente ascendente e con sezioni a galleria lungo le quali sono evidenti fenomeni di crollo, si superano dapprima, a circa 90 e 105 m. dall'ingresso, due grosse frane; si raggiunge quindi, proseguendo per una ventina di metri, un grosso masso oltre il quale dal ramo principale si diparte una diramazione secondaria semifossile di notevole interesse morfologico: il ramo del «Lago Smeraldo» (ancora non rilevato).

Inoltrandosi in questo tratto ci si trova di fronte a morfologie per il momento uniche all'interno del «Muin de Strie», in quanto qui la grotta attraversa sia pure per breve tratto un banco calcareo suborizzontale di potenza superiore al metro (la volta, ad architrave, è tuttavia per ampi tratti costituita da uno strato argillitico non carsificabile attraversato da una piccola frattura in asse con la galleria).

Dal punto di vista morfologico, si incontrano qui numerosi tratti con sezioni di tipo freatico e «sifoni» a fondo sabbioso al momento asciutti ma che si riattivano forse in caso di forti piene. Sono qui osservabili con tutta chiarezza scallops e forme erosive diverse, che sembrano testimoniare forte pressione e turbolenza delle acque di scorrimento. Aldilà di questo tratto a galleria, la grotta riprende il prevalente aspetto a diaclasi e termina, ad oltre duecento metri dall'inizio del ramo, in un'ampia e spettacolare sala a pozzo. Alla base di questa le verdi acque limpide del «Lago Smeraldo», del diametro di 4 ÷ 5 metri e della profondità di oltre due metri, in singolare contrasto cromatico con le stratificazioni suborizzontali dei livelli inferiori e con le belle concrezioni dei livelli alti della sala, vengono forse alimentate da un probabile emuntore di eccedenza a fondo sabbioso, praticabile per una cinquantina di metri. Questo da una finestra posta a 5/6 m. sul livello dell'acqua, si porta ad un torrentello che origina e chiude in sifone, senza raggiungere il lago in regime idrico ordinario.

Ripreso il ramo principale, si attraversa un tratto in diaclasi che nei punti

più stretti si riduce alla larghezza di un metro; al termine di questo «corridoio», della lunghezza di circa 48 m., si giunge ad una piccola sala di crollo, posta a 140 m. dall'ingresso, dalla quale un cunicolo permette il collegamento ad U con il ramo del «Lago Smeraldo».

Si prosegue quindi lungo una galleria piuttosto franosa e in presenza di depositi argillosi per circa una decina di metri; a partire da questo punto la grotta presenta in successione piccoli tratti con curve alternate a zig-zag di circa 90° e raggiunge infine, a circa 241 m. dall'ingresso, un'alta sala di crollo. Qui, segnalata da una forte corrente d'aria, la prosecuzione si ha lungo una diaclasi ad andamento irregolare della lunghezza di 65 m.

Dopo tale «Strettoia» si perviene ad una sala ingombra al centro da massi di crollo; oltre la frana occorre risalire con mezzi artificiali una cascata di circa 6 m.

Superato un «saltino» di circa 3 m. la grotta prosegue, con andamento suborizzontale, fino ad una nuova sala ingombra di massi e di depositi argillosi, a circa 378 m. dall'ingresso. Di qui, avanzando per una decina di metri, è possibile raggiungere la base del primo pozzo, del diametro di $4 \div 5$ m. e di altezza non inferiore a circa $30 \div 40$ m.

Proseguendo per altri dieci metri si arriva alla base del 2° pozzo, poco più ampio del precedente (∅ circa 6 m.), da questo, con possibilità di seguire un passaggio della lunghezza di circa 23 m. fino ad un fronte roccioso piuttosto pericoloso, sia un cunicolo meandriforme e fangoso il quale si porta ad una finestra po-

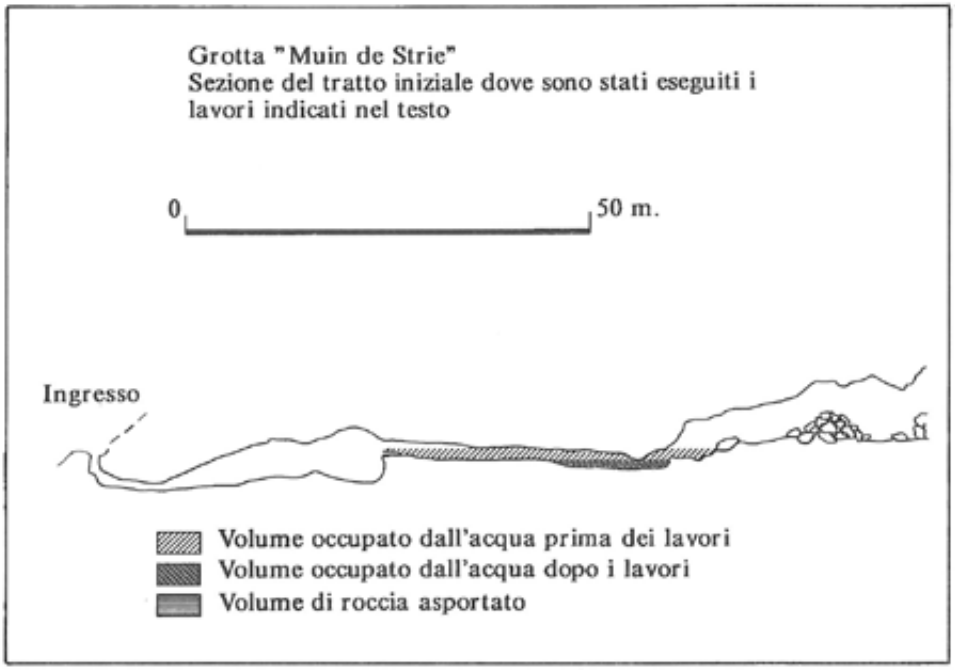


Fig. 3 - Grotta Muin de Strie. Sezione del tratto iniziale dove sono stati eseguiti i lavori indicati nel testo.

sta a 3-4 metri dal suolo, si arriva alla base del 3° pozzo, a circa 445 m. dall'ingresso, che sembra presentare in alto un andamento non verticale (prosecuzione in galleria ascendente?).

Scendendo fra i massi di uno stretto cunicolo di circa 6 m. si arriva quindi ad una biforcazione. Tralasciando il ramo sinistro, percorso da un rigagnolo e tuttora non esplorato completamente, si raggiunge, attraverso il ramo destro, dopo aver superato alcuni salti di altezza non superiore ai 2 m., una finestra posta a circa 25 m. di altezza lungo la parete del 4° e per ora ultimo grande pozzo, presentante un diametro dagli 8 ai 12 m. ed un'altezza probabilmente superiore ai 50 - 60 m. L'esplorazione di questo ramo, non conclusa visto che si è in presenza di una «finestra» contrapposta a quella di arrivo e di una prosecuzione inesplorata alla base del quarto pozzo, ha raggiunto in quest'ultimo una distanza di 504 m. dall'ingresso.

Conclusioni

Il «Muin de Strie», o meglio il suo tratto già esplorato, presenta una direzione media complessiva orientata secondo la linea ESE - ONO (Azimut 300° N circa) quasi parallela al solco torrentizio di Rio Recueso; sono tuttavia presenti biforcazioni e deviazioni ortogonali alla principale, che sembrano comunque poi riprendere dopo breve percorso la direzione del ramo già in gran parte esplorato. Verso la zona terminale la grotta, che salvo alcuni tratti di rami secondari è in condizioni vadose, presenta una morfologia a pozzi di genesi mista prevalentemente di crollo e per «erosione inversa» o, come il quarto pozzo, di arretramento per cascata (erosione regressiva alla De Matteis) e per erosione inversa agenti su aperture di frattura di origine tettonica.

La gran parte della grotta si sviluppa invece lungo diaclasi ove a causa dei numerosi crolli dovuti alle modeste caratteristiche meccaniche degli interstrati argillosi plastici alternati a strati di spessore non superiore al metro e spesso inferiori ai 50 cm di calcari marnosi e marnoso-silicei rigidi (a comportamento fragile) l'andamento in debole pendenza risulta interrotto a tratti da «saliscendi» e salti nel detrito formatosi a causa dei numerosi e frequenti crolli sia delle pareti che della volta per quasi tutto il suo sviluppo.

In questa prima fase delle ricerche risulta assai difficile ed azzardato tentare di definirne con più precisione la speleogenesi, ed in particolare l'affermare se la grotta abbia sempre presentato condizioni vadose come le attuali o non invece un periodo a circolazione «freatica»; caratteristiche di tale circolazione sono peraltro riscontrabili con chiarezza solo in un tratto del ramo laterale destro del «lago Smeraldo». D'altra parte il fatto che rimanga tuttora inesplorato quello che dovrebbe costituire il ramo, se non speleologicamente, almeno idrologicamente più importante del complesso, impone in questa prima fase una doverosa prudenza interpretativa.

Bibliografia

A.A.V.V., 1987 - *Deformazioni gravitative profonde di versante*, Atti del 2° Seminario del Gruppo informale del C.N.R., Bergamo 5 settembre 1984. Boll. Soc. Geol. It., 106, Fasc. 2.

CECERE V., LEMBO FAZIO A., 1986 - *Condizioni di sollecitazione indotte dalla presenza di una placca lapidea su un substrato deformabile*, Ass. Geot. It., XVI Conv. Naz. di Geotecnica, Bologna.

DELLA CASA G., GHELARDONI R., 1967 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*. F 84 e 85, Pontremoli e Castelnuovo ne' Monti.

ELTER P., 1960 - *I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane*, Boll. Soc. Geol. It. 79, Fasc. 2.

ELTER P., GIANNINI E., TONGIORGI M. & TREVISAN L., 1960 - *Le varie Unità tettoniche della Toscana e della Liguria orientale*. Rend. Acc. Naz. Lincei, 29.

NOSENGO S., 1970 - *Osservazioni geologiche e strutturali nella zona compresa tra la Val Reppia e il Torrente Petronio (Liguria orientale)*. Atti Ist. Univ. Genova, 7, Fasc. 2.

PASTORINO M.V., PEDEMONTE S., 1980 - *Una sorpresa nei conglomerati*, Not. Spel. Lig., num. unico, Anno 13°.

PEDEMONTE S., VASELLI C., 1989 - *Considerazioni geologiche e speleogenetiche sul pozzo del Negrin 10 Pi A1 e sulla Tana del Tesoro 12 Pi A1. e sulle fratture del M. Cravi*, Museo Civ. Storia Nat. Stazzano «Il Naturalista», 2.

ROVERETO G., 1933 - *Liguria geologica* - Mem. Soc. Geol. 2.

SACCO F., 1933 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*, Foglio 48 Pontremoli.

WAHLSTROME E., 1973 - *Tunneling rock* Elsevier Scient. Publishing Company.

ZACCAGNA D., 1925 - *Sulla geologia della valle di Vara e regioni finitime*, Mem. Acc. Lunig. Sc., 6, Fasc. 1.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 339-345.

IVAN PETROV, SPASSKA DOCEVSKA, ANNA NIKOLOVA - BONEVA *

BIORITMICA CIRCADIALE DI QUATTRO SPELEOLOGI NEL CORSO DI UN SOGGIORNO DI 30 GIORNI IN CAVERNA

RIASSUNTO - L'attuazione di un esperimento medico-biologico di trenta giorni, in una grotta, da parte di un equipaggio di quattro persone, aveva come scopo quello di seguire le modificazioni di tipo dinamico degli indici fisiologici e socio-metrici. Si trattava, in breve, di osservare per un certo periodo il bioritmo personale di un gruppo di quattro speleologi, in condizioni di completo distacco dai punti di riferimento geofisici terrestri.
Il gruppo ha contato 17 fasi bioritmiche durante l'effettivo trascorrere di 30 giorni terrestri.
Si è manifestata la tendenza al raddoppiamento delle giornate terrestri, ed a un certo accorciamento degli intervalli di tempo diurni, ma anche dei momenti di attività, con alcune variazioni a seconda della forza di ognuno.
Le fasi fondamentali del sonno e degli stati di veglia sono state sottoposte all'analisi matematica, così come i periodi di veglia tra gli intervalli per il nutrimento e tra i diversi aspetti dell'attività fisica. Infine è stata analizzata anche la serie di funzioni fisiologiche basilari dell'organismo.
Il riadattamento alle condizioni terrestri è avvenuto nel corso di 26-30 giorni.

ABSTRACT - The medical and biological experiment carried out by a group of four persons in a cave for thiry days had the aim of studying the dynamic alterations of the physiological and sociometric index.
In other words, the biorythm of the cavers has been observed for a certain time without any brenchmarks on the surface.
During this period the group counted seventeen biorythmical phases.

La sopravvivenza di uomini in caverne, in circostanze non terrestri ed isolamento completo, è conosciuta. Ci sono descritti diversi esperimenti, separatamente o in gruppo, con termini diversi del soggiorno. Ognuno di essi dà notizie sul rilievo, sul microclima e la vita nella rispettiva caverna ed inoltre sulle modificazioni funzionali di singole funzioni fisiologiche, psicologiche e sociali degli speleologi in questa situazione stressante, in condizioni straordinarie del microambiente climatico, biologico e sociale, senza misurazione oggettiva del tempo. I risultati di questi esperimenti danno un apporto di valore scientifico - teoretico e pratico per la conoscenza dell'organismo umano, della fisiologia del lavoro, dei voli cosmici e transmeridiani, dell'esercito marino ed aereo ecc.

* Accademia medica «I. P. Pavlov», cattedra di fisiologia, Plovdiv, Bulgaria

Il primo esperimento speleologico «fuori tempo» nel nostro Paese è stato condotto nella caverna «Topcika» nelle montagne Rodopi dal 21.04 al 20.05.1971. In questa caverna, a 60 m di profondità, quattro uomini: Ivan Petrov (41 anni), responsabile; Gheorghi Iolov (26 anni); Gheorghi Trichkov (23 anni); Dimiter Zhisev (21 anni); sono rimasti a condurre l'esperimento nel corso di 30 giorni. Non lontani dalla caverna, nell'albergo «Martziganitza», sono rimasti tre militari con il compito di registrare tutte le comunicazioni dal di sotto e di mantenere la radiocomunicazione con l'équipe scientifico di Plovdiv. Tra i gruppi sotto e sulla terra esisteva una comunicazione telefonica 24 ore al giorno, mentre il gruppo sulla terra contattava con l'équipe scientifica attraverso la radio.

Il compito principale del nostro esperimento consisteva nel controllo e nell'analisi di alcune funzioni fisiologiche, psicologiche e sociali dell'organismo umano nelle condizioni della caverna, senza orientamento nel tempo, in cerca di mantenere la vita e la salute di tutti i partecipanti all'esperimento, raccogliendo informazioni per queste analisi non avendo a disposizione una metodologia ed organizzazione approvata.

Nel corso del soggiorno nella caverna agivano i seguenti gruppi di fattori condizionanti:

1 - Ambiente inalterabile - microclima con temperatura costante di 12° C, umidità 100%, silenzio e buio, illuminazione ininterrotta con lampade Davy, a carburo, a gas e con fanalini elettrici. Eccitazioni monotone dall'ambiente, chiusura in spazio limitato, impossibilità di uscire dalla caverna senza ausilio altrui, condizioni difficili di vita, alimentazione uniforme, ignoranza del mondo circostante, rischi e pericoli.

2 - Completo distacco dalla ritmica annuale, stagionale e soprattutto giornaliera del nostro pianeta senza misurazione oggettiva o qualsiasi altro riferimento temporale da fuori.

3 - Micro - ambiente sociale - isolamento assoluto di piccolo gruppo di uomini su base volontaria, costretti a vivere insieme in certe circostanze, con difficoltà di compatibilità psicologica e di sopportazione.

4 - Situazione fisiologica, psichica e sociale - emozionale - stressante con carichi insoliti e disposizione preliminare.

In mancanza di riferimenti temporali il tempo viene contato dalla bioritmica personale dell'organismo, dal suo orologio personale, biologico. L'asincronismo dei ritmi esterni ed interni porta a modificazione del solito ciclo vitale oppure a un ritmo circadiale (giornaliero). Insieme a questo, l'informazione generalmente limitata ed alterata dall'insolito ambiente fisico, biologico e sociale, incide sullo stato funzionale dell'organismo, sulle capacità di adattamento e sui rapporti di correlazione - regolazione dei sistemi circolatorio, cardiovascolare, respiratorio, muscolare e nervoso. Questo riguarda i processi ricettivi ed analitico - sintetici in alcuni analizzatori e l'attività nervosa superiore in tutte le sue espressioni secondo le caratteristiche tipologiche della persona. Pur essendo piccolo, il gruppo smorza il senso di isolamento e di solitudine rafforzando nel frattempo lo stress emozionale.

Metodica dell'analisi

Per queste e altre peculiarità dell'esperimento speleologico è stato eseguito un dettagliato esame medico dei quattro partecipanti. Sono risultati tutti quanti sani. Per il soggiorno nella caverna sono stati preparati dei medicamenti per soccorso d'urgenza. Tutti i partecipanti avevano diversa esperienza ed allenamento ineguale. Inoltre, erano abbastanza differenti per le loro caratteristiche tipologiche; ma in tutti era dominante la mobilizzazione fisiologica e psichica per superare le difficoltà previste o inaspettate nel corso dell'esperimento, per portare a termine positivamente la prova di coraggio, volontà, amicizia e valenza. L'esame medico di controllo è stato eseguito dopo il ritorno ed il riadattamento.

Inoltre, prima e dopo l'esperimento, sono stati eseguiti i seguenti esami: elettrocardiografico, fonografico, sfigmografico, spirometrico, oscillometrico, audiometrico tonale, encefalografico; esami dermici ad adrenalina ed acetilcolina della reattività nervo - vascolare.

Sono stati eseguiti esami dello stato iniziale dei quattro e nel corso del soggiorno nella caverna, misurazione due e tre volte al giorno dei seguenti parametri:

1 - Temperatura del corpo - misurata dopo il risveglio, a mezzogiorno e la sera.

2 - Polso - misurato per un minuto in posizione seduta.

3 - Pressione del sangue - in posizione seduta tre volte, con sfigmomanometro a mercurio.

4 - Prova ortostatica - cambiamento del polso e della pressione del sangue in posizione giacente seguita da alzata in posizione verticale, fino al ripristino completo, tre volte.

5 - Frequenza della respirazione - per un minuto, tre volte.

6 - Apnea - misurata dopo inspirazione, in minuti secondi, due e tre volte al giorno.

7 - Analisi del sangue - eritrociti, leucociti, valore globulare, leucociti e conteggio differenziale dei leucociti con metodo Bürker, metodo Sahli e metodo microscopico, ogni 5 cicli circadiali.

8 - Ergometria - con ergorago di Mossò, due volte al giorno.

9 - Dinamometria - con dinamometro manuale separatamente per mano destra e mano sinistra, 5 prove due volte al giorno.

10 - Termografia - con canale termografico, registrando il percorso in centimetri e il numero degli errori, due volte.

11 - Riflesso visivo - a luce gialla, si ripete 15 volte, registrando il valore medio, tre volte.

12 - Estesiometria - sulla punta della lingua, su un dito e sulla schiena.

13 - Temperatura della pelle - misurata sul braccio, sull'omero e sotto la clavicola con termometro elettrico, due volte.

14 - Gusto - registrazione soggettiva della sensazione del gusto di dolce, acido, amaro e salato, con 4 soluzioni di zucchero, aceto, cloruro di sodio e chinina, ogni 4 giorni.

15 - Acutezza della vista - sensibilità e perimetro - con semplici tabelle e perimetro per i colori bianco, rosso, azzurro e verde a 90°, ogni 4 giorni.

16 - Acutezza dell'udito - per bisbiglio e discorso normale, ogni 4 giorni.

I dati ottenuti venivano registrati su una scheda speciale per facilitare la elaborazione. Nel periodo di riadattamento quotidianamente venivano controllati: numero delle respirazioni per minuto, polso, temperatura del corpo, tre volte al giorno per 30 giorni, con esami medici completi al 1°, 8° e 28° giorno.

Risultati e discussione

Al distacco dalla successione ritmica del giorno e della notte e dai cambiamenti di temperatura giornalieri, il tempo veniva contato dai bioritmi personali dell'organismo, dal proprio orologio biologico. L'orologio biologico è la capacità interna, acquisita o ereditata, degli organismi viventi di misurare il tempo. In circostanze normali la sua azione è correlata con i processi ciclici dell'ambiente esterno. I cicli giornalieri di sonno e veglia, di attività e riposo dell'uomo sono strettamente legati ai ritmi giornalieri dei processi fisiologici. Questi ultimi sono caratterizzati dalle seguenti variazioni: incremento graduale del livello delle funzioni a veglia e decremento a sonno di notte. Il livello più alto di molte funzioni fisiologiche si stabilisce alle ore 16 - 18, e il più basso alle 3 - 5. Ciò si riferisce alle curve di variazione del polso, della pressione del sangue, della temperatura, del consumo di ossigeno, liberazione di biossido di carbonio, escrementi, sali, ormoni ecc. Nel bilanciamento perpetuo e nell'adattamento all'ambiente la correlazione si realizza sotto l'influsso della successione di giorno e notte, di luce e buio, di attività e riposo, ed anche delle variazioni periodiche della temperatura ecc.

Senza questi punti di riferimento, l'orologio interno oppure il ritmo endogeno comincia a modificare il suo solito ciclo di 24 ore. Le modifiche della misurazione riguardano l'asincronicità dei ritmi esterni ed interni. I ritmi modificati si chiamano ritmi circadiali o liberi. Sono inerenti a tutti gli organismi, dagli unicellulari all'uomo. Le piante hanno i ritmi circadiali di 22 - 28 ore e la maggior parte degli animali di 23 - 25 ore. Anche l'uomo ha i ritmi circadiali di 23 - 25 ore.

Ciò viene confermato dagli esperimenti in laboratorio o sottoterra, dai voli transmeridiani e cosmici. Il mutamento del ritmo giornaliero non succede di colpo. Più nettamente si differenzia il nuovo ritmo dal solito, più fortemente espresso è il turbamento psico - fisiologico e più difficile è abituarsi a questo ritmo. Questo riguarda soprattutto il ritmo inverso: dormire di giorno e lavorare di notte.

Nel nostro esperimento, grazie al ricco regime di movimento lo scoordinamento delle funzioni passò piano, il periodo desincronismo si allungò e l'esperimento finì alla fase iniziale di stabilimento di un nuovo ciclo. Il tempo totale trascorso nella caverna, era di 30 giorni terrestri, trasformati in 17 ritmi circadiali incompleti. Gradualmente si prolunga il giorno sotterraneo ed il tempo trascorso in sonno ed in veglia. Non si può rivelare una dipendenza della durata del sonno dal periodo precedente di veglia. Il tempo trascorso in sonno varia da 8.35 ore (al 3° ritmo circadiale) a 19.35 ore (al 16° ritmo circadiale) e in veglia da 11.46 ore (al 4° ritmo circadiale) a 46.55 ore (al 17° ritmo circadiale), ed il giorno da 22.10 ore (al 5° ritmo circadiale) a 66.00 ore (al 16° ritmo circadiale). Si notano tre periodi principali della ritmica circadiale sotto terra.

I - Il primo periodo dura dal 2° al 5° ritmo circadiale. Questo è il periodo della risincronizzazione iniziale della ritmica abituale di veglia - sonno, ma mantenendo la durata totale del giorno nei limiti delle 24 ore. Ma i periodi di sonno e di veglia sono infranti. In questo periodo il gruppo sotterraneo ha prolungato la durata media del sonno di 3 ore, per conto del tempo di veglia. Se analizziamo l'orario di lavoro del periodo, vediamo che in quel tempo è trasferito e disimballato il bagaglio di 50 quintali a distanza di 250 m, nella caverna dell'accampamento sotterraneo; preparazione dell'accampamento, degli alimenti, del combustibile, dell'acqua, dell'apparecchiatura e così via. Il trasporto del bagaglio si fa in percorso difficile: argilla appiccicosa, grossi macigni instabili. Se aggiungiamo la stanchezza preliminare per il trasporto del bagaglio fino alla caverna, all'80esimo metro dentro e attraverso la rupe di 60 m, diventa ovvio che la stanchezza preliminare del periodo prima dell'inizio dell'esperimento, il lavoro prolungato e pesante del periodo iniziale in combinazione con il completo distacco dalla ritmica giornaliera, crea una tensione che viene compensata con il prolungamento della fase di sonno. In questo periodo sono registrati i valori più bassi di sonno, veglia e giorno.

II - Il secondo periodo abbraccia il tempo dal 6° al 9° ritmo circadiale. È il periodo di completa desincronizzazione dei ritmi abituali terrestri. La durata media del giorno cresce bruscamente fino a 39.58 ore. Anche in questo periodo si registra un aumento del tempo trascorso in sonno, di 1.39 ore a scapito della veglia. Cresce sia la durata totale del giorno, sia il tempo trascorso in veglia e in sonno. L'organismo sta ancora «in cerca» di un livello più stabile del tempo di veglia e di sonno nell'ambito del giorno.

III. Il terzo periodo abbraccia il tempo dei 10° - 16° ritmo circadiale. In questo periodo si raddoppia il giorno e si arriva a valori medi di 52.29 ore. Il tempo di veglia pure si prolunga (raddoppia), mentre il tempo trascorso in sonno tende ad abbassare i suoi valori e si stabilisce a 13.32 ore con un saldo negativo di 3.57 ore del sonno dovuto per tale lunghezza del giorno. Cioé il tempo di sonno in questo periodo è diminuito di circa 1/4 in condizioni di raddoppiamento assoluto del ritmo abituale di veglia e del giorno. Di stabilizzazione su questo livello attestano le variazioni giornaliere dei parametri fisiologici soggetti ad influenzarsi da parte della ritmica giornaliera, i quali si sincronizzano con quelli del ritmo sotterraneo.

Quale è il prolungamento relativo, soggettivo del tempo per gli intervalli principali di attività, registrato dal gruppo sotto terra (in classifica discendente):

1. Il maggiore prolungamento percentuale del tempo è registrato nelle conversazioni con i soldati dell'équipe di servizio - 495.47%. Ciò è del tutto naturale, tenendo presente la crescente carenza di contatti sociali nuovi e di riferimento di quanto sia fatto, di sentire l'opinione di un osservatore estraneo, di conferma del proprio valore nell'impresa.

2. Al secondo posto sta il tempo dedicato a un lavoro preferito, con il prolungamento percentuale di 359.48%.

3. Al terzo posto sta il tempo trascorso in conversazioni tra i partecipanti all'esperimento — di 357.03%. L'isolamento sociale ha per conseguenza l'accrescimento della comunicabilità (verbale).

4. Al quarto posto sta il tempo trascorso in conversazioni con l'équipe

scientifico, compilando dei test sociometrici e riferendo ciò che hanno vissuto, con prolungamento di 240.6%.

5. Al quinto posto sta l'intervallo tra colazione e pranzo — di 187.99%.

6. Al sesto posto, l'intervallo tra pranzo e cena, con aumento di 178.9%.

7. Al settimo posto, l'intervallo tra il risveglio e colazione, con aumento di 143.79%.

8. All'ottavo posto, l'intervallo dalla cena all'andare a letto con aumento di 138.37%.

9. Al nono posto sta l'esecuzione di indagini scientifiche, con minore prolungamento — 134.48%. Tutto quanto coincide con l'opinione registrata nel giornale di classifica delle attività preferite nel corso della giornata.

Il periodo di riadattazione fu seguito nel corso di 30 giorni terrestri dopo l'esperimento. Tutti i partecipanti erano costretti a coricarsi la sera alle 22.00, indipendentemente dalla voglia di dormire. Così si è rivelato il difficile ritorno al ritmo terrestre. Soggettivamente, tutti hanno registrato nei loro giornali personali la mancata voglia di dormire, l'impossibilità di addormentarsi, stando a lungo svegli. Soprattutto nella prima decade ci si addormentava una sera sì e un'altra no. È registrata durata del sonno attorno a 2-4 ore ed in alcune sere sonno mancato. Nella seconda decade il tempo medio di sonno è arrivato a 6.3 ore. Appena nella terza decade si arriva a una certa stabilizzazione.

Conclusioni

Nel corso di un soggiorno di 30 giorni in caverna di un gruppo di 4 uomini si è constatato quanto segue:

— I trenta giorni terrestri sono registrati come 17 ritmi circadiali incompleti.

— Si nota un generale aumento dei periodi di sonno, veglia e giorno, alla fine dell'esperimento il ciclo terrestre raddoppiato è uguale al ciclo circadiale.

Si sono delineati tre periodi principali: il primo — di desincronismo latente con aumento relativo del tempo di sonno. Il secondo — in cerca di un nuovo livello stabile con ancora aumentato il tempo di sonno. Il terzo periodo è con stabilito giorno terrestre raddoppiato come una soluzione temporanea nel periodo esaminato. Così raddoppiando il tempo di veglia, non avviene raddoppiamento del tempo di sonno che rimane sempre minore, nel nostro caso di 1/4.

La desincronizzazione del ciclo di sonno e veglia è accompagnato da un riadattamento degli altri ritmi fisiologici e psicologici (polso, pressione del sangue, temperatura ecc.).

L'abbreviazione soggettiva degli intervalli di tempo lunghi nel corso dell'esperimento è in rapporto diretto con l'esecuzione di attività preferita o per soddisfare le necessità di contatti sociali.

Quasi tutti i parametri fisiologici (polso, pressione del sangue ecc.) hanno rivelato un aumento verso il limite superiore delle costanti biologiche normali dell'organismo umano.

Dall'analisi matematica non si possono rilevare le correlazioni tra tempo di

veglia e tempo di sonno, nè delle variazioni della durata del giorno.

— Probabilmente il desincronismo costituisce un riflesso adattivo dell'organismo che serve per mantenere l'omeostasi in condizioni di assenza di altri regolatori di fase esterni. In queste condizioni i vari sistemi dell'organismo stabiliscono una sincronizzazione temporanea su base endogena.

— Mentre l'adattamento al ritmo terrestre raddoppiato è avvenuto in 6-8 giorni terrestri, il riadattamento, pur essendo destinato a ristabilire uno stato dell'organismo che gli è abituale (con una serie di riflessi nervosi-umorali pronti), è durato il triplo, 28 giorni, con alcune oscillazioni che si spegnevano. Questo si può spiegare con la stanchezza accumulata dall'esperimento e con lo stress emozionale che lo segue.

— Il soggiorno di 30 giorni in caverna non ha provocato aberrazioni nel funzionamento dei vari sistemi vitali dell'organismo, mentre si avverte un avvicinamento delle costanti verso il limite superiore del normale.

Le Grotte d'Italia - Atti XVI Cong. Naz. Spel.
(4) XVI, 1992-1993, pp. 347-374.

GIUSEPPE RIVALTA * & CRISTINA DONATI **

LA DISTRIBUZIONE TERMICA NELLA GROTTA DELLA SPIPOLA (Parco dei Gessi Bolognesi)

RIASSUNTO - Il Gruppo Speleologico Bolognese ha iniziato, dal 1988, una serie di rilevamenti di meteorologia ipogea nelle aree del Parco dei Gessi.
Particolare attenzione è stata rivolta alla Grotta della Spipola, in cui nell'arco di un anno sono state effettuate 391 misurazioni su 19 punti prescelti per il monitoraggio. Altri dati riguardanti le temperature ipogee sono stati raccolti e sono tuttora in fase di completamento nella Grotta laboratorio «Novella» ed in una particolare dolina del nostro sistema carsico.
Nel presente lavoro si è cercato di sintetizzare i risultati attraverso elaborazioni grafiche al computer.

ABSTRACT - The Spelaeological Group of Bologna started since 1988 a set of underground surveys of metereology in the belt called «Parco dei Gessi».
A particular care has been turned to the cave Spipola where, during a year, 391 temperatures were taken in 19 points selected for that measuring.
Other surveys about underground metereology in the laboratory-cave called Novella, in a particular «dolina» of our carst-formation, have been collected and now must be completed.
In this work they tried to sinthetize measures through computer elaboration.
A further survey has been carried out about the flora of the «dolina».

Premessa

Il Gruppo Speleologico Bolognese dal 1988 ha iniziato un'indagine sistematica riguardante le problematiche metereologiche delle aree gessose che si sviluppano attorno alla città di Bologna. In particolare è stata scelta la grotta della Spipola come soggetto di monitoraggio delle temperature ipogee misurate nell'arco di un intero anno. Questa cavità ben si presta a ricerche di questo genere grazie alla sua morfologia, al suo considerevole sviluppo ed in genere per la sua relativa comoda percorribilità.

I gessi bolognesi in cui si aprono le maggiori cavità della Regione si presentano con tutte le tipiche morfologie carsiche quali valli cieche, doline a pozzo e doline confluenti formanti ampie depressioni (di cui quella della Spipola ne è un chiaro esempio).

Il substrato stesso costituito da potenti banconate di gesso messiniano (per

* Gruppo Speleologico Bolognese - Unione Speleologica Bolognese

lo più macrocristallino) a cui sono intercalate argille marnose meriterebbe ben più approfonditi studi per quel che riguarda l'assorbimento ed il relativo «rilascio» di calore nel corso dell'anno: non è un caso che sugli altopiani gessosi si osservino delle flore semi-spontanee di tipo caldo assenti altrove: tipiche sono l'Opuntia e Sedum che crescono vicino a Villa Miserazzano, oltre a specie tipiche di ambienti di clima mediterraneo quali l'Alaterno, la Fillirea ecc.

La roccia cede lentamente il calore accumulato e ciò sicuramente viene ad influenzare il microclima sotterraneo. Al momento non possiamo quantizzare questo fatto, ma certamente riteniamo che possa essere una strada interessante da seguire in future indagini.

Nella raccolta dei dati enorme importanza risiede negli strumenti utilizzati. Infatti come giustamente ebbe ad affermare S. POLLI fin dagli anni '50 (vedi bibliografia): *«....La variazione degli elementi climatici esterni è circa 50 volte maggiore di quella dei corrispondenti elementi interni. Ne consegue che gli strumenti adoperati nelle misure ipogee dovrebbero essere circa 50 volte più sensibili di quelli adoperati alla superficie, oppure gli accorgimenti dovrebbero essere 50 volte maggiori di quelli esterni.»*

Stando così le cose oggi però ci troveremmo forse ancora senza una valida documentazione scientifica speleo-metereologica. È pur vero che la S.S.I. sta fornendo apparecchiature adeguate e precise ove si riscontrino le condizioni idonee al loro posizionamento, e ove remoto sia il rischio di furto degli strumenti stessi, per altro costosi (vedi Grotta di Onferno - Gemmano - FO) oggi in piena fase di studio.

Tuttavia, volendo essere pratici (pur non venendo meno a una certa e necessaria dose di precisione scienfifica), nella stragrande maggioranza dei casi in cui si decida di intraprendere misurazioni (ad esempio delle temperature ipogee) l'utilizzo di termometri al decimo di grado, resta a nostro parere ancora il sistema più economico e sufficientemente preciso.

Occorre ricordare che questi tipi di rilevamenti eco-climatici, alla fine, difficilmente potranno dare dei risultati assoluti ed attendibili al 100%.

Lo stesso A. CIGNA così ebbe a scrivere a riguardo nel ben noto Manuale di Speleologia:

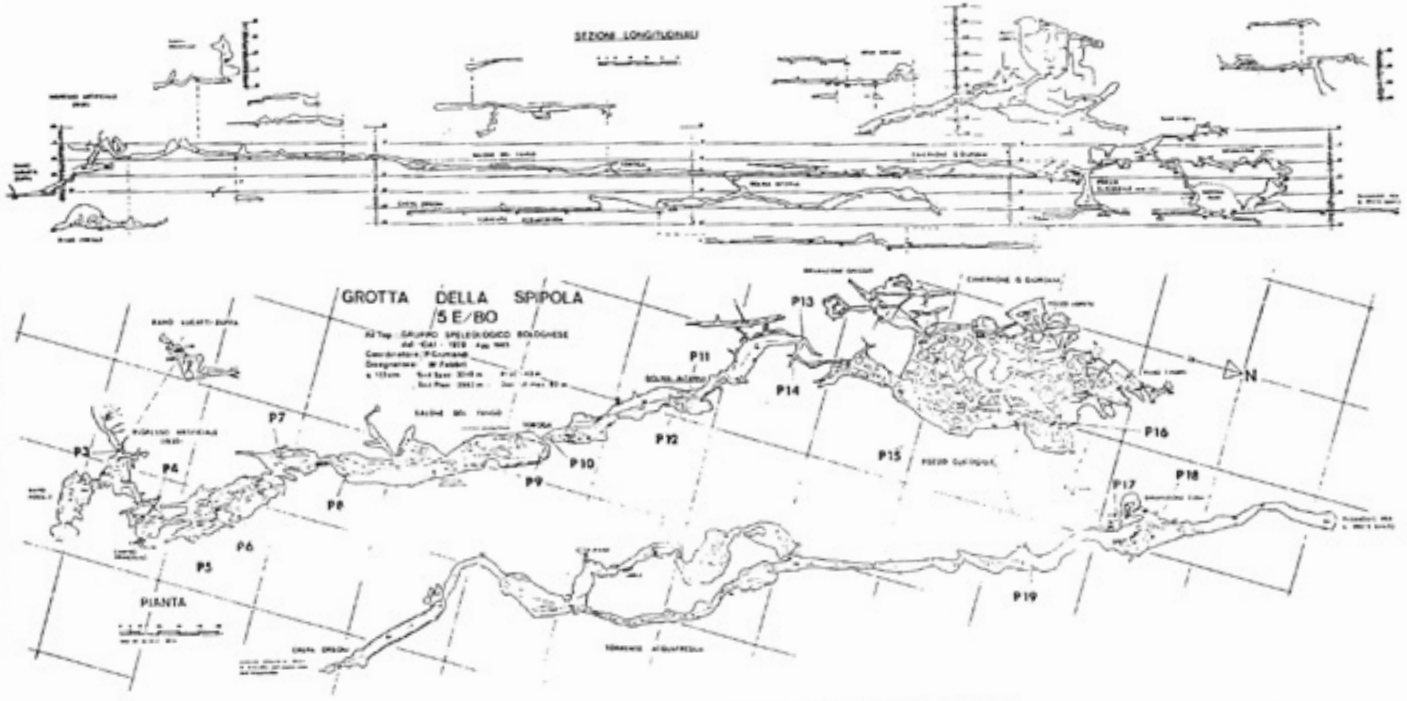
«....Si tenga comunque presente tuttavia che in pratica, questi calcoli sono soggetti ad una certa approssimazione in quanto la condizione del calore nel suolo dipende da numerosi fattori tra i quali anche la presenza dell'acqua. Questa, d'altra parte, è soggetta a fluttuazioni sia per questioni idrologiche che per le stesse variazioni di temperatura, cosicchè il problema si complica ulteriormente.»

Nel nostro caso l'arco di tempo di 1 anno prescelto ha coinciso proprio con quello che è stato considerato l'inverno più anomalo di questo secolo (seguito poi dal recente periodo invernale 89-90 altrettanto secco e temperato).

Metodologia

La metodologia adottata ha seguito i seguenti criteri:

1) Ogni uscita è stata effettuata dallo stesso «team» di persone le quali, col tempo oltre ad acquisire una notevole dimestichezza nelle misurazioni, hanno



PUNTI MISURAZIONE TEMPERATURE - RILIEVO G.S.B., ADATTATO - (DEMARIA 1990)

prodotto un «errore di rilevamento» pressochè costante e quindi poco influente ai fini del risultato.

2) Sono stati sempre usati gli stessi termometri, di buona marca e al decimo di grado - 1/10 C, previamente tarati e controllati.

3) Si sono prese le misure appena giunti sul luogo prefissato, e una volta piazzato lo strumento, ci si è allontanati lentamente per poi ritornare sul posto solo dopo il tempo ritenuto necessario.

4) Si è evitato in ogni caso di respirare in direzione del termometro.

5) In ambienti ristretti è stato usato l'elettrico spegnendo l'acetilene (per lo meno tutte le volte che è stato possibile).

6) Ad ogni uscita sono state rilevate 2 temperature esterne di riferimento lungo la dolina, ed è stato preso nota dell' ora, della data e delle condizioni metereologiche (sole, vento, pioggia ecc.).

7) Sono state annotate le eventuali tracce di fauna cavernicola e se il substrato era secco o umido.

Queste ultime informazioni saranno un contributo utile alla conoscenza della ecologia della grotta in esame, giacchè flora e fauna ipogee dipendono direttamente dai locali microclimi.

Nel periodo compreso tra il novembre 1988 ed il novembre 1989 sono state effettuate 19 uscite alla grotta della Spipola, per i rilevamenti della temperatura e secondariamente dell'umidità. Il termometro a fionda Veb Reglerweric Dresden DDR è stato utilizzato soltanto dal febbraio '89.

All'interno della cavità sono stati stabiliti 19 punti di rilevamento fissi.

Complessivamente sono state eseguite 391 misurazioni. Oggi la speleologia ha raggiunto vertici tecnologici impensabili fino a 10 anni fa; il lavoro del singolo individuo si sostituisce sempre più spesso a quello di squadra, per cui è solo con l'attività di ricerca che si può ritrovare quell'atmosfera di affiatamento e di amicizia che in fondo costituisce ancora l'ossatura di qualsiasi gruppo speleologico.

Risultati ed osservazioni:

I profili termici dei 19 punti di rilievo fissi, all'interno della grotta della Spipola, sono illustrati nelle 19 tavole che seguono.

Dall'analisi dei grafici realizzati al computer si possono fare alcune osservazioni. Se scegliamo i valori medi per ognuno dei 19 punti di rilevamento ne emerge una curva per certi versi tipica della zona, se confrontata con un grafico della Grotta Novella (zona Farneto) che risale agli anni 1976/77/78 (vedi grafico), dati da noi stessi raccolti.

Le oscillazioni termiche stagionali nei 19 punti sono sintetizzate nelle tabelle variazioni stagionali e della grotta Novella.

La città di Bologna è attraversata dall'isoterma 14 (v. bibliogr. Cigna - Manuale di Speleologia) calcolata a livello del mare (liv. medio di BO 55m slm quindi +13,7).

Il gradiente termico verticale (ovvero la diminuzione termica media dell'aria) è di circa -0,6 C per ogni 100 m di aumento di quota. (v. bibliogr. Polli). In base a ciò il primo punto di rilievo fisso (metà dolina) che si trova ad una quota di 170 m slm, dovrebbe avere una temperatura media annuale di circa +13. Detto ciò confrontiamo questo dato con quelli medi ottenuti alla Spipola. Se nel calcolo comprendiamo tutti i 19 punti di rilievo fissi avremo un valore di una temperatura media annua di +12,04 (qui rientrano le temperature esterne, le zone termovariabili e le zone termostabili). Se poi consideriamo solo i valori della zona cosidetta termostabile e isotermica (v. oltre) avremo una temperatura media di +12,37, mentre nel settore di grotta termostabile la temperatura media di +7,45, si dimostra molto al di sotto dei valori termici. Un particolare interessante che si riallaccia al discorso iniziale sulla particolarità vegetale (es. Opuntia) si ha, osservando le temperature medie registrate nella dolina, +17,25, quindi di quasi 4 C in più rispetto alla media locale.

Ora osserviamo attentamente i grafici dei singoli punti di rilievo. Ne emergono alcune peculiarità interessanti anche se purtroppo mancano i regolari rilevamenti di umidità.

1) **Metà Dolina:**
temp. min. in gen. (-0,5 C) - temp. media + 18,5 - temp. max. in agos. (+30,5) - vi è crescita pressochè costante dalla fine di aprile (+14,4) a metà agosto (+30,5) e poi discende con forti escursioni tra dic. e aprile. Qui l'escursione annua è di oltre 30 C

2) **Inizio Bosco:**
temp. min. in gen. (-1) - temp. med. +16 - temp. max. giugno (+26,5) e agosto (+28)

Il profilo termico è meno regolare del punto 1

L'escursione annua è di 27 C

3) **Entrata:**
la misurazione è stata fatta a m. 1 all'interno dell'ingresso della grotta.
temp. min. in gen. (-1) - temp. media +7,5 - temp. max. in sett. (+20,7)

Da gennaio alla fine di giugno si assiste ad una crescita progressiva, poi dopo un calo si osserva una ripresa con valori relativamente elevati fino a settembre. È da notare che l'ingresso della cavità si apre nel versante S/E della dolina e quindi più esposto al sole rispetto ad altre zone. L'escursione termica annua è di +21 C.

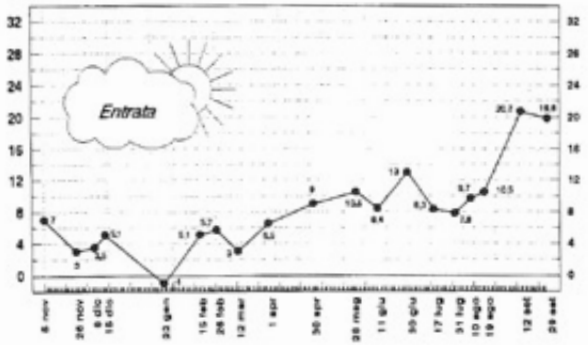
Umidità relativa registrata a fine febbraio è stata del 36% la minima, la massima a fine luglio del 93% (all'esterno era piovuto per diversi giorni).

4) **Dopo 2 scale:**
temp. min. in febbr. (+1,3) - temp. media +6 - temp. max. in giugno (+9,2)

Il profilo è estremamente altalenante. Si nota comunque che mentre all'in-

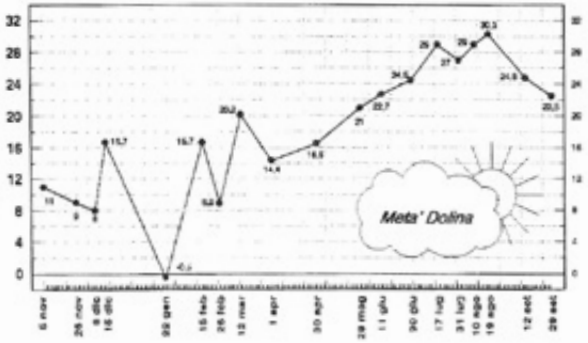
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89

Gradi °C



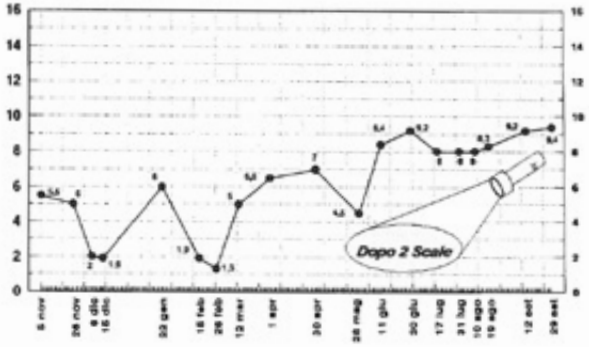
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89

Gradi °C



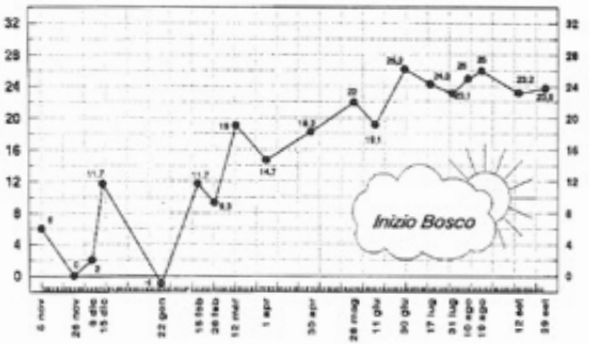
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89

Gradi °C



Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89

Gradi °C



gresso (3) è -1 C qui il momento più freddo è il 26 febbraio (questo ritardo meriterebbe nuove indagini).

L'escursione termica annua è di +7,9 .

5) **Punto 9 del rilievo:**

temp. min. in marzo (+5,1) - temp. media temp. max. in agosto (+10,4) +7,4

L'ipotetica onda termica sembra avanzare mantenendo 1 mese di ritardo rispetto alle posizioni precedenti.

L'escursione termica annua è di +4,3 .

6) **Punto senza nome:**

temp. min. a fine febbraio (dato anomalo da verificare con successive indagini) (+ 5,7) - temp. max. in agosto (+10,5) - temp. media +8,9

In questa zona anche negli anni precedenti abbiamo notato colonie di chirotteri in letargo nei mesi freddi.

L'escursione termica annua è di +4,8.

Umidità relativa è stata in aprile e maggio sui valori dell'88-90%.

7) **Passaggio acquoso:**

temp. min. a febbr. (+8,7) - temp. media temp. max. a dicembre (+12) +10,3

L'andamento termico per la prima volta mostra un massimo in dicembre.

L'escursione termica annua è di 3,2.

Qui ci troviamo nell'area di passaggio tra il settore termovariabile e settore isotermico.

8) **Inizio Sala Fango:**

temp. min. fine aprile (+9) - temp. media temp. max. agosto (+12,2) +10,9

Si notano almeno 5 picchi di temperature vicine alla massima.

L'escursione termica media annua è di 3,2.

9) **Toboga:**

le misurazioni sono riferite all'imboccatura del cunicolo, nella parete alta e di fondo del Salone del Fango.

temp. min. inizio aprile (+10,2) - temp. media temp. max. in gennaio (+13) +11,7

Presenti almeno 5 picchi di temperature vicino alla massima. L'escursione termica annua è 2,6: questo valore da qui in poi (salvo alcune eccezioni) sarà l'oscillazione termica tipica della parte profonda della cavità in esame.

Umidità in febbraio 100% e in aprile 94%.

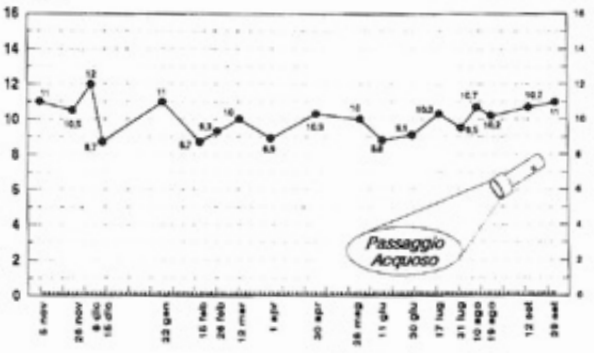
10) **Fine Toboga:**

si è all'inizio della Sala della Dolina Interna, a pochi metri dallo sbocco del Toboga.

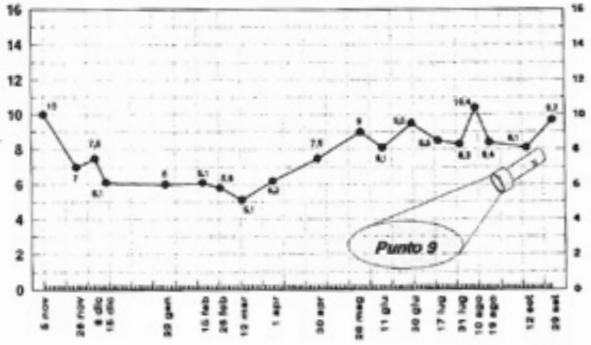
temp. min.-in febbr. e dic. (+10,5) - temp. media temp. max.-genn.e maggio (+14,5 e +12,1 +13,9). Questi dati sembrano un po' anomali.

L'escursione annua è di 4 C. La zona è soggetta a stagionali correnti d'aria a causa del restringersi della cavità.

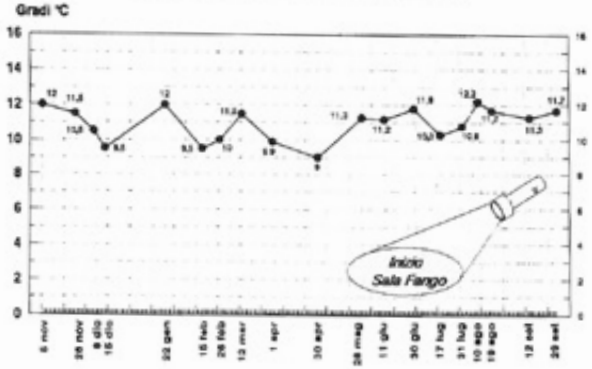
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



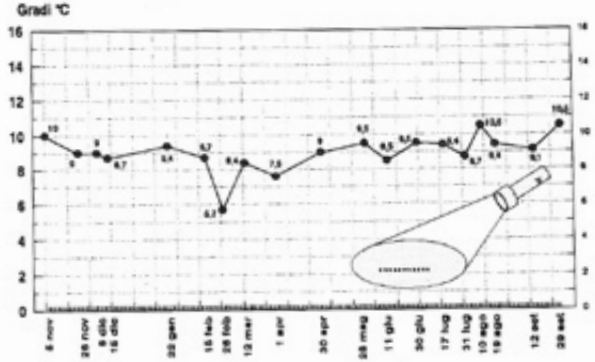
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



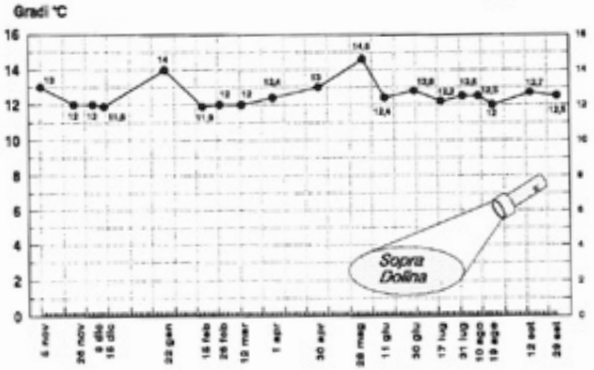
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



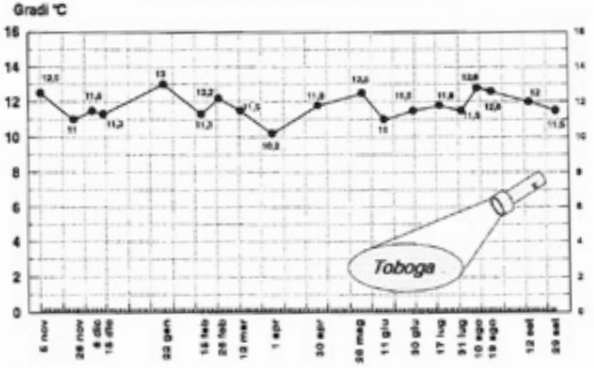
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



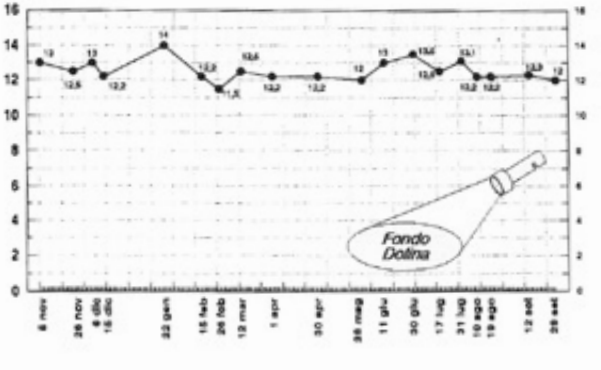
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



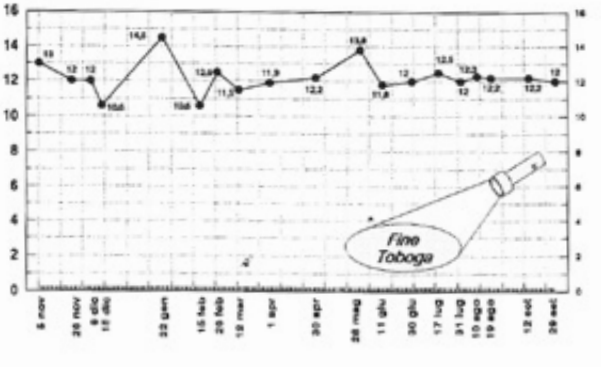
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



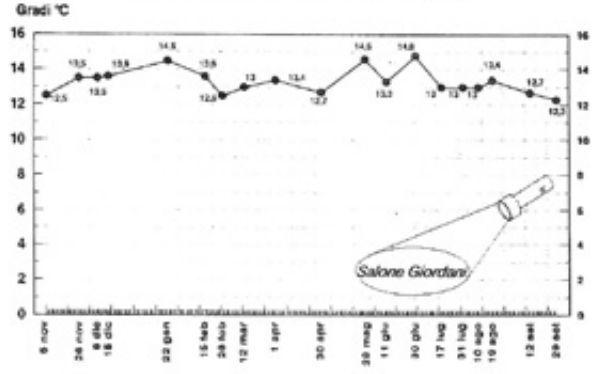
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



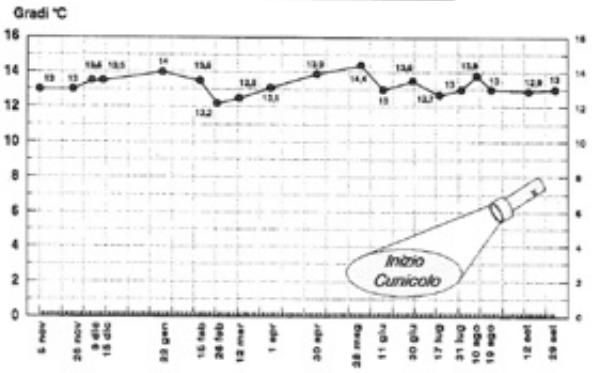
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



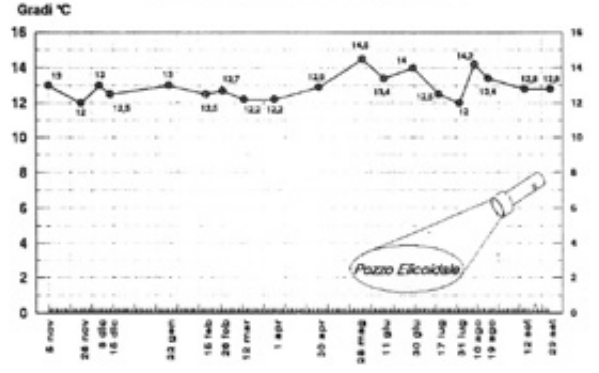
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



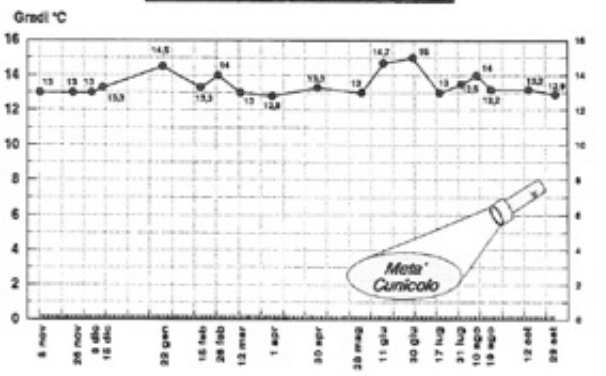
Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89



11) **Sopra Dolina Interna:**
temp. min. in nov. dic. febbr. marzo giugno lugl. agosto sett. è livellata intorno ai +12-12,4. - temp. max. in genn. e mag. (+14,5)

La temp. media è di +12,5.

L'escursione termica annua è di 2,6.

L'umidità mediamente nel periodo da maggio a settembre è del 91,5%.

12) **Fondo Dolina:**
stesse condizioni registrate al punto 11.

Temperature medie +12,5 ed escursione termica annua +2,5.

13) **Inizio cunicolo:**
temp. min.-febbr. (+12,2) - temp. media +13,2 - temp. max.-maggio (+14,4)

L'andamento termico è abbastanza uniforme vicino a questo punto, il cunicolo è periodicamente interessato da correnti d'aria.

L'escursione termica annua è di 2,2. Umidità in aprile 94%.

14) **Metà cunicolo:**
i valori sono simili al punto 13 con la temperatura media di 13,4. Occorre però tenere presente che questo è il punto più difficoltoso per quel che riguarda la raccolta dei dati, a causa della particolare morfologia del cunicolo.

L'escursione termica annua è di 2,2.

15) **Salone Giordani:**
si è nel centro del salone (masso del carburo).
temp. min.- ottobre (+12,3) temp. media +13,3 - temp. max.- giugno (+14,8)

L'escursione termica annua è di 2,5.

Si è in piena zona termostabile lontano da influenze dirette stagionali.

16) **Pozzo Elicoidale:**
temp. min.- febbr. e mar. (+12,2) - temp. nov. e luglio (+12) media temp. max.- in mag. (+14,5). Vi è +12,9 un rialzo anche in agosto, però di difficile interpretazione.

L'escursione termica annua è 2,5.

L'umidità media è 92,6%

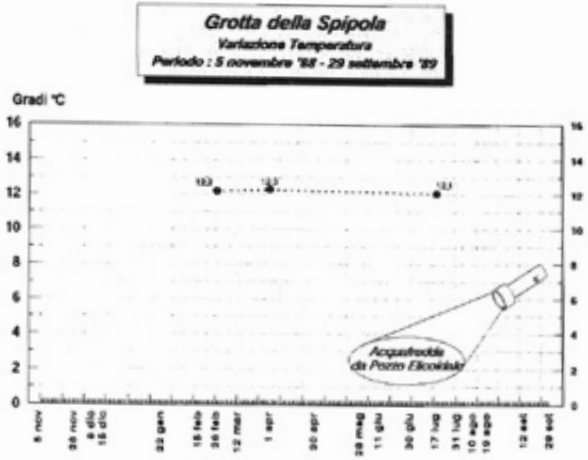
Nonostante il collegamento col sistema carsico inferiore dell'Acquafredda, l'aria qui in alto mantiene temperature su valori abbastanza costanti.

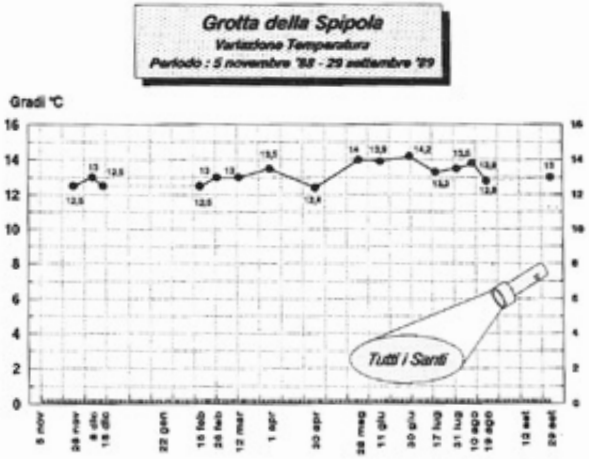
17) **Tutti i Santi:**
i dati riguardano solo 16 rilievi, rispetto ai 19 fatti fin qui.
temp. min.-feb. apr. nov. temp. (+12,4 - 12,5) - media temp. max.- mag. e giugno + 13,1 (+14 - 14,2)

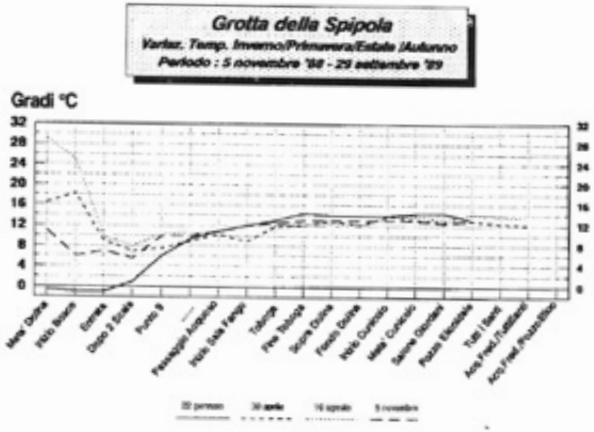
L'escursione termica annua è di 1,8.

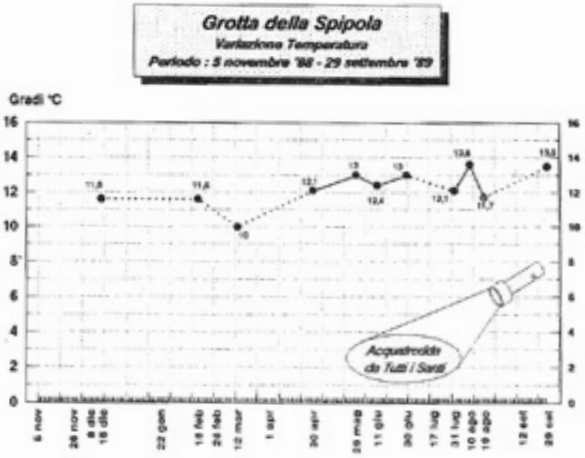
È il punto più isotermico della cavità.

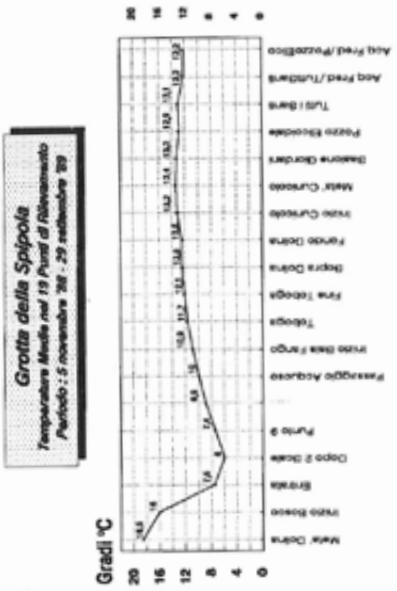
18) **Acquafredda:**
Solo 11 rilievi effettuati. I dati sono da Tutti i Santi: scarsi, tuttavia si ha una tem-

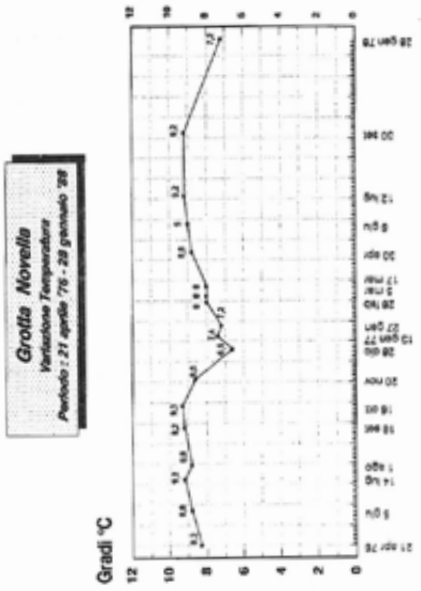

Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89
Gradi °C
Acquafredda
da Pozzo Elicoidale


Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89
Gradi °C
Tutti i Santi


Grotta della Spipola
Variaz. Temp. Inverno/Primavera/Estate /Autunno
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89
Gradi °C


Grotta della Spipola
Variazione Temperatura
Periodo : 5 novembre '88 - 29 settembre '89
Gradi °C
Acquafredda
da Tutti i Santi





peratura media di 12,2, ed una umidità media del 94%. L'escursione termica è di 3,6, che considerando la zona si può ritenere poco attendibile.

19) **Acquafredda**

Solo 3 rilievi fatti. Dati scarsi. da Pozzo Elicoidale: Temperatura media +12,2.

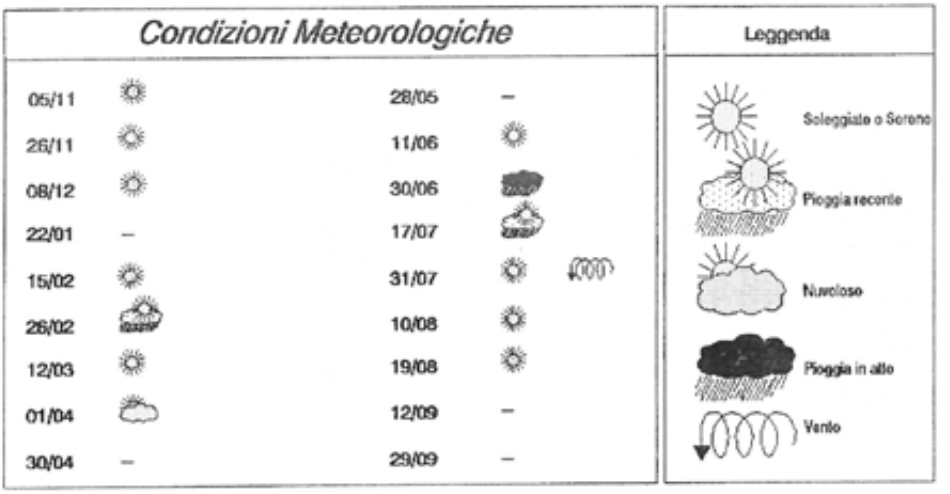
Conclusioni:

Da quanto esaminato risulta che nella Grotta della Spipola esiste una zona abbastanza interna (intorno ai 100 m dall'ingresso) in cui si osserva il passaggio da un tipo di profilo termovariabile ad uno isotermico. Quest'ultimo si definisce chiaramente dalla fine del Salone del Fango in poi con escursioni termiche annue del valore di 2,3° C appena.

Nel tratto termovariabile della Grotta si potrebbe avanzare l'ipotesi di una così detta «onda termica» propagantesi nel terreno. Proprio nella zona di passaggio a condizioni di isotermia, si sono osservati negli ultimi anni raggruppamenti di chirotteri durante il periodo invernale.

Per altro la presenza di aracnidi del genere Nesticus è stato accertato solo nel settore più profondo della cavità (oltre il Toboga) ed in particolare nelle pareti meno frequentate del Salone Giordani. Ciò è una ulteriore testimonianza della spiccata entroglofilia di questo gruppo di ragni.

Il rilevamento di temperature all'interno della grotta (possibilmente associato ai dati di umidità) si è quindi dimostrato ancora una volta utile come strumento adatto ad una migliore conoscenza della biocenosi cavernicola e dall'ecosistema cavernicolo in generale.



Ringraziamenti

Si ringraziano particolarmente i soci Danilo Demaria e Guido Tozzola, che con noi hanno condotto a termine questa indagine dimostrando ancora una volta che, quando esistono obiettivi precisi da raggiungere, la passione aiuta a superare gli immancabili momenti di scoramento, ben noti a tutti coloro che sono abituati a lavorare in grotta con impegni analoghi (rilievi, foto, biologia ecc.).

Si ringrazia, inoltre, Silvano Rossi per le elaborazioni eseguite su computer Honeywell Bull con programma Pro Free Lance.

Bibliografia:

AA.V.V. Vari, *Manuale di Speleologia* a cura della S.S.I. Longanesi, Milano 1978.

CARSLAW H.S., JAEGER J.C., 1959 - *Conduction of Heat in Solids*, Claredon Press, Oxford.

CIGNA A., 1957 - *Sulla perturbazione dovuta alla presenza dell'operatore nelle misurazioni termostatiche ipogee*, «Rass. Speleolo. It.» 0 (2), pp. 159-164.

CIGNA A., 1958 - *Prime ricerche meteorologiche nella Grotta di Bossea (Cuneo)*, Atti VIII Congr. Naz. Speleol. Como 1956, Mem. IV, «Rass. Speleol. It.» 2, pp. 191-201.

CIGNA A., 1961 - *Air temperature distributions near the entrance of caves*, Atti Simp. Int. Spel. Varenna 1960, Mem. V. «Rass. Speleol. It.» 2, pp. 159-267.

CIGNA A., 1961 - *La meteorologia nelle grotte*, Atti Conv. di Spel. «Italia '61», Torino.

CIGNA A., 1967 - *An analytical study of air circulation in caves*, «In. Journal Speleology» 3 (1+2), pp. 41-54.

DESIO A., 1959 - *Geologia applicata all'ingegneria*, Hoepli, Milano.

LIST R.J., 1958 - *Smithsonian Meterological Tables*, Smithsonian Inst. Publ. 4014, Washington, pp. 302-304.

MOORE G.W., NICHOLAS G., 1964 - *Speleology, D.C. Heath and Co.*, Boston, pp. 1-120.

PIPAN L., 1956 - *Sulla ricerca della temperatura media per le livellazioni barometriche sotterranee*, Atti VI Congr. Naz. di Speleologia, Trieste 1954, pp. 219-224.

PLUMER W.T., 1969 - *Infrasonic Resonances in Natural Underground Cavities*. «J. Acoustical Soc America» 46 (5), pp. 1074-1080.

POLLI S., 1961 - *Il clima delle doline del Carso Triestino*. Atti XVIII. Cong. Geografico Ital., Trieste.

TROMBE F., 1952 - *Traite de Speleologie*, Payot, Paris, pp. 1-376.

APPENDICE

CLAUDIA GASPARINI

LA FENOLOGIA DI ALCUNI ARBUSTI ED ALBERI VEGETANTI NELLA DOLINA DELLA SPIPOLA*

1. Premessa

Le cause dei molteplici aspetti vegetazionali che caratterizzano le doline possono essere ricercate nelle complesse relazioni microclimatico-edafiche, così varie per effetto delle forme morfologiche determinate dal carsismo.

Le doline si presentano come infossamenti del terreno a forma di imbuto, di larghezza e profondità variabili da qualche metro a centinaia di metri, con al loro fondo un inghiottitoio che mette in comunicazione una cavità sotterranea, con particolari condizioni di temperatura ed umidità, con l'ambiente esterno.

Poichè, entro certi limiti, i fattori ecologici più determinanti per la vegetazione di questi ambienti risultano essere di natura climatica anzichè edafica, si è ritenuto opportuno soffermarsi su questo preciso aspetto, individuando nella fenologia della vegetazione presente e variamente distribuita in una dolina, un interessante parametro di lettura del campo di variabilità del microclima. Gli stadi fenologici sono infatti l'indice macroscopico di importanti processi endogeni delle piante che si manifestano sotto l'influenza di fattori fisici esterni, tra cui le condizioni climatiche; per cui la fenologia, scienza che osserva le fasi (stadi fenologici) dei cicli vitali di piante (ed animali) nella loro decorrenza temporale durante l'anno (LIETH, 1970), può essere utilizzata per studiare indirettamente il microclima di un particolare ambiente. La comunità vegetale oggetto di questo studio è il bosco che ricopre il versante ad esposizione Sud-Ovest della Dolina della Spipola.

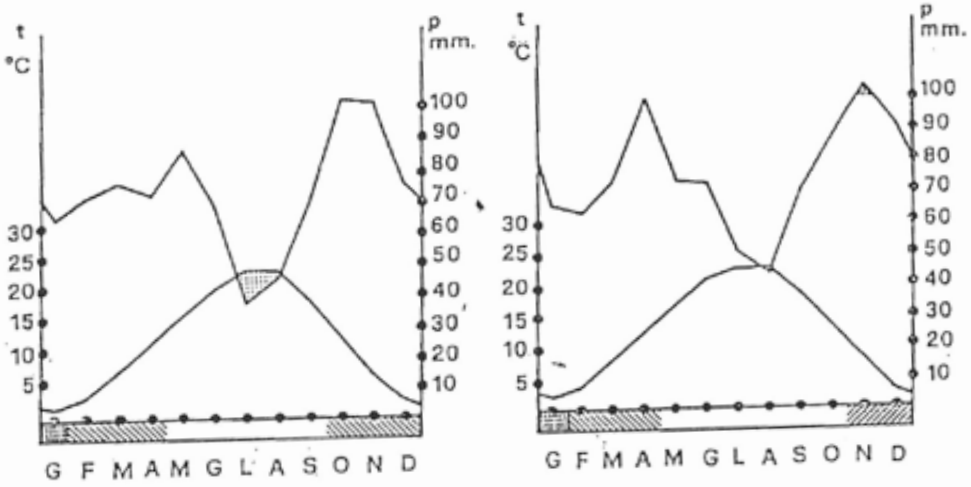
2. L'ambiente naturale

La Dolina della Spipola è situata in località Croara, nel Comune di San Lazzaro di Savena, nella provincia di Bologna. Essa è caratterizzata da un'altitudine media intorno ai 200 m slm.

Geologicamente la zona è costituita dagli affioramenti gessosi di età messiniana (Miocene), noti anche come formazione gessoso-solfifera, che imprimono il tipico paesaggio carsico alla morfologia locale.

* La ricerca è stata promossa del Centro Villa Ghigi e si inserisce nel progetto di Area didattica nel Parco dei Gessi Bolognesi

Sopra: la dolina della Spipola.
Sotto: la grotta della Spipola.



Periodo osservazioni termometriche* (in anni)	1926-1955	1951-1971
Periodo osservazioni pluviometriche (in anni)	1921-1950	1951-1971
Temperatura media annua (in °C)	+ 13,2	+ 13,1
Precipitazioni medie annuali (in mm)	893	925
Precipitazione annuale massima (in mm)	1282	1277
(anno)	1937	1951
Precipitazione annuale minima (in mm)	520	620
(anno)	1938	1970
Temperatura massima assoluta (in °C)	+39,3	+ 39,3
(anno)	1952	1952
Media temperature massime mese più caldo (in °C)	+34,3	+ 34,8
(mese)	luglio	luglio
Escursione termica annua (in °C)	+ 21,9	+ 21,1
Media temperature minime mese più freddo (in °C)	— 6,7	— 7,8
(mese)	gennaio	gennaio
Temperatura minima assoluta (in °C)	— 14,2	— 16,3
(anno)	1929	1963
Media temperature minime annue assolute (in °C)	— 8,5	— 9,2
Temperatura media del mese più freddo (in °C)	+ 2,0	+ 2,1

Interpolazione dalle stazioni di Bologna e Porretta Terme.

Fig. 1 - Diagramma climatico di Bagnouls e Gaussen per Sasso Marconi.

L'idrografia di superficie è quasi totalmente assente.

La sua morfologia è caratterizzata da un versante settentrionale piuttosto ripido e da un versante meridionale che ha la pendenza delle stratificazioni e tende comunque ad avere forme attenuate. In essa sono presenti numerose doline minori. L'ingresso della cavità presente al suo fondo è situata a 135 m slm. Altri ingressi di cavità che comunicano con il sistema principale sono presenti lungo i versanti della dolina.

Il clima della zona è caratterizzato da inverni piuttosto freddi ed estati calde. Il grafico di Bagnouls e Gaussen (Fig. 1), relativo alla collina interna della provincia di Bologna evidenzia che, nel ventennio 1951-71, le precipitazioni sono state di 925 mm all'anno. Le variazioni di temperatura risultano notevoli, con un'escursione termica di 21 °C per il ventennio considerato.

Si riporta anche l'andamento pluviotermico dell'anno 1989 e dei primi mesi del 1990, relativo alla vicina stazione di Settefonti (prov. di Bologna) (Figg. 2, 3, Tab. 1). Si osserva che la temperatura media mensile è di 11,7°C. I mesi più freddi risultano gennaio, febbraio e dicembre con medie mensili rispettivamente di 2,3° C; 6,1° C; 3,3° C. Il periodo più caldo è quello dei mesi di luglio e agosto con medie mensili di 20,6°C e 21,1°C. Il mese con la temperatura minima più bassa è gennaio con -5,6° C, mentre il mese con la temperatura più alta è agosto con 28,6° C.

Le precipitazioni sono di 502,2 mm con il loro massimo (169,2 mm) nel mese di settembre. Quest'ultimo anno è caratterizzato da tre periodi di aridità (gennaio, febbraio - giugno, luglio - ottobre, dicembre).

La vegetazione risulta notevolemente influenzata dal fenomeno carsico. Nella dolina, per un fenomeno di inversione termica, si riscontrano specie microterme caratteristiche di quote più elevate. Si tenga presente a questo proposito che POLLI (1961) ha valutato per le doline un gradiente termico medio di 7°C/100 m di profondità. Questo valore risulta 12 volte superiore a quello che si verifica in ascensione (0,6°C/100): ciò significa che scendere in una dolina per 50 m equivale

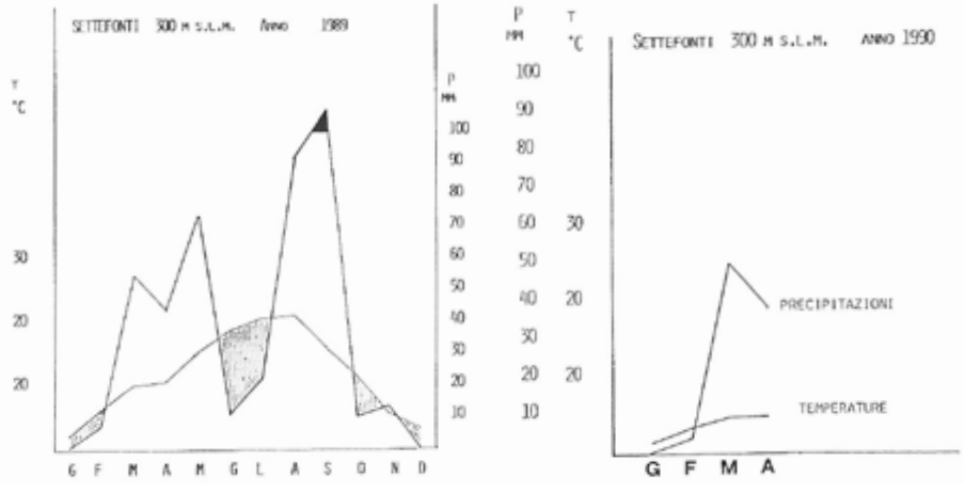


Fig. 2 - Diagramma climatico di Bagnouls e Gaussen per Settefonti.

Fig. 3 - Dati pluviometrici relativi ai primi mesi del 1990.

TEMPERATURE MEDIE MENSILI DELLE TEMPERATURE MEDIE, MINIME E MASSIME GIORNALIERE (ESPRESSE IN °C)

ANNO 1989	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO 1990	G	F	M	A
T. MEDIE	2,3	5,1	10,1	10,8	15,4	18	20,6	21,1	16,1	11,6	5,5	3,3		3,1	7	9,5	9,7
T. MINIME	-1,2	2,8	6,2	7,4	11,3	13,2	16,3	16,5	13	8,3	3	1		-2	3,3	5,3	6,1
T. MASSIME	6,7	10,1	13,9	14,8	19,9	23,7	25,5	25,8	20,7	15,5	8,7	6,9		6,9	11,2	14,1	13,9

TEMPERATURA MINIMA E MASSIMA ASSOLUTA MENSILE

T. MINIMA	-5,6	-4,7	2,4	4,6	7,7	7,7	12,8	10	8,9	4,7	-0,5	-5		-7	-2,7	-1,6	3,2
T. MASSIMA	13,4	15,3	20,3	18,6	24,6	28,5	29,4	29,6	24	20,3	18,6	13,3		19,7	19,1	21,4	20,5

PRECIPITAZIONE TOTALE MENSILE, MASSIMA PRECIPITAZIONE GIORNALIERA, NUMERO DI GIORNI CON PIOGGIA

PRECIP. TOT. (mm)	0,8	7,0	55,4	44,4	74	11,2	22,2	92,2	169,2	30,6	14	6,8		1,2	9,2	105	77
PRECIP. MASS. (mm)	0,8	4,2	26,8	8	31,6	3,6	13	40,4	117	3,8	3,4	0,4		0,6	6,8	44,6	16,8
N° GIORNI PIOGGIA	1	4	10	14	5	6	6	7	10	5	9	2		3	3	6	19

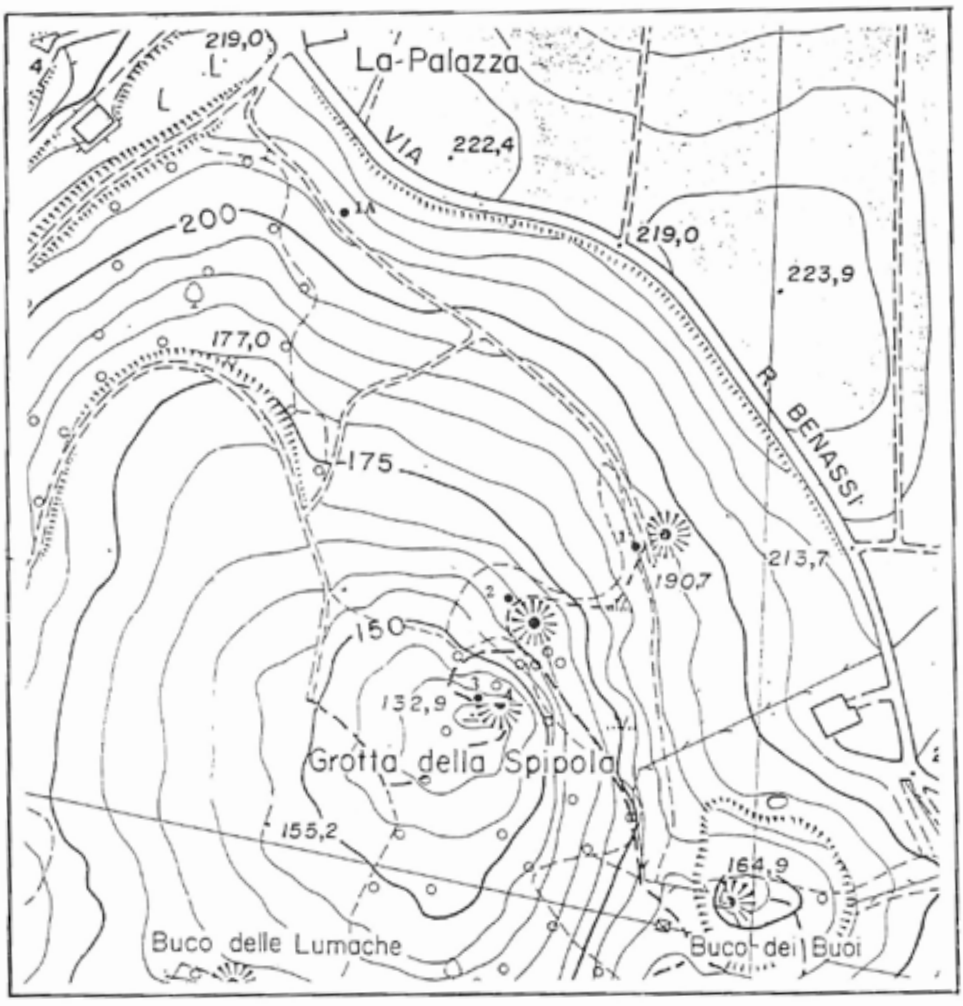


Fig. 4 - Localizzazione delle stazioni di osservazione.

a risalire un rilievo di 50 m × 12 = 600 m. Dove la roccia gessosa è affiorante, nei versanti ad esposizione Sud, si rinvengono invece specie tipiche di climi più caldi.

Anche la tipologia dele formazioni forestali risente della morfologia carsica. Esse sono tutte inquadrabili, da un punto di vista fitosociologico, nella classe *Querco-Fagetea* e nell'ordine *Quercetalia pubescentis* e solo a livello di alleanza possono essere distinti e cioè ascritti, quelli termoxerofili al *Quercion pubescentis* e quelli mesofili all'*Orno-ostryon*, a seconda che occupino rispettivamente i versanti esposti a Sud o i bordi delle doline, oppure i versanti freschi o il fondo delle doline (CORBETTA, 1972). Si tratta di boschi intensamente utilizzati dall'uomo, in maggioranza governati a ceduo semplice con taglio raso e riserva di matricine.

Le «stazioni di osservazione» (Figg. 4, 5) prescelte interessano il versante ad esposizione Sud della dolina, e sono situate rispettivamente sul bordo della dolina, a metà e sul fondo. Il dislivello tra la stazione più alta e quella più bassa è di 55 m. Sono tutte caratterizzate da una notevole pendenza e dalla presenza di affioramenti della roccia gessosa. La stazione situata a metà versante (n° 2) è caratterizzata dalla presenza di uno degli ingressi naturali del sistema sotterraneo Spipola-Acquafredda. La composizione specifica del bosco risulta differente nelle tre stazioni. Nelle stazioni n° 1 e n° 2 lo strato arboreo è costituito prevalentemente dalla roverella; seguono in minore numero il cerro, l'olmo, l'acero campestre e il sorbo degli uccellatori. Nella stazione n° 3 domina la robinia.

Il piano arbustivo e quello erbaceo evidenziano meglio le differenze legate al mutare del microclima alle diverse altitudini. Le stazioni n° 2 e n° 3, più fresche, presentano nello strato arbustivo il nocciolo. Nella stazione n° 3 compare anche il sambuco, specie nitrofila strettamente legata alla presenza della robinia. Nella stazione sono presenti nello strato erbaceo le specie microterme, caratteristiche di quote più elevate, quali *Pulmonaria vallarsae* e *Anemone hepatica*.

3. Metodologia delle osservazioni

Le osservazioni fenologiche sono state limitate, per ora, al fenomeno della fioritura.

Per la individuazione degli stadi di fioritura si è fatto uso della scala proposta da Marcello (1957) (Tab. 2). La procedura di rilevamento è consistita nell'attribuire ad ogni specie osservata uno degli stadi fenologici secondo un criterio di prevalenza numerica: ad una popolazione di una data specie è stata attribuita una certa fenofase, quando questa compare in oltre il 70% degli individui. Le osservazioni sono state compiute nel periodo febbraio-maggio, con periodicità settimanale. I rilievi sono stati eseguiti in quattro stazioni di osservazione, ubicati rispettivamente all'esterno, alla sommità, a metà e sul fondo della dolina. Le tre stazioni ubicate dentro alla dolina sono state scelte con la medesima esposizione. La scelta delle stazioni è ricaduta inoltre dove il bosco possiede caratteristiche di densità e struttura omogenee.

Le specie su cui effettuare i rilievi fenologici dovevano essere in possesso dei seguenti requisiti: essere a fioritura primaverile, ed essere presenti in almeno due stazioni di osservazione. Da questa selezione sono state individuate le seguenti specie:

nocciolo (*Corylus avellana*)
olmo (*Ulmus campestris*)
roverella (*Quercus pubescens*)
acero campestre (*Acer campestre*)
biancospino (*Crataegus monogyna*)
prugnolo (*Prunus spinosa*)

STAZIONE N. 1

altitudine: 190 m slm.
esposizione: W-SW
pendenza: elevata
rocciosità: abbondante

RILEVAMENTO FLORISTICO (superficie 50 mq)

STRATO ARBOREO (altezza 10 m)

5. Quercus pubescens
3. Ulmus campestris
1. Acer campestre
1. Quercus cerris

STRATO ARBUSTIVO (altezza 3-1 m)

3. Ulmus campestris
3. Crataegus monogyna
3. Cornus sanguinea
2. Prunus spinosa
1. Euonymus europaeus

STRATO ERBACEO (altezza 1 m)

5. Hedera elix
2. Cornus sanguinea
2. Ulmus campestris
2. Ligustrum vulgare
2. Rubus sp.
1. Viola canina
1. Taxus communis

STAZIONE N. 2

altitudine: 165 m slm.
esposizione: S-W
pendenza: elevata
rocciosità: abbondante
Presenza di un inghiottitoio.

RILEVAMENTO FLORISTICO (superficie 50 mq)

STRATO ARBOREO (altezza 10 m)

5. Quercus pubescens
1. Acer campestre
1. Ulmus campestris
1. Sorbus aucuparia

STRATO ARBUSTIVO (altezza 3-1 m)

4. Corylus avellana
3. Crataegus monogyna
3. Cytisus sessilifolius
3. Cornus sanguinea
3. Rosa sp.
3. Asparagus acutifolius
3. Prunus spinosa
1. Quercus pubescens
1. Ulmus campestris

STRATO ERBACEO (altezza 1 m)

4. Hedera elix
2. Clematis vitalba
1. Primula vulgaris
1. Taxus communis
1. Crataegus monogyna
1. Cytisus sessilifolius
1. Quercus pubescens

STAZIONE N.3

altitudine: 135m slm.
esposizione: S-SW
pendenza: elevata
rocciosità: abbondante

RILEVAMENTO FLORISTICO (superficie 50 mq)

STRATO ARBOREO (altezza 10 m)

5. Robinia pseudacacia
2. Quercus pubescens
1. Quercus cerris
1. Ulmus campestris

STRATO ARBUSTIVO (altezza 3-1 m)

4. Cornus sanguinea
3. Euonymus europaeus
3. Crataegus monogyna
1. Sorbucus nigra
+ Prunus spinosa

STRATO ERBACEO (altezza 1 m)

4. Hedera elix
3. Viola canina
2. Pulmonaria officinalis
2. Cornus sanguinea
2. Buglossoides purpurocaerulea
1. Arum italicum
1. Ranunculus repens
1. Anthriscus sp.
+ Galium sp.
+ Helleborus bocconei
+ Taxus communis
+ Anemone hepatica

Fig. 5 - Descrizione delle stazioni di osservazione.

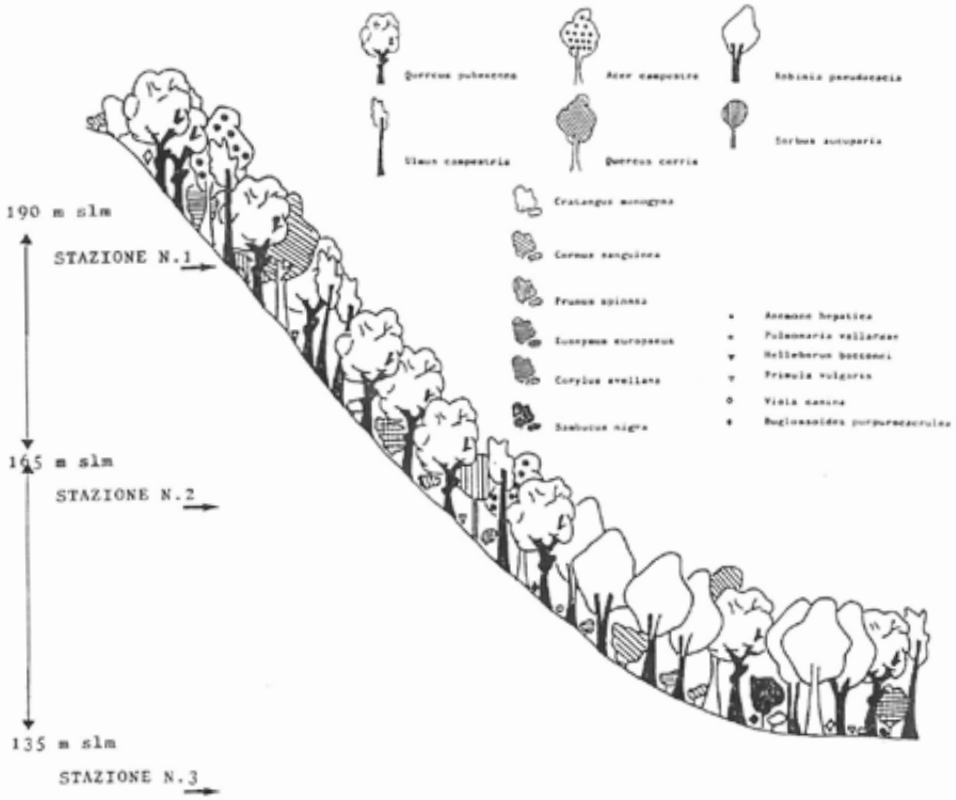
1	$\overline{000}$	:	assenza del fenomeno fioritura
2	+00	:	inizio del fenomeno, fiori in boccio
3	++0	:	bocci e fiori aperti
4	+++	:	piena fioritura
5	0++	:	inizio sfioritura
6	00+	:	completa sfioritura
7	$\underline{000}$	:	fine del fenomeno

+	specie sporadica a copertura trascurabile
1	specie frequente ma con copertura inferiore al 5%
2	specie con copertura tra il 5% ed il 25%
3	specie con copertura tra il 25% ed il 50%
4	specie con copertura tra il 50% ed il 75%
5	specie con copertura superiore al 75%

Tab. 2 e 3 - Chiave generativa proposta da Marcello (1957) e scale quantitative utilizzate nei rilevamenti (Braun-Blanquet).

SPECIE	STAZIONE	8 FEB	1^ FEB	15 FEB	23 FEB	3 MAR	8 MAR	12 MAR	16 MAR	22 MAR	25 MAR	1 APR	8 APR	19 APR	30 APR	4 MAG	8 MAG
CORYLUS AVELLANA	1A 1 2 3	--- --- +++	--- --- 0++	--- --- 0++	--- --- 0++	--- --- 0++	--- --- 0++	--- --- 0++	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000	--- --- 000
ULMUS CAMPESTRIS	1A 1 2 3	000 000 --- ---	+•0 000 --- ---	+•0 000 --- ---	0++ 000 --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---	000 +•0 --- ---	000 +•0 --- ---	000 +++ --- ---	000 0++ --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---	000 000 --- ---
QUERCUS PUBESCENS	1A 1 2 3	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	+•0 000 000 000	+•0 000 000 000	+++ 000 000 000	+++ +++ 000 000	000 +++ +++ +++	000 0++ 0++ +++	000 000 0++ 0++
ACER CAMPESTRE	1A 1 2 3	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 0•0 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- +•0 000 ---	--- +++ 000 ---	--- 000 +++ ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---	--- 000 000 ---
CRATAEGUS MONOGYNA	1A 1 2 3	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	+•0 000 000 000	+•0 +•0 000 000	+•0 +•0 000 000	+•0 +•0 000 000	+++ +•0 +•0 000	+++ +•0 +•0 000	+++ +++ +++ 000	000 0•+ +++ +•0	000 000 +++ +•0	000 000 000 +++
PRUNUS SPINOSA	1A 1 2 3	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	+•0 000 000 000	+++ +•0 000 000	0++ +++ +•0 +•0	0•+ +++ +•0 +•0	0•+ 0•+ +++ +•0	000 0•+ 0++ +++	000 000 000 0++	000 000 000 0•+	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000	000 000 000 000

Tab. 4 - Dolina della Spipola. Spettri fenologici delle fioriture.



La vegetazione del versante ad esposizione Sud-Ovest della dolina della Spipola.

SPECIE	STAZIONI	RITARDO FENOLOGICO (N° DI GIORNI)
CORYLUS AVELLANA	2 - 3	8
PRUNUS SPINOSA	1 - 3 1 - 2 2 - 3	13 10 3
QUERCUS PUBESCENS	1 - 3 1 - 2 2 - 3	11 11 0
ACER CAMPESTRE	1 - 2	11
CRATAEGUS MONOGYNA	1 - 3 1 - 2 2 - 3	19 0 19

Tab. 5 - Ritardo fenologico tra le stazioni d'osservazione relativo all'inizio della piena fioritura.

La descrizione della vegetazione delle tre stazioni interne alla dolina è stata effettuata seguendo il metodo proposto da Braun-Blanquet, secondo il quale ciascuna specie viene rilevata mediante l'utilizzo di una scala di abbondanza-dominanza (Tab. 3).

Le informazioni sul clima della dolina si sono basate sulla temperatura e l'umidità relativa dell'aria registrate nelle quattro stazioni. Si è trattato di misure istantanee, rilevate a diverse ore del giorno. Le misurazioni sono state compiute a 1 metro da terra, in ombra (sotto copertura arborea non densa, inizialmente ancora priva di foglie) ed in condizioni di stabilità atmosferica (assenza di vento, cielo sereno). Lo strumento utilizzato è stato un termo-igrometro elettronico (sensibilità 0,1°C per la temperatura, 0,1% per l'umidità relativa).

4. Risultati

I risultati relativi all'osservazione fenologica sono riportati nella Tab. 4, che illustra per ogni specie considerata i diversi eventi della fioritura. L'analisi dei ritmi antesici ha evidenziato che la specie a fioritura più precoce è stata il nocciolo, già in piena fioritura il giorno 8 febbraio, seguita a distanza di un mese circa (13 marzo), dal prugnolo.

Le specie ad antesi primaverile sono state l'acero campestre, il biancospino e la roverella.

Di rilievo è il riscontro di un ritardo nella fioritura (Tab. 5) di dette specie localizzate sul fondo della dolina rispetto a quelle situate sulla sommità. In parti-

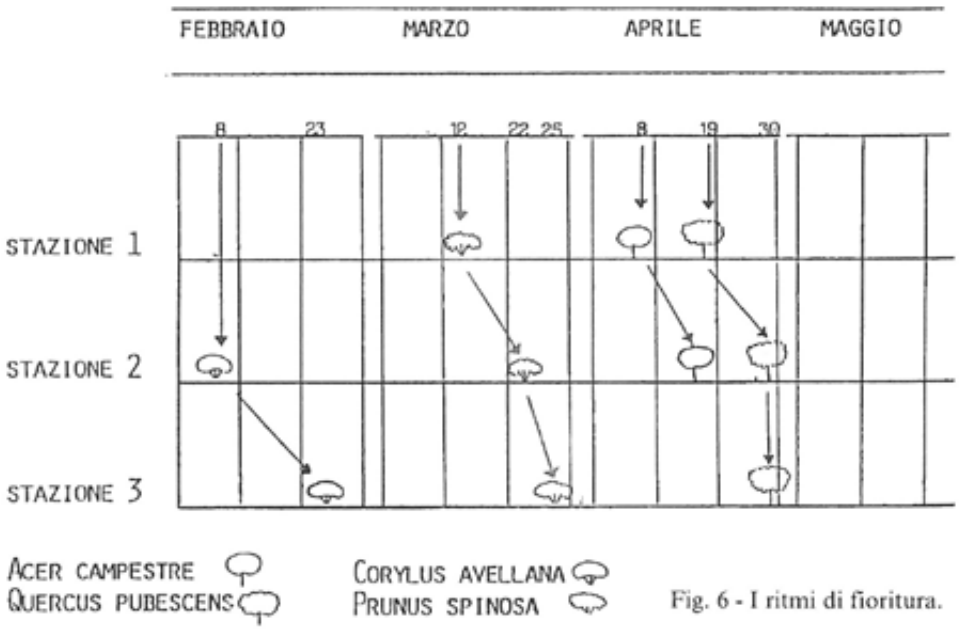


Fig. 6 - I ritmi di fioritura.

GIORNO ORA	8/2 14.30		14/2 15.50		16/2 8.30		5/3 15.30		8/3 14.30		19/3 15.00		30/3 10.00		8/5 15.30	
STAZIONI DI OSSERVAZIONE	T	U	T	U	T	U	T	U	T	U	T	U	T	U	T	U
1A	14.5	44	21	35	10.3	48	14	15	18.6	36.5	23	38	--	--	25.1	31.5
1	10	52.5	21.6	37	8.4	54	13.5	12	18	36	--	--	15	52	25.8	31
2	10	51	21	36	0.5	63.5	15.5	13.5	19	34.5	--	--	--	53	26.5	33
3	9.5	53	19	46	0	77	12.7	10.5	17.6	35	24	42	16	54	27.4	26
1A-3	5	-9	2	-11	10.3	-29	1.3	-1.5	1.2	1.5	-1	-4	--	--	-2.3	5.5
GROTTA SPIPOLA INGRESSO ESTERNO	8	58	10	50	2	68.8	12.6	16	16.6	36.5	--	--	15.5	49	24	37
GROTTA SPIPOLA INGRESSO INTERNO	8	58.5	9.5	76	1	75	10	22	10	61	--	--	13.7	65	9	59
GROTTA SPIPOLA INTERNO	7.8	70	5.4	66	0	77	8.5	63	7	61	8	65	7.6	69	8.8	63

Tab. 6 - Temperatura ed umidità relativa registrate nella dolina della Spipola.

colare il ritardo fenologico è risultato maggiore nelle specie ad antesi invernale (periodo febbraio - metà marzo) che nelle specie a fioritura primaverile (periodo aprile-maggio) (Fig. 6).

I dati climatici (Tab. 6) hanno evidenziato l'esistenza di un gradiente termico (differenza di temperatura tra l'esterno e il fondo della dolina) che presenta valori elevati nei mesi invernali (febbraio, marzo). Questi valori si attenuano fino ad annullarsi ed a divenire negativi nei mesi primaverili (aprile, maggio) (Fig. 7).

Si può quindi affermare, in accordo con altri studi effettuati nel Carso triestino (POLLI, op. cit.) e nella stessa Dolina della Spipola (A.A.V.V., 1990), che il massimo valore delle differenze fra clima interno ed esterno si verifica nei mesi invernali e primaverili, mentre nei mesi estivi si ha una attenuazione. Ciò è dovuto

al fatto che il versante esposto a Sud, in piena estate, si riscalda molto di più soprattutto se l'inclinazione supera i 23° (POLLI, op. cit.), e i raggi solari giungono perpendicolari.

Si è inoltre riscontrato che il gradiente termico presenta valori differenti nell'arco di una giornata, e ciò è particolarmente evidente nel periodo invernale (Figg. 8, 9): nelle prime ore del mattino, quando il versante ad esposizione Sud non è ancora raggiunto dai raggi del sole, si hanno valori elevati (T = 10°C), mentre nel pomeriggio i valori diminuiscono.

Per fornire un migliore quadro sulle caratteristiche climatiche analizzate sono state attuate osservazioni nella vegetazione ai margini dell'ingresso della cavità. Per quanto riguarda la temperatura, questa presenta ai primi metri dell'ingresso oscillazioni ridotte, con un andamento crescente all'avanzare della stagione.

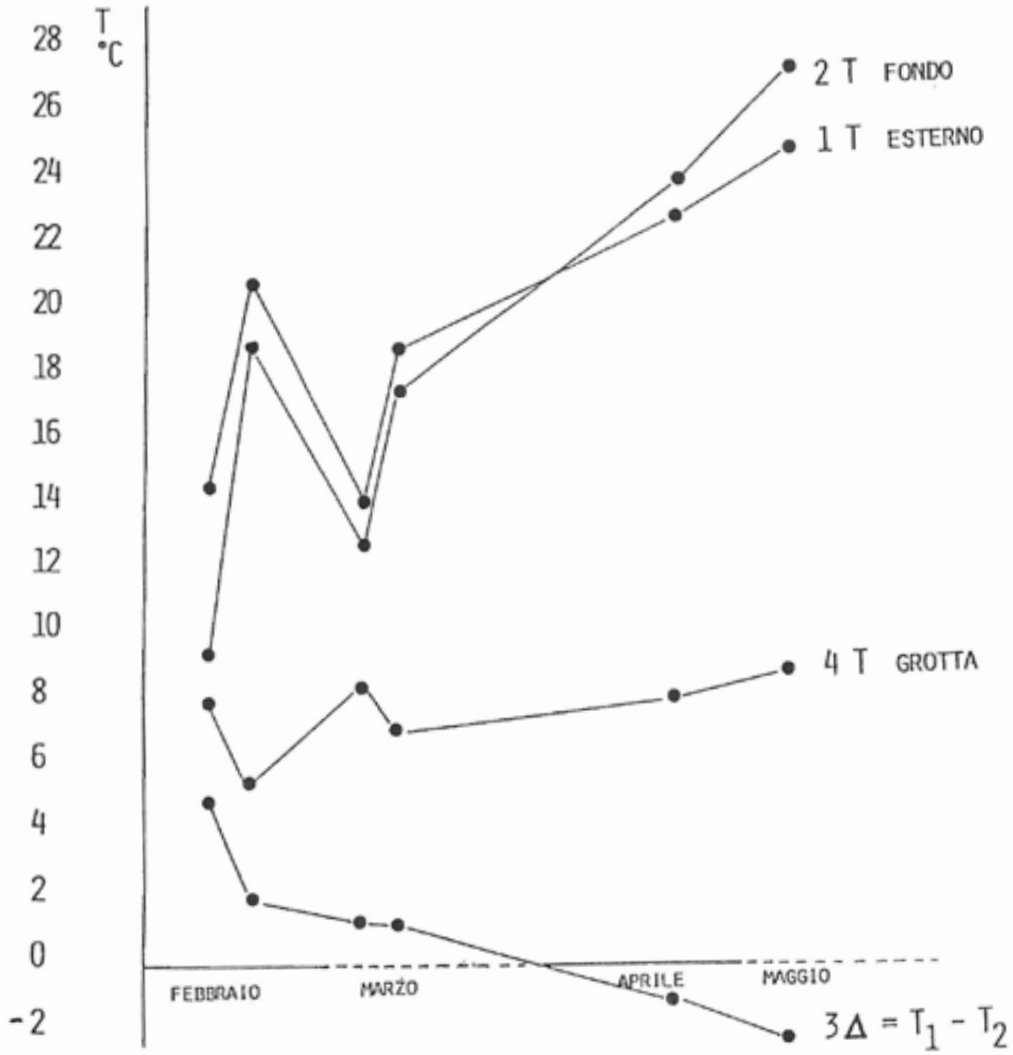


Fig. 7 - Andamento della temperatura nella Dolina della Spipola (valori alle ore 15).

L'umidità relativa dell'aria risulta inversamente correlata con la temperatura, come si osserva in Fig. 10.

Il confronto di queti dati sul clima dolinare con i dati fenologici ha evidenziato che il ritardo fenologico riscontrato nelle specie a fioritura primaverile considerate si attenua in questo periodo, in relazione al variare del gradiente di temperatura e di umidità relativa dell'aria. Ciò non si verifica infatti nel nocciolo, specie a fioritura invernale.

Si constata quindi che nei «gessi bolognesi» la notevole eterogeneità della morfologia del territorio determina microclimi assai diversi, i quali favoriscono l'estrema variabilità delle fasi fenologiche della vegetazione presente.

Bibliografia

AA.VV., 1972 - *Atti del Convegno Speleologico dell'Emilia Romagna e del Simposio di Studi sulla Grotta del Farneto*, (S. Lazzaro di Savena e Bologna, 9 - 10 ottobre 1971), in: Rass. Spel. It. Memoria X, Como, 223.

AA.VV., 1978 - *Manuale di Speleologia*, SSI, Longanesi, Milano.

AA.VV., 1987 - *Per il rilancio del Parco dei Gessi*, UBN, Bologna.

AA.VV., 1989 - *Metodi di rilievo e rappresentazione degli stadi fenologici*, CNR-IPRA, Roma.

ARRIGONI P.V., et al. 1977 - *Ricerche sinfenologiche in alcuni boschi della Toscana*, Webbia, 31, 1-33.

ARRIGONI P.V., 1977 - *Problemi di ricerca sinfenologica*, Inform. Bot. Ital., 9 (3), 293-301.

BERTOLANI MARCHETTI D., 1961 - *Cenni sulla vegetazione della fascia gessosa fra i torrenti Savens e Zena (provincia di Bologna)*, in: Gruppo Speleologico Emiliano CAI Modena, Le cavità naturali dell'Emilia Romagna, parte prima:..., «Le Grotte d'Italia», III, (1959-60), 148-151.

BERTOLANI MARCHETTI D., 1987 - *Inquadramento geolitologico delle aree carsiche nelle evaporiti dell'Emilia Romagna*, Ipoantropo 5,7-12, Reggio Emilia.

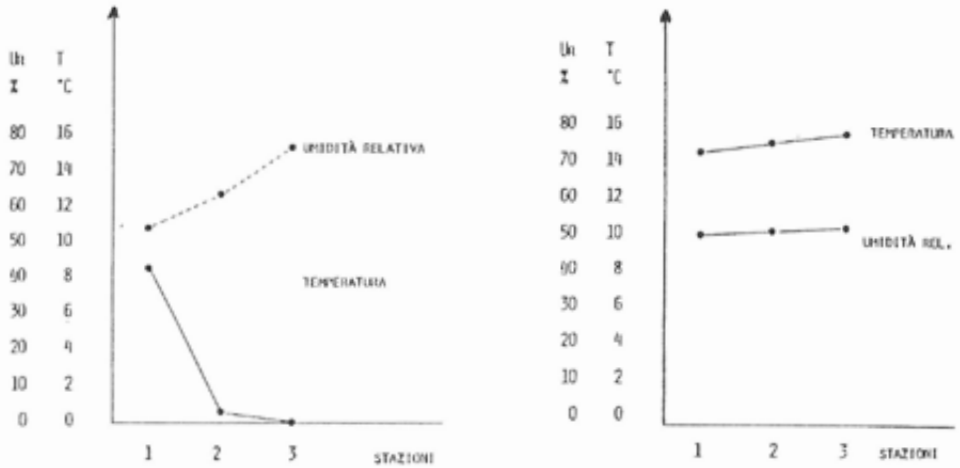


Fig. 8 - Andamento della temperatura e della umidità relativa nel versante NE della dolina della Spipola (16.02.1990, ore 8.30).

Fig. 9 - Andamento della temperatura e della umidità relativa nel versante NE della dolina della Spipola (30.04.1990, ore 10.00).

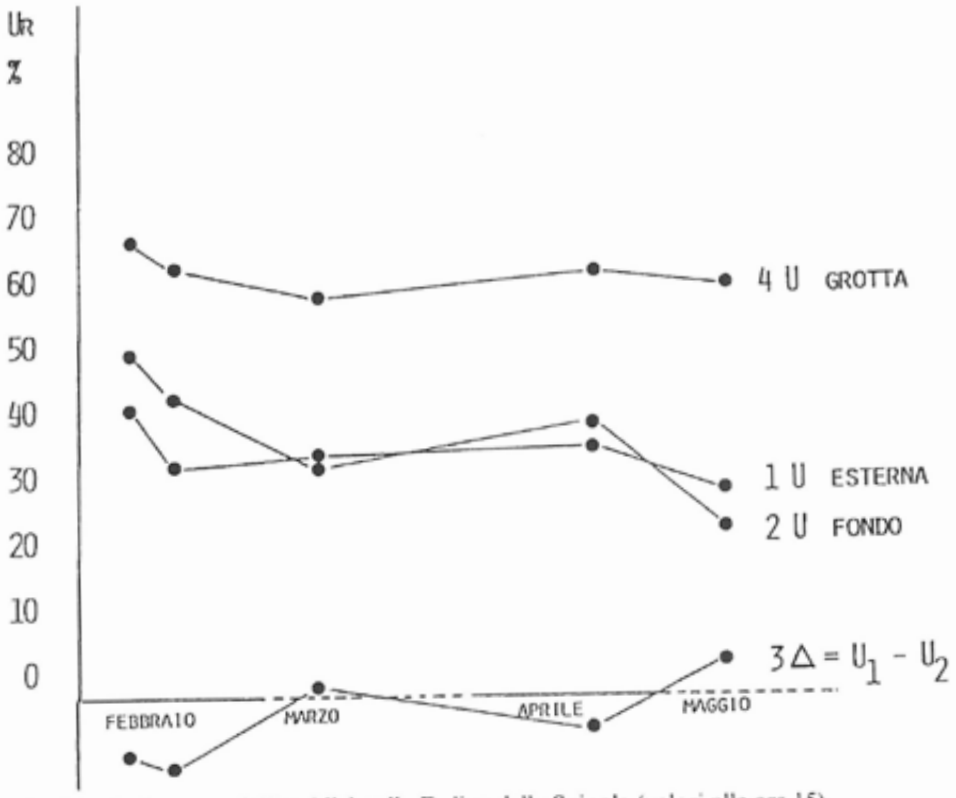


Fig. 10 - Andamento dell'umidità nella Dolina della Spipola (valori alle ore 15).

CORBETTA F., 1978 - *Biotopizzare! (La situazione esemplare dei gessi bolognesi*, Il Carrobbio, IV, 157-165.

DONATI C. RIVALTA G., 1990 - *Il clima della Grotta della Spipola*, manoscritto inedito.

FERRARI C., 1974 - *La vegetazione delle rupi gessose di Miserazzano e della Croara (Bologna)*, Not. Fitosoc., VII, 65-74.

KRAMER P., KOZLOWSKI T., 1979 - *Physiology of Woody Plants*, Academic press, London.

LIETH H., 1974 - *Phenology and seasonality modeling*, Springer Verlag, Berlin.

MARCELLO A., 1954 - *Atlante fenologico*, Accad. Ital. di Sc. For., Firenze.

MARCELLO A., 1957 - *Lezioni di geobotanica e fenologia*, Venezia.

ODUM, 1988 - *Basi di ecologia*, Piccin, Padova.

PIROLA A., 1970 - *Elementi di Fitosociologia*, CLUEB, Bologna.

POLDINI L., 1989 - *La vegetazione del Carso isontino e triestino*, Lint, Trieste.

POLLI S., 1961 - *Il clima delle doline del Carso triestino*, Atti del XVIII Congresso geografico italiano, Trieste.

RIGONI P., 1988 - *Fenologia delle specie legnose nella pineta di San Vitale a Ravenna*, Monti e Boschi, 3, 15-22, Edagricole, Bologna.

SAULI G., 1972 - *Dati floristici e microclimatici di un pozzo naturale carsico*, Atti Mus. Civ. St. Nat., 28 (1), 101-110, Trieste.

INDICE

GRUPPO SPELEOLOGICO SAVONESE - Il carsismo dell'alta Val Varatella: appunti preliminari ..... pag. 5

L. PICCINI - Abisso dello Smilodonte (Monte Sagro-Alpi Apuane). Note di geologia e geomorfologia ipogea ..... pag. 21

S. AGOSTINI & M.A. ROSSI - Il carsismo della Maiella (Abruzzo) ..... pag. 31

L. FERRANTI - La Grotta dello Scalandrone nel quadro dell'assetto strutturale e dell'evoluzione geomorfologica del Massiccio dell'Accellica (Monti Picentini - Appennino meridionale) ..... pag. 41

S. AGOSTINI - Geologia e carsismo nei Monti Lepini (Lazio) ..... pag. 59

G. MUSCIO & U. SELLO - Le Grotte di Capo Palinuro (Sa) ..... pag. 69

M. MENICHETTI - Attività di ricerca svolte durante l'operazione «Corno d'Aquilio» (O.C.A.) ..... pag. 83

G. BENEDETTI - Le maggiori cavità della Catena Carnica (Friuli-Venezia Giulia) ..... pag. 93

M. CHIESI - Finalità mezzi e metodiche della documentazione fotografica in Speleologia ..... pag. 105

A. A. CIGNA - La Società Speleologica Italiana: 1903-1950-1990 ..... pag. 117

L. DEL TURCO, G. GAMBELLA & M. V. PASTORINO - Nuove osservazioni sul fenomeno infiammatorio cronico nel Geotritone continentale europeo ..... pag. 135

R. SCIAKY - Il popolamento in Italia delle specie «eucavernicole» del genere *Anophthalmus* in Italia (Coleoptera, Carabidae, Trechinae) ..... pag. 147

A. BINDA - Il progetto spa: genesi, situazione attuale e prospettive ..... pag. 157

A. BINDA - Il progetto micro-spa: genesi, situazione attuale e prospettive ..... pag. 163

G. ROSSI & R. ZORZIN - Nuovi dati sui fenomeni paleocarsici dei Covoli di Velo (M.ti Lessini, Vr) ..... pag. 169

G. CALANDRI: Ricerche sulla CO_2 nelle grotte dell'estremo ponente ligure ..... pag. 175

A. BINDA - Un apparecchio per misurare e campionare degli stillicidi ..... pag. 187

S. GALDENZI & M. MENICHETTI - L'azione di acque mineralizzate nella genesi dei sistemi carsici profondi dell'Appennino umbro-marchigiano ..... pag. 201

G. CANCIAN - Le caratteristiche mineralogiche dei sedimenti trasportati dalle acque sotterranee del Carso, tra l'Isonzo ed il Timavo superiore ..... pag. 215

G. ZORZENON & G. CANCIAN - Le acque di percolazione nel Carso Goriziano: chimismo, temperature e stima della dissoluzione dei calcari ..... pag. 225

M. MENICHETTI, G. REICHENBACH & F. SALVATORI - Analisi quantitativa di test con traccianti nel sistema carsico del Monte Cucco (Appennino umbro-marchigiano) ..... pag. 237

S. LUGLI - Considerazioni geologiche sulla genesi delle cavità ad «ansa ipogea» nelle evaporiti triassiche dell'alta Val Secchia (RE) ..... pag. 257

G. CALANDRI: Caratteri idrogeologici dei sistemi carsici del Monte Carmo (prov. Savona) ..... pag. 267

M. MOLINARI & R. MASSUCCO - Indagini idrologiche dell'acquifero carsico di Bardineto ..... pag. 279

S. UGGERI & B. VIGNA - Un tracciante alternativo nello studio degli acquiferi carsici: il Tinopal ..... pag. 289

GRUPPO SPELEOLOGICO SAVONESE - L'area carsica di Bardineto (Sv): appunti preliminari ..... pag. 303

G. CREVATIN, P. GUGLIA & S. VOLPE - Nuove esplorazioni e ricerche nell'Abisso di Trebiciano (17 VG) ..... pag. 319

A. BEZEREDY, M. LOLEO & M.V. PASTORINO - Muin de Strie Li n. 1253. Prime osservazioni morfologiche e geo-idrologiche ..... pag. 325

I. PETROV & D. COSTOV - Bioritmica circadiale di quattro speleologi nel corso di un soggiorno di 30 giorni in caverna ..... pag. 339

G. RIVALTA & C. DONATI: La distribuzione termica nella Grotta della Spipola (in appendice: C. GASPARINI - La fenologia di alcuni arbusti ed alberi vegetanti nella dolina della Spipola) ..... pag. 347