BOSSEA MMIII

CONVEGNO NAZIONALE

L'AMBIENTE CARSICO E L'UOMO

MANIFESTAZIONE CELEBRATIVA UFFICIALE DEL CAI PER IL "2003: ANNO INTERNAZIONALE DELL'ACQUA DOLCE"

LABORATORIO DIDATTICO DEL COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI
LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO
GROTTE DI BOSSEA (FRABOSA SOPRANA- CN) 5-8 SETTEMBRE 2003

ATTI

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA - CAI CUNEO
PROVINCIA DI CUNEO

Atti del Convegno Nazionale

" L'AMBIENTE CARSICO E L'UOMO"

GROTTE DI BOSSEA (CN) - 5 - 8 SETTEMBRE 2003

MANIFESTAZIONE CELEBRATIVA UFFICIALE DEL CAI
PER IL "2003: ANNO INTERNAZIONALE DELL'ACQUA DOLCE"

Enti Organizzatori:

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA - CAI CUNEO
COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI
COMITATO SCIENTIFICO CAI L.P.V.
ASSOCIAZIONE " LE ALPI DEL SOLE" - CLUB ALPINO ITALIANO
ASSOCIAZIONE CULTURALE E KYE' - FONTANE

Segreteria Organizzativa e Scientifica:

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA - CAI CUNEO
Via Carlo Emanuele III, 22 - 12100 Cuneo
Tel. e Fax 0171/65483 - E-Mail: staz.scient.bossea@aruba .it

MARZO 2005

Coordinamento Editoriale: Rosa Rita Gili, Guido Peano
Composizione grafica e stampa: Centro Stampa della Provincia di Cuneo

Enti Collaboratori o Sostenitori:

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI CUNEO

COMUNE DI FRABOSA SOPRANA

COMUNITA' MONTANA VALLI MONREGALESI

FONDAZIONE CASSA DI RISPARMIO DI CUNEO

BANCA REGIONALE EUROPEA

POLITECNICO DI TORINO, DIPARTIMENTO GEORISORSE E TERRITORIO

ARPA DEL PIEMONTE, DIPARTIMENTO DI CUNEO

ARPA VALLE D'AOSTA, SEZIONE RADIAZIONI

COMMISSIONE CENTRALE SPELEOLOGIA DEL CAI

COMMISSIONE CENTRALE TUTELA AMBIENTE MONTANO DEL CAI

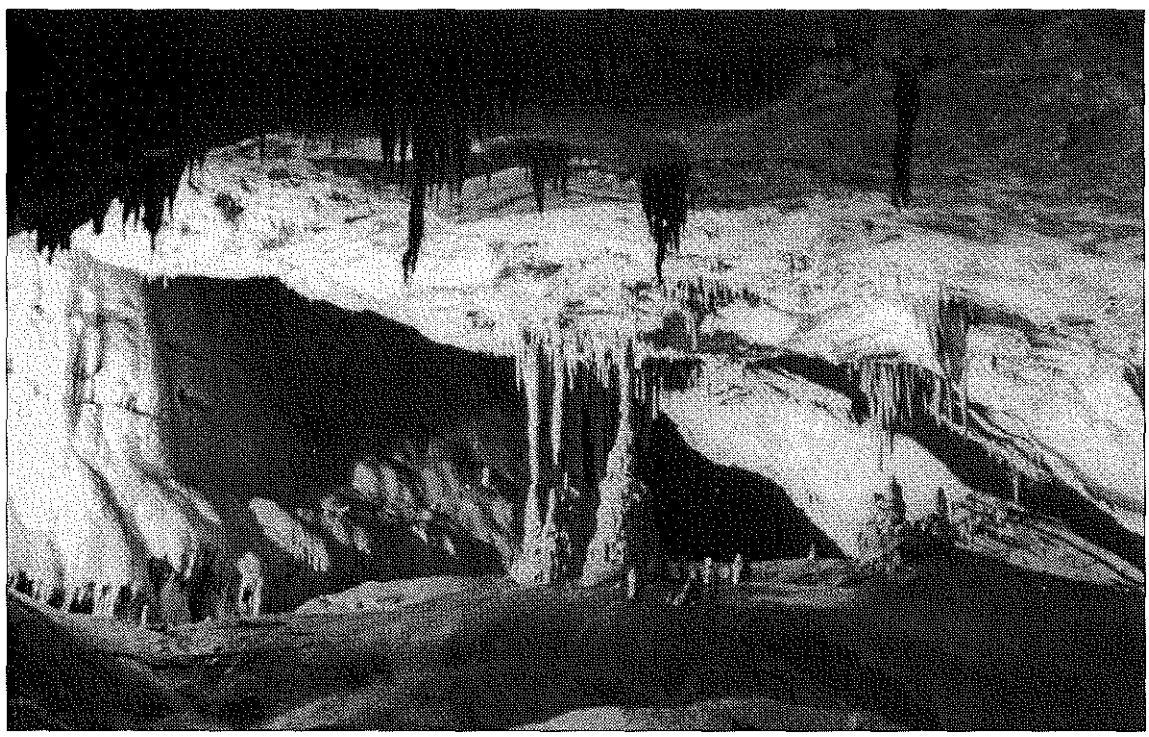
COMMISSIONE INTERREGIONALE T.A.M. PIEMONTE-VALLE D'AOSTA

ASSOCIAZIONE GROTTE TURISTICHE ITALIANE

GRUPPO SPELEOLOGICO ALPI MARITTIME - CAI CUNEO

DIREZIONE DIDATTICA DI SAN MICHELE MONDOVI'

COMPAGNIA DELL'ALTO CORSAGLIA



Felix qui potuit rerum cognoscere causas

Virgilio
Georgiche, II, 489

PROVINCIA di CUNEO
Medaglia d'oro al Valore Civile

E' giusto e doveroso ricordare che la Granda vanta una fra le più belle e importanti grotte turistiche italiane. Si tratta della grotta di Bossea, in Val Corsaglia, nel Comune di Frabosa Soprana, nel cuore delle Alpi Liguri. Ma la provincia di Cuneo per la sua dimensione geografica, per l'estensione delle cavità, per la ricchezza delle risorse idriche, presenta complessivamente un patrimonio naturalistico sotterraneo fra i più interessanti d'Europa. Ben vengano, dunque, convegni come quello ospitato, nel settembre 2003, proprio a Bossea, che possono dar risalto scientifico a questi fenomeni carsici. Comprendere meglio alcuni aspetti della vita sotterranea significa anche contribuire alla sopravvivenza e alla conservazione di questi splendidi habitat.

Proprio per lo studio dell'ambiente carsico delle nostre valli, dal 1969 è operativa, nella Grotta di Bossea, una stazione scientifica del C.A.I. di Cuneo che svolge indagini sui fenomeni fisici e biologici tuttora in atto nella cavità.

Un grazie alla schiera di ricercatori e specialisti che hanno organizzato il convegno, i cui atti sono raccolti in questo volume, per rimarcare, ancora una volta, la portata dell'inestimabile patrimonio naturale delle nostre valli.

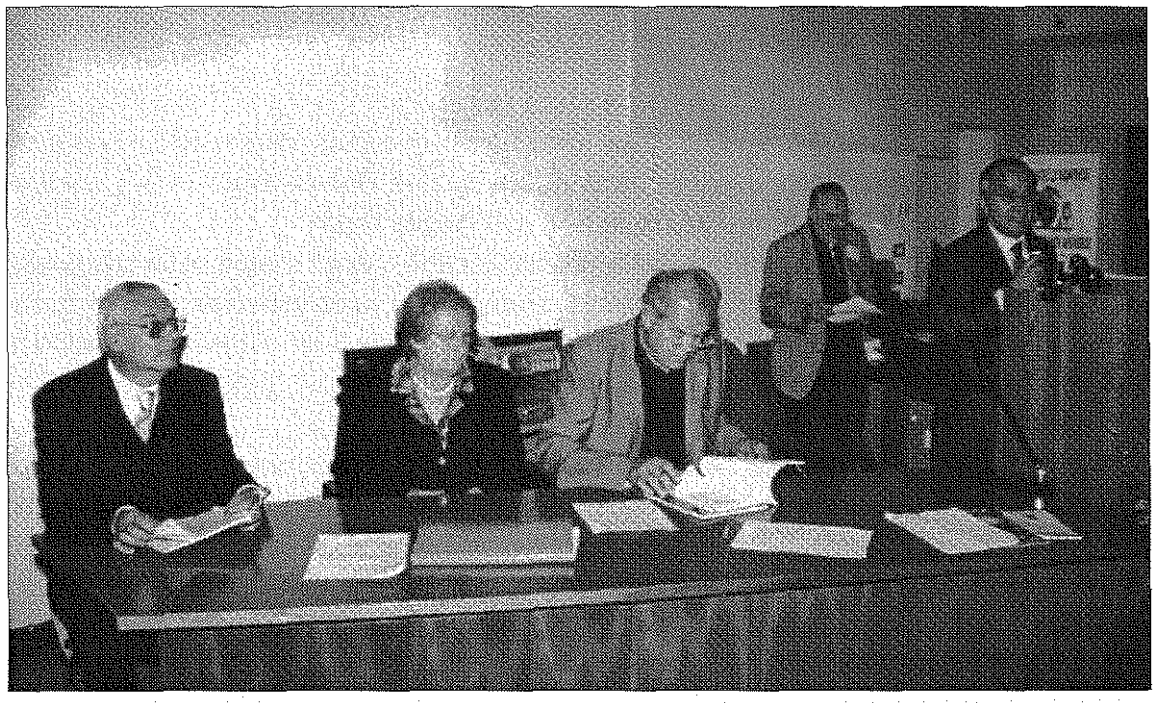
Il Presidente
On. Raffaele Costa

INTRODUZIONE

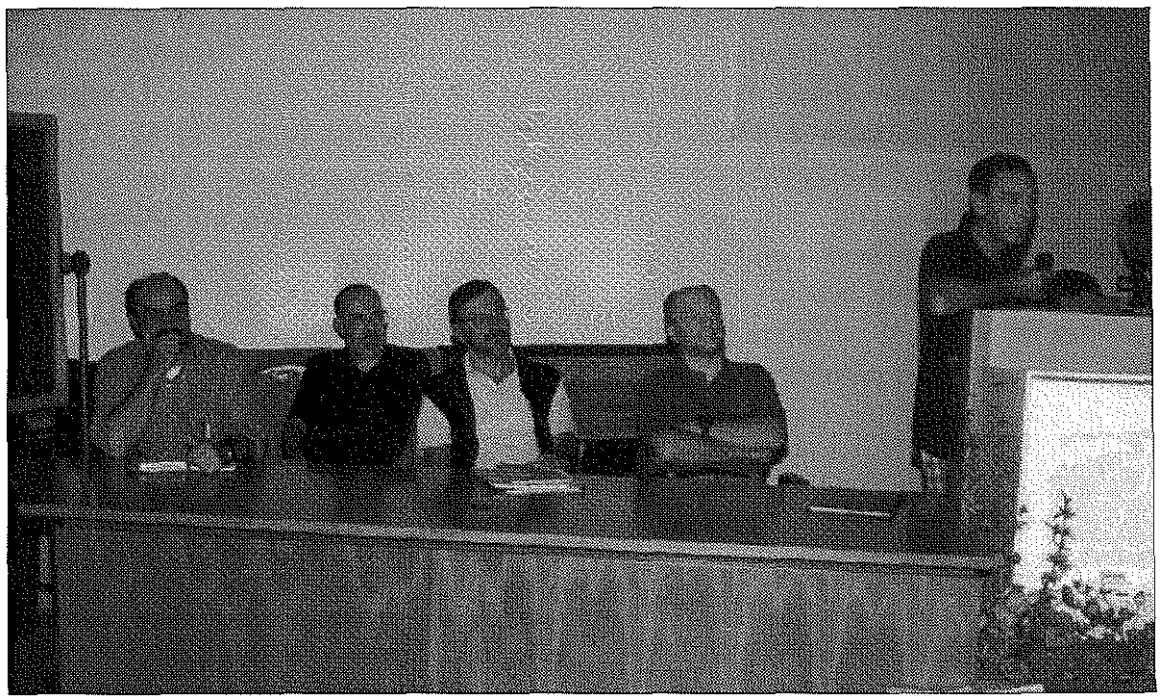
Uomo ed ambiente carsico: un tema di grande interesse e viva attualità, in quanto l'uomo, oggi come ieri, vive ed interagisce in questo peculiare ambito naturale, talora subendone i limiti nelle attività e negli insediamenti, ma più frequentemente utilizzandone le rilevanti risorse ipogee ed epigee e, non raramente, minacciandone o danneggiandone concretamente l'integrità, gli equilibri idrogeologici ed ecologici, il valore naturalistico e paesaggistico.
Rientrano fra le risorse dell'ambiente carsico le riserve idriche captabili ad usi potabili, idroelettrici, irrigui o manufatturieri, le possibilità di utilizzazioni agricole e zootecniche, i giacimenti minerari ed i pregiati litotipi marmorei, le cavità sotterranee visitabili dal pubblico,l'elevato interesse naturalistico e scientifico, le conseguenti opportunità di studio e di ricerca, la conseguente attitudine di vari siti carsici superficiali ed ipogei allo svolgimento di attività didattiche o di informazione culturale.
Le attività produttive antropiche, se erroneamente impostate o condotte in modo irresponsabile, possono tuttavia arrecare gravi danni al territorio carsico. Le cavità ipogee e le acque sotterranee sono infatti particolarmente vulnerabili agli inquinamenti chimici e biologici e ai danneggiamenti antropici di varia natura, legati ad irresponsabilità, imprevidenza, vandalismo o al prevalere degli interessi economici sulla tutela del territorio: necessitano pertanto in più casi di un'attenta azione di salvaguardia ecologica, igienica od estetico-paesaggistica, realizzabile tramite il monitoraggio costante o periodico della situazione ambientale e la tempestiva adozione di efficaci interventi di protezione, conservazione o ripristino.
In provincia di Cuneo è presente un ambiente carsico da tempo annoverato fra i più interessanti d'Italia e d'Europa, in riferimento alla sua dimensione geografica, all'entità ed estensione delle cavità sotterranee e delle morfologie superficiali, al grandioso sviluppo degli acquiferi ipogei e alla ricchezza delle risorse idriche erogate. Tale interesse è altresì correlato alle grandi esplorazioni dei sistemi carsici realizzate a partire dalla metà del secolo XIX, ed oggi in pieno rigoglio, e al patrimonio di studi e conoscenze scientifiche costituitosi attraverso tre secoli e attualmente in fase di grande sviluppo e potenziamento.
E' stata perciò particolarmente motivata la realizzazione in quest'area ed in particolare presso la storica e prestigiosa Grotta di Bossea, sede fra l'altro di un laboratorio di ricerca carsologica avanzata, di un importante convegno nazionale sulle tematiche suddette. L'evento, organizzato dalla Stazione Scientifica di Bossea, dal Comitato Scientifico Centrale del CAI, dal Comitato Scientifico CAI-L.P.V., dall'Associazione Le Alpi del Sole e dall' Associazione Culturale E KYE' di Fontane, ha avuto il determinante sostegno finanziario del CAI nazionale e delle pubbliche amministrazioni ed istituzioni bancarie regionali e locali citate in frontespizio.
Nel suddetto ambito ha avuto un ruolo essenziale la collaborazione della Provincia di Cuneo che, in aggiunta al contributo finanziario, si è fatta carico della pubblicazione presso la propria stamperia dei preprint dei riassunti dei lavori presentati e dei presenti atti definitivi del convegno, confermando ancora una volta la sua costante e fattiva attenzione allo studio, alla tutela ed alla valorizzazione del nostro ambiente carsico.

L'importanza della manifestazione è stata pienamente recepita anche dalla Presidenza Generale del Club Alpino Italiano che ha posto il convegno di Bossea fra gli eventi celebrativi ufficiali italiani del "2003: Anno Internazionale dell'Acqua Dolce".
La nutritissima adesione degli studiosi dell'ambiente carsico e degli esperti nella sua tutela e valorizzazione,il numero ed il livello degli studi prodotti e la vasta partecipazione di iscritti, superiori alle maggiori aspettative, hanno confermato l'interesse e la valenza delle tematiche proposte sia presso gli "addetti ai lavori" sia presso i numerosi cultori degli aspetti naturalistici ed ecologici del territorio carsico e montano.
Vengono presentati in questa sede 38 lavori assai approfonditi e documentati, redatti da specialisti appartenenti a dipartimenti universitari, musei di scienze naturali, enti di tutela del territorio o della sanità pubblica, laboratori di ricerca carsologica, organizzazioni speleologiche nazionali od internazionali, commissioni scientifiche delle grotte turistiche e loro organismi associativi.
I lavori in oggetto costituiscono nel loro complesso un'importante documentazione scientifica e culturale su ambienti carsici assai differenziati di molte regioni d'Italia; in questo ambito costituiscono un'aliquota rilevante quelli concernenti il territorio carsico della provincia di Cuneo. Per facilitarne il reperimento e la consultazione, gli studi sono stati ordinati in sette diverse aree tematiche presentate nell'indice e richiamate nel margine superiore delle pagine di competenza.
A conclusione di queste note desidero esprimere a nome degli organizzatori del convegno un vivo ringraziamento a tutti i sostenitori e collaboratori dell'iniziativa, fra cui ricorderò in questa sede la Presidenza Generale del CAI, gli Assessorati all'Ambiente, alla Montagna, al Turismo ed alla Cultura della Provincia di Cuneo, l'Assessorato alla Cultura della Regione Piemonte, l'ARPA del Piemonte, l'ARPA Valle d'Aosta, il Gruppo Speleologico Alpi Marittime del CAI di Cuneo e la Compagnia dell'Alto Corsaglia, per il determinante contributo prestato in diverse modalità alla realizzazione dell'iniziativa ed alla pubblicazione degli atti.
Un grazie sentito, infine, a tutti i relatori ed agli operatori scientifici e tecnici della Stazione Scientifica di Bossea, il cui protratto ed intenso impegno ha consentito l'attuazione del simposio e del volume qui presentato.

Guido Peano
Stazione Scientifica di Bossea,
Comitato Scientifico Centrale del CAI



▲ Foto 1
5 settembre 2003, apertura del convegno: da sinistra a destra il Presidente della Comunità Montana Valli Monregalesi Antonio Baravalle, il Vicesindaco di Frabosa Soprana Angela Vinai, l'Assessore Provinciale alla Montagna Piergiorgio Giacchino, il Direttore della Stazione Scientifica di Bossea Guido Peano e l'attuale Presidente Generale del C.A.I. Annibale Salsa.



▲ Foto 2
Una seduta scientifica del convegno: da sinistra, Ugo Scortegagna e Guido Peano (Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.), Franco Dardanello (Presidente del CAI di Cuneo), Antonio Guerreschi (Presidente del C.S.C. CAI), Bartolomeo Vigna (Politecnico di Torino).

AREE TEMATICHE

A - Studio dell'ambiente carsico

B - Attività ed insediamenti antropici nell'ambiente carsico

C - Utilizzazione delle risorse dell'ambiente carsico

D - Impatto delle attività antropiche sui siti ipogei e sul territorio carsico

E - Monitoraggio delle grotte e delle acque

F - Situazioni di rischio antropico nell'ambiente ipogeo

G - Tutela e conservazione dell'ambiente carsico e delle sue risorse

INDICE

Area A
STUDIO DELL'AMBIENTE CARSICO

Area B
ATTIVITA' ED INSEDIAMENTI ANTROPICI NELL'AMBIENTE CARSICO

Area C
UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE DELL'AMBIENTE CARSICO

Area D

IMPATTO DELLE ATTIVITA' ANTROPICHE SUI SITI IPOGEI E SUL TERRITORIO CARSICO

Area E

MONITORAGGIO DELLE GROTTE E DELLE ACQUE

Area F

SITUAZIONI DI RISCHIO ANTROPICO NELL'AMBIENTE IPOGEO

Area G

TUTELA E CONSERVAZIONE DELL'AMBIENTE CARSICO E DELLE SUE RISORSE

Appendice

area tematica A

IL LABORATORIO SOTTERRANEO DELLA GROTTA DI BOSSEA

Rosarita Gili [1] - Guido Peano [1-2] - Vincenzo Resta [1] - Ezechiele Villavecchia [1]

[1] *Stazione Scientifica di Bossea* - [2] *Comitato Scientifico Centrale del CAI*

RIASSUNTO

Nella Grotta di Bossea è da tempo in esercizio un laboratorio sotterraneo per lo studio dell'ambiente carsico attrezzato e gestito dalla Stazione Scientifica del CAI di Cuneo in collaborazione con il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino.
E' articolato nelle sezioni Idrogeologia carsica, Meteorologia ipogea e Biospeleologia.
Nella Sezione Idrogeologica ha luogo dal 1983 una collaborazione continuativa della Stazione Scientifica del CAI con il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino nello studio delle circolazioni idriche nelle rocce carbonatiche.
In tale ambito ambedue gli enti conferiscono alla ricerca operatori scientifici e strumentazione ai fini di una parallela e complementare rilevazione dei parametri fisico-chimici ambientali.
A ciò conseguono la comune elaborazione ed interpretazione dei dati e la comune pubblicazione delle acquisizioni ottenute.
Nella Sezione Meteorologica ha oggi luogo (anno 2003) una collaborazione con il Dipartimento di Cuneo dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) del Piemonte, per lo studio di alcuni importanti aspetti climatologici e meteorologici dell'ambiente sotterraneo.
E' parimenti in atto una collaborazione continuativa con la Sezione Radiazioni dell' ARPA Valle d'Aosta nello studio della radioattività naturale dell'ambiente carsico ipogeo.

ABSTRACT

A subterranean laboratory, devoted to the study of the karstic environment, has been active for a long time in the Bossea cave: it is equipped and managed by the Scientific Station of the Italian Alpine Club (CAI) Section of Cuneo, in collaboration with the Turin Polytechnic (Dipartimento Georisorse e Territorio).
The laboratory comprises three sections: Hydrogeology, subterranean Metereology and Biospeleology.
The first section pursues the survey and publication of environmental data mainly concerning the water features and circulation in limestone; the second benefits from a cooperation with the Department of Cuneo of the Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) - Piemonte.
The study of the natural radioactivity of the cave environment is carried out together with the Radiation Section of ARPA - Valle d'Aosta.

LA STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA

La Stazione Scientifica di Bossea è un organismo di studio, di tutela e di valorizzazione culturale dell'ambiente carsico, costituente una commissione del C.A.I. di Cuneo. Attua una collaborazione continuativa con il Comitato Scientifico Centrale del CAI nella realizzazione delle attività del Laboratorio Didattico insediato presso la grotta omonima. E' gestita da un'équipe di collaboratori scientifici e tecnici volontari, appartenente a più sezioni del Club Alpino Italiano. L'attività di ricerca è deputata allo studio dei più importanti aspetti fisici e biologici dell'ambiente carsico: circolazione idrica nelle rocce carbonatiche, organizzazione ed evoluzione degli acquiferi ipogei, speleogenesi e litogenesi, meteorologia sotterranea, bilancio energetico, popolamento biologico dei sistemi carsici, reperti fossili del quatemario.

L'attività culturale e didattica è finalizzata alla documentazione e all'informazione scientifica o scientifico-divulgativa di ricercatori, naturalisti, insegnanti, studenti e del pubblico in genere. Gli scopi in oggetto sono perseguiti tramite diverse iniziative: organizzazione di convegni e congressi; organizzazione di seminari e corsi residenziali; realizzazione di escursioni naturalistiche e didattiche nell'ambiente carsico; edizione di monografie tematiche e di atti congressuali.

LA SEDE OPERATIVA

Lo studio dell'ambiente carsico, motore iniziale della Stazione Scientifica e sua attività tuttora preminente, è realizzato principalmente nella sede storica della Grotta di Bossea. Questa cavità è stata scelta come sede delle ricerche per i suoi interessantissimi aspetti geomorfologici, idrogeologici e biologici che la configurano come una sorta di grande laboratorio naturale particolarmente atto allo studio dell'ambiente sotterraneo ed allo svolgimento di indagini scientifiche.
La grotta ha uno sviluppo di quasi 3 km ed un dislivello di circa 200 metri. Il suo ramo principale è interamente percorso dal collettore del sistema carsico. Le acque scaturiscono nel lago terminale da un profondo sifone. Il torrente ha portate variabili fra 50 e 1500 l/s. Ha creato frequenti rapide e cascate ed alcuni laghi pittoreschi.
Il settore inferiore del ramo attivo, esteso dall'ingresso fino al Lago di Ernestina, ha un dislivello ascendente di 115 metri. E' costituito da una successione di giganteschi saloni. E' interamente attrezzato per la visita turistica. La parte superiore del ramo attivo è costituita da una forra assai alta e stretta a sviluppo suborizzontale, denominata Canyon del torrente, che termina con il Lago Loser. A livelli più elevati si trovano estese reti di gallerie fossili, assai concrezionate. La zona sommersa del sistema carsico, esplorata in modesta parte dagli speleosub, risulta assai estesa e contiene grandiose riserve idriche.
Il popolamento faunistico della cavità annovera oltre 55 specie ed è caratterizzato da elevati indici di specializzazione e di endemismo.
L'alto valore naturalistico della cavità è legato in particolare alla ricchezza e all'energia delle sue acque correnti e percolanti. Bossea costituisce infatti una vera e propria grotta vivente, i cui processi di formazione e modellamento sono tuttora pienamente attivi. Il dinamismo e l' attività chimica delle acque, nella peculiare situazione geologica e tettonica della cavità, vi hanno determinato una grande varietà di ambienti fisici e biologici che ne testimoniano l'evoluzione trascorsa e tuttora in atto.
La cavità è divenuta per le ragioni suesposte una vera e propria grotta-laboratorio che accoglie in ogni sua parte installazioni e strumentazione di ricerca.

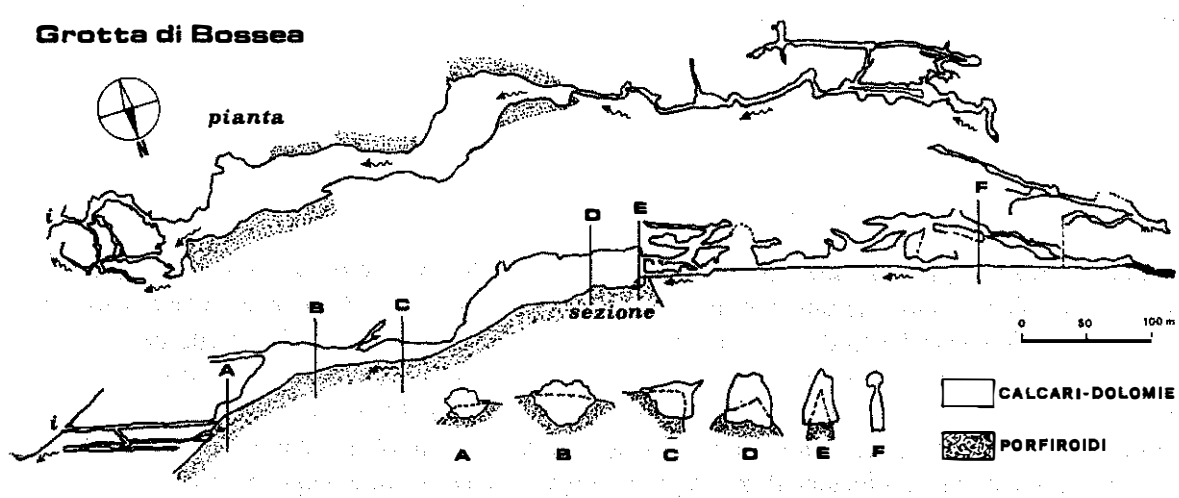


Fig. 1 - Caratteristiche geologiche della cavità di Bossea.

L'EVOLUZIONE STORICA DEL LABORATORIO

Lo studio dell'ambiente carsico nella Grotta di Bossea ha avuto inizio nell'anno 1969, con l'installazione delle prime embrionali attrezzature del laboratorio, la periodica rilevazione di alcuni parametri fisico-chimici e l'avvio di una approfondita prospezione biologica della cavità.
Le ricerche interessarono, in questa prima fase, il collettore del sistema carsico, la modesta ma importante scaturigine della Polla delle Anatre ed alcuni aspetti del microclima della cavità, con il rilevamento periodico dei parametri portata, conducibilità elettrica, pH, durezza, alcalinità e dei cationi ed anioni più significativi, nonché delle temperature delle acque e dell'atmosfera in diverse zone della cavità. Tali dati poterono in seguito essere correlati con i valori delle precipitazioni nel bacino di alimentazione.
Solo la portata del torrente e le precipitazioni esterne poterono essere misurate in modo continuativo tramite un idrometrografo e un pluviografo già a partire dal 1973, mentre il rilevamento degli altri parametri, misurati manualmente in loco o tramite prelievo di campioni, ebbe luogo per diversi anni solo con cadenza periodica.
Questo primo monitoraggio della cavità, pur nei limiti testé evidenziati, consentì di ottenere fin d'allora serie di dati che, pur con numerosi e prolungati "buchi" legati ai guasti strumentali ed alle défaillances degli operatori, hanno permesso, per alcuni significativi parametri, un confronto della situazione ambientale dell'epoca con quella attuale. Si è così potuta effettuare una valutazione dell'evoluzione o della stabilità di tali parametri nel lungo periodo intercorso, in correlazione con i mutamenti climatici esterni, l'incremento degli inquinamenti idrici e le variazioni della frequentazione turistica della cavità.
All'inizio degli anni '80 fu realizzato un importante progresso nelle attrezzature di base e nella strumentazione. con l'installazione di un primo piccolo laboratorio, nella parte superiore della cavità (Canyon del torrente), fornito di corrente elettrica, in cui fu concentrata la maggior parte delle attività di ricerca. Furono inoltre acquisiti apparecchi automatici per il rilevamento continuativo di alcuni importanti parametri (conducibilità, pH e temperatura) e strumentazione per la realizzazione in loco delle analisi titrimetriche fondamentali.
Ciò comportò un forte incremento del numero e della frequenza dei dati rilevati e una maggior precisione delle misurazioni che consentirono un importante progresso nelle ricerche. Gli anni '80 furono pertanto caratterizzati da importanti risultati scientifici.
Nei primi anni '90 ebbe luogo la progressiva installazione del nuovo laboratorio principale nella parte inferiore (turistica) della grotta, con il rinnovo ed il potenziamento della strumentazione ed un marcato incremento delle ricerche e dei parametri rilevati.
In questa favorevole situazione la piena avvertenza delle esigenze di tutela e prevenzione dei danni ambientali, e le disponibilità finanziarie connesse alla ristrutturazione turistica della cavità, portarono all'installazione di un sistema di monitoraggio in tempo reale specificamente deputato alla salvaguardia della cavità e dei visitatori, ma nel contempo in grado di fornire una grande quantità di dati molto precisi e dettagliati utilizzabili per lo sviluppo di nuovi indirizzi di studio e per l'approfondimento di quelli già in atto.
Già dai primi anni '80 si era intanto sviluppata la citata collaborazione con il Politecnico di Torino nel settore idrogeologico, cui seguì negli anni '90 la collaborazione con l'ARPA del Piemonte e l'ARPA della Valle d'Aosta nel settore meteorologico, e con il Museo Regionale di Scienze Naturali nel settore biologico.
Nel 1995, in occasione del simposio internazionale "Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale" la Stazione Scientifica di Bossea, ente organizzatore del congresso, presentò diversi lavori realizzati in collaborazione con i citati enti di ricerca, concernenti gli studi effettuati sulle circolazioni carsiche, sulla distribuzione del Biossido di carbonio e sulla diffusione e concentrazione del gas Radon nell'atmosfera e nelle acque della Grotta di Bossea.
Negli ultimi anni del secolo scorso, nonostante i gravi danni subiti dalle strutture del laboratorio avanzato (zona superiore della cavità) per l'alluvione del 1996, proseguì, insieme con l'esecuzione degli impegnativi lavori di ripristino, il potenziamento delle attività di ricerca.

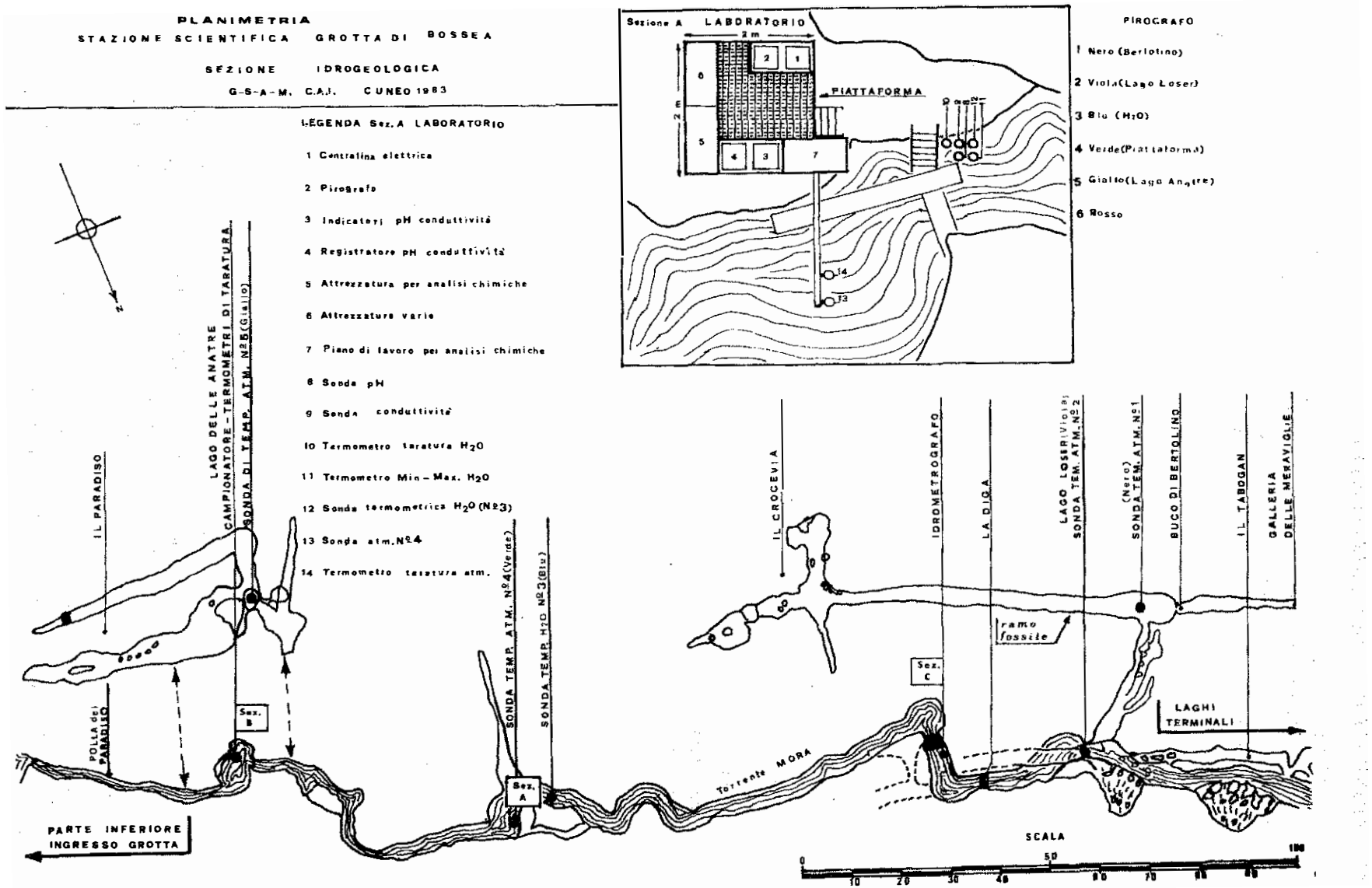


Fig. 2 - Il laboratorio sotterraneo degli anni '80 nel canyon del torrente: sede principale delle ricerche fino al 1992, costituisce ora, dopo le modifiche apportate, il laboratorio superiore avanzato per lo studio delle zone più periferiche e più difficilmente accessibili della cavità.

A tal uopo vennero installati nuovi impianti di base e nuovi apparecchi nel laboratorio principale e nelle stazioni di rilevamento periferiche.
Il Convegno Nazionale " Il Laboratorio Sotterraneo di Bossea e lo studio dell'ambiente carsico" consentì, nell'anno 2000, di effettuare nuovamente il punto sugli studi in atto e sulle nuove acquisizioni ottenute.
Nei primi anni del nuovo secolo sono proseguiti con vigore, con l' ulteriore progresso delle tecnologie di acquisizione ed elaborazione dei dati, le attività di studio e di monitoraggio cautelativo dell'ambiente sotterraneo, affiancate da nuove attività didattiche e congressuali.

L'ATTIVITA' DI RICERCA

La ricerca idrogeologica

La ricerca idrogeologica è finalizzata allo studio delle caratteristiche geomorfologiche, idrodinamiche ed idrochimiche dei sistemi acquiferi carsici, ai fini dell'identificazione delle aree di alimentazione, dei reticoli idrici ipogei e delle zone di risorgenza delle acque, sia ai fini di conoscenza scientifica che di tutela ed utilizzazione delle acque.
La ricerca concerne sia i dreni principali che veicolano, in specie nei periodi di piena, i maggiori volumi idrici, sia i dreni minori. Questi ultimi sono i numerosi piccoli condotti e microcondotti, impostati sugli estesissimi reticoli di fratture che raccordano i grandi dreni con la superficie. Tali vie di deflusso apportano volumi idrici assai più modesti, ma complessivamente rilevanti, non raramente in grado di mantenere, tramite l'erogazione lenta e graduale delle riserve accumulate, una portata degli acquiferi ancora apprezzabile, anche nei periodi più secchi e di scarso o scarsissimo apporto dei grandi condotti.
Vengono rilevati vari parametri atti ad un inquadramento idrodinamico ed idrochimico della risorsa. Si tratta di parametri fisici e chimici quali velocità del flusso, portata, temperatura, conducibilità elettrica, torbidità, durezza, alcalinità, pH, ioni alcalini ed alcalino-terrosi, solfati, nitrati, cloruri, silicati, ecc. Vengono inoltre individuate tramite traccianti ottici o chimici le zone di infiltrazione e di transito ed i punti di risorgenza delle acque. I dati ottenuti rivestono grande utilità ai fini di una conoscenza dettagliata delle caratteristiche dei sistemi acquiferi.

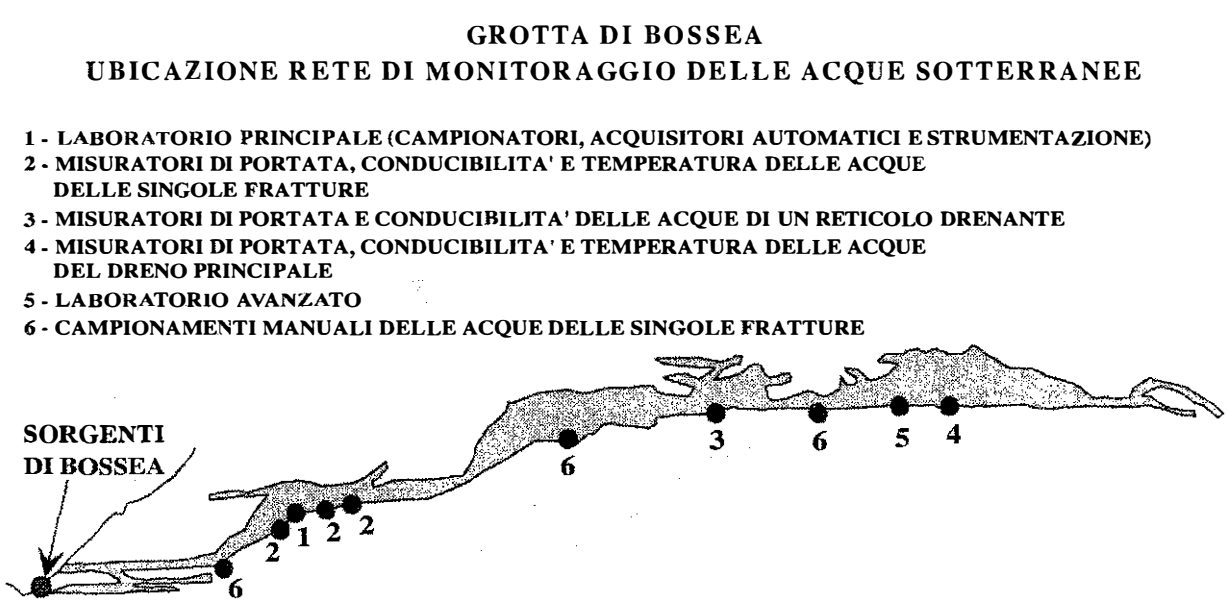


Fig. 3 - Ubicazione della rete di monitoraggio delle acque.

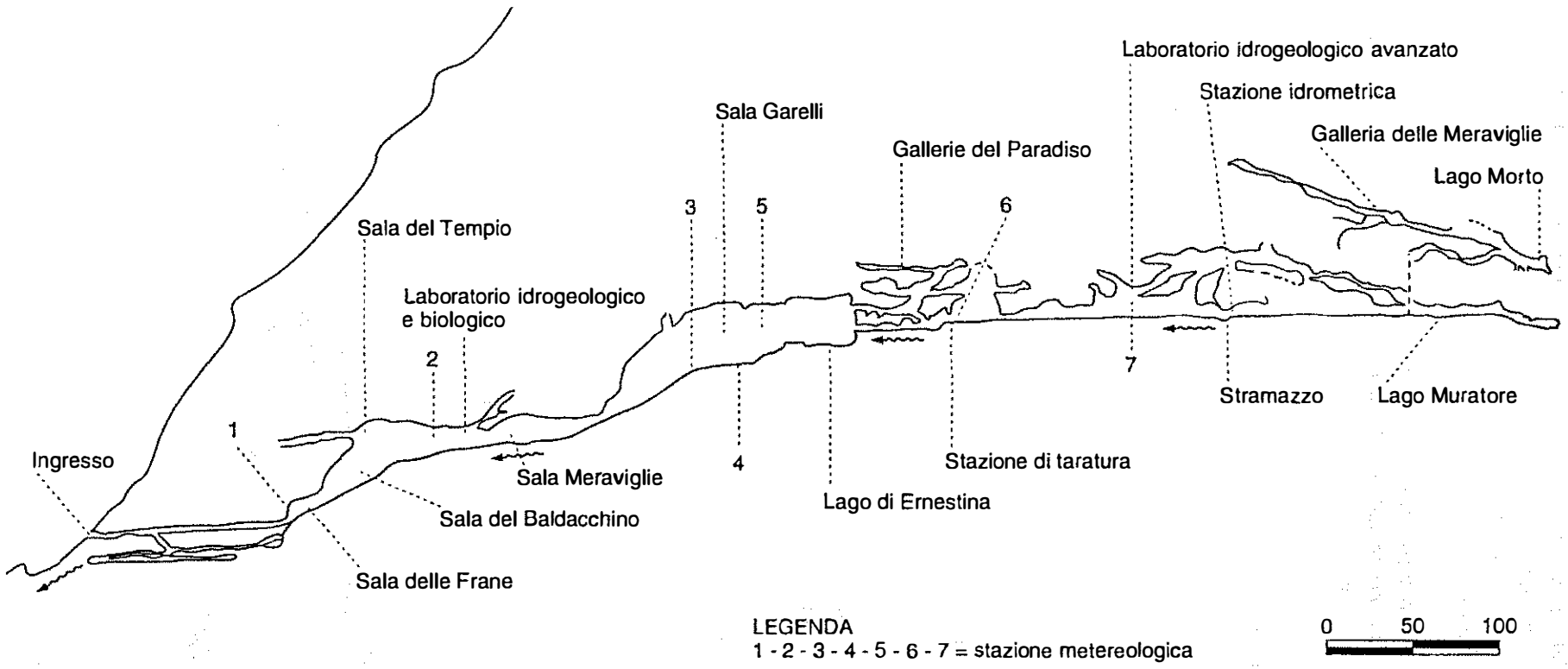


Fig. 4 - Le installazioni scientifiche nella grotta-laboratorio di Bossea.

La ricerca meteorologica

La ricerca meteorologica si sviluppa su due direttrici: la prima concerne lo studio delle caratteristiche climatologiche dell'ambiente sotterraneo. Vengono pertanto analizzati la situazione termica delle cavità, gli scambi di calore con l'ambiente esterno e nel continuum aria-acqua-roccia all'interno della cavità, la situazione igrometrica. i fenomeni di evapocondensazione delle acque, la direzione e velocità delle circolazioni aeree all'interno delle cavità e verso l'ambiente esterno. Vengono altresì indagate la variazioni di questi parametri in rapporto ai fattori esterni (temperatura, pressione atmosferica, precipitazioni, gelo e disgelo) ed interni (principalmente velocità, portata e temperatura delle acque correnti e percolanti).
Un secondo ambito della ricerca meteorologica interessa invece lo studio di alcuni costituenti dell'atmosfera delle cavità, che rivestono particolare interesse nell'ambiente sotterraneo per la loro elevata concentrazione, per la dinamica dei processi di accumulo e di dispersione e per le correlazioni delle loro variazioni quantitative con importanti fenomeni chimico, fisici o biologici in atto nella grotta.
Nel laboratorio di Bossea vengono studiate in particolare la variazioni della concentrazione del biossido di carbonio e del radon nell'atmosfera e nelle acque in rapporto ai mutamenti dei vari fattori fisico-chimici e biologici che possono determinarle.
Lo studio del primo aeriforme presenta grande interesse per la sua funzione essenziale nei fenomeni di dissoluzione o di deposizione del carbonato di calcio, ovvero nei fondamentali processi speleogenetici e litogenetici.
Il secondo, oggi molto indagato per la sua potenziale pericolosità per l'uomo a concentrazioni elevate e in ambienti confinati, può essere studiato in condizioni ottimali nelle cavità sotterranee, ai fini di accertarne le modalità di diffusione e concentrazione nell'atmosfera e nelle acque.

LE INSTALLAZIONI SCIENTIFICHE

Le installazioni scientifiche della Grotta di Bossea sono articolate in un laboratorio principale situato nella parte turistica della cavità (zona inferiore), in un laboratorio avanzato ubicato nella parte superiore (canyon del torrente) e in numerosi impianti periferici di rilevamento dei parametri idrogeologici od atmosferici dislocati in zone diverse delle cavità.
Le fotografie, riportate in appendice, forniscono una buona documentazione iconografica delle diverse installazioni e della strumentazione in uso.

Il laboratorio principale

Il laboratorio principale è articolato nelle sezioni idrogeologica e meteorologica. Esiste in zona contigua un laboratorio biologico attrezzato, su cui non ci soffermiamo in questa sede: pur avendo permesso in passato le importanti citate acquisizioni sulla fauna cavernicola nell'ambito sistematico, etologico e biogeografico, è infatti oggi inattivo per carenza di operatori specializzati del settore.
La sezione idrogeologica è dotata di una strumentazione scientifica molto completa ed avanzata,in gran parte automatizzata e in grado di rilevare in modo continuativo vari parametri fisico-chimici delle diverse acque qui convogliate da captazioni anche molto lontane.
Gli apparecchi in oggetto conservano i dati rilevati in memorie elettroniche autonome (da cui vengono scaricati periodicamente) o li trasmettono in tempo reale a personal computer con cui sono in collegamento continuativo.
Si tratta di strumenti elettrometrici (conduttimetri, pHmetri, termometri, ossimetri), misuratori di portata e campionatori automatici delle acque rispondenti a tipologie diverse a seconda delle esigenze operative. A tali apparecchi si affianca l'attrezzatura per le analisi titrimetriche delle acque.
La sezione meteorologica è dotata di strumenti con caratteristiche generali similari, ma deputati ad altre specifiche funzioni, quali termometri, igrometri, anemometri, evaporimetri, misuratori della concentrazione del biossido di carbonio e del radon.

L'impianto di monitoraggio in tempo reale

Nel laboratorio principale è infine situato l'elaboratore centrale di un sistema di monitoraggio completamente automatizzato, deputato al controllo in tempo reale dei parametri ambientali più significativi ai fini della tutela della grotta e della sicurezza dei visitatori, e di grande utilità potenziale anche a fini di studio.
Tale sistema, oggi limitato per ragioni di bilancio al rilevamento dei valori di portata dei flussi idrici e di temperatura dell'aria e delle acque in numerosi punti della grotta, è tuttavia applicabile alla misurazione di vari altri parametri di primaria importanza per la salvaguardia ambientale ed antropica e per la conoscenza dell'ambiente sotterraneo.
Questo impianto consente, oggi, un adeguato preavviso dell'eventuale arrivo nella zona turistica della cavità di piene improvvise di abnorme entità (già verificatesi in passato) per la messa in sicurezza dei visitatori; potrà inoltre consentire in futuro un tempestivo allarme per eventuali raggiungimenti di livelli critici nella misurazione di altri parametri monitorati.

Il laboratorio avanzato

Nel laboratorio avanzato, difficilmente raggiungibile e talvolta inaccessibile nei periodi di grande piena, sono installati apparecchi automatizzati a lunga autonomia che tramite allacciamenti via cavo con sonde remote o tramite recapito in loco di acque incondottate consentono una rilevazione continuativa di vari parametri idrogeologici e meteorologici delle zone più periferiche e più difficilmente raggiungibili della cavità.
La presenza degli operatori, è qui limitata alle operazioni di controllo,taratura, manutenzione e scarico dati dagli apparecchi. E' articolato nella piattaforma principale che accoglie gli apparecchi elettrometrici, nella stazione termometrica di taratura, nella stazione idrometrica per la misurazione continuativa della portata del torrente che costituisce il dato di confronto fondamentale per tutti gli altri parametri rilevati nella grotta.

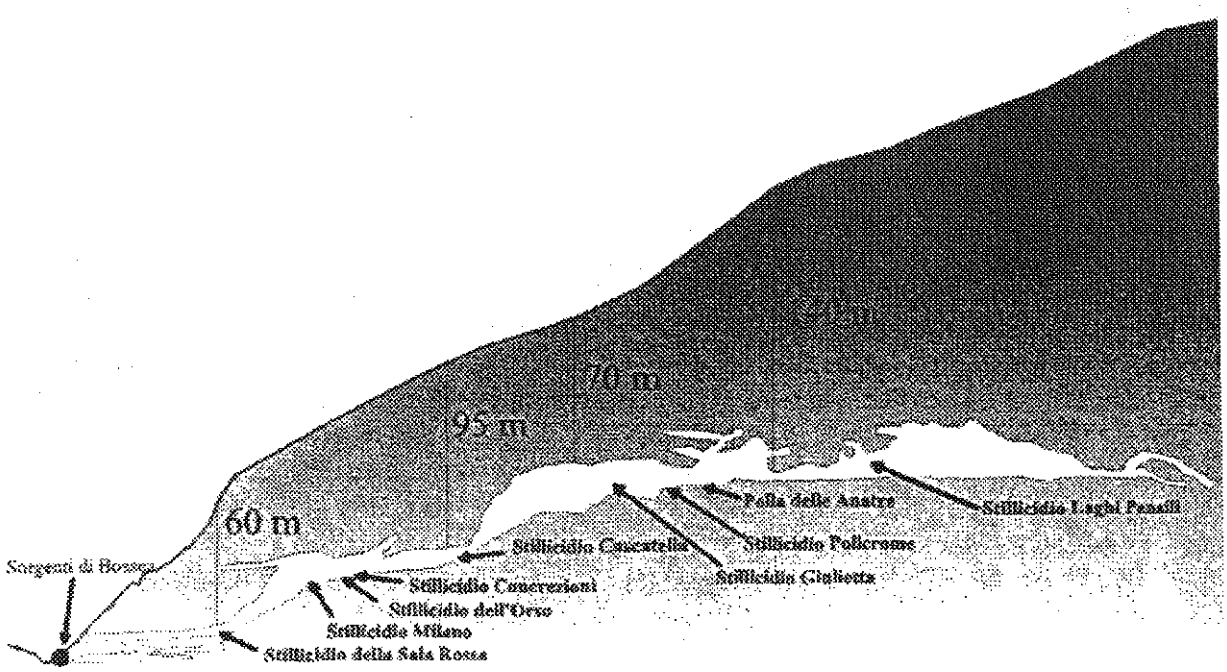


Fig. 5 - Sezione rappresentativa dell'insaturo.

Gli impianti periferici

In tutto lo sviluppo della zona attiva della cavità (circa 1400 metri) sono dislocati numerosi impianti periferici per la misurazione di parametri idrogeologici e meteorologici.
Tali installazioni sono a volte assai attrezzate e notevolmente complesse, raggruppando più apparecchi destinati al rilevamento di diversi parametri; in taluni casi dispongono anche di corrente elettrica per il funzionamento degli strumenti e l'illuminazione dei siti operativi.
Il rilevamenti idrogeologici nei siti periferici riguardano in particolare gli apporti dei dreni minori, cioè le acque di percolazione che scaturiscono dai reticoli di fratture che sovrastano la cavità, di cui vengono monitorati, tramite apparecchi automatizzati con alimentazione e memoria autonoma, i parametri portata, conducibilità e temperatura e, tramite campionamenti ed analisi differite, gli altri parametri chimici più significati.
I rilevamenti meteorologici interessano le temperature atmosferiche, le circolazioni aeree (velocità e direzione), l'umidità relativa, l'evapocondensazione o la concentrazione dei gas atmosferici oggetto di studio (CO_2 e ^{222}Rn). Sono effettuati prevalentemente con strumentazione automatizzata, anche assai avanzata, ma talora anche con sistemi manuali. Particolare importanza rivestono in questo ambito le stazioni di rilevamento di Sala del Tempio (per i gas atmosferici) e di Sala Milano per i parametri climatologici.

UTILIZZAZIONE E TUTELA DELLE ACQUE CARSICHE

Le ricerche condotte nella Stazione Scientifica di Bossea sono rivolte fra l'altro all'acquisizione di conoscenze preziose per la tutela e l'utilizzazione razionale del patrimonio idrico del sottosuolo carsico.
Come noto, i grandi sistemi carsici possono costituire in diversi casi importanti serbatoi naturali, in cui si accumulano grandi riserve idriche. La loro cessione graduale alle risorgive garantisce in questi casi portate minime apprezzabili anche nelle stagioni più secche.
Per tali ragioni le sorgenti carsiche sono spesso utilizzate per l'approvvigionamento idrico dei centri abitati, nonostante alcuni inconvenienti citati nel proseguo. Una parte rilevante delle acque potabili deriva pertanto, nel nostro paese, dagli acquiferi carsici. Questo impiego tende oggi ad accentuarsi in ragione di una sempre maggiore richiesta della risorsa e della minor disponibilità e sicurezza offerte da altri tipi di falde.
La permeabilità della roccia calcarea rende però le acque carsiche facilmente soggette agli inquinamenti batterici e chimici provenienti dalla superficie. Le caratteristiche dei circuiti ipogei impediscono, spesso, per la scarsa presenza di materiali filtranti e per la notevole velocità di deflusso delle acque, una loro sufficiente depurazione naturale prima della fuoriuscita dalle risorgive.
Da quanto sopra deriva la necessità di una rigorosa opera di tutela di tali acque, che richiede innanzitutto l'identificazione dei bacini di alimentazione e delle vie di deflusso e la conoscenza delle caratteristiche idrodinamiche ed idrochimiche degli acquiferi.
L'utilizzazione razionale delle risorse idriche dell'ambiente carsico e la loro salvaguardia dagli inquinamenti antropici costituiscono un problema di importanza sempre più rilevante e una esigenza primaria per la conservazione e la corretta fruizione di un bene essenziale.
Grande importanza assume pertanto la conoscenza approfondita dei processi di infiltrazione, di drenaggio e di accumulo delle acque e delle possibili modalità di inquinamento, ai fini dello studio di adeguati interventi preventivi o correttivi.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- PEANO G., 1981 - *La ristrutturazione turistica della Grotta di Bossea* - Atti del " Convegno Internazionale sulle Grotte Turistiche" di Borgio Verezzi (SV) (221 - 225).
- PEANO G., MORISI A., 1981 - *Importanza naturalistica e valorizzazione scientifica della Grotta di Bossea* Estr. Atti del "Convegno Internazionale sulle Grotte Turistiche" di Borgio Verezzi - Le Grotte d'Italia (4) 1981 (317 - 396).
- PEANO G., 1983 - *Stazione scientifica di Bossea* - Mondo Ipogeo, Annuario G.S.A.M.- CAI Cuneo.
- GHIBAUDO M., PEANO G., 1983 - *Il regime del collettore di Bossea* - Mondo Ipogeo, Annuario G.S.A.M.CAI Cuneo.
- MORISI A., PEANO G., 1983 - *Importanza biologica della Grotta di Bossea* - Mondo Ipogeo, Ann. G.S.A.M. - CAI Cn.
- PEANO G., 1984 - *Stazione scientifica di Bossea* - Mondo Ipogeo, Annuario del Gruppo Speleologico Alpi Marittime (G.S.A.M.) CAI Cuneo (39 - 42).
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B., 1984 - *La stazione sperimentale della Grotta di Bossea* - Memorie della Società Geologica Italiana, 29 (187 - 207).
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E. & VITTONE F., 1991 - *Atti della stazione scientifica della Grotta di Bossea* - Gruppo Spel. Alpi Marittime CAI Cuneo - Dip. Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, Savigliano (1 - 136).
- PEANO G., 1991 - *L'acquifero carsico di Bossea* - Mondo Ipogeo n.13, Annuario G.S.A.M. - CAI Cuneo (52 - 61).
- CAMAGLIO C., DE MATTEIS L., GREGORETTI F:, MAIFREDI P., MANO L., MORISI A., PEANO G., 1991 *Ambiente carsico e umano in Val Corsaglia* - Atti Convegno di Bossea, sett. 91. Comitato Scientifico CAI L.P.V. - Stazione Scientifica di Bossea CAI Cuneo.
- PEANO G., 1993 - *La stazione scientifica di Bossea* - La Rivista del CAI, anno 114, maggio - giugno '93 (68 - 75).
- PEANO G., 1994 - *La stazione scientifica di Bossea: un quarto di secolo di attività'* - Mondo Ipogeo n.14 - Annuario G.S.A.M. - CAI Cuneo (11 - 13).
- PEANO G., FISANOTTI G., 1994 - *Valorisation et devellopement touristique de la Grotta di Bossea* - Proceedings of the 1 st Congress of the international show Caves Association, Genga (Italy) 1990. International Journal of Speleology 23 (1 - 2) (37 - 50).
- PEANO G., 1994 - *Monitoraggio ipogeo e valorizzazione culturale dell'ambiente carsico* - Montagne Nostre n. 133, CAI Cuneo (82 - 87).
- PEANO G., 1996 - *Il ruolo della stazione scientifica di Bossea nello studio e nella tutela dell'ambiente carsico* - Atti del Simposio Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale, Frabosa Soprana (CN), 1995 (Edizione Stazione Scientifica di Bossea) (1 - 9).
- AGNESOD G., PEANO G., 1996 - *Misure di concentrazione del Radon nell'atmosfera e nelle acque della Grotta di Bossea: prime acquisizioni* - Atti Simposio Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale,Frabosa Soprana (CN) 1995 (Edizione Stazione Scientifica di Bossea) (183 - 192).
- CAGLIERO S., MATTONE E., MORISI A., PEANO G., 1996 - *Variazione della concentrazione del biossido di carbonio nella grotta di bossea (prime osservazioni)* - Atti Simposio Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale, Frabosa Soprana (CN), 1995 (Edizione Stazione Scientifica di Bossea) (323 - 332).
- PEANO G., VIGNA B., 1996 - *Le cavita' naturali come via privilegiata per lo studio delle acque sotterranee: i rilevamenti effettuati*
  Turistiche e Monitoraggio Ambientale, 1995 (Ed. Stazione Scientifica di Bossea) (333 - 356).
- SANINO D., 1996 - *Scienza e ambiente, l'alluvione nella Grotta di Bossea* - , La Guida (Cuneo, 13/12/96) (49)
- PEANO G., 1996 - *l'alluvione nella Grotta di Bossea* - Alpidoc, periodico Associazione Sez.CAI Prov. di Cuneo "Le Alpi del Sole" n.20 (14 - 15).
- GREGORETTI F., PEANO G., 1997 - *Interesse naturalistico e scientifico della Grotta di Bossea* - Dispense del 7° Corso di Aggiornamento per Insegnanti "Fenomeno Carsico e Ambiente Umano in una tipica valle delle Alpi Liguri", Frabosa Soprana (CN) 1997.
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B., 1999 - *Primi risultati dello studio dell'insaturo carbonatico nel sistema di Bossea* - Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio, (Parma) - Quaderni di geologia applicata (1127 - 11379).
- PEANO G., 2000 - *Le acque carsiche* - estratto da "Le Acque della Montagne" (CAI - Comitato Scientifico Ligure - Piemontese - Valdostano) (57 - 88).
- PEANO G., 2000 - *Il convegno nazionale sullo studio dell'ambiente carsico* - Scienza e Montagna, Alpidoc n.34 (CAI Cuneo) (12 - 13).
- PEANO G., 2000 - *Incontri con la scienza nella grotta laboratorio* - La "Rivista del Club Alpino Italiano" - Notiziario mensile 5/2000 (19).
- PEANO G., 2002 - *Il monitoraggio ambientale nella Grotta di Bossea: problemi tecnici e soluzioni adottate* - Le Grotte d'Italia (Rivista dell'Istituto Italiano di Speleologia) Serie V n.3 - 2002 (75-86).

LABORATORIO SOTTERRANEO DI BOSSEA

Grotte di Bossea - Frabosa Soprana (CN) - IT

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA
CLUB ALPINO ITALIANO, SEZIONE DI CUNEO

POLITECNICO DI TORINO
DIPARTIMENTO GEORISORSE E TERRITORIO

ORGANIGRAMMA ANNO 2005

ARTICOLAZIONE IMPIANTI

Localizzazione installazioni permanenti: LABORATORIO PRINCIPALE (Zona inferiore: Sala del Tempio)
LABORATORIO AVANZATO (Zona superiore: Canyon del torrente)
IMPIANTI PERIFERICI (Siti differenziati nell'intero sviluppo della grotta)

Divisioni tematiche:
SEZIONE IDROGEOLOGICA
SEZIONE METEOROLOGICA
SEZIONE BIOLOGICA
MONITORAGGIO AMBIENTALE

Settori operativi:
CAMPIONAMENTO IDRICO AUTOMATIZZATO
ANALISI TITRIMETRICHE
ANALISI ELETTROMETRICHE
MARCATURA DELLE ACQUE
MONITORAGGIO AMBIENTALE IN TEMPO REALE
CLIMATOLOGIA
ATMOSFERA
RADIOATTIVITA' NATURALE

EQUIPE SCIENTIFICA E TECNICA

RESPONSABILI: Guido Peano, Bartolomeo Vigna

COMITATO SCIENTIFICO:
Giovanni Agnesod
(A.R.P.A. Valle d'Aosta, Sezione Radiazioni)

Angelo Morisi
(Stazione Scientifica di Bossea - ARPA del Piemonte)

Guido Peano
(Stazione Scientifica di Bossea - Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.)

Bartolomeo Vigna
(Politecnico di Torino, Dipartimento Georisorse e Territorio)

Ezechiele Villavecchia
(Stazione Scientifica di Bossea)

SEGRETERIA:
Rosa Rita Gili Peano
Via Carlo Emanuele III, 22 - 12100 CUNEO
Tel. e fax 0171/65483 - E-mail: staz.scient.bossea@aruba.it

OPERATORI SCIENTIFICI E TECNICI: Giovanni Agnesod
(ARPA Valle d'Aosta)
radioattività ambientale, analisi dei dati, documentazione scientifica

Renzo Camerini
(Stazione Scientifica di Bossea)
installazioni tecniche

Claudio Delfino
(Stazione Scientifica di Bossea)
installazioni tecniche

Adriano Fiorucci
(Politecnico di Torino)
analisi geochimiche delle acque

Adriano Gaydou
(Stazione Scientifica di Bossea)
idrogeologia, elaborazione dati, installazioni tecniche

Rosa Rita Gili
(Stazione Scientifica di Bossea)
didattica, documentazione, informazione culturale, elaborazione dati

Enrico Lana
(Stazione Scientifica di Bossea)
biospeleologia, documentazione, informazione scientifica

Mario Maffi
(Stazione Scientifica di Bossea)
installazioni tecniche, documentazione, divulgazione

Angelo Morisi
(Stazione Scientifica di Bossea - ARPA del Piemonte)
biospeleologia, informazione scientifica, didattica

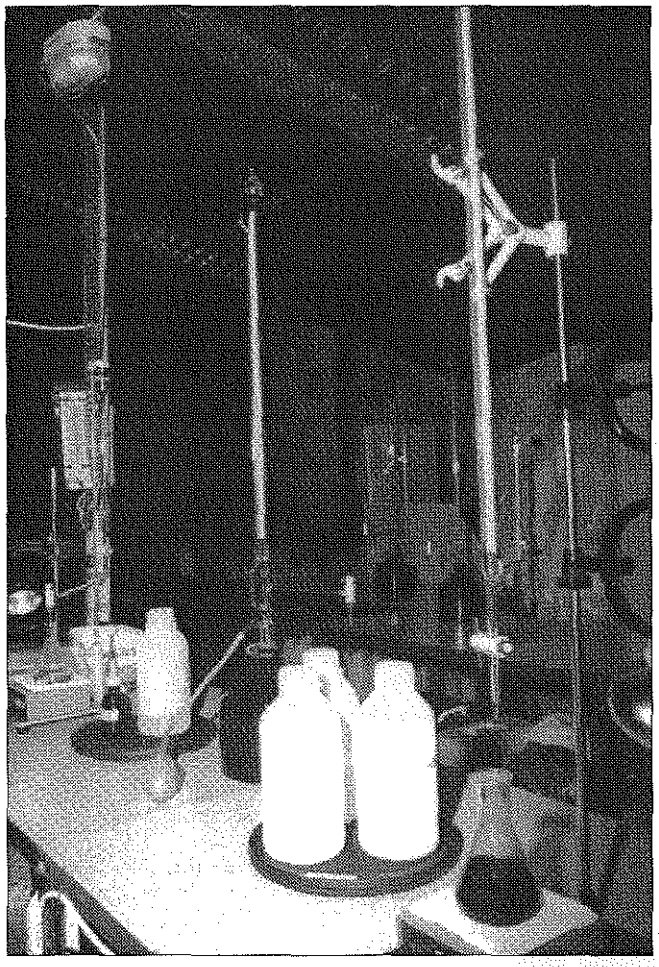
Guido Peano
(Stazione Scientifica di Bossea - Comitato Scientifico Centrale del CAI)
idrogeologia e meteorologia, rilevamento ed analisi dei dati, documentazione, informazione scientifica, didattica

Giovanni Racca
(Stazione Scientifica di Bossea)
installazioni tecniche

Vincenzo Resta
(Stazione Scientifica di Bossea)
installazioni tecniche, documentazione, divulgazione

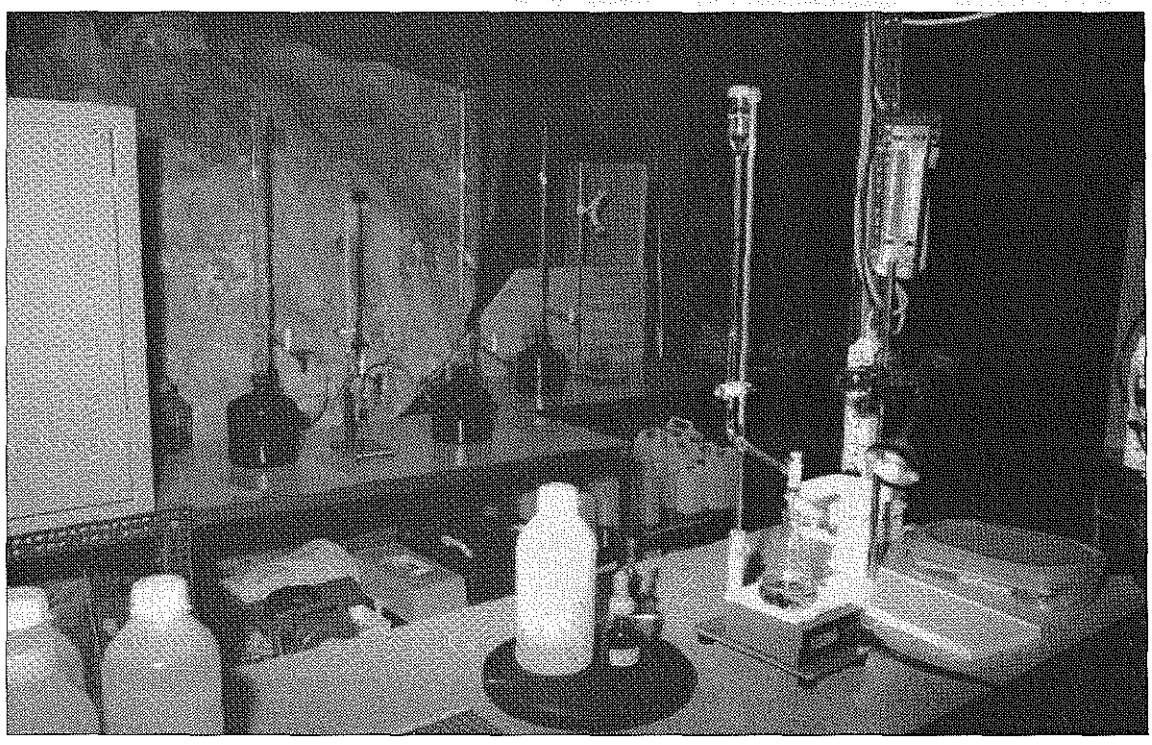
Bartolomeo Vigna
(Politecnico di Torino)
idrogeologia, rilevamento ed analisi dei dati, didattica, documentazione, informazione scientifica

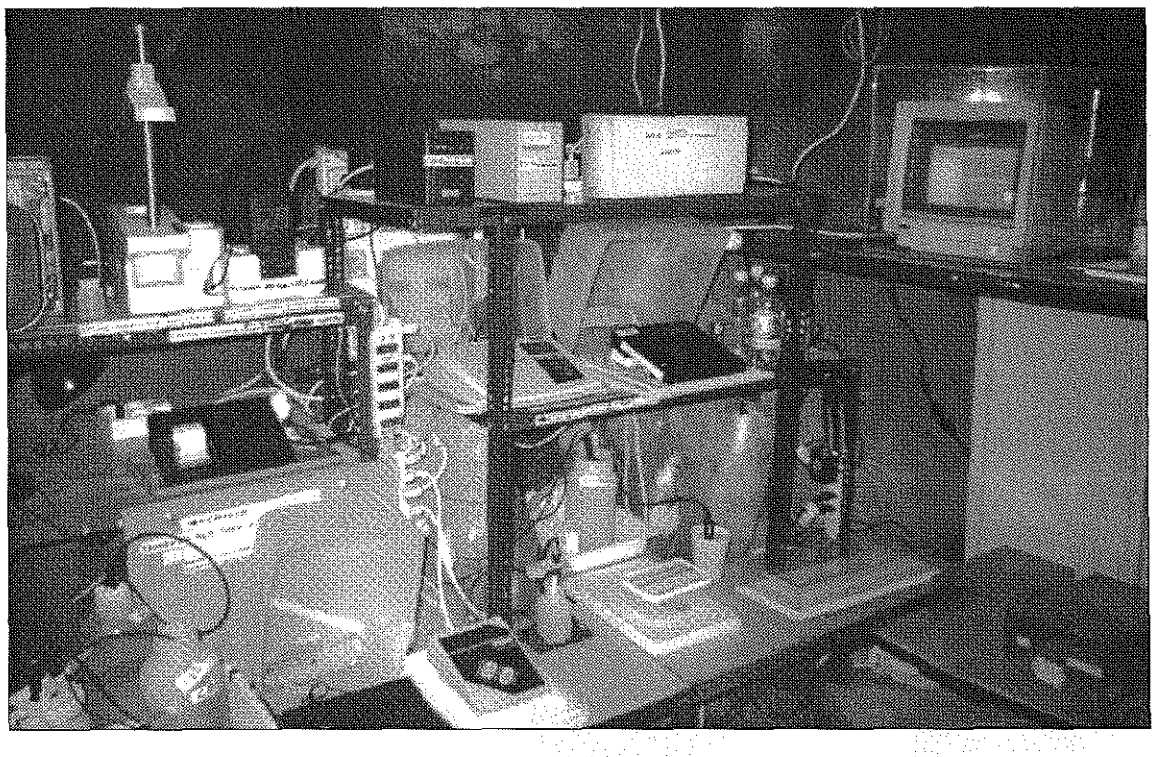
Ezechiele Villavecchia
(Stazione Scientifica di Bossea)
idrogeologia e meteorologia, rilevamento ed analisi dei dati, documentazione, informazione scientifica, divulgazione



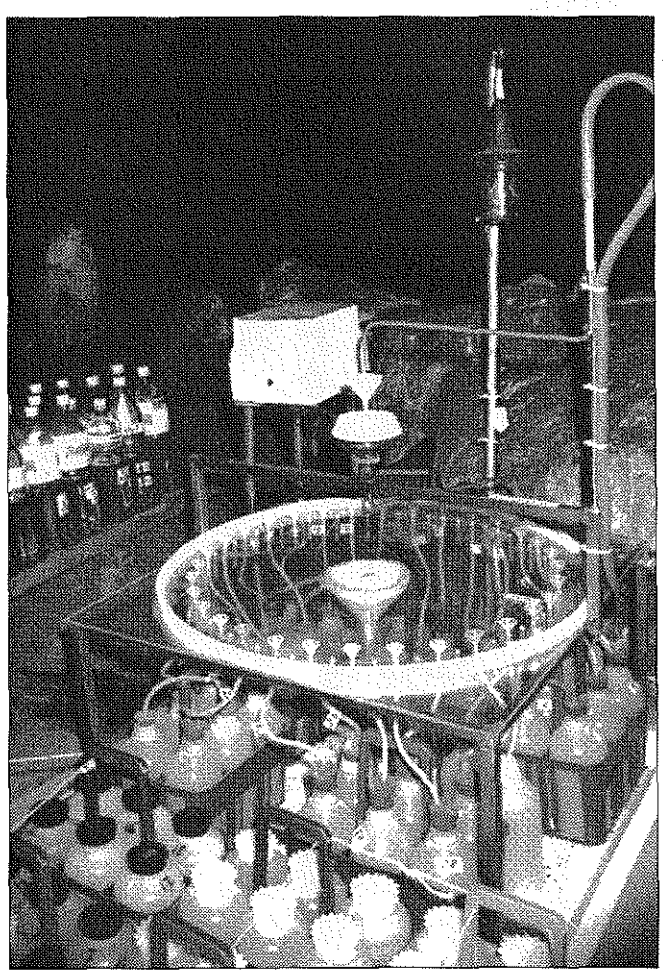
◀ Foto 1/a
Il laboratorio principale/sezione idrogeologica: il settore analisi chimiche delle acque

▼ Foto 1/b
Il laboratorio principale/sezione idrogeologica: il settore analisi chimiche delle acque

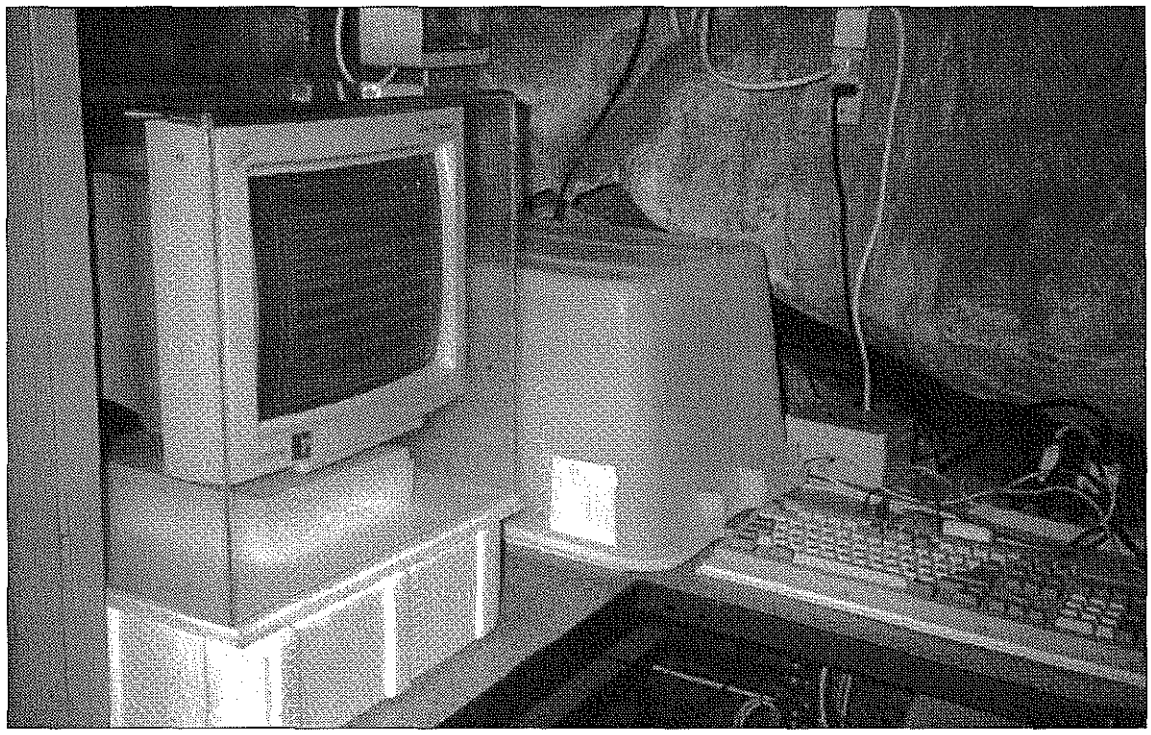




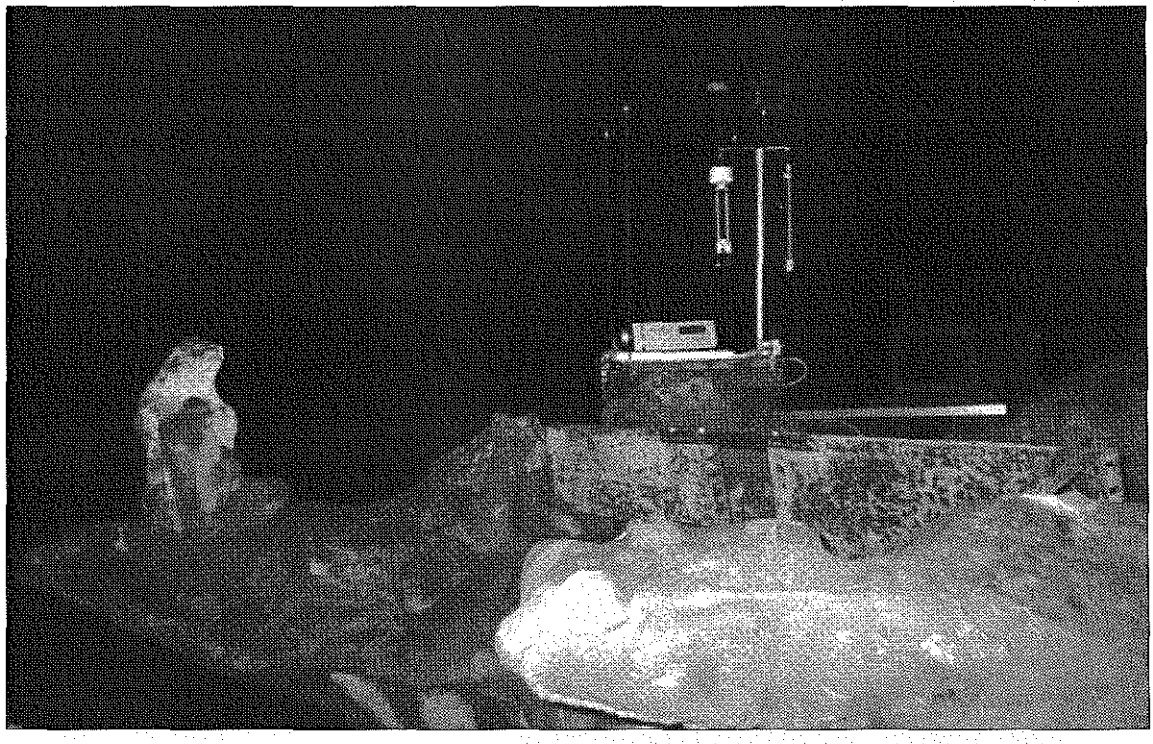
▲ Foto 2
Laboratorio principale/sezione idrogeologica: il settore analisi elettrometriche. Vengono qui rilevati in modo continuativo, la conducibilità elettrica, il pH, l'ossigeno disciolto e la temperatura in acque di provenienze diverse, circolanti a flusso lento nei recipienti in cui sono immersi gli elettrodi degli strumenti. Alcuni apparecchi sono dotati di memoria elettronica dei dati, altri trasmettono i valori rilevati a computers in grado di effettuarne una immediata elaborazione.



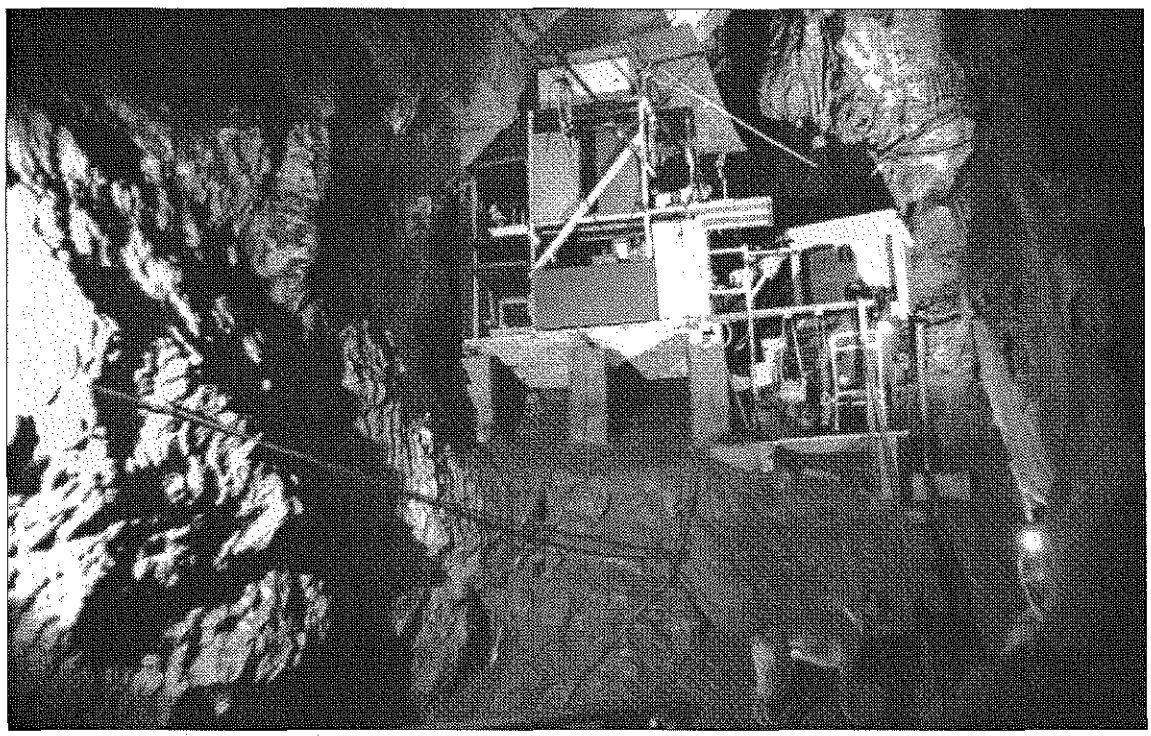
◀ Foto 3
Laboratorio principale / sezione idrogeologica: settore campionamento periodico delle acque. Apparecchi elettromeccanici automatizzati provvedono al prelievo ed allo stoccaggio nei contenitori di campioni di acque qui recapitate tramite apposite condotte da disparate scaturigini del sistema carsico, ai fini di analisi fisico-chimiche differite. Tali prelievi rivestono grande importanza ad esempio per lo studio della variazione nel tempo della mineralizzazione delle acque o della concentrazione di sostanze traccianti in occasione di marcature di flussi idrici.



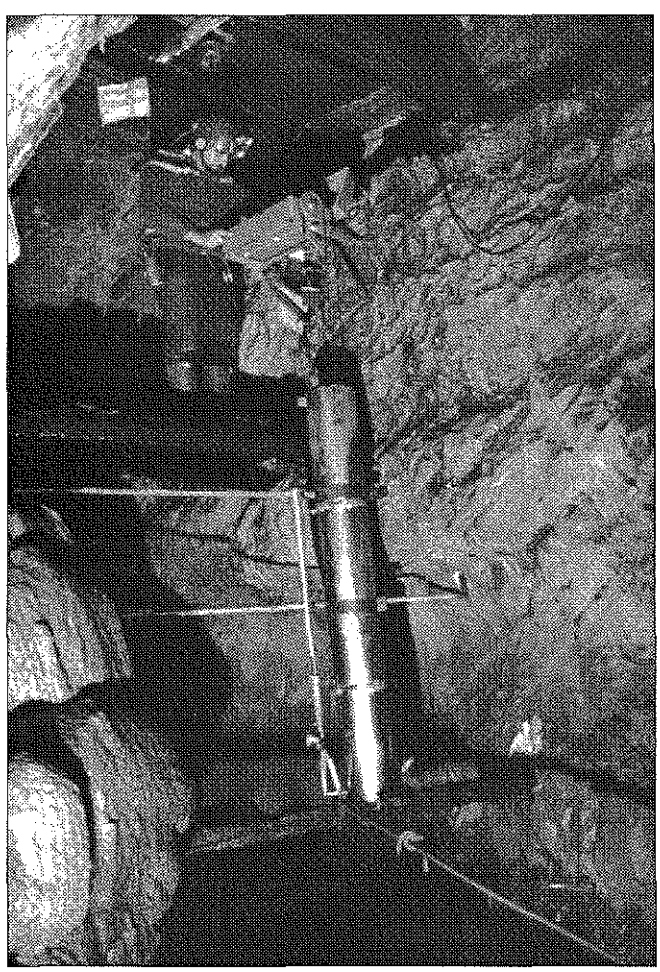
▲ Foto 4
Laboratorio principale: l'elaboratore centrale del sistema di monitoraggio in tempo reale dei parametri fisico-chimici ambientali, finalizzato primariamente alla tutela della grotta di Bossea e dei visitatori turistici.



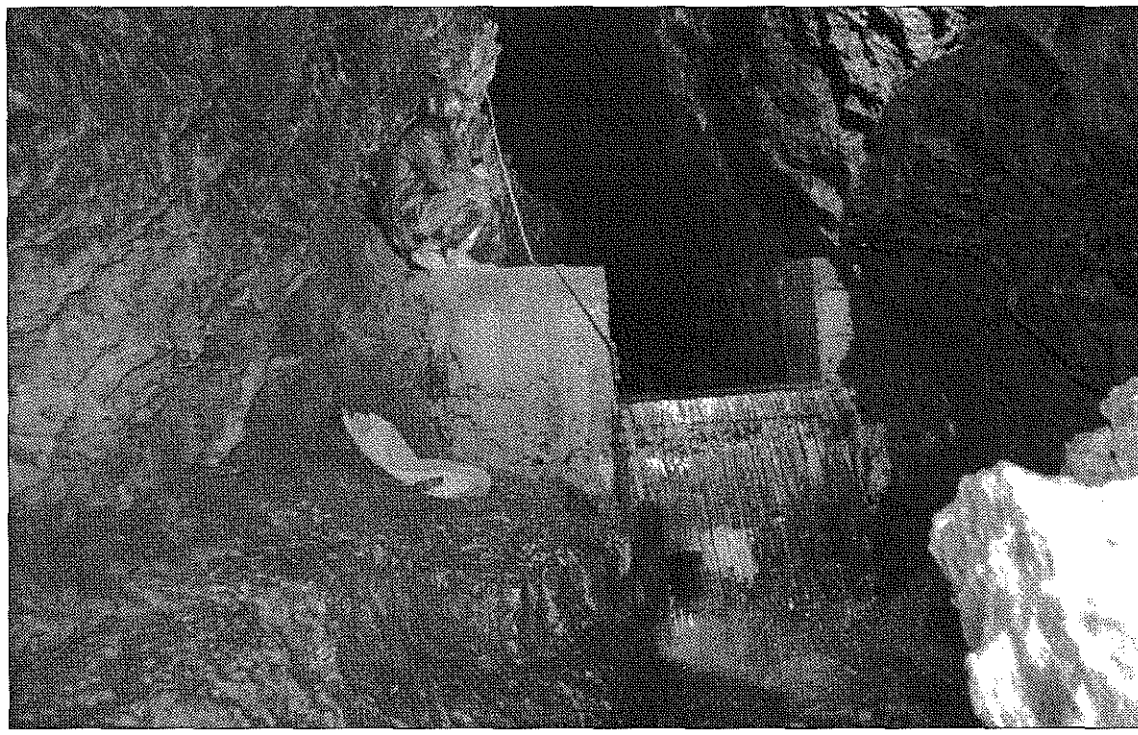
▲ Foto 5
Laboratorio principale: controllo della radioattività ambientale. Uno strumento di alta precisione, installato in una postazione esterna del laboratorio principale. rileva costantemente la concentrazione atmosferica del radon nella parte turistica della grotta.



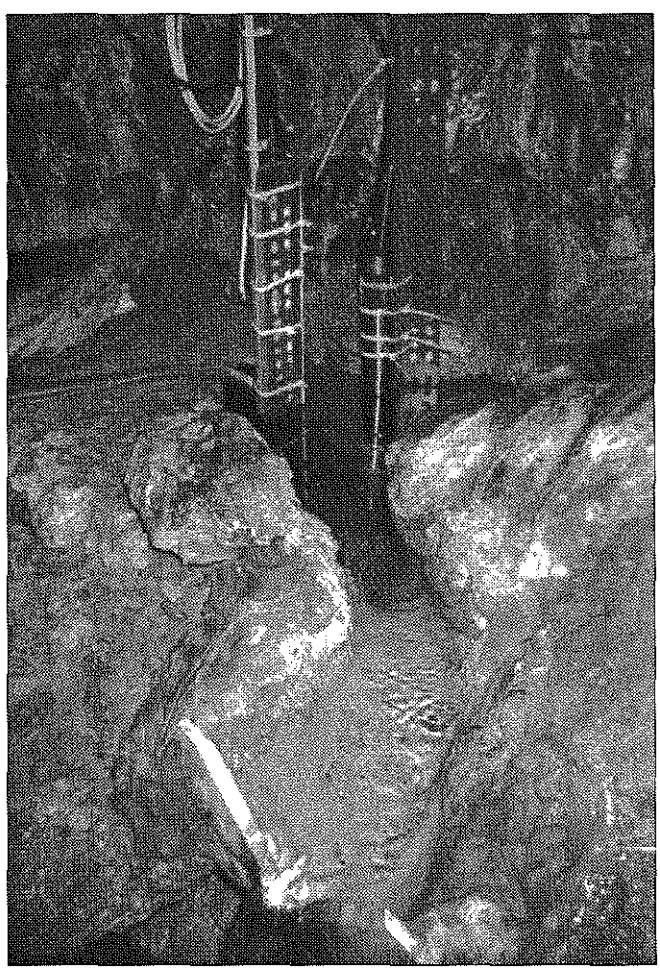
▲ Foto 6
La piattaforma centrale del laboratorio idrogeologico avanzato, ubicata in un'espansione del canyon del torrente, nella parte superiore della cavità



◀ Foto 7
La stazione idrometrica per il rilevamento della portata del torrente, articolata nel tubo di riporto del livello dell'acqua a monte dello stramazzo, nel cilindro del galleggiante e nella strumentazione elettromeccanica (idrometrografo) ed elettronica (sensori di pressione) deputata alla misurazione ed alla registrazione dei livelli idrici.



▲ Foto 8
Lo stramazzo in parete spessa che consente la misurazione della portata del torrente.



◀ Foto 9
Una stazione idrogeologica periferica (Polla delle anatre): un'avanzata strumentazione deputata al rilevamento dei principali parametri idrochimici di questo modesto ma importante flusso idrico collaterale, consente misure di grande precisione effettuate tramite una serie di sonde immerse nell'invaso della polla

IL LABORATORIO IPOGEO DI FORRA LUCIA (PO)

Marco Agati, Fiorenzo Gei, Maurizio Negri

Unione Speleologica Pratese, C.A.I. Prato - Via dell'Altopascio, 8-59100 Prato PO - tel. 0547 22008
www.speleologiapratese.it - e-mail: info@speleologiapratese.it

INTRODUZIONE

Con l'attuale laboratorio ipogeo di Forra Lucia si riprende un progetto di monitoraggio dell'ambiente carsico dei Monti della Calvana (PO) che ha origine circa 25 anni fa da una collaborazione fra l'Università di Firenze ed il Gruppo Speleologico Pratese del C.A.I.. La strumentazione dell'epoca non si rivelò adeguata alle condizioni ambientali tipiche di una grotta attiva quale è Forra Lucia e le rilevazioni furono sospese dopo pochi mesi. Tra i fattori che hanno permesso la realizzazione del nuovo progetto di laboratorio ipogeo sono da annoverare le possibilità offerte da nuovi tipi di tecnologie di monitoraggio, disponibili ormai con un buon rapporto prestazioni/costo, che permettono rilevamenti in autonomia per tempi piuttosto lunghi, con elevato grado di affidabilità e bassa necessità di manutenzione.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Forra Lucia è una cavità di origine carsica ubicata sui Monti della Calvana, nel Comune di Prato (PO), lungo il corso del rio Buti, affluente di sinistra idrografica del fiume Bisenzio. La Calvana raggiunge la massima altezza sul Monte Maggiore (916 m s.l.m.), estendendosi per una lunghezza di circa 16 km, con una larghezza media di circa 4 km. Tale dorsale divide la Provincia di Prato (Val di Bisenzio) da quella di Firenze (Val di Marina e Mugello).

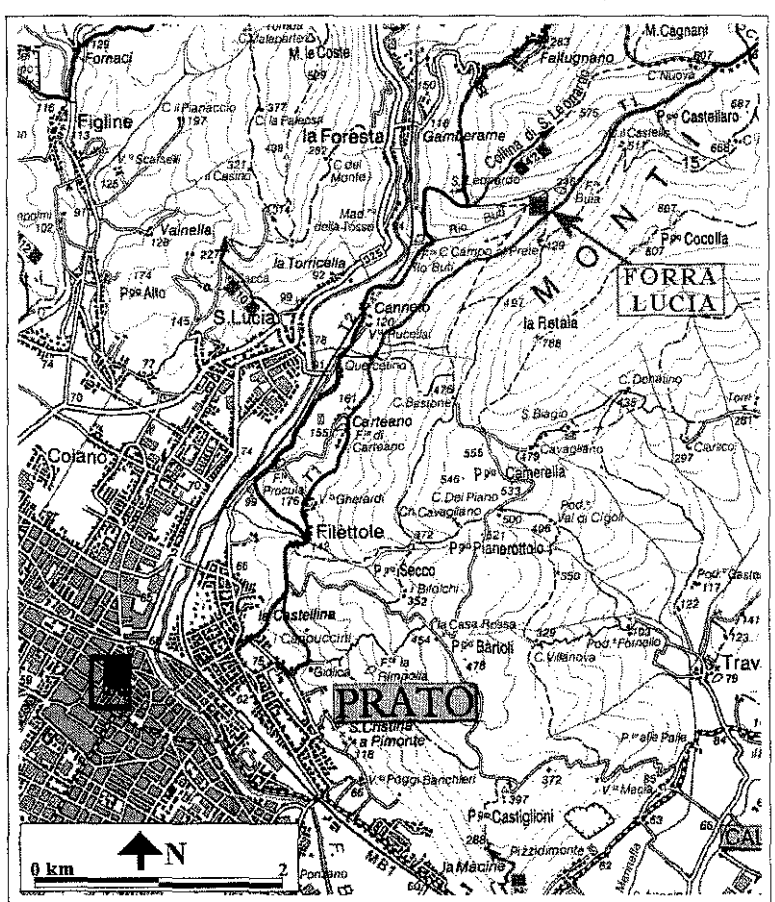


Fig. 1 - Posizione di Forra Lucia.

Il massiccio carsico dei Monti della Calvana annovera fra le sue cavità le prime sei grotte catastate in Toscana. Nell'area di interesse, lungo il rio Buti, si aprono diverse grotte, sia di risorgenza (Fonte Buia, Fonte Buia Inferiore), che di assorbimento (Tana di Buti, sifone della Biscia); in questo contesto l'ingresso di Forra Lucia si colloca come una paleorisorgenza.

La cavità si trova nella sezione 263060 della C.T.R. alla scala 1/10.000 della Regione Toscana. Come cartografia nazionale di riferimento può essere presa quella dell'Istituto Geografico Militare (I.G.M.I.) alla scala 1/25.000, tavoletta IV S.E. (Prato) del Foglio 106 della Carta d'Italia. Le coordinate dell'ingresso sono 671919 long e 4865074 lat nel sistema UTM, ed è iscritta al Catasto Speleologico Toscano con il numero 721/PO.

GEOLOGIA DEI MONTI DELLA CALVANA

La catena dei Monti della Calvana è costituita, per la maggior parte, da rocce appartenenti alla Formazione di Monte Morello (Cicali & Pranzini, 1984), indicata dai vecchi Autori come Alberese od anche Calcare ad Helmintoidi. La formazione appartiene al Supergruppo della Calvana, un'unità tettonica in cui possono essere distinte unità litostratigrafiche di tipo pelitico, che costituiscono un complesso basale, e unità torbiditiche soprastanti. La successione del Supergruppo della Calvana si è probabilmente deposta nell'area più orientale del dominio oceanico Ligure-Piemontese (dominio ligure esterno), in prossimità del margine continentale dell'Adria (secondo alcuni Autori la deposizione potrebbe essere avvenuta sul margine continentale), e successivamente è sovrascorsa al di sopra di formazioni di tipo toscano e umbro-romagnolo.

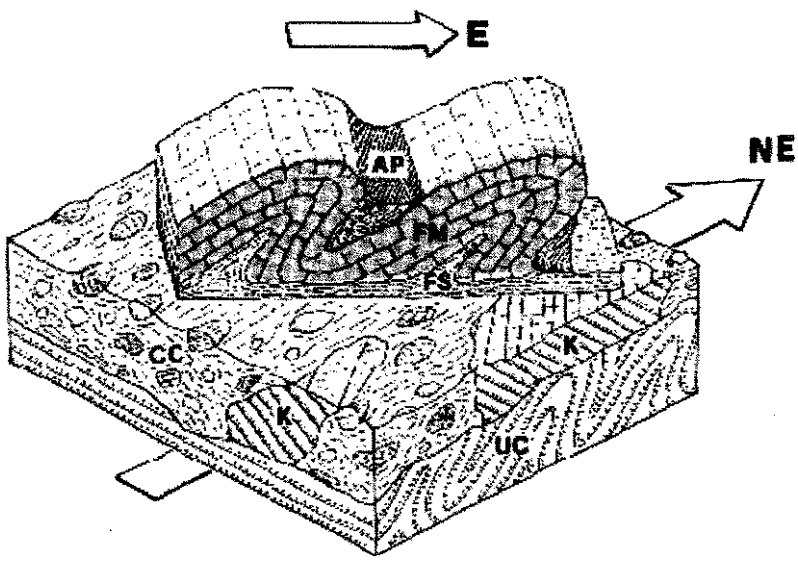


Fig. 2 - Blocco diagramma esemplificativo dei rapporti esistenti fra il Supergruppo della Calvana (FS: Formazione di Sillano, FM: Formazione di Monte Morello, AP: Argilliti di Pescina) e le unità tettoniche sottostanti (CC: Complesso Caotico, K: Complesso di Canetolo, UC: Unità Cervarola-Falterona). Le formazioni considerate sono quelle affioranti nell'area a Nord-Est di Firenze. Le frecce indicano le direzioni di movimento tettonico (AA.VV., 1992).

Il complesso basale del Supergruppo della Calvana, nell'Appennino Tosco-Emiliano, è caratterizzato da grande variabilità di facies. A partire dal basso sono state distinte finora quattro formazioni: Argille a Palombini, Formazione di Sillano, Formazione di Villa a Radda (queste due ultime tendono ad essere sostituite, rispettivamente, a partire dalla zona di Pieve S. Stefano e del Monte Fumaiolo, dalla Formazione di Pugliano e dalle Argille Varicolori della Val Marecchia) e Pietraforte.
La Pietraforte passa verso l'alto, o direttamente o attraverso un livello di Formazione di Sillano, alla Formazione di Monte Morello. Al di sopra della Formazione di Monte Morello si trovano le Argilliti di Pèscina, affioranti solo su Monte Morello, rilievo a Nord di Firenze, e che rappresentano la formazione stratigraficamente più elevata del Supergruppo della Calvana. I rapporti sedimentari originari fra le successioni, ed in alcuni casi anche fra le singole formazioni, sono stati alterati in seguito all'orogenesi appenninica ed alla migrazione verso Est del fronte compressivo, determinando la tettonizzazione di contatti originariamente stratigrafici e l'impilamento mediante sovrascorrimenti a vergenza orientale di successioni depositatesi in bacini contigui.
La Formazione di Monte Morello ha un'origine torbiditica ed è costituita in prevalenza da calcari marnosi e mame calcaree, di colore biancastro o giallastro, in grossi banchi, raramente con sottili livelli basali calcarenitici. I banchi sono separati da zone nelle quali si rilevano fitte alternanze di arenarie calcaree grigio-brune e argilliti: lo spessore delle alternanze tende a diminuire spostandosi verso la parte superiore della sequenza torbiditica.

Possono essere distinti i seguenti tipi litologici:

1. Calcari marnosi compatti bianchi o giallognoli chiari, con frattura concoide, in strati da centimetrici a metrici.
2. Marne calcaree e marne granulari giallo chiaro, grigio chiaro o bianco, con sfaldatura a saponetta, in strati che possono andare dai venti centimetri ad oltre dieci metri di spessore.
3. Calcareniti fini, compatte, grigio chiare al taglio fresco e di colore marrone all'alterazione, in strati con spessore inferiore al mezzo metro.
4. Arenarie di colore grigio scuro al taglio fresco, di colore marrone se alterate, con spessori che variano da pochi centimetri a venti, trenta al massimo.
5. Argilliti grigio scure con sfaldatura lamellare, in strati sottili che raramente possono raggiungere lo spessore di qualche metro.

Il massimo spessore della Formazione di Monte Morello è valutato in 700-800 metri. Datazioni basate su nannoplancton e microfaune a Foraminiferi danno un'età compresa fra il Paleocene e l'Eocene medio-inferiore (AA.VV., 1992). Il fenomeno carsico è una della caratteristiche peculiari dei Monti della Calvana; infatti in nessun'altro affioramento della Formazione di Monte Morello si trova un tale sviluppo del carsismo. La presenza di circa 40 grotte, la maggiore delle quali, la grotta di S. Anna Vecchia, raggiunge un dislivello di -212 metri ed una estensione di 658 metri, oltre che di evidenti forme di carsismo epigeo come campi carreggiati e doline, è probabilmente dovuta alla presenza, durante il Pliocene, dell'alveo di un fiume che scorreva in un fondovalle situato in corrispondenza di quello oggi è il crinale della Calvana.
Il fiume, probabilmente il paleo-Bisenzio sarebbe stato in grado di fornire l'acqua necessaria allo sviluppo del carsismo; successivamente un fenomeno tettonico di inversione del rilievo avrebbe sollevato il fondovalle Pliocenico fino all'altezza di circa 700-800 metri, a formare l'attuale dorsale della Retaia-Cantagrilli, costringendo il fiume a seguire un percorso alternativo identificabile con l'attuale fondovalle. Tracce di fenomeni caratteristici dell'ambiente fluviale, come depositi di sedimenti e superfici di spianamento, sarebbero state riconosciute su Poggio Cocolla (Sestini, 1940).
Questa teoria spiegherebbe perché nel vicino Monte Morello, con caratteristiche geologiche, stratigrafiche, tettoniche e climatiche, simili a quelle della Calvana, non si trovino che pochissime grotte e tutte di limitata estensione: l'area di Monte Morello non sarebbe mai stata sede di un alveo fluviale capace di fornire l'acqua occorrente ad un elevato sviluppo del carsismo in una formazione, quella omonima di Monte Morello, che di per sé non sarebbe particolarmente idonea alla carsificazione in quanto composta da alternanze di calcari marnosi e marne, con arenarie ed argilliti.
L'importanza della componente tettonica nella formazione dell'ambiente attuale è anche testimoniata dal gran numero di sorgenti che in Calvana si trovano a quote di circa 200 metri superiori al fondovalle. La distribuzione altimetrica delle sorgenti vede infatti una concentrazione fra i 300 ed i 400 ms.l.m, con solo due sorgenti sotto i 100 ms.l.m ed altrettante sopra i 700 ms.l.m (Cicali & Pranzini, 1984). Questo indicherebbe un sollevamento talmente recente che ancora non è stato possibile, per le acque ipogee, incidere il massiccio carsico per raggiungere i livelli più bassi di emergenza.
Osservando il profilo di crinale dei settori meridionali della Calvana, dalla zona di Cantagrilli a Poggio Castiglioni, si nota molto bene il gradino morfologico che separa la Retaia dall'area di Cavagliano.
La discontinuità è dovuta alla presenza di una faglia che in periodi recenti ha determinato il sollevamento relativo della dorsale Retaia-Cantagrilli (fra i 700 e gli 800 ms.l.m.) rispetto a Poggio Castiglioni (circa 400 ms.l.m.).
Faglie analoghe, che interessano il bordo settentrionale del bacino di Firenze-Prato-Pistoia, hanno prodotto l'abbassamento di blocchi della Formazione di Monte Morello fino a determinarne il seppellimento al di sotto dei sedimenti.

DESCRIZIONE DELLA CAVITÀ

Forra Lucia si apre lungo il rio Buti alla quota di 335 m s.l.m.. Per tutta la sua lunghezza, oltre 260 metri, è percorsa da un torrente che confluisce nel rio Buti, dopo un sifone, dalla grotta di Fonte Buia Inferiore.
I dislivelli rispetto all'ingresso sono +13 e -18 metri, per un totale di 31 m. Alla cavità si accede tramite un cunicolo fossile, al momento della scoperta ostruito da materiale di deposizione, che immette dopo un breve meandro in una sala il cui fondo è parzialmente occupato da un lago.

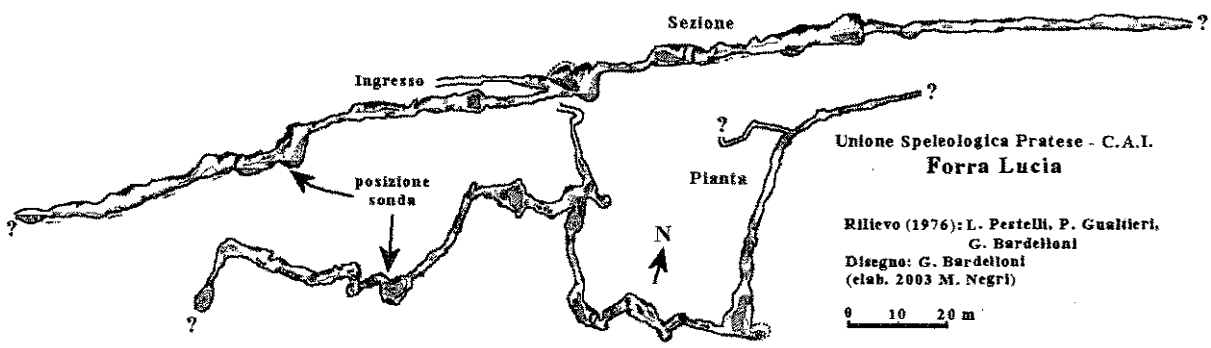


Fig. 3 - Pianta e sezione di Forra Lucia.

La sala si trova circa metà della grotta, e dal tratto a monte proviene il corso d'acqua (torrente Maremma) che, dopo una cascata di alcuni metri, alimenta il lago. Il tratto di grotta a valle della sala è percorribile per circa cento metri, prima di trovare un salto di quattro metri al di sotto del quale si trova un altro laghetto. Proseguendo verso valle la galleria è parzialmente occupata da sedimento e dopo poche decine di metri si arriva al sifone terminale oltre il quale si trova Fonte Buia Inferiore (numero catasto grotte 50/T). A monte dell'ingresso, oltre la cascata, la cavità si sviluppa con dislivelli meno accentuati di quelli che si trovano nel tratto inferiore, e presenta due condotte parallele a pressione, con le pareti completamente coperte da scallops. In tutta la cavità si nota che il fenomeno carsico si è impostato lungo due direttrici tettoniche (Nord-Sud ed Est-Ovest), come si evince dall'osservazione della pianta, con le gallerie che formano tra loro angoli di circa 90 gradi. In corrispondenza di una di queste variazioni di direzione si nota una deformazione dei livelli argillitici che potrebbe essere dovuta ad un assestamento conseguente ad un movimento tettonico. Lembi di paleosuperfici pavimentali sono riconoscibili a diverse altezze in varie parti della grotta, a testimoniare episodi di ringiovanimento.
La cavità sembra abbia avuto origine in corrispondenza di un interstrato di materiali meno coerenti, e quindi più facilmente asportabili, rappresentati da livelli argillitici e arenaceo-calcariferi della Formazione di Monte Morello; da questo interstrato il carsismo si è sviluppato verso gli strati inferiori costituiti da materiali più coerenti, marne calcaree e calcari marnosi, dando luogo anche a morfologie di erosione tipo "marmitte dei giganti". In più parti di Forra Lucia si possono osservare tratti di galleria nei quali la roccia presenta un elevato grado di fratturazione, a dimostrazione dell'importanza della componente tettonica nello sviluppo della cavità. In questi ambienti è dominante l'azione graviclastica rispetto a quella carsica.

L'ORIGINE DEL LABORATORIO IPOGEO DI FORRA LUCIA

Nel 1978, in accordo con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, il Gruppo Speleologico Pratese, oggi Unione Speleologica Pratese, decise di istituire al suo interno un laboratorio scientifico per il monitoraggio delle condizioni microclimatiche ed idrologiche. L'iniziativa avrebbe dovuto protrarsi per un periodo sufficientemente lungo per ricavare dati e tendenze che potessero rappresentare in maniera significativa, ed il più possibile completa, le condizioni ambientali nella cavità durante le varie stagioni. Il tipo di strumentazione disponibile non si rivelò adatto alla permanenza in ambiente ipogeo, e le osservazioni furono interrotte dopo pochi mesi a causa del deterioramento degli apparecchi usati. I motivi che portarono alla scelta di Forra Lucia come sede di un laboratorio ipogeo, e che sono validi tutt'ora, sono principalmente i seguenti:

a. vicinanza (relativa) alla città;
b. facile accessibilità dall'esterno;
c. facile percorribilità interna (la cavità ha un andamento prevalentemente orizzontale ed i dislivelli maggiori sono stati attrezzati con scale fisse durante l'allestimento del primo laboratorio);
d. condizioni geo-idrologiche relativamente stabili, per quanto conosciuto, tali da non compromettere la continuità dei rilevamenti in caso di eventi di piena od eventi sismici;
e. possibilità di limitare l'accesso con un cancello;
f. avere al suo interno ambienti sufficientemente ampi per ospitare le apparecchiature di rilevamento e le infrastrutture logistiche necessarie al loro posizionamento e funzionamento;
g. essere idrologicamente attiva;
h. ospitare colonie di esseri viventi (geotritoni etc.);
i. lontananza, nelle aree a monte, di fonti di inquinamento civili od industriali;
j. sviluppo presso una struttura geologica indotta da tettonica fragile (faglia di rio Buti).

IL PROGETTO 2003 PER IL LABORATORIO DI FORRA LUCIA

La disponibilità di nuovi sistemi di rilevamento ambientale di tipo elettronico, caratterizzati da una maggiore resistenza alle condizioni microclimatiche tipiche delle grotte rispetto alle strumentazioni meccaniche usate nel 1978, ha portato all'idea di ripristinare un laboratorio di monitoraggio ambientale in Forra Lucia. Un ulteriore impulso alla ripresa dei rilevamenti ipogei è stata data dalla disponibilità di dati meteorologici esterni provenienti da stazioni di recente installazione, che contribuirebbero alla raccolta di informazioni per avere un quadro conoscitivo il più completo possibile di un'area ad alta vulnerabilità ambientale del massiccio della Calvana. In considerazione del tipo di rilevamenti che si intende effettuare, tesi fra l'altro a definire le caratteristiche microclimatiche di un ambiente ipogeo e a correlare i dati con quelli ottenuti da stazioni meteorologiche ed idrologiche esterne, è stato ritenuto opportuno monitorare i seguenti parametri:

- Temperatura
- Pressione idrostatica
- Pressione atmosferica
- Conducibilità dell'acqua
- pH dell'acqua
- Ossigeno disciolto
- Durezza dell'acqua
- Umidità relativa dell'aria

Il parametro temperatura sarà rilevato per l'acqua, l'aria e la roccia, quest'ultima sia in superficie sia in profondità, all'interno di un foro di 50 centimetri opportunamente isolato dall'ambiente grotta. La misura di durezza dell'acqua avverrà mediante titolazione chimica sul luogo di campionamento, sia in occasione delle visite periodiche di scarico dei dati, sia in caso di variazioni meteorologiche significative esterne.

DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

La strumentazione impiegata per il rilevamento e lo stoccaggio "in loco" dei dati è progettata per un funzionamento prolungato in ambienti estremi come quelli delle grotte. Per la raccolta dei dati relativi all'acqua, il sistema di rilevamento è basato su una sonda multiparametrica, operativa in immersione fino alla profondità di 20 metri, posta nel torrente Maremma all'interno di un laghetto alla base di una piccola cascata di circa 3 metri d'altezza ed in corrispondenza di una sezione naturale definita. La sonda è ospitata all'interno di uno spezzone di tubo in PVC lungo circa 60 cm, posto al di sotto del livello dell'acqua ed ancorato alla parete del laghetto in posizione verticale. Il tubo, opportunamente forato per consentire una corretta circolazione dell'acqua e chiuso alla base da una griglia, assolve ad una doppia funzione: fornire protezione alla sonda in caso di piene che possano trascinare nel laghetto pietre e sedimenti provenienti dall'alveo superiore del torrente Maremma, e garantire il riposizionamento alla corretta profondità della sonda quando questa viene rimossa per controlli e manutenzione.
Con questo tipo di strumentazione sarà possibile rilevare la temperatura, la conducibilità, l'Ossigeno disciolto, il pH e la pressione idraulica (livello). Dalla pressione idraulica (livello), rilevata come si è detto in una sezione definita del corso d'acqua interno alla grotta, si otterrà il valore di portata dello stesso. Due dataloggers, con relative sonde, permetteranno rispettivamente il campionamento di temperatura, pressione ed umidità relativa dell'aria, e di temperatura superficiale ed in foro della roccia. Un terzo dataloggers, del tutto simile agli altri due, verrà mantenuto "a disposizione" per garantire la continuità del monitoraggio in caso di guasti o di eventi accidentali. Lo scarico dei dati e la gestione dei sistemi di registrazione e dei sensori è fatto tramite un computer portatile, mediante interfaccia seriale RS 232.

Caratteristiche delle attrezzature

Il "cuore" del sistema di monitoraggio installato in Forra Lucia è costituito da una sonda multiparametrica, di costruzione nazionale, dotata di innesti per un massimo di 6 sensori (nell'apparecchio da noi usato, quindi, abbiamo la possibilità di applicare in futuro un sensore ulteriore rispetto a quelli già presenti). La sonda è dotata di una RAM interna da 32 kbyte che consente la memorizzazione di oltre 1200 set di dati (con sovrascrittura sui dati più vecchi), e di alimentazione esterna data da pacchi batteria con capacità sufficiente per mantenere il monitoraggio per almeno 4 settimane in condizioni di massimo assorbimento del sistema. Il collegamento fra sonda e batterie esterne avviene tramite un cavo della lunghezza di trenta metri, dotato di connettori di tipo oceanografico, che serve anche per lo scarico dei dati e la gestione dei sensori tramite un computer portatile sul quale è caricato un software apposito.
I sensori installati, al momento sono: temperatura (-55/+55 °C), conducibilità (0/60,000 mS), pH (0/14 pH), O2 disciolto (0/200 %air-mmHg, 0/20,000 ppm-mg/l), livello (0/20,000 m). Il sensore di pressione idraulica (livello) è stato scelto del tipo assoluto, optando quindi per un sistema "*non vented*" per evitare possibili errori dovuti ad ostruzioni o interruzioni del capillare di compensazione della pressione atmosferica. La misura della pressione dell'aria, fornita da uno dei due dataloggers, permetterà di "correggere" la misura di livello ottenuta dalla sonda. I dataloggers impiegati hanno un grado di protezione IP 65, possono essere connessi fino a 7 sensori e mantenere in memoria 7420 misure. La loro temperatura di funzionamento va da - 40 a + 70 °C, e l'alimentazione avviene tramite batterie interne al Litio da 3 Volts (è prevista anche la possibilità di alimentazione esterna). Come per la sonda, la gestione dei dataloggers, dei sensori collegati e lo scarico dei dati avviene tramite un computer portatile attraverso un'interfaccia seriale tipo RS 232 ed un apposito software.

Criteri di campionamento

La frequenza di raccolta dei dati sarà adeguata alle variazioni delle condizioni ambientali, con la possibilità di impostare il campionamento più opportuno per ogni periodo. Il campionamento in genere ha una frequenza oraria, anche se le attrezzature permettono un grandissimo range di scelta, da un secondo a più giorni. In caso di previsione di eventi meteorologici importanti, il sistema potrebbe essere set-

tato per rilevamenti più frequenti, in modo di ottenere delle curve di variazione delle grandezze misurate che descrivano al meglio le modifiche all'interno di Forra Lucia. La sonda multiparametrica è stata configurata, come capacità di memoria e autonomia d'alimentazione, per mantenere un rilevamento di tutti e 5 i parametri ogni 15 minuti per la durata di 14 giorni. Tali prestazioni si ritiene che siano sufficienti per le necessità prevedibili. I dataloggers vengono usati con un settaggio che ripete gli stessi intervalli di campionamento impostati per la sonda.

USO DEI DATI RILEVATI: CORRELAZIONE FRA MONITORAGGI IPOGEI ED EPIGEI

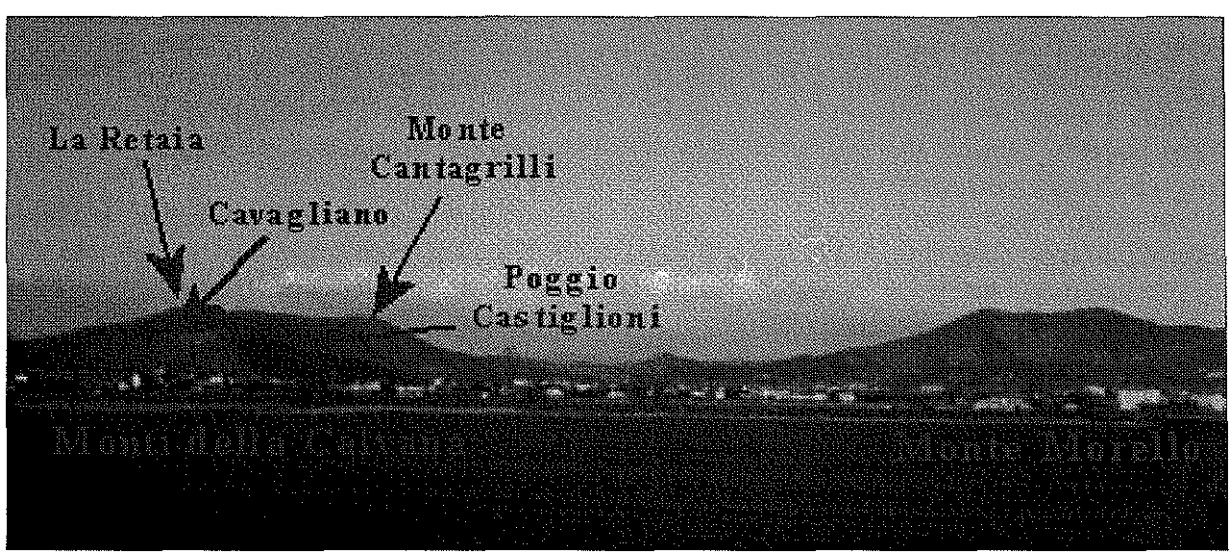
Il monitoraggio dei parametri ambientali di cui sopra permetterà per la prima volta la descrizione del microclima di Forra Lucia e delle variazioni che avvengono nel massiccio carsico della Calvana in funzione dei fenomeni meteorologici esterni. La posizione della cavità, nel bacino del fiume Bisenzio a monte della conoide di Prato, permette inoltre di avere un punto di osservazione sulle acque sotterranee prima che entrino a fare parte delle falde idriche presenti nella pianura di Prato e zone limitrofe, intensamente sfruttate per uso civile ed industriale. Le stazioni meteorologiche esterne situate intorno all'area di Forra Lucia hanno caratteristiche strumentali paragonabili a quelle dei sistemi di rilevamento impiegati in grotta, pertanto i dati possono essere facilmente scambiati e confrontati. In particolare i punti di controllo idraulico e pluviometrico, posti lungo l'asta del Bisenzio a monte e a valle della cavità-laboratorio, forniranno una indicazione fondamentale per stabilire i tempi e le modalità di propagazione della piena in ambiente sotterraneo, permettendo la costruzione di curve idrometriche rappresentative.
Altre stazioni meteorologiche, situate sul crinale della Calvana (poggio Cocolla) e nella piana di Firenze-Prato-Pistoia (Prato Centro, LaMMa-Campi Bisenzio, PIN Piazza Ciardi a Prato etc.), forniranno i dati necessari per le correlazioni. Gli Enti proprietari e gestori delle stazioni meteorologiche esterne, fra i quali è presente la Provincia di Prato, che contribuisce fattivamente al progetto Forra Lucia, mantengono con l'Unione Speleologica Pratese del Club Alpino Italiano sez. di Prato, rapporti di fiducia e collaborazione, anche grazie al fatto che il C.A.I. fu il primo Ente ad installare una stazione meteorologica nella città di Prato (liceo Cicognini, 1875 ca.). I dati rilevati in Forra Lucia saranno comunque a disposizione di Enti e soggetti interessati.

COLLABORAZIONI E PROSPETTIVE DI AMPLIAMENTO DEL LABORATORIO

Come già detto nel paragrafo precedente, i dati del laboratorio Forra Lucia saranno a disposizione di quanti ne faranno richiesta, secondo una politica di massima condivisione delle informazioni disponibili che, si spera, venga adottata da tutti i soggetti interessati. In futuro il laboratorio ipogeo di Forra Lucia potrebbe ospitare altre apparecchiature di rilevamento per il monitoraggio di parametri che dovessero essere giudicati di interesse.
In particolare, vista la posizione della cavità che si sviluppa in corrispondenza di una faglia (struttura tettonica dove possono verificarsi risalite di fluidi endogeni), potrebbero essere installati apparati di rilevamento di gas Radon, elemento che risulta essere uno dei precursori sismici più attendibili. Un passo ulteriore per il miglioramento dei rilevamenti in ipogeo sarà quello di acquisire un sistema automatico per la misurazione della durezza delle acque.
Nella cavità saranno inoltre allestite alcune stazioni di misura per la dissoluzione carsica, da rilevare tramite micrometro con lettura al centesimo di millimetro. Potranno essere inoltre attivate iniziative di studio sulla speleofauna, da affiancare ad azioni analoghe già attuate da altri Enti per alcune specie epigee della Calvana.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1992) - *Guide Geologiche Regionali Appennino Tosco-Emiliano.* BE-MA ed., 4, pp. 328.
- Boccaletti M. & Coli M. (1983) - *La tettonica della Toscana: assetto ed evoluzione.* Mem. Soc. Geol. It., 25, 51-62.
- Bortolotti V. (1966) - La tettonica trasversale dell'Appennino. 1) La linea Livorno-Sillaro. Boll. Soc. Geol. It., 85 (2), 529-540.
- Capecchi F., Guazzone G. & Pranzini G. (1975a) - *Il bacino lacustre di Firenze-Prato-Pistoia. Geologia del sottosuolo e ricostruzione evolutiva.* Boll. Soc. Geol. It., 94, 637-660.
- Ciaranfi E. (1929) - *Grotte di Toscana.* In "Le grotte d'Italia".
- Cicali F. & Pranzini G. (1984) - *Idrogeologia e carsismo dei Monti della Calvana (Firenze).* Boll. Soc. Geol. It., 103, 3-50.
- De Giuli C. (1968) - *Aspetti ed evoluzione del carsismo sui Monti della Calvana.* Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., serie A, 75 (2), 445-459.
- Gei F. (a cura di) (1985) - *Grotte della Calvana.* Ed. Del Palazzo, Prato, pp.134.
- Guazzone G. (1971) - *Ricerca sulle falde acquifere profonde fra Firenze e Pistoia, parte I, indagine geologica.* Quad. IRSA, 6, 42-53.
- Landini F., Pranzini G. & Venturucci E. (1990) - *La falda idrica della conoide di Prato.* Acque Sotterranee, 2, 48-70.
- Mancini F. (1951) - *Contributo alla conoscenza dei fenomeni carsici nei Monti della Calvana.* Atti del V Congresso Nazionale di Speleologia, Salerno.
- Principi P. (1942) - *La geologia e la speleologia della provincia di Firenze.* L'Universo, 23, 7-9.
- Sestini (1959) - *Osservazioni geologiche sui Monti della Calvana (Firenze).* Boll. Soc. Geol. It, 77.
- Sestini (1940) - *Osservazioni geomorfologiche sull'Appennino Tosco-Emiliano fre il Reno ed il Bisenzio.* Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. 48, 1-18.



▲ Foto 1
Immagine dei rilievi che bordano il margine nord dell'area orientale del bacino di Firenze-Prato-Pistoia. Foto scattata in direzione sud-nord.

PROGETTO RIO MARTINO

Federico Magrì[1] - Bartolomeo Vigna[2]

[1] *Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, Gruppo Speleologico Valli Pinerolesi - CAI Pinerolo*
[2] *Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, Dipartimento Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino*

RIASSUNTO

Il progetto Rio Martino si propone di coordinare ed approfondire le attuali conoscenze di questo sistema carsico sotto il profilo esplorativo, chimico, fisico ed idrogeologico, per renderlo disponibile agli enti che gestiscono il territorio e successivamente divulgarlo ad un ampio pubblico.
Il progetto, articolato in diversi settori di ricerca, avrà durata di almeno tre anni con possibilità di prolungamento.

LA GROTTA DI RIO MARTINO

Nota da sempre ai valligiani e meta di numerosi gruppi di "speleologi domenicali" e di scolaresche, la grotta di Rio Martino si apre alla quota di circa 1.530 m, all'interno dell'area protetta del Parco del Po - tratto Cuneese, in territorio del Comune di Crissolo (CN). La cavità, percorsa quasi interamente da un corso d'acqua con una discreta portata (Foto 1), costituisce la parte terminale di un importante sistema idrogeologico che viene alimentato da una vasta area assorbente caratterizzata dall'assenza delle rocce carbonatiche affioranti in superficie. Una coltre detritica di origine morenica ubicata a quota compresa fra circa 1900 e 2200 metri di quota, nel settore compreso tra il Monte Granè e Punta Gardetta ricopre infatti l'acquifero carbonatico sottostante, sviluppato nella successione calcareo-dolomitica del Trias. La grotta ha uno sviluppo complessivo di poco superiore ai 3000 m, con un dislivello massimo di circa 190 m (Fig. 1). Nel 1878 il ramo inferiore, ad andamento suborizzontale, è stato reso turistico (per gli standard dell'epoca!) mediante lo scavo di un sentiero e la posa di passerelle in legno, ancora oggi utilizzato dai molti visitatori fino alla spettacolare Sala del Pissai, dove il torrente ipogeo precipita da una cascata di oltre 40 m di altezza. L'accesso alla grotta non è per ora regolamentato in alcun modo. Malgrado la sua frequentazione, pochi sono i lavori scientifici che descrivono la cavità, la struttura idrogeologica che alimenta il corso d'acqua principale, la fauna cavernicola. Per tale motivo sono iniziati una serie di ricerche specifiche per approfondire le conoscenze relative a questa interessante cavità, denominate "Progetto Rio Martino"

IL PROGETTO RIO MARTINO

Elaborato nel 2001 dalla Associazione dei Gruppi Speleologici Piemontesi, successivamente approvato e finanziato dalla Regione Piemonte ai sensi della L.R. 69/81 (legge regionale sulla "Tutela del patrimonio speleologico della regione Piemonte), il Progetto è caratterizzato dalla molteplicità di enti ed associazioni che vi partecipano: la Regione Piemonte (Ente promotore e finanziatore), l'Associazione dei Gruppi Speleologici Piemontesi (organismo che ha proposto il progetto e svolge funzioni di coordinamento), il Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino (che cura le indagini idrogeologiche e le analisi chimiche), l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare del CNR (che cura le indagini microclimatiche). Attraverso la AGSP partecipano al progetto speleologi di vari gruppi piemontesi.
Il progetto si propone di raccogliere ed approfondire le attuali conoscenze di questo sistema carsico dal punto di vista esplorativo, carsologico, fisico ed idrogeologico e, successivamente, di divulgarle ad un ampio pubblico ed agli enti che gestiscono il territorio. La durata del progetto è di tre anni, con la possibilità di un prolungamento dell'attività di studio e di ricerca. Il progetto è articolato su una serie di ricerche ora brevemente illustrate.

Rilevamento topografico

Queste ricerche sono mirate ad un aggiornamento della topografia della cavità e dei punti assorbenti per inquadrare in dettaglio l'andamento dell'estensione del reticolo carsico con all'assetto geologico e strutturale dell'intera zona. Parte della cavità non è correttamente rilevata, in particolare alcuni rami del tratto superiore, poco frequentati ed esplorati. Si sta quindi procedendo al rilievo completo sia del ramo principale, sia dei rami laterali.
Il progetto prevede anche una serie di immersioni speleosubacquee nel sifone terminale (due sono già state effettuate, giungendo a circa 60 metri di sviluppo) per sondarne lo sviluppo e tentarne il superamento. L'attività di esplorazione procede anche mediante arrampicate e disostruzioni di nuovi passaggi.

Studio idrogeologico e climatologico

Questo studio ha come finalità il rilevamento di una serie di dati e di informazioni relative al flusso idrico sotterraneo ed alla circolazione delle masse d'aria all'interno della cavità.
Per quanto attiene al primo aspetto, è stata installata una centralina di rilevamento automatico che provvede a monitorare in continuo i dati relativi alla portata del torrente sotterraneo, alla temperatura dell'acqua ed alla sua conducibilità elettrica. Questo strumento, posizionato in corrispondenza di uno stramazzo appositamente realizzato, è in funzione dal 17 marzo 2002, ed i dati finora acquisiti sono stati abbinati alle misure meteoclimatiche rilevate da una stazione della Regione Piemonte, ubicata nell'area assorbente sulla verticale del sifone finale della cavità.
Tali rilevamenti, integrati da periodici campionamenti manuali e relative analisi chimiche effettuate in laboratorio delle acque del collettore principale e di diversi arrivi secondari, unitamente ad una prova di tracciamento eseguita con l'ausilio di un sistema automatico di rilevamento, hanno permesso di formulare interessanti ipotesi sul funzionamento dell'acquifero carsico. E' inoltre in fase di installazione una seconda centralina di acquisizione, che verrà posizionata su un arrivo d'acqua secondario, in modo da poter indagare la risposta di un affluente che sembra presentare caratteristiche chimico-fisiche assai differenti dal collettore principale.
Il secondo campo di indagine, riguarda la situazione climatica della cavità e si occupa del rilevamento delle temperature e dei flussi d'aria interni alla grotta.

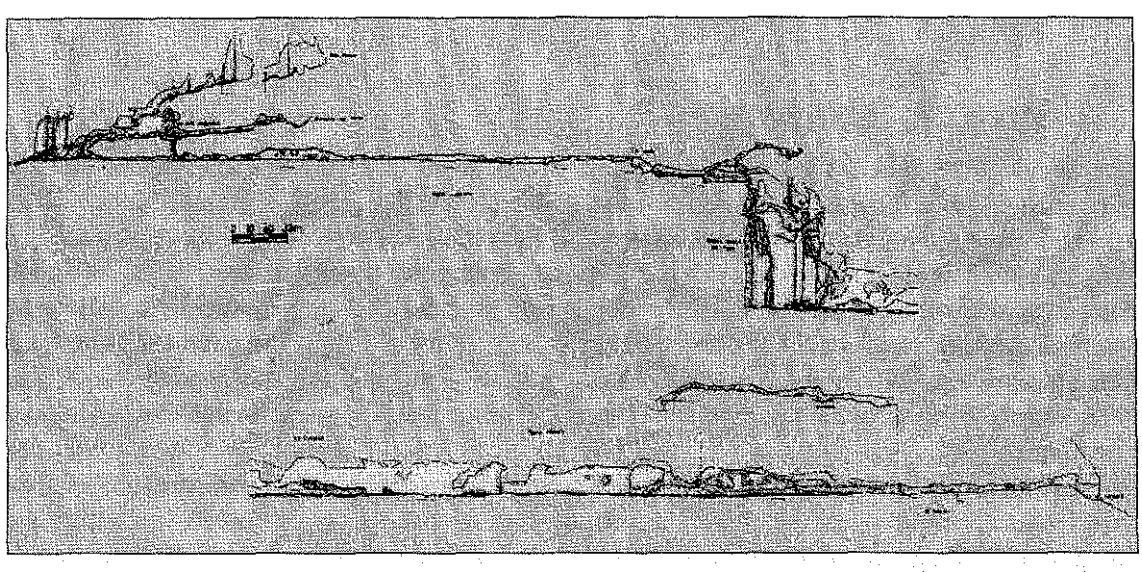


Fig. 1 - Sezione della Grotta di Rio Martino.

La cavità si comporta secondo il classico schema del "tubo a vento", nelle gallerie del ramo inferiore (caratterizzate da una sezione ampia ed un profilo abbastanza regolare) le prime misure hanno evidenziato una stratificazione delle temperature: più alte nella parte superiore, più basse in prossimità del corso d'acqua.
Lo studio si propone di posizionare tre serie di sonde termometriche automatiche con sensibilità 1/100° di grado, distanziate di circa 80 m una dall'altra, in modo da misurare le variazioni della stratificazione delle temperature al variare della direzione del flusso d'aria, sia nel tempo, sia nello spazio. I dati raccolti permetteranno di studiare l'influenza dei flussi d'aria sul delicato equilibrio fra evaporazione e condensazione.
In aggiunta a tali settori di studio, è in corso di svolgimento anche un accurato studio biospeleologico, volto a censire le specie animali che popolano la cavità e le grotte minori ad essa adiacenti.

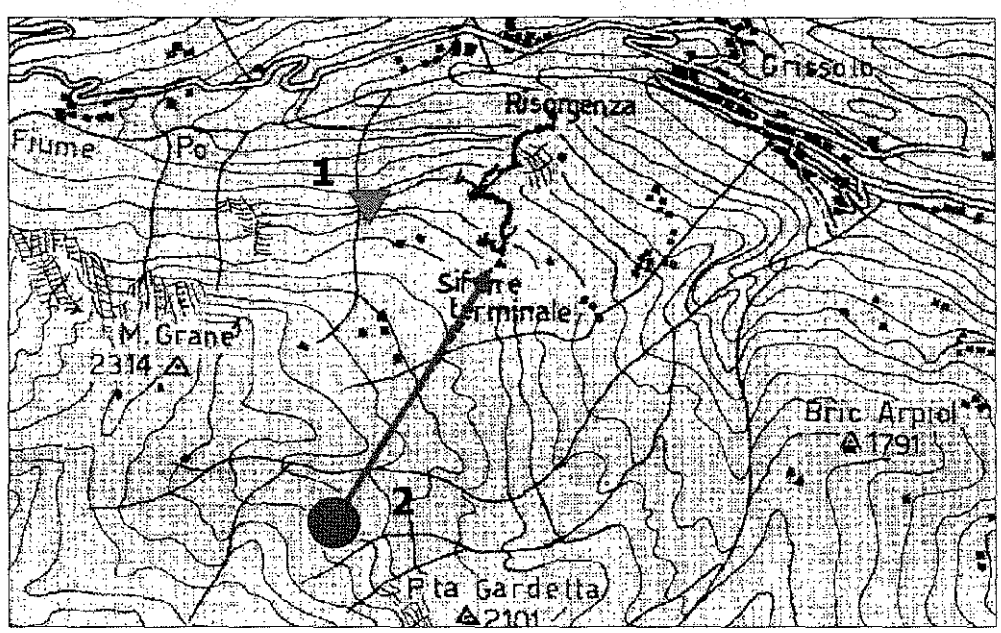


Fig. 2 - Punti di immissione del tracciante.

Pubblicazioni

Parte integrante del progetto, e non semplice appendice allo stesso, è la pubblicazione dei risultati acquisiti. E' quindi prevista la pubblicazione di due volumi: l'uno a carattere estremamente divulgativo, destinato al pubblico di visitatori della grotta ed ai turisti della valle Po, l'altro rivolto ad un pubblico di esperti del settore, che raccolga l'insieme dei dati derivanti dal monitoraggio, il frutto delle altre attività esplorative e di studio e le conclusioni tratte dall'analisi del tutto. Il primo volume andrà a colmare il vuoto informativo che attuahnente riguarda la grotta di Rio Martino; l'ultima pubblicazione specificamente dedicata ad essa si poteva trovare in vendita a Crissolo fino a 15 anni fa circa: si tratta del volume intitolato "Rio Martino", scritto da Giuseppe Gallo insieme a Nilo e Roberto Marocchino, con le fotografie di Valerio Bergerone, nel 1972 ed edito dal CAI di Saluzzo.
In questo lavoro verranno presentati i primi risultati dello studio idrogeologico effettuato su questo interessante sistema carsico.

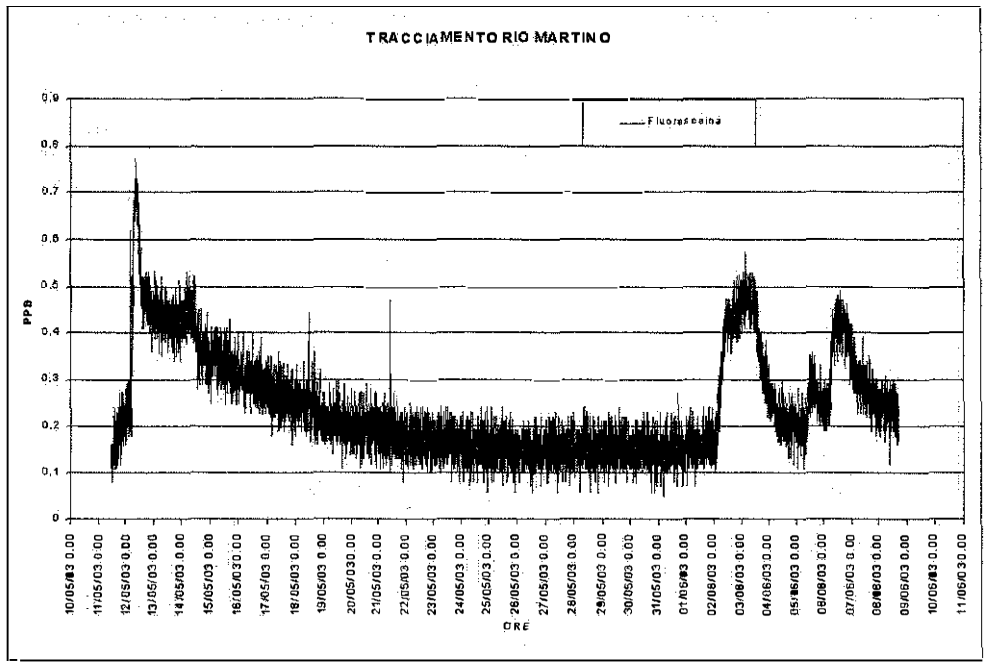


Fig. 3 - Curva di restituzione del tracciante.

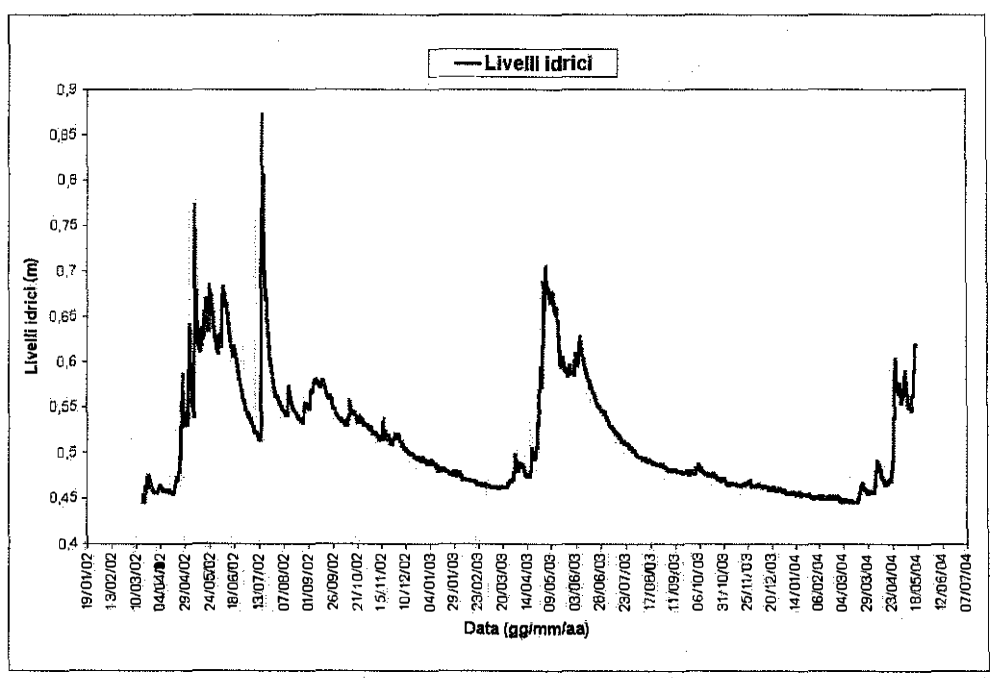


Fig. 4 - Misure dei livelli idrici registrate tra marzo 2002 e maggio 2004..

L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il sistema carsico che alimenta il corso d'acqua presente nella cavità, costituisce uno dei più rappresentativi esempi, nel panorama carsico nazionale, di un acquifero impostato in rocce carbonatiche quasi totalmente coperto da una potente successione di depositi morenici. Ad eccezione dei ripidi versanti sovrastanti la cavità e di alcuni limitati lembi nell'area di alimentazione, l'ammasso calcareo-dolomitico non è affiorante e la principale area di ricarica del sistema è impostata in corrispondenza di un ampio settore con pendii piuttosto blandi solcati da una serie di valloni dove è presente unicamente una potente coltre di ghiaie molto grossolane con abbondante matrice siltoso-sabbiosa riferibili ai depositi legati alle diverse fasi glaciali pleistoceniche. Lo spessore di tali sedimenti non è misurabile ma, sulla base dell'aspetto morfologico superficiale si può affermare che in genere supera le diverse decine di metri. L'area assorbente principale è ubicata grossomodo tra i 1900 ed i 2200 m di quota, ed è caratterizzata da una prateria alpina con assenza di alberi di alto fusto, limitata da ampi affioramenti di grossi massi, blocchi e detriti morenici. In seguito ad abbondanti precipitazioni o alla fusione del manto nevoso, sono presenti una serie di corrivi superficiali che, in parte vanno ad alimentare l'acquifero sottostante, in parte ruscellano verso i ripidi pendii dell'ampia vallata in sinistra orografica del Fiume Po.
In corrispondenza di questi piccoli rii è stata eseguita una prova di multitracciamento, immettendo due diverse sostanze fluorescenti: 2 kg di Tinopal sono stati sciolti in corrispondenza di un torrentello ubicato in prossimità del limite meridionale dell'idrostruttura, mentre 1.5 kg di fluoresceina sono stati riversati in un rio presente verso il lato settentrionale dell'area (Fig. 2).
Nella grotta di Rio Martino è stato installato un acquisitore automatico, in grado di misurare in continuo la concentrazione dei due coloranti immessi nell'area di alimentazione. I risultati del test hanno mostrato che il primo corso d'acqua non concorre all'alimentazione dell'acquifero carbonatico mentre le acque del secondo rio, raggiungono il collettore principale.
Le modalità di restituzione del tracciante (Fig. 3) evidenziano una notevole complessità della circolazione idrica. Un primo picco di arrivo della fluoresceina è stato registrato dopo soli 2 giorni dall'immissione, dimostrando l'esistenza di un esteso reticolo carsico che sembrerebbe svilupparsi fino in prossimità del punto di immissione del colorante.
La concentrazione è invece risultata essere piuttosto bassa evidenziando come solo una parte della sostanza immessa sia giunta nella cavità. Dopo circa 15 giorni sono stati infatti registrati altri due picchi, in concomitanza di altrettanti periodi piovosi, e che sembrano sottolineare come il restante tracciante sia fluito nell'acquifero impostato nei depositi morenici ed in tempi molto più lunghi sia stato poi restituito alla sottostante struttura carbonatica.

LE MISURE DI PORTATA, TEMPERATURA E CONDUCIBILITA' ELETTRICA DELLE ACQUE

Per lo studio idrogeologico del sistema carsico, si è dovuto innanzitutto costruire uno stramazzo all'interno della cavità, indispensabile per effettuare le misure di portata in continuo del corso d'acqua. Tale impegnativo lavoro ha visto in opera l'intero Gruppo Speleologico Valli Pinerolesi che, nell'arco di diversi mesi, trasportando diverse decine di quintali di materiali, è riuscito a costruire, a circa 200 m dall'ingresso, uno sbarramento in cemento armato, dotato di una bocca a stramazzo rettangolare (Foto 2). Quest'opera ha creato un piccolo invaso a monte nel quale è stata installata una sonda multiparametrica per la misura in continuo dell'altezza dei livelli idrici, della temperatura e della conducibilità elettrica delle acque. Con opportune formule matematiche le altezze dei livelli idrici vengono poi successivamente trasformate in portate. Ad intervalli regolari, circa ogni tre mesi, un addetto dello stesso gruppo, scarica i dati acquisiti su un personal computer.
I primi dati relativi a questo studio hanno messo in luce una interessante risposta idrodinamica ed idrogeochimica del sistema agli input infiltrativi, che conferma la situazione idrogeologica prima esposta, evidenziando la complessità della circolazione idrica dell'area in esame e l'importanza dei travasi dall'acquifero morenico verso la struttura carbonatica.

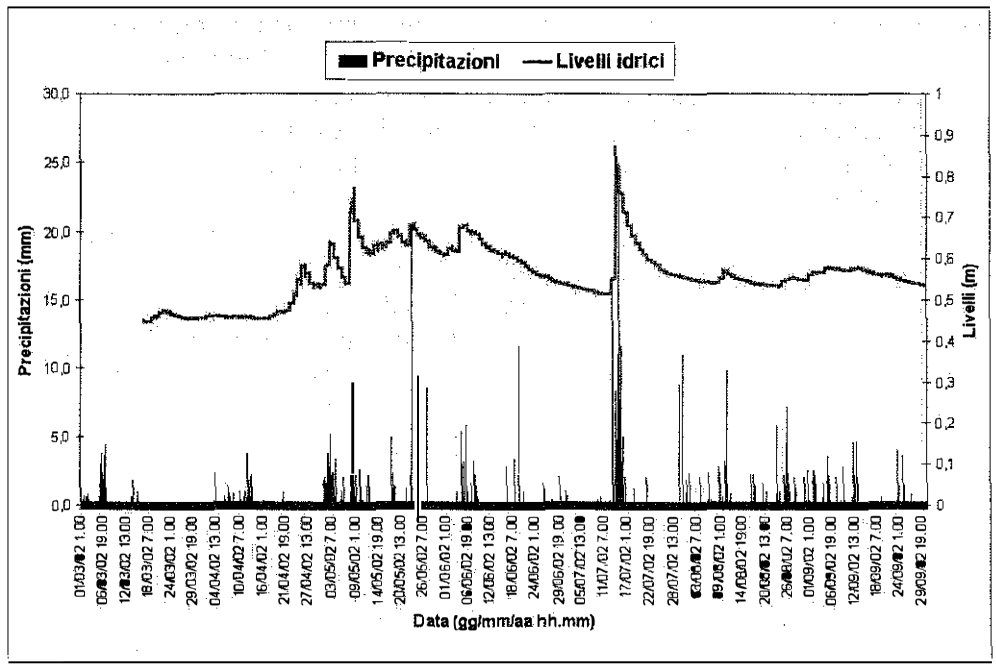


Fig. 5 - Confronto tra precipitazioni e livelli idrici tra marzo e ottobre 2002.

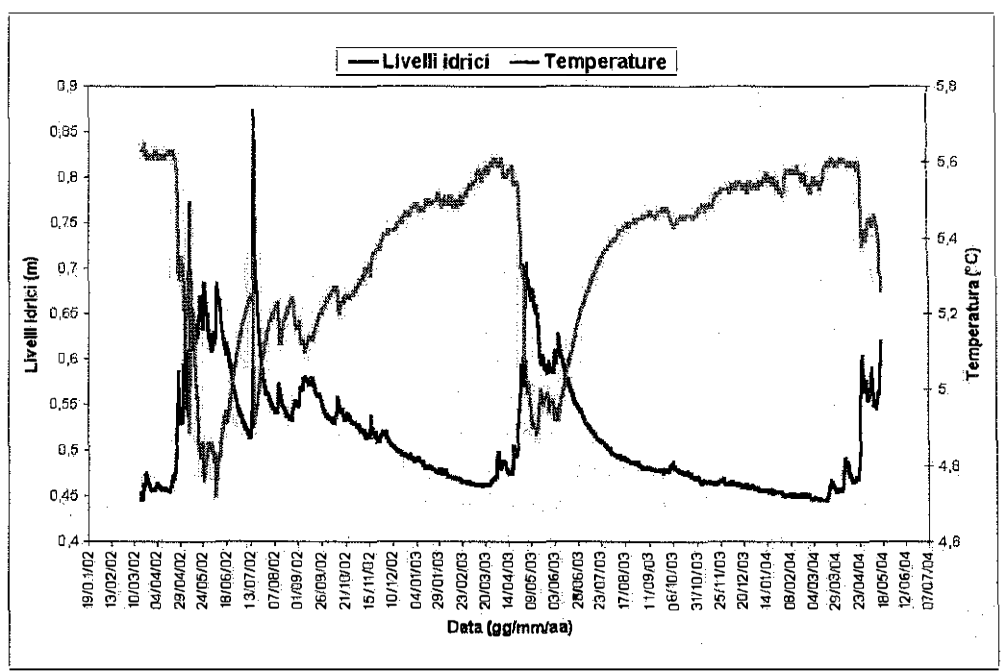


Fig. 6 - Confronto tra i livelli idrici e la temperatura delle acque.

Le misure di portata

Le misure di portata fin ora registrate, per oltre due anni (Fig. 4), mostrano un andamento molto particolare, caratterizzato dall'assenza di grandi variazioni dei livelli idrici, tipiche degli acquiferi cartonatici altamente carsificati, ma da una risposta alle precipitazioni piuttosto rapida. Il trend generale è caratterizzato da una importante piena primaverile, seguita da una serie di picchi di portata più o meno importanti, a secondo delle condizioni metereologiche del periodo estivo ed autunnale, con una progressiva e lenta diminuzione dei livelli fino alla primavera successiva.
Più in dettaglio possiamo osservare come verso la fine del mese di marzo vengano raggiunti i valori minimi della portata, intorno ai 50 l/s, legati all'assenza delle infiltrazioni nei mesi invernali dovute alle basse temperature ed al suolo gelato registrate nell'area di alimentazione. Segue poi una importante piena primaverile, anticipata da picchi secondari, legati a temporanee risalite delle temperature dell'aria. In genere la piena più importante inizia verso la fine del mese di aprile, raggiungendo i valori massimi prossimi ai 300 l/s a maggio.
La sua durata è di diversi mesi ed è condizionata dalla importante fusione del manto nevoso a cui si assommano gli apporti delle precipitazioni liquide del periodo.
Tali apporti originano una serie di picchi secondari che vengono assorbiti nell'arco di pochi giorni. Le portate a partire dal mese di giugno iniziano poi gradualmente a scendere ma possono subire temporanei aumenti legati all'intensità delle precipitazioni estive. La curva di esaurimento si protrae fino alla primavera successiva ed è pesantemente condizionata dagli apporti (denominati travasi) provenienti dall'acquifero impostato nei depositi morenici che, essendo dotati di una permeabilità piuttosto ridotta, cedono lentamente ai calcari sottostanti l'importante volume idrico che si accumula, durante l'anno, nell'acquifero poroso.
Il confronto tra i dati di precipitazioni registrati nell'area assorbente e le portate misurate (Fig. 5), evidenzia una stretta correlazione di questi dati con un ritardo tra gli apporti e gli aumenti di livello di solo poche ore. Tali aumenti risultano però essere sempre piuttosto contenuti come, ad esempio il picco di piena legato all'evento alluvionale di metà luglio del 2002, tristemente famoso in diverse zone del Piemonte, dove in seguito alle intensissime precipitazioni, la portata è passata dai 100 a circa 400 l/, con un incremento quindi di soli 300 l/s.
Tale comportamento rispecchia molto bene la situazione presente nell'area assorbente e conferma i dati acquisiti attraverso i test con traccianti. La potente copertura morenica presente in quota e dotata di una permeabilità piuttosto ridotta impedisce infatti l'infiltrazione diretta delle precipitazioni che avviene solo in alcune zone, arealmente piuttosto ridotte, dove i calcari risultano essere molto vicini alla superficie topografica. In questi settori modesti volumi idrici riescono ad infiltrarsi ed ad arrivare rapidamente alla sorgente attraverso una ipotetica estesa rete carsica. Come si può osservare dal grafico di correlazione precipitazioni - portate, alcuni incrementi della portata non possono essere messi in relazione con gli apporti, oppure alcuni episodi piovosi non forniscono aumenti dei livelli idrici sotterranei.
Nel primo caso occorre ribadire che gli incrementi della portata dei mesi primaverili sono in parte dovuti esclusivamente alla fusione del manto nevoso e quindi il pluviografo presente nell'area assorbente non può registrare tali episodi infiltrativi. Nel secondo caso bisogna sottolineare che nel periodo estivo le precipitazione sono sovente di carattere temporalesco ed anche arealmente piuttosto limitate. E' quindi probabile che l'unico pluviometro presente in quota non sia ubicato in prossimità delle poche aree di assorbimento diretto dell'acquifero carbonatico.

Le misure di temperatura e conducibilità elettrica

Anche i parametri chimico-fisici delle acque registrate dalla sonda multiparametrica forniscono dati estremamente interessanti che confermano la situazione idrogeologica ed idrodinamica precedentemente descritta. Il confronto tra l'andamento della portata con quello della temperatura e della conducibilità elettrica delle acque evidenzia una risposta del sistema in studio del tipo a "sostituzione prevalente" (Vigna 2002) tipico di acquiferi piuttosto carsificati, con una zona satura piuttosto ridotta o assente ed alte velocità della rete di flusso (sistemi a dreno dominante).

Tale comportamento è caratterizzato da un andamento speculare dei diversi valori misurati: ad incrementi del flusso corrispondono relativi decrementi dei parametri idrogeochimici legati all'arrivo nel sistema delle acque di neoinfiltrazione, caratterizzate da una minore mineralizzazione ed in genere da temperature più basse rispetto alle acque circolanti nel sistema carsico.
Le variazioni misurate nel corso d'acqua di Rio Martino sono però molto più contenute rispetto a quelle che si registrano nei tipici sistemi carsici a dreno dominante, in quanto l'acquifero in esame è pesantemente condizionato dalla copertura morenica presente nell'area di alimentazione.
Nel sistema, in seguito ad importanti apporti, arrivano rapidamente solo una parte delle acque di neoinfiltrazione che poi si mescolano con quelle provenienti dal lento e continuo contributo dei depositi detritici.
Osservando il grafico relativo al confronto tra i livelli idrici e la temperatura delle acque (fig.6), si osserva che nel periodo invernale-inizio primaverile, in concomitanza delle portate minime, si registrano i più alti valori delle temperatura che raggiungono circa i 5.6° C.
Con l'arrivo della piena primaverile e delle acque di neoinfiltrazione la temperatura scende piuttosto rapidamente, di circa 1° C, conseguendo il valore minimo intorno ai 4.7° C in concomitanza con i picchi di massima piena. Durante questo periodo il sistema riceve il contributo delle acque di fusione nivale che presentano temperature molto basse, vicino allo 0, ma che solo in minima parte finiscono direttamente nel sistema carsico mentre un volume rilevante va ad alimentare l'acquifero presente nei depositi morenici.
Progressivamente la temperatura ritorna a salire, con interruzioni secondarie legate agli episodi infiltrativi ed a conseguenti temporanee diminuzioni termiche di pochi decimi di grado. Nella stagione invernale vengono poi raggiunti i valori più elevati di temperatura essendo il sistema alimentato unicamente dai travasi provenienti dal morenico dove le basse velocità di deflusso e l'intimità di contatto con tali sedimenti, permettono alle acque di raggiungere un certo equilibrio termico con l'ammasso roccioso.

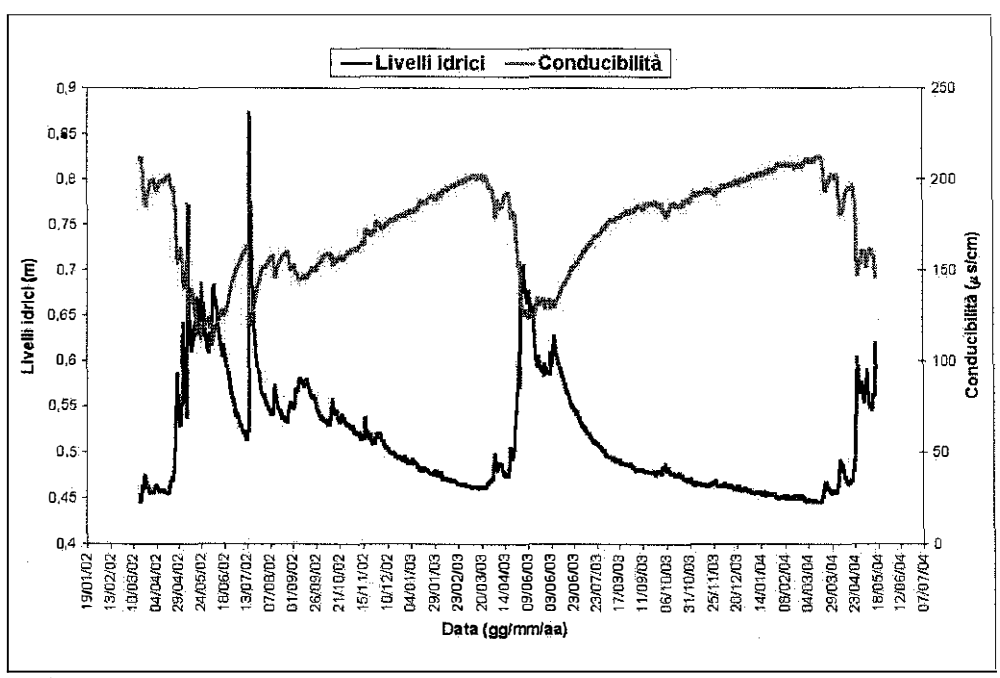


Fig. 7 - Confronto tra livelli idrici e conducibilità delle acque.

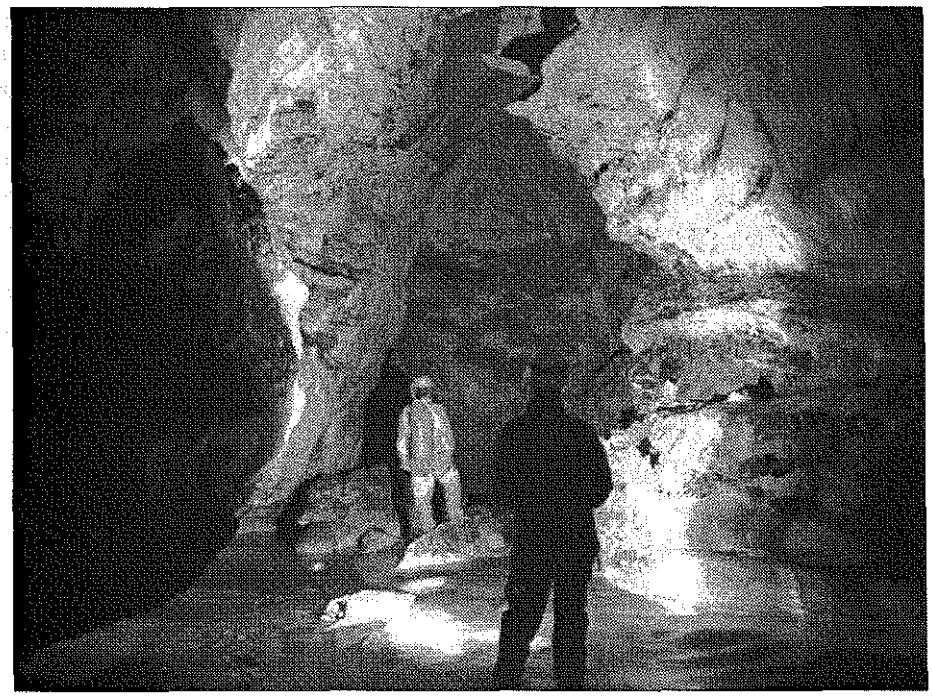
Il grafico relativo al confronto tra i livelli idrici e la conducibilità elettrica delle acque (Fig.7) mostra un andamento molto simile a quello descritto in precedenza. Particolarmente interessante risulta essere la misura media della conducibilità elettrica, intorno ai 160 µs/cm, valore piuttosto ridotto ed anomalo per le acque circolanti in un sistema carsico. Occorre evidenziare ancora una volta il ruolo svolto dai depositi morenici di copertura: la circolazione idrica è impostata in un ammasso costituito in prevalenza da clasti di rocce cristalline e metamorfiche e, quindi, la mineralizzazione di queste acque risulta essere piuttosto bassa. I volumi ceduti poi ai calcari sottostanti attraversano rapidamente l'ammasso carbonatico impostato lungo importanti vie di drenaggio e non hanno quindi tempo di raggiungere una elevata mineralizzazione delle acque.
L'andamento annuale mostra come i valori maggiori della conducibilità vengano raggiunti nel periodo invernale, di poco superiori ai 200 µs/cm, per poi scendere piuttosto rapidamente durante le piene primaverili, dove vengono sempre raggiunti valori inferiori ai 150 µs/cm.
Tale decremento è sicuramente legato all'apporto delle acque di neoinfiltrazione, caratterizzate da una mineralizzazione molto ridotta. Come osservato per la temperatura, progressivamente la conducibilità elettrica cresce, legata in particolar modo alla velocità del flusso sotterraneo che diventa sempre più lenta e quindi ai maggiori tempi di permanenza delle acque nell'acquifero e conseguenti incrementi della mineralizzazione.
Aumenti più o meno importanti di portata legati all'apporto delle acque di neoinfiltrazione fanno poi scendere temporaneamente la conducibilità delle acque nel corso della stagione estiva o autunnale.

CONCLUSIONI

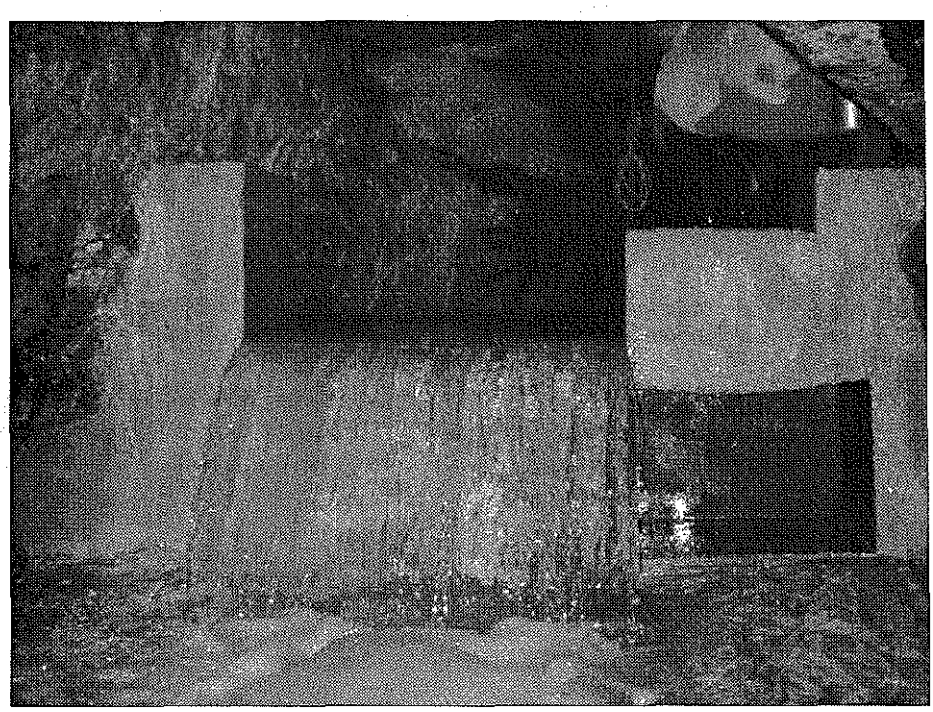
Anche se presentato in modo preliminare il "Progetto Rio Martino"mette in luce l'importanza delle ricerche che si stanno portando avanti in questa cavità, non solo legate alle conoscenze dell'importante sistema carsico, ma anche alla sperimentazione di nuove tecniche ed attrezzature di rilevamento in campo idrogeologico e fisico.
I risultati che si potranno ottenere nel corso di tali studi saranno molto utili dal punto di vista scientifico ed anche per l'aspetto didattico-divulgativo e più in generale per la conoscenza dei fenomeni carsici presenti nella nostra regione.
Fin ora la collaborazione tra gli speleologi, gli enti pubblici e quelli di ricerca sembra essere stata molto produttiva e sicuramente approderà in futuro ad interessanti risultati.

BIBLIOGRAFIA

- Civita M., Manzone L., Olivero G., Vigna B. (1991) - *Approcci sinergici nelle ricerche sui sistemi idrogeologici carbonatici del Piemonte meridionale.* Proc. Congr. "Ricerca e Protezione delle Risorse idriche sotterranee delle aree montuose", Brescia, pp. 53-86.
- Uggeri A., Vigna B. (1991) - *Nuovi traccianti ed esperienze di valutazione delle velocità di flusso negli acquiferi carsici.* Proc. Congr. "Ricerca e Protezione delle Risorse idriche sotterranee delle aree montuose", Brescia, pp. 29-51.
- Civita M., Peano G., Vigna B. (1999) - *Primi risultati dello studio dell'insaturo carbonatico nel sistema di Bossea (Alpi Liguri - Piemonte Meridionale).* Atti "3° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio", Parma 13-15/10/1999.
- Vigna B., Calandri G. (2001) - *Gli acquiferi carbonatici.* Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Edizioni Genova, pp. 48
- Vigna B. (2002) - *Monitoraggio e valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi carsici.* Atti Conv.: "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo", Forno 22 Giugno 2002, pp 23-35



▲ Foto 1
La galleria principale ed il corso d'acqua.



▲ Foto 2
Stramazzo costruito nella galleria principale.

CONCENTRAZIONE ATMOSFERICA DI ^{222}RN NELLA GROTTA DI BOSSEA E RELAZIONI CON IL REGIME DEI FLUSSI IDRICI INTERNI

Giovanni Agnesod [1], Guido Peano [2-3], Ezechiele Villavecchia [2]

[1] ARPA Valle d'Aosta; [2] Stazione Scientifica di Bossea; [3] Comitato Scientifico Centrale del CAI

RIASSUNTO

Presso il Laboratorio della Stazione Scientifica di Bossea è stata effettuata, dal marzo 1999 al dicembre 2000, una misura in continuo della concentrazione di radon in aria. Essa fa seguito a precedenti campagne di misura rivolte alla conoscenza dei livelli medi sul lungo periodo di concentrazione di radon in diversi punti della grotta, con l'uso di rivelatori passivi. La campagna 1999 – 2000 è stata condotta utilizzando un sistema di misura a camera di ionizzazione (AlphaGUARD). Essa ha permesso di studiare la correlazione tra i livelli di concentrazione di radon interni alla grotta e le variazioni della portata, contemporaneamente monitorata, del torrente sotterraneo, soggetto, nel periodo in questione, ad eventi di piena particolarmente rilevanti. Anche la concentrazione di radon disciolto nelle acque interne della grotta è stata soggetta a ripetute misure puntuali, nell'arco del periodo di studio. L'insieme dei dati acquisiti, e qui presentati, permette di formulare ipotesi sulle dinamiche di sviluppo di radon nell'ambiente interno della grotta, in relazione alle condizioni del sistema acquifero della grotta.

ABSTRACT

The atmospheric concentration of ^{222}Radon in the Bossea cave were continuously detected from march 1999 to december 2000 with a ionization chamber (Alpha GUARD): the research follows up a program of foregoing scattered measures, achieved with passive data collectors, necessary to detect the range of radon concentration along the cave.

The study allowed to observe correlations of the radon levels with the stream flow fluctuations; the concentration of dissolved radon was also measured during the same period and the set of data presented in the study allows to formulate hypoteses about the radon dynamics in the cave.

L'AMBIENTE ALLO STUDIO

Morfologia

La grotta di Bossea costituisce il settore terminale di un complesso sistema carsico che si estende sulla sinistra idrografica della Val Corsaglia, dall'abitato di Bossea fin oltre lo spartiacque con la valle Maudagna, raggiungendo la Conca di Prato Nevoso. Si tratta di un vasto acquifero carsico drenante un bacino imbrifero esterno di almeno 6 kmq di area. La cavità è percorsa da un torrente di rilevante portata costituente il collettore principale del sistema, che ha ormai ricevuto, in questa zona, tutti i principali apporti idrici provenienti da punti diversi del massiccio.

In base alle attuali conoscenze la grotta ha uno sviluppo spaziale di quasi 3 km. ed un dislivello di 199 m. La galleria d'ingresso introduce alla zona inferiore, lunga complessivamente circa 1 km con forte dislivello ascendente (115 m); una successione di giganteschi saloni porta al Lago di Ernestina e alla grande cascata, ove termina la parte turistica della cavità. Questa zona della grotta presenta morfologia aspra e scoscesa, caratterizzata da altezze vertiginose, strapiombi, dirupi, clasti ciclopici e soffitti intagliati a spigoli vivi. Tutto ciò si alterna con un ricco ed imponente concrezionamento calcareo. Nel torrente che discende la cavità si alternano rapide, cascate e piccoli bacini lacustri.

Oltre la cascata inizia la zona superiore della grotta, costituita dal canyon del torrente e dalle sovrastanti gallerie fossili.

Il canyon, lungo 400 m, molto alto e stretto, ha sviluppo orizzontale; presenta aspetti pittoreschi e suggestivi. La sua parte terminale è occupata dal Lago Loser, di 120 m di lunghezza, navigabile con un canotto. Le acque del torrente scaturiscono da un complesso sifone, esplorato dagli speleosub per 150 m di sviluppo e 55 metri di profondità. I rami fossili costituiscono un vasto reticolo di condotti idrici ormai inattivi, a sviluppo orizzontale o inclinato.
Le indagini scientifiche esperite inducono a ritenere che la zona sommersa abbia grande estensione, ben superiore alla parte finora esplorata dai subacquei. E' possibile che ai livelli superiori esistano importanti reti di gallerie aerate, tuttavia non raggiungibili per quanto oggi noto. Per l'abbondanza e l' energia delle acque correnti e percolanti, Bossea si presenta come vera e propria grotta vivente, percorsa da flussi idrici impetuosi, in cui i processi di formazione e modellamento sono tuttora pienamente attivi.

Idrogeologia

L'acquifero di Bossea si sviluppa entro i litotipi appartenenti alla serie del Brianzonese Ligure, e più precisamente nell'Elemento Navonera-Bossea-Prel (Vanossi, 1974), limitato da imponenti linee tettoniche con direzione approssimativa E-W (linea di Fontane e linea del Prel) e caratterizzato da una zona fortemente compressa, a pieghe e scaglie originariamente vergenti a nord e successivamente raddrizzate, interessata da faglie subverticali.
La struttura idrogeologica comprendente il sistema carsico di Bossea è costituita da una fascia di rocce carbonatiche (calcari dolomitici e dolomie triassiche, calcari marmorei giurassici, calcari scistosi localmente arenacei del Cretaceo) orientata all'incirca WNW-ESE, limitata da importanti linee tettoniche sub-verticali e compresa fra i litotipi basali della serie (quarziti e porfiroidi) che la fiancheggiano a N e a S. La serie carbonatica, fratturata e ben carsificata, conferisce all'acquifero una elevata capacità di ingestione e di trasporto delle acque. I litotipi del basamento si presentano localmente (in corrispondenza delle principali discontinuità) intensamente fratturati e cataclasati.
Nella grotta, dopo la galleria iniziale scavata nei calcari dolomitici, i grandiosi saloni che ne costituiscono la parte inferiore, fino al Lago di Ernestina, sono impostati lungo un complesso contatto tettonico fra le rocce carbonatiche ed i porfiroidi del basamento che presenta andamento moderatamente inclinato o suborizzontale: tale contatto, spesso mascherato da colate concrezionali, è tuttavia visibile prima sulla sinistra e poi sulla destra idrografica quasi per l'intero sviluppo di questo settore della cavità.
I porfiroidi sono quasi ovunque intensamente cataclasati e laminati e presentano scarsa compattezza e consistenza con presenza all'interno della massa rocciosa di estese fratture e superfici di discontinuità che sembrano addentrarsi notevolmente in profondità. Ciò ha permesso alle acque del torrente ed ai materiali trasportati una facile erosione, con approfondimento ed ampliamento della grotta in questi litotipi. Pertanto i grandi saloni risultano scavati prevalentemente o interamente nei porfiroidi.
La zona superiore della grotta (canyon del torrente e gallerie fossili sovrastanti), impostata su una serie di fratture subverticali, è scavata interamente nei calcari o nelle dolomie triassiche.
Il torrente ha generalmente portate oscillanti fra i 50 l/s ed i 1200 l/s, con punte che possono raggiungere i 1500 l/s, ed alta escursione annua fra minime e massime. Nell'anomalo episodio alluvionale dell'ottobre 1996, la portata raggiunse tuttavia un eccezionale livello valutato oltre i 4000 l/s.
Il corso d'acqua riceve nell'ambito della grotta una serie di apporti di acque di percolazione provenienti dal complesso reticolo di fratture sovrastante la cavità. Fra questi si annoverano due afflussi più consistenti costituiti dalla Polla delle Anatre, situata poco a monte del Lago di Ernestina nella parte superiore della cavità e la Polla dell'Orso ubicata nell'omonimo salone della zona inferiore. I due recapiti idrici hanno portate massime finora registrate prossime rispettivamente a 3000ml/s ed a 500 ml/s. Le caratteristiche fisico-chimiche delle rispettive acque, pur provenienti da zone diverse, fanno ritenere assai probabile un loro percorso in esteso contatto con i porfiroidi del basamento, assai prossimi alle due scaturigini. Ciò pare trovare conferma nelle concentrazioni del Radon in tali acque, assai superiori, come si potrà constatare nel proseguo, a quelle nelle acque del torrente provenienti invece dai litotipi della serie carbonatica.

Meteorologia

La situazione meteorologica della cavità appare piuttosto complessa e di non facile interpretazione. La temperatura presenta variazioni notevoli, anche largamente superiori al grado centigrado, da zona a zona, indipendentemente dalla distanza dall'ingresso o dalla quota. Il movimento dell'aria risulta generalmente piuttosto modesto e diffuso in modo relativamente omogeneo in tutti i principali ambienti. Non sono state ancora completamente chiarite le modalità della circolazione aerea grotta-ambiente esterno.
Allo stato attuale delle conoscenze la cavità non risulta possedere altri punti di accesso all'infuori dell'ingresso abituale e non sembra presentare altri collegamenti apprezzabili con l'ambiente esterno, se non tramite le fratture sovrastanti che formano reticoli assai estesi ma hanno larghezza molto limitata. Tali fratture sono abitualmente occupate in minor o maggior misura dalle acque che vi scorrono o che vi ristagnano.
La presenza delle acque impedisce perciò la circolazione aerea in queste fratture per tutto l' anno,ad esclusione, forse,dei periodi di particolare siccità del sistema carsico conseguenti ad assenze assai prolungate di precipitazioni.
La circolazione aerea grotta-ambiente esterno sembra perciò rientrare nell'intero arco dell'anno, o almeno nella sua grandissima maggioranza, nella tipologia del "sacco d'aria",ovvero dell'entrata e dell'uscita dell'aria tramite l'unico orifizio esistente, con scorrimento dei flussi di opposta direzione rispettivamente a livello del pavimento e del soffitto del corridoio d'ingresso, ed alternanza dei medesimi legata alla successione stagionale. Tale situazione trova conferma nella totale assenza di forti correnti d'aria nella cavità, se non in vicinanza delle rapide e delle cascate, e nella scarsa velocità dei flussi aerei in tutta la grotta ad eccezione di pochi punti particolari. In alcune zone periferiche, corrispondenti a diverticoli che sembrano diramarsi verso l'esterno si avvertono flussi d'aria più percettibili, che indurrebbero a ipotizzare una modesta circolazione locale a "tubo di vento" con ingresso ed uscita dell'aria da punti diversi.
Dalle osservazioni pluriennali effettuate si è potuto tuttavia constatare che il microclima ed il movimento dell'aria nella cavità sono regolati prevalentemente dal regime del collettore idrico che, tramite gli scambi di calore roccia-acqua-atmosfera e tramite la ventilazione indotta dalle cadute e dalle turbolenze delle acque, determina le variazioni dei principali parametri meteorologici. La direzione della circolazione dell'aria in tutta la zona dei grandi saloni (parte inferiore della grotta) appare, ad esempio, svincolata dalla variazione delle temperature esterne e legata invece al movimento dell'acqua.
Fra l'altro le differenze di temperatura rilevate fra le diverse zone della grotta sono legate in modo evidente alla maggiore o minore distanza dalle acque correnti o precipiti, mentre a forti incrementi della portata del torrente corrisponde un marcato aumento della ventilazione in prossimità delle cascate e delle rapide ed un aumento più modesto ma già rilevante in tutta la grotta.
La velocità dell'aria, in vicinanza delle cadute d'acque, può variare fra 1-2 m/s in condizioni di bassa portata fino a 7-8 m/s ed oltre, in condizioni di piena; nei diversi saloni, ove le correnti aeree sono soggette ad una forte dispersione, sono state finora misurate velocità varianti fra 4-5 cm/s e 60-70 cm/s.
Nel complesso il movimento delle acque mantiene una circolazione e un ricambio d'aria permanenti ed apprezzabili in tutte le zone della grotta Ciò comporta una diffusione relativamente uniforme dei gas atmosferici nella cavità, con differenze non molto marcate fra la zone superiore e la zona inferiore, come constatato anche dalla misurazione della concentrazione del CO_2.
La situazione cambia marcatamente nelle nicchie più basse e meno aerate scavate prevalentemente o totalmente nei porfiroidi, ed ancor più nelle fratture entro i porfiroidi, aventi comunicazioni limitate e scambi abitualmente ridotti con il restante ambiente di grotta, ove ha luogo un ristagno ed un'alta concentrazione del gas pesante ivi emanato. Queste sacche d'aria possono essere tuttavia mobilizzate dalla spinta (pistonaggio) esercitata da correnti aeree originate dall'aumento della massa e della velocità delle acque o dalle stesse acque invadenti in condizioni di grande piena siti abitualmente asciutti, miscelandosi con l'atmosfera della grotta ed inducendo un assai rilevante aumento della concentrazione del Radon in tutta la cavità.
Differenti condizioni idrodinamiche e meteorodinamiche possono dunque determinare forti variazioni della presenza del ^{222}Rn nell'atmosfera della grotta nei diversi periodi dell'anno, rilevabili ed analizzabili tramite misurazioni continuative dei parametri interessati.

Tab. 1 - Livelli di concentrazione in aria di Rn222 rilevati a Bossea, 1994-1995.

Punto di misura Rif. fig. 1	Concentrazione Rn222 Bq/m^3
1	803
2	734
3	824
4	720
5	810
6	836
7	962
8	913
9	899
10	926
11	839
12	783

PRECEDENTI CAMPAGNE DI MISURA DELLE CONCENTRAZIONI DI RADON NELLA GROTTA DI BOSSEA

La prima campagna di misura di concentrazioni di radon nella grotta di Bossea fu compiuta nel 1994-1995. Essa fu rivolta alla mappatura dei livelli di concentrazione di radon in aria in diversi punti della grotta, lungo tutto il suo sviluppo, come indicato in figura 1. La campagna fu condotta con l'utilizzo dei dosimetri passivi utilizzati nella campagna nazionale ENEA-ISS per la valutazione della radioattività naturale indoor (7). Essi sono basati su rivelatori a tracce nucleari su film sottile (LR115). I dosimetri vennero esposti per la durata di un mese, dal 17/12/94 al 15/01/95.

I valori di concentrazione rilevati (6) sono riportati in tabella I. Il punto di misura 3 corrisponde al Laboratorio principale della Stazione Scientifica di Bossea (nel seguito chiamato Laboratorio). In sintesi, si osserva che le concentrazioni sono relativamente omogenee, con valori più elevati nella parte centrale della grotta (punti di misura 7, 8, 9, 10).

Al fine di studiare le eventuali variazioni temporali della concentrazione di radon fu progettata e realizzata una seconda campagna, con l'utilizzo di un sistema a cella di scintillazione a diffusione passiva con contatore Pylon AB-5 per la misura in continuo delle concentrazioni (8). Il sistema di misura venne posizionato presso il Laboratorio e mantenuto in funzionamento continuo per 10 mesi, dall'agosto 1996 al maggio 1997. I dati venivano memorizzati in forma di concentrazioni medie per intervalli consecutivi di 6 ore. Il tracciato ottenuto è riportato in Fig.2. Il fatto nuovo e molto importante che questa campagna di misura permise di rilevare fu che l'andamento delle concentrazioni di radon in aria è segnato da aumenti di grande entità, e relativamente rapidi, in correlazione con gli eventi di piena idrografica. In particolare, si nota l'aumento in corrispondenza all'evento alluvionale dell'ottobre 1996, che provocò anche la disattivazione del sistema di alimentazione elettrico del Laboratorio, e la conseguente perdita dei dati relativi alla fase di picco delle concentrazioni di radon. In questa occasione fu raggiunta la portata di 4000 l/sec, che rappresenta il valore massimo mai rilevato nella Grotta di Bossea.

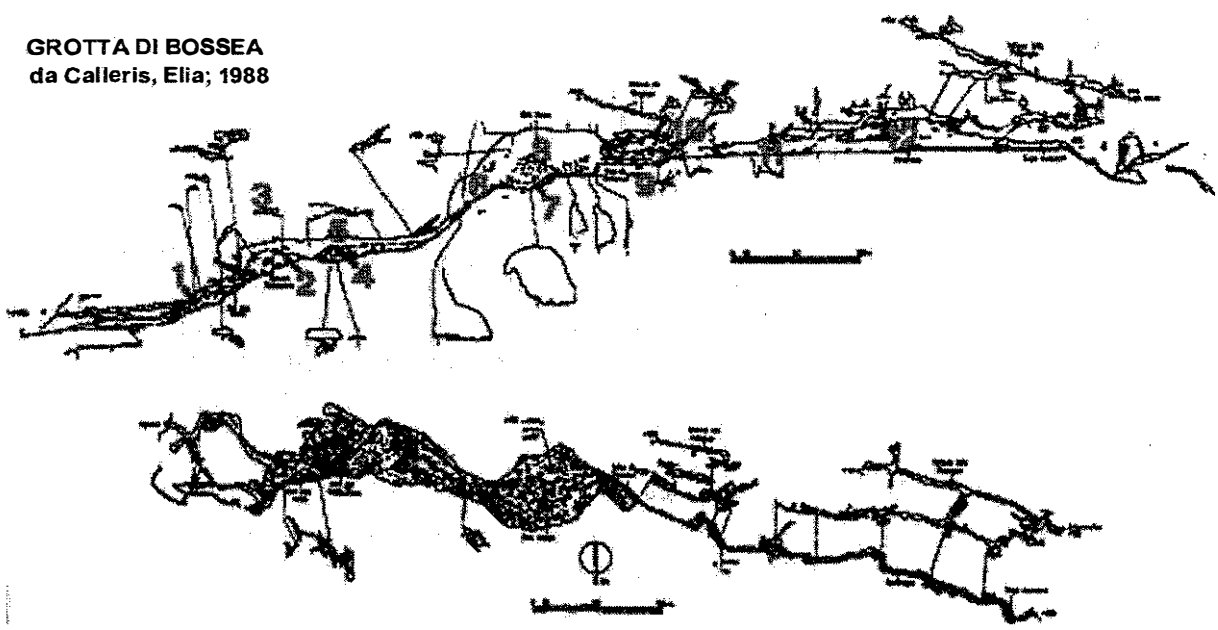


Fig.1 - Grotta di Bossea e punti di misura della concentrazione di Rn222 in aria, campagna 1994-1995.

Perfettamente documentata è la crescita in relazione ad un successivo evento di piena, nel mese di novembre 1996, così come si evidenziano variazioni lente e di modesta entità nelle concentrazioni di radon negli altri periodi, non interessati da eventi di piena. Una seconda interruzione di funzionamento dello strumento, meno importante per la caratterizzazione dell'andamento della concentrazione di radon, si evidenzia nel corso del mese di marzo 1997.
Va anche sottolineato che la concentrazione media complessiva sull'intero periodo di misura è risultata essere di 792 Bq/m3, del tutto compatibile con quelle rilevate nel corso della campagna precedente, vedi in particolare i punti 2, 3, 4 e 5. Naturalmente, il significato di questa concordanza non va sopravvalutato, tenuto conto che i rilievi della prima campagna si erano protratti per un periodo di un solo mese, e che proprio la misura prolungata ha messo in evidenza la possibilità di notevoli variazioni nella concentrazione di radon in aria.
Concentrazione media sull'intero periodo di misura: 792,4 Bq/m3

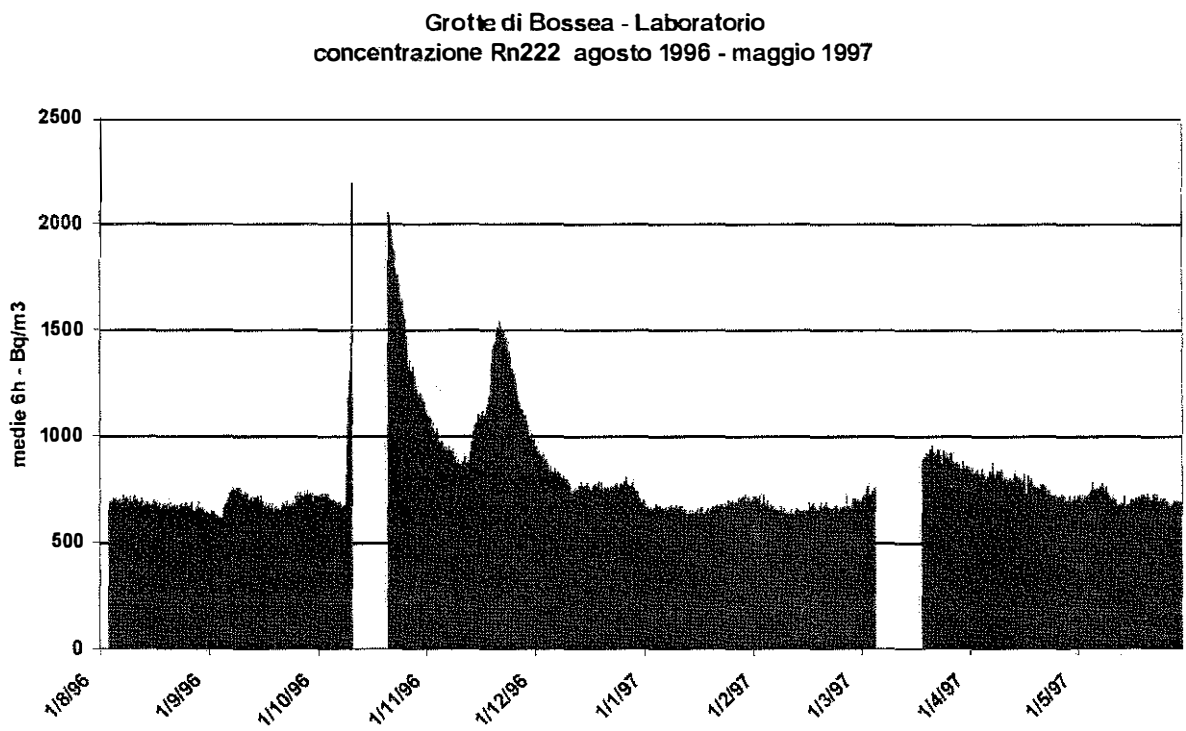


Fig. 2 - Andamento della concentrazione di Rn222 in aria per il periodo di 10 mesi agosto 1996 - maggio 1997. Postazione di misura: Laboratorio.

LA CAMPAGNA DI MISURA 1999 - 2000

L'evidente dipendenza delle concentrazioni di radon dalla portata del torrente sotterraneo ha portato alla progettazione e realizzazione di una nuova campagna di misura, nella quale il rilievo in continuo delle concentrazioni di radon fosse accompagnato, oltre che dal rilievo in continuo delle portate del torrente, da misure periodiche di concentrazioni di radon disciolto nelle acque della grotta.

Strumenti e metodi di misura

Per questa campagna, i cui risultati sono l'oggetto principale di questa relazione, il punto di misura in continuo di radon venne mantenuto presso il laboratorio principale della Grotta, con l'utilizzazione però di uno strumento diverso: il misuratore a camera a ionizzazione AlphaGUARD (Genitron Instruments GmbH), collegato a un gruppo di continuità per far fronte a brevi episodi di interruzione di alimentazione elettrica. Lo strumento era predisposto per una elaborazione e memorizzazione dei dati acquisiti in forma di medie orarie.

Il monitoraggio della portata del torrente è stato effettuato con l'idrometrografo posizionato nel ramo superiore della grotta. I rilievi di portata sono stati effettuati ad intervalli di 6 ore.
Le misure di radon disciolto nelle acque sono state effettuate a diverse riprese durante il rilievo in continuo con tecnica di campionamento e degassamento in loco dell'acqua in celle a scintillazione (celle di Lucas Pylon), e successivo conteggio con sistema di fotorivelazione e conteggio Pylon AB5.
I rilievi in continuo si sono protratti per una durata di 22 mesi, dal marzo 1999 al dicembre 2000.

Misura in continuo della concentrazione di radon in aria

In Fig. 3 sono riportati, sullo stesso grafico, gli andamenti della concentrazione di radon nell'aria della grotta, al laboratorio principale, e la portata del torrente.
Concentrazione media sull'intero periodo di misura: 794,3 Bq/m3

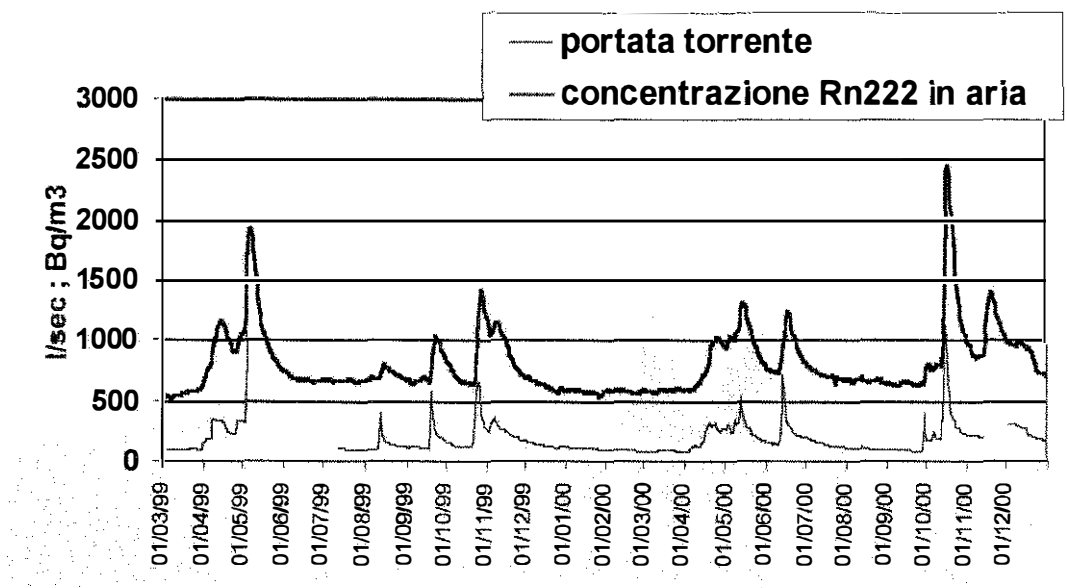


Fig. 3 - Andamento della concentrazione di Rn222 in aria per il periodo di 22 mesi marzo 1999 – dicembre 2000, postazione di misura: Laboratorio (tracciato superiore, spesso). Andamento della portata del torrente nel medesimo periodo (tracciato inferiore, sottile)..

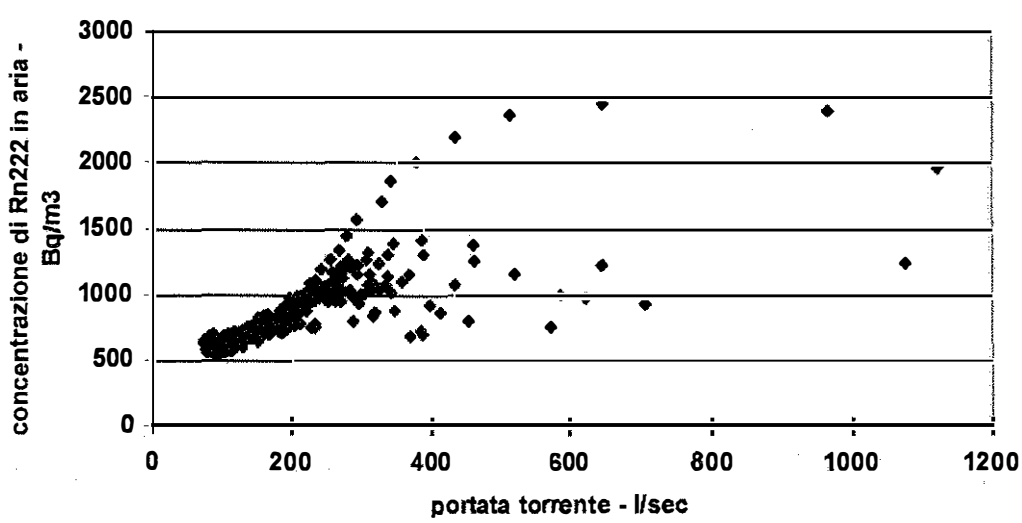
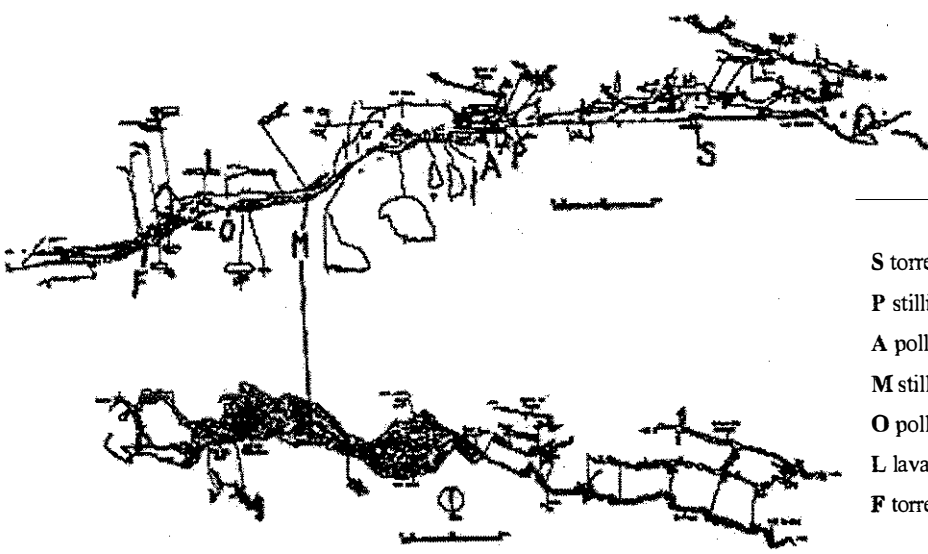


Fig. 4 - Correlazione concentrazione Rn222 in aria / portata torrente.

Il confronto tra gli andamenti dei due tracciati dà un'immediata conferma visiva della corrispondenza tra gli eventi di piena, e in generale tra la portata del torrente, e la concentrazione di radon nell'aria della grotta. E' anche sorprendente la concordanza tra il valore medio di concentrazione di radon sull'intero periodo rilevato nel corso di questa campagna di misura e di quella precedente.
L'analisi della correlazione tra concentrazione di radon in aria e portate del torrente porta tuttavia ad una configurazione un po' più complessa (Fig. 4) di quanto ci si potrebbe aspettare dalla concordanza qualitativa dei profili temporali. Essa evidenzia fenomeni di sfasamento tra la variazione della portata del torrente negli eventi di piena e la variazione della concentrazione di radon in aria. Essi saranno oggetto di analisi nel paragrafo successivo.

Misure di concentrazione di radon nelle acque della grotta.

L'interpretazione della dinamica del radon all'interno della grotta di Bossea non può prescindere da una attenta considerazione delle concentrazioni di radon nelle acque della grotta, e delle loro variazioni.
I punti di prelievo delle acque oggetto di misura sono indicati in Fig. 5. Ogni punto è stato oggetto di diverse misure, in diverse condizioni di portata del torrente. Nel riquadro sono indicati i campi di variazione dei valori di concentrazione rilevati nei diversi punti.



	Bq/l
S torrente, stramazzo	**0,4-1,3**
P stillicidio Paradiso	**0,5**
A polla Anatre	**3,7-8,6**
M stillicidio sala Milano	**3,5-7,5**
O polla sala Orso	**7,4-10,1**
L lavandino laboratorio	**0,9**
F torrente, uscita grotta	**0,2-0,4**
	(1,33)

Fig. 5 - Grotta di Bossea e punti di misura della concentrazione di Rn222 nelle acque, con indicazione del campo di valori rilevati nei diversi rilievi (riquadro a destra).

Come si vede, i valori di concentrazione di radon nelle acque sono piuttosto modesti. Le diverse concentrazioni rilevate nelle varie risorgenze (punti A, O) e infiltrazioni (punti P, M) sono interpretabili con riferimento ai percorsi seguiti dalle acque nei diversi casi, e alla prossimità rispetto ai porfiroidi e porfiroscisti del basamento della grotta. Si tratta in ogni caso di apporti quantitativamente assai modesti al sistema idrologico ipogeo, dominato dal torrente sotterraneo di Bossea. Le concentrazioni nelle acque del torrente sono state rilevate, a più riprese, all'ingresso (punto S – stramazzo) e all'uscita del torrente medesimo dalla grotta (punto F, sala Frane), e su questi valori di concentrazione, in grassetto nel riquadro di Fig. 5, sono basate le considerazioni sviluppate al paragrafo seguente. Anche le acque al lavandino laboratorio (punto L) sono derivate, attraverso apposita canalizzazione, dal torrente.

INTERPRETAZIONE DEI DATI RILEVATI

Condizioni di equilibrio tra radon disciolto nelle acque del torrente e radon nell'aria della grotta

I valori di concentrazione di radon disciolto nelle acque del torrente misurati all'ingresso del medesimo nella Grotta (punto S) mostrano una stretta correlazione lineare con la portata del torrente stesso. Questo fatto è illustrato nel grafico di Fig. 6. I valori di concentrazione nelle acque coprono il campo di variazione indicato per il punto in esame in Fig. 5, e sono espressi in Bq/m3 (valori 1000 volte superiori a quelli indicati nel riquadro di Fig. 5).

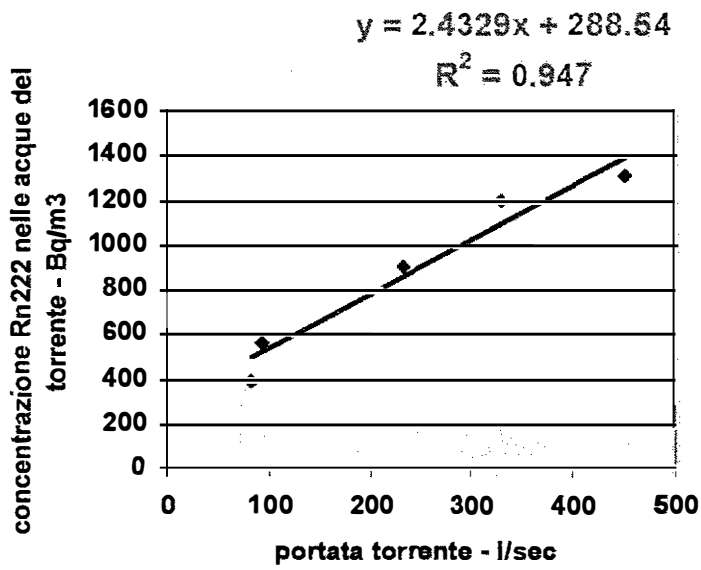


Fig. 6 - Correlazione tra la portata del torrente e la concentrazione di radon nelle acque del torrente medesimo.

I prelievi e le misure su campioni di acqua sono stati effettuati in condizioni di portata che vanno dalla magra spinta fino a condizioni di portata elevata, ma mai in condizioni di grande piena in atto (cfr. Fig. 3), anche per evidenti problemi di difficoltà di accesso al punto di prelievo in tali situazioni.
Il motivo di tale correlazione potrebbe essere individuato nel fatto che condizioni di maggiore portata del torrente implicano maggiore permeazione da parte delle acque ipogee della rete interna di condotti e fessurazioni, e conseguente maggior assunzione, in soluzione, del radon che può essere ivi presente per emanazione dal substrato di rocce di tipo porfiroide.
A loro volta, le concentrazioni di radon nell'aria della grotta sembrano essere, in condizioni di stabilità o graduali variazioni di portata del torrente, in equilibrio con le concentrazioni misurate nell'acqua. Questo fatto emerge dal grafico di Fig. 7, in cui sono poste a confronto le concentrazioni calcolate in aria supposte condizioni di equilibrio con le concentrazioni misurate nelle acque del torrente all'uscita dalla grotta - punto F (asse orizzontale), con le concentrazioni effettivamente misurate nell'aria della grotta nello stesso momento (asse verticale). Ricordiamo che il radon è un gas solubile in acqua, e che il suo Coefficiente di solubilità, inteso come rapporto all'equilibrio tra la concentrazione del radon in acqua e la concentrazione del radon in aria, espresse nella stessa unità di misura (es. Bq/m3), è fortemente dipendente dalla temperatura dell'acqua, e, nelle condizioni di Bossea, con temperature dell'acqua variabili da 7 a 8 °C (#), vale 0,45 (9):

$$0{,}45 = (\text{Conc. Rn222 in } H_2O) / (\text{Conc. Rn222 in aria})$$

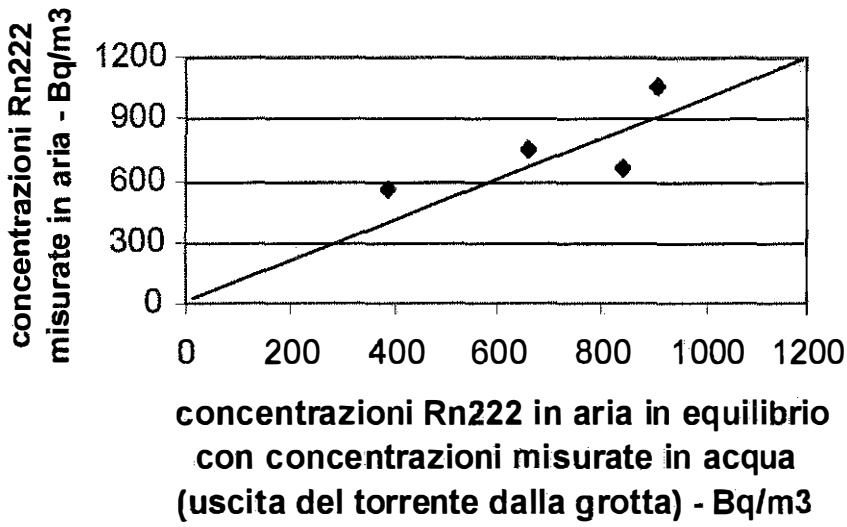


Fig. 7 - Tendenziale equilibrio tra le concentrazioni di radon in aria e nelle acque del torrente. La retta rappresenta le condizioni di equilibrio.

Le misure considerate in Fig. 7 in uscita dalla grotta si riferiscono tutte a condizioni di portata bassa o normale. Non stupisce a questo punto, dalle osservazioni riassunte in Fig. 6 e in Fig. 7, la correlazione lineare riscontrabile, in condizioni di variazione graduale di portata del torrente, tra la portata medesima e la concentrazione di radon nell'aria della grotta, illustrata in Fig. 8. Il campo di portate considerato, da 120 a 200 l/sec, esclude sia gli episodi acuti di piena, sia i periodi di magra spinta.
E' inoltre interessante osservare che la pendenza della retta di Fig. 8, costruita su moltissimi punti sperimentali, è la stessa della retta di Fig. 6. In condizioni di variabilità graduale del regime idrico sotterraneo sembra dunque essere mantenuta una condizione di sostanziale equilibrio tra le concentrazioni di radon in aria e nell'acqua del torrente.

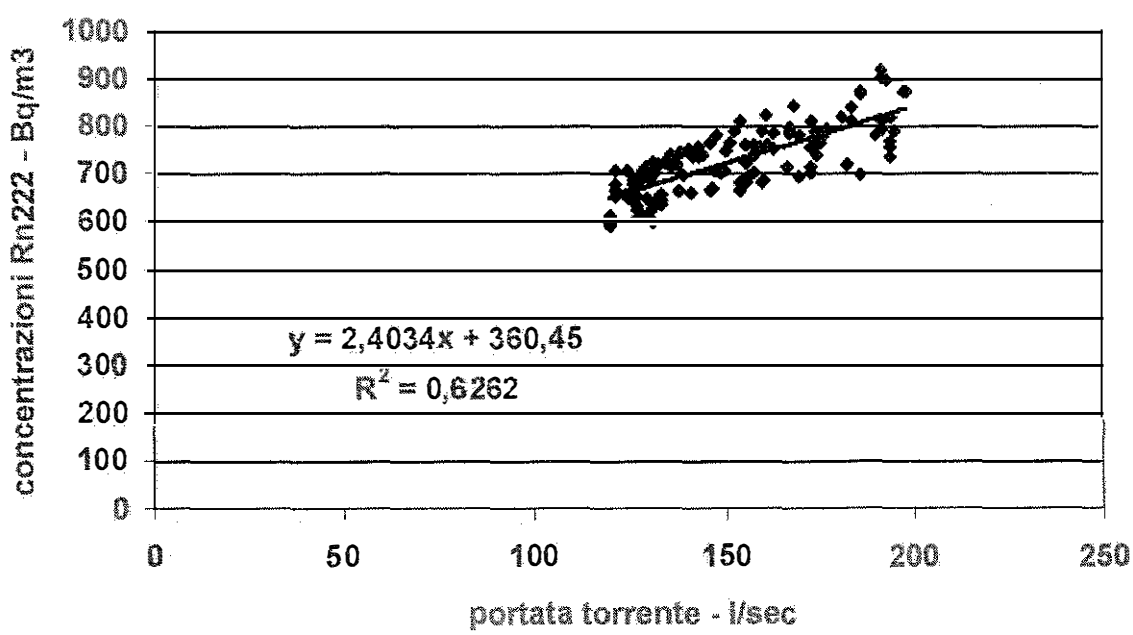


Fig. 8 - Correlazione lineare tra la portata del torrente e la concentrazione di radon nell'aria della Grotta di Bossea. Condizioni di variazione graduale della portata, escludenti piene e periodi prolungati di magra spinta

Episodi di piena

La correlazione lineare concentrazione radon in aria / portata torrente viene meno nelle fasi acute dei periodi di piena, come mostrato in Fig. 9.

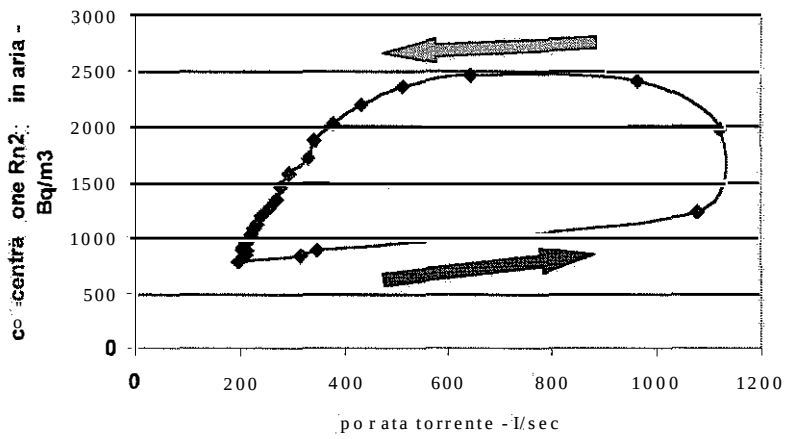
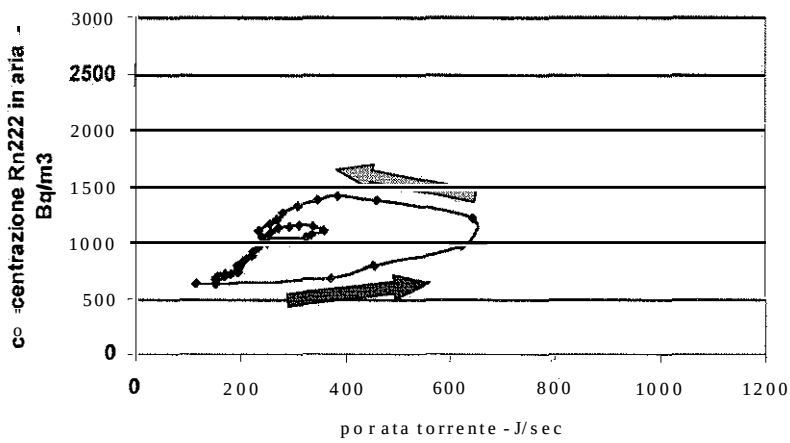


Fig. 9 - Correlazione tra la portata del torrente e la concentrazione di radon nell'aria della grotta negli eventi di piena.

◀ (9/a) Piena ottobre 2000



◀ (9/b) Piena novembre-dicembre 1999

In questi casi, l'ondata di piena precede la crescita di concentrazione di radon nell'aria della grotta. Le concentrazioni di radon in aria continuano a crescere per 12 - 18 ore anche in condizioni di portata già in fase di regresso. La concentrazione di radon in aria inizia poi una fase di regolare diminuzione, che però è più lenta di quanto il semplice decadimento radioattivo del radon (tempo di dimezzamento 91,7 ore) può da solo spiegare (vedi Fig. 10).

Si può ritenere che, all'arrivo dell'onda di piena, abbiano luogo sia un rapido allagamento di cavità e diaclasi sature di radon, in contatto con le rocce di tipo porfiroide del basamento della grotta, sia l'attivazione di forti correnti aeree ad opera delle ingenti masse idriche in rapido movimento, con effetto, in ambedue i casi, di pistonaggio dell'aria delle predette cavità negli ambienti ipogei sovrastanti.

Il ritardo nella crescita di concentrazione di radon in aria rispetto all'aumento della portata può essere dovuto al tempo necessario perché si stabilisca equilibrio, nei vasti saloni che caratterizzano la grotta di Bossea, tra il radon mobilizzato e l'aria ambiente.

La fase graduale di decrescita delle concentrazioni di radon in aria ha l'aspetto di un ritorno all'equilibrio dell'atmosfera ipogea carica di radon con le acque del torrente.

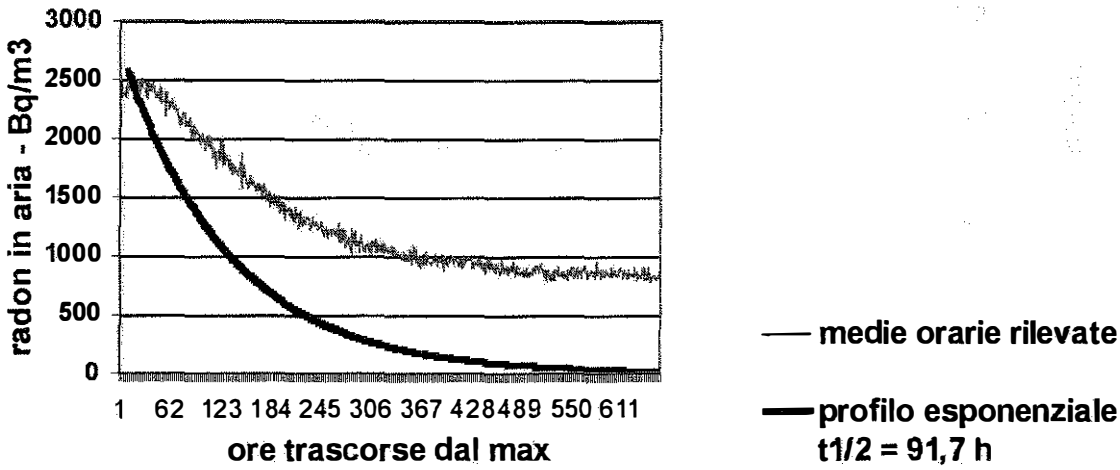


Fig. 10 - Il decadimento radioattivo non basta a spiegare la dinamica di decrescita del radon in aria, a seguito degli eventi di piena. Dati tratti da piena ottobre 2000.

Le condizioni di magra spinta

Restano da considerare le condizioni di prolungata stabilità della portata del torrente su livelli minimi, in corrispondenza ai prolungati periodi di alta pressione estiva o invernale. In questi casi, caratterizzati da portate inferiori a 120 l/min, e corrispondenti all'estremità inferiore sinistra della distribuzione di punti di Fig.4, si osserva una sostanziale indipendenza della concentrazione di radon in aria dalla portata del torrente, peraltro soggetta a variazioni molto contenute. Tende invece ad emergere un'interessante effetto di stagionalità. Le concentrazioni di radon appaiono infatti più elevate durante i periodi prolungati di alta pressione estiva rispetto a quelli invernali. Questo fatto è descritto nel grafico di correlazione della Fig. 11 dallo sdoppiamento della distribuzione dei punti sperimentali, con il ramo inferiore relativo ai mesi invernali, e quello superiore relativo ai mesi estivi (cfr. anche Fig. 3).
In considerazione del tipo di circolazione aerea a "sacco d'aria" che, in base alle osservazioni finora effettuate, si ritiene presente nella maggior parte della grotta ed in particolare nei grandi saloni della zona inferiore (dove viene effettuata la misura), questi dati non possono trovare spiegazione nel ben noto "effetto camino", riportato da altri autori come causa determinante dei livelli di concentrazione del radon in grotta su scala stagionale, nelle cavità con circolazione a "tubo di vento".
In condizioni di circolazione a "sacco d'aria" la maggior concentrazione del radon nella stagione estiva si potrebbe spiegare con il posizionamento dello strumento di misura a livello del pavimento della cavità, atto ad intercettare la corrente d'aria fredda e pesante, e più ricca di radon, che dalle zone più interne della grotta fluisce in tale stagione verso l'esterno.
L'effettiva collocazione dell'apparecchio in un punto del laboratorio prossimo al soffitto dell'altissima Sala del Tempio, dove dovrebbe invece fluire, nella stagione estiva, una corrente aerea proveniente dall'esterno più povera di radon, induce a pensare alla presenza di altri fattori determinanti della situazione in oggetto, quale ad esempio un movimento d'aria locale indotto dalla temperatura più elevata dell'atmosfera del laboratorio rispetto all'ambiente di grotta, che potrebbe attirare, in tale stagione, aria più ricca di radon dalle zone più basse della cavità, tramite moti convettivi.
La prossima collocazione dell'apparecchio di misura in zona esterna al laboratorio potrà probabilmente chiarire, in futuro, la situazione.
Ancora in relazione alle dinamiche di trasporto diretto di masse d'aria tra l'interno e l'esterno della grotta, va osservato che in nessun caso è stato possibile evidenziare variazioni diurne di concentrazione di radon, neppure analizzando giorni medi su periodi prolungati di condizioni di stabilità.

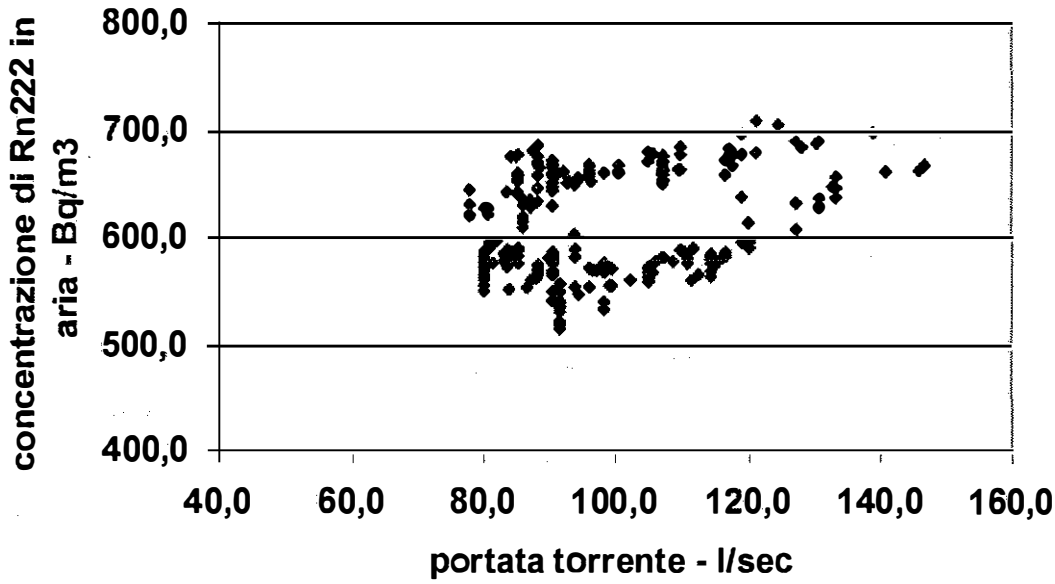


Fig. 11 - Variabilità stagionale dei livelli di concentrazione di radon nei periodi prolungati di bassa portata del torrente.

CONCLUSIONI

La campagna di monitoraggio delle concentrazioni di radon nell'aria della Grotta di Bossea, condotta per un periodo di 22 mesi continuativi da marzo 1999 a dicembre 2000, unitamente al monitoraggio della portata del torrente sotterraneo e a misure ripetute di concentrazione di radon disciolto nelle acque della grotta, e in particolare del torrente, hanno portato ad una caratterizzazione dell'ambiente ipogeo di Bossea dal punto di vista delle dinamiche del radon.

Per questi aspetti, la Grotta di Bossea si presenta come un ambiente fortemente disaccoppiato rispetto all'esterno: gli effetti generati dalle condizioni meteoclimatiche esterne, che sono predominanti addirittura su scala giornaliera in altre grotte, qui non producono che influenze stagionali limitate, e solo in particolari condizioni.

In questo ambiente interno "separato" appare fondamentale il ruolo giocato dal sistema idrologico ipogeo, e in particolare dal torrente di Bossea. Le concentrazioni nelle acque del torrente sono modeste, e tendono a mantenersi in equilibrio con le concentrazioni di radon nell'aria ambiente, che assumono a loro volta valori non trascurabili.

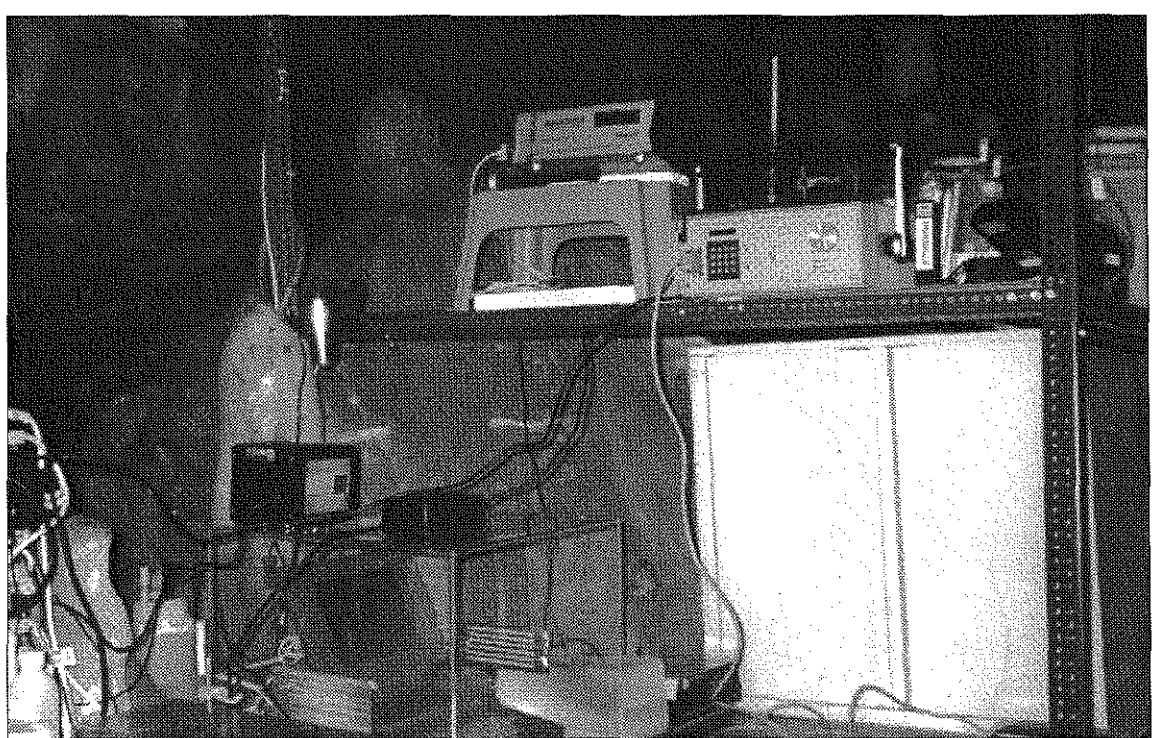
Gli eventi di piena improvvisi mobilizzano elevate concentrazioni di radon presenti in cavità profonde della grotta, a contatto con le rocce del basamento porfiroide a maggior tenore di radioattività naturale, dando luogo ad importanti aumenti della concentrazione di radon nell'aria.

Questo fenomeno è probabilmente collegato con un effetto meccanico di spinta delle masse d'aria degli interstizi profondi da parte delle acque, o delle correnti aeree da queste attivate, verso l'esterno, costituito dalle grandi sale ipogee.

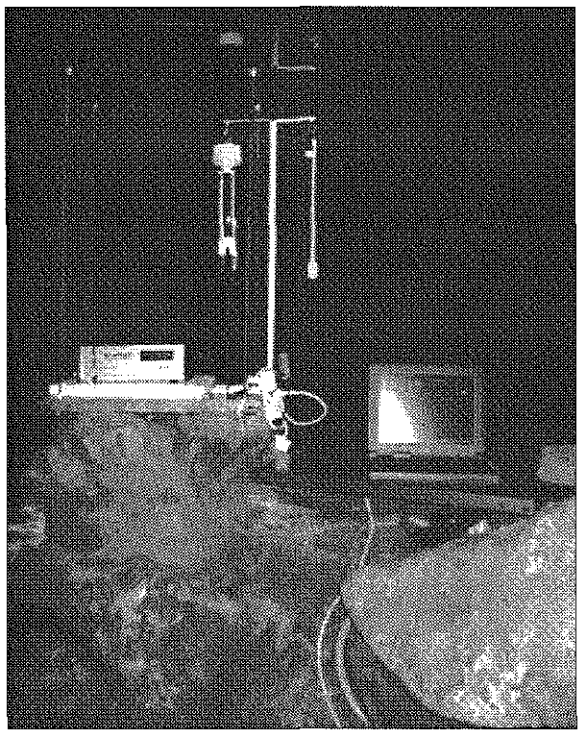
A conferma di queste tesi, occorrerà affiancare il monitoraggio in continuo delle concentrazioni di radon in aria, reso permanente, e il rilevamento in continuo della portata del torrente, con ulteriori rilievi sistematici di radon disciolto nelle acque.

BIBLIOGRAFIA

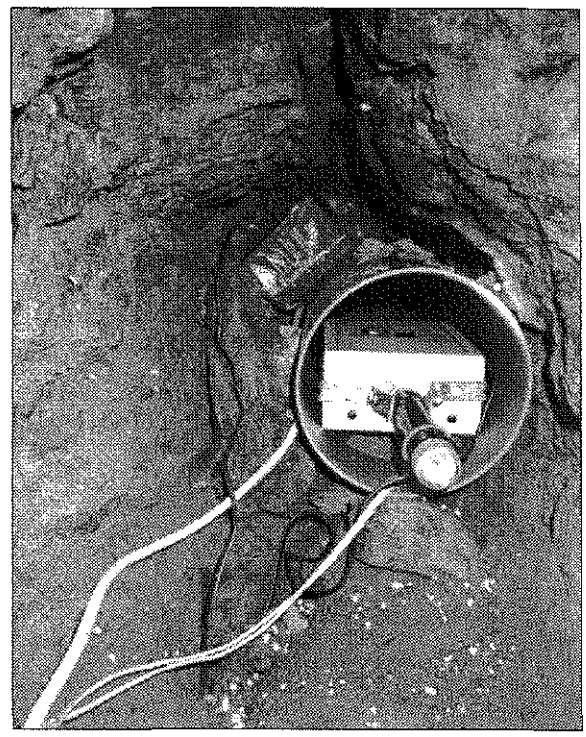
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E. & VITTONE F., 1991 -"Atti della Stazione Scientifica della Grotta di Bossea" Gruppo Spel. Alpi Marittime CAI Cuneo - Dip. Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino, Savigliano (1 - 136).
- PEANO G., VIGNA B., 1996 - "Le cavita' naturali come via privilegiata per lo studio delle acque sotterranee: i rilevamenti effettuati nella Stazione Scientifica della Grotta di Bossea" - Atti Simposio Internazionale Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale, 1995 (editi a cura della Stazione Scientifica di Bossea) (333 - 356).
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B., 1999 - " Primi risultati dello studio dell'insaturo carbonatico nel sistema di Bossea" - Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e gestione delle acque sotterranee per il III millennio, (Parma) - Quaderni di geologia applicata (1127 - 11379).
- G. AGNESOD E G. PEANO "Misure di concentrazione di radon 222 nell'atmosfera e nelle acque della Grotta di Bossea: prime acquisizioni", Atti del Simposio internazionale "Grotte turistiche e monitoraggio ambientale", Frabosa Soprana, editi a cura della Stazione Scientifica di Bossea, 1996, 183 - 192.
- F. BOCHICCHIO, G. CAMPOS VENUTI, C. NUCCETELLI, S. PIERMATTEI, S. RISICA, L. TOMMASINI E G. TORRI "Results of the representative italian national survey on radon indoors", Health Physics vol.71, n.5, novembre 1996, 741 - 748.
- G. PEANO "Il monitoraggio ambientale nella Grotta di Bossea: problemi tecnici e soluzioni adottate", Le Grotte d'Italia, 3, 2002, 75 - 86.
- L. TOMMASINO "Radon determination", Encyclopedia of analytical science, Academic Press, 4359 - 4368.
- F. TROTTI, N. GIAROLA, M. LANCIAI, P. MOZZO, F. PREDICATORI, M. ROSA E A. TACCONI "Misure di concentrazione di radon 222 in alcune grotte del Veneto", Atti del 1° Convegno Nazionale di Fisica dell'Ambiente, Brescia, 15-17 dicembre 1993, 359 - 366.



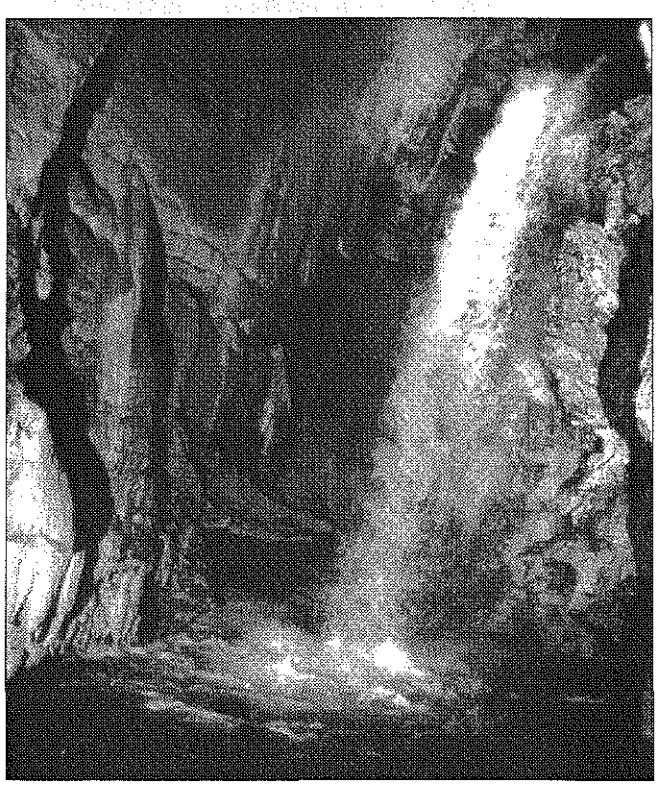
▲ Foto 1
Rilevamento isocrono dei ^{222}Rn atmosferico, dei suoi prodotti di decadimento e delle caratteristiche del particolato atmosferico nella Grotta di Bossea, nel corso di un'indagine preliminare sulla diffusione e permanenza dei prodotti suddetti nell'atmosfera della cavità.



▲ Foto 2
La nuova stazione di misura del radon atmosferico installata presso il laboratorio principale, nell'anno 2004: il radon-Monitor AlphaGuard consente di affiancare al monitoraggio del ^{222}Rn il rilevamento continuativo dei parametri atmosferici temperatura, pressione ed umidità relativa, controllati anche tramite misurazioni puntuali effettuate con strumentazione manuale di precisione.



▲ Foto 3
La recente installazione per il rilevamento della concentrazione del radon atmosferico entro le cavità confinate della formazione dei porfiroidi del basamento, in cui sono scavati fino in prossimità del soffitto i grandi saloni della parte inferiore della grotta. Un apparecchio portatile Sun Nuclear è stato collocato entro un'estesa frattura dell'ammasso roccioso, opportunamente allargata, per un breve tratto,per il contenimento dell'apparato di misurazione ed accuratamente tamponata verso l'esterno.



◀ Foto 4
Le forti variazioni della concentrazione atmosferica del radon nella Grotta di Bossea, sono strettamente legate alle oscillazioni di portata del collettore del sistema carsico. E' qui raffigurata la cascata del Lago di Ernestina, in situazione di magra del corso d'acqua (Q ~ 100 l/s), che può raggiungere nei massimi di piena una portata di circa 1500 l/s. Marcati aumenti della portata e della velocità delle acque correnti e precipiti mobilizzano correnti aeree consistenti che diffondono in misura progressivamente crescente il radon emanato dai porfiroidi del basamento nell'atmosfera dell'intera cavità, con raggiungimento di concentrazioni assai più elevate rispetto ai valori di magra.

LA RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE NELLE AREE CARSICHE

Antonio Moretti[1], Giancarlo Della Ventura[2], Dora Di Sabatino[1] & Gianluca Ferrini[1]

[1] *Dipartimento di Scienze Ambientali, Università dell'Aquila*

[2] *Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma 3*

RIASSUNTO

Viene presentata in questo lavoro una panoramica sui principali processi chimico-fisici che possono portare all'accumulo di minerali thorio-uraniferi e/o gas radon nelle aree e nelle reti idriche carsiche. Di particolare interesse a questo proposito è stato lo studio della Grotta del Cervo presso Pietrasecca (Carsoli, Aq).

INTRODUZIONE

Le rocce carbonatiche e solfatiche sono notoriamente piuttosto povere in elementi radiogenici di origine naturale; come conseguenza di ciò in Italia centrale e meridionale, in aree caratterizzate da estesi affioramenti di rocce calcaree, possono essere misurati valori di esposizione radioattiva dal suolo mediamente piuttosto bassi (4-8 μRn/h, contro i 10-20 delle rocce ignee e metamorfiche ed i 30-60 μRn/h delle provincie magmatiche laziali e campane. Ciò nonostante in molte grotte, turistiche e non, sono stati riscontrate notevoli concentrazioni di gas radon, che come noto appartiene alla famiglia di decadimento radioattivo dell'isotopo ^{338}U.

Stante il recente interesse venutosi a creare nella comunità sanitaria nazionale ed internazionale riguardo alla potenziale pericolosità del radon e delle radiazioni ionizzanti in generale, affrontato dallo Stato Italiano nel D.L. 241 del 26 maggio 2000, sono state avviate dagli scriventi una serie di indagini di tipo geologico-strutturale, volte a chiarire l'origine e le modalità di messa in posto del gas radon e degli elementi radiogenici associati.

IL RADON NEGLI AMBIENTI NATURALI

L'isotopo 222 del gas radon (^{222}Rn), a causa del suo elevato peso specifico, tende ad accumularsi in luoghi chiusi e poco areati, in particolare sotterranei o seminterrati; tuttavia, a causa della sua vita media relativamente corta (3.8 giorni) per dare luogo a concentrazioni significative è necessario un continuo ingresso di nuovo gas nel sistema (dal suolo, dai materiali da costruzione ecc.) per garantirne l'equilibrio compensando la frazione decaduta. Nel caso particolare delle cavità naturali questo input può avvenire secondo diverse modalità, in particolare risalendo da strati più profondi sfruttando linee di frattura nella massa rocciosa, oppure per diffusione-emanazione dalle rocce incassanti.

Per quello che riguarda il primo caso, in molti complessi carsici, stante l'elevata permeabilità delle rocce carbonatiche, sono ben note risalite di gas radon da livelli anche molto profondi in corrispondenza di faglie attive: anzi, il monitoraggio del contenuto in radon (ed in altri gas associati) delle emanazioni fluide di origine profonda è considerato attualmente uno tra i più promettenti possibili precursori a breve-medio termine dei fenomeni sismici. Tuttavia la velocità di diffusione del radon in aria è troppo lenta per garantire un efficacie trasferimento del gas, stante la sua breve vita; anche la sua elevata solubilità in acqua fa si che esso sia fortemente limitato dalla falda satura.

In pratica, significativi e rapidi trasferimenti del ^{222}Rn dal profondo possono avvenire solamente quale parte di un convoglio di bolle insieme a numerosi altri gas endogeni (*gas carrier*), quali CO_2, metano, H_2S, elio ecc., facihnente rilevabili in ambiente ipogeo sia geochimicamente che empiricamente; in aggiunta, la presenza di continue alimentazioni di tali gas è sempre segnalata in grotta dalla presenza di minerali indice e concrezioni tipiche diffuse od in corrispondenza delle bocche di alimentazione (vedi FORTI, 2000).

Al di là dei numerosi esempi di situazioni di questo tipo, peraltro quasi sempre localizzate in corrispondenza di falde termominerali, sono altrettanto numerose le cavità nelle quali non è possibile invocare questo meccanismo per spiegare le concentrazioni di radon misurate. È evidente che in questi casi l'origine del gas deve essere ricercata nelle rocce incassanti od in sedimenti contenuti in prossimità od all'interno delle grotte stesse.

MOBILITÀ ED ACCUMULO DI THORIO ED URANIO

D'altro canto, se le rocce carbonatiche sono geneticamente povere in elementi radioattivi, come testimoniato dai bassi valori di radioattività misurati, deve essere intervenuto qualche fattore geologico o geochimico a determinare localmente concentrazioni ed accumuli secondari di tali elementi. Dall'abbondante letteratura riguardo alla geochimica ed alla prospezione mineraria dei minerali thorio-uraniferi, sappiamo che questi fattori sono riconducibili sia a processi fisici che a processi chimici. Un eccellente esempio di entrambi questi meccanismi viene offerto dal complesso carsico di Pietrasecca, presso Carsoli (Aq), illustrato in fig. 1.

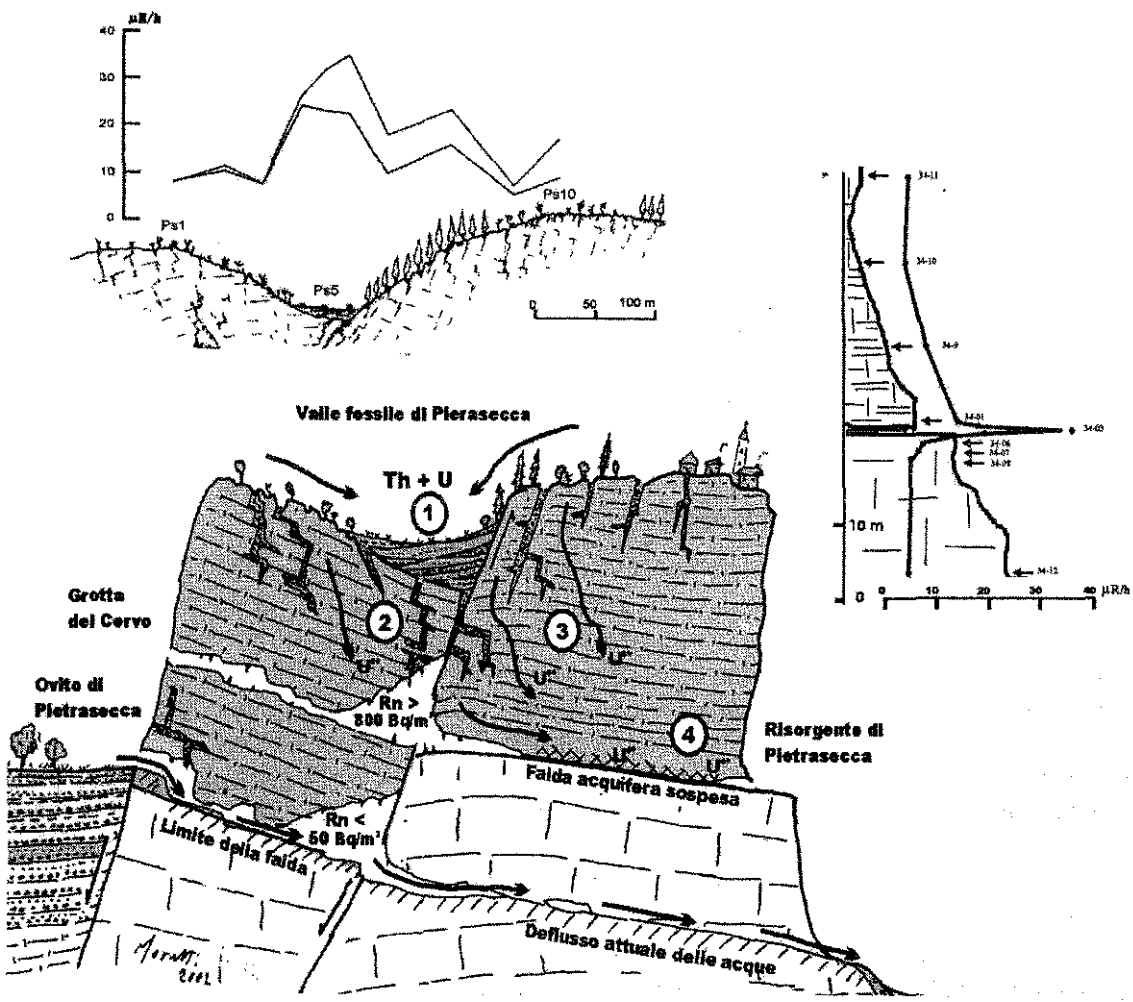


Fig. 1 - Schema radiometrico, idrogeologico e geochimico del complesso carsico di Pietrasecca

1) I minerali stabili e pesanti di Th ed U, provenienti dal dilavamento delle vulcanidi quaternarie, vengono trasportati dagli agenti fisici ed accumulati nelle depressioni carsiche insieme ai suoi residuali.

2) Parte dei prodotti vulcanici piroclastici vengono intrappolati e cementati in filoni sedimentari all'interno del reticolo carsico.

3) L'uranio viene parzialmente asportato dalle acque vadose ossidanti e trasportato verso il limite della falda come ione uranile $(UO_2)^{2+}$.

4) Lo ione staziona nella zona di saturazione della falda od in piccoli acquiferi sospesi ione e viene fissato per impregnazione o sostituzione in forma tetravalente U^{4+}; le condizioni riducenti necessarie possono essere fornite dall'ossidazione dei solfuri o da fenomeni doi fermentazione della materia organica.

I Processi fisici (dilavamento atmosferico, trasporto e risedimentazione) operano a carico delle numerose fasi minerali stabili e pesanti contenenti Th-U, quali monaziti e zirconi, quasi sempre rinvenibili in concentrazioni più o meno elevate nei suoli rossi residuali che occupano spesso il fondo di doline, *polije*, valli fossili ed altre piccole depressioni nelle aree carsiche (MORETTI et. Al., 2002). Gli stessi suoli residuali, qualora il livello freatico di base del sistema tenda ad abbassarsi, possono essere rimobilizzati e trasportati all'interno della rete carsica, dove possono risedimentare riempiendo piccoli filoni o cavità fossili. Anche in superficie sono spesso evidenti fenomeni di trasporto sedimentario e classazione gravitativa operati dagli agenti esogeni, responsabili della formazione di piccoli *placers*, localizzati in prossimità dei versanti od all'apice di piccole conoidi fossili (fig. 2).
In Abruzzo sono state localmente misurati tramite spettrometria y contenuti in Th-U paragonabili a quelli delle provincie magmatiche laziali (30 – 90 ppm) (fig. 3).
Per quanto l'estensione e la massa complessiva dei terreni residuali sia modesta rispetto a quella dei complessi carbonatici nel loro insieme, purtuttavia questi possono fornire un contributo significativo alla concentrazione di radon a causa del loro elevata permeabilità che consente, specie nella stagione asciutta, un efficacie trasferimento del gas all'interno della rete carsica o, in casi particolari, all'interno delle fondamenta degli edifici.

Processi chimici. Al contrario del thorio, praticamente insolubile in condizioni naturali, la solubilità dell'uranio è condizionata dal potenziale redox delle acque di falda. Qualora infatti esso non sia fissato in forma stabile assieme al thorio e ad altre terre rare (REE) a formare fasi minerali pesanti, può facilmente passare in soluzione acquosa in fase esavalente sotto forma di ione uranile $(UO_2)^{2+}$ e quindi essere preso in carico dalle acque freatiche, ossidanti, all'interno della falda.
In condizioni riducenti, quali quelle che si instaurano quasi sempre nella falda satura per azione di fermentazione della materia organica o dell'ossidazione di solfuri vari presenti nella roccia, la sua solubilità cala bruscamente e l'uranio tende a fissarsi in forma esavalente, sia in forma di minerali propri (es. autunite ecc.) sia per sostituzione del calcio nei carbonati, con il quale presenta spiccata affinità di raggio ionico.
In determinate condizioni quindi la rete carsica tende a comportarsi come una trappola geochimica per gli atomi di uranio, fissandoli e concentrandoli in corrispondenza di barriere di ossido-riduzione in corrispondenza della falda satura o di eventuali falde sospese.

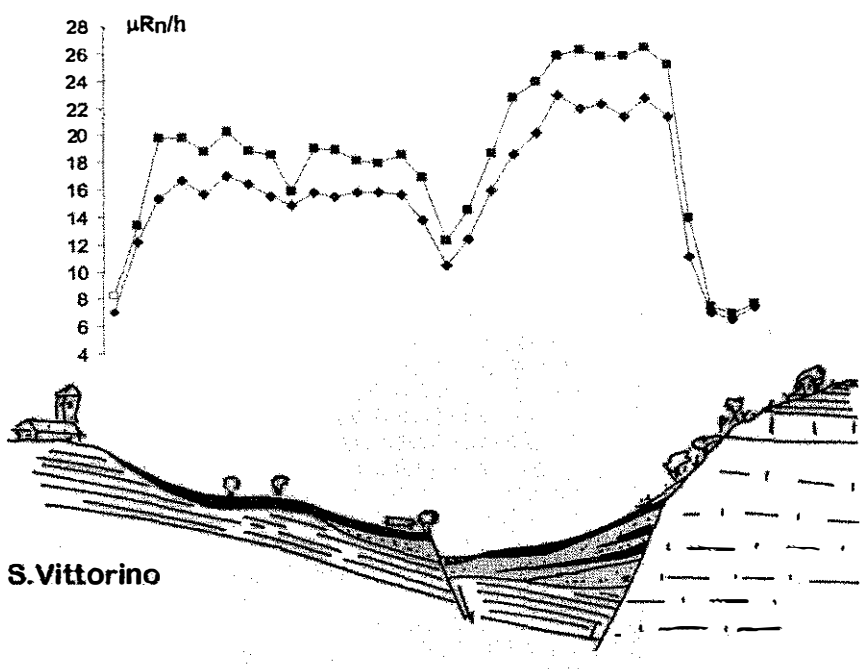


Fig. 2 - Dose di esposizione radioattiva al suolo e ad un metro dal suolo nella valle fossile di S. Vittorino, nei pressi dell'Aquila. I valori maggiori sono misurati in corrispondenza della base del versante, dove sono presenti piccoli accumuli di minerali pesanti (placers) dilavati dalle acque meteoriche.

L'ORIGINE DEGLI ELEMENTI RADIOATTIVI

Quale che siano i processi che ne regolano l'accumulo, è comunque necessario avere una disponibilità di elementi e/o minerali radioattivi nel sistema carsico. Come già accennato, le rocce carbonatiche, prevalentemente di origine organogena, contengono scarsissimi elementi di elevato numero atomico quali U e Th, che difficilmente entrano nel ciclo biologico.
Per quello che riguarda l'Abruzzo, e più in generale i massicci carbonatici dell'area centro-appenninica, un'abbondante fonte di alimentazione è invece fornita dai frequenti eventi vulcanoclastici che, proveniendo dalle provincie magmatiche laziali e campane, nel corso del Quaternario hanno a più riprese mantellato i versanti appenninici con estese coltri tufitiche e cineritiche.
Analizzati in maggior dettaglio tuttavia i fattori ed i processi che intervengono sono piuttosto complessi. Più che alla deposizione diretta di tufiti nei depositi quaternari, di cui sono conosciuti bellissimi ma non frequenti esempi, assistiamo infatti nella maggior parte dei casi alla sedimentazione, all'interno delle depressioni strutturali, di spessi pacchi di materiale più o meno ricco di frammenti e minerali vulcanici, ma anche di materiale organico e residuale, abbondantemente rielaborato dagli agenti fisici di trasporto.
La messa in posto di questi depositi è verosimilmente stata favorita, quando non addirittura determinata, dall'impermeabilizzazione del substrato calcareo operata dalla deposizione delle coperture vulcanoclastiche, che hanno temporaneamente e localmente portato alla riattivazione del sistema idrico superficiale, al dilavamento dei versanti dalle coltri cineritiche incoerenti ed al loro conseguente trasporto verso le aree depresse sotto forma di colate di fango o *lahar*. In molti casi alla sommità degli strati ricchi in materiale vulcanoclastico sono osservabili livelli limoso-argillosi, ricchi in frustoli carboniosi e molluschi dulcicoli, che testimoniano l'instaurarsi di effimeri bacini lacustri a seguito del ridursi della capacità di assorbimento delle acque da parte delle rocce e del suolo.
Anche all'interno della stessa piattaforma carbonatica abruzzese sono stati rilevati livelli sedimentari che, se pur di modesto spessore (50-100 cm) possono essere notevolmente ricchi in minerali di U-Th (50-150 ppm). Questi livelli, se pur discontinui, sono localizzati in Appennino in corrispondenza di un ben preciso intervallo stratigrafico (formazione delle Calcareniti a Briozoi e Litotamni) e marcano momenti di bassa deposizione od addirittura temporanea emersione della piattaforma miocenica (*hard-ground*). Anche in questo caso tuttavia gli strati thorio-uraniferi sono più o meno strettamente associati a momenti di marcata attività vulcanica calcoalcalina, connessa con la subduzione della piattaforma sotto la catena appenninica in formazione, e riproducono in definitiva, se pur a diversa scala spaziale e temporale, gli stessi fenomeni analizzati in precedenza.

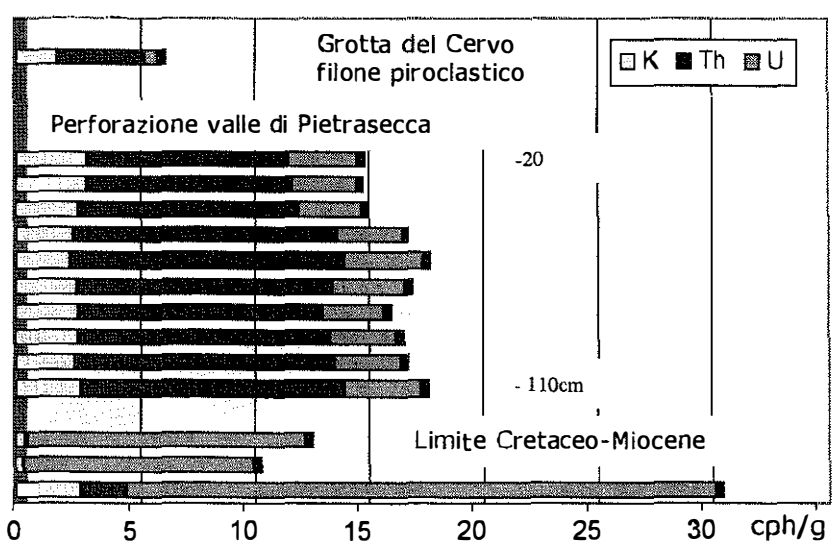


Fig. 3 - Confronto trai contenuti negli elementi radiogenici principali nelle vulcanidi, nei sedimenti residuali della valle di Pietrasecca e nei calcari campionati in prossimità del limite C-M. Si nota il relativo arricchimento in thorio nei depositi residuali, mentre l'uranio, trasportato chimicamente nella rete carsica, si concentra per sostituzione nei calcari

BIBLIOGRAFIA

- FORTI P. (2000) *I depositi chimici delle grotte.* Quaderni didattici della Società Speleologica Italiana, Erga Editore, Genova, 36 pp.
- MORETTI A., FERRINI G. & DI SABATINO D. (2002) *Controllo strutturale e geomorfologico sulla distribuzione della radioattività naturale nella valle di Arischia.* 21° convegno nazionale GNGTS, riassunti estesi, 312-314.
- MORETTI A., DELLA VENTURA G., SOLIGO M., FERRINI G. & DI SABATINO D. (2002) *Radioattività naturale nelcomplesso carsico di Pietrasecca* (Abruzzo, Italy). Atti del convegno dell'Associazione Nazionale di Radioprotrezione, Isola del Giglio 9-10 maggio 2002, 189-201.

RIEMPIMENTI DI CAVITÀ E ASSORBIMENTI: NUOVE PROSPETTIVE PER LA RICOSTRUZIONE DEGLI ULTIMI MILIONI DI ANNI DEL CARSO TRIESTINO. LA GROTTA DEL GIGANTE

R. Calligaris A. Tremul
Associazione Culturale "Ere Remote" - Trieste

RIASSUNTO

Il Carso triestino è un altopiano calcareo lungo una quarantina di chilometri, la sua struttura tettonica nella più recente interpretazione vede una maggiore spinta proveniente da est che avrebbe accentuato a faglia inversa e fino allo sovrascorrimento l'area del quadrante SW, oltre la baia di Sistiana.
La piega di forma anticlinalica è stata peneplanata per carsismo con abbassamento medio di 0.027 mm / anno.
Il fiume Timavo scorre in superficie per 46 chilometri in un bacino idrografico dominato dall'arenaria; al contatto con i calcari il fiume scava un primo grande complesso sotterraneo nel quale scompare, percorrendo poi altri 40 chilometri in linea d'aria sotto il Carso triestino. Recenti studi hanno ripreso in esame i depositi di riempimento delle grotte, distinti finora in olocenici con sedimento di colore rosso caratterizzati anche da depositi ossiferi essenzialmente ad Ursus spelaeus e sedimenti di colore giallo, ritenuti pleistocenici e paleontologicamente sterili, giunti ai quali gli scavi venivano fermati. L'applicazione di moderni metodi di ricerca ha permesso di riprendere in esame in maniera innovativa tale successione stratigrafica.
Dopo l'effettuazione di due carotaggi in una grotta a galleria inclinata sono stati eseguiti altri carotaggi in un tratto di grotta residuale (senza tetto) risultata fra l'altro di andamento più pianeggiante. Le perforazioni non hanno incontrato trovanti rocciosi, segno della completa dissoluzione della grotta. Lo studio preliminare ha evidenziato un parallelismo tra i due siti e si è ora ideato un progetto di ricerca su una grotta a sala, formatasi per crollo di due gallerie sovrapposte. Le acque devono aver scavato le gallerie in tempi diversi, prima la superiore e poi l'inferiore, depositandovi sedimenti e dilavando periodicamente parte degli stessi.
L'individuazione di depositi alluvionali a terrazzo nell'alta valle del Timavo, il rinvenimento di riempimenti in gallerie orizzontali poste anche a molte decine di metri d'altezza proprio nella grotta dove il Timavo si inabissa tende a confermare la proposta di grandi periodi diluviali nel corso dei quali le grotte venivano intasate dai sedimenti. Tale situazione può aver portato a riempimenti e svuotamenti ripetuti e potrebbe aver conservato sedimenti particolarmente antichi nella successione stratigrafica del residuo di galleria superiore nella grotta ora a sala. Attualmente il Carso pare in fase di assorbimento, sia in cavità a pozzo che con fenomeni di superficie.
L'esame di tali depositi e datazioni del sedimento con il metodo del paleomagnetismo possono aprire nuove prospettive per la ricerca delle vicende geologiche degli ultimi milioni di anni sul Carso triestino e collegarsi con i pochi dati sull'uomo del Paleolitico presente su questo territorio, ricavati da sole tre cavità e da una breccia con reperti di Homo riferiti a circa 500.000 anni fa, forse aiutando a capire perché finora non è stato individuato sul Carso il Paleolitico Superiore.

PROSPETTIVE DI RICERCA

Nel febbraio 2001 uno di noi (Calligaris) ha avuto modo di presentare anche a Pinerolo, su cordiale invito dell' amico Federico Macrì del Gruppo Speleologico delle Valli Pinerolesi del CAI, i primi risultati di un nuovo metodo d' indagine applicato nel 1999 nella caverna Pocala sul Carso triestino. Lo studio del sedimento di riempimento di cavità (ma non necessariamente soltanto) per mezzo di perforazioni meccaniche, carotaggi.
Avevamo iniziato con il riprendere in esame la Pocala (134 m./s.l.m.), grotta nota fin dalla sua scoperta, avvenuta nel febbraio del 1893, soprattutto per il deposito ad *Ursus spelaeus*, stimato in un migliaio di scheletri dei quali circa trecento già estratti (tra il 1893 e il 1929).

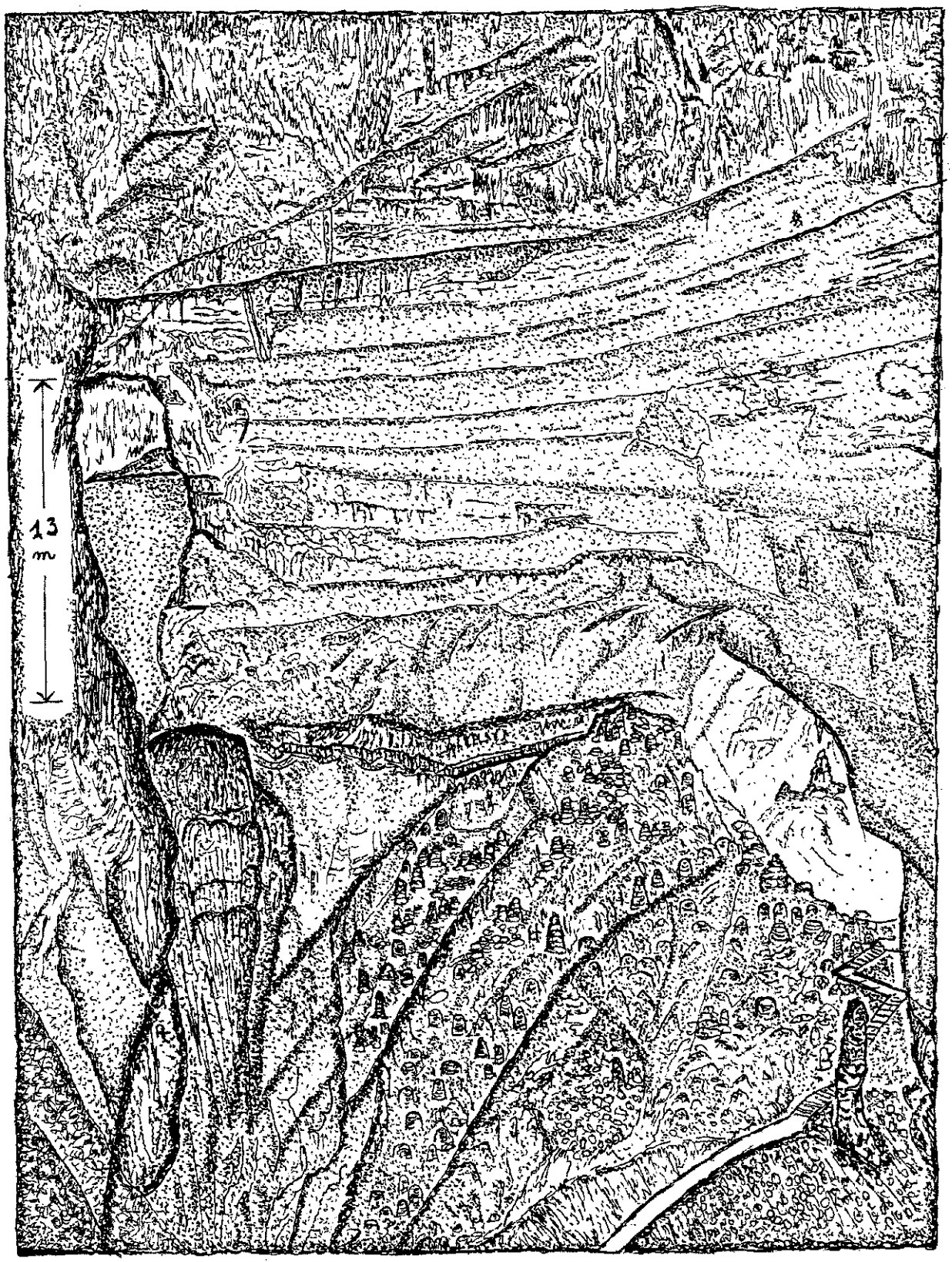


Fig. 1 - Panoramica dal primo ingresso della parete della Grotta Gigante, percorsa dal nuovo sentiero "Carlo Finocchiaro". Si possono notare sulla sinistra la prosecuzione del primo livello di galleria fluviale, contenente i sedimenti trasportati dal paleofiume, altezza totale circa 13 metri. La parete sottostante presente le strutture arcuate di scivolamento progressivo del corpo di frana, parzialmente mascherata dal concrezionamento calcitico. In basso a destra la "Colonna Ruggero".

Dal 1998 abbiamo riavviato le ricerche, abbandonate nel 1929 dal prof. Raffaello Battaglia, dopo le precedenti svolte con sistemi ottocenteschi da Karl Moser, Carlo Marchesetti, Eugenio Neumann e altri. L' idea era quella di riportare allo scoperto un paleosuolo ad orsi per poter avere materiale di estrazione fresca per nuove datazioni (con il radiocarbonio ma anche con la racemizzazione degli amminoacidi oltre che con lo studio della corona dentaria) e per mantenere una sezione visibile per scopi didattici, dato che la grotta si apre a poche centinaia di metri dall' abitato di Aurisina, è facilmente raggiungibile e visitabile, è stata chiusa da una robusta porta ed è munita d'impianto di illuminazione a generatore.
Una perforazione venne eseguita dinanzi alla grotta dove, calcolando i tempi di consumazione dei calcari sul Carso triestino (27 millesimi di millimetro / anno, 2,7 metri ogni centomila anni) un tempo doveva esserci un' ampia copertura a cupola, adatta anche ad accogliere l' uomo. Infatti, in Pocala sono stati trovati reperti ossei umani e alcune decine di manufatti riferiti al Paleolitico medio. La colonna stratigrafica ha dato 12,40 metri di sedimento, che sono stati argomento di una tesi di laurea (A. Tremul, 2001). Un altro carotaggio, eseguito nella sala di fondo della cavità ha dato oltre 17 metri di sedimento prima di arrivare al fondo roccioso. Per motivi diversi questa carota non è stata ancora completamente studiata ma solo parzialmente esaminata.
Nell' anno successivo sono stati fatti altri quattro sondaggi utili, ancora a cura del Museo civico di Storia Naturale di Trieste, scegliendo un relitto di cavità (con la volta completamente abrasa) in località Borgo Grotta Gigante ad una quota più elevata (260 m./s.l.m.). Un confronto tra le successioni sedimentarie dava una notevole somiglianza tra la terza carota del Solco e quella effettuata esternamente alla Pocala, tale somiglianza è stata riscontrata anche da Bosak et alii (2000) con datazioni paleomagnetiche, aventi gli stessi intervalli. Le altre carote sono paragonabili diversamente e per parti limitate mostrando notevoli differenze anche se estratte a pochi metri di distanza tra loro. Un dato osservato è la consumazione della roccia calcarea che doveva costituire il tetto, per effetto della dissoluzione e non per crollo. (A. Tremul, R. Calligaris, 2001)
Anche gli assorbimenti notati sul Carso triestino presentano caratteristiche più evidenti a quote più elevate. Doline con terrazzi gradonati sovrapposti, fino al passaggio a cavità centrali assorbenti a pozzo a quote vicine ai 400 m./s.l.m. Tali fenomeni vanno via via riducendosi a quote minori, fino a giungere alla loro scomparsa a quote vicine ai 100 m./s.l.m. dove invece le doline presentano intasamenti sedimentari (F. Forti, Fu. Forti, in corso di stampa). Proprio alla fine del mese di agosto (2003) abbiamo notato un' evidente fase di abbassamento globale del sedimento nel prato e nelle strutture murarie dinanzi alla grotta Pocala, dovute evidentemente al rilascio dell' acqua da parte delle argille, dopo mesi di siccità all' esterno si è creata una fessura, anche nel terreno fino ad 1 centimetro di larghezza, nel cunicolo sul fondo della cavità il distacco è ora di alcuni centimetri.
Il progetto di prendere in esame un' altra cavità a galleria (grotta dell' Orso di Gabrovizza) ed estendere le ricerche nel complesso di San Canziano (Skocjanske jame, in Slovenia) si è per ora limitato ad un campionamento e prima interpretazione dei sedimenti della grotta di San Canziano che ha permesso di dedurre che molti depositi della parte più alta di tale complesso (grotta del Silenzio) sono stati sedimentati in occasione di grandi piene che hanno portato al completo allagamento anche di vani posti a quota maggiore (Boschin, 2001).
Radinja (1969) segnala invece la presenza di terrazzi fluviali a ghiaie nella parte idrologicamente soprastante il complesso di San Canziano, dove il fiume Timavo si inabissa per passare poi sotto il Carso triestino. Anche gli incontri dedicati dalla Settima Scuola Internazionale di Carsismo di Postumia hanno esaminato queste situazioni di grotte senza tetto. La ricerca è comunque proseguita ed ha dato nuovi risultati portando infine alla presentazione di questa proposta.
La successione sedimentaria rocciosa del Carso triestino va dal Cretacico, con calcari di poco meno di cento milioni di anni fa, all' Eocene con la serie marnoso arenacea del Flysch, di una cinquantina di milioni di anni fa. Seguirono poi le fasi tettoniche che hanno arcuato gli strati verso l' alto. (Calligaris et alii, 2003)
L' idea di effettuare carotaggi nel sedimento delle grotte è stata suggerita dal carsista Fabio Forti nell'intento di giungere alla ricostruzione degli ultimi milioni di anni del Carso triestino, di comprende la mancata segnalazione finora del Pliocene in zona e quindi poter risalire all' origine dell' attuale fase di incarsimento.

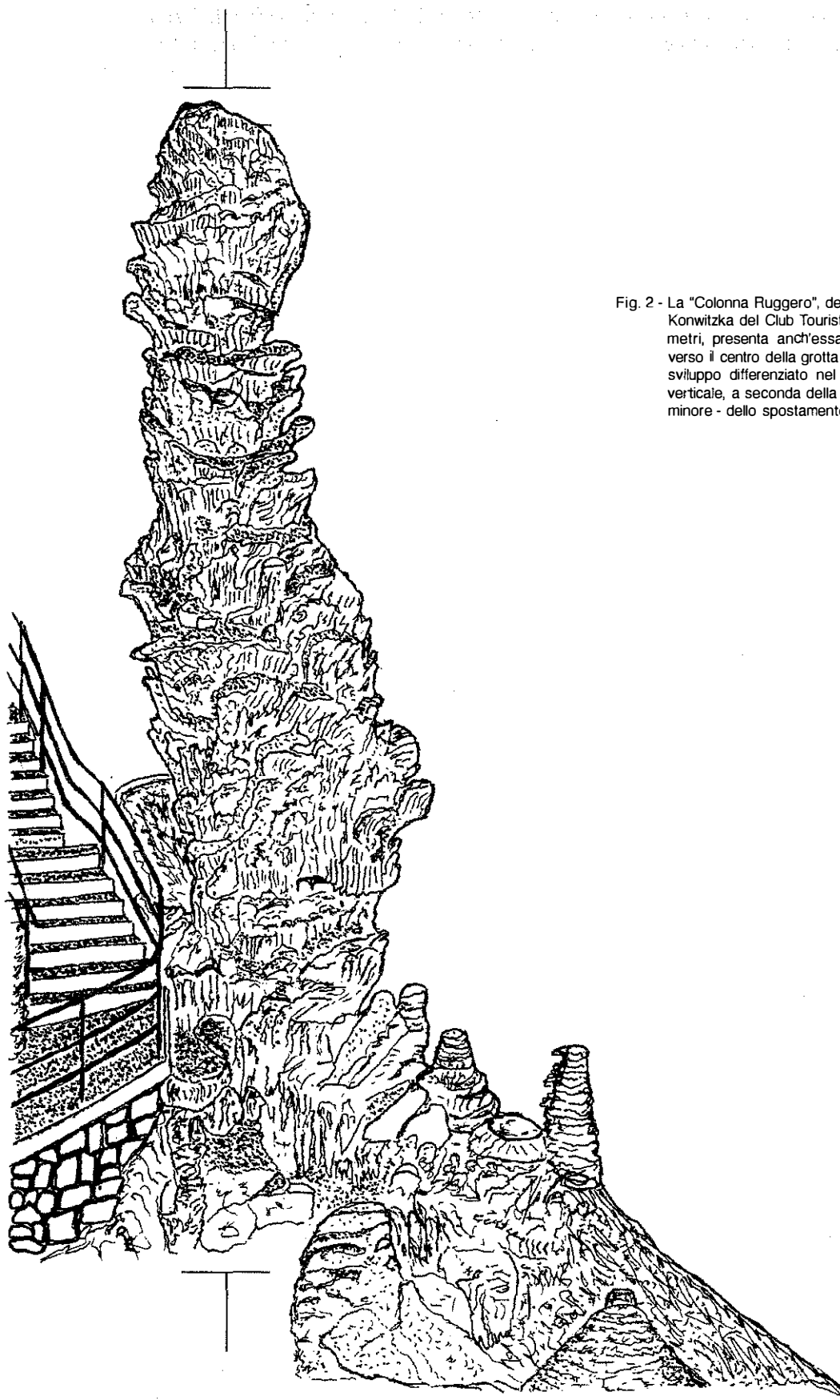


Fig. 2 - La "Colonna Ruggero", dedicata a Ruggero Konwitzka del Club Touristi Triestini. Alta 12 metri, presenta anch'essa un piede rivolto verso il centro della grotta ed un successivo sviluppo differenziato nel tempo rispetto la verticale, a seconda della velocità - sempre minore - dello spostamento.

Vi è però a nostro avviso un altro possibile aspetto di applicazione del sistema di studio con carotaggi: l' affiancare alla ricerca geologica quella archeologica.
Ne abbiamo discusso alla fine del 2002 in occasione di un incontro con altri colleghi a Lubiana (Calligaris, in corso di stampa).
Vi sono notevoli differenze tra la presenza di siti riferibili al Paleolitico tra la parte del Carso che si affaccia al mare e la zona più interna, fino a Postumia. Nel settore di qua del confine politico solo cinque siti hanno dato reperti del Paleolitico in stratigrafia: la breccia di Visogliano (Paleolitico inferiore), le grotte Pocala, Cotariova e la N° 1 del monte San Leonardo, la grotta degli Orsi di Dolina per il Paleolitico medio, mentre mancano testimonianze per il Paleolitico superiore presente in alcuni siti dell' interno. Nella zona interna Dobravlje presso Dutovlje, Roška špila presso le grotte di San Canziano, Županov spodmol presso Sajevče, Zakajeni spodmol presso Prestrane, Jama v Lozi presso Oreh, Ovčja jama presso Prestrane, Parska golobina presso Pivka, Betalov spodmol presso Postumia, Otoška jama presso Postumia, Postojnska jama, Podrisovec, Vilharjeva jama, Risovec. Perché? Forse perché nessun sito è stato ancora trovato in quest' area ma data la discontinuità di frequentazione umana dei luoghi su nominati la mancanza del Paleolitico superiore potrebbe essere dovuta a cambiamenti ambientali, che potrebbero essere studiati tramite i carotaggi In un certo senso porre una maggiore attenzione verso la parte alta del carotaggio e non solo verso la sua parte in profondità.
Nel carotaggio esterno della Pocala si è trovato un livello a fosfati (P_2O_5) che pare riferibile ad un livello ricco di ossa, a 1.80 metri di profondità (A. Tremul, 2001)
Bosak e Pruner dell' Accademia delle Scienze di Praga hanno trovato interessanti datazioni con il metodo del paleomagnetismo in un intervallo tra i 226.000 e i 284.000 anni fa ad una profondità tra i 4.60 e 4.68 m, un probabile 350.000 a cavallo del livello di calcite compreso tra i - 4.85 e - 4.82 m e tra i - 6.20 e - 6.30 m (com. pers). Il metodo del radiocarbonio ha datato i resti ad *Ursus* a più di 40.000 anni fa (G. Belluomini com. pers). G. Lazzaro (2003) ha datato con lo studio della corona del dente di *Ursus* la popolazione del Carso triestino a circa 60.000 anni fa.
Molte altre applicazioni di nuovi metodi di ricerca fanno da corollario a questi primi risultati.
Dopo aver preso in esame una grotta residuale (Solco di Borgo Grotta Gigante), una grotta a galleria (Pocala) ci è venuta l' idea di proporre lo studio di una grotta a gallerie sovrapposte.
F. Forti segnala da tempo la presenza di livelletti di sabbie gialle in sedimentazione fluviale stratificata entro argilla dello stesso colore. Sono state rinvenute formazioni "a bambole" anche in aggregazione.
Tali depositi sono oggi mascherati dalla muratura del nuovo sentiero realizzato una decina di anni fa, in corrispondenza della " Galleria Nuova" della Grotta Gigante, nella parte più alta del complesso. (R. Calligaris relazione preliminare presentata alla Società Alpina delle Giulie in data 14/02/2003).
Una prima ipotesi sulla genesi della Gigante è stata fatta da G. Busà (1975), ma in base alle nuove conoscenze dell' evoluzione del fenomeno carsico presentiamo di seguito una nuova proposta di massima. Il complesso della grotta è essenzialmente basato sull' unione di tre gallerie sovrapposte, formatesi in tempi diversi e scavate dalle acque carsiche. Ci pare ininfluente il distinguere se si tratti di uno o due corsi di acqua diversi, certamente sono acque carsiche e l' azione di scavo è stata differenziata nel tempo.
Questi studi sui riempimenti carsici e sull' attuale fase di assorbimento dell'intero altopiano hanno permesso di evidenziare la potenza, nel senso geologico di spessore, di tali depositi.
Bosak et alii. (2000) hanno datato sedimenti di riempimento nell' area di Kozina (Slovenia), (circa 500 m/s.l.m.) riferibili da 1.760.000 fino a 5,2 milioni di anni fa.
L' attuale grande sala della Grotta Gigante si è formata dopo il crollo della grossa intercapedine di roccia tra i due livelli più alti di gallerie ed il lento progressivo assorbimento nel terzo livello sottostante.
Oggi la grotta presenta il primo ingresso (attuale uscita turistica) troncato a parete verticale appiombante nella grande sala, mentre di fronte si vede la vecchia prosecuzione della stessa galleria, in sezione verticale è affusolata verso il basso, con il tetto dato dalla superficie di strato (18° S - SE).
Lo sviluppo dell' intera grotta è impostato su un andamento N - S, corrispondente alla parete Ovest e sulle superfici di strato. Dalla base a fuso rovescio della galleria parte un' enorme colata calcitica che scende per molte decine di metri lungo la parete fin quasi al sentiero. Questa deve essere andata formandosi dopo il crollo dell' intercapedine rocciosa. Lungo la parte che la interessa vi sono evidenti gra-

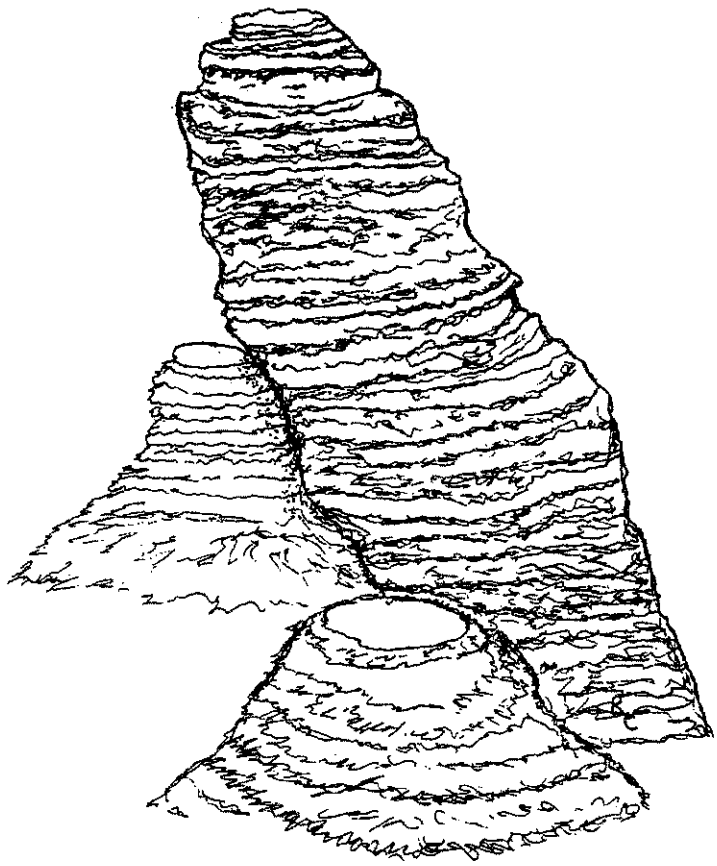


Fig. 3 - Particolare di una stalagmite cresciuta inclinata. Lo stilicidio è avvenuto sempre nello stesso punto ma il fondo si è mosso seppur lentamente, verso il fondo della grotta (altezza 1,5 metri).

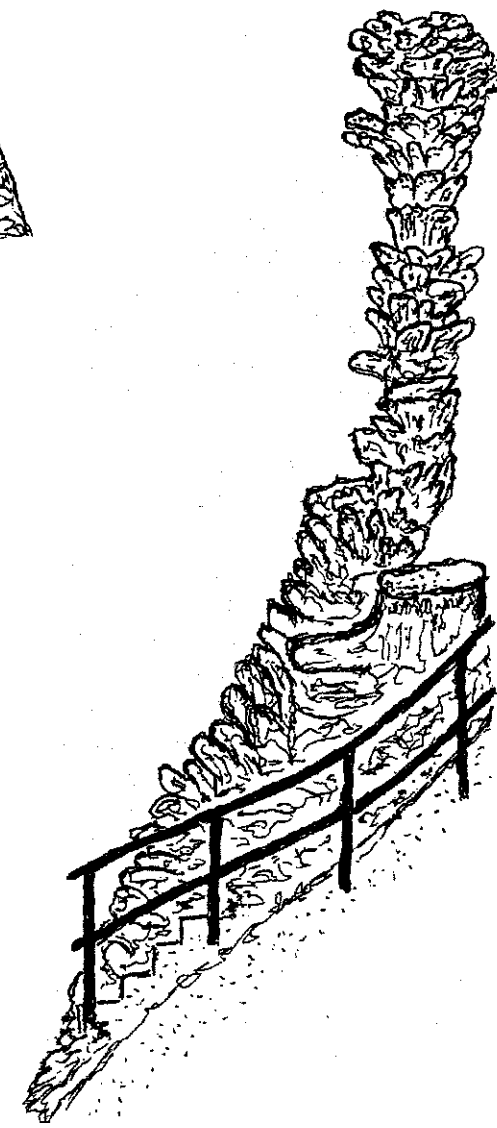


Fig. 4 - La "Palma", che presenta un piede svliluppatosi durante il lento movimento, e una crescita verticale dopo lo stabilizzarsi dello scivolamento (altezza 8 metri).

donature di cedimento progressivo che nella parte appena sopra al sentiero lasciano vedere livelli metrici di brecce e ampi crostoni calcitici scesi di metri in seguito al collassamento del sottostante materiale roccioso, particolarmente evidenti dall' alto (Belvedere dei Pendoli). Tutta l' area centrale della grande sala mostra una fase di assorbimento, che però riteniamo risalire a tempi non troppo recenti. Guardando attentamente i grossi blocchi sui quali sorgono le attuali concrezioni per la maggior parte verticali, si notano evidenti fratture, dislocazioni anche metriche, inclinazioni rese più evidenti da precedenti concrezionamenti. Le interpretiamo come segno di una fase di assorbimento dovuto al cedimento di un ulteriore livello di galleria inferiore forse non di grandi dimensioni. Busà (1975) vede il rapporto tra la galleria più alta (Galleria Nuova) e quella del corpo centrale della Grotta Gigante in 1:7. Anche quella ancora sottostante doveva essere più piccola del tratto centrale.
Sia la " Colonna Ruggero", in sviluppo verticale per 12 metri che la " Palma" sull' altra parete presentano una struttura scalare alla base e poi uno sviluppo verticale. Sono riferibili ad un vecchio e lento scivolamento della base stessa poi stabilizzatasi, e quest'ultima fase sarebbe comunque databile. L'intera area di distacco vicino alla parete est della superficie a blocchi sul fondo dal "Palazzo delle Ninfe" alla grande colata, ci pare dovuta a questa antica zona di cedimento per assorbimento da tempo stabilizzata. Tale situazione pare particolarmente evidente anche nella curva del sentiero verso sinistra presso la " Damigiana" , tra il "Pulpito" e il "Tridente". Successivamente vi furono riempimenti in argille rosse di spessore di alcuni metri sopra all' attuale fondo a blocchi di roccia testimoniati da mensole calcitiche in seguito riconcrezionati sia nella parte bassa del ramo a meandro del terzo ingresso che sull' altro lato, tra la "Colonna Ruggero" e la "Sala dell'Altare".
Tornando alla " Galleria Nuova" sarebbe possibile datare la grande colata calcitica con il metodo radiometrico dell' U/Th tramite apposito carotaggio, come per la " Palma" e la " Colonna Ruggero".
Sarebbe così meglio comprensibile la stratigrafia del riempimento della " Galleria Nuova" , che comunque dovrebbe seguire uno sviluppo in interstrato per parecchie decine di metri. La sua lunghezza è ora di 94 metri, ma nel corso di decenni la sua parte distale è stata scavata da molti soci del C.G.E.B.*, liberando molti metri. Ora il suo termine trova una parete rocciosa e sembra imboccare un pozzo verticale che sarebbe completamente ostruito dal sedimento. Tre potrebbero essere le possibilità: una prosecuzione a galleria, il pozzo, oltre naturalmente all'idrogeologicamente improbabile fine della struttura che comunque avrebbe creato una nicchia di raccolta del sedimento.
Un primo rilevamento geologico di superficie e nella Grotta Gigante ha individuato fra l' altro un cambiamento litologico nell' alternanza tra calcari grigi con frammenti molto abbondanti di Rudiste (Cucchi et alii, 1987). Tale situazione potrebbe parlare a favore dell' esistenza del pozzo nella " Galleria Nuova" , viste le corrispondenze con il pozzo della " Sala dell' Altare" (sempre in Grotta Gigante) e dell' attuale situazione raggiunta dallo scavo avviato sempre dai soci della C.G.E.B.* in particolare nell' anno 2002, dopo i suggerimenti successivi ai lavori che hanno portato ad unificare le VG 3875 (Grotta Costantino Doria) la VG 3876 e la VG 21 (Grotta delle Geodi), (Baradello L. et alii, 2003).
Anche questo complesso che possiamo tenere sempre riferito alla Grotta Costantino Doria termina - per ora - in strutture verticali e al contatto di cambiamento litologico.

**C.G.E.B. è la sigla della Commissione Grotte " Eugenio Boegan" della Società Alpina delle Giulie sezione del C.A. I. di Trieste.*

FATTIBILITÀ DELLA PROPOSTA

La superficie soprastante la " Galleria Nuova" è ancora esclusivamente prativa e di facile accesso. Sono già stati avviati contatti con i colleghi in grado di effettuare rilievi precisi e indagini geofisiche di diverso tipo (microgravimetria, georadar, geoelettrica e sismica) per poter individuare l' esatto passaggio della galleria e l' eventuale sua prosecuzione.
In seguito sarebbe quindi possibile praticare dei carotaggi dalla superficie, passando l' intera volta rocciosa e fino al fondo originario della galleria, come del resto già fatto in particolare in quello interno della caverna Pocala. Nel caso di uno sviluppo a pozzo della " Galleria Nuova" una delle perforazioni andrebbe tentata proprio in quell' area. Potrebbero dare sedimenti davvero antichi.

La ricerca ha un suo costo ma l' interesse già destato dai lavori fin qui svolti e il coinvolgimento di molti specialisti di varie nazioni che già si sono riuniti a Trieste in occasione del VII° Simposio Internazionale sull'Orso delle caverne potrebbe essere ripreso dal CAI proprio nell' ambito della Grotta Gigante, che ci offre un' occasione forse unica con le sue gallerie.

LA GROTTA GIGANTE E L' UOMO

Da sempre la Grotta Gigante ha proposto argomenti ancora da affrontare. Reperti dell' età del Bronzo e del Ferro nella galleria del primo ingresso, ceneri e molluschi marini sul fondo della grande sala che potrebbero essere caduti dalla stessa galleria soprastante ma anche presentare stratigrafia. In questo caso ci sarebbe stata una frequentazione del fondo, che spiegherebbe il ritrovamento di monete romane nella " Sala dell' Altare". (Montagnari Kokelj E.,1998).
La recente " riscoperta" della " Galleria Perko" (Forti F., 2001) potrebbe dare altri reperti ossei, da un primo esame riferibili a fauna domestica recente ma non attuale, sono presenti anche resti di *Cervus* per cui può essere interpretata come una tana di animali.
Il Museo della Speleologia della grotta è in fase di completo rifacimento.
All' ingresso della grotta ci accoglie oggi una targa:

"Nel 90° anniversario dell' apertura al pubblico della Grotta Gigante
fonte di studio e conoscenza dell' ambiente sotterraneo
la Commissione Centrale per la Speleologia del Club Alpino Italiano
5 luglio 1998"

Possa essere di buon auspicio.

Fig. 5 - Il "Palazzo delle Ninfe". Si nota lo scivolamento degli strati sulla destra, in seguito al lento movimento della frana, con ribaltamento di alcune concrezioni e ricrescita di una colonna (altezza 4,5 metri), evidentemente più giovane di quella adiacente. Tutto il tratto sotto la parete sulla destra risulta spostato di alcuni metri verso il centro della grotta.

BIBLIOGRAFIA

- BARDARELLO L., ET ALII, 2003 - Integrated geophysical methods to define hypogeous karstic features. *Atti Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.* Vol.49 suppl. 15 - 22, 8 ill.
- BAROCCHI R., 1998 – Un caso: la caverna turistica più grande del mondo. *Quaderni Centro Studi Economico-Politici "Ezio Vanoni".* Nuova serie - n. 1-2, 15-58
- BATTAGLIA R., 1930 - Notizie sulla stratigrafia del deposito Quaternario della caverna Pocala di Aurisina (campagna di scavo degli anni 1926-1929) *Le Grotte d'Italia* IV 1, 17 - 44.
- BATTAGLIA R., 1933 - L'età dei più antichi depositi di riempimento delle caverne. *Atti congresso di speleologia Nazionale giugno 1933,* 1 - 23.
- BATTAGLIA R., 1958-59 - Preistoria del Veneto e della Venezia Giulia. A cura di M. O. Acanfora. *Bullettino di Paletnologia Italiana* vol. f.s. 67 - 68 1 - 430.
- BOSAK P. ET ALII, 1999 - Cave fill in the Crnotiče quarry, SW Slovenia: Paleomagnetic, mineralogical and geochemical study. *Acta Carsologica. Slovenska Akademja Znanosti in Umetnosti.* vol 28 n°2, 15 - 39.
- BOSAK P. ET ALII, 2000 - Paleomagnetic research of fossil cave in tbe highway construction at Kozina, SW Slovenia. *Acta Carsologica. Slovenska Akademja Znanosti in Umetnosti.* vol 29 n°2, 15 - 33.
- BOSAK P., PRUNER P., 2000 - Paleomagnetic analysis of the core from the Grotta Pocala Trieste region, Italy. Preliminary report.
- BOSCHIAN G., OTA D., 2000 - 70.00 anni fa sul Monte Carso. Ossi, animali e uomini dalla Caverna degli Orsi. Riserva naturale della Val Rosandra. Arti Grafiche Friulane.
- BOSCHIN W., 2001 - Campionamento dei depositi di riempimento in cavità nell' ambito di ricerche paleontologiche e sedimentologiche nel Parco Regionale delle grotte di San Canziano. Raziskovanje in arhiviranje archeo loskih ter paleontoloskih najdb na obmocju Parka Skocjanske Jame in Trsta. Javni zavod Park Skocjanske Jame.
- BUSA' G., 1975 - Indagine morfologica per la verifica di una ipotesi sulla genesi della Grotta Gigante. Boll. Soc. it. Topografia e Fotogrammetria II, 1 - 16.
- CALLIGARIS R., DEROSSI S. - 2002 Dalle Grotte ai Castellieri. Un percorso nella preistoria. Scheda didattica.
- CALLIGARIS R., ET ALII - 2002 La situazione geologica della "Carsia Giulia" (con particolare riguardo al Carso Classico ed Istria). *Hydrores,* anno XIX n°23, 21 - 40, 3 ill.
- CALLIGARIS R., - 2003 Il Paleolitico sul Carso triestino. Un nuovo approccio. Glasnik Slovenske Matice, 27. Lubiana.
- COVA U., 1998 - Il Club dei Touristi Triestini e la Grotta Gigante - Testimonianze archivistiche. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* XXXV (1997) 19 - 25, 1 ill.
- CUCCHI F., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N., 1987 - Tbe carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy). *Mem. Soc. Geol. It XL,* 35 - 44, 1 ill 2 tab.
- FORTI F., 1974 - Considerazioni sui depositi di riempimento nelle cavità carsiche nel Carso triestino. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* XIII (1973), 27 - 40.
- FORTI F., 1981 - Genesi dei depositi di riempimento delle cavità " a galleria " del Carso triestino. *Atti Soc. Preistoria e Protostoria Reg. Friuli Venezia Giulia IV* (1978 - 81), 127 - 132.
- FORTI F., 1999 - Grotte del Carso triestino. Genesi ed evoluzione. II ed. Lint.
- FORTI F., 2001 - Giovanni Andrea Perko 1876 - 1941. *Progressione* 44, 54.
- FORTI F., GUIDI P., 1998 - Grotta Gigante saggio bibliografico. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* XXXV (1997) 81 - 158, 17 ill.
- FORTI F., FORTI FU., - Formuliamo un' ipotesi di lavoro: glaciale o diluviale sul Carso. - Cosa ci raccontano le grotte (quali i rapporti con i fenomeni esterni?) in corso di stampa.
- GALLI M., GUIDI P., 1998 - 150 anni di esplorazioni e turismo nella Grotta Gigante. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* XXXV (1997) 1 - 17, 9 ill.
- GERŠL M., STEPIŠNIK U., ŠUŠTERŠIČ S., 1999 - The " unroofled cave " near the Bunker (Laški Ravnik). *Acta Carsologica. Slovenska Akademja Znanosti in Umetnosti* Vol 28 n°2, 77 - 86.
- KALC M., 2003 – Indagine sul turismo della Grotta Gigante per uno sviluppo turistico del Carso. Alcune proposte. Tesi di laurea inedita in Statistica del Turismo. Università degli Studi di Trieste. Facoltà di Economia, 1-91.
- KNEZ M., SLABE T., 1999 - Unroofled caves and recognising them in the Karst relief (discoveries during motorway construction at Kozina, South Slovenia). *Acta Carsologica. Slovenska Akademja Znanosti in Umetnosti.* Vol 28 n°2 103 - 112.
- KRASNA F., 1998 - Itinerari turistico - speleologici nel Friuli Venezia Giulia. *Quaderni Centro Studi Economico-Politici "Ezio Vanoni".* Nuova serie - n. 1-2, 59-66.

- LAZZARO G., 2003 - La popolazione di *Ursus spelaeus* della grotta Pocala. *Atti Museo Civico di Storia Naturale di Trieste.* Vol. 49 suppl. 59 - 78, 12 ill.
- MARCHESETTI C., 1895 - Le concrezioni del saldame di Repentabor presso Trieste. *Atti Museo civico Storia Naturale Trieste.* Vol IX, 261 - 264.
- MONTAGNARI KOKELJ E., 1998 - Alcune osservazioni sui dati archeologici relativi alla Grotta Gigante nel Carso triestino. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* XXXV (1997) 27 - 42, 2 ill, 5 tav.
- PERKO G.A., 1897 - La Grotta Gigante. *Il Tourista* anno IV n°4 30 - 32, n° 5 35 - 38.
- PERKO G.A., 1906 - Die Riesen Grotte bei Triest - Opicina. Globus 10. Band LXXXIX 152 - 157.
- RADINJA D., 1969 - Vremska dolina in Divaski Kras. *Slov. Akad. Znosn. Umet., Cl 4, Hist. Nat., Acta Geographica*, 10, 159 - 269, Ljubljana.
- ŠEBELA S., 1999 - Morphological and geological characteristics of two denuded caves in SW Slovenia. *Acta Carsologica. Slovenska Akademja Znanosti in Umetnosti.* vol 28 n°2 175 - 185.
- TREMUL A., 2001 - I sedimenti della grotta Pocala di Aurisina (Carso triestino): analisi mineralogiche e sedimentologiche. Tesi di laurea, inedita, Università di Trieste.
- TREMUL A., 2003 - I sedimenti della grotta Pocala di Aurisina (Carso triestino): analisi mineralogiche. *Atti Museo Civico di Storia Naturale di Trieste* Vol.49 suppl. 127-140, 6 ill.
- TREMUL A., CALLIGARIS R., 2001 - A preliminary comparison between boring from Pocala cave and an unrooflecave at Borgo grotta Gigante, Trieste Karst. Cadernos Lab. Xeol. De Laxe. Vol 26, 503- 507.
- TREMUL A., ET ALII, 2001 - A preliminary report on sediments from Pocala cave: Sedimentological and heavy mineral analysis. Cadernos Lab. Xeol. De Laxe. Vol 26, 497 - 502.
- ZANINI P., 2000 - Progetti e prospettive di sviluppo turistico della Provincia di Trieste. Tesi di laurea inedita in Geografia Politica Economica. Università degli studi di Trieste. Facoltà di Scienze politiche, 1-114.
- ZORMAN T., ET ALII. 2003 - Guida all' itinerario didattico Skocjan. Ill.

CORRELAZIONI TRA SUBSTRATO CARSICO, FLORA E VEGETAZIONE NELLE ALPI LIGURI

Enrico Martini
già Docente Istituto Botanico dell'Università di Genova

RIASSUNTO

Preliminarmente l'autore approfondisce brevemente gli elementi negativi insiti nel chimismo dei substrati fortemente calcarei, silicei e serpentinitici, i più ostili alla vita vegetale.
Viene poi approfondito il complesso rapporto tra suoli carsici e piante superiori, con una particolare attenzione agli adattamenti che consentono a specie di modeste capacità competitive, di allignare su simili tipi di terreno, altamente selettivi; tali adattamenti sono stati portati ad un elevato livello di efficienza, con un affinamento che ha richiesto il susseguirsi d'innumerevoli generazioni.
È noto che le Alpi Liguri sono tra i territori della catena alpina più ricchi di specie endemiche o comunque di rilevante pregio fitogeografico. L'autore pertanto analizza il fenomeno dell'endemismo vegetale in questo settore delle Alpi ed elenca gli endemìti tipici od esclusivi, su calcare, sia delle Alpi Liguri sia del contiguo settore delle Alpi Marittime.
Infine si elencano i tipi vegetazionali distinti su suoli carsici nelle Alpi Liguri e si analizza il pregio di queste presenze, trattandosi di fitocenosi sia esclusive del settore sia al limite d'areale nelle Alpi

ELEMENTI PRELIMINARI

Delimitazione del settore

Il settore delle Alpi Marittime viene convenzionalmente ripartito in due sottosettori: Alpi Liguri, tra il Colle di Cadibona e il Colle di Tenda, Alpi Marittime propriamente dette, tra il Colle di Tenda e quello della Maddalena. A nord il confine corrisponde al corso del fiume Stura e al bordo inferiore della piana piemontese. Per quanto riguarda il limite meridionale, i due sottosettori vengono delimitati dalla linea di costa corrispondente alla Riviera di Ponente (province di Savona, ad ovest della città, e d'Imperia) e alla Costa Azzurra (ad est del Massiccio delle Maures, Baia di Agay).
In realtà il limite orientale del territorio corrisponde al Colle di Cadibona per i geografi; i geologi lo pongono all'altezza della congiungente Genova Sestri Ponente/Voltaggio, considerata confine tra Alpi e Appennini; per i botanici, invece, il limite va posto in corrispondenza della catena calcarea "Monte Carmo di Loano/Bric dell'Agnellino", alla cui altezza termina la distribuzione orientale di varie specie endemiche significative del settore.
Tali distinzioni possiedono, ognuna in misura differente, un proprio grado di convenzionalità ed artificiosità, come tutte quelle ideate dall'uomo nel tentativo d'inserire entro schemi rigidi una realtà alquanto articolata. Il Settore complessivo copre una superficie di circa 9500 kmq, dei quali circa 3500 appartengono alle Alpi Liguri.

Litotipi dominanti

Per quanto riguarda i tipi di substrato, riscontriamo nelle Alpi Liguri una prevalenza di rocce ad elevato tenore di carbonato di calcio, mentre quelle silicee sono presenti ma in netto subordine ed ubicate a quote minori; la situazione inversa si constata a livello di Alpi Marittime propriamente dette, il cui nucleo centrale è in assoluta preminenza granitico-gneissico, mentre, soprattutto a nord e a sud, si estendono catene calcaree meno elevate. La compresenza di rilievi calcarei e silicei ha sicuramente svolto un ruolo fondamentale nel favorire le migrazioni di specie microterme ed orofile, calcicole e calcifughe, durante le fasi glaciali dell'ultimo milione di anni.

Le differenze di quota tra i nuclei principali più elevati e le aree di raccordo, petrograficamente affini, ad altezze inferiori, devono avere svolto un ruolo modesto nel limitare i flussi migratori di specie, date le ampie oscillazioni dei limiti altitudinali che si sono verificate in seguito alle alternanze tra fasi glaciali ed interglaciali.

Flora e vegetazione

I concetti di flora e di vegetazione sono ben differenti, anche se di solito i due termini vengono impiegati in sinonimìa. La flora di un territorio è l'insieme delle piante che lo abitano; la vegetazione è il complesso delle comunità vegetali ("fitocenòsi") che vi sono ospitate.
Per analizzare la flora di un territorio occorre identificare tutte le specie vegetali presenti e raccoglierne i nomi in un elenco floristico; è bene anche indagarne la distribuzione sulla Terra ed appurare quali "contingenti floristici" siano rappresentati (quello mediterraneo, l'eurasiatico, il circumboreale, l'artico-alpino e così via). Particolare attenzione meritano le forme a ridotta distribuzione sul globo, i cosiddetti "endemìti": l'abbondanza di specie endemiche è un indice dell'originalità e della nobiltà di una flora.
Lo studio della vegetazione di un territorio comporta l'individuazione delle fitocenosi presenti (ad esempio prati montani, prati subalpini, prati alpini, querceto a rovere, faggeta, abetaia ad abete bianco, abetaia ad abete rosso, pineta a pino silvestre e così via); successivamente, effettuando "rilevamenti fitosociologici" della vegetazione, si devono identificare le specie che compongono ogni singola fitocenosi e per tutte indicarne l'abbondanza degli esemplari e l'associabilità, cioè la tendenza a formare addensamenti. Al termine è necessario individuare l'evoluzione cui vanno incontro i vari popolamenti.

Vegetazione e fitosociologia

Le comunità vegetali sono studiate da una branca della Geobotanica denominata "Fitosociologia". Come per le sistematiche floristiche e faunistiche il "taxon" basilare è la specie, così per quella fitosociologica la categoria fondamentale è rappresentata dall'associazione vegetale.
Sono state proposte varie definizioni del concetto di associazione (cfr. Pignatti, 1984). A giudizio di chi scrive, la più rigorosa è quella, classica, di Braun-Blanquet (1928): *"Un'associazione è un aggruppamento vegetale più o meno stabile nel tempo e in equilibrio con l'ambiente, caratterizzato da una composizione floristica determinata, nel quale alcune entità quasi esclusive, definite 'specie caratteristiche', rivelano, con la loro presenza, un'ecologia particolare ed autonoma"*.
La fitosociologia ha avuto un grandissimo merito: quello di fare scoprire l'esistenza di processi dinamici della copertura vegetale: partendo da comunità pioniere, attraverso tutta una serie di fitocenosi intermedie, si giunge ad uno stadio finale, detto "climax", destinato a durare finché permangano invariate le condizioni ambientali complessive. La cognizione che esiste un processo del genere è uno dei cardini dell'ecologia applicata: attuare decisioni che non s'inseriscano armoniosamente nel dinamismo della vegetazione spontanea, comporta, tra le varie conseguenze, anche la certezza che gli interventi realizzati dovranno essere difesi in futuro, richiedendo impegno in termini di tempo, fatica e spese, per la necessità di respingere questo dinamismo.

Lotta per l'esistenza e selezione naturale

La lotta per l'esistenza, facilmente percepibile nel regno animale, osservando l'aggressione di un predatore, è presente pure nel silenzioso e discreto regno vegetale. Per rendersene conto è sufficiente ricercare se in un verde prato si riscontra la presenza delle piantine che occhieggiano dalle fessure minime di una roccia sovrastante: non se ne rinverrà alcuna, pur se la vita è indiscutibilmente più agevole nel prato: la competizione tra i vegetali è stata sempre sottostimata, anche dai pianificatori territoriali: a riprova di ciò il fatto che questo fattore di selezione e d'impoverimento della flora di un territorio non viene considerato tra i rischi di rarefazione e d'estinzione delle specie vegetali (si elencano solo l'antropizzazione del ter-

ritorio, gli incendi, l'apertura di cave e vari altri fattori di nocività). In realtà il massimo di biodiversità si riscontra nelle zone lievemente "disturbate" dall'uomo, il minimo nelle fasi iniziali di colonizzazione di un ambiente (es.: una colata lavica) od in quelle tardive (bosco fitto, per la quasi totalità del territorio italiano). In prima approssimazione possiamo distinguere le piante in "deboli" e "prepotenti"; quelle provviste di maggiori capacità competitive tendono ad occupare gli ambienti agevoli per la vita, eliminandone le forme meno dotate ai fini della lotta per l'esistenza; le specie "deboli" hanno di fronte un'alternativa: adattarsi, nel corso d'innumerevoli generazioni, a condizioni microambientali severissime e sopravvivere in àmbiti preclusi alle specie "prepotenti", oppure scomparire.

Substrati condizionanti l'esistenza dei vegetali

Uno dei fattori che maggiormente influiscono sull'esistenza dei vegetali, potendo agire da "arcigno custode" di specie particolarmente frugali ma deboli quanto a capacità competitive, è sicuramente il tipo di substrato su cui le piante allignano; se tra le piante e la roccia madre è interposto uno strato più o meno spesso di terreno, l'influenza del chimismo della roccia, inevitabilmente, si riduce.
Di regola litotipi quali argilliti, argilloscisti, calcescisti, marne e così via non pongono eccessivi problemi alla vita vegetale: sono facilmente erodibili dagli agenti atmosferici, originano paesaggi dalla dolce morfologia, abbondanza di terreno e suoli caratterizzati da un soddisfacente tenore idrico.
I litotipi che più condizionano la sopravvivenza delle piante sono quelli ad elevato tenore di carbonato di calcio, quelli ad alto contenuto di silice ed i suoli ofiolitici.
Il momento iniziale della genesi di un suolo è dato dalla presenza di roccia nuda affiorante: a contatto con gli agenti atmosferici, la sua porzione superficiale va incontro a processi di disgregazione fisica (soprattutto) e chimica, una conseguenza dei quali è la trasformazione della roccia compatta in detrito. Con l'insediamento di piante pioniere (piccole e frugalissime), inizia l'evoluzione verso un suolo vero e proprio, con la presenza di resti organici destinati a venire trasformati in humus dalla microflora del terreno (batteri e funghi). Al "litosuolo" succede un suolo, costituito da residui organici più o meno mescolati a parti minerali, direttamente appoggiati sulla roccia madre. Uno stadio del genere viene definito "rendzina", se la roccia è calcarea, e "ranker", nel caso di una roccia silicea. Sui suoli carsificati lo stadio di rendzina può permanere per tempi assai lunghi, data la severità delle condizioni microedafiche (eccesso di calcio, scarsità di humus) e microclimatiche (aridità accentuata, forti sbalzi termici). Tali situazioni sono frequentissime sulle Alpi Liguri.
Molto severe sono pure le condizioni che si realizzano dove la roccia madre sia di natura silicea ed il suolo risulti poco evoluto: l'aridità è minore rispetto ai substrati calcarei ma nelle soluzioni circolanti nel terreno si rinvengono in alta percentuale alluminio ed elementi chimici pesanti, negativi per il metabolismo dei vegetali. Le rocce silicee non fratturate sono assai resistenti all'erosione operata dagli agenti atmosferici e richiedono tempi molto lunghi perché dalla roccia madre si ottenga terreno. Tali condizioni sono la regola nel nucleo montuoso centrale delle Alpi Marittime propriamente dette.
Litotipi ancor più severi sono rappresentati dalle ofiolìti, in particolare da serpentiniti, lherzoliti, harzburgiti ed eclogiti, assenti nel settore considerato ma presenti, qua e là, sul territorio italiano. Trattandosi di àmbiti assai problematici per le attività dell'uomo, non sarà male effettuare una breve digressione: i substrati ofiolitici sono del tutto improduttivi per l'agricoltura e la selvicoltura: è un dato di fatto che nel Medio Evo si scomodò addirittura il diavolo, il quale, dispettosissimo verso gli uomini in generale, e verso contadini e montanari in particolare, avrebbe reso sterili determinate plaghe, proprio quelle corrispondenti ai substrati ofiolitici. Un altro problema è dato dalla tracciatura di strade in rocce eclogitiche: un'attività costosissima dato che le punte delle perforatrici, pur di acciaio speciale diamantato, si usurano con incredibile rapidità.
Tornando ai rapporti tra substrato e piante, le ofioliti sono assai resistenti all'erosione operata dagli agenti atmosferici. A ciò si aggiungano la limitata cessione di materiali fini, la penuria di minerali argillosi residuali, il modestissimo tenore di alluminio, che impedisce la genesi di argille di neoformazione: è chiaro che questi fattori pedologici avversi portano ad una grossolanità della tessitura del suolo: per tempi lunghissimi avremo rupi, e dalle rupi massi, poi pietrame, infine pietrisco, ma non terreno.

I fattori nocivi ed ostili, che rendono assai lenta la conquista delle ofioliti, e delle serpentiniti in particolare, da parte della flora spontanea, sono accentuati dalla marcata asportazione del magnesio ad opera delle acque meteoriche e dalla sua comparsa, con alte percentuali, nelle soluzioni circolanti: il magnesio è tossico, in dosi elevate, per molti vegetali, e la sua azione si accentua se accompagnata da penuria di calcio, fatto che sempre si verifica nel caso delle serpentiniti. Si pensi che nella composizione chimica di una serpentinite, biossido di silicio e ossido di magnesio, comparendo con percentuali più o meno equivalenti, possono superare il 70% della massa totale. All'abbondanza del magnesio si somma quella di numerosi metalli pesanti, in particolare di cromo, manganese, vanadio, titanio, piombo, ferro, cobalto, nichelio; in tutti gli orizzonti del suolo ioni velenosi per le piante sono presenti in notevole quantità: si arriva a punte di oltre 2200 parti per milione di nichelio e addirittura di oltre 2900 ppm di cromo. Concludendo, i litosuoli, le rendzine e i rankers silicei costituiscono substrati severissimi per la vita vegetale; nulla di paragonabile, però, se confrontati con le condizioni edafiche primitive dei suoli ofiolitici.

INTERRELAZIONI TRA SUBSTRATO AD ALTO TENORE CALCAREO E SPECIE VEGETALI

Un'elevata presenza di carbonato di calcio e di carbonato doppio di calcio e magnesio, è negativa per molti vegetali; in primo luogo essi generano suoli caratterizzati da notevole aridità, conseguente alla facile penetrabilità delle acque piovane (nelle dolomie in caso di rocce fratturate); la disponibilità idrica ipogea che ne deriva, in linea di massima non può essere utilizzata dagli apparati radicali delle piante, per la sua profondità. Esistono anche conseguenze negative sul metabolismo dei singoli esemplari. Gli effetti del chimismo del calcio, in particolare sotto forma di carbonato, sono stati studiati quasi esclusivamente su piante di predominante interesse per l'uomo (vite, tabacco e così via); ben pochi studi si rinvengono in letteratura sui rapporti tra questi tipi di substrato e le specie della flora spontanea; nessuno approfondisce l'argomento in modo organico.
Il calcio è uno dei 16 elementi chimici fondamentali per la vita delle piante. Svolge ruoli essenziali ma la sua presenza nelle cellule deve essere compresa tra un minimo e un massimo, possibilmente in una percentuale inserita entro un intervallo assai più stretto, che costituisce l'optimum di presenza. Tale optimum varia da specie a specie ed anche a seconda dei singoli individui. È indubbia la difficoltà di uno studio in materia data la presenza, nei vegetali, di circa metà degli elementi chimici esistenti sulla Terra; per di più essi danno origine a composti che interagiscono tra loro: estremamente difficile è definire con precisione il rapporto causa-effetto tra elementi chimici e metabolismo delle piante.
I ruoli positivi del calcio sono molteplici:

1) Questo elemento chimico è un componente strutturale della cellula vegetale (ad esempio a livello di parete cellulare);
2) Entra nella composizione di gruppi prostetici di enzimi, cioè di gruppi cellulari non proteici, che contribuiscono a costituire le molecole delle proteine complesse;
3) Svolge un ruolo nel mantenimento dell'integrità e della rigidità della parete cellulare;
4) Agisce sulla permeabilità del plasmalemma, membrana addossata alla faccia interna della parete cellulare;
5) Molti compiti del calcio sono poco o nulla conosciuti; è un dato di fatto, comunque, che se questo elemento è presente nel terreno in dosi troppo ridotte, nel vegetale insorgono malattie da carenza (con uno sviluppo stentato cui seguono intristimento e morte).

Un ruolo positivo del carbonato di calcio nel substrato consiste nell'aumentare la permeabilità e l'aerazione nel terreno. Un effetto negativo di un eccessivo tenore di calcio nel vegetale consiste in un ostacolo alla distensione della parete cellulare. La cellula riceve l'impulso a dividersi anche se non ha ancora raggiunto le dimensioni ottimali; ne deriva disordine nell'organizzazione del tessuto.
Una conseguenza negativa di un eccessivo tenore di carbonato di calcio nel terreno è la produzione di acido malico nel vegetale, con alterazione del pH del citoplasma, impossibilità per il vacuolo di esercitare il suo "potere tampone" e di rimediarvi, disordine metabolico, riduzione della crescita del vegetale e inibizione, in particolare, dello sviluppo dell'apparato radicale.

RISPOSTE ADATTATIVE DEI VEGETALI ALL'ECCESSO DI CALCIO

In base alla capacità delle piante di tollerare un'elevata presenza di calcio nel substrato, esse sono state distinte in "calcicole" e "calcifughe". Ovviamente i livelli più elevati di "calcicolia" sono posseduti da piante che vivono nelle fessure minime di rocce calcaree.
All'eccesso di calcio nelle soluzioni acquose circolanti, e quindi all'inevitabile sua assunzione nelle cellule dei vegetali, questi ultimi reagiscono con l'attivazione di potenzialità che fanno parte di un retaggio di efficienti adattamenti all'ambiente, differenziati nell'arco d'innumerevoli generazioni.
Una prima "astuzia" consiste nell'accumulo di ioni calcio all'interno del vacuolo cellulare (possono raggiungersi concentrazioni anche 10.000 volte maggiori rispetto alla percentuale di calcio riscontrabile nel citoplasma). A seconda delle specie possiamo rinvenire singoli grandi cristalli, sabbia cristallina, "druse" (aggregati cristallini più o meno isodiametrici), o "rafidi" (insiemi di cristalli allungati più o meno paralleli tra loro); i sali minerali che costituiscono tali formazioni possono essere carbonati, ossalati o solfati di calcio.
L'accumulo può avvenire a livello di parete cellulare, con una calcificazione a base di carbonato o, più raramente, di ossalato di calcio.
Varie specie, poi, ad esempio, di sassifraghe e di primule, deviano soluzioni acquose, nelle quali il carbonato di calcio si è trasformato in bicarbonato, verso la periferia dell'esemplare, in particolare a livello di foglie: tante serie di spazi intercellulari consecutivi, interni, individuano, di fatto, canalicoli che sfociano all'esterno in aperture dette "stomi acquiferi": la soluzione acquosa che vi perviene perde acqua per evaporazione, il bicarbonato si ritrasforma in carbonato e quest'ultimo si deposita nelle adiacenze dello stoma acquifero.
È questo il motivo per cui le foglie di varie sassifraghe (es.: *Saxifraga lingulata, Saxifraga paniculata*) presentano serie di puntini bianchi sul margine fogliare, varie primule presentano orletti bianchi continui, sempre sui margini fogliari (es.: *Primula auricula*), ed anche farinosità bianchicce sulla lamina e sulle corolle (es.: *Primula marginata*, esemplari calcicoli).
Una specie endemica delle Alpi Liguri e Marittime, *Moehringia sedifolia*, presenta incrostazioni, a volte oltremodo cospicue, di ossalato di calcio su fusti e foglie.
Un altro tipo di accumulo è quello che conduce alla genesi di sorte di grappoli all'interno di grosse cellule fogliari: un peduncolo cellulosico pende dalla faccia interna della parete; intorno ad esso si addensano tante masserelle più o meno isodiametriche, ovoidali od ellissoidali, di natura calcarea: questa struttura a grappolo prende il nome di "cistolite".
Non possedendo le piante un vero e proprio apparato escretore, le cellule in cui si sono andate a concentrare notevoli quantità di sali di calcio, verranno eliminate con la caduta delle foglie in cui sono contenute.
Ovviamente nelle specie calcicole gli adattamenti citati sono frequenti e particolarmente efficienti; rimane invisibile all'osservazione macroscopica il possesso di ricchi corredi enzimatici capaci di scindere le molecole dei composti che il metabolismo del calcio genera a livello di protoplasma, e che, se intatti, lederebbero in grave misura strutture endocellulari ed anche tessuti ed organi. Si è già sottolineato che i substrati ad alto tenore di carbonato di calcio generano ambienti poverissimi di acqua, per la facile penetrabilità di tali tipi di suolo alle acque piovane. Una trattazione approfondita degli adattamenti all'ambiente volti a reperire e tesaurizzare l'acqua esula da questa sede. In sintesi ci si può limitare a citare:

1) uno sviluppo particolarmente cospicuo dell'apparato radicale;
2) una riduzione più o meno accentuata della massa fogliare (le foglie sono le superfici traspiranti per eccellenza);
3) un colore chiaro delle parti epigee, idoneo a riflettere in maggior misura i raggi solari e ad evitare l'eccessiva traspirazione e il surriscaldamento dell'esemplare;
4) la copertura delle epidermidi tramite una spessa cuticola di sostanze "idrofobe", idonea a ridurre le perdite di acqua per traspirazione;
5) un fitto rivestimento di peli, utili per costituire, a contatto con le superfici traspiranti, un microstrato di aria ferma, in cui sia rallentata la perdita di acqua per traspirazione;
6) una colorazione bianchiccia di questi peli (utile per i motivi scritti poco sopra);
7) il possesso di stomi infossati ognuno all'interno di una sorta di cripta, a livello della quale stazioni un microstrato di aria ferma (si veda il punto 5).

RAPPORTI TRA ENDEMITI E SUBSTRATI CALCAREI

Il settore delle Alpi Marittime (Liguri incluse) è più ricco di specie endemiche rispetto ad ogni altra zona della catena alpina. L'insigne botanico Bogumir Pawlowski (1970) si espresse in questi termini: *"Les Alpes Occidentales comprennent un seul centre principal d'endémisme: les Alpes Maritimes (y compris les Ligures). C'est le centre le plus important de toute la chaîne des Alpes ... ".*
Chi scrive ha condotto una ricerca volta a definire quantitativamente e qualitativamente il fenomeno dell'endemismo nella flora del settore (Martini, 1982).
Preliminarmente si sono distinti gli endemiti in esclusivi e propri del territorio considerato: i primi hanno un areale interamente compreso entro i limiti della regione; i secondi presentano la maggior parte dell'areale indiscutibihnente interna ai confini, con modeste irradiazioni in zone contigue (d'altronde la distribuzione degli esseri viventi non tiene conto dei confini stabiliti dall'uomo, più o meno artificiosi).
In sintesi, allo stato attuale delle conoscenze:

1) Le specie endemiche esclusive del settore (Alpi Liguri e Marittime) sono in tutto 22: 14 calcicole, 6 calcifughe, 2 indifferenti al substrato.
2) Le specie endemiche proprie del settore sono 4: 3 calcicole, 1 indifferente al substrato.
3) Le specie endemiche esclusive o proprie del sottosettore delle Alpi Liguri sono in tutto 7: 5 calcicole (71,4%), 1 calcifuga (14,3%), 1 indifferente al substrato (14,3%).
4) Le specie endemiche esclusive o proprie del sottosettore delle Alpi Marittime (intese in senso stretto) ammontano a 15: 9 calcicole (60%), 5 calcifughe (33,3%), 1 indifferente al substrato (6,7%).

In tutto, nelle Alpi Liguri e Marittime, su 26 specie ben 17 sono legate ai suoli ad alto tenore di carbonato di calcio (65,4% del totale), 6 sono calcifughe (23,1%), 3 indifferenti al substrato (11,5%).
Dei due sottosettori il più ricco di endemiti è quello delle Alpi Marittime: è ovvio che sia così perché alle specie endemiche del nucleo centrale granitico-gneissico vanno aggiunte quelle che crescono a basse quote, tra la Val Roia ed il confine occidentale del settore, una regione ricca di specie particolarmente significative (tutte calcicole). In entrambi i sottosettori gli endemiti legati ai suoli ad elevato tenore di carbonato di calcio sono i più numerosi, ammontando rispettivamente al 71,4% (Alpi Liguri) ed al 60% del totale (Alpi Marittime).
Ovviamente non si può escludere che nuovi rinvenimenti possano indurre a modificare, aggiornandolo, il quadro tracciato. Dai dati sopra citati risalta l'importanza dei substrati ad alto tenore di carbonato di calcio nell'agire quali aree idonee per entità vegetali deboli quanto a capacità competitive ed a distribuzione assai limitata sul nostro pianeta.

RAPPORTI TRA FITOCENOSI E SUBSTRATI CALCAREI

Chi scrive ha già avuto modo di rilevare (Martini, 1992) che, a suo giudizio, vari fitosociologi hanno svolto indagini vegetazionali in una certa misura affrettate e superficiali: certi ricercatori, di fronte alla difficoltà di rinvenire nuove specie (nel continente europeo) e alle ampie possibilità, invece, di definire nuove associazioni, spesso non soggette, prima della stampa, ad una severa revisione critica altrui, possono essersi dedicati ad identificare nuovi popolamenti senza sentirsi rigidamente vincolati dal concetto di associazione vegetale che, come abbiamo visto, è alquanto rigoroso.
Non sarà male sottolineare che, citando in una propria ricerca un'associazione definita da un altro studioso, si è obbligati anche a citarne l'autore (come nel caso della specie): tale obbligo può avere costituito, in qualche caso, un pungolo ulteriore a "battezzare" nuove associazioni. È pleonastico auspicare la costituzione di un gruppo internazionale di revisori dei lavori fitosociologici pubblicati nell'ultimo mezzo secolo e la sollecita acquisizione di una piena operatività dei suoi componenti.
Chi scrive ha effettuato una revisione critica delle associazioni vegetali distinte nel settore delle Alpi Liguri e Marittime, limitatamente ai popolamenti su litosuoli, rendzine e rankers.

In riferimento agli àmbiti calcarei del settore delle Alpi Liguri e Marittime, sono state distinte 10 associazioni vegetali: 7, a giudizio di chi scrive, vanno respinte, 3 accettate: il *Potentilletum saxifragae* Rioux e Quézel 1949, il *Primuletum allionii* Quézel e Rioux 1949, il *Dryopterido villarii-Asplenietum fissi* Barbero 1969. L'ultima associazione citata si riferisce proprio ai suoli carsificati d'alta quota nel settore delle Alpi Liguri. Questo popolamento presenta un buon livello d'originalità, legato, come è, nell'àmbito del settore considerato, ad un ambiente peculiare.
Per completezza d'informazione, su litosuoli silicei sono state distinte 4 associazioni, 2 delle quali, a giudizio di chi scrive, meritano di essere accettate: il *Saxifragetum florulentae* Barbero e Bono 1967 e il *Silenetum cordifoliae* Lacoste 1972.

ALLEGATO

Abbreviazioni impiegate:
1) "c": specie calcicola - 2) "s": specie calcifuga (= silicicola) - 3) "i": specie indifferente al substrato
Nomenclatura delle specie ed elenchi redatti seguendo Pignatti (1982).

Specie vegetali esclusive
del settore Alpi Liguri/Alpi Marittime:

1) *Moehringia lebrunii* (c)
2) *Silene cordifolia* (s)
3) *Hesperis inodora* (i)
4) *Saxifraga florulenta* (s)
5) *Potentilla valderia* (s)
6) *Potentilla saxifraga* (c)
7) *Alchemilla cavillieri* (s)
8) *Cytisus ardoini* (c)
9) *Erodium rodiei* (c)
10) *Viola valderia* (i)
11) *Helianthemum lunulatum* (c)
12) *Primula allionii* (c)
13) *Galium tendae* (s)
14) *Galeopsis reuterii* (c)
15) *Ballota frutescens* (c)
16) *Micromeria marginata* (c)
17) *Campanula isophylla* (c)
18) *Campanula sabatia* (c)
19) *Phyteuma cordatum* (c)
20) *Senecio persoonii* (s)
21) *Centaurea procumbens* (c)
22) *Leucojum nicaeense* (c)

Specie vegetali proprie
del settore Alpi Liguri/Alpi Marittime:

1) *Moehringia sedifolia* (c)
2) *Silene campanula* (i)
3) *Saxifraga cochlearis* (c)
4) *Leucanthemum discoideum* (c)

Specie vegetali esclusive o proprie
delle Alpi Liguri:

1) *Moehringia lebrunii* (c)
2) *Hesperis inodora* (i)
3) *Saxifraga cochlearis* (c)
4) *Helianthemum lunulatum* (c)
5) *Campanula isophylla* (c)
6) *Campanula sabatia* (c)
7) *Senecio persoonii* (s)

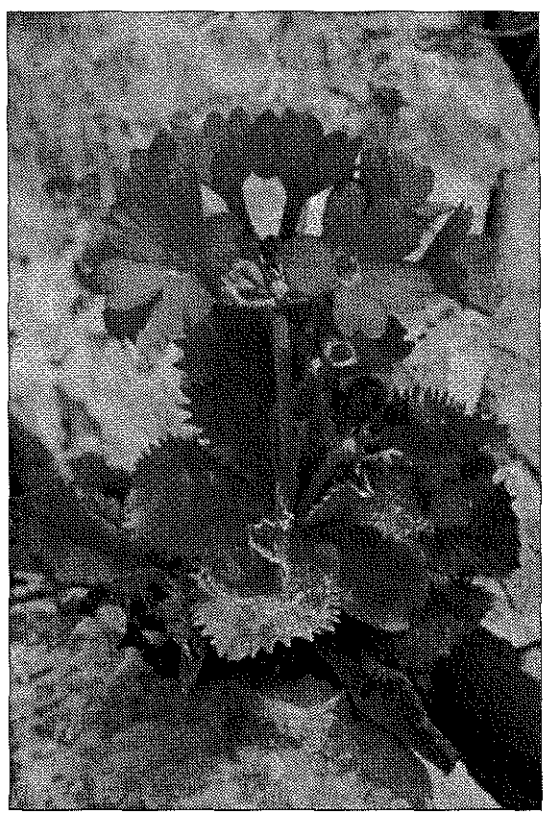
Specie vegetali esclusive o proprie
delle Alpi Marittime:

1) *Moehringia sedifolia* (c)
2) *Silene cordifolia* (s)
3) *Saxifraga florulenta* (s)
4) *Potentilla valderia* (s)
5) *Potentilla saxifraga* (c)
6) *Alchemilla cavillieri* (s)
7) *Cytisus ardoini* (c)
8) *Erodium rodiei* (c)
9) *Viola valderia* (i)
10) *Primula allionii* (c)
11) *Galium tendae* (s)
12) *Galeopsis reuterii* (c)
13) *Ballota frutescens* (c)
14) *Centaurea procumbens* (c)
15) *Leucojum nicaeense* (c)

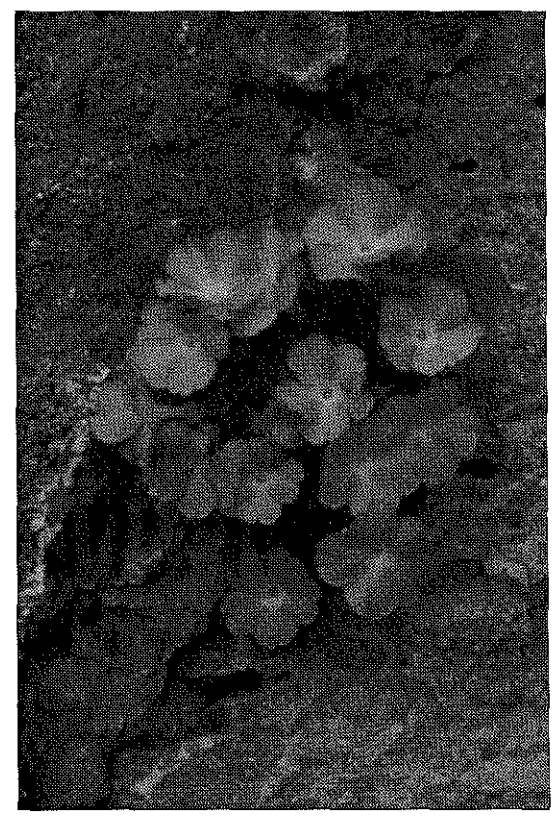
BIBLIGRAFIA

- BRAUN-BLANQUET J., 1928 - Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. *Biol. Studienbücher* 7,1. 330 pp.
- MARTINI E., 1982 - Lineamenti geobotanici delle Alpi Liguri e Marittime: endemismi e fitocenosi. *Lav. Soc. Ital. Biogeogr.*, n.s., 9: 51-134.
- MARTINI E., 1992 - Note critiche sulle fitocenosi di casmofite individuate nelle Alpi Marittime e corologia di specie fitogeograficamente significative. *Biogeographia 16*: 55-89.
- PAWLOWSKI B., 1970 - Remarques sur l'endémisme dans la flore des Alpes et des Carpates. *Vegetatio 21*:181-243.
- PIGNATTI S., 1982 - Flora d'Italia. 3 vol. Edagricole.
- PIGNATTI S. in CAPPELLETTI C., 1984 - Trattato di Botanica. II: 880-881.
- PIGNATTI S. et al., 1995 - Ecologia vegetale. UTET. 532 pp.

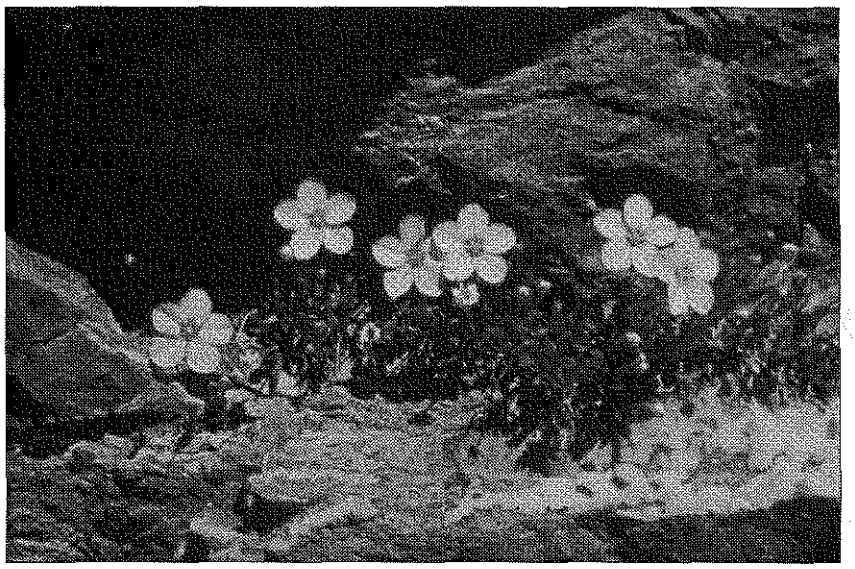
◀ Foto 1
"Helianthemum lunulatum", endemìta delle Alpi Liguri (dalla dorsale del Monte Carmo di Loano ai rilievi prossimi al Colle di Tenda), ha effettuato piccoli sconfinamenti nelle Marittime (monti Garbella e Colombo, bacino del Gesso). Predilige le fessure delle rupi ma può rinvenirsi anche su suoli pietrosi, sempre su calcare, tra 900 e 2300 m s.m.



▲ Foto 3
"Primula marginata", specie endemica delle Alpi Sudoccidentali e dell'Appennino settentrionale; indifferente al substrato, cresce su calcare nelle Alpi Liguri, su silice nelle Marittime e su basalto nell'Appennino Ligure-Emiliano. Gli esemplari calcicoli presentano sulla lamina fogliare e sui margini una farinosità dovuta al deposito di carbonato di calcio: deviato all'esterno l'eccesso di calcio, si evitano conseguenze dannose per il metabolismo della pianta.

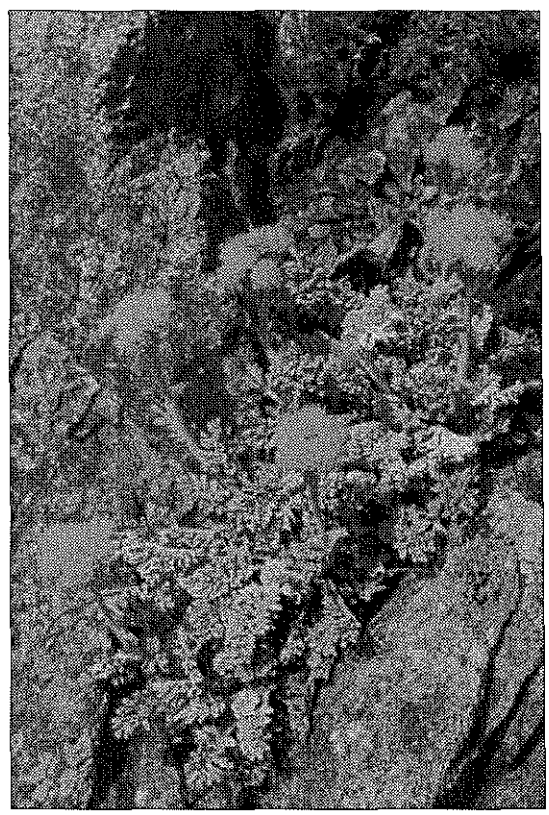


▲ Foto 2
"Primula allionii", endemita ristretto del bacino della Roia e di alcuni valloni delle Marittime italiane, vive in condizioni estreme: colonizza fessure minime di rupi calcaree, su pareti verticali o in nicchie strapiombanti della roccia. La fioritura è precocissima (fine dicembre/maggio). Le quote di rinvenimento sono comprese tra 700 e 2200 m s.m.



◀ Foto 4
"Moehringia lebrunii": questa piccola e poco vistosa cariofillacea rappresenta la maggiore rarità botanica delle Alpi Liguri; cresce in sole cinque località (al mondo!), con ben pochi esemplari (due in provincia d'Imperia, tre in Francia, valloni del versante sinistro della Roia). Predilige le fessure minime delle rupi di calcare marnoso, tra circa 800 e 1700 m s.m.

▲ Foto 5
"Saxifraga florulenta" è senza alcun dubbio la specie più famosa dell'intero arco alpino: presenta fiori con caratteristiche ben diverse sul medesimo esemplare: una sorta di sirena o di minotauro vegetale. Solitaria abitatrice di fessure minime di rocce silicee, è meno rara di quanto si possa pensare; il fatto, però, che fiorisca solo una volta in tutta la sua vita (prima di morire), induce a ritenere giusta la rigida protezione disposta dalle normative vigenti. Le quote di rinvenimento sono compresetra 1900 e 3240 m s.m. Predilette le esposizioni a nord (in subordine ad est e ad ovest).



▲ Foto 6
"Senecio persoonii", endemita delle Alpi Liguri (su silice), esige supplementi d'indagine: alcuni esemplari presenti sulle Marittime non differiscono da quelli tipici che per la presenza di fiori ligulati alla periferia delle infiorescenze. La specie non va confusa con il ben più comune Senecio incanus. Le quote di rinvenimento sono comprese tra 1500 e 2400 m s.m.

area tematica B

UOMO ED AREE CARSICHE IN ABRUZZO: UN RAPPORTO NELLO SPAZIO E NEL TEMPO

Ezio Burri * - Alessia Gualtieri **

* *Dipartimento di Scienze Ambientali - Università degli Studi - Via Vetoio - Località COPPITO - 67100 L'AQUILA (Italy) e/mail::ezio.burri@aquila.infn.it*

** *Dottoranda presso il Dip. di Scienze Ambientali - Univ. degli Studi - Via Vetoio - Località COPPITO - 67100 L'AQUILA (Italy) e/mail: alessia.gualtieri@tin.it*

RIASSUNTO

Oltre un terzo della superficie regionale è interessata da fenomeni carsici che, soprattutto nella conformazione superficiale, si caratterizzano anche con strutture imponenti ed estese. Il rapporto dell'uomo con questa morfologia, così diffusa sul territorio, si è sviluppato nelle forme di conduzione agricola e nel pascolo sino all'estrazione di materiali. In generale questa relazione si è evoluta in forma armonica, almeno sino a tempi recenti, e con modalità comuni a tutta l'ossatura carbonatica appenninica anche se sono ben documentate peculiari conformazioni strutturali, correlate ai diversi ambiti storici e topografici.

ABSTRACT

More than one-third of Abruzzo presents karst phenomena which, especially in the superficial conformation, are characterized by imposing and extensive structures. The relationship of man with this widespread morphology has developed in the form of agriculture and sheep-raising, as well as the extraction of stone materials. In general, this relationship has evolved in a harmonious manner, at least until recently, and with modalities common to the entire Apennine carbonate structure, even though peculiar structural conformations associated with different historical and topographical contexts are well documented.

FRAMMENTAZIONI E DIVERSITÀ CULTURALI

L' estesa ossatura appenninica, nel suo tratto mediano, divide morfologicamente, e non poche volte anche sotto il profilo amministrativo, le varie regioni dell'Italia centrale. E' il dominio dei carbonati e la struttura montuosa centrale, sia pure con cesure, propaggini, spine laterali - e la Majella ne è la sua maggiore espressione - degrada, con le lievi ondulazioni collinari, verso la costa intervallando la monotonia litologica con episodi di affioramenti evaporitici.

Lungo tali litologie, carbonati ed evaporiti dunque, la morfologia carsica si esprime con molteplici forme, diversificate sia nella tipologia che nella dimensione e su queste l'uomo ha tessuto una propria storia culturale e sociale che, dalle primitive strutture insediative, è proseguita in continuità coinvolgendo nella fruizione, in misura anche consistente, il territorio circostante. Vi è, dunque, un *imprinting* di carattere morfologico, che ha evidenziato le diversità culturali che si manifestano nell'esame dei vari contesti paesaggistici ed ove le caratterizzazioni politiche, sociali ed economiche hanno agito come ulteriore frammentazione delle originarie tipologie culturali, ed in misura così marcata che su tali specifiche differenze potrà essere creata, fruendo dei parametri di spazio e tempo, una carta del paesaggio morfologico carsico abruzzese.

Cosi, come prodromo di questa ulteriore ricerca, si è voluto tracciare un semplice elenco di categorie ovvero veri e propri capisaldi dai quali, successivamente, delineare più significativi e dettagliati quadri di riferimento.

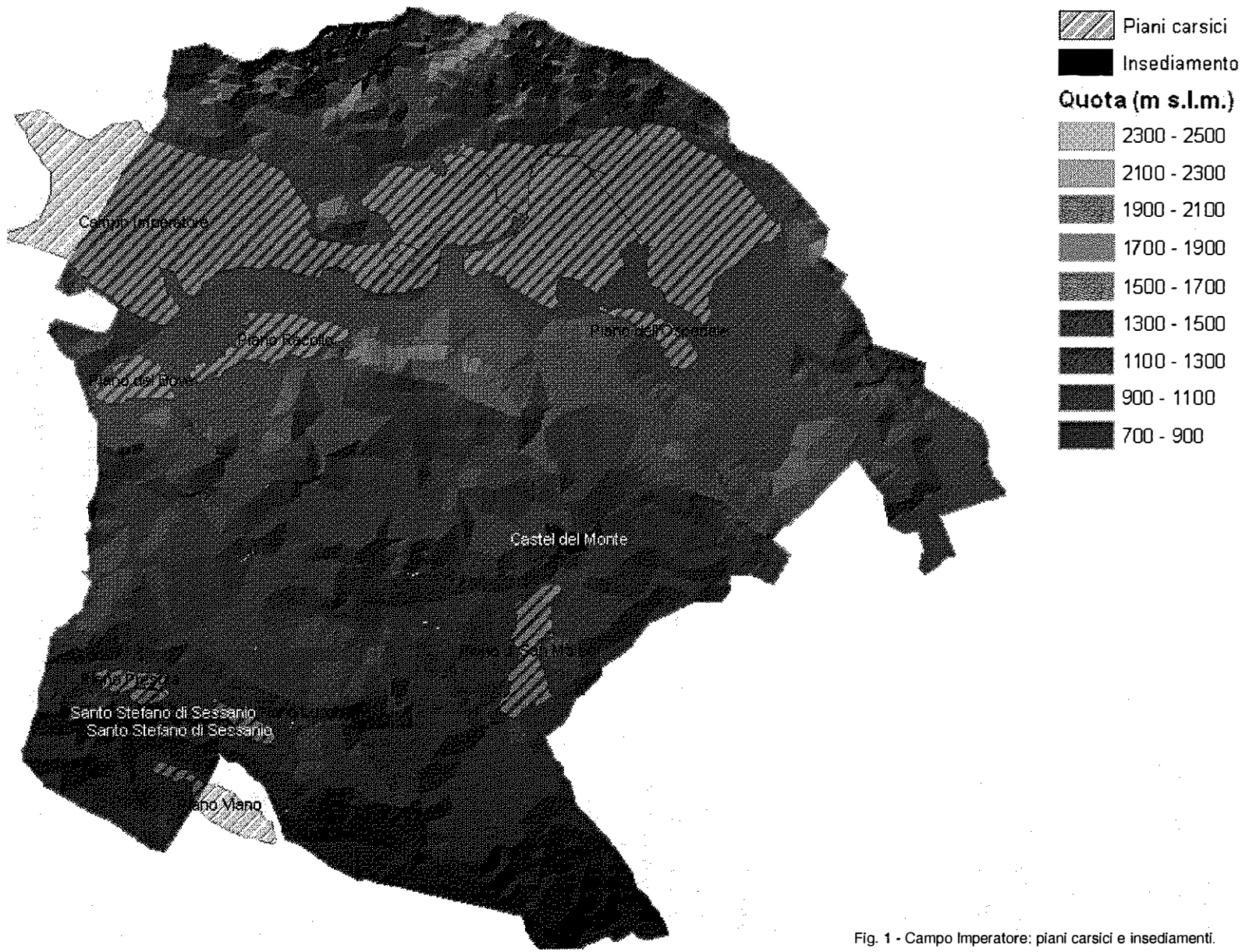


Fig. 1 - Campo Imperatore: piani carsici e insediamenti.

Attività agricola

I terrazzamenti e spietramenti hanno dato rilevo significativo alla conquista del territorio nelle aree montane. Lo spietramento, infatti, ed i rocchi di pietra più o meno ordinati che li accompagnano, traccia in senso altimetrico il progredire di una conquista che è stata storicamente condotta a tutto discapito del bosco originario. I terrazzi che sono collocati in posizione limitrofa ai centri abitati a volte si costituiscono, come nel caso di Pietrasecca nel gruppo dei Monti Carseolani, come elementi dell'arredo urbano, tanto si sono integrati nel tentativo di conquistare piccole porzioni di terreno orizzontale, ove condurre coltivazioni orticole utili per le sole necessità familiari. Questa tipologia di terrazzamenti, comunque, tende a ridursi quando ci si allontana dalla compagine insediativa a tutto vantaggio di aree più vaste, lievemente inclinate, ove alla coltivazione orticola è sostituita quella arborea, vigneti e frutteti nelle quote più basse, oliveti in quelle più alte sino ai coltivi di patate e legumi (cicerchia e lenticchie).
A queste quote il terrazzo ha perso di consistenza, riducendosi ad esile traccia mentre divengono più fitti, riducendosi il volume, i cumuli di spietramento. Chiaramente, in questi settori altimetrici, è l'estensione dell'area, più che la sua pendenza, ad interessare la conduzione. Nelle alte fasce altimetriche del Gran Sasso questi elementi individuano le quote più elevate nelle quali, sino al recente passato, sono stati condotti coltivi anche in relazione, come testimoniano i documenti di archivio, all'alternanza delle fasi climatiche più favorevoli che si sono succedute in periodo storico.
Non distante dai centri abitati, ove sembra essere preferita una particolare attenzione e cautela nei confronti dei venti freddi dominanti, lo spietramento non si presenta più in forma di rocchi sparsi, bensì ordinato in muretti realizzati mediante una selezione attenta dei conci di pietra. Non poche volte le strutture vengono realizzate su due file parallele, riempiendo il vacuo intermedio con materiale più comminuto, oppure, ancora, il semplice muretto funge da "spalla" per il contenimento dello stesso materiale di minore pezzatura che raccorda, quasi senza soluzione di continuità, quel profilo con l'acclività naturale limitrofa. Alla funzione di protezione, si contrappone quella della delimitazione, ed allora ecco emergere un paesaggio di campi chiusi di varia ampiezza delimitati da file ordinate di pietre ed, ove queste siano interrotte, sono il cespuglio o la siepe a non creare soluzione di continuità. Non sono affatto episodiche la sovrapposizione delle forme, ovvero la protezione da eventi atmosferici sfavorevoli con la delimitazione della proprietà, a volte associata anche alla presenza di modeste abitazioni temporanee, realizzate anch'esse in conci di pietra e del tutto identiche a quelle edificate per la pastorizia. Un caso, decisamente emblematico, è posto nei pressi delle alte pendici retrostanti l'abitato di Tornimparte: qui la suddivisione territoriale ha creato, in un'ampia dolina a fondo piatto, una barriera artificiale che ha ostacolato il deflusso delle acque, consentendo un accumulo di detrito e la creazione di un gradino morfologico.
Ma è proprio nella fruizione delle forme carsiche superficiali con finalità agricole, che si coglie una profonda dicotomia paesaggistica che sebbene tragga comune input da un imprinting morfologico, è nella diversificazione degli antichi assetti sociali, e delle regole che li governavano, che la storica utilizzazione, la quale ancora permane, trova riferimento. Così se, come visto, nelle pendici prossime ai centri abitati il campo chiuso trova una delle sue più esemplari evidenze, è nei piani carsici limitrofi e sottostanti Campo Imperatore, nel Gran Sasso, che si evidenziano le più emblematiche espressioni dei campi aperti, allineati a pettine e che si dipartono dalla strada centrale che li attraversa nella parte più depressa cogliendone il profilo più lungo. E la ragione, evidente per certi versi, è la necessità di garantire a tutti i possessori uguale facilità di accesso alle loro proprietà. In non pochi piani carsici, inoltre, ed è questo l'esempio del Piano Locce, tutta una serie di piccole cavità artificiali raggruppate in alcuni settori delle propaggini circostanti, sottolineano la consuetudine di una residenzialità stagionale dettata dalle pratiche di coltivo, oltre che di allevamento, in aree non certo prossime ai centri abitati. Questa particolare tipologia di conduzione agricola non si è limitata a coinvolgere le sole forme carsiche maggiori poiché anche le ampie doline poste a quote meno elevate, sino a quelle di minore estensione, sia che queste si sviluppino nei carbonati che nelle evaporiti, sono intensamente state fruite sino ad un recente passato, come testimoniano le "fresche" forme residuali.

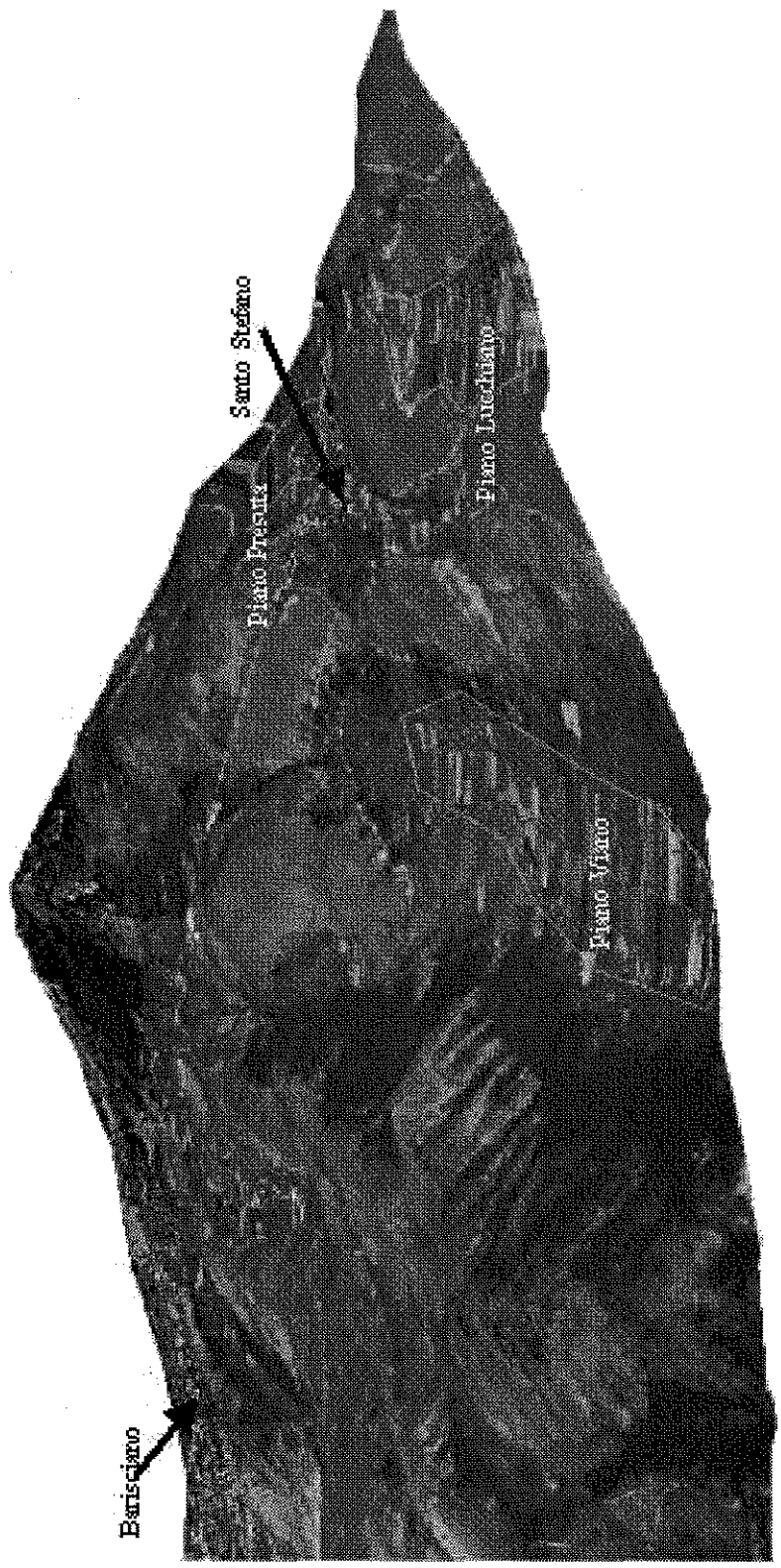
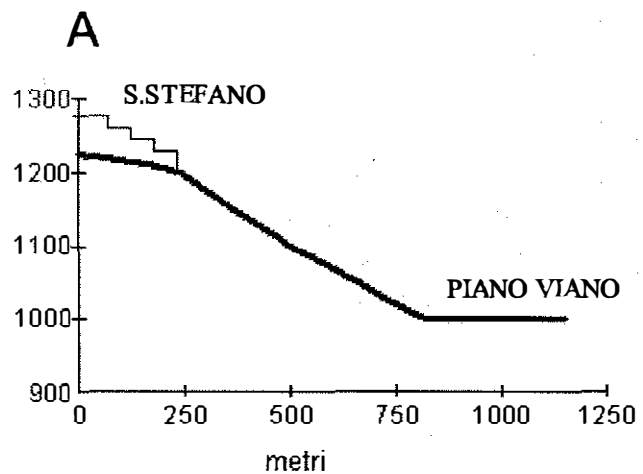


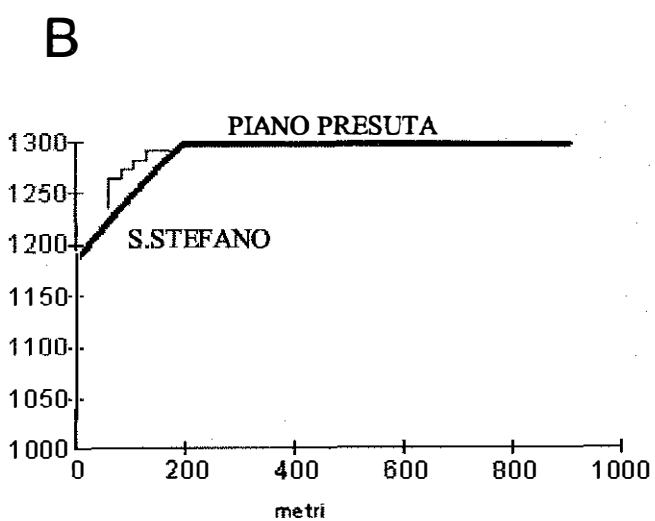
Fig. 2 - Disposizione degli appezzamenti nei piani carsici situati nei pressi di Santo Stefano di Sessanio.

Caso particolare, ed è per questo che merita di essere segnalato, la dolina interna all'abitato di Gissi che si presenta totalmente circondata dal tessuto insediativo storico, in contesto litologico evaporitico come testimonia significativamente l'antico toponimo. Al suo interno storicamente, ma l'uso permane tutt'ora, vengono condotte consistenti coltivazioni orticole, nonostante l'esito si presenti a volte incerto ed in funzione dell' attività dell'effimero inghiottitoio posto al suo interno.
Questa rassegna non poteva essere conclusa senza uno specifico riferimento a quella che è stata certamente una delle più complesse, e vistose, trasformazioni ambientali effettuate in epoca storica, ovvero la bonifica integrale del lago Fucino, il terzo d'Italia per estensione. Tale intervento ha trovato giustificazione nell'evidenza che l'alveo lacustre era privo di emissari naturali, ed affidava lo smaltimento delle copiose acque meteoriche, sorgentizie e degli altri apporti superficiali al discontinuo funzionamento di inghiottitoi carsici posti nel suo versante meridionale, al contatto con le propaggini carbonatiche che lo circondavano. Gli oltre dodicimila ettari di terreno fertile che ne sono derivati, sin dall'inizio sono stati destinati ad un'attività agricola che da estensiva, nel tempo, è sempre più divenuta intensiva, con prelievi idrici progressivamente massivi al punto che l'acqua, paradossalmente dopo secoli di timori per la sua imprevedibile abbondanza, è divenuta carenza e problema principale di quest'area.

Attività pastorale

L'attività pastorale è l'altro cardine sul quale ha trovato fondamento e riferimento l'economia storica di questa regione. La transumanza verticale e le attività stanziali hanno prodotto tre tipologie di modificazioni ambientali i cui effetti sono ancora ampiamente percepibili. Un primo segno, profondamente inciso nel paesaggio, è senza dubbio fornito dal sentieramento da pascolo e dalle linee ondulate suborizzontali che indicativamente sottolineano l'uso intensivo di questa pratica in quella porzione di territorio. A seguire, e l'una forma non è disgiunta dall'altra, lo spietramento che ben si differenzia dall'omonimo esito dei coltivi, per la sua forma caratteristica in evidenza di accumuli più sparsi e meno consistenti. Particolare è, poi, la fruizione dei molti laghetti carsici, alcuni dalla vita effimera, ubicati nella cosiddetta Regione degli Altipiani Maggiori (Piano delle Cinque Miglia, Piano dell'Aremogna) o nei piani carsici del Gran Sasso, ivi compreso l'ampio polje di Campo Imperatore, o nell'Altopiano delle Rocche. Il loro uso secolare, che ancora permane, è testimoniato dalle tracce di frequentazione che si rinvengono nei loro pressi, o nei molti documenti di archivio. Nella totalità, con accenti più o meno marcati, intorno all'originaria configurazione morfologica è stato realizzato un piccolo argine artificiale, con l'intento di elevarne la capacità d'invaso.
Testimonianze significative di un secolare utilizzo vengono offerte anche dalle innumerevoli abitazioni temporanee, con pianta circolare e tetto a forma di cono – vengono infatti definite *"capanne a tholos"*, realizzate con conci di pietra appena sbozzati. In molti casi queste strutture sono dotate di recinti, per il ricovero delle greggi, e si presentano organizzate sotto l'aspetto di elementi isolati o in nuclei, anche complessi e molto consistenti. Nelle alte quote della Majella, o nei recessi dei profondi valloni, le cavità naturali hanno degnamente sostituito la struttura edificata, subendo adattamenti limitati atti a garantire una maggiora funzionalità attestata, anche, da recinti per il ricovero che, non poche volte, costituiscono una sorta di primo ingresso chiuso con cancello di legno.
Dedicati alla raccolta del foraggio, e successivamente al pascolo transumante, ed anche in questo caso ripercorrendo attività e tracciati immutati nel tempo, oltre che nello spazio, sono certamente i vasti pianori dei piani carsici della già ricordata Regione degli Altipiani Maggiori. In particolare i cosiddetti *quarti* (Quarto Santa Chiara, Quarto del Barone, Quarto del Molino e Quarto Grande) che nel toponimo derivato dalla terminologia dialettale abruzzese, indicano proprio una particolare tipologia, ma anche topografia, di piani carsici.
Molti di questi elementi, essenzialmente spietramenti, ma anche terrazzamenti ed abitazioni temporanee, attualmente vengono nuovamente inglobati dal bosco che sta ricolonizzando il suo antico territorio, lasciandoci queste tracce a testimonianza, e come tali vengono definiti paesaggi residuali, dei limiti, altimetrici quanto planimetrici in funzione del condizionamento morfologico, raggiunti dall' antropizzazione storica.





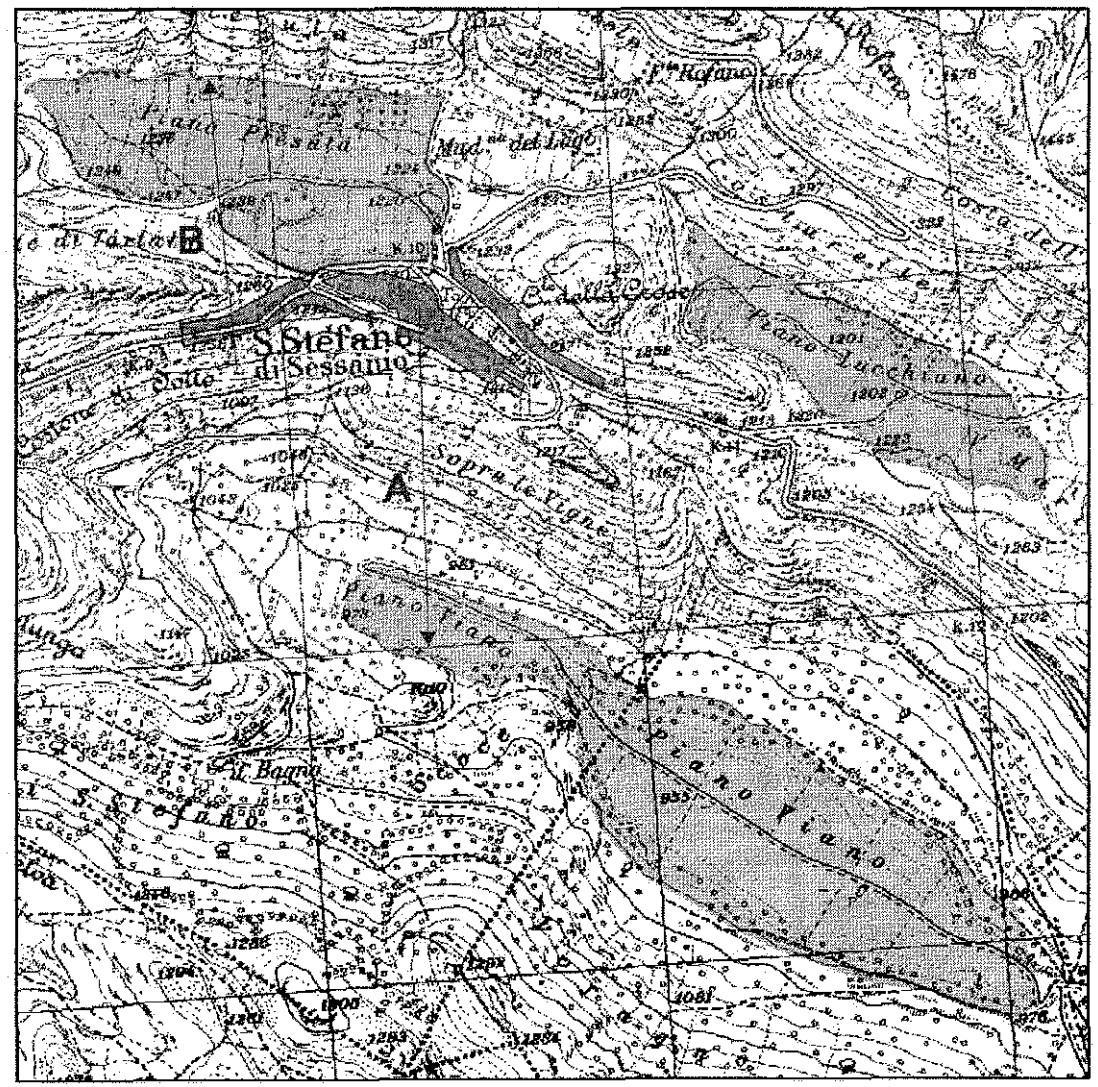


Fig. 3 - Profilo altimetrico dei piani Lucchiano e Presuta rispetto all'insediamento di Santo Stefano di Sessanio.

Grotte ad uso di culto

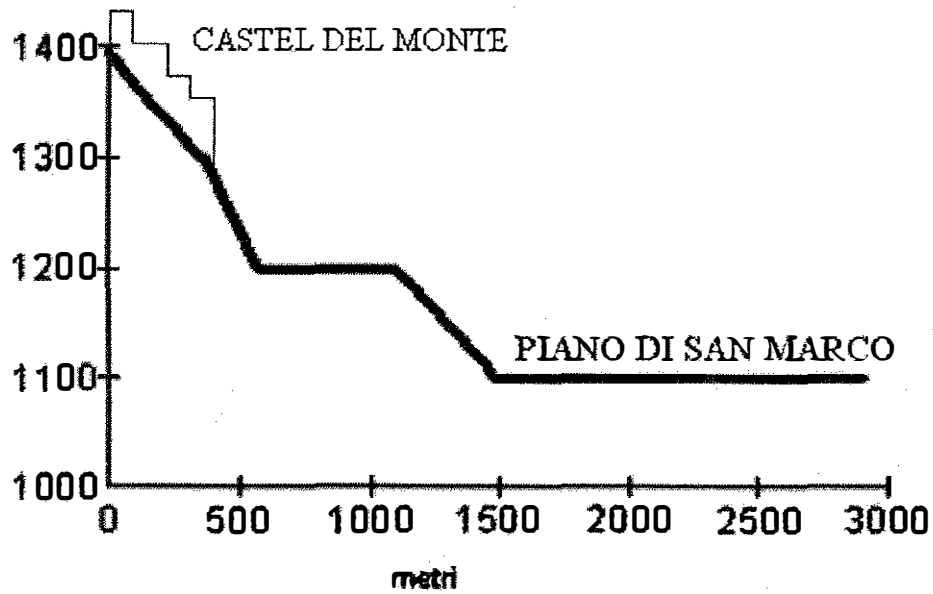
Nelle grotte il culto, sacro o profano che sia, è stata attività diffusa con diversificata concentrazione su tutta questa porzione di ossatura appenninica. Oltre ad attestazioni di attività già operanti nella preistoria, il cosiddetto *culto degli antenati* nella cavità che circondano l'alveo del Fucino, sono certamente i culti legati al panteon della religione cristiana a suscitare non poche emozioni. E non a caso si è voluto utilizzare questo termine poiché la posizione delle chiese rupestri ed il patrimonio architettonico ne fanno un degno proemio a tutta la civiltà rupestre dell'Italia meridionale. Un posto di rilievo è occupato certamente dal culto dedicato a S. Angelo - altrimenti detto S. Michele o Sant'Arcangelo- divinità nota e di origine longobarda alla quale era affidata la protezione dalle creature infernali ritenute, appunto, abitanti nei recessi delle grotte. Ma non solo, poiché sono noti culti dedicati a S. Bartolomeo, S. Onofrio e tanti altri costituenti, come detto, un variegato panteon ed ai quali era possibile ricorrere in caso di necessità. In molti casi le cavità ove erano stati edificati gli eremi, erano – ma è più corretto dire "sono" - utilizzati anche per trarne benefici "secondari", essenzialmente legati al culto delle acque, come nel caso dell'Eremo di S. Bartolomeo sulla Majella oppure guarigioni per contatto, come nel caso dell'eremo di S. Venanzio nei pressi di Raiano, in provincia dell'Aquila.

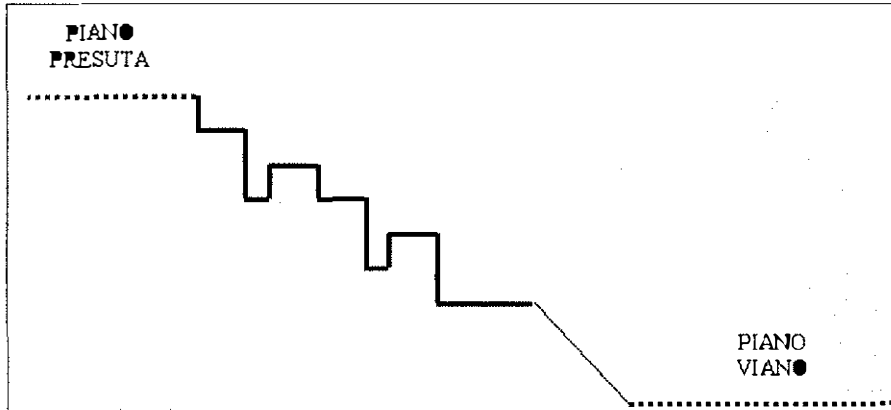
Attività mineraria

Calcari bituminosi ed affioramenti evaporitici sono stati per secoli i punti di riferimento di un'attività estrattiva, talmente intensa che alcune aree della Majella sono state equiparate a vero e proprio distretto minerario. Che si tratti di attività antica è confermato dal rinvenimento di un pane di asfalto, con tanto di bollo, proveniente dalle miniere di Lettomanoppello, e che sia stata intensa, e per certi versi lo è tutt'ora, trova conferme negli antichi ingressi limitrofi agli impianti industriali, ridotti a rudere ed in parte, gli uni e gli altri, ora occultati dalla vegetazione. Ciò che il tempo non ha conservato affiora da sparsi documenti di archivio e dagli *"inventari del regno"* ovvero le corpose relazioni che ingegneri e naturalisti borbonici prima, e piemontesi poi, avevano redatto nel tentativo di investigare e mettere a frutto tutte le risorse naturali presenti nel territorio allora conosciuto.
Un particolare, per certi versi curioso, è quelle delle *"miniere di petrolio"*. Non altrimenti potrebbero essere definite queste profonde gallerie, ancora visibili in parte, coltivate anche con l'intervento di capitali stranieri e volti alla estrazione di bitumi molto densi che percolavano direttamente nei contenitori posti nelle dovute postazioni, e successivamente condotti alla raffinazione. Ne parla, con lo stile che gli è proprio, anche Antonio Stoppani nelle sue *"conversazioni"* meglio conosciute con il titolo di *"Il Bel Paese"*.
Ma non solo, comunque, rocce bituminose, ma tanti altri minerali e pietre ornamentali estratti con alterne fortune. Tra questi certamente un posto di rilievo deve essere riservato alle miniere di bauxite, nei pressi dell'Altopiano delle Rocche o nei monti della Marsica, attive sino all'immediato ultimo dopoguerra. Ancora oggi, è opportuno evidenziarlo, una consistente attività di cava è diretta, nei calcari, alla produzione di inerti, oppure negli affioramenti evaporitici per la produzione di gesso per edilizia.

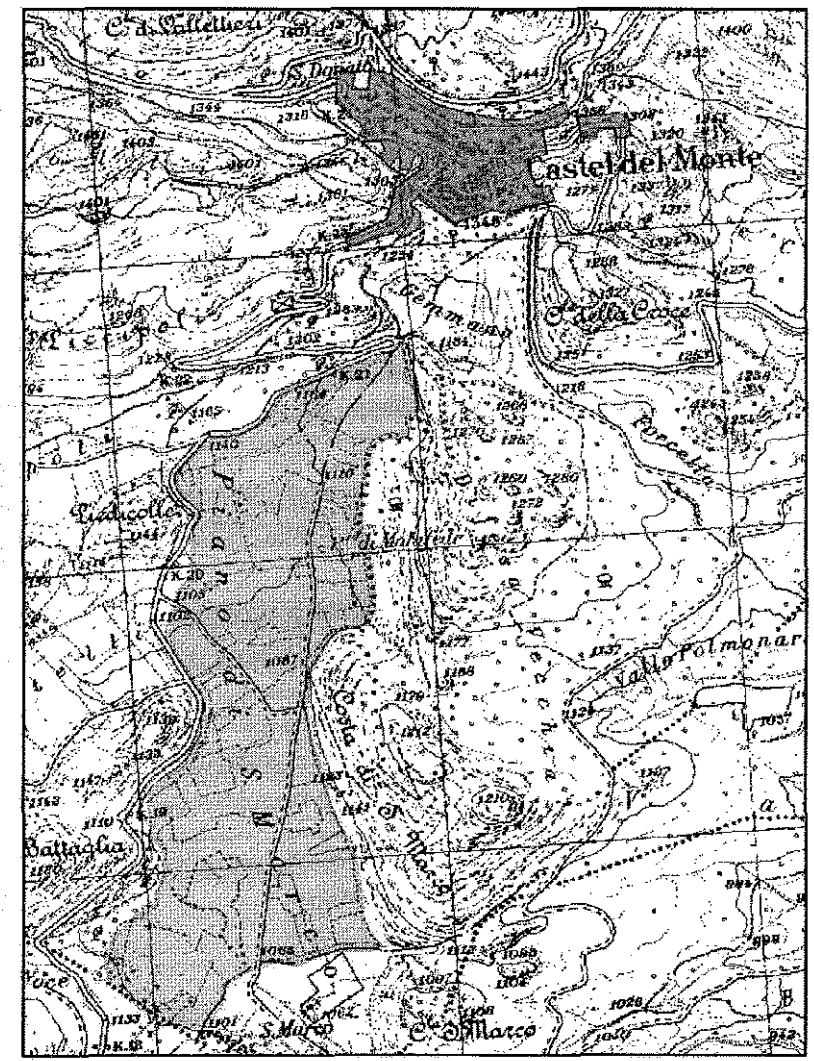
Derivazioni di acque per uso potabile

Tutte le sorgenti carsiche, e ve ne sono di consistenti - basta ricordare, tra le innumerevoli, le sorgenti del Verde, quelle del Tirino/Pescara, dell'Aventino -, sono in tutto o in parte derivate per uso potabile. Un caso particolare è quello della derivazione, del tutto involontaria anche se ampiamente prevedibile, delle acque provenienti dal traforo del Gran Sasso. In questo caso specifico, siamo in presenza di uno dei maggiori impatti ambientali negativi prodotto negli ultimi decenni del secolo appena trascorso, e gli esiti, sebbene appaiono già catastrofici, ancora debbono essere delineati con sufficiente attendibilità.





▲ Fig. 4 - Schema della collocazione del borgo di Santo Stefano di Sessanio rispetto ai piani Lucchiano e Presuta.



▲ Fig. 5 - Profilo altimetrico dell'insediamento di Castel del Monte e del piano San Marco.

Anche in questa occasione, ed il riferimento è emblematico, le attività umane che lo hanno motivato trovano collocazione in precisi ambiti temporali e spaziali: il tempo è stato quello della insipienza politica, amministrativa e, certamente, ambientale mentre lo spazio è quello di uno dei più poderosi massicci carsici dell'intero Appennino e che vede, progressivamente ed inarrestabilmente, inaridire le sue sorgenti ad iniziare dalle quote più elevate.

GROTTE E INSEDIAMENTI

Una rassegna, necessariamente non esaustiva, non poteva prescindere da alcuni particolari rapporti che si possono sintetizzare nelle seguenti tipologie.

Le grotte turistiche.

L'Abruzzo può certamente vantare la nascita di una delle prime imprese commerciali volte alla fruizione turistica di un complesso sotterraneo. Ci si riferisce alla Grotta del Cavallone e del Bove oggetto di interesse di una Società per Azioni, creata nella fine dell'800 per la loro valorizzazione e per rendere agevole la visita al pubblico. Certamente le reminiscenze letterarie che legano queste cavità al D'Annunzio e ad una delle sue più note tragedie, debbono tanto a questa iniziativa e, comunque, questa è stata per tanto tempo l'unica grotta turistica della Regione e di buona parte dell'Italia meridionale.

Insediamento e grotte artificiali

Che qualche ipogeo, naturale o artificiale che sia, possa essere stato utilizzato per magazzino o altro certamente, in questa regione ed in molte altre, non può costituire notizia ma singolare può apparire la configurazione insediativa di S. Benedetto in Perillis, un tranquillo piccolo paese posto ai margini dell'esteso Piano di Navelli. Di antica origine, si caratterizza per la presenza, quasi costante, di cavità artificiali realizzate quasi sotto ogni abitazione. Non poche volte in reciproca comunicazione, a volte anche fortuita, questi ambienti sono stati realizzati con finalità diverse, non esclusa quella di una derivata funzione associativa - ed in fatti la più nota è conosciuta con il toponimo di *"parlamento"* – poiché in questa, che altro non era che una stalla di vaste dimensioni, nel periodo invernale sopratutto, vi era una notevole confluenza di cittadini attratti dalla possibilità di porre rimedio economico ai rigori stagionali.

Insediamento e piani carsici

Lungo l'Appennino centrale gli altipiani intermontani rappresentano aree omogenee in ordine a diversi tipi di fenomeni, quali l'utilizzazione antropica nel corso del tempo. Su tali aree si trovano centri abitati, reticoli di mobilità rurale e impianti fondiari derivanti da innumerevoli vicende storiche, spazi agricoli e zootecnici di antichissima origine. La morfologia del territorio ha da sempre inciso fortemente sulla struttura dell'insediamento sviluppatosi in un determinato luogo, nonché sulle scelte economiche e sociali della popolazione. I grandi polje, quindi, hanno permesso in alcuni casi la possibilità di una facile occupazione del terreno ben pianeggiante, in altri lo sfruttamento di fasce più ristrette derivando così una polverizzazione particellare, che risulta in questo modo marcata e caratterizzata da sistemi agricoli aperti. Tali spazi pianeggianti, limitati in numero e in estensione dalle caratteristiche orografiche del territorio, si contrappongono alla posizione arroccata di quasi tutti gli insediamenti circostanti a testimonianza di come l'utilizzazione del suolo a fini economici fosse di interesse primario a discapito dell'espansione dell'abitato. In molte di queste aree oggi si assiste al fenomeno inverso: una diffusione massiccia dell'urbanizzazione a valle, con sostituzione dell'edificato su suoli oramai da tempo abbandonati.
Quelli che vengono presentati, sono alcuni degli esempi più caratterizzanti di un fenomeno altrimenti molto diffuso, e che è in fase di studio approfondito in un'ottica multidisciplinare che privilegia l'evoluzione del paesaggio sensibile in funzione delle sue componenti storiche, sociali ed economiche.

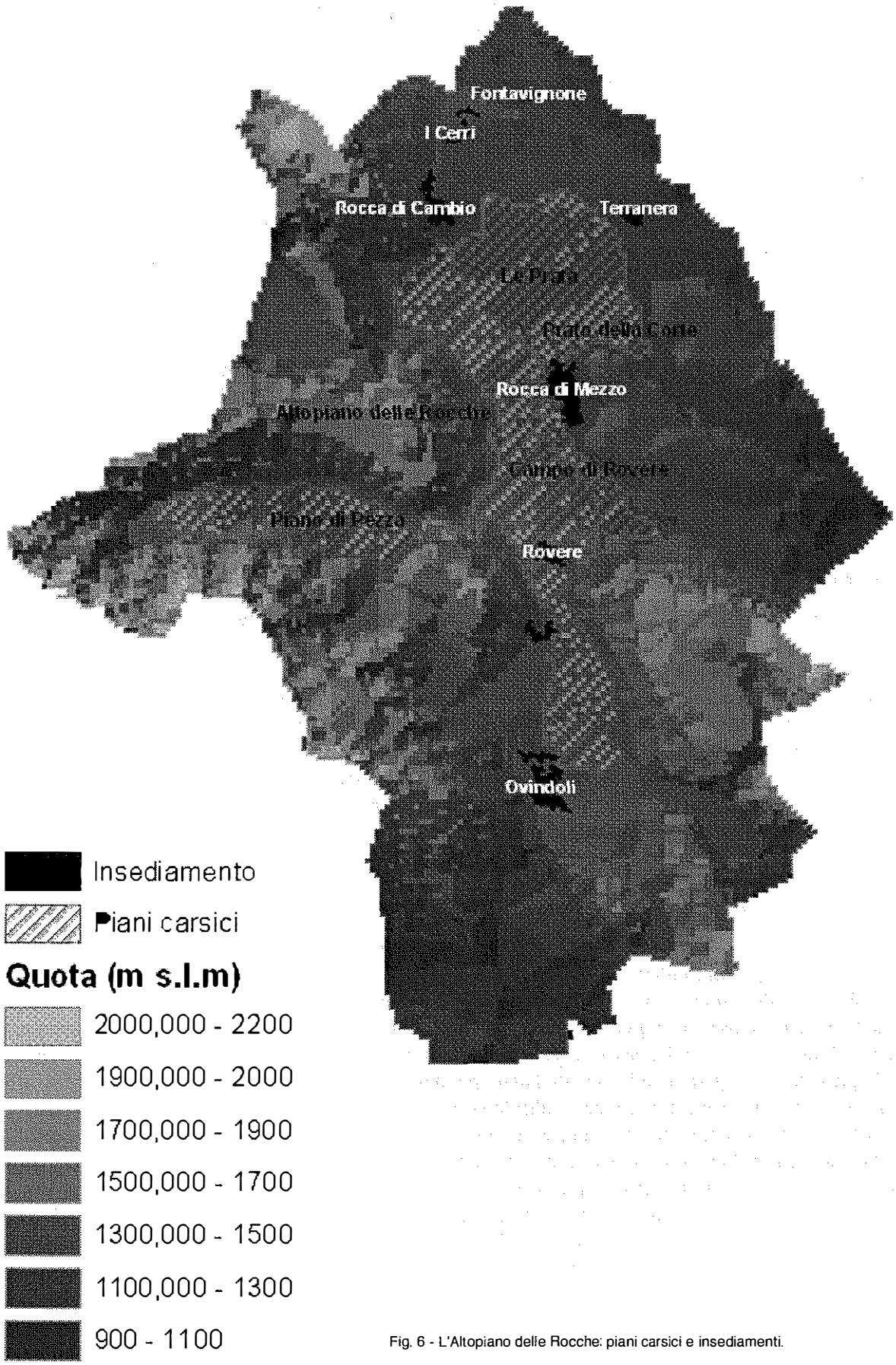


Fig. 6 - L'Altopiano delle Rocche: piani carsici e insediamenti.

La Piana di Campo Imperatore: oltre all'esteso altopiano di Campo Imperatore, i principali piani carsici del versante meridionale del massiccio del Gran Sasso sono il Piano del Bove, Piano Racollo, e il Piano dell'Ospedale. A quote minori, a sud di Campo Imperatore sorgono i borghi montani di Santo Stefano di Sessanio (1245 metri s.l.m) e di Castel del Monte (1346 metri s.l.m), a ridosso rispettivamente dei Piani Presuta, Viano e Lucchiano e del Piano San Marco (fig. 1).
Lo spazio agricolo è caratterizzato dalla geometria limitata dei campi aperti, in particolare quelli di Santo Stefano di Sessanio. Tale forma conferisce ai lineamenti paesistici dell'area una caratteristico valore storico, in quanto rispecchiano i rapporti e le tecniche di produzione di origine medievale. Su questo versante meridionale del massiccio del Gran Sasso i campi si presentano dunque sprovvisti di qualsiasi recinzione vegetale o di altra natura e di forma nastriforme, con la larghezza molto inferiore alla lunghezza. Per il Piano Presuta tale rapporto è di 1 a 6, per il Piano Lucchiano è di 1 a 8, per il Piano Viano di 1 a 5 (fig. 2). Tali appezzamenti si sviluppano perpendicolarmente alle curve di livello adattandosi al dislivello del terreno. Posti ad una quota di circa 1200 metri, i due piani di Lucchiano e di Presuta si estendono ai piedi del centro abitato di Santo Stefano. A valle del paese il pianoro carsico di Viano e la sua appendice Valle Augusta sono delimitati da Cima della Selva (fig.3). Degno di nota è certamente il bellissimo esempio di insediamento storico di altura e di crinale, Santo Stefano è caratterizzato da un borgo avvinto attorno ad una torre e che sorge su una roccia a ridosso di due vallate (fig.4). Non meno importante, situato a mezzogiorno di Campo Imperatore, ad un'altitudine di 1346 metri e dominato da una torre quadrangolare posta in alto all'antico borgo fortificato del Ricetto, il paese di Castel del Monte è tra i più alti d'Abruzzo. Storicamente la sua economia, come quella degli altri borghi vicini, è legata alla pastorizia ed alle attività agricole. A valle dell'abitato, nel settore meridionale si trova il piano San Marco (fig.5).

L'Altopiano delle Rocche: caratterizzato da un sistema di altipiani posti a quote diverse (Altipiano di Rocca di Mezzo e di Ovindoli, Piani di Pezza, Piano del Sirente, Piani di Iano) e con una superficie che si estende per circa 300 chilometri quadrati tra i due massicci calcarei del Velino e del Sirente, l'Altopiano delle Rocche risulta uno dei piani carsici più estesi dell'Appennino (fig.6; fig.7). I centri abitati sono raccolti nei tre comuni di Ovindoli, Rocca di Mezzo e Rocca di Cambio, il cui tessuto insediamentale odierno è pervaso dalle seconde case per via del turismo invernale della neve e di un discreto ripopolamento estivo. L'economia legata allo sfruttamento del territorio è difatti non più riconducibile all'antico sistema antropico, se non nel caso delle attività zootecniche, ormai diventate di tipo intensivo. In relazione alla morfologia dell'area, dominante è il centro di pendio (scelta dovuta all'allontanamento dalle zone acquitrinose e umide delle quote minori), ma non mancano esempi di sprone e di spartiacque (fig. 8). Un discreto esempio è offerto dal Comune di Rocca di Cambio che, situato al margine nord-occidentale dell'Altipiano, risulta essere il comune più alto dell'Appennino (1433 metri). L'antico, ed originario borgo fortificato, con impianto avvolgente, si è sviluppato lungo il pendio (fig.9). Diversa è la situazione di Rocca di Mezzo, il cui impianto urbanistico chiuso sorge a quota 1332 metri e risulta, oggi, confondersi con l'estesa espansione edilizia lungo le tre direttrici principali (verso Ovindoli, Rocca di Cambio e Terranera) (fig. 10). Ultimo esempio è offerto dall'abitato di Ovindoli che, situato ad una quota di 1375 metri, possiede oggi un impianto urbano radiocentrico dovuto alle recenti espansioni residenziali (fig.11).

APPENDICE

I vasti affioramenti carbonatici ed evaporitici della Regione sono stati ripartiti nelle seguenti venti unità morfocarsiche[1] :

- *Colli Frentani: siglata CF - estesa 1.000 ha.* Nei discontinui e poco estesi affioramenti evaporitici, si manifesta un tipico carsismo con cavità, doline ed altre notevoli forme superficiali.

[1] (cfr.) BURRI E. (editor), 1995, Carta delle Unita' Morfocarsiche della Regione Abruzzo, Selca, Firenze.

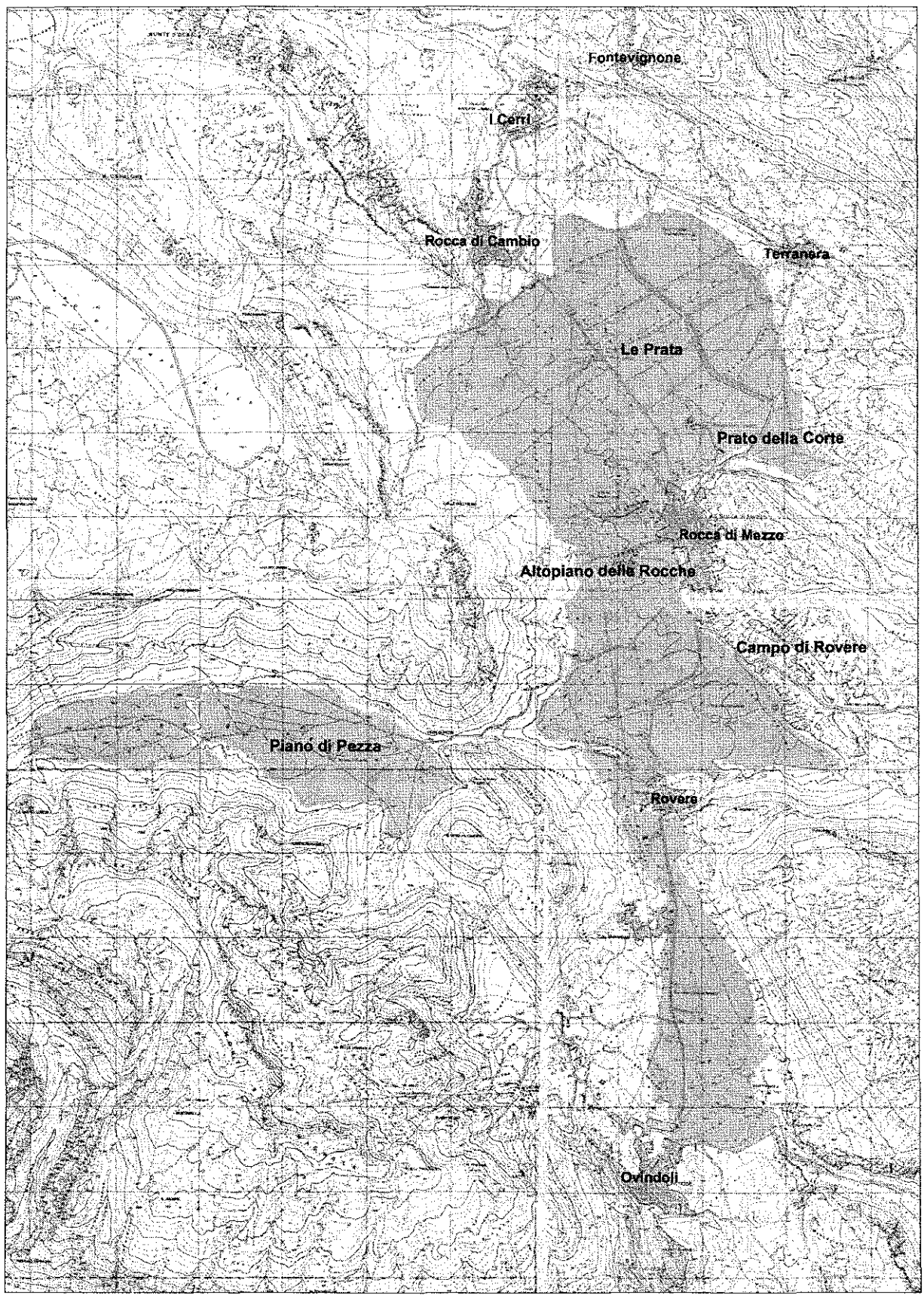


Fig. 7 - L'Altopiano delle Rocche: piani carsici e insediamenti.

- Gran Sasso: *siglata GS - estesa 63.000 ha.* E' un vasto complesso carbonatico ove affiorano facies sedimentarie di piattaforma, di margine e di scarpata. Sono molto evidenti gli aspetti del carsismo d'alta quota con ampi bacini chiusi, polje, di tipo poligenetico e, tra questi, si caratterizza, per estensione e natura morfologica, Campo Imperatore. Degne di nota sono anche altre emergenze ambientali formate da estese superfici boschive o da morfologie glaciali, periglaciali, crionivali e strutture insediative di epoca storica. Tra le cavità maggiori presenti ricordiamo: la Grotta a Male e Fonte Grotta

- Majella: *siglata MA - estesa 29.250 ha.* E' una montagna massiva con un struttura carbonatica abbastanza semplice con facies sedimentarie di piattaforma, di soglia e di transizione. E' presente un notevole carso d'alta quota. Il continuo sollevamento del gruppo montuoso ha compromesso l'equilibrio dei circuiti d'acqua ipogei, favorendo la formazione di forre lungo le quali vengono intercettati condotti rimasti sospesi e fossili. E' presente un'interessante morfologia glaciale, periglaciale (principalmente nelle alte testate vallive) e crionivale; il popolamento faunistico annovera specie rare unite ad una grande varietà vegetazionale. Notevoli sono gli insediamenti pedemontani e le testimonianze archeologiche anche a quote elevate. Tra le cavità maggiori, ricordiamo la Grotta del Cavallone, la Grotta del Bue, la Grotta dell'Asino, la Grotta Nera e la Grotta delle Praje.

- Montagna dei Fiori: *siglata MF - estesa 5.500 ha.* La struttura geologica e le facies litologiche di ambienti sedimentari di transizione, hanno determinato in concorso all'evoluzione del fiume Salinello, un interessante insieme di processi morfologici che comprendono essenzialmente grotte e forre. Sono anche presenti fenomeni paleocarsici di notevole interesse. In molte cavità sono presenti le testimonianze di notevoli insediamenti preistorici e chiese rupestri. La cavità più importante è certamente la Grotta di S. Angelo delle Ripe.

- Montagnone: *siglata MN - estesa 8.750 ha.* Sono placche isolate di calcareniti ove si concentrano fenomeni carsici anche abbastanza atipici.

- Monte Calvo: *siglata MC - estesa 16.000 ha.* Sono presenti carbonati in facies sedimentaria di piattaforma e di scarpata-transizione. Sono tipici i piani di quota, un carso prevalentemente coperto e si riconoscono valli cieche e sistemi di karren. Nel contesto territoriale sono ubicati i Piani di Palanzano e Cascina che sono tra i più significativi della regione in tema di paesaggi conformati dall'azione antropica per le attività pastorali ed agricole.

- Monte Cornacchia: *siglata CO - estesa 17.500 ha.* Ha una facies sedimentaria di piattaforma con presenza di fenomeni paleocarsici, doline, inghiottitoi, campi carsici, forre, carso coperto e karren. Molte sono le cavità con importanti resti paleontologici e paletnologici. Notevole è anche la morfologia glaciale, periglaciale e crionivale.

- Monte Genzana: *siglata GG - estesa 35.500 ha.* I carbonati che ne costituiscono l'ossatura presentano una facies sedimentaria di piede di scarpata a bacino con forme carsiche connotate con ampie zone assorbenti in quota, karren e pinnacoli di roccia. In questa struttura sono anche ubicati i vasti altopiani carsici delle Cinque Miglia e dell'Aremogna.

- Monte Morrone: *siglata MO - estesa 52.600 ha.* Sono presenti facies sedimentarie di piattaforma, soglia e di scarpata con piani carsici di quota e grotte direttamente legate alla struttura geologica. Sono ben caratterizzate anche forme glacionivali e carso coperto. Interessanti gli insediamenti storici ed archeologici del versante occidentale.

- Monte Pizzalto: *siglata PZ - estesa 13.000 ha.* Presenta facies sedimentarie di piattaforma e di transizione. Oltre a notevoli forme poligenetiche, sono presenti pinnacoli, karren e grize carsiche. Sul versante nord-orientale è ubicato il bosco di S. Antonio caratterizzato da boschi di faggio pluriseccolari.

- Monte Rapanella - Monte Tranquillo: *siglata RT - estesa 31.000 ha.* Le successioni carbonatiche in facies sedimentaria di piattaforma e di piede di scarpata connotano un fenomeno morfologico con carso prevalentemente coperto e sistemi complessi di aree a doline, valli cieche e forme poligenetiche. Notevole è la morfologia glaciale, periglaciale e crionivale. Vi è un'alta concentrazione di fenomeni carsici ipogei.

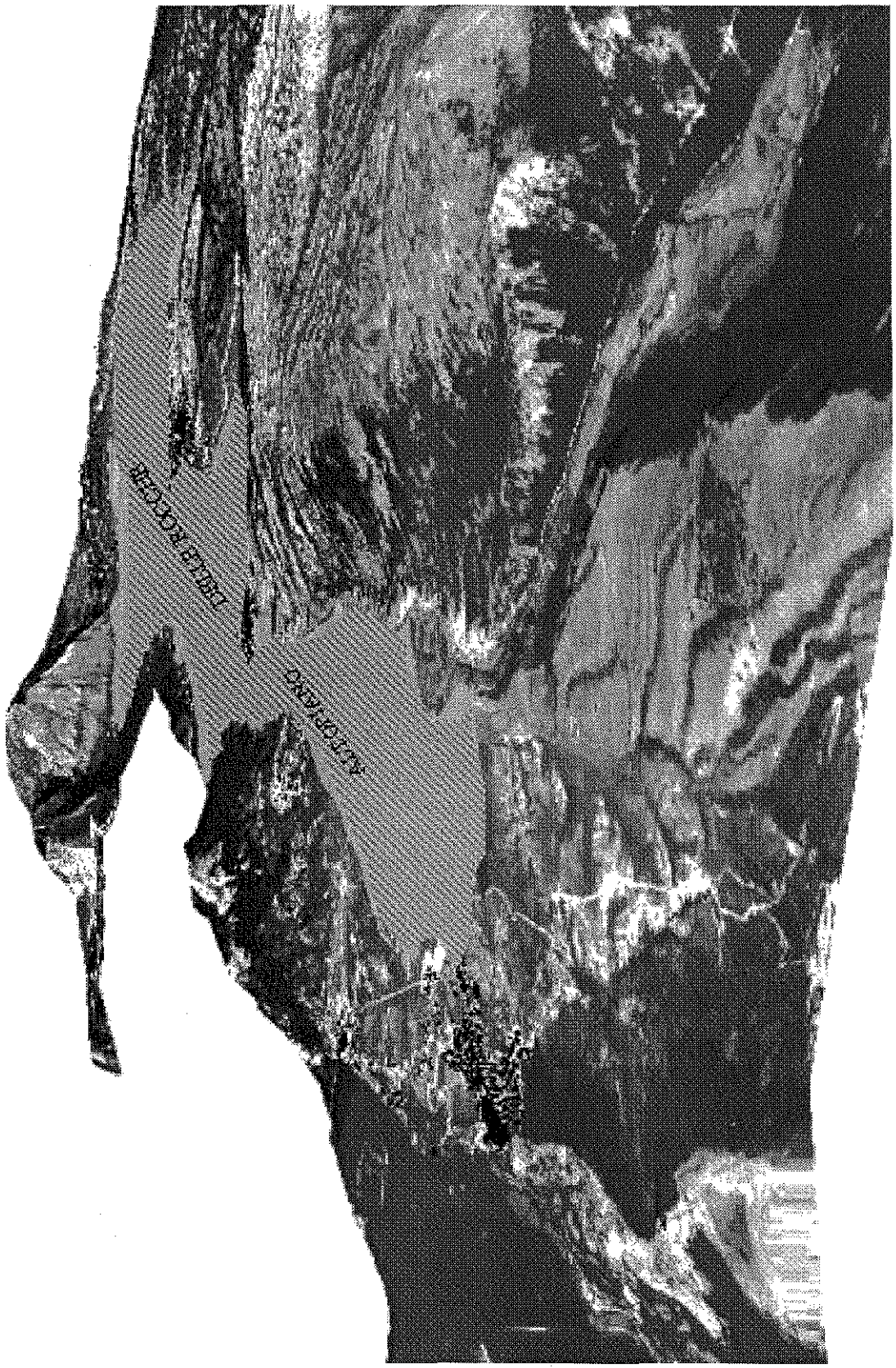


Fig. 8 - Aspetti morfologici dell'Altopiano delle Rocche.

- *Monte Sirente: siglata SI - estesa 52.600 ha.* Il versante occidentale ed i sottostanti piani costituiscono uno dei più affascinanti paesaggi carsici. Anche qui si rinvengono forme carsiche miste d'alta quota. I carbonati affioranti ripetono facies sedimentarie di piattaforma, di scarpata e di margine. Di rilevante emergenza ambientale sono le Gole di Celano.

- *Monte Terratta: siglata TE - estesa 22.750 ha.* La sequenza stratigrafica, di estremo interesse geomorfologico, costituisce un esempio di carsificabilità differenziata. In quota sono ubicati campi di doline e forme poligenetiche. Si rinvengono, catturate dalle forme carsiche, sovrapposizioni di terre rosse. Nell'arca sono stati identificati anche fenomeni paleocarsici.

- *Monte Velino: siglata VE - estesa 33.750 ha.* Presenta una facies sedimentaria carbonatica di piattaforma e di piede di scarpata. Il glacialismo ed altre forme crionivali concorrono con quelle carsiche. Lungo i versanti queste ultime sono ricoperte da depositi periglaciali. Favorevoli condizioni strutturali hanno anche impostato piani carsici in alta quota. Di notevole interesse ambientale sono la Valle Maielama, la Val di Teve ed il complesso poligenetico dei Piani di Pezza.

- *Monti Carseolani: siglata CA - estesa 6.000 ha.* E' costituita da strette dorsali con facies sedimentarie di piattaforma con presenza di fenomeni specifici: bacini chiusi, grotte di attraversamento, paleovalli, piani carsici, karren, inghiottitoi e risorgenze.
E' senza dubbio l'areale ove sono maggiormente concentrati i più rilevanti fenomeni carsici ipogei attualmente conosciuti. Importanti resti archeologici e paleontologici sono stati individuati in alcune cavità. Tra le grotte di maggiore interesse vengono ricordate l' Ovito o Inghiottitoio di Pietrasecca, la Grotta del Cervo, l'Inghiottitoio di Luppa. l'inghiottitoio dell'Imele, la Grotta di Beatrice Cenci, la Grotta Cola e l'Ovito di Petrella Liri.

- *Monti del Cicolano: siglata CI - estesa 3.000 ha.* Quest'area, presente per una esigua porzione nel territorio della nostra Regione, presenta una facies di piattaforma e di transizione con stretti affioramenti carbonatici estremamente carsificati.

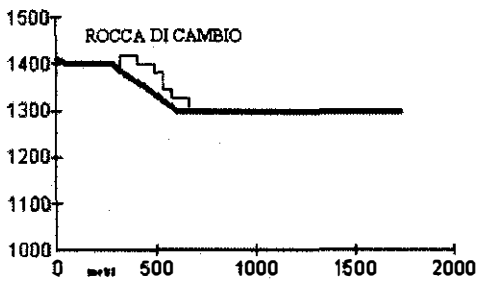
- *Monti Simbruini-Ernici: siglata SE - estesa 22.500 ha.* Questo gruppo montuoso solo per una parte è inserito nel territorio della Regione Abruzzo. E' costituito da facies sedimentarie di piattaforma con carso coperto e piani carsici. Notevoli sono i sistemi di valli secche, di campi a karren e di ampie doline che lasciano intravedere una complessa evoluzione dei processi carsici.

- *Roccamontepiano: siglata RO - estesa 1750 ha.* E' una placca di travertini posta ai piedi della Majella; il carso ipogeo, insieme allo stato di cavernosità e fratturazione, lubrifica rapidamente le argille di base innescando tipici processi di dissesto con alta componente di rischio carsico. Per questo motivo un terremoto storico ha prodotto considerevoli danni all'antico insediamento.

- *San Valentino: siglata SV- estesa 1.000 ha.* Gli affioramenti gessosi di quest'area sono interessati da una particolare morfologia carsica che si è sovrapposta ad un sistema idrografico relitto, con presenza di doline. Il circuito di acque ipogeo alimenta tipiche sorgenti mineralizzate.

- *Valle dell'Orta: siglata VO - estesa 1.500 ha.* Strettamente connessa all'evoluzione geologica Majella-Morrone, questa speccolare ed ampia forra, ed il carsismo che la circonda, sono la testimonianza dell'interagire, durante il Quaternario, di fenomeni tettonici, climatici e paleogeografici.
Importanti sono i depositi fossilizzati all'interno delle numerose cavità. La successione stratigrafica presenta al tetto evaporiti del Messiniano e verso il basso carbonati in facies sedimentaria di litorale e di transizione. Le cavità sono ricche di testimonianze insediamentali preistoriche con presenza di pitture rupestri. Il contesto areale è di notevole valenza ambientale. Di notevole interesse sono la Grotta Scura e la Grotta dei Piccioni.

Fig. 9 - Profilo altimetrico di Rocca di Cambio.



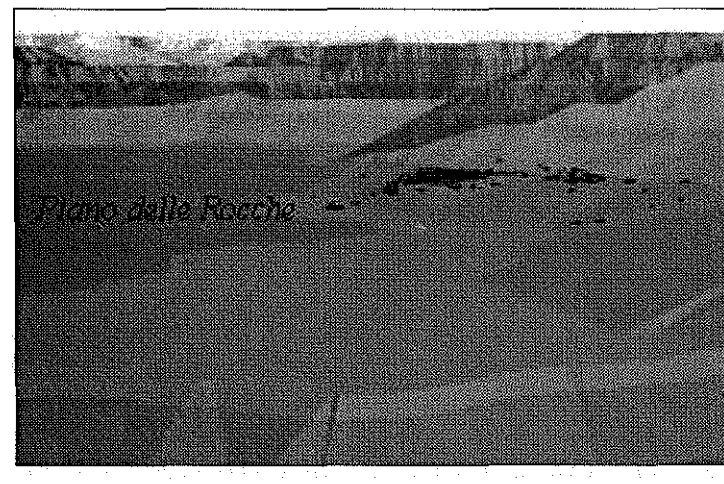


Fig. 10 - Profilo altimetrico di Rocca di Mezzo.

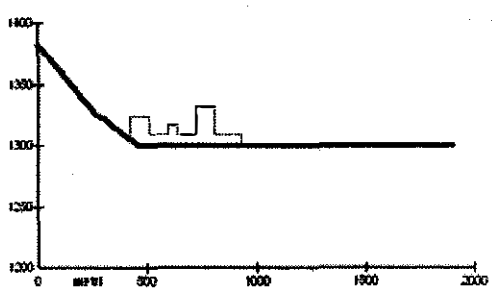
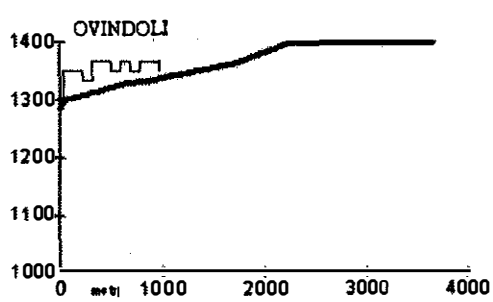
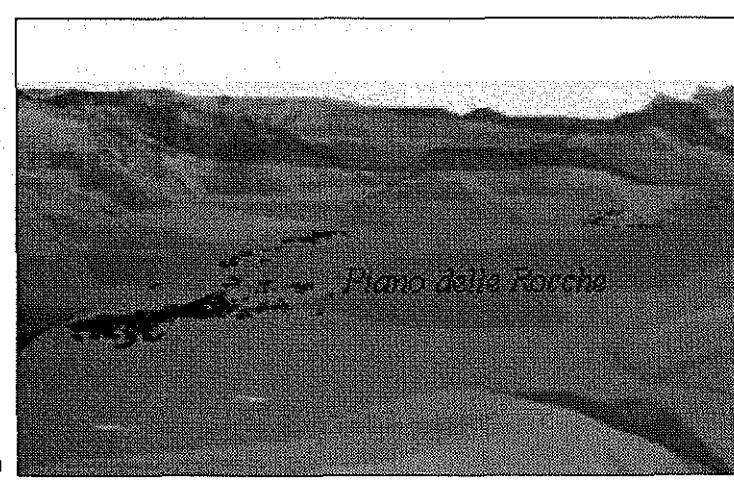


Fig. 11 - Profilo altimetrico di Ovindoli.

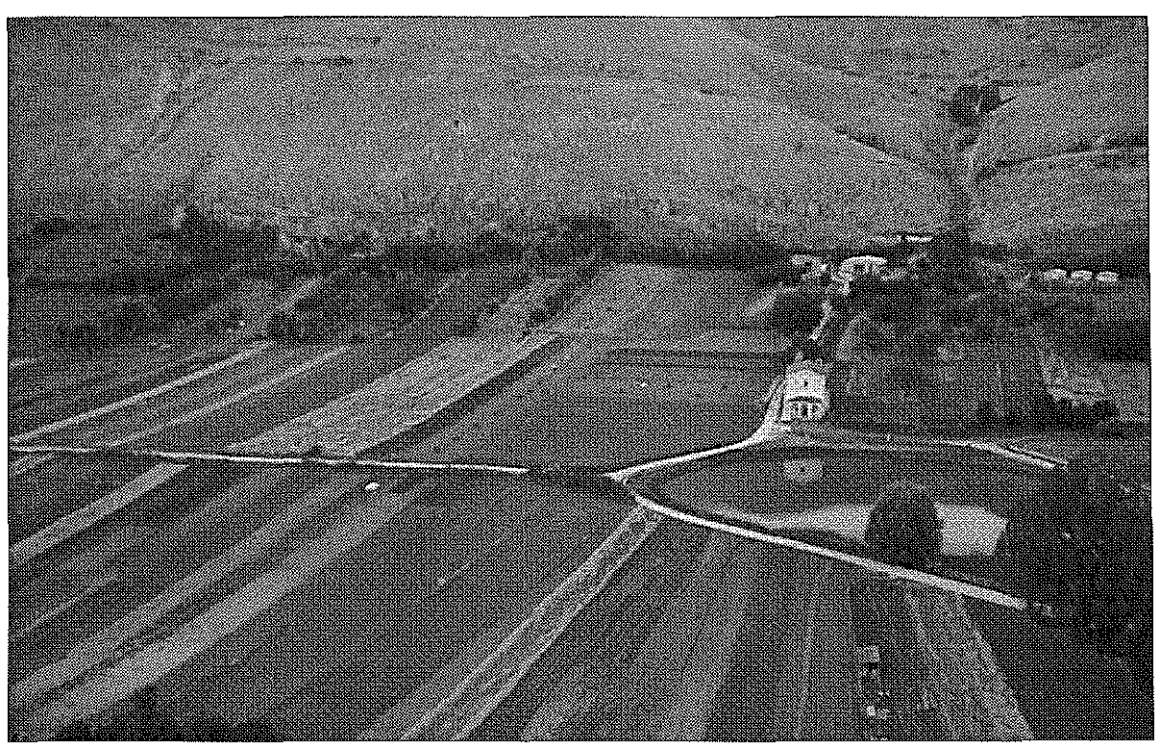




BIBLIOGRAFIA

- ALMAGIA' R., 1910, *Alcuni fenomeni carsici nell'Abruzzo Aquilano*, Boll. Soc. Geog. It., XLVII, Roma, pp. 937-954.
- BETTONI F., GROHMANN, 1989, *La montagna appenninica. Paesaggi ed economie*, " Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea", I, Spazi e paesaggi, a cura di P.BEVILACQUA, Venezia.
- BURRI E., 1985, *Various aspects of the karstic phenomenon in the urbanised areas of Gissi and neighbouring areas (Southern Abruzzo - Italy)*, Atti del Simposio Internazionale sul Carsismo delle Evaporiti, Le Grotte d'Italia, XII, Bologna pp. 143-160.
- BURRI E., 1994, *Utilizzazione del territorio ed impatto antropico nell'area limitrofa l'abitato di Pietrasecca*, Memorie Istituto Italiano di Speleologia, 5, Bologna, pp.165-169.
- BURRI E., 2003, *Il Paesaggio antropizzato nelle aree gessose, "Le Aree Carsiche Gessose d'Italia"*, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, XIV, Bologna, pp. 47-54.
- BURRI E., 2003, *Abruzzo e Molise, "Le Aree Carsiche Gessose d'Italia"*, Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia, s. II, XIV, Bologna, pp. 213-224.
- BURRI, E., MASSOLI-NOVELLI, R., PETITTA, M., 1997, *Vulnerability of karstic aquifers in Abruzzi (Italy). Two different case-studies: Gran Sasso mountain and Fucino plain*, in "Proceedings 6th Conference on Limestone Hydrology and Fissured Aquifers", 12th Int. Cong. Speleology, La Chaux-de-Fonds (Neuchatel, CH), 2, pp. 201-204.
- DEMANGEOT J. 1949, *Evolution comparèe de deux villagers abruzzais: Castel del Monte et S.Stefano*, "Revue de geographie alpine, XXVII, 671-687.
- FARINELLI F., 1980, *Il versante meridionale del Gran Sasso: la forma dei campi*, "Ricerche geografiche sull'Abruzzo" (a cura di M. Fondi), Memorie di Geografia Antropica ed Economica, n.s., XII, Napoli, pp. 63-73.
- FARINELLI F., 2000, *I caratteri originali del paesaggio abruzzese*, Le regioni dall'Unità a oggi-L'Abruzzo, Torino, Einaudi, pp. 121-153.
- FONDI M., *I massicci centrali appenninici*, "I paesaggi umani", T. C. I., Milano 1977, 134-145.
- GIARRIZZO A., 1967, *L'Altopiano delle Rocche. Note Antropologiche*, Boll. Soc. Geog. It, Roma, pp. 572-613
- MICATI E., 1992, *Pietre d'Abruzzo. L'architettura agro-pastorale spontanea in pietra a secco*, CARSA, Pescara.
- NANNI M., PROPERZI P., 1975, *Insediamenti minori ed attività pastorali nel versante meridionale del Gran Sasso d'Italia*, "Omaggio al Gran Sasso", L'Aquila, C.A.I. Sezione dell'Aquila, pp.185-273.
- ORTOLANI M., MORETTI A, 1950, *Il Gran Sasso D'Italia (Versante Meridionale)*, CNR, Ricerche sulla Morfologia e Idrologia Carsica, X, 2, Bologna
- ORTOLANI M., 1952, *I laghetti carsici del Gran Sasso d'Italia*, Atti XV Congresso Geografico Italiano, I, Torino, pp. 270-277
- ORTOLANI M., *La casa rurale negli Abruzzi* , Firenze ,L.S.Olschki, 1961.
- SEGRE A. G., 1946, *Aspetti antropici del fenomeno carsico nell'Italia peninsulare*, CNR, Memorie di Geografia Antropica, I, Roma, 183-217.
- SEGRE A.G., 1948, *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*, Istituto di Geografia dell' Università di Roma, S.A, 7, Roma.
- VITTE P., 1995, *Le campagne dell' alto Appennino*, UNICOPLI, Milano.

▲ Foto 1
Veduta del Piano Viano da Santo Stefano di Sessanio.



▲ Foto 2
Veduta del Piano Presuta.

L'UOMO E L'AMBIENTE CARSICO NEI CONGLOMERATI DI ARPINO (LAZIO)

Alberta Felici, Giulio Cappa, Emanuele Cappa
Shaka Zulu Club Subiaco, Società Speleologica Italiana

RIASSUNTO

Nel Lazio meridionale, tra Sora e Cassino, si trova un piccolo gruppo di dolci rilievi racchiuso tra le aste fluviali del Liri e del Melfa, che culmina nella cima del Montecòccioli (837m s.l.m.). Sul substrato di calcari formatisi a cavallo tra il Cretacico ed il Paleocene, nel Plio-Pleistocene si è deposta un'ampia lente di puddinghe (a ciottoli medi, ben levigati) variamente alternate ad arenarie; questi conglomerati oggi, a seguito di una veloce surrezione, formano un altopiano sopraelevato di oltre 500m rispetto alle valli che lo circondano.

Benché, in termini geologici, la formazione sia molto giovane, essa presenta una carsificazione superficiale marcatissima che indica come cemento e buona parte dei componenti siano di natura carbonatica. In particolare la superficie è costellata di doline con dimensioni planimetriche superiori ai 100m e profondità di varie decine di metri: nel Foglio geologico 160 ne sono cartografate ben 24!

L'area è costellata di abitazioni ed oggi è percorsa da numerose stradine asfaltate; ma anche in passato essa deve essere stata come un'appendice della città di Arpino: dalla "Civita Vecchia", l'antico agglomerato recinto da mura poligonali vecchie di secoli già ai tempi di Cicerone (che nacque nella Arpino romana), vi si accede con modesti dislivelli.

Nel corso delle uscite per l'esplorazione dei sistemi carsici profondi, abbiamo percorso la zona estesamente e cercato di capire quali siano le correlazioni tra i vistosi fenomeni carsici di superficie e gli insediamenti umani: abitazioni concentrate lungo le creste che separano le doline, aie e coltivazioni orticole nelle loro vicinanze e terreni arati a cereali nelle depressioni; cisterne e piccole captazioni delle rare sorgenti e, infine, anche qualche pozzo a neve. L'abbandono della campagna qui non è ancora sentito, anzi se mai si assiste al fenomeno inverso e l'interazione uomo-territorio è più viva che mai senza, almeno per ora, gravi preoccupazioni di conseguenze negative.

ABSTRACT

In Southern Latium, between Sora and Cassino, a small massif of soft relief is delimited by the rivers Liri and Melfa; its summit, Mount Montecòccioli (837m a.s.l.), gives the name to this area. Above a substratum of Cretaceous-Palaeocene limestones, during Pliocene-Pleistocene followed alluvial deposits of conglomerates, mainly composed by cemented pebbles and sands: this lithofacies, as a consequence of a rapid uplift, now forms a plateau more than 500m raised above the surrounding valleys.

It is very recent, yet it shows a very marked karstic development indicating that the mainly calcareous cement is weak; its surface above is studded with many large dolines (width over 100m, depth of 20-40m).

The area shows a lot of scattered houses and is covered by a net of small roads that make easy the access; in the past it was like an extension of the city Arpino: from "Civita Vecchia" (old town), the ancient castle which was already a few centuries old when the Roman Cicero was born there, it can be reached with very limited gradients.

On the occasion of the exploration of underground karstic systems, we extensively covered by walking along this zone and we tried to understand the possible correlations between the epigean karst phenomena and the human settlements: buildings gathered along the ridges separating the dolines, gardens and orchards near them, ploughable soils in the low lands; mainly near the buildings: cisterns, threshing-floors, small spring fountains and even the ruins of some snow-houses.

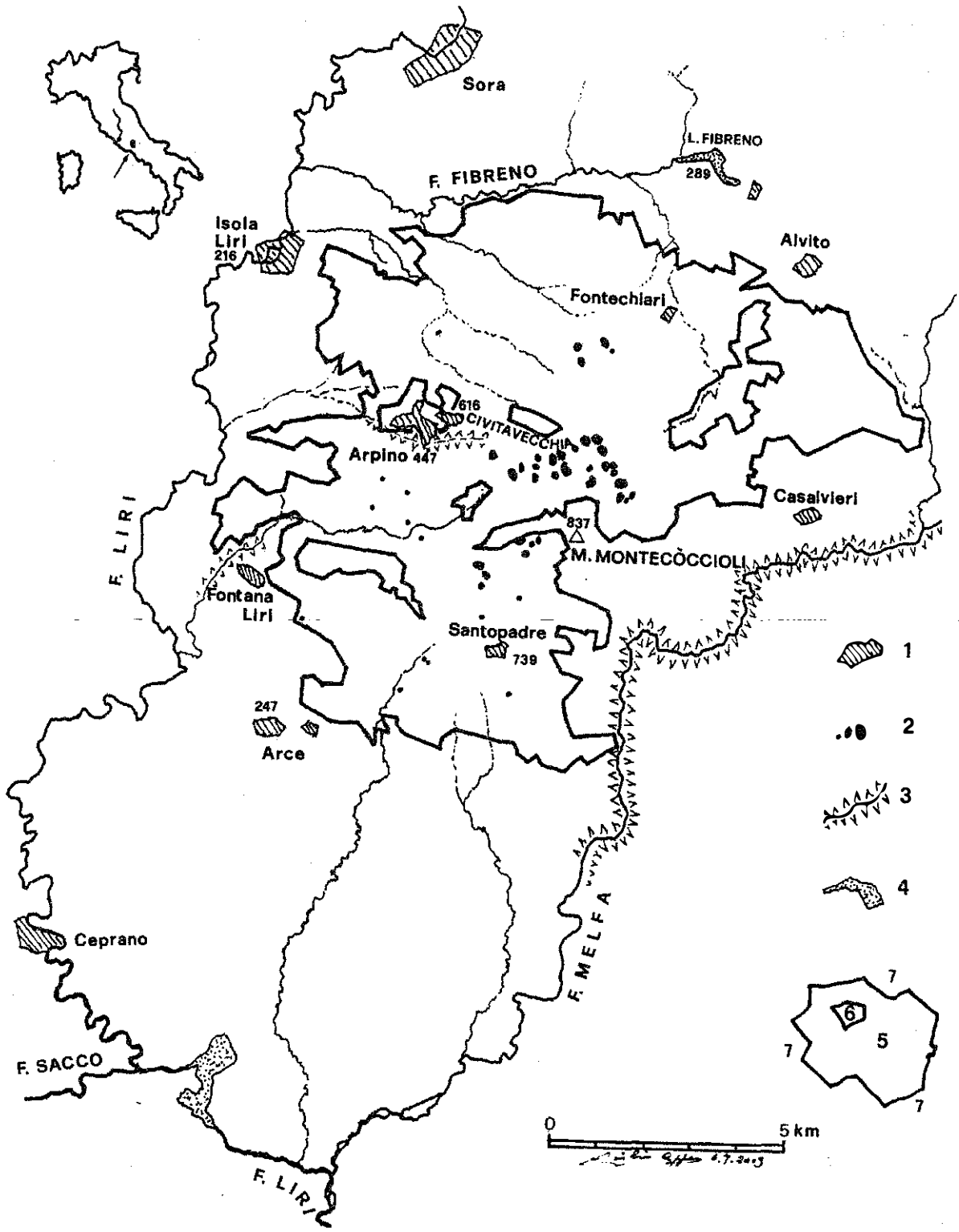


Fig. 1 - Carta geomorfologica del Gruppo Montuoso "Montecòccioli" (FR).

Didascalie:

1 = centri abitati
2 = doline principali
3 = gole fluviali
4 = laghi
5 = puddinghe a cemento sabbioso-calcareo e inclusi prevalentemente calcarei
6 = emergenze del substrato calcareo del Cretacico-Paleocene
7 = formazioni al contorno: calcari e calcareniti del Cretacico-Paleocene-Miocene e travertini pleistocenici

PREMESSA

L'area in esame, nonostante la vistosa presenza di fenomeni carsici in superficie, è "nata" alla speleologia solo in tempi abbastanza recenti, quando un gruppo di speleologi belgi (Groupe de Recherches Spéléologiques de Comblain-au-Pont), di cui però faceva parte il figlio di un Arpinate là emigrato, nel 1988 forzò l'ingresso di una tana di volpe e poté scoprire il meraviglioso Buco Marcello.
Attualmente è in corso, da parte del Gruppo Speleologico Guidonia-Montecelio, con la collaborazione dello Shaka Zulu Club Subiaco, uno studio sistematico della zona comprendente ricerche sull'idrologia sotterranea ed estensione delle esplorazioni ipogee. In particolare nel corso di quest'attività è avvenuta la scoperta della grotta da cui esce gran parte dell'acqua raccolta dal sistema sotterraneo del Buco Marcello: la grotta-risorgenza di Zompa lo Zoppo. Anche le altre cavità, indicate nella Fig. 2, sono state per lo più posizionate in carta, per mezzo di GPS, dagli scriventi, che hanno provveduto inoltre ad effettuare un rilevamento in scala 1:2'000 del territorio interessato dal sottostante principale sistema carsico ipogeo.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

Nel Lazio meridionale, in provincia di Frosinone, tra Sora e Cassino la catena appenninica è preceduta da una collana di dolci rilievi; tra di essi figura (FELICI & al.,1989) il Gruppo Montuoso del Montecòccioli (sigla: MC). Esso culmina nell'omonima cima, alta solo 837m s.l.m., circondata da una successione di ondulazioni, di quota compresa tra 600 e 800m, formanti un altopiano; questo risulta bruscamente sopraclevato di circa 500m rispetto ai fondovalle che lo abbracciano quasi completamente: a nord il F. Fibreno, che proviene dall'omonimo lago, ricco di sorgenti carsiche sul suo fondo, sbocca ad Ovest nel F. Liri che si dirige a Sud; ad Est il F. Melfa scorre in una gola profondamente incassata e, più a Sud, affluisce nel F. Liri, costituendo assieme ad esso il lato Sud del rilievo.
Nella Fig. 1 è riportato il tracciato di questi corsi d'acqua, assieme a quello dei pochi, e di modestissima portata, torrenti che provengono dall'interno del gruppo montuoso. Sotto il profilo geologico, illustrato dai fogli al 100'000 n. 152 e 160, non recenti ma validi e dei quali è pure riportata in Fig. 1 una sintesi, il gruppo si presenta costituito in massima parte da conglomerati ed arenarie deposti tra la fine del Pliocene e l'inizio del Pleistocene ad opera di grandi flussi idrici continentali; i conglomerati (puddinghe) sono costituiti da ciottoli in prevalenza calcarei, molto arrotondati, levigati, con matrice legante prevalentemente calcarea. A queste puddinghe si alternano sottili lenti di fanghi, sabbie ed altri sedimenti pelitici, deposti in ambiente fluvio-lacustre. Tale formazione è sovrapposta a precedenti rocce, per lo più calcaree, del Cretacico (dal Giura Sup. al Paleocene inf.) e in parte del Miocene inf.; al contorno, sul lato Nord sono presenti anche travertini del Pleistocene inf.; nel Pleistocene si sono verificate sia una rapida surrezione dell'area in oggetto che un profondo insolcamento delle valli fluviali al contorno, che hanno portato alla già indicata sopraelevazione di circa 500m. Stante la scarsità di faglie all'interno della zona, la presenza di areole (indicate col n. 6 in Fig. 1) di protrusione dei soggiacenti calcari fa pensare che la superficie di questi, precedente alla formazione dei conglomerati, fosse già notevolmente tormentata.
L'area in cui sono state concentrate le osservazioni alla base del presente studio è quella più intensamente carsificata, come appare dalla rappresentazione della Fig. 2.

CARATTERISTICHE LOCALI DEL CARSISMO NEI CONGLOMERATI

Nei calcari che circondano la zona in studio sono note poche tracce di fenomeni carsici; al contrario nei conglomerati si sono sviluppate oltre 30 doline, in massima parte di grandi dimensioni (diametri fin oltre 200m, profondità fino a 30÷40m) ed è stato accertato, mediante le esplorazioni, un sistema di drenaggio idrico ipogeo che supera largamente il chilometro di sviluppo. Si tratta di una evoluzione "rapidissima", se si tiene conto del ristretto tempo in cui può essersi verificata (meno di 1Ma) e dell'assoluta impossibilità, per l'area carsificata, di ricevere contributi idrici dal contorno. Determinante, a tal

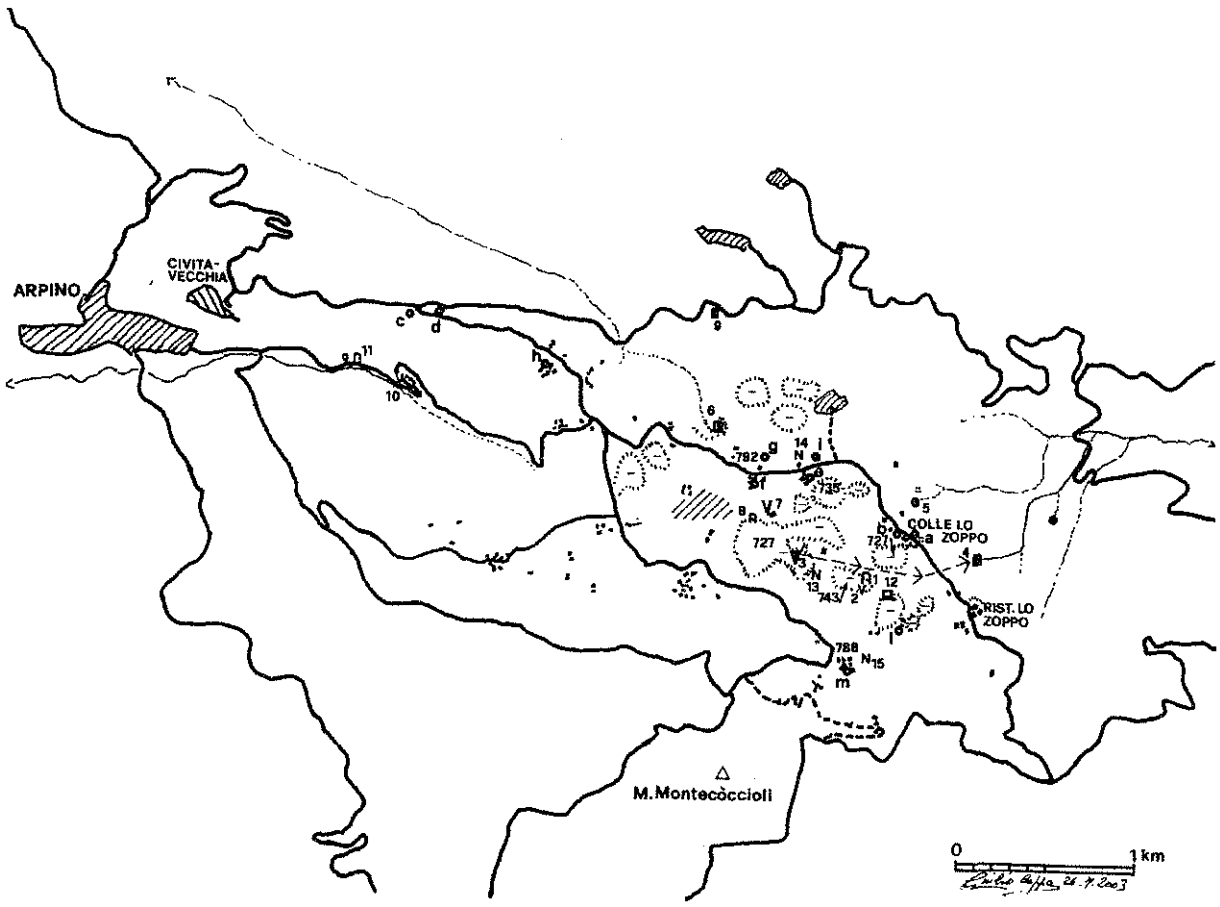


Fig. 2 - Carsismo ed insediamenti umani nell'area sommitale ad Est di Arpino.

Simboli:

Grotte, sorgenti e cavità artificiali secondo BINI-CAPPA, 1974, ciascuna indicata con i numeri da 1 a 12, come da distinta sotto riportata.
N = pozzo a neve, artificiale, numeri 13, 14, 15.
o = aia per la battitura del grano, ciascuna indicata con le lettere a, b, c ...
tratteggio obliquo = protrusioni di calcari del Cretacico

Didascalie:

1 = Grotta della Volpe o Buco Marcello
2 = Inghiottitoio a Sud del Buco Marcello
3 = Probabile inghiottitoio principale del Buco Marcello
4 = Grotta-risorgenza di Zompa lo Zoppo
5 = Sorgente temporanea La Barca
6 = Grotta delle Fate
7 = Inghiottitoio sotto Casavalletta
8 = Tana del Tasso
9 = Grotta-sorgente del Pisciarello
10 = Fessura sotto Vergone
11 = Grotticella presso la Fontanella
12 = Antica cisterna con ingresso ogivale
13 = ruderi di casetta con annesso Pozzo a Neve
14 = pozzo a neve cilindrico
15 = neviera costituita da una fossa scavata nel terreno e in parte delimitata da pietre

fine, deve essere stata la scarsa consistenza della matrice legante; infatti nelle gallerie sotterranee tuttora percorse dall'acqua si nota come, sulle pareti e sul fondo, i ciottoli, pur essi calcarei, sporgano pressoché inalterati, mentre la matrice mostra segni di erosione tipici delle rocce carsiche come *scallops* e marmitte; le lenti arenacee incluse presentano vistosi fenomeni di crollo e rapida ablazione.
Oltre alla linea principale di drenaggio sotterraneo, indicata con una freccia in Fig. 2 (e congiungente le cavità 3-1-2-4) esistono probabilmente altri sistemi, forse più modesti: la presenza di doline più periferiche e il ritrovamento di altre sorgenti, come quelle indicate in Fig. 2 con i n.i 5 (la Barca) e 9 (grotta-sorgente perenne del Pisciarello), sono evidenti segni dell'esistenza di ulteriori e indipendenti linee di drenaggio ipogeo.
Il fondo delle doline è pianeggiante e non presenta tracce di dolinette ed evidenti punti di assorbimento attivi, se si fa eccezione degli inghiottitoi n. 3 e 7 (Fig. 2) e di un paio di avvallamenti, che sono stati riconosciuti a causa della subsidenza degli alberi cresciuti al loro centro: la notevole presenza di detriti pelitici spiega come le forme di assorbimento delle acque tendano ad occludersi rapidamente pur restando pervie ad una loro lenta percolazione. Infatti, a seguito di intense precipitazioni, il fondo di alcune doline resta allagato per vari giorni.
Pressoché inesistenti sono invece le forme minute del carsismo epigeo, karren e fori; ciò va posto in relazione con la porzione minima di superficie rocciosa denudata, la sua composizione eterogenea e la prevalenza dell'ablazione fisica sulla corrosione chimica. Tali forme si presentano invece, sia pure con modesta evoluzione, là dove affiorano i calcari, come in un nucleo emergente subito ad Ovest del sistema centrale di grandi doline.

GLI INSEDIAMENTI UMANI DIFFUSI NELL'AREA

A differenza di molte delle aree carsiche "classiche", nelle quali non si sviluppa un'intensa antropizzazione agricola a causa dell'inospitalità diffusa dei suoli e dell'assoluta carenza di risorse idropotabili, nella zona in studio si osserva la presenza di numerosi insediamenti abitativi e di una notevole densità di coltivazioni agricole.
Fino a pochi decenni fa nell'area non esistevano strade ma essa era da tempo immemorabile percorsa da un fitto reticolo di mulattiere, oggi in buona parte trasformate in strette viuzze asfaltate o in carrarecce profondamente scavate dalle ruote dei trattori agricoli. La scarsa consistenza ed eterogeneità dei suoli rende queste ultime vie di comunicazione poco durevoli ma non disincentiva le coltivazioni di cereali o mais in tutte le superfici pianeggianti arabili, benché esse siano singolarmente di limitata estensione (al massimo qualche ettaro) e spesso di laborioso accesso. Solo un numero molto limitato di ampie doline presenta ora il fondo non coltivato: si tratta di quelle che più facilmente tendono ad allagarsi in caso di pioggia.
Le abitazioni agricole erano già in passato numerose; quelle non raggiunte dalla moderna viabilità sono state in buona parte abbandonate: si tratta di solide case in pietra che dispiace vedere, anno dopo anno, andare in rovina. Le altre sono ben mantenute, rammodernate (anche se spesso senza alcun tentativo di recuperare i particolari delle forme strutturali antiche) e recano traccia di un'utilizzazione permanente nell'arco dell'anno; inoltre vi sono stati affiancati sovente ampi capannoni per il ricovero dei mezzi agricoli e lo stoccaggio dei prodotti. Intervallate ai nuclei abitativi originari sorgono oggi numerose graziose casette moderne che dimostrano una tendenza generalizzata a separare le attività lavorative da quelle stanziali ed a frazionare i nuclei familiari. Queste costruzioni si allineano lungo le moderne strade asfaltate e finiscono col costituire, dato che le strade percorrono le creste separanti le depressioni carsiche, vere collane di casette.
In località Lo Zoppo, al margine orientale dell'altopiano, è sorto l'omonimo ristorante, base operativa delle ricerche speleologiche, dalla cui terrazza esterna si gode una completa vista della catena appenninica, dalle pendici orientali dei Monti Ernici al M. Marcolano e fino ai Monti della Meta, e della sottostante conca superiore della Val Comino e Lago Fibreno; quando in primavera l'aria è tersa e le cime ancora innevate, è uno dei più meravigliosi panorami che si possono godere nella nostra regione.

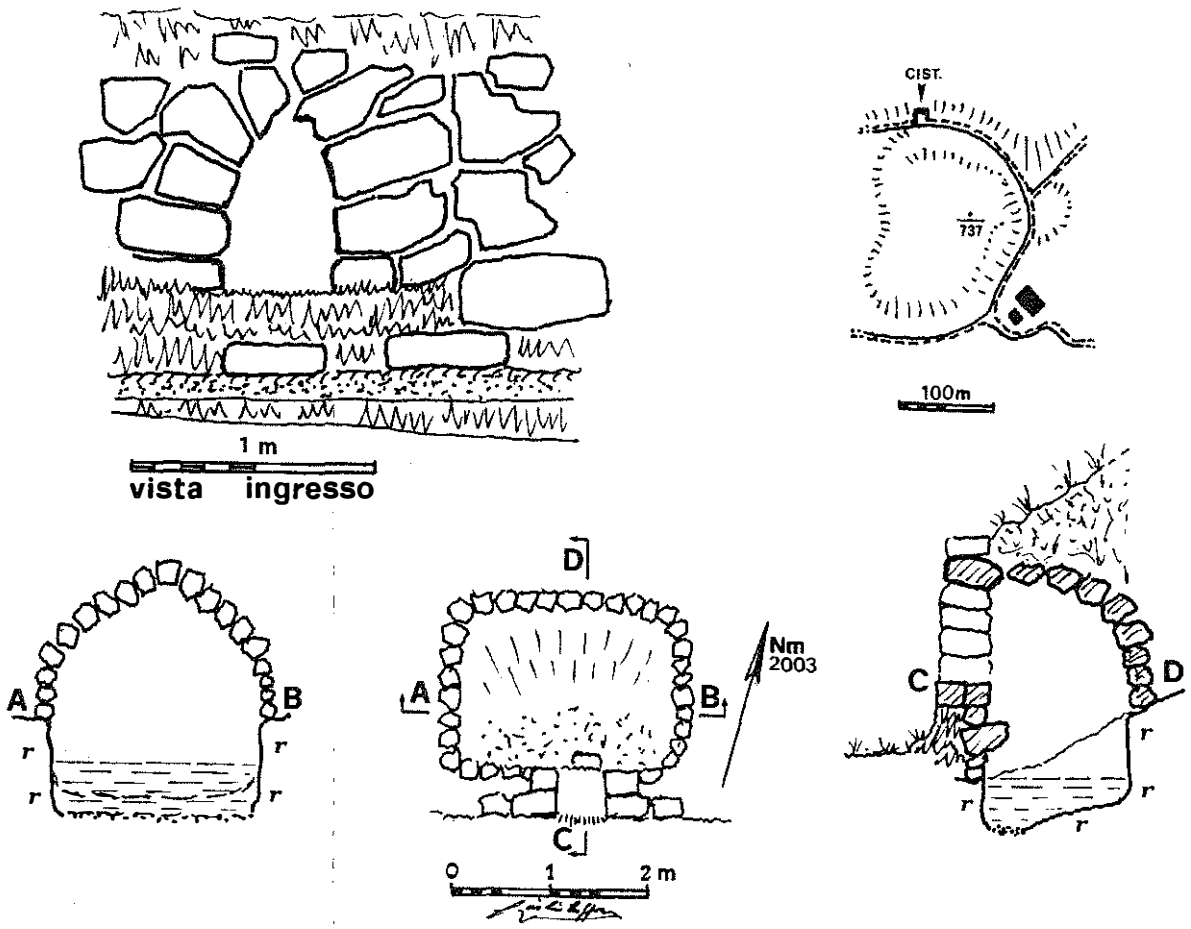


Fig. 3 - Antica cisterna con ingresso ogivale (punto 12 in Fig. 2) - Rilievo: A. Felici, G. Cappa (13.7 2003) - Didascalia: r = roccia

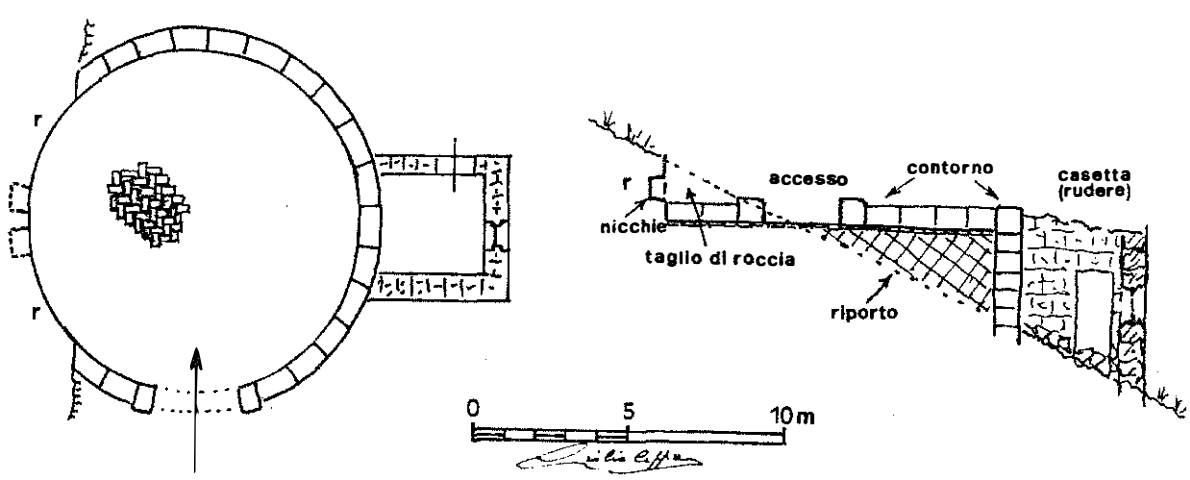


Fig. 4 - Rappresentazione schematica in pianta e sezione della struttura delle "are" - (dai rilievi originali di A. Felici e G. Cappa - 2003)

Solo la viabilità veramente minore, quella dei sentieri pedonali, è in fase di progressivo abbandono: le aree sommitali lontane dalle abitazioni si stanno trasformando in zone dove cresce una vegetazione boschiva spontanea, quasi impenetrabile. Esse sottraggono parte di quella superficie che in passato era utilizzata a frutteto o per coltivazioni orticole; alcune piante da frutto sopravvivono in mezzo alla vegetazione spontanea ed i muretti a secco di sostegno delle balze o di divisione delle proprietà ne sono un'altra testimonianza.
Una rete di condutture idriche rifornisce oggi le abitazioni e, poiché esse corrono lungo le strade, è un motivo in più per abbandonare le case che ne sono lontane. In passato la disponibilità d'acqua doveva essere abbastanza diffusa ma di volumi molto limitati; le vecchie tavolette dell'IGM riportavano un elevato numero di sorgentelle e pozzi scavati per attingere alle falde sospese in prossimità delle depressioni carsiche. Sono state reperite, in numero limitato, anche antiche cisterne, delle quali una è indicata in Fig. 2 col numero 12: piuttosto interessante, essa presenta l'accesso di forma ogivale, costruito in pietre unite a secco, lungo un muro pure a secco eretto per il contenimento del contorno laterale di una grande dolina. La Fig. 3 mostra il rilevamento dell'intera cisterna che risulta costruita a contatto con la roccia: questa, che sembra costituita da una lente arenacea, è stata sottoescavata in modo da assicurare una conserva d'acqua; in piena estate (luglio 2003) tale riserva si è esaurita. La struttura richiama alla mente quella delle porte della cinta megalitica della "Civita Vecchia" e sembra pertanto realizzata in epoca remota (v. Foto 1 e 3).
Nei pressi di quasi tutti i piccoli nuclei abitativi antichi era presente un'aia (nome locale "ara") circolare per la battitura dei cereali: ne restano ancora parecchi esemplari anche se, a causa della loro attuale inutilità, sono tutte in abbandono, tranne forse qualcuna trasformata in pista da ballo. Le undici are che abbiamo localizzato (indicate in Fig. 2 con le sigle a - b - c...m), costituiscono solo una piccola parte di quelle ancora esistenti; la loro presenza indica che almeno una delle casette vicine è antica (ma qualche volta quella antica è in evidente rovina). Esse risultano tutte di 10÷12m di diametro; il contorno è delimitato da una spalletta costituita da grossi blocchi di conglomerato locale, lunghi fin quasi un metro e larghi circa 30 cm, lavorati con cura e profilati con l'esatta curvatura del contorno dell'ara; tale spalletta si interrompe in uno o due tratti, indicando la posizione delle direzioni d'accesso originarie, e l'interruzione è talora marcata sui lati da due blocchi sopraelevati di una ventina di centimetri.
Quasi tutte le are sono state realizzate su terreni acclivi, nelle immediate vicinanze delle casette, perciò la parte a valle è sostenuta da murature alte fin oltre i 2m, costruite con blocchi analoghi a quelli del contorno, anche se in genere più corti. In alcuni casi la parte a monte è scavata nella viva roccia ed è circondata da una parete di contenimento di analoga fattura; in qualche caso in tale muro si nota la presenza di una o due nicchie che potrebbero aver contenuto qualche immagine o statuetta propiziatoria; altrove è la parete della casetta prospiciente che presenta una nicchia per immaginetta sacra. La Fig. 4 rappresenta lo schema generale della struttura delle are.
La pavimentazione, forse in origine di terra battuta, presenta quasi ovunque un rivestimento, di solito abbastanza dissestato, in piastrelle quadrate o rettangolari, di colore giallo o rossastro; quasi tutte le are offrono un aspetto di abbandono più o meno pronunciato, perché hanno cessato la loro funzione primaria (battitura dei cereali) già da molti decenni, a causa dell'introduzione delle trebbiatrici; alcune mostrano tuttora tracce di un utilizzo per la battitura dei baccelli di leguminose o l'essiccazione del fieno (erba medica). Solo in due casi (are h ed e) la pavimentazione è stata recentemente rifatta con tecniche moderne (cemento e piastrelle incollate).
Un'ultima notizia interessante, confermataci da un anziano abitante: a fianco dei ruderi di una casetta si nota uno sprofondamento che farebbe pensare ad una cisterna ma, ci è stato assicurato, fu realizzato invece con l'intento di creare un pozzo per la raccolta e conservazione della neve (Fig. 2, sigla N, n. 13) che, ormai, solo di rado imbianca questi rilievi. Un altro (n. 14) è stato da noi rinvenuto, su indicazioni della stessa persona, nel bosco sottostante una casetta, in forma di fossa cilindrica (diametro interno 3,3m; profondità da 1,2 a 2m) delimitata da un muro a secco di grosse pietre locali. Ulteriori informazioni, riportateci dalla stessa fonte, si riferiscono alla presenza in zona di altre nevicre, costituite da fosse scavate nel terreno e munite di uno scarico dell'acqua di fusione che

si concentrava al loro fondo: la neve vi veniva raccolta e pressata, coperta da foglie e strami, in elementi che col tempo si trasformavano in ghiaccio; a primavera-estate esso veniva estratto, ripulito e trasportato a dorso di mulo in paese (Arpino), per usi sanitari o la produzione di granite e ghiaccioli. Siamo venuti a sapere che tale uso si è protratto fino a dopo l'ultimo conflitto, cioè fino agli anni '50-'60 del XX secolo, quando finalmente fu possibile andare a comprare le stecche di ghiaccio da un'industria posta a Formia, cioè distante ben oltre 70 km da Arpino! Dunque con un ritardo temporale di quasi un secolo rispetto all'epoca di abbandono delle grandi ghiacciaie nel Nord Europa. I resti delle fosse a neve che ci è stato possibile localizzare, ridotte ora a cisterne o raccolte d'acqua piovana, sono indicati in Fig. 2 con le sigle N seguite da un numero progressivo (13, 14, 15).
A questo proposito ci sembra opportuna una piccola digressione. Fino al momento in cui si affermò, tra la fine dell'800 nel Nord e la metà del '900 nelle nostre regioni, la fabbricazione industriale del ghiaccio, era necessario provvedere perché quello naturale formatosi d'inverno si conservasse fino all'estate inoltrata. Si constata che a tale scopo esistettero due differenti procedimenti: nel Nord (Europa e Italia), dove la temperatura esterna riusciva a mantenersi sotto zero per molti giorni consecutivi, si raccoglieva il ghiaccio formatosi in acque stagnanti (in bacini naturali o in "bacini di congelamento" appositamente costruiti, CAUBERGS, 1993a,b) di modesto spessore (10-20cm); segatolo a pezzi, veniva immagazzinato in grandi cavità, per lo più appositamente costruite ("ghiacciaie") dotandole di pareti ed accessi il più possibile isolanti. Gli inverni molto rigidi dei secoli XVII a XIX (la cosiddetta "piccola glaciazione") favorirono questo procedimento nelle immediate vicinanze delle grandi città, principali consumatori del ghiaccio.
Nell'Italia centro-meridionale invece la temperatura ambientale scende sotto zero per tempi abbastanza lunghi solo sulle montagne, a quote molto elevate, dove, in effetti, venivano sfruttate a tale scopo numerose cavità naturali caratterizzate da un'assenza di correnti d'aria che avrebbero vanificato la formazione e conservazione del ghiaccio. Gli scriventi ne hanno incontrate nel Lazio sia sui Monti Lepini (FELICI, 1977), che nei Simbruini, come indicato in un'altra comunicazione presentata a questo stesso Convegno (*L'uomo e l'ambiente carsico nel massiccio Simbruino-Affilano - Lazio*), ma tali località sono molto lontane dai principali centri d'utilizzazione che difficilmente potevano essere raggiunti, in tempi abbastanza brevi, con trasporti a traino animale. Perciò si faceva ricorso per produrre ghiaccio alla raccolta di grandi quantitativi di neve, che cadeva (soprattutto nei secoli della "piccola glaciazione") anche a quote relativamente basse in spessori molto elevati [persino all'Isola d'Ischia, dove accertammo che alcune strane fosse da noi osservate (CAPPA G., CAPPA E., 1991) erano proprio state costruite per essere utilizzate come neviere]. Perciò subito dopo le grandi nevicate la popolazione si riuniva per raccogliere grandi volumi di neve e deporla, pressandola, in fosse scavate nel terreno ("neviere") scegliendo posizioni che non venissero facilmente raggiunte dai raggi solari, e dotandole di un drenaggio di fondo. Le fosse erano per lo più costituite da pozzi circolari di alcuni metri di diametro, alti quasi altrettanto; la deposizione avveniva a strati e una spessa copertura di foglie e strami assicurava l'isolamento alla sommità. La qualità e purezza del ghiaccio così ottenuto era certo inferiore ma la rapidità e il più basso costo del trasporto lo rendevano competitivo.

CONCLUSIONI

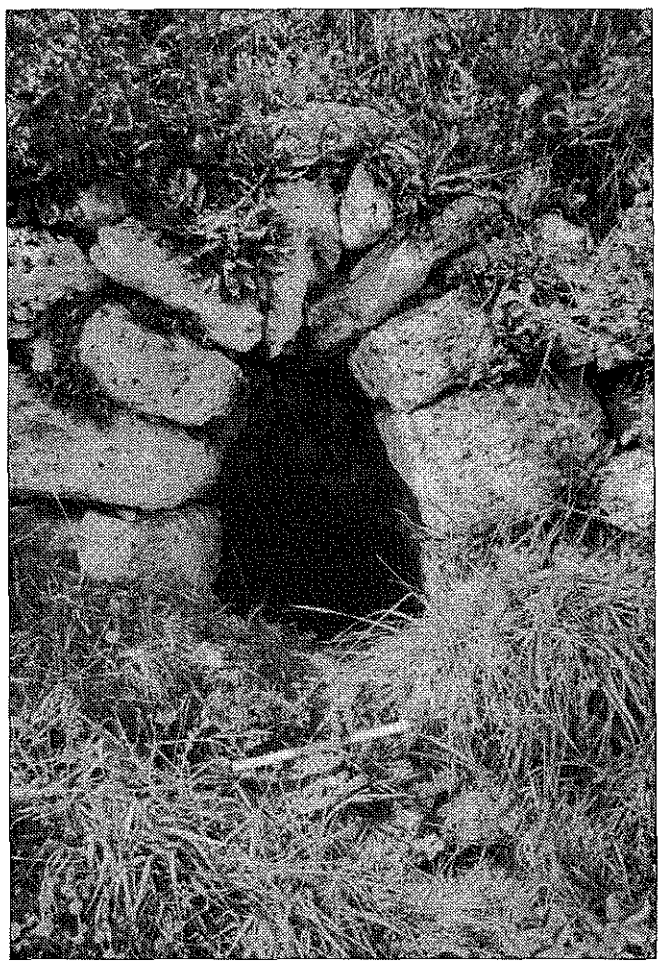
In quest'area di carsismo abbastanza fuori dell'ordinario si è sviluppato da secoli un insediamento agricolo peculiare che, a differenza delle zone più basse, conserva ancora quasi intatti gli aspetti più qualificanti. Attualmente si assiste ad una sua evoluzione abbastanza rapida in sistema abitativo disperso ma finora ciò non ha portato allo stravolgimento o cancellazione delle strutture antiche più tipiche; sarebbe tuttavia auspicabile un intervento normativo da parte del Comune (assessorato all'edilizia) per assicurare un maggior rispetto e conservazione degli edifici antichi, delle "are", delle "neviere" e di altre tracce interessanti del passato, rispetto che non dovrebbe comportare eccessivi oneri economici.

BIBLIOGRAFIA

- BINI ALFREDO, CAPPA GIULIO, (1974), *Proposte di simbologia per carte morfologiche ed idrologiche di aree carsiche*, Boll. Assoc. Ital. di Cartografia, 32, Napoli, pp. 179-199
- CAUBERGS MICHEL, (1993a), *Les anciennes glacières de la région bruxelloise*, GRSMA, Bull. Inf. Trim., n. 9, pp. 3-33
- CAUBERGS MICHEL, (1993b), *Les glacières de Liège*, GRSMA, Bull. Inf. Trim., n. 10, pp. 3-8
- CAPPA GIULIO, CAPPA EMANUELE, (1991), *Cavità artificiali nei massi di tufo verde sul Monte Epomeo (Isola d'Ischia - Campania - Italia)*, Notiziario sez. CAI-Napoli, Napoli, n. 1, p. 47
- CIOCCI FRANCO, (2001), *Fra i sifoni di Zompa lo Zoppo*, Speleologia del Lazio, 2, pp. 12-13
- FELICI ALBERTA, (1977), *Il carsismo dei Monti Lepini (Lazio) - Il territorio di Carpineto Romano*, Notiziario Circolo Speleol. Romano, Roma, a. XXI-XXII, n. 2-1/2, p. 148
- FELICI ALBERTA, PIRO MARIA, CAPPA GIULIO, MECCHIA GIANNI, (1989), *Proposta di classificazione e delimitazione dei Gruppi Montuosi del Lazio*, Atti XV Congr. Naz. Speleol., Castellana Grotte 1987, pp. 109-120

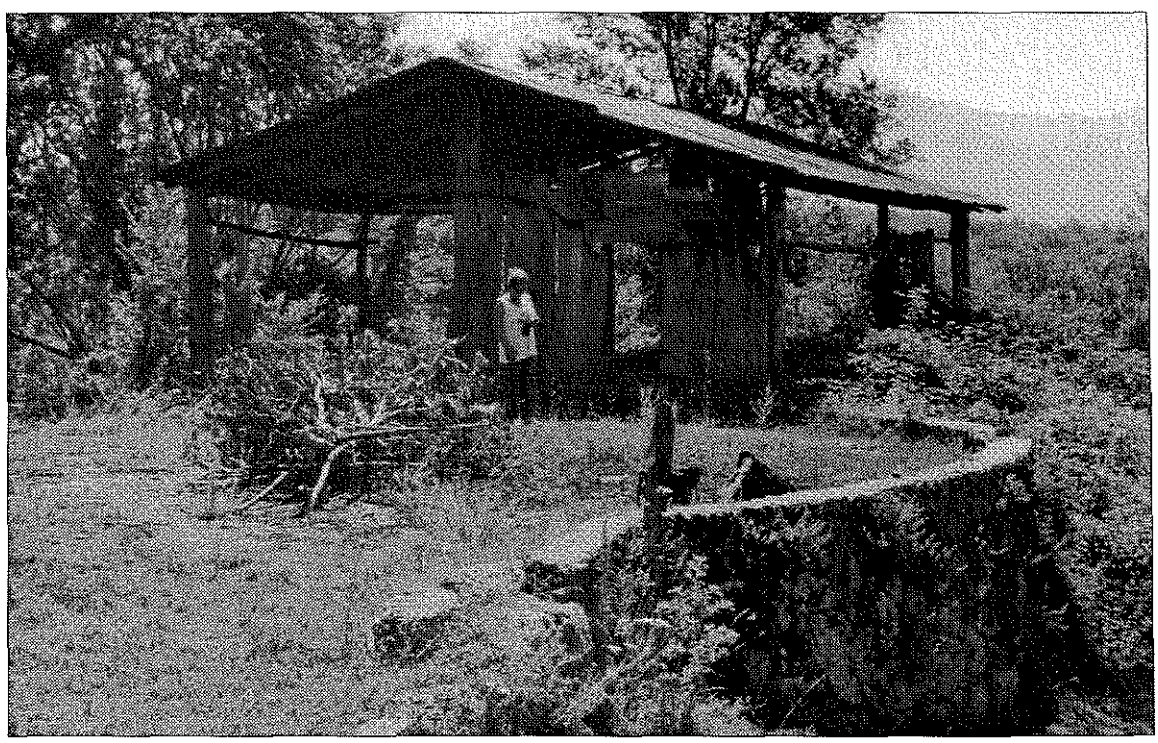
CARTOGRAFIA

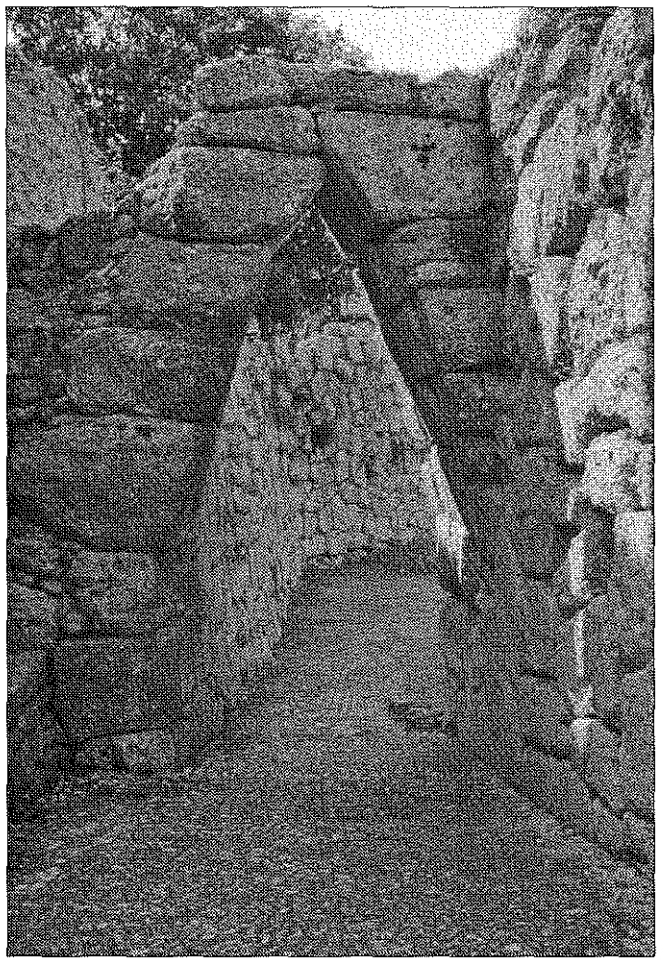
- Sezioni IGM serie 25 n. 390 II Arpino e 391 III Atina
- Carta Geologica d'Italia, fogli 1:100'000 n. 152 e 160 (B. Accordi, 1967 e 1966)



◀ Foto 1
Inbocco dell'antica cisterna indicata in Fig. 2 con il n. "12".

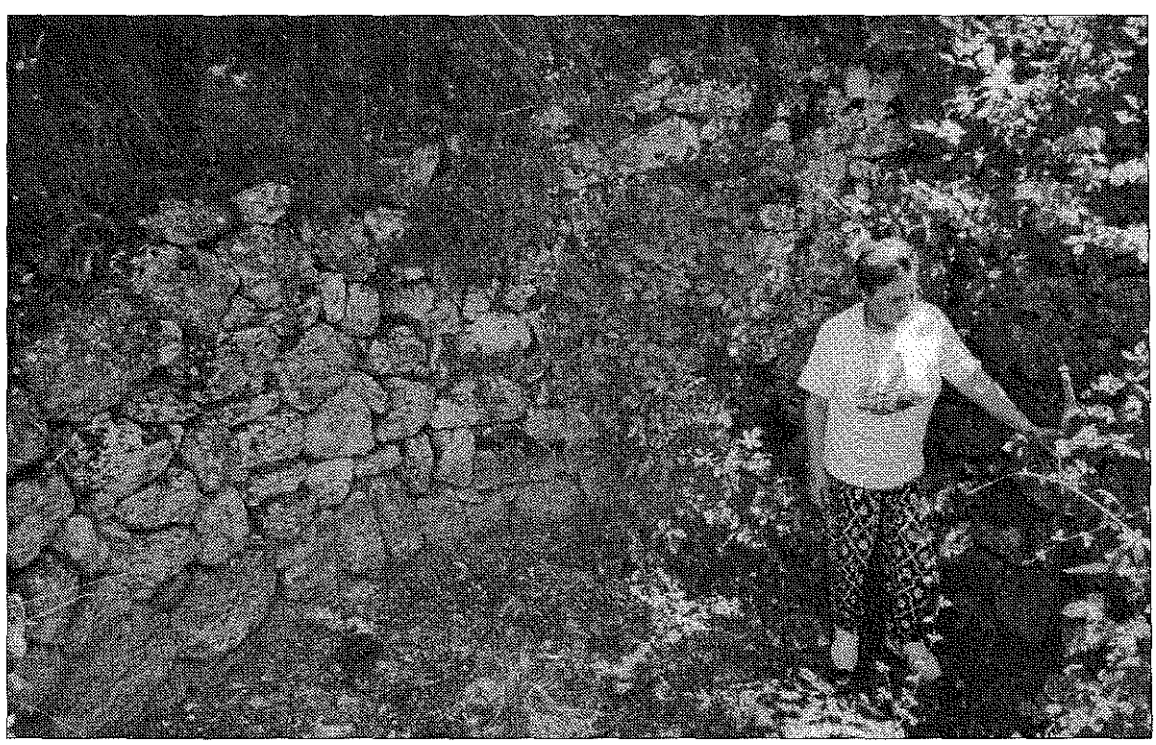
▼ Foto 2
Ara indicata in Fig. 2 con la lettera "e".





◀ Foto 3
Porta arcaica della "Civita Vecchia".

▼ Foto 4
Interno della neviera indicata in Fig. 2 con il n. "14".



L'UOMO E L'AMBIENTE CARSICO NEL MASSICCIO SIMBRUINO-AFFILANO (LAZIO)

Alberta Felici, Giulio Cappa, Emanuele Cappa
Shaka Zulu Club Subiaco, Società Speleologica Italiana

RIASSUNTO

Gli autori colgono l'occasione del presente Convegno Nazionale per colmare una lacuna finora esistente su questo argomento nel massiccio Simbruino-Affilano, appartenente alla catena pre-appenninica che separa il Lazio dall'Abruzzo. L'indagine sui fenomeni carsici di queste montagne è oggi in fase di rapido sviluppo, grazie alle ricerche minuziose sul terreno, che sviluppa lo Shaka Zulu Club, gruppo speleologico con sede in Subiaco, principale centro abitato della zona.
Le conoscenze sugli insediamenti umani pre-romani nel gruppo montuoso sono scarse ma recenti esplorazioni di grotte, cui partecipano gli scriventi, cominciano a portare alla luce anche reperti di epoche tra il Neolitico ed il Bronzo. Una piccola cavità, posta ai piedi di un'enorme parete strapiombante, è stata probabilmente il sito di un santuario preistorico sul quale poi si è innestato quello cristiano della SS. Trinità a Vallepietra, che richiama ogni anno un'affluenza di molte decine di migliaia di pellegrini. Presso diverse delle grotte-ripari scavate nelle scoscese coste che sovrastano il corso del F. Aniene si è innestato primieramente il monachesimo di S. Benedetto che, con i suoi numerosi cenobii, ha dominato la scena storica dell'area per quasi 1500 anni.
La ricchezza di grandi sorgenti basali carsiche deve aver stimolato fin dalla preistoria luoghi di culto delle acque, di cui si ritrova traccia nella scelta della localizzazione della Villa imperiale di Nerone. La necessità di tutelare le sorgenti carsiche, oggi indispensabili per la vita dei centri locali e di Roma come già lo furono ai tempi dell'Impero Romano, si è recentemente integrata con la volontà di salvaguardare il patrimonio paesistico e forestale, attraverso la creazione del Parco Regionale dei Monti Simbruini, che pone un deciso freno all'espansione degli insediamenti turistico-sciistici di medio-alta quota, i quali sono ovunque una delle peggiori minacce alla conservazione degli ambienti carsici montani.

ABSTRACT

The authors seize an opportunity in this National Meeting to fill in the lacuna *so far existing on this subject within the Simbruino-Affilano Mountains, which belong to the pre-Apennines chain that divides Latium from Abruzzi. The knowledge on the karstic phenomena is rapidly developing during the present years, due to the detailed investigations carried on by Shaka Zulu Club, the speleological association based in Subiaco, the local main town.*
The pre-Roman settlements in these mountains are poorly known, but the explorations of SZCS begin to discover sites of Neolithic to Bronze Ages. A small cave at the base of a huge rocky face was probably the place of a pre-historic sanctuary, to which succeeded the Christian cult of the Trinity in Vallepietra, where pilgrims crowd each year by ten thousands. Within several caves/shelters along the steep sides overhanging the river Aniene, the Benedictine monachism formerly developed and dominated the region for nearly 1500 years.
The plentifulness of karstic springs at the base of the mountains most probably spurred the establishment of pre-historic sites of water cult, a trace of which can be found in the location that the Emperor Nero selected for his famous Villa near Subiaco. The need to guard the karstic springs, today of primary importance for Rome and other towns, just as they were during the Roman Empire, together with the will to preserve the mountains sceneries and forests, has promoted the establishment of the Regional Park of Simbruini Mountains, in order to control the touristic settlements, which are the worst threat against the preservation of the karstic environment.

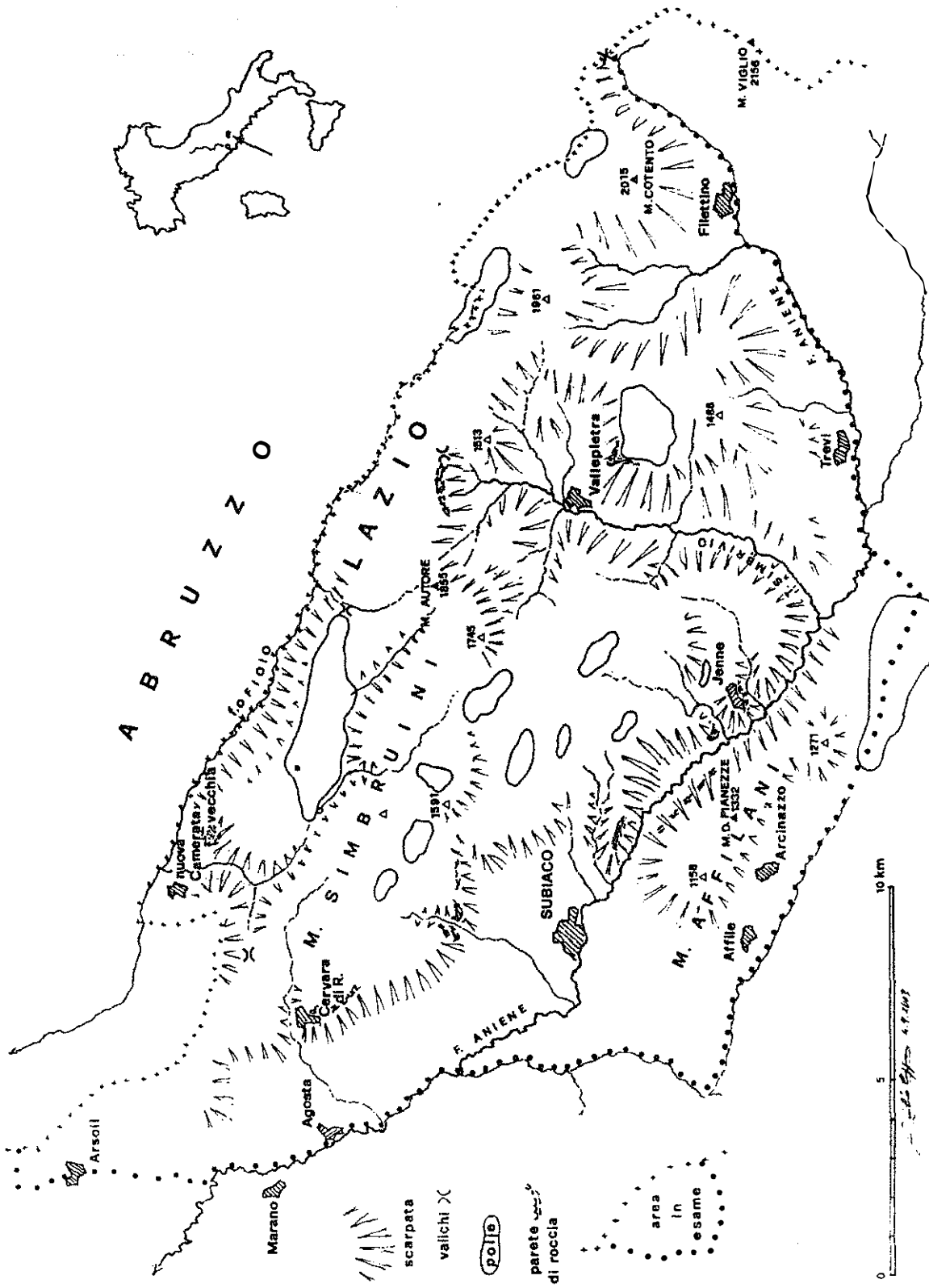


Fig. 1 - Carta morfologica dei Monti Simbruini e Affilani.

PREMESSA

Gli scriventi operano negli ambienti carsici della regione Lazio da più di trent'anni: oltre a centinaia di esplorazioni e rilevamenti, hanno presentato 43 pubblicazioni sull'argomento, delle quali 21 riguardano l'area ora in esame. In altre zone del Lazio, ben note per la ricchezza di forme carsiche, sono già apparsi da tempo, ad opera di vari Autori, studi storici sulla frequentazione umana dalla preistoria ai giorni nostri, nonché sui problemi della tutela delle aree carsiche.
Fa invece contrasto l'area Simbruino-Affilana per la quale, nonostante la recente creazione del Parco naturale e la conseguente proliferazione di studi (291 citazioni bibliografiche in CANNATA, 1992) solo un misero 4,5% di esse tocca, e per giunta solo marginalmente, l'argomento di questa relazione.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

La Fig. 1 mostra l'ubicazione e conformazione dell'area: i Monti Simbruini laziali confinano a Nord con il settore abruzzese dello stesso massiccio, ad Ovest con il tracciato della Strada Statale Tiburtina-Valeria, ad Est e Sud con il Fiume Aniene. Sulla sponda sinistra dell'Aniene, da poco sotto il Ponte delle Tàrtare fino a Subiaco, si erge il piccolo ma scosceso gruppo dei Monti Affilani, che è stato collegato nel presente studio perché morfologicamente assai simile ai Simbruini, assieme ai quali forma la profonda e dirupata gola dell'Aniene tra Comunacque e Subiaco, ricca su entrambe i versanti di grotte di specifico interesse nel presente studio, nonché di importanti risorgive carsiche.
Una folta copertura forestale (in assoluta prevalenza costituita da faggete con rara presenza di tassi, mentre alcune aree sono state riforestate nel dopoguerra con essenze di aghifoglie del tutto estranee) si estende a tutta l'area sommitale dai 1000m s.l.m. circa: solo una parte delle aree pianeggianti (polja) ed una minima frazione dei pendii al di sopra dei 1200-1400m è prativa.
I ripidi pendii che degradano dagli altopiani al fondovalle del F. Aniene, un tempo in buona parte coltivati a balze sostenute da muri a secco, sono ormai coperti da una vegetazione spontanea di lecci, querce, aceri, ecc., ormai cresciuti a notevoli altezze, tra i quali non di rado si incontrano gli esemplari di alberi da frutta (meli, peri, ciliegi, noci, noccioli, prugni) che costituiscono la traccia residua di insediamenti abitativi diffusi anche in zone assai lontane dai centri abitati.
In modo analogo, nelle aree prative e pianeggianti di quota 1000-1400m, si vedono ancora le tracce di coltivazioni di cereali o patate (le "patagne") protrattesi fino agli anni '50 del secolo appena terminato.
Il fenomeno carsico epigeo si sviluppa con un'estesa serie di polja (localmente chiamati "campi") che interessano soprattutto le quote al di sopra dei 1000m s.l.m., costellati di doline e uvala, con un assai limitato numero ed estensione di rocce denudate e sottoposte a microforme di corrosione (karren); un numero infinito di doline di tutte le dimensioni (da 1m ad oltre 50m di diametro) si incontra passeggiando nei boschi.
Il numero delle cavità (v. Fig. 2) verticali, assorbenti, è invece limitato (ne conosciamo al momento non più di 200) perché una copertura di cineriti, provenienti dal vulcanesimo esplosivo laziale del Pleistocene, si è estesa a tutta l'area: ne è testimonianza il fenomeno di riattivazione di molti inghiottitoi (PROCACCIANTI & al., 2003), che si vedono approfondirsi di anno in anno, per la progressiva ablazione della coltre cineritica. A ciò deve aggiungersi che il fenomeno di una diffusa e incontrollata pastorizia ha indotto all'occlusione con grossi clasti degli imbocchi, di piccola dimensione, delle cavità verticali.
Le cavità orizzontali, quasi assenti al di sopra dei 1000m, sono invece abbastanza numerose lungo i ripidi pendii vallivi e quasi tutte portano tracce di un utilizzo antropico. Il fenomeno carsico si presenta in forma assai vistosa lungo il corso del F. Aniene con grandi risorgive (v. Fig. 3): quelle ora sopraelevate rispetto al fiume consentono l'accesso a grotte di notevole sviluppo che in genere, però, comportano impegnative esplorazioni subacquee; le massime portate sono tuttavia fornite da risorgive subalvee inaccessibili.

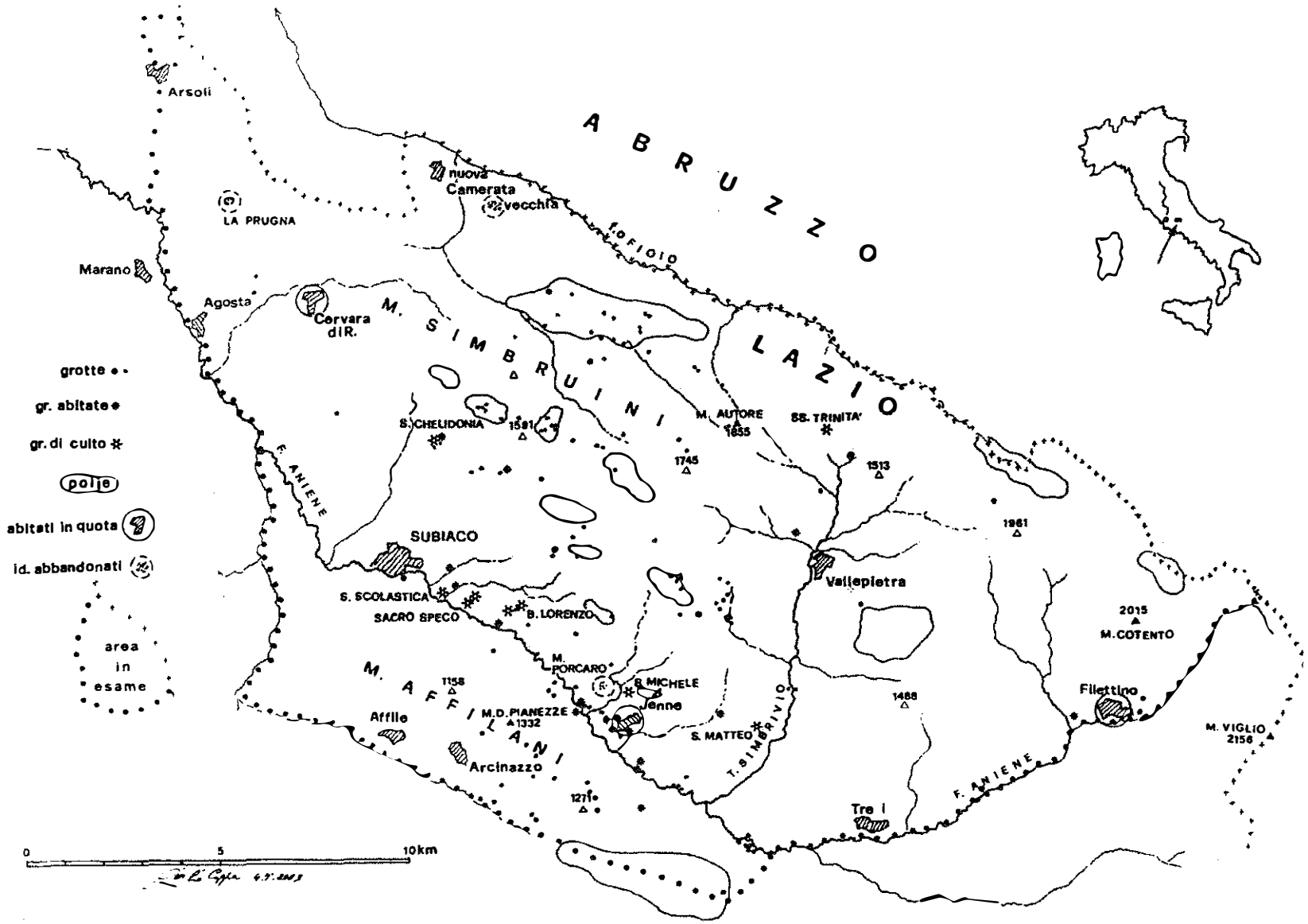


Fig. 2 - Le grotte e gli insediamenti umani.

ATTIVITÀ UMANE E INSEDIAMENTI DALLA PREISTORIA AD OGGI

I percorsi sugli altopiani: le vie di transumanza

Gli assi viari più antichi, pre-romani, erano certamente legati al fenomeno della transumanza, che doveva svilupparsi (CANNATA, 1992, p. 113) lungo tracciati privi di ostacoli naturali: lungo le creste e gli altopiani e, almeno in parte, lungo il fondovalle del F. Aniene. Di queste vie resta ben poca traccia: si può forse riconoscerla nei percorsi sommitali tuttora privi di copertura boschiva; solo un toponimo "Passo delle Pecore", posto nella tavoletta IGM 151 IV NE tra il Livata ed il M. Calvo, sembra conservarne memoria.

La viabilità antica e moderna

Il profondo solco fluviale dell'Aniene tra Comunacque e Subiaco, che non è interessato dalla viabilità moderna ma solo da una dissestata strada bianca realizzata negli anni '40 per la costruzione dei condotti idroelettrici, presenta diverticoli abortiti che sono probabili resti di una viabilità mulattiera romana o medievale. Le strade moderne, tracciate lungo i pendii, hanno richiesto pesanti opere di demolizione della roccia (che hanno messo in luce una grande diffusione di fenomeni carsici sotterranei, interessanti ma impraticabili) e lo scavo di gallerie; più o meno paralleli ma spostati di quota, si rinvengono lacerti di sentieri e mulattiere che tagliano per coste scoscese, talora sostenuti da muri a secco, nascosti ormai da una vegetazione arborea che cresce senza controllo: essi ci fanno comprendere quanto difficile fosse nell'antichità spostarsi da un centro abitato all'altro e ci fanno capire perché ancor oggi i dialetti dei paesi siano molto diversi.

Gli insediamenti umani permanenti alle quote intermedie e l'utilizzo di grotte (v. Fig. 2)

Per la maggior parte gli abitati sono dislocati lungo il fondovalle dell'Aniene o nelle sue immediate vicinanze; fanno eccezione Cervara di Roma, arroccata su uno sperone di roccia che controlla una delle poche vie d'accesso agli altopiani, e Jenne, sopraclevata di 350m sul fondovalle ma circondata da una serie di penepiani poco più elevati ed atti allo sviluppo di coltivazioni. Un terzo centro abitato, Camerata ("vecchia"), era pure arroccato su uno sperone roccioso al bordo di un ampio altopiano coltivabile ma, dissestato da un terremoto e conseguente incendio, fu ricostruito ("nuova") ai piedi del massiccio. Altri abitati posti su rilievi, come M. Porcaro e La Prugna, sono stati abbandonati già da secoli, tanto da essere praticamente scomparsi.
Caratteristica abbastanza comune di questi abitati di quota intermedia è la prossimità a cavità naturali orizzontali, oggi in abbandono, che conservano tracce di un utilizzo pastorale protrattosi fino a tempi recenti (FELICI-CAPPA, 2003b); attualmente sono in corso ricerche negli scarsi detriti dei loro suoli e si stanno scoprendo resti di ceramiche pre-romane e di sepolture preistoriche che suggeriscono una presenza umana stanziale assai più antica.
L'elevato numero di grotticelle che si aprono su pendii scoscesi, oggi quasi inaccessibili ma recanti tracce di antica frequentazione, ci farebbe pensare che le popolazioni preistoriche preferissero questi ambienti a quelli degli altopiani, scarsi di risorse idriche: ma in realtà questi ultimi non sono in grado di restituirci tracce di insediamenti antichi, per la carenza di grotte, e, verosimilmente, costituivano solo linee di transito della transumanza.
Per poter accertare meglio i rapporti dell'uomo con l'ambiente in epoca preistorica occorrerebbero approfonditi studi sulle variazioni del clima locale: le ricerche che si sono sviluppate in aree di quota più bassa (CAPPA G., FELICI A., CAPPA E., in print) suggeriscono che il limite superiore degli stanziamenti umani permanenti e delle loro colture agricole possa essersi spostato di quota notevolmente e ripetutamente, ma non si può a *priori* stabilire una corrispondenza univoca con i cicli climatici dei laghi laziali.

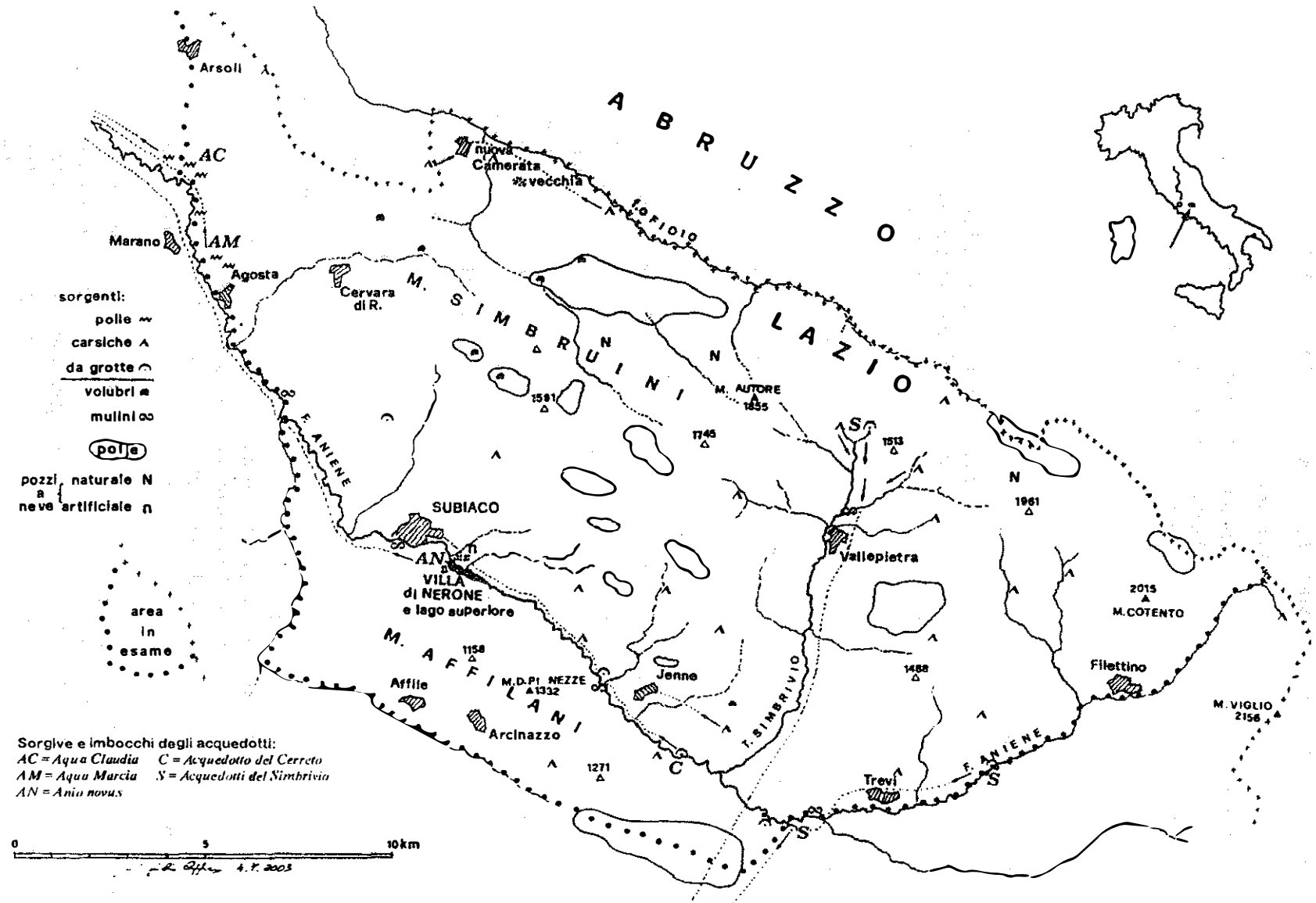


Fig. 3 - L'acqua del massiccio carsico.

I luoghi di culto e il monachesimo (v. Fig. 2)

Dei luoghi di culto pre-cristiano non resta praticamente alcuna traccia sicura. Tuttavia è lecito supporre che almeno parte dei santuari cristiani posti in caverne o anfratti siano sorti in luoghi già frequentati in precedenza.
Questa ipotesi è già stata espressa da coloro che hanno studiato il Santuario della SS. Trinità (CARAFFA, 1969), posto in una piccola cavità ai piedi di un'altissima parete strapiombante, sopra Vallepietra: la Trinità appare dipinta sulla roccia sotto forma di tre persone, identiche e sedute affiancate (chiamate dal popolo "le tre persone") e, da tempo immemorabile, il luogo ha sempre richiamato per la festa della SS. Trinità decine di migliaia di pellegrini (che fino a cinquant'anni fa giungevano camminando a piedi perfino due-tre giornate) pur in assenza di tradizioni miracolistiche.
La postura delle "tre persone" richiama alla mente quella delle statue della "Triade Capitolina", anche se certamente ad essa non si riallaccia direttamente (data la differente natura della triade: Giove, Giunone e Minerva) ma, più probabilmente, deriva da un ceppo comune protostorico. Storicamente è nota (Enciclopedia Rizzoli Larousse, 1971, XV, p. 245) una vastissima diffusione del culto della Triade nell'antichità, dalla Gallia al mondo greco, mediorientale, egizio e fino all'India (Trimurti).
Il rapporto di culto tra Cristianesimo e grotte presenta nei Simbruini un punto basilare: infatti fu in una grotta sotto il M. Talco e soprastante le rovine della Villa di Nerone a Subiaco (CAROSI, 1987) che S. Benedetto da Norcia, giovanissimo, si rifugiò in penitenza per dare vita, subito dopo, verso il 500 a. D., al protomonastero dell'Ordine Benedettino (S. Clemente, eretto utilizzando le rovine della Villa Romana e rimpiazzato poi dall'attuale abbazia di Santa Scolastica, mentre le grotte del ritiro di S. Benedetto furono presto inglobate nel Sacro Speco, il primo in assoluto ad assumere tale nome).
Nel corso delle nostre ricerche sui santuari ipogei e rupestri abbiamo identificato vari altri siti legati alla tradizione benedettina: in totale quattro all'interno del Sacro Speco, una cavità tripla nei sotterranei di Santa Scolastica, una cappellina nel monastero di S. Maria di Morrabotte ed un romitorio in una grotta poco distante, senza nome, una piccola cappella presso i ruderi del monastero femminile di Santa Chelidonia. Non abbiamo invece rinvenuto tracce di cavità cultuali nelle strutture o ruderi di altri dei dodici monasteri creati intorno a Subiaco da S. Benedetto.
Al di fuori della tradizione benedettina si trovano infine altre cavità-santuario: la Grotta di San Matteo 1040 La sotto Vallepietra (FELICI-CAPPA, 1989) e il Grottone sotto S. Angelo a Jenne (FELICI-CAPPA, 2003), unica traccia ipogea del culto micaelico (assai diffuso nel Lazio: FELICI-CAPPA, 1993) finora rinvenuta nei Monti Simbruini.

L'ACQUA DEL MASSICCIO CARSICO (v. Fig. 3)

Generalità

Nelle aree di quota superiore ai 900-1000m, che costituiscono la maggiore estensione dei Monti Simbruini, l'idrografia è quasi assente: i campi carsici (v. Fig. 1) non si allagano praticamente mai ed anche le vallecole più pronunciate mostrano di essere percorse da rivoli d'acqua solo in occasione di precipitazioni di intensità eccezionale. Dunque la percolazione è un fenomeno quasi ubiquitario e deve inevitabilmente alimentare un carsismo sotterraneo imponente.
Sotto il profilo geologico, il massiccio, quasi in assoluta prevalenza carbonatico con una potenza di oltre 4000m, si presenta come un alto strutturale frazionato da un gran numero di faglie, di direzioni per lo più appenninica e anti-appenninica; molte formazioni presentano un elevato e diffuso grado di dolomitizzazione.
Questi due fattori condizionano la circolazione sotterranea che, almeno fino alle profondità raggiunte dalle poche cavità che superano i –100m, non riesce a canalizzarsi in grossi collettori. Poche e di modeste portate le sorgenti alle quote intermedie: l'assoluta maggioranza delle acque carsiche viene a giorno alla base del massiccio sotto forma di risorgive subalvee o attraverso grotte di notevole estensione, con ampi tratti allagati o sommersi.

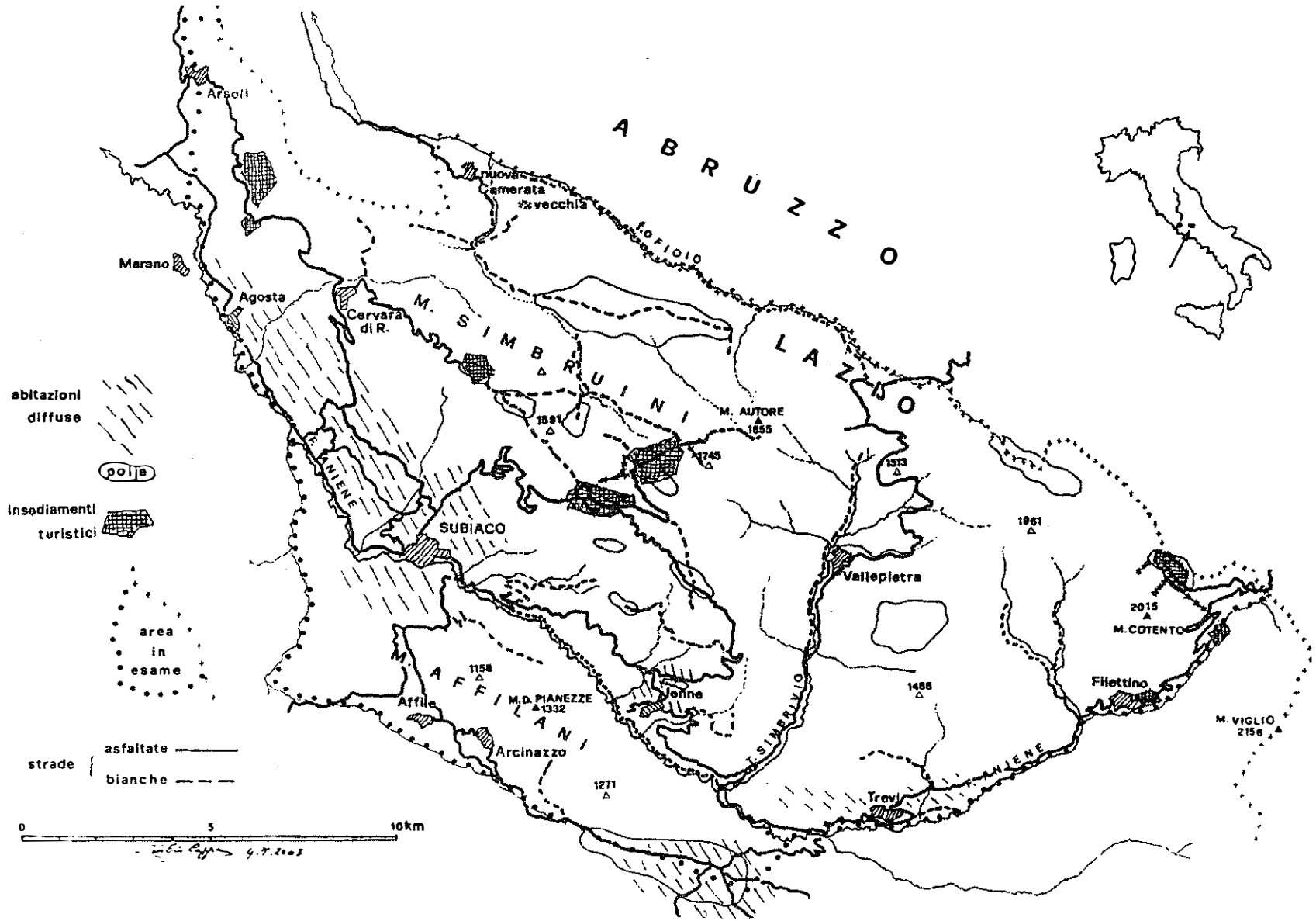


Fig. 4 - Le attività antropiche in atto.

Lo sfruttamento delle grandi risorse pedemontane

L'importanza dell'Aniene nell'antichità è testimoniata dall'origine mitologica del suo nome Anio, derivato da quello di un re etrusco che si tramanda vi fosse annegato inseguendo la figlia rapita da un nobile del luogo (ORLANDI, 2002, p. 13). Ma trova poi conferma nella menzione, da parte dello scrittore Aulo Cornelio Celso, dell'importanza della fonte *Simbruina* (la cui esatta posizione lungo il corso del fiume è tuttora sconosciuta) per le sue doti terapeutiche; tuttavia si nota (ORLANDI, 2002, p. 24-25) come Nerone, che pose la sua celebre villa a cavallo dell'Aniene sopra Subiaco, fosse cultore dei bagni in acque fredde curative.
Le risorgive all'estremità nord-occidentale del massiccio alimentarono nell'antichità i due grandi acquedotti *Aqua Marcia e Aqua Claudia.* Le acque provenienti dal complesso di sorgenti poste a monte di Subiaco consentivano, nell'antichità, al tratto superiore dell'Aniene di essere assai poco inquinato, tanto che permisero di deviarlo in buona parte nel terzo e più importante acquedotto imperiale: l'*Anio novus.*
Nel complesso, questi tre acquedotti rifornivano Roma di oltre il 50% (6700 l/s) del suo fabbisogno. Dopo la caduta dell'Impero Romano essi andarono progressivamente fuori uso; nel XIII secolo non ne restava più alcun ricordo e solo nel 1870 Papa Pio IX riuscì a riattivare l'afflusso a Roma, con un nuovo condotto, che prese il nome di "Acqua Pia Antica Marcia".
Attualmente non si preleva più, per uso idropotabile, l'acqua dal fiume ma le sorgenti della Marcia e dintorni sono sfruttate al massimo; anche le sorgenti più a monte di Subiaco, una dopo l'altra, vengono incanalate per alimentare l'acquedotto del Simbrivio (che rifornisce numerosi centri urbani del Lazio meridionale) e quello di Subiaco.
Completamente scomparsa è oggi l'utilizzazione delle acque fluviali come forza motrice, fiorente invece nel Medio Evo e nell'Era moderna fino alla metà del secolo scorso: mole granarie ed olearie lungo tutti i percorsi, numerose industrie a Subiaco (tra cui una importante cartiera) che l'avevano resa città florida. Un interessante studio sull'area industriale di Subiaco è recentemente apparso (APPODIA, 1996) e le antiche mole idrauliche sono state oggetto di vari studi (v. ad es. MEZZETTI, 1993) ma sono tuttora in corso, da parte degli scriventi, alcune indagini su una mola molto antica che potrà rivelare qualche sorpresa.
L'energia elettrica ha soppiantato ormai quella idrica che però è incanalata, dalla metà del XX secolo, in una collana di dighe, condotti sotterranei e centrali idroelettriche tra Filettino e Subiaco. Il F. Aniene ed il suo affluente T. Simbrivio ne sono rimasti così depauperati da destare vive preoccupazioni (e creare tensioni sociali), non solo per la tutela della fauna ittica ma anche per la carenza di acqua per scopo irriguo nei tratti coltivati dei fondovalle, uniche aree dove ancora sopravvive l'agricoltura.

L'utilizzazione delle scarse risorse alle quote superiori: le piccole sorgenti; i "volubri"

Come in tutte le montagne carsiche, le sorgenti alle quote superiori sono scarse; molte di esse da secoli sono state incanalate per rifornire fontane e vasche, destinate in prevalenza all'abbeveraggio del bestiame; oggi le mandrie di bovini ed equini sono lasciate allo stato brado e le fontane sono soggette ad un deturpamento e degrado molto rapidi.
Alle quote più elevate (1200-1500m) le sorgenti sono praticamente assenti ed all'abbeveraggio provvedono ampi "volubri" (vasche tondeggianti di qualche decina di metri di diametro, poco profonde) alimentati dalle piogge, nevi e forse piccole infiltrazioni locali; alcuni sono stati realizzati impermeabilizzando con argilla il fondo di depressioni carsiche, altri (moderni) costruiti con sbarramenti artificiali, arrivando a rivestire di cemento anche il fondo degli invasi. Nel complesso si ha l'impressione che nei mesi più aridi il bestiame (sempre più numeroso) disponga di risorse idriche inadeguate.

Il problema dei "pozzi a neve"

Localmente si è persa la memoria dell'utilizzo di particolari cavità per l'accumulo di neve destinata, una volta trasformatasi per compressione in ghiaccio, a rifornirne i centri abitati. Però restano numerosi, sulle carte topografiche, i toponimi "Pozzo della Neve", "Pozzo del Gelo", che corrispondono a depressioni profonde o vere e proprie grotte dove, a causa dell'assenza di circolazione d'aria (quasi invece ubiquitaria nelle cavità che, sia pure per vie impenetrabili, si prolungano verso il basso) era possibile conservare il ghiaccio fino ad estate inoltrata.
Non abbiamo trovato cavità artificiali create per tale funzione, molto diffuse invece nei paesi del Nord; solo un piccolo pozzo di circa 1,5m di diametro e profondo meno di 4m, interamente foderato con muratura di pietre a secco, posto in località "Le Cammore" (Subiaco), troverebbe nell'uso nivale una giustificazione: infatti è posto sul bordo di un fosso ripido, in posizione abbastanza sopraelevata da non poter aver mai funzionato come pozzo per l'acqua.

I DANNI DERIVABILI DALLE ATTIVITÀ ANTROPICHE RECENTI ALL'AMBIENTE CARSICO (v. Fig. 4)

Gli insediamenti abitativi diffusi nelle aree coltivabili

Fino a cinquant'anni fa gli insediamenti abitativi erano molto concentrati, non solo per eredità degli arroccamenti fortificati del Medio Evo, ma anche per l'assenza di mezzi di trasporto motorizzati; la diffusione di questi ultimi e la creazione di una sempre più capillare rete stradale ha cambiato completamente l'aspetto degli abitati.
Prima le colture erano limitate ad un raggio di un paio d'ore di cammino a piedi dalle abitazioni, oggi non v'è più limitazione ma, soprattutto, sono le abitazioni che, nei luoghi più soleggiati ed accoglienti, si sono diffuse: nelle aree pianeggianti, come tutti sappiamo, tendono ad occupare uniformemente tutto il territorio.
Negli ambienti montani questa tendenza è potenzialmente foriera di gravi dissesti per lo stravolgimento delle linee di deflusso delle acque meteoriche e i tagli sconsiderati dei pendii, richiesti per il tracciamento delle strade e delle fondazioni edili. Inoltre le acque reflue, non raccolte da reti fognarie di sempre più difficile e costosa realizzazione, percolando nelle formazioni carsificate sono causa di inquinamenti delle sorgenti.
Nel complesso, nell'area in esame questo problema non appare ancora preoccupante: le zone di sviluppo abitativo di questo tipo si concentrano nel fondovalle dell'Aniene ed in una linea di terrazzi ad esso sopraelevata di 100-200m, a valle di Subiaco e nei pressi di Trevi nel Lazio.

Gli insediamenti abitativi turistici

Lo sviluppo del turismo, nel massiccio Simbruino-Affilano si concentra, con funzione di soggiorno montano estivo e sciistico invernale, in altopiani profondamente carsificati: due nei Monti Simbruini, Livata-Campo dell'Osso e Campo Staffi, ed uno al margine degli Affilani, l'altopiano d'Arcinazzo.
L'interazione col carsismo vi è grave e reciproca: intere formazioni naturali di doline e campi carsici cancellate, gravi rischi di inquinamento delle acque percolanti ma anche pericoli nascosti per i nuovi residenti; come avevamo già constatato studiando i fenomeni carsici dei Monti Lepini, le aree pianeggianti risultano coperte da spessori metrici di cineriti vulcaniche che bloccarono lo sviluppo ipogeo del carsismo decine di migliaia d'anni fa ma sono in progressiva asportazione; di conseguenza si assiste all'improvviso sprofondamento di doline o inghiottitoi (PROCACCIANTI & al., 2003) che, anche quando non minacciano direttamente la stabilità degli edifici, costituiscono grave pericolo per i turisti.

La viabilità moderna turistica, forestale e legata alla pastorizia

Fino agli anni '30 del secolo XX il massiccio montuoso non era percorso da strade carrozzabili; l'unica si arrestava nel fondovalle a Subiaco. Per collegare gli altri centri urbani fu necessario costruire strade a mezza costa, con grandi opere: taglio di pareti rocciose, gallerie, ponti, lavori che si completarono solo all'inizio della seconda metà del XX secolo. Lo sviluppo del turismo ebbe inizio negli anni '50 con la costruzione di strade che conducevano agli altopiani e continuò ad evolversi fino agli anni '80, quando la nascente sensibilità ecologica impose un freno agli insediamenti selvaggi. Ma le principali strade di penetrazione ormai costruite stimolarono la realizzazione di vie forestali a fondo bianco che ormai raggiungono quasi ogni luogo, sostenute anche dall'interesse degli allevatori di bestiame che così non si trovano più costretti a rimanere per mesi negli alpeggi ma possono comodamente raggiungere ogni sera, con robusti fuoristrada, le proprie mandrie per accudirle; il transito di questi veicoli, che spesso sono costretti a modificare il percorso a causa del dissesto dei tracciati originari divenuti impraticabili, porta alla devastazione del suolo su estensioni notevoli ed innesca fenomeni erosivi prima inesistenti. Si nota infatti che, al di fuori delle strade asfaltate, manca qualsiasi forma di manutenzione dei percorsi viari minori.

GLI EFFETTI BENEFICI DELLA COSTITUZIONE DELL'ENTE PARCO DEI MONTI SIMBRUINI

Il Parco Naturale Regionale dei Monti Simbruini fu costituito a seguito della L.R. n. 8 del 29.1.1983 ma si realizza praticamente in un Piano di Assetto del 7.7.1989 e diviene operativo negli anni '90, pubblicato nel 1992 (CANNATA, 1992).

Il controllo degli insediamenti turistici

Il citato Piano di Assetto porta la precisa delimitazione di tutti gli abitati e degli insediamenti turistici in quota: per questi ultimi ogni ulteriore espansione è stata pertanto bloccata, fatta eccezione per alcune concessioni di tracciamento di impianti sciistici (ski-lift e piste di discesa). In questi ultimi anni si assiste ad una progressiva riduzione delle precipitazioni nevose e, conseguentemente, questo tipo di espansione è molto limitato. La mancanza di una quantità d'acqua sorgiva adeguata agli insediamenti in quota ne limita lo sviluppo per l'alto costo dei rifornimenti (finora mediante autobotti, ma anche un eventuale acquedotto allacciato a quelli di fondovalle, con dislivelli di oltre 1000m, non ridurrebbe sensibilmente i costi). Il rispetto dei fenomeni carsici da parte dei nuovi residenti in tali zone è molto scarso e la sua evoluzione, quando si creano improvvisi dissesti (PROCACCIANTI & al., 2003) desta allarmismo e proposte irrazionali d'intervento.

La corretta gestione del patrimonio forestale

Il malvezzo di riforestazioni con essenze estranee e non spontanee è cessato da anni; le foreste sono ora vincolate ma, recentemente, si è assistito ad autorizzazioni di taglio che, benché svolto sotto controllo della Forestale, viene affidato ad imprese che lo eseguono con mezzi meccanizzati aventi un impatto piuttosto devastante sui suoli.

La promozione degli studi naturalistici

L'Ente Parco promuove ricerche e studi sulla fauna e flora del Parco; finora praticamente assente la promozione di ricerche e pubblicazioni sui fenomeni carsici.
Da un anno circa i Parchi naturali del Lazio sono stati commissariati e tutte le iniziative hanno subito intralci, anche a causa della contrazione delle risorse economiche.

IL CONTRIBUTO ALLE CONOSCENZE DEI FENOMENI CARSICI IPOGEI ED EPIGEI APPORTATO DALLO SHAKA ZULU CLUB SUBIACO ED I SUOI RIFLESSI, NEI RAPPORTI CON IL PARCO E L'ASSESSORATO AMBIENTE DELLA REGIONE, SULLE INIZIATIVE DI TUTELA DELL'AMBIENTE CARSICO

Fin dalla sua origine il Gruppo, che ha sede a Subiaco, ha svolto gran parte della sua attività nell'ambito dell'area oggetto della presente relazione. Di essa sono testimonianza le sette pubblicazioni riportate in Bibliografia.
Due assai modesti finanziamenti concessi dall'Assessorato Ambiente della Regione Lazio, in base alla legge L. R. 1.09.1999 n. 20 nell'ambito dei contributi alle attività della Federazione Speleologica del Lazio, hanno favorito lo svolgimento di ricerche più sistematiche, che hanno condotto alla presentazione di ulteriori sei lavori al Convegno di Speleologia del Lazio tenuto a Trevi nell'ottobre 2002, quattro dei quali sono pure indicati in Bibliografia, col simbolo (*); inoltre a maggio 2003 lo Shaka Zulu Club ha trasmesso all'Assessorato Ambiente della Regione Lazio due complete relazioni elencanti 80 nuove cavità reperite e in buona parte già esplorate, unitamente all'approntamento di una carta in scala 1:50'000 riportante oltre ad esse la posizione di 69 cavità già inserite a Catasto, delle quali è stata accuratamente controllata con GPS e opportune poligonali l'esatta posizione. Le figure allegate a questa relazione sono state rese possibili da tali studi e ne costituiscono una implementazione.
Lo Shaka Zulu Club prosegue nell'attività di ricerca di nuove cavità e di cartografia, sia degli interni che delle posizioni sulle carte al 25'000 e continuerà a svolgerla indipendentemente dal fatto di poter conseguire nuovi contributi economici da parte della Regione Lazio e dell'Ente Parco, per altro essenziali all'atto della traduzione dei risultati in pubblicazioni di testi e cartografie.

LE BRUTTE SORPRESE PER I TURISTI CHE CONTANO DI ABITARE IN UN INSEDIAMENTO IN AREA CARSICA

Nel paragrafo "Gli insediamenti abitativi turistici" abbiamo accennato al meccanismo che determina una rapida evoluzione dell'ambiente carsico nelle aree, come la maggior parte dei massicci carsici del Lazio centro-meridionale, che durante il vulcanesimo laziale pleistocenico sono state ricoperte da coltri cineritiche. Ritornando sui Monti Simbruini anche questa estate abbiamo constatato che le nuove sorprese non mancano mai e vorremmo perciò sottolineare il problema in questo riquadro.
Al margine orientale dell'insediamento del Livata, sopra Subiaco, ai primi di settembre 2002 si è aperta improvvisamente una voragine impressionante: profonda oltre 25m, con misure in pianta di circa 7x10 metri, ha inghiottito d'un botto quasi 1000 metri cubi di terreno e roccia. In base al nome antico della località è stata chiamata il "Pozzo dei Monaci". Da allora l'abbiamo tenuta sotto osservazione tutti i mesi: continua a ingrandirsi e la Foto 1 mostra la situazione pochi giorni dopo il collasso della voragine. Nell'ottobre 2002 si scese al suo interno attraverso un pozzo parallelo che inizia con un meandro sboccante in un cunicolo, a qualche metro dalla voragine; fu accuratamente topografata e fotografata.
Tornati un mese circa più tardi, si constatò che all'interno proseguivano i crolli e fu quasi per miracolo che non se ne subì le conseguenze; si accertò che al fondo una continua subsidenza consentiva la sparizione di tutto il materiale di crollo: la profondità non diminuiva.
La voragine si è aperta in un bel prato piano, dove d'estate giocano i bambini, e si trova solo a qualche decina di metri da un grosso condominio. Gli operai del Comune provvidero subito a recintarla e recentemente la protezione è stata ampliata e potenziata, vista la sua evoluzione.
La Foto 1 fa capire quale fosse diventata la preoccupazione degli abitanti del condominio che si distingue bene subito al di là della voragine.
Le dimensioni del vuoto sotterraneo che si è creato (oggi già ben oltre i 1000 mc) e la sua continua progressione impediscono per ora di occluderlo; la complessità della sua forma non ci permette di sapere se la vicina costruzione possa venirne in futuro coinvolta; la profondità della cavità carsica e la presenza di diramazioni non consentono di intervenire con opere di consolidamento, quali le palificazioni che, per le loro dimensioni, sarebbero comunque spaventosamente costose.

Qualche chilometro più in alto, a Campo dell'Osso, in un bel prato piano è stato recentemente costruito un altare all'aperto, affiancato da un crocifisso e da una campanella, per permettere ai numerosi turisti di assistere alla messa domenicale. Ma, proprio nel mezzo del terreno dove i fedeli dovrebbero riunirsi, si sono già aperti due o tre piccoli inghiottitoi che sprofondano nel sedimento cineritico per poco più d'un metro: nulla di comparabile alla voragine di cui sopra, ma quanto basta per creare seri rischi, soprattutto per i bambini più piccoli.

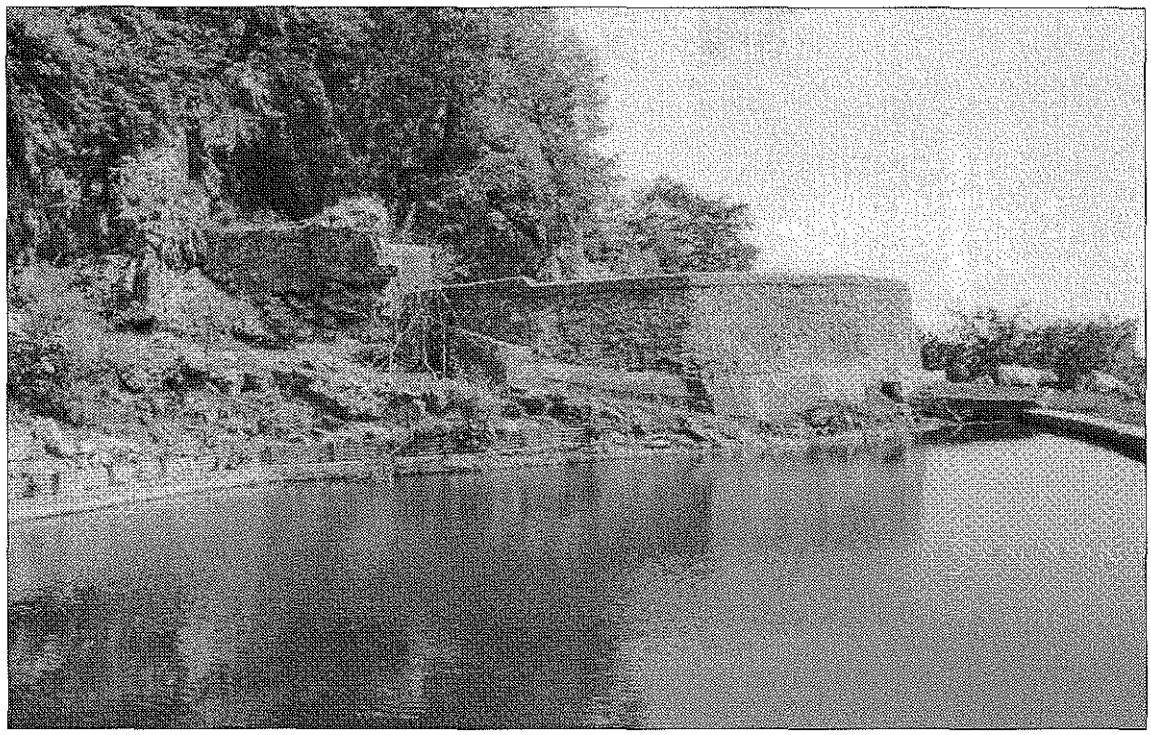
BIBLIOGRAFIA

- APPODIA SILVIO, (1996), *L'area industriale di Subiaco*, Ed. Kappa, Roma
- CANNATA GIOVANNI (a cura di), (1992), *Piano di Assetto del Parco Regionale dei Monti Simbruini*, C.N.R. Roma (in particolare i capitoli 2.2-2.3-2.6.6 e 4)
- CAPPA GIULIO, MECCHIA GIOVANNI, (1993), *Il Pertuso di Trevi*, Speleologia, n. 29, Milano, pp. 62-67
- CAPPA GIULIO, (1996), *I fenomeni carsici nella regione Lazio*, Notiziario - Speleo Club Roma, n. 12, pp. 10-13
- CAPPA EMANUELE, CAPPA GIULIO, FELICI ALBERTA, (1997), *In Appennino Centrale - Speleologia nei Monti Simbruini*, La Rivista C.A.I., 1997-6, Milano, pp. 73-77
- CAPPA EMANUELE, PROCACCIANTI ANGELO, MARIANO ELIA, (2003), *Le grotte del Fosso Semprevivo a Jenne (Roma)*, Atti II Conv. Spel. Lazio, Trevi nel Lazio 2002, pp. (*)
- CAPPA GIULIO, FELICI ALBERTA, CAPPA EMANUELE, (in print), *The effect of climatic changes on the evolution of the ancient underground emissaries of the lakes in region Latium (Italy)*, Colloque International "Dynamiques environnementales et histoire en domaines méditerranéens", Université de Paris-Sorbonne, 24-26.4.2002
- CARAFFA FILIPPO, (1969), *Vallepietra, dalle origini alla fine del secolo XIX*, Lateranum, nova series, anno XXXV, Roma, pp. 257-253 (Santuario SS. Trinità a Vallepietra)
- CAROSI GABRIELE PAOLO, (1987), *I Monasteri di Subiaco*, Ed. Monastero di S. Scolastica, Subiaco
- DE ANGELIS D'OSSAT GIOACCHINO, (1897), *L'alta valle dell'Aniene. Studio geologico-geografico*, Mem. Soc. Geogr. Ital., VII, pp. 191-265
- FELICI ALBERTA, CAPPA GIULIO, (1989), *Le Grotte Santuario del Lazio (Parte II)*, Notiziario - Speleo Club Roma, n. 9, p. 27 (Monti Simbruini: Grotte di S. Chelidonia e Inferiore di S. Matteo)
- FELICI ALBERTA, CAPPA GIULIO, (1993), *I Santuari Rupestri del Lazio: loro funzione, origine ed evoluzione, dal tardo Impero all'epoca Moderna*, Atti Simp. Internaz. sulla Protostoria della Speleologia, Città di Castello 1991, pp. 233-246
- FELICI ALBERTA, CAPPA GIULIO, (2003), *Indagine preliminare sulle grotte e sorgenti nei banchi di travertino lungo l'Aniene, da Subiaco a Comunacque*, Atti II Conv. Spel. Lazio, Trevi nel Lazio 2002, pp. (*)
- FELICI ALBERTA, CAPPA GIULIO, (2003), *Tracce di insediamenti umani in grotte dei comuni di Subiaco e Jenne (Roma)*, Atti II Conv. Spel. Lazio, Trevi nel Lazio 2002, pp. (*)
- MEZZETTI GINO, (1993), *La presenza delle antiche mole idrauliche che operavano nel bacino imbrifero dell'Aniene*, in "L'ANIENE - un fiume di luce", Tipogr. Mancini, Villanova di Guidonia, pp. 81-92
- MARIANO ELIA, POMPONI LUIGI, PROCACCIANTI ANGELO, CAPPA EMANUELE, (2000), *Cunicoli e antiche captazioni sotterranee a Subiaco*, Opera Ipogea, a. II, n. 1, Erga Ediz., Genova, pp. 29-36
- ORLANDI MARCELLO, (2002), *La Valle dell'Aniene nell'antichità*, pp. 13-38, in "ACTA - Celebrazioni Benedettine 1999-2001" a cura di Maria Antonietta Orlandi, Abbazia Territoriale di Subiaco
- PROCACCIANTI ANGELO, CAPPA EMANUELE, (1996), *L'Abisso "Nessuno" nei Monti Simbruini*, Speleologia, n. 34, Milano, pp. 50-56
- PROCACCIANTI ANGELO, MARIANO ELIA, FELICI ALBERTA, (2001), *La Grotta degli Animaletti (Lazio, Subiaco)*, Atti XVIII Congr. Naz. Speleol., Chiusa Pesio 1998, pp. 281-284
- PROCACCIANTI ANGELO, MARIANO ELIA, CAPPA EMANUELE, (2003), *Nuova voragine carsica al Livata (Subiaco), ovvero il Pozzo dei Monaci*, Atti II Conv. Spel. Lazio, Trevi nel Lazio 2002, pp. (*)
- SEGRE ALDO GIACOMO, (1948), *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*, Istituto di Geografia - Univ. di Roma, A, 7, pp. 34-44 e 48

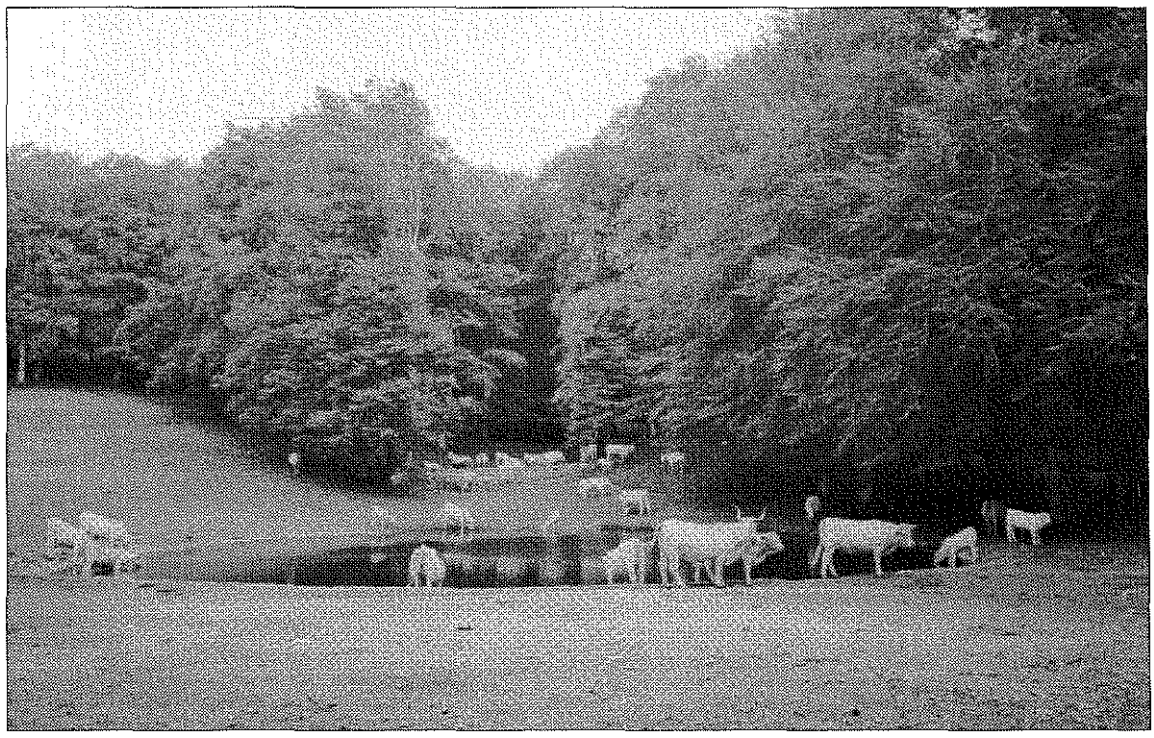
[(*) = in corso di stampa]

▲ Foto 1
Il Pozzo dei Monaci: in primo piano il meandro che conduce al pozzo collaterale, al di là si vede la recinzione della voragine e, sullo sfondo, il vicino condominio del Livata (Subiaco).

◀ Foto 2
Possente struttura muraria mediovale (o romana), posta in riva al F. Aniene in località Mola Vecchia (Jenne).



▲ Foto 3
Grande impianto di vasche e abbeveratoi a Fonte Canali (Jenne).



▲ Foto 4
Volubro dei Fondi di Jenne.

DALLA LINGUA ALL'IMPRESA

Claudio Camaglio

Associazione culturale "E kye"- Fontane di Frabosa Soprana - Cuneo
(Kyé significa Io, è dunque il pronome della prima persona singolare. Deriva dalla contrazione del latino QUID + EGO)

PREMESSA

La lettura di un paesaggio carsico antropizzato integrata con la tradizione orale, dalla lingua, considerata come lo strumento principe per la codificazione e la conservazione della memoria storica, alla cultura di impresa. Il tentativo di riscattare l'espressività creativa delle risorse umane per metterla a frutto, in modo da poter gradualmente sviluppare una nuova forma di imprenditorialità al servizio del nostro territorio e delle sue valenze, alcune esplicitate ed altre invece ancora latenti, antropiche certamente, ed anche naturali. l'illustrazione e la riflessione intorno a un documento che ha sostenuto la presentazione ufficiale della scrivente Associazione presso la Commissione Europea di Bruxelles, l'atto costitutivo che ha ispirato e governato le più recenti trasformazioni in alta valle, dalla valorizzazione della Grotta di Bossea all' Eco - Museo dedicato alla Civiltà del Castagno, dalla struttura di servizio all'integrazione del discorso etnografico all'interno di un vero e proprio sistema territoriale, fino ai più recenti sviluppi progettuali.
La presentazione insomma di quelle che possono essere considerate le fonti rinnovate e messe a fondamento di una concreta ipotesi di rinascimento non soltanto economico, ponendo essenzialmente a motore di sviluppo la cultura, ovverosia la consapevolezza della nostra identità.

PROLOGO

Nella prima metà degli anni '80 era in corso l'esperimento della gestione sussidiata, ma si aspettava da un momento all'altro la lettera ufficiale. Quella che avrebbe informato l'insegnante dell'ormai imminente soppressione della scuola elementare. Allorchè quella lettera arrivò, venne a segnare il malinconico tramonto di un'istituzione sorta alle Fontane nel lontano 1797, quando un gruppo di capifamiglia dell'alta valle si radunò nel salotto del parroco, portandovi le istanze di un tempo che cambiava: "Le cose vanno come vanno, occorre essere accorti, ormai, per noi sia come sia, ma è bene che i figli nostri imparino a leggere, a scrivere, e soprattutto a far di conto". Quell'appello non cadde nel vuoto, il parroco, solerte, prese la carta e la penna e vergò l'atto ufficiale. Negli archivi della Parrocchia se ne conserva ancora il testo, aulico e forbito, di elegante tessitura, con in calce la firma di quel Priore e di seguito una sfilza commovente di croci, poichè nessuno di quei padri di famiglia era in grado di tracciare il proprio nome. Certi però che per l'avvenire dei figli quella fosse la strada migliore, provvidero alle aule, tutte costruite ex novo, alla fornitura degli arredi e della legna per l'inverno, si tassarono per pagare anche i maestri e incaricarono il parroco di sorvegliare, per essere sicuri che quel "soldo" da spendere, fosse per davvero speso bene.
Si completava così un percorso di affrancamento cominciato quattro anni prima, quando a furor di popolo si ottenne una parrocchia indipendente, svincolata da quella di Corsaglia, un nuovo ente, che forse non per caso ricomprese sotto la sua giurisdizione tutte le borgate in cui si parlava allora e si parla ancora oggi il dialetto del Kyé, quasi un riconoscimento dell'identità linguistica, antelitteram e del tutto spontaneo.
Ma ritorniamo adesso a quei tristissimi anni '80, quando sembrava che davvero non dovesse restare più nulla, di una comunità che pure era stata tanto vitale e tanto ricca da poter investire massicciamente e senza battere ciglio sull'istruzione. Non poteva finire così. Quell' insegnante infatti radunò gli alunni dell'unica pluriclasse e diede loro i compiti per le vacanze: "Fate parlare i vostri nonni, intervistate i vostri genitori e i vicini di casa, raccogliete le storie della vita, la memoria dei luoghi, degli oggetti e dei mestieri, porterete tutto a scuola e il prossimo anno, che sarà anche l'ultimo, ci occuperemo soprattutto di noi."

Fu così dunque, che raccogliendo i frutti di un seme gettato ormai quasi due secoli addietro, e non dissimilmente da molti altri più o meno contemporanei anche per una sorta di reazione istintiva a quell'emarginazione che la modernità inevitabilmente comportava, fu così che nacque il futuro Museo Etnografico dell'Alta Val Corsaglia e delle Fontane. Allestendo una prima collezione eterogenea di attrezzi, giusto in un'aula dell'antica scuola, e depositandovi i testi delle ricerche e i pannelli illustrativi che gli stessi scolari avevano ideato. Sin dall'inizio si pose l'accento sulla parlata, senza la pretesa di chiarirne le fonti, l'etimologia dei termini o la mappa dei prestiti o dei calchi, semplicemente, attraverso l'enfatizzazione del lessico si volle suscitare e ribadire l'idea ed il senso di appartenenza ad un abito linguistico così particolare. Ma quel che più conta, e non sappiamo fino a che punto consapevolmente, si attivava in tal modo uno strumento destinato ad innescare un percorso formativo lento, ma costante, grazie al quale la semplice constatazione di una forma di espressione così evidentemente diversa si sarebbe consolidata nel tempo in una consapevolezza di tutt'altro tenore.

LE TERRE DEL KYE'

Il primo ad innalzare il vessillo linguistico, nel nome del quale il Museo sarebbe nato, il primo a rivendicarne il riconoscimento ufficiale fu Cesare Vinaj. Ingeniere nativo delle Fontane al quale non faceva certamente difetto la determinazione. Convinto a priori di essere nel giusto sollecitò per anni l'Università di Torino, nella persona di Corrado Grassi, allora docente dell'Ateneo ed illustre studioso della materia. Non sappiamo quante lettere partirono alla volta della sua cattedra, moltissime senz'altro, però ne conosciamo il tono e i contenuti, grazie ad un esemplare autografo ancora conservato: Il pressante invito a compiere uno studio sul terreno, un'indagine sul campo che avrebbe probabilmente aggiunto un nuovo e prezioso tassello nel mosaico delle lingue romanze, un mosaico sino ad allora non completamente ricostruito.
Alla fine tanta costanza venne premiata. Corrado Grassi scelse un gruppo di studenti prossimi alla tesi, se confermata poteva essere per loro un' occasione davvero ghiotta, preparò i questionari e li mandò sul posto, proprio alle Fontane, per verificare, secondo il metodo classico dell'intervista e della trascrizione. I risultati affluirono a Torino in breve tempo e nel 1969, durante un convegno organizzato a Lecce nell'ambito degli Studi Linguistici Salentini, l'accademico subalpino presentò l'esito dell'analisi che aveva condotto su quella ricerca: Non c'erano dubbi, la parlata del Kyé era una parlata di stampo Provenzale, diffusa in un dominio a se stante, una sorta di enclave, i confini della quale, almeno in parte, è possibile spiegare.
Cominciamo col dire che l'areale di diffusione comprende, da oriente ad occidente, le alte valli del Corsaglia, del Maudagna e dell'Ellero. La mancata diffusione verso il piano è dipesa dal fatto che in nessuno dei distretti nominati sono mai esistiti centri di fondovalle che potessero esercitare una effettiva attrazione sulle comunità arroccate, tenendo presente che in termini di geografia linguistica l'incremento della quota si accompagna sempre al deciso accentuamento delle tendenze conservative.
Ad occidente il confine è rappresentato dalla Valle del Pesio, piemontesizzata, a seguito dei traffici da e verso la pianura piemontese. Traffici indotti dall'insediamento di quella che fu già una potentissima certosa. La cesura del Pesio, se così la possiamo chiamare, ha comportato di fatto la rottura della continuità linguistica con le altre valli provenzali del cuneese, cominciando da quella del Vermenagna, una circostanza che senza dubbio ha avuto anche il suo peso nel riconoscimento piuttosto tardivo del Kyé, visto che nell'oltre Pesio erano già legittimati ed attivi sin dai primi anni '50 importanti centri di studio e valorizzazione linguistica, prima fra tutti L'Escolo dou Po.
Decisamente più arduo spiegare il limite orientale, costituito dall'asta del torrente Corsaglia, riconosciuto proprio come l'estremo confine a levante delle Terre d'OC . Le due rive hanno una veste diversa, provenzale l'una e l'altra piemontese, pur non essendo di certo un torrente alpino uno sbarramento invalicabile. Tra le possibili spiegazioni quella già citata dal Michelis nella sua Storia della città di Mondovì, con la scansione linguistica che potrebbe in qualche modo ricalcare la spartizione del territorio fra le diverse tribù dei Liguri Antichi, ribadendo in qualche modo un assetto antecedente la romanizzazione.

A sud la chiostra dei monti, che non è mai stata attraversata, nemmeno in epoca moderna da importanti vie di comunicazione. Anche questo ha inciso senza dubbio sulla conservazione, ma le stessa storia delle lingue rivela un punto molto importante: Le montagne sono state da sempre crocevia di scambi e di contatti, circolavano uomini, idee, merci, idiomi, magari destinati ad impiantarsi e così via; nonostante tutto cd al di la dell' esistenza o meno di importanti assi commerciali.
Si tratta di un punto fondamentale, perché non è possibile comprendere la civiltà alpina senza abbandonare l'accezione contemporanea di una montagna che isola e divide, conseguenza questa dei trattati che decisero di porre i confini e le barriere fra gli stati sui crinali. Infatti sotto il dominio romano le frontiere correvano allo sbocco delle valli, sia da una parte che dall'altra, c tra i due versanti, cisalpino e transalpino, come si diceva, uomini, donne, merci, lingue ed idee erano liberissime di muoversi, di prendere un sentiero e di passare.
A dimostrazione di quanto questa sia una verità storicamente incontrovertibile, ci sono ancora in valle alcuni preziosi esempi: Uomini e Donne per l' appunto, persone, che a seguito della loro vita di migranti stagionali sono capaci di esprimersi correntemente nelle forme del Kyé, la loro lingua madre, del Piemontese, del Ligure, dell'Ormeasco ed ovviamente nelle forme di quell'italiano che a suo tempo appresero a scuola.

NEMO PROFETA IN PATRIA

Cesare Vinay ottenne dunque soddisfazione, vide premiate le proprie inossidabili certezze, ma dovette in cuor suo accettare il fatto, e di certo non fu senza amarezza, che i tempi ancora non fossero maturi. Soffiava impetuoso il vento della modernità e se da un lato la sua statura morale gli assicurava un incrollabile rispetto, dall' altro furono davvero troppo pochi, coloro che prestarono la dovuta attenzione al suo messaggio: Il passato si poteva conciliare col progresso, avremo sempre bisogno tutti quanti della nostra memoria, perchè per sapere chi siamo dobbiamo assolutamente sapere chi siamo stati, e senza sapere chi siamo, non sapremo mai quale rotta discernere e solcare, non avremo di fronte un futuro da tracciare.
Il porre l'accento sulla distinzione linguistica era soltanto una scelta strategica, di fronte all'emarginazione era un modo per indurre nei cuori la consapevolezza e soprattutto l'orgoglio di una propria identità, e se oggi nessuno opporrebbe la minima obiezione al suo pensiero, allora, e per oltre un decennio, quel burbero gentiluomo d'antan, tenacemente fiero delle proprie radici e che si piccava ovunque di esprimersi in dialetto, sembrò egli stesso il patetico relitto di una stagione ormai lontana, da lasciarsi per sempre alle spalle, da costringere al silenzio, perché giudicata acriticamente e senza appello come una stagione oscurantista e retriva.
L'abbandono aveva ormai profondamente liso il tessuto sociale, il mantenimento di un minimo di servizi stava diventando l'oggetto di una lotta estenuante, pressochè quotidiana, la prospettiva sempre più certa della chiusura della scuola non dispose di certo i pensieri alla speranza, ma proprio in quel frangente, e come già sappiamo, sorse il primo dei segnali di un possibile riscatto. La stessa istituzione scolastica d'altronde faceva ammenda delle proprie responsabilità tutt'altro che lievi e se il museo nacque come reazione istintiva, raccogliendo oggetti e testimonianze che la modernità aveva ormai messo ai margini del mondo e della vita, contemporaneamente, aleggiando ancora l'alta figura del serioso ingeniere parve del tutto naturale dedicargli la nuova istituzione.
Tornavano d'attualità il suo esempio e le sue parole, riemerse il documento del Grassi, si guardò con un occhio più attento a tutta quanta la nostra tradizione e per raccoglierla, per salvaguardarla e per studiarla, per comprenderla a fondo e per valorizzarla, ancora una volta nel nome della lingua, si fece appello al sodalizio dell'Associazione Culturale del Kyé.
Fondata poco tempo prima grazie alla lungimiranza di un parroco, mosse i suoi primi passi come una sorta di piccola pro loco, pur disponendo già nel suo statuto di tutti quegli articoli che l'avrebbero chiamata ben presto a tutt'altra responsabilità.
Fu però chiaro sin dall'inizio che un irriducibile imbarazzo ne impantanava i passi.

La credibilità e l' affidabilità infatti, il riconoscimento di una legittimità interlocutoria nei confronti delle Pubbliche Amministrazioni, la capacità di espressione e di rinnovamento progettuale e così via, apparivano altrettante irrinunciabili conquiste, ambite e futuribili senz'altro, ma soltanto a patto che ci si scrollasse definitivamente di dosso il convincimento dell' inferiorità, di quell'atavica fatale e millantata subordinazione intellettuale e culturale, l'abisso retrivo e oscurantista, dal quale, i facitori del progresso avevano magnanimamente cercato di trarre il buon selvaggio, che era per l'appunto il valligiano.
Salvo rarissime eccezioni tutti coloro che per ruolo e funzione si trovarono ad indossare i paludamenti dell'autorità costituita coltivarono e promossero questo atteggiamento, probabilmente il primo e la fonte stessa di tutti gli altri mali, una sorta di sottile veleno che di generazione in generazione le coscienze dovettero assorbire. I costi saranno altissimi, si pagheranno ancora di recente, ed anche in termini di vite umane. Tutti sanno, per fare un caso, delle recenti alluvioni che hanno squassato le nostre montagne con frequenza impressionante e rovinando poi sulla pianura, per evitare simili disastri o quanto meno per contenerne i danni, si invocarono e si invocano tutt'ora come straordinari ed urgenti gli interventi preventivi, ma forse non tutti sanno che lo sgombero dei letti dei torrenti, il consolidamento degli argini, la pulizia dei boschi, la stabilizzazione dei pendii a mezzo dei terrazzamenti, e questi sono soltanto alcuni esempi, costituivano un tempo mansioni di routine, impegni di ordinaria amministrazione, per così dire, affinchè sul territorio fossero garantiti in sicurezza l'inserimento prima e la sussistenza poi. Sarebbe dunque bastato creare le condizioni adatte perché il presidio degli uomini sui monti permanesse, ma questo non poteva accadere, se non dischiudendo ai montanari la consapevolezza della loro identità, la coscienza orgogliosa, di vedersi riconosciuta e rispettata una propria dignità.

LE TAPPE DI UN'EVOLUZIONE

In rapidissima sequenza abbiamo sinora riscoperto le mete di un cammino secolare, una sorta di volo senza soste ci ha condotto dall'ultimo scorcio del diciottesimo secolo all'alba del terzo millennio, riprenderemo il nostro viaggio, ma per adesso riassumiamone un attimo gli snodi principali:

1793 Viene istituita alle Fontane la Parrocchia indipendente di San Bartolomeo. Tranne un singolo caso per il quale probabilmente la scelta della giurisdizione di appartenenza dipese da evidenti convenienze logistiche, il nuovo ente, travalicando i confini amministrativi raggruppa tutte le borgate in cui si parlava e si parla il dialetto del Kyé, o per lo meno sembra essere proprio la sua dominanza il criterio formativo.

1797 In seno alla parrocchia viene istituita la scuola.

1969 Riconoscimento della matrice provenzale del kyé, la parlata della valle entra a questo punto ufficialmente nella grande famiglia delle lingue d'OC.

1980-1985 Chiude la scuola delle Fontane, lasciando in retaggio al paese il suo museo. Mai si era interessata a fondo della realtà locale, basti pensare che la storia del villaggio veniva frettolosamente riassunta in pochissime battute, collocandone la fondazione alla fine del 1600, in concomitanza con le guerre del sale: Un gruppo di "esecrabili" ribelli aveva osato sfidare l'autorità costituita dei Duchi di Savoia, per questo, provenienti dai comuni della collina e del basso Monregalese, per sfuggire alla repressione Sabauda, cercarono scampo sulle nostre montagne. Tutto qui, senza preoccuparsi affatto che i loro eredi parlassero una lingua diversa da quella in uso nelle supposte comunità di origine, e senza preoccuparsi nemmeno del fatto che coltivassero altri costumi.
Viene quasi da pensare che il messaggio fosse questo: "Voi che vi atteggiate a montanari in effetti non lo siete, guardate a valle e nessun ripensamento verrà mai suscitato, in vista di un ritorno, in seno alla grande pianura natia, che sarebbe soltanto un ritornare a casa"

Sappiamo tutti che non si trattò di una responsabilità univoca, sappiamo bene, che nel dilagare di un esodo biblico intervennero spinte diverse e molte e diverse variabili complesse, ma è legittimo chiedersi come sarebbero andate le cose, se l'insegnamento impartito fosse stato di tutt'altro tenore.
In ogni caso le stesse vittime di questa sorta di plagio, perpetuato del resto sin quasi ai giorni nostri, davano modo di intendere che in qualche maniera e di una qualche stortura se ne fossero accorti, e per sanzionarla ricorsero sempre ad un'unica arma, la sola che fosse disponibile per loro, ovvero il fioretto appuntito di una sapida ironia. Infatti se da un lato si proclamava solennemente che su certe questioni partoriva più asini la scuola di quanti lasciassero gli alpeggi ad ogni fine stagione, dall'altro si raccontava di quel giovanotto di belle speranze, mandato a studiare in un collegio di preti.
Tornava al paese soltanto nelle feste comandate, se ne avanzava tronfio di nozioni, ogni volta se possibile ancora più saccente, dando ad intendere di non capire più la lingua dei suoi padri, tutto compreso ormai nel suo italiano aulico ed oscuro. Ma un giorno gli accadde di passare per l'aia davanti al seccatoio, dove c'era un rastrello posato dorso a terra ed appoggiato al muro. Non se ne avvide, mise un piede sui denti e l'arnese scattò, assestandogli col manico uno schianto sulla fronte, uno di quei colpi che ti possono stordire. Chi assistette alla scena raccontò dei vituperi, di un'impressionante tempesta, di bestemmie e di anatemi, lanciati a quel povero rastrello, ma tutti, senza eccezioni, nella più verace, sanguigna ed arroventata cadenza del Kyé.

1982 Col primo di gennaio diventa operativa l' Associazione Culturale del Kyé, successivamente le verrà conferita la cura del nascente Museo, inizia così un cammino di lunga e sofferta riflessione e nella medesima incertezza dovette senz'altro dibattersi quel mandriano distratto di antica memoria, colui che tentò di chiudere l'uscio della stalla, una volta fuggiti quasi tutti i suoi buoi.

Ad ogni modo videro la luce le prime concrete iniziative. Un entusiasmo gracile, ma rinnovato, consentì di dare alle stampe i quaderni monotematici, con la materia etnografica che cominciava ad essere divulgata e a farsi oggetto di approfondimento e narrazione, a piccoli passi si affrontò la strada della pubblicistica, destinata a produrre per fortuna confortanti riscontri e soprattutto vennero ripresi l'edizione e la stampa del vecchio bollettino parrocchiale, destinato a diventare in breve tempo uno strumento essenziale, capace di riannodare le fila di una comunità che la diaspora aveva ormai disperso ovunque.
Ancora oggi la media si mantiene sugli ottocento invii, tre volte all'anno, e attraverso questo canale che tornava a connettere e informare, si alimentò la dotazione stessa del museo, conferimenti spontanei giunsero da più parti ad arricchire ed integrare la collezione originaria, fu necessario attrezzare nuovi spazi per un allestimento tematico che si avviava ad illustrare pressochè l'intera gamma, di tutte le trascorse attività.
Tutti gli ambiti espressivi dell' "Homo Faber" godettero insomma e ben presto di un proprio respiro e del dovuto decoro, dal Carbonaio al Mulattiere, dal Malgaro al Falciatore, dalla Filatrice alla Castagnera, con uno sguardo trasversale che si faceva via via sempre più attento, sui miti e sui riti, sul significato e sui significanti, anche del semplice condursi nell'uso quotidiano.
A questo punto il Museo Etnografico poteva ben dirsi fatto, illustrava con sufficiente dovizia la cultura materiale e rivalutava contestualmente la lingua d'espressione, nato da una spinta istintiva ed emozionale rivelava ancora il suo carattere genuinamente spontaneo, ma la sua stessa esistenza consentiva di dimostrare innanzitutto a noi stessi che una subalternità intesa come privazione di potere non significava affatto affermare che la nostra realtà di appartenenza fosse stata sempre interamente passiva, cioè, dal punto di vista intellettuale assolutamente inerte ed improduttiva; e nel quadro di un'istituzione che ormai poteva ben dirsi lo specchio della comunità che l' aveva espressa, e nel quale la comunità stessa poteva riflettersi e scoprire finalmente le proprie origini e la propria cultura, restava da mettere a fuoco fino in fondo una corrispondente identità, quanto ci avrebbe finalmente permesso di affrontare i problemi del nostro avvenire.

LA VOCAZIONE AL DINAMISMO

Tutto ciò non sarebbe potuto accadere sino a quando, per dirla con Umberto Eco, il Museo fosse rimasto sostanzialmente un ricettacolo di oggetti spolverati e restaurati, lindo e curato fin che si vuole, ma pur sempre un sepolcro, una tomba di oggetti morti e imbalsamati, inseriti in contesto espositivo che per quanto lo si perfezionasse restava per molti di essi un contesto del tutto inappagante in quanto innaturale. Si pensò allora di isolare una delle sezioni più rappresentative e colme di significato, la dotazione ispirata al castagno, dedicata all'intreccio così complesso e ricco fra coltura e cultura, si pensò di trasferirla pari pari, restituendo gli oggetti all'esatta temperie ambientale in cui erano stati progettati, costruiti ed impiegati. Il problema non fu tanto quello di risolvere le questioni burocratiche che avrebbero dovuto regolare l'accesso ai fondi ed agli appezzamenti, il vero problema, una volta individuato il bosco più adatto allo scopo, fu quello di liberarne le rotte e gli orizzonti, liberarli dal sedime di rovine, di rovi e di detriti, accumulatisi in decenni d'incuria e di abbandono.
Cogliendo al volo un'iniziativa della Comunità Montana Valli Monregalesi ci candidammo ad ospitare la sezione eco - museale di un percorso diffuso dedicato alla civiltà del castagno e mentre l'iter progettuale metteva a fuoco gli interventi di restauro dei seccatoi e di pulizia dei terreni, la riflessione intorno al tema ed ai suoi possibili sviluppi, ma anche l'osservazione diretta dei risultati ottenuti nell'avanzamento dei lavori ci condussero a quella che possiamo considerare la nostra più grande conquista. Per capirne meglio il senso partiamo un'altra volta dalla lingua e dal significato corrente di una semplice parola, la parola DESERTO. Per noi non indica il classico luogo sabbioso o pieno di roccie e privo, o quasi del tutto privo di vita, la parola deserto per noi della valle significa altre cose: Una casa crollata, ad esempio, un sentiero diventato impercorribile, un campo pieno di ortiche, una sorgente colmata dal fango, un bosco ormai pieno di rovi, questo, è il deserto, ovvero la mancanza dell'ordine, il caos che trionfa e che ti intralcia il passo, quel disordine che segna la tua sconfitta di uomo lavoratore e costruttore, in quanto agente discriminatorio fra il caos primigenio ed il disegno luminoso e perfetto dell'ordine successivo.
In altri termini ci rendemmo conto di quanto fosse vero il postulato dell'architetto americano Kewin Linch, secondo il quale soltanto un'immagine ambientale idonea restituisce a chi ne sia in possesso la sicurezza emotiva. Fu chiaro a questo punto quale fosse la nostra identità più profonda e più vera: Quella di Giardinieri della Montagna, venivamo da generazioni di uomini e di donne che per le vicende della storia si erano trovati a parlare in un modo così particolare, ma che soprattutto e di fatto avevano speso le loro vite in un'autentica missione, trasformare una valle, per poi mantenerla e condurla nelle forme e nei tratti di un mutevole estessissimo giardino. Il codice linguistico dal canto suo ci consentiva di raccogliere testimonianze, consigli, tradizioni orali e non soltanto, ci permetteva di penetrare questo corpus, per coglierne i significati anche più reconditi, ci consentiva di far emergere per così dire la filosofia di fondo, le norme comportamentali e la loro valenza, nonchè l'intera gamma dei valori e degli insegnamenti che nell'espletamento di quella missione erano stati sempre puntualmente espressi e testimoniati. Ebbene, si tratta di valori universalmente condivisibili, basti pensare alla tolleranza, alla collaborazione, all'attenzione all'ambiente, alla capacità di definire gli obiettivi da raggiungere e, contestualmente, alla razionalizzazione nell'impiego delle risorse, per ottenere la maggior efficacia e la migliore efficienza possibile, e poi pensiamo ancora alla puntuale condivisione dell'esperienza, entro la struttura di un archetipo di quello che oggi per noi rappresenta l'innegabile valore aggiunto del lavoro di squadra e di equipe.
Insomma, partiti dalla lingua, come vessillo per una legittima rivendicazione identitaria, sventolato all'inizio come reazione istintiva all'emarginazione imposta dalla modernità e passando per il Museo Etnografico prima e poi per l'Eco - Museo, ci eravamo finalmente resi conto che l'emarginazione patita non era irreversibile, poichè cadeva il presupposto principale e cioè il fatto che essa derivasse da una fatale inferiorità dal punto di vista culturale, un'inferiorità supposta, tanto millantata quanto del tutto irreale. Anzi, pur non essendo questa la sede per indulgere oltre nell'analisi appena abbozzata, basta leggere ancora una volta la scorsa dei valori elencati, certamente parziale, ma più che sufficiente per rendersi conto che non contrastano affatto con la modernità, tutt'altro, in buona parte ad esempio sono ancora quelli ai quali si deve ispirare una buona, moderna e solida impresa.

Si tratta di valori che storicamente ci appartengono, che aspettavano soltanto di essere finalmente riconosciuti e ridestati dentro di noi e questa riscoperta sempre più consapevole, questo viaggio a ritroso nella nostra memoria, e dunque nella nostra intimità, ci ha consentito di riappropriarci di un giusto orgoglio e di un'altrettanto necessaria dose di creatività, e l'uno e l'altra alimentano l'entusiasmo, quell'entusiasmo che stiamo cercando di tradurre, e per l'appunto nel multiforme strutturarsi di una rinnovata imprenditorialità.

EPILOGO

A conclusione del mio intervento ritengo sia assolutamente doveroso fare un breve riassunto degli esiti progettuali archiviati e delle nuove iniziative che stanno caratterizzando quest'ultimo periodo, in modo tale da fotografare la situazione nel momento stesso in cui gli atti di questo convegno saranno stampati e diffusi.

2000-2003 Sono gli anni della grande riqualificazione della Grotta di Bossea, le carenze in materia di servizi e di accoglienza vengono finahmente colmate con l'entrata in funzione della nuova struttura polivalente, sin dall'inizio è previsto che gli spazi comuni dovranno essere messi a disposizione del nascente sistema di valle: Grotta di Bossea - Museo Etnografico "Cesare Vinay - Eco Museo della Civiltà del Castagno. Contestualmente viene fondata la Compagnia dell'Alto Corsaglia, una cooperativa di produzione lavoro. Composta da giovani della valle inquadra innanzitutto le guide turistiche già in servizio presso la grotta, ma dovrà via via fornire il proprio supporto nello sviluppo, nella conduzione e nelle attività del sistema già citato.

2004-2005 Termina l'istruttoria di candidatura ad un finanziamento regionale per un progetto di ristrutturazione di un albergo ristorante alle Fontane. Inserito in una struttura già storicamente adibita a questo scopo offrirà un servizio di prim'ordine soprattutto per quanto riguarda la ristorazione, che sarà di qualità, e con un'attenzione particolare alle tradizioni gastronomiche del territorio.

2005 Prevista l'apertura di un laboratorio di tessitura artigianale all'interno del Museo Etnografico. Recupererà una nostra antica tradizione, rimettendo in funzione 4 telai storici completamente restaurati. Il laboratorio potrà dare lavoro a 4 persone ed è già stata definita la linea di credito che ne finanzierà l'installazione.

I PIANI CARSICI DEL MASSICCIO DEL GRAN SASSO: MORFOLOGIA ED INSEDIAMENTO ANTROPICO

Ferrini Gianluca, Moretti Antonio, Di Sabatino Dora, Frattaroli Annarita
Dipartimento di Scienze Ambientali - Università dell'Aquila

RIASSUNTO

La denominazione "piano carsico" è un termine generico usato per individuare bacini morfologici intermontani, anche di notevoli dimensioni, impostati su rocce carbonatiche ma non formatisi esclusivamente ad opera della dissoluzione di queste. Tali forme sono assai comuni nell'Appennino centrale ed in particolare, nel massiccio del Gran Sasso, rappresentano l'elemento morfologico di natura carsica più sviluppato. I "piani" presentano forma allungata, versanti a pendenza medio-alta e fondo piatto e la loro formazione è sempre legata e condizionata da una faglia che rialza un lato del bacino ed imposta la forma allungata della depressione generalmente orientata NW - SE in direzione appenninica. Una volta che i piani si sono tettonicamente impostati, l'azione delle acque superficiali sul substrato carbonatico determina un maggior approfondimento del profilo di base con conseguente creazione di spazio sedimentario che viene riempito da depositi residuali e/o lacustri s.l.. La parte centrale del piano è caratterizzata da un'estrema livellazione la cui regolarità fa pensare ad una continua rielaborazione agricola; i sedimenti che la costituiscono sono generalmente fini e di natura argillosa e permettono la permanenza di piccoli bacini lacustri. I piani esaminati sono da tempo immemorabile oggetto di sfruttamento agricolo/pastorale e l'intervento antropico ha sicuramente alterato nelle forme e nella composizione delle terre l'originario assetto litostratigrafico del deposito. In particolare le aree centrali sono state oggetto di aratura e livellazione nonché di regimazione idraulica con, al limite, la creazione di laghetti artificiali e/o l'ampliamento di pozze esistenti. L'asseto del territorio studiato si imposta nel medio evo in seguito al fenomeno dell'incastellamento e perviene poco alterato fino ai nostri giorni grazie all'isolamento dell'area. I piani carsici di alta quota sono utilizzati prevalentemente per il pascolo, prevalentemente ovino al contrario delle zone limitrofe ai centri abitati dove si conservano antiche forme di coltivazione con la sopravvivenza di varietà colturali altrove abbandonate o scomparse (lenticchie, cicerchie, ceci, farro, zafferano).

ABSTRACT

The denomination "karst plain" is a generic term used in order to characterize intermontane basins, also of remarkable dimensions, settled on a carbonatic bedrock but not exclusively formed by karst chemical dissolution. Such features are quite common in Central Apennines, expecially in the Gran Sasso area, where they represent the most peculiar karst morphological form. These topographicalally depressed basins present, in the studied area, a lengthened shape; they are bordered by deeping slope and have a flat bottom sometimes occupied by small pound. Their formation is always conditioned by a fault which uplifts one side of the structure and lead the elongation of the plain. The formation and the sedimentary evolution of the plans is related to the post orogenic extensional phases of the apenninic chain and theyr morphology is influenced by dissolution of circulating water. In fact, once that the depressions are set up, the action of superficial waters on the limestone bedrock determines a greater deepening of the base profile with consequent creation of a sedimentary space immediatly compensated from an increase of sediment production from the bordering slopes in constant search of a more stable gravitaty equilibrium. The central portrion of the plan is characterized from an extreme flattening due also to continuous agricultural rework; the sediments that constitute this part are generally fine and of argillaceous nature and allow the permanence of small lacustrine basins in the wet season. The plans were from a long time object of agriculturing/sheeping exploitation and the anthropic action has altered the shapes and the composition of lands reworking the original lithostratigrafic sequence of the deposit. The land use of thearea derives to the Middle Age time and reaches little altered our days thanks to the isolation of the area. The karst plans of high elevation are used for pasture (mostly ovine) to the contrary of the zones surronding villages where ancient forms of cultivation elsewhere abandoned survives (lentils, cicerchie, chick-peas, farro, saffron).

INTRODUZIONE

Le pendici del Gran Sasso, dal versante aquilano, sono caratterizzate da una "gradinata" morfologica, costituita da una serie di piani carsici e di paleo-superfici di spianamento poste a varie quote, che raccorda il fondo valle dell'Aterno (... m s.l.m.) con il bacino glaciale di Campo Imperatore (... m s.l.m.). Questa area, che attualmente ricade all'interno del Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga, ha mantenuto un assetto territoriale post-medievale praticamente inalterato e quindi ben si presta a considerazioni sull'uso del suolo in area carsica.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il massiccio del Gran Sasso presenta, da un punto di vista strutturale, una situazione anomala con riferimento agli Appennini: infatti, anche se il suo margine orientale presenta sovrascorrimenti a vergenza orientale come il resto della catena appenninica, il suo arco settentrionale (da Monte San Franco al Monte Camicia) è caratterizzato da fronti di accavallamento E-O a vergenza settentrionale.
Tutti questi piani di sovrascorrimento derivano da una fase compressiva risalente al Miocene medio-superiore ed al Pliocene inferiore quando si esplicano infatti delle spinte da SO che producono lo spostamento delle varie unità verso N e NE. Le varie litologie reagiscono a questi sforzi compressivi in diverso modo: le formazioni calcaree e dolomitiche rispondono con la formazione di faglie, mentre i terreni posteriori al Lias inferiore tendono a piegarsi. La struttura che ne risulta è un elemento composito costituito da una serie di unità tettoniche disarticolate ed accavallate; tali unità presentano un assetto monoclinalico N-vergente e sono litologicamente composte da calcari di piattaforma (di età cretaceo-miocenica) e da successioni arenacee torbiditiche
Nelle fasi tardive della formazione della catena, dal Pliocene superiore in poi, si è attivata una fase distensiva che ha portato alla formazione di depressioni morfologiche, tra le quali spicca quella di Campo Imperatore, che marcano il versante aquilano. Le anomalie strutturali del Gran Sasso si riflettono inoltre nella sua idrologia: infatti il suo spartiacque non si allinea con quello principale appenninico Adriatico-Tirreno e le sue acque vanno a riversarsi tutte nell'Adriatico. Il versante meridionale viene drenato dall'Aterno-Pescara, quello settentrionale dal Vomano.
Dal punto di vista idrogeologico il Gran Sasso rappresenta il più importante acquifero del centro Italia essendo posto in un area caratterizzata da importanti precipitazioni invernali, e dalla quasi assenza di evapotraspirazione e di deflusso superficiale; tali caratteristiche, unite con un'alta permeabilità delle rocce, permettono un elevato immagazzinamento delle acque in una idrostruttura alquanto complicata da fattori strutturali e litologici. Tutto ciò si riflette in una falda di fondo estremamente importante a livello regionale e che prima degli scavi per il traforo raggiungeva i 1600 metri di quota; abbassatasi fino agli attuali 1000 metri in seguito al drenaggio della galleria autostradale.

I PIANI CARSICI DEL MASSICCIO DEL GRAN SASSO

La denominazione "piano carsico" è un termine generico usato per individuare bacini morfologici intermontani, anche di notevoli dimensioni, impostati su rocce carbonatiche ma non formatisi esclusivamente ad opera della dissoluzione di queste. Tali forme sono assai comuni nell'Appennino centrale ed in particolare, nel massiccio del Gran Sasso, rappresentano la forma morfologica di natura carsica più sviluppata.
Da un punto di vista classificativo questi elementi vengono da alcuni autori considerate come polje, cioè: "..... *depressioni chiuse di 5-500 kmq di superficie, limitate da versanti relativamente ripidi e a fondo piano spesso ricoperto da depositi alluvionali o residuali da cui possono sorgere rilievi isolati e tondeggianti detti hum. (...) I polje sono spesso depressioni tettoniche limitate da faglie o da contatti tra litologie differenti ma allargate da processi chimici. In Italia vi sono polje nel Gargano, Prealpi venete e Appennino centrale dove sono denominati "piani" o "campi."* (CASATI & PACE,1991).

Queste forme topograficamente depresse si presentano, nell'area di studio, di forma allungata, limitate da versanti a pendenza medio-alta e con fondo piatto a volte occupato da limitati e stagionali bacini lacustri non legati a inghiottitoi (*estavelle*). La loro formazione è sempre legata e condizionata da una faglia che rialza un lato del bacino modellandone il versante e riflettendosi nella forma allungata della depressione; essendo quindi la zona caratterizzata da discontinuità ad andamento appenninico, anche gli assi longitudinali dei piani risultano orientati NW - SE.
Da un punto di vista dimensionale si è provveduto alla tabulazione delle principali dimensioni delle forme, riconosciute sul terreno e quindi misurate sulla cartografia 1:25.000: tali dati vengono riportati di seguito (tab.1) insieme ai valori medi calcolati; le misure sono state prese in corrispondenza delle rotture di pendio, nella zona di raccordo tra i versanti ed il fondo pianeggiante.

Tab. 1 - misura degli assi dei piani carsici rilevati (axes measurements of surveied karst plain)

	Asse magg. (Km)	*Asse min. (Km)*
Prato del Bove	1,408	0,876
Lago di Barisciano	1,211	0,375
Avanti Lago di Barisciano	1,088	0,517
Prato Fonno	1,975	0,565
Fugnetto	1,423	0,444
Macchie Rotonde	1,106	0.245
Valle Vastovello	1,660	0,211
Valle Chiusola	1,345	0,432
Fonnere	0,851	0,358
Valle Cupa	1,450	0,435
Valle Ombrica	1,211	0,470
Piano Locce	1,600	1,647
Valle Vedice	1,841	1,081
Valle Augusta	1,272	0,389
Dietro il Mattone	1,532	0,530
Fonte S. Angelo	1,031	0,290
Piano Presuta	1,935	0,506
Valle Debole	1,025	0,200
Piano Lucchiano	1,291	0,373
MEDIA	**1,381**	**0,523**

I piani presentano quindi una marcata elongazione e, come già detto, un orientamento NW - SE parallelo alle faglie appenniniche che ne condizionano almeno un fianco, talora ambedue. La formazione di queste forme è strettamente legata alla tettonica: infatti la depressione morfologica si viene ad impostare in corrispondenza di una faglia diretta (foto 2), ad immersione generalmente anti-appenninica, temporalmente correlabile alle fasi estensionali post-orogeniche.
Le dimensioni dei piani sono state poi riportate su un grafico dove sulle ascisse compaiono le misure degli assi minori e sulle ordinate quelle degli assi maggiori: si possono osservare due *trend* principali corrispondenti ad altrettante rette alle quali è possibile associare due indici di correlazione per le varie coppie considerate.

I valori ottenuti (0,665 per il primo gruppo formato dal Piano del Lago di Barisciano, Prato Fonno, Fugnetto, Macchie Rotonde, Valle Vastovello, Valle Chiusola, Valle Cupa, Valle Augusta, Dietro il Mattone, Fonte S. Angelo, Piano Presuta, Valle Debole e Piano Lucchiano; 0,954 per il secondo gruppo costituito da Prato del Bove, il Piano avanti il lago di Barisciano, Fonnere, Valle Ombrica e Valle Vedice) sono statisticamente rilevanti, per cui si può affermare che tale correlazione porta alla conclusione che i piani abbiano avuto la medesima origine.
Dal calcolo è stato escluso però Piano Locce la cui atipicità, dovuta all'influenza dei fenomeni glaciali, lo rende morfologicamente diverso dagli altri piani considerati.
Se si vanno a considerare le pendenze dei fianchi delle valli (tab. 2), si può notare come il lato "attivo" guidato dalla faglia, nella maggior parte dei casi, presenti un'inclinazione maggiore, spesso sottolineata da un'erosione accelerata del versante e da una maggiore produzione detritica. Esistono però anche una serie di piani che sono bordati su entrambi i lati da faglie.

Tab. 2 - pendenze dei fianchi dei piani - in grassetto quelli impostati su faglie (bordering slope of karst plain inclination - fault scarp in bold)

Valle	*Pendenza fianco superiore*	*Pendenza fianco inferiore*
Prato del Bove	**18°**	**19°**
Lago di Barisciano	**21°**	**12°**
Avanti Lago di Barisciano	**24°**	**13°**
Prato Fonno	14°	**19°**
Fugnetto	**22°**	**22°**
Macchie Rotonde	33°	**26°**
Valle Vastovello	**15°**	13°
Valle Chiusola	22°	**17°**
Fonnere	**27°**	**26°**
Valle Cupa	**24°**	**26°**
Valle Ombrica	**19°**	22°
Piano Locce	14°	**25°**
Valle Vedice	27°	**21°**
Valle Augusta	**22°**	**23°**
Dietro il Mattone	**9°**	5°
Fonte S. Angelo	**9°**	5°
Piano Presuta	**18°**	**14°**
Valle Debole	7°	7°
Piano Lucchiano	**16°**	9°

Anche se la formazione e l'evoluzione sedimentaria dei piani è legata all'attività tettonica recente, la loro morfologia viene influenzata dall'azione di dissoluzione delle acque che ne delinea inoltre il comportamento idrogeologico all'interno del sistema carsico. Infatti, una volta che i piani si sono impostati, l'azione delle acque superficiali sul substrato carbonatico determina un maggior approfondimento del profilo di base con conseguente creazione di spazio sedimentario; tale spazio viene compensato da un aumento di produzione di sedimenti dai versanti in costante ricerca di equilibrio gravitativo. L'azione solvente delle acque meteoriche si concentra su piani di debolezza solitamente coincidenti con le faglie bordiere dove in un caso si individua un inghiottitoio delle acque di scolo.

La continuità dei piani viene talvolta interrotta da una serie di faglie trasversali temporalmente posteriori a quelle che ne individuano i fianchi; in alcuni casi (es. piano di Fonnere e di Valle Cupa) queste discontinuità portano al ribassamento di un tratto di piano che viene a raccogliere parte del detrito proveniente dalla parte sollevata; a volte (es. le due valli poste in corrispondenza del lago di Barisciano) l'associazione di più fratture crea delle vere e proprie strutture a *graben.*
I fianchi dei piani carsici rappresentano, ovviamente, l'area fonte dei sedimenti a maggior granulometria che ne costituiscono parte del riempimento. La produzione del sedimento è relativamente alta sia per l'inclinazione del pendio stesso che per la tettonizzazione di questo; in particolare i lati attivi (marcati da una o più faglie dirette) presentano un alto grado di cataclasi con specchi di faglia morfologicamente ben evidenti.
I detriti mobilizzati prevalentemente ad opera delle acque di ruscellamento superficiale si concentrano alla base del pendio formando un *apron* che vede una distribuzione interna degli elementi dovuta anche a trasporto gravitativo. Dove le condizioni di drenaggio si presentano più evolute si nota la formazione di vere e proprie conoidi alluvionali, spesso in embrione, e con valori di pendenza relativamente alti a causa dell'alta granulometria media dei clasti. Ad una più attenta osservazione si può talora delineare un ulteriore fascia detritica, a bassa granulometria e quindi a minor pendenza, continua ai detriti di base pendio e in raccordo con l'area pianeggiante centrale. Questa fascia di raccordo è da mettere in relazione a fenomeni di soliflusso e/o di *soil creeping* tipici degli ambienti periglaciali.
La parte centrale del piano è caratterizzata da un'estrema livellazione la cui regolarità fa pensare ad una continua rielaborazione agricola. Il sedimento è composto da termini granulometrici fini frammisti a depositi residuali legati alla presenza di impurezze nella roccia carbonatica disciolta (terre rosse).
La frazione argillitica, in corrispondenza di zone di maggior dissoluzione, ha permesso la formazione di piccoli bacini lacustri.
Riassumendo, quindi, risulta che le modalità di trasporto e sedimentazione all'interno dei piani siano molto variabili: sui fianchi predomina il trasporto ad opera di acque selvagge o appena incanalate sporadicamente coadiuvato da meccanismi nivali. Alla base dei pendi si ha una deposizione poco matura idraulico/gravitativi; nella fascia di raccordo predominano i movimenti intergranulari e nella piana centrale si rilevano modalità di sedimentazione lacustre.
Dobbiamo notare però che i piani esaminati sono da tempo immemorabile oggetto di sfruttamento agricolo/pastorale e che l'intervento antropica ha sicuramente alterato nelle forme e nella composizione delle terre l'originario assetto litostratigrafico degli elementi in oggetto. In particolare le aree centrali sono state oggetto di aratura e livellazione nonché di regimazione idraulica con, al limite, la creazione di laghetti artificiali e/o l'ampliamento di pozze esistenti.
Il comportamento idraulico di un piano carsico è ancora tutto da delineare; genericamente la sua forma depressa e la sua somiglianza ad elementi più strettamente carsici (es. le polje) induce a considerarlo un punto di assorbimento concentrato delle acque ma la natura prevalentemente impermeabile del riempimento sedimentario pone in forse questo tipo di comportamento. Nei piani esaminati nella zona non sono stati riconosciuti inghiottitoi; la pratica agricola potrebbe averli fatti chiudere ma potrebbero anche non essere mai stati attivi. L'analisi del drenaggio attuale e relitto ha messo in evidenza il collegamento idrico superficiale tra i piani che tracimano da quello più elevato in quota a quello più basso. Questi collegamenti potrebbero essere dovuti ad azioni di cattura di corsi d'acqua che incidevano i fianchi delle depressioni e che hanno incrementato la loro erosione di testata in seguito ad un ringiovanimento del sistema. Nei casi più maturi l'erosione ha distrutto l'iniziale profilo a gradinata di tutto il versante eliminando il limite del piano a valle e scaricando tutto il materiale nel tratto più in basso. La situazione attuale vede un drenaggio superficiale che, seguendo l'allineamento dei piani controllato dalla tettonica appenninica si orienta in direzione NW-SE. Tale drenaggio si è andato a sostituire in qualche modo a quella che era l'idrografia iniziale, in quanto subito dopo la formazione delle valli il fenomeno carsico non si era ancora ben sviluppato, a vantaggio quindi di corsi fluviali che scorrevano seguendo sempre l'andamento tettonico della zona. L'analisi di tale drenaggio ha messo in evidenza come tra piani limitrofi ci sia appunto un collegamento e Valle Cupa sembra rappresentare il punto di raccolta di tutte le acque.

COLTURE ED USO DEL SUOLO DEI PIANI CARSICI DEL GRAN SASSO

La prima delineazione del paesaggio umano di questa area la si ha nel medio evo a seguito del fenomeno dell'incastellamento che inizia in Italia dagli ultimi decenni del IX secolo in seguito alle razzie degli Ungari (da terra) e dei Saraceni (dal mare) ed alla disgregazione politica dello stato carolingio. Le condizioni di generale insicurezza e l'assenza di un forte potere centrale capace di organizzare una difesa dalle invasioni esterne, spinse le popolazioni del fondovalle a cercare la protezione dei signori locali e a stabilirsi nelle zone collinari. In questa fase storica si diffondono i castelli, piccoli agglomerati spesso scarsamente fortificati, ma tali da costituire per la popolazione circostante un luogo di rifugio immediato, ove ripararsi dalle rapide incursioni che giungono dall'esterno. I termini usati nel latino medioevale, per richiamare queste costruzioni, furono "castrum o castellum" (già i romani chiamavano castrum le loro fortificazioni di confine). In queste costruzioni c'era una zona fortificata divisa in due parti ben distinte: una meglio difesa ed un'altra situata sempre all'interno del recinto ma utilizzata per le case dei contadini e per le "canève", sorta di magazzini a volte usati come abitazioni. Nell'area più interna e fortificata c'era la torre detta "dominiorum" o "mastio": era una torre molto robusta che doveva servire come ultima difesa nel caso in cui i nemici riuscissero ad entrare nella cinta muraria. Attorno al borgo si estendeva il "fundus", cioè tutto il territorio dipendente dal castello, compresa la parte agricola e boschiva.
Nel territorio aquilano, alle falde del Gran Sasso, si trova, ad oltre 1250 metri di altezza, Santo Stefano di Sessanio: classico borgo fortificato medioevale costruito su una preesistenza italico-romana che può essere preso ad esempio come situazione tipo dell'asseto del territorio in oggetto. Nel periodo feudale Santo Stefano faceva parte del dominio della Baronia di Carapelle ed era appartenuto ad alcune illustri famiglie toscane: i Piccolomini prima ed i Medici poi. Il legame con Firenze e con il resto dell'Europa era dovuto all'importanza mercantile che la materia prima prodotta dall'economia locale, la lana, ebbe nel periodo medioevale fino all'inizio dell'età moderna. Tale importanza spiegherebbe come in territori dall'agricoltura poverissima, ai limiti della sussistenza, siano sorti borghi di una certa consistenza e prosperità ancor oggi testimoniate dalla qualità architettonica dei numerosi edifici storici presenti
L'impianto paesaggistico della zona vede i centri abitati arroccati sulle aree in rilievo ed i piani o intensamente coltivati e caratterizzati dalla sequenza dei campi a strisce lunghe e sottili servite da un tracciato stradale mediano, o destinati (specie quelli situati a quote più alte) al pascolo soprattutto, attualmente, degli equini allo stato brado.
L'isolamento storico di molte aree nonché l'attaccamento della popolazione alle tradizionali forme economiche, hanno favorito, in queste valli , la persistenza di antiche forme di coltivazione e la sopravvivenza di varietà colturali altrove abbandonate o scomparse. Sono ancora diffuse alcune colture antiche tipicamente mediterranee, come la lenticchia, la cicerchia, il cece ed il farro. Persistono tutt'ora certe colture molto diffuse nel medioevo come quella dello zafferano, dell'aneto e della pastinaca. Nella valle attigua al borgo di S. Stefano si è conservato, ancorché inselvatichito, un vigneto autoctono, di origine italica, sviluppatosi eccezionalmente al di sopra dei 1000 metri e con il quale veniva prodotto un caratteristico vino locale. Nei piani carsici prossimi al paese di S. Stefano di Sessanio si pratica la coltivazione di una varietà locale di lenticchia (*Lens culinaris medicus* biotipo "S.Stefano di Sessanio") considerata dai buongustai la più pregiata fra quelle prodotte in Italia.
Le caratteristiche principali che la contraddistinguono sono il colore marrone scuro, le dimensioni molto piccole e la superficie rugosa e striata; non richiede di essere messa in ammollo, è di cottura rapida e di notevole resistenza allo spappolamento. Si prestano particolarmente per la preparazione di zuppe.
La coltivazione delle "Lenticchie di S.Stefano di Sessanio" è normalmente inserite in una rotazione triennale o sessennale che prevede maggese o foraggere - cereale - lenticchia. La semina viene eseguita manualmente a spaglio utilizzando una consociazione lenticchia - orzo che ha la funzione di sostenere la pianta al momento della falciatura. Tradizionalmente la raccolta si effettua tra la fine di luglio e la fine di agosto. Si procede alla falciatura delle piante quando cominciano ad essiccare; le si raccolgono in cumuli che vengono essiccati e quindi trebbiati. La produttività si aggira sui 8-10 q. ad ettaro con rese stagionali anche di 15-20 q. ad ettaro. Spesso nei piani carsici alle normali colture erbacee veniva abbinata la mandorlicoltura, con il duplice scopo di ottenere frutta secca di ottimo valore alimentare ed economico e legna da ardere ad elevato potere calorifico.

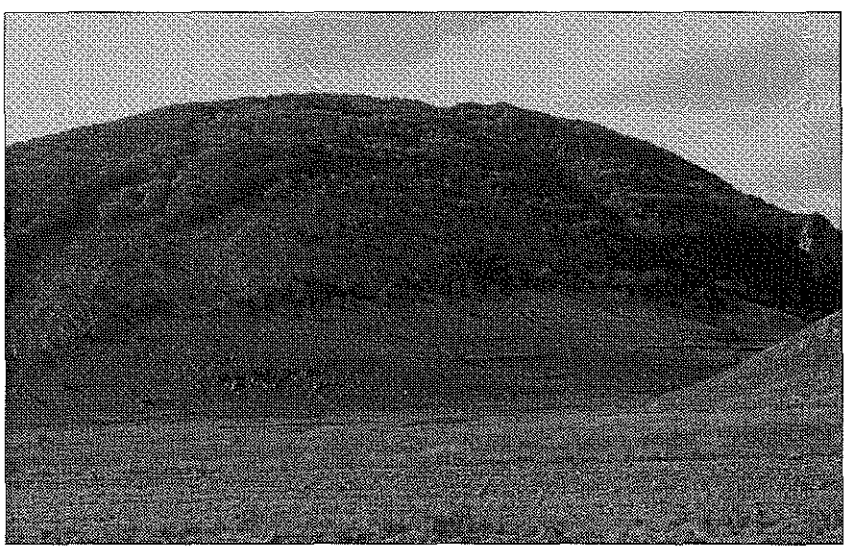
CONSIDERAZIONI SULL'USO DEL SUOLO

L'area, nonostante la vicinanza al capoluogo aquilano ed alla sua zona industriale, ha conservato il suo assetto urbanistico di impronta medievale grazie alle difficoltà di collegamento prima ed alla tutela dell'ambiente in seguito alla creazione del Parco del Gran Sasso e dei Monti della Laga

Nell'ambiente montano di quota i piani carsici, con il loro riempimento sedimentario, hanno rappresentato le uniche aree utilizzabili per l'agricoltura e quindi sono stati risparmiati dall'urbanizzazione che si è concentrate su aree laterali solitamente più elevate.

La conservazione di colture tradizionali ha permesso, con la creazione del Parco, di creare forme di reddito per la popolazione residente che ha interrotto il flusso migratorio degli anni precedenti che aveva portato ad uno spopolamento della regione.

Relativamente all'allevamento del bestiame, le mutate condizioni economiche e le nuove strategie di mercato hanno portato ad un aumento del numero dei capi per branco/gregge a fronte di una riduzione delle aree a pascolo; questo ha portato ad una diffusa "sofferenza" dei pascoli stessi, localmente troppo sfruttati.

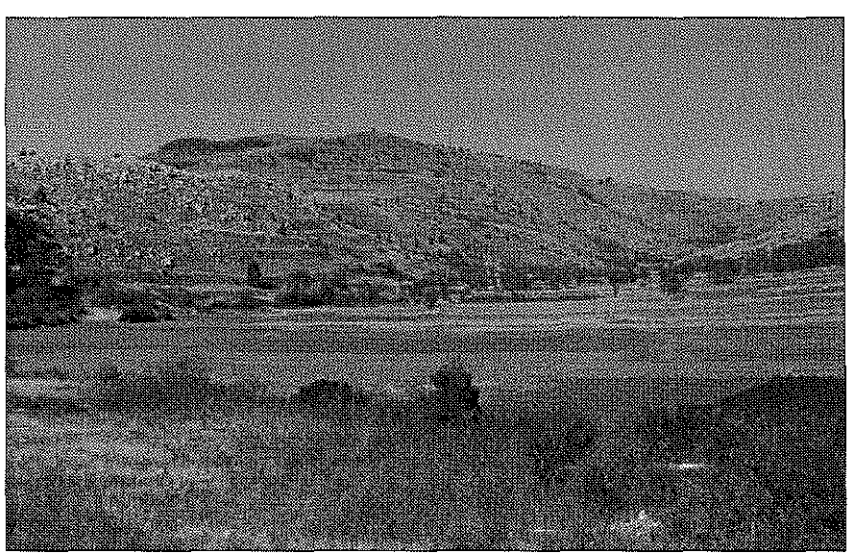


▲ Foto 1
La struttura di Piano Fonno (Abruzzo).

A typical apenninic piano carsico (Piano Fonno, Abruzzo – Italy): a wide intermontane basin developped on a carbonatic bedrock and filled by residual and lacustrine deposits.

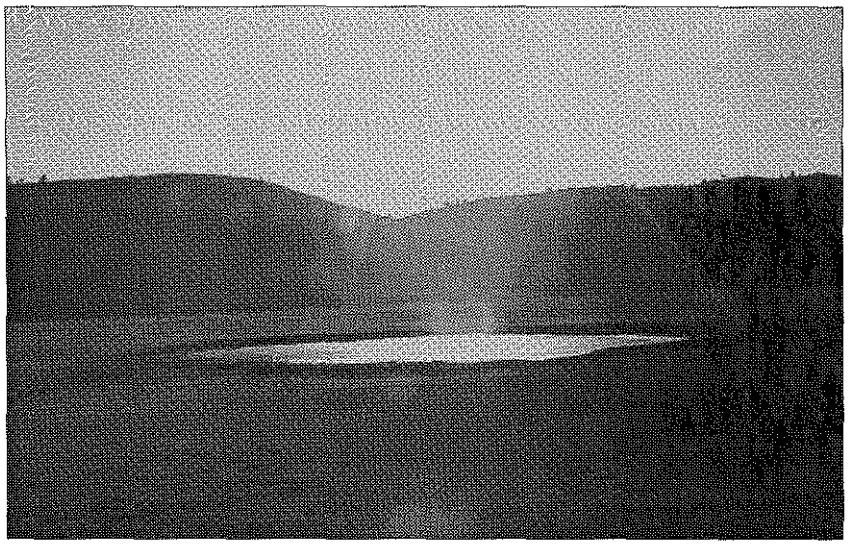
◀ Foto 2
Faglia bordiere di piano Locce; si nota lo specchio di faglia e l'accumulo detritico al piede del versante.

Bordering fault of piano Locce; look the fault plane and the detritic apron at the slope base.



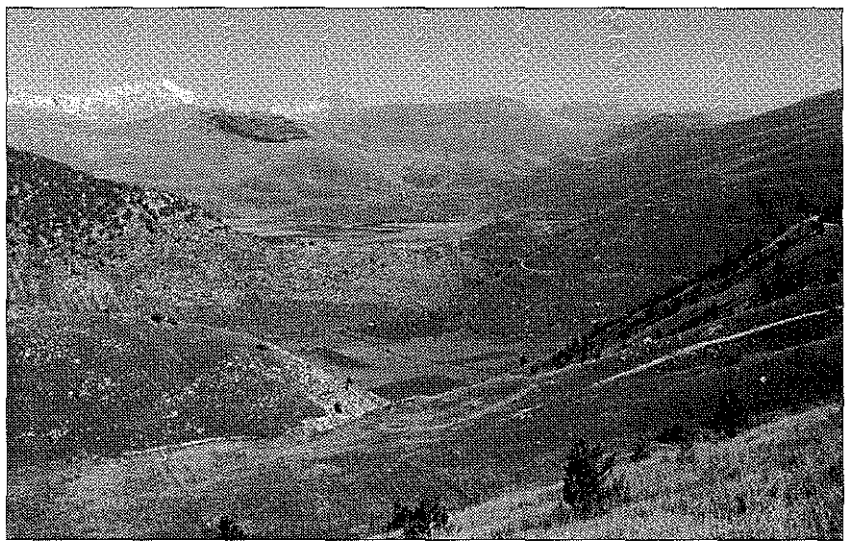
◀ Foto 3
I depositi sedimentari all'interno del piano di Fonte Vedice.

Sedimentary deposits in Fonte Vedice plain.



◀ Foto 4
Lago artificiale ad uso zootecnico.

Artificial lake for zootechnical purpose.



◀ Foto 5
Collegamento idrico superficiale tra Piano Locce (in alto) e Valle Cupa (in basso).

◀ Foto 6
Panorama di S. Stefano di Sessanio .

View of S. Stefano di Sessanio

ASPETTI EVOLUTIVI DELL'INSEDIAMENTO UMANO E DELL'USO DEL SUOLO NELLE AREE CARSICHE: CAMPI E PIANI DELLE PREALPI E DELL'APPENNINO

Lamberto Laureti
Università di Pavia - Dipartimento di Scienze della Terra

PREMESSA

Se le regioni carsiche costituiscono nel complesso un ambiente non proprio favorevole all'insediamento umano, pur tuttavia, in particolari condizioni, esse offrono alle comunità umane risorse sufficienti soprattutto per ciò che riguarda la disponibilità idrica, nonché la presenza di suoli coltivabili e adatti al pascolo, oltre che materiali litoidi (pietre da costruzione, da calce e da cemento, marmi, ecc.) e finanche metallici (giacimenti di bauxite). Queste condizioni si ritrovano anche in Italia come, del resto, in tutti i paesi mediterranei dove il fenomeno carsico sia sufficientemente sviluppato. In particolare, tra le forme carsiche più adatte ad essere antropizzate si distinguono i bacini chiusi e specialmente i cosiddetti "campi" o "piani", in gran parte presenti nell'Italia centro-meridionale ma anche nella fascia delle Prealpi lombardo-venete, come pure ripiani e sia pur modeste conche carsiche.
A tale riguardo va precisato che l'attenzione verso le forme di insediamento umano e l'uso del suolo nelle aree carsiche è già stata rivolta in passato da vari studiosi, come il MUSONI, il MORANDINI, il SEGRE ed altri, mentre poco più di un ventennio fa, nel 1980, si era svolto a Trieste uno specifico simposio internazionale sull'utilizzazione delle aree carsiche, seguito da un apprezzato Corso di 3° livello della SSI, organizzato congiuntamente al CAI a Costacciaro nel 1988, dedicato ai problemi di inquinamento e salvaguardia delle aree carsiche e il testo delle cui lezioni venne prontamente pubblicato l'anno successivo.

CAMPI, PIANI E ALTOPIANI CARSICI

Nella sua sintetica ed esaustiva illustrazione sul carsismo, le grotte e le acque sotterranee scritta per il fortunato volume sull'Italia fisica pubblicato dal TCI nel 1957, il NANGERONI definiva i *piani carsici* come "lunghe depressioni quasi pianeggianti tra monti talora elevati, anche notevolmente estese, prive di corsi d'acqua o percorse da rivi che si perdono in inghiottitoi (es. piani e campi dell'Appennino Centrale)". Il concetto veniva quindi completato con un riferimento all'utilizzazione antropica: "Coperto il fondo di detriti alluvionali, questi piani sono molto adatti per prati e coltivi", mentre, sotto il profilo strutturale, si aggiungeva che "le rocce calcaree, invece che piegate, vi si mostrano fagliate". Inoltre lo stesso NANGERONI considerava questi piani carsici equivalenti ai classici *polja* del carso dinarico.
Anche il SEGRE, una decina d'anni prima, per non andare oltre la seconda metà del XX secolo, si era occupato della questione nel suo classico lavoro sul carsismo e la speleologia nel Lazio (1948), facendo rientrare i piani carsici nella più vasta nozione di *bacino carsico* definito come "una vasta depressione formata da una parte più propriamente chiusa, compresa sotto alla isoipsa determinata dalla quota più bassa raggiunta dal contorno del bacino imbrifero (*soglia*) e da una restante superficie elevata più o meno vasta". In particolare, veniva specificato che, nella parte propriamente chiusa, "quando sia colmata almeno in parte da sedimenti alluvionali, si stende il *piano o campo*, di forma allungata, ma senza raggiungere pertanto differenze nelle due dimensioni, paragonabili a quelle dei grandi *polijie* dinarici". Infine il SEGRE concludeva precisando che "Il bacino carsico cessa d'esser chiuso quando il piano si livella con la soglia". Più avanti lo stesso Autore, illustrando la morfologia dei bacini carsici, in merito al concetto di *depressione carsica*, specifica che essa "non può essere considerata come un vero bacino per l'incertezza dello spartiacque".

Infatti, nelle montagne dell'Appennino laziale-abruzzese, essa "assume l'aspetto più frequente di piano carsico a doline, comune alla sommità dei rilievi monoclinali, con leggere ed irregolari depressioni, a fondo ricoperto qua e là da terra rossa o da lembi di tufi incoerenti ultimo residuo del dilavamento: sono costellati di doline concentrate nelle aree più depresse, o disposte in file irregolari". Come esempio il SEGRE cita il Piano delle Conche e il Piano di Camposecco al margine occidentale dei Monti Simbruini e il Piano del Campo nei Monti Aurunci.
Più recente è la definizione che dei piani carsici dà il SAURO, nel capitolo da lui scritto per il manuale di geomorfologia di CASTIGLIONI (1979). Assimilandoli ai polja dinarici, egli li considera "forme carsiche chiuse molto grandi, di dimensioni chilometriche", richiamando anche l'idea del GAMS secondo cui "un polje, per essere definito tale, deve possedere una lunghezza di almeno un chilometro". Aggiunge inoltre che "Un polje tipico presenta un fondo piano ed orizzontale e versanti relativamente ripidi (circa 30°). L'angolo di raccordo fra le due superfici è brusco", mentre "Il fondo piano può presentare una sottile copertura alluvionale che maschera alcuni inghiottitoi; però in genere manca una copertura detritica alla base dei versanti in quanto l'inondazione periodica rimuove i materiali sciolti". Di conseguenza, "A causa dell'inondazione si verifica una *corrosione marginale* che mantiene brusco l'angolo di raccordo fra il fondo della conca ed i versanti". Aggiunge infine il SAURO che "Tutti i grandi polje sono situati in depressioni tettoniche (graben, sinclinali, depressioni di angolo di faglia)".
Queste definizioni vanno completate con quanto lo stesso SAURO specifica nel paragrafo relativo ai paesaggi carsici dove si sofferma, tra l'altro, ad illustrare l'aspetto degli *altopiani carsici* che vengono considerati come "rilievi complessi, caratterizzati da estese superfici suborizzontali, delimitate da ripide scarpate. Numerose doline, valli secche ed altre forme carsiche contribuiscono a rendere minutamente tormentate tali superfici, nelle quali si aprono gli ingressi di cavità sotterranee a prevalente sviluppo verticale...In qualche caso esiste una chiara corrispondenza fra la forma dell'altopiano e la struttura geologica (si parlerà allora di grande forma di tipo tectocarsico). Ma in altri casi la superficie dell'altopiano non è influenzata dalla struttura, troncando la stratificazione; si devono allora ammettere fenomeni di spianamento, avvenuti nel corso di una lunga e complessa storia evolutiva".
Queste ultime considerazioni si accordano molto bene con le recenti definizioni contenute nel bel Dizionario di Speleologia redatto dal VIALA e pubblicato nel 2000 per conto della Federazione Francese di Speleologia. In esso il *piano carsico* (*plaine karstique* in francese, *Karst plain* in inglese) viene definito come una "Grande surface plane, sub-horizontale, qui peut trancher des structures géologiques dans des roches karstifiables, mais qui demeure néanmoins dominée par des reliefs karstifiés ou non". Un'altra definizione considera il piano carsico come una "Etendue karstique sub-horizontale, dont le drainage est en principe sub-aérien lors de sa phase active, et souterain après évolution karstique et enfoncement du niveau de base", concludendo significativamente che "On parle alors de *niveau aplani* ou *de surface d'aplanissement* ou *d'erosion*". Si può dedurre, da quanto sopra, che ciò che contraddistingue la *carsicità* di una superficie topografica pianeggiante, più che la sua genesi è l'impostarsi su di essa di fenomenologie di tipo carsico legate sia alla presenza di rocce carsificabili, sia di una circolazione idrica che favorisca queste stesse fenomenologie. Sotto il profilo dimensionale tale superficie dovrebbe essere superiore almeno a quella di una depressione tipo *uvala*, indipendentemente dalla denominazione locale.

PIANI CARSICI DELLA REGIONE ALPINA

La distribuzione dei piani carsici sia nella regione alpina (e più segnatamente nella fascia prealpina) che in quella appenninica è particolarmente diffusa e legata, ma non sempre, alla struttura delle formazioni carbonatiche su cui essi sono sviluppati. I due maggiori e più caratteristici piani carsici della fascia prealpina, fatta eccezione per le superfici del carso triestino e goriziano, sono rappresentati, come è noto, dall'*altopiano del Cansiglio* (area ecologicamente protetta che si sviluppa mediamente sui 1000 metri di quota), particolarmente studiato dal CASTIGLIONI 1963-64 che l' ha fatto oggetto di una delle più belle tavole dell'Atlante Internazionale dei fenomeni carsici, e dall'ondulato *altopiano di Asiago* o dei Sette Comuni, assai più esteso (tra le quote di 1000 e 1200 metri) ma in gran parte intensamente antropizzato, anche perché sede di numerosi e antichi centri abitati.

Ad essi si può doverosamente accostare l'*altopiano di Cariadeghe* (superficie lievemente inclinata fra i 770 e i 500 metri di quota), situato tra Brescia e il lago di Garda e che si distingue per la elevata densità di doline. Di esso chi scrive si occupò oltre una trentina di anni fa (LAURETI 1971), quando ancora non era ancora stato assalito dal turismo locale e dalle servitù militari.
Sempre nella fascia prealpina vanno ricordati altri piani carsici di dimensioni più limitate ma non di meno particolarmente caratteristici. Si tratta, a titolo di esempio, del *piano del Cavallo* nelle prealpi friulane che si stende alle quote di circa 1250-1280 metri, la cui pastorale atmosfera di un tempo (DEGASPERI 1957) è stata ormai sostituita dall'intensa urbanizzazione di una frequentata stazione di sport della neve (LAURETI 1973) e del *piano del Tivano* (tipico bacino chiuso per sbarramento morenico tra i 950 e i 1000 metri di quota) in quelle lariane.
Altre situazioni, in cui, anche per la sub-orizzontalità della topografia, si sono impostati fenomeni carsici di una certa entità, sono quelle che si riscontrano nei Monti Lessini, così bene illustrati dal SAURO 1973 o, ancora, sempre nelle prealpi lombarde, i meno pronunciati *piani di Bobbio e di Artavaggio* (situati a circa 1650 metri di quota, sono sempre più devastati, purtroppo, da nuovi insediamenti turistici ed impianti di risalita per sport invernali) sul versante orientale della Valsassina a specchio delle Grigne il cui gruppo montuoso ospita il caratteristico circo di Moncòdeno, un bell'esempio di modellamento glacio-carsico in ambiente calcareo-dolomitico.
Per rimanere nell'ambito della regione alpina, ritengo che si possano includere fra i piani carsici, giusta le definizioni prima illustrate, anche certi ripiani strutturali delle Dolomiti, come quelli, attorno ai 2000 metri di quota, delle *alpi di Sennes e di Fanes*, recentemente studiati da BINI, MENEGHEL e SAURO 1998, ma, perché no?, anche altre particolari situazioni come quelle rappresentate dal poco fa citato *circo di Moncòdeno* (che si dispiega sul versante nord della Grigna settentrionale, tra i 1700 e i 2200 metri di quota) o dalla pittoresca *conca delle Carsene* che si stende tra i 1800 e i 2100 metri di quota alla testata della Valle di Pesio, nel settore cuneese delle Alpi Marittime, ambedue ancora sostanzialmente integre per via della loro elevata altitudine e per l'impossibilità di venire raggiunte dal normale traffico automobilistico.

PIANI CARSICI DELL'APPENNINO

Il panorama fin qui descritto si amplia ulteriormente trasferendoci nell'Appennino calcareo centro-meridionale, dove, dai Monti Sibillini al Gran Sasso, ai Picentini ed agli Alburni, si osserva tutta una successione di superfici carsificate, ora pianeggianti e chiuse (veri e propri *polja*, con il loro bravo deflusso interno), ora semplicemente impostate su motivi strutturali tipici dei *graben* o risultanti di normali processi di erosione e spianamento.
A tale riguardo, non sarà male richiamare i concetti espressi a suo tempo dal SEGRE 1948 (che è stato un profondo conoscitore del carso appenninico e in particolare di quella laziale-abruzzese) che distingue, in quest'ambito, due principali tipi morfologici: il *bacino carsico* e il *massiccio carsico*. A proposito del primo egli specifica che "i bacini carsici, fatta eccezione pel Fucino, presentano delle dimensioni limitate, giacciono ad altitudini relativamente alte onde si distinguono agevolmente dai più estesi bacini intermontani dotati sempre di una idrografia superficiale, generalmente perenne e ben definita, contornati da maggiori elevazioni; albergavano, questi ultimi, grandi laghi dei quali tuttora restano qua e là dei residuati ed il fondo è ricoperto in massima parte da sedimenti quaternari: tali la piana Reatina, la conca di Sulmona ed il Vallo di Diano". Aggiunge inoltre che "I bacini carsici sono semplici e composti secondoché una medesima displuviale principale comprenda uno o più piani separati da strette o da soglie, ...sono spesso disposti a gruppi,...o sono in serie lineare... Rispetto ai diametri ed alla profondità...si distinguono bene solo alcuni tipi estremamente caratteristici:.... a forma di conca... o a valloide carsico, ...a forma di fossa allungata..." precisando poi che "I bacini carsici propriamente detti sono più ampi e di una certa regolarità...".
Ci si limiterà in questa sede, in previsione di uno studio comparativo più analitico ed approfondito, a suggerirne un elenco, non certamente esaustivo, quando rappresentativo, riunendo i vari esempi per singoli gruppi montuosi nella seguente tabella.

Principali piani carsici dell'Appennino centro-meridionale

denominazione	gruppo montuoso	quota media (m)	area (kmq) valori approssimativi
Piano di Colfiorito	M. Pennino	750	12
Piano di S. Scolastica	M.i Sibillini	650	8
P. Grande di Castelluccio	M.i Sibillini	1270	20
Campo Imperatore	Gran Sasso	1800	200
P. di Ofena e Capestrano	Gran Sasso	400	15
P. di Campo Felice	M. Puzzillo	1500	5
Piano di Cambio	M. Ocre	1270	35
Piani di Pezza	M. Velino	1400	3
Piana del Fucino	M.i della Marsica	650	210
P. delle Cinquemiglia	M. Pratello	1265	10
P. dell'Aremogna	M. Pratello	1600	6
Piano di Pastena	M.i Ausoni	300	40
Campo dell'Orso	Montagnola di Frosolone	1300	12
Piano del Lago Matese	M.i del Matese	1000	15
Piano del Dragone	M.i Picentini	670	10
Piano di Laceno	M.i Picentini	1050	6
Piano di Magorno	M.i della Maddalena	830	6

In questo elenco, salvo qualche eccezione, non sono comprese le superfici carsificate "aperte", come quelle, ad esempio, dei rilievi garganici, murgiani e salentini.

UTILIZZAZIONE ANTROPICA DEI PIANI CARSICI

Come è già stato rilevato in numerose occasioni, l'ambiente carsico, pur con tutte le sue limitazioni, si presta abbastanza bene all'insediamento ed alle attività umane, grazie alla fertilità dei suoli residuali (per il vero relativamente presenti sul fondo delle doline o nelle zone meglio irrigate), alla presenza di pascoli magri per il bestiame (che è quindi di tipo essenzialmente ovino e caprino) ed alla disponibilità di materiali litoidi e di (anche se nelle zone marginali) risorse idriche.
Un quadro ben appropriato di queste condizioni è quello delineato dal SAURO 1989nel suo intervento al già ricordato Corso di 3° livello dove si soffenna con maggior dettaglio ad illustrare le conseguenze delle attività umane nei riguardi dell'ambiente carsico. Tale impatto risulta essersi concretizzato nei seguenti modi: "estrazione della selce da parte delle popolazioni preistoriche e protostoriche di cacciatori e allevatori primitivi (es.: Lessini e Gargano), che tra l'altro trovarono nei ripari e nelle grotte delle aree carsiche dei rifugi naturali; diboscamento per creare condizioni favorevoli alla pastorizia ovina; agricoltura oasizzata [nei terreni del fondo delle doline]; cava della pietra per costruzioni di vario genere" oltre ad eventuale sviluppo di siti minerari (cave di bauxite). Le conseguenze di tali impatti sono magistralmente descritte dal SAURO nel suo intervento alla cui istruttiva lettura si rimanda, non senza aver sottolineato le sue considerazioni in merito ai mutamenti, spesso profondi e irreversibili, apportati alla circolazione idrica superficiale e sotterranea da ingenti opere di captazione delle acque carsiche nonché dallo scavo di numerose gallerie (tipici gli esempi delle Dolomiti di Brenta e del Gran Sasso).
Non molto diverse considerazioni erano state esposte anche da SEGRE 1947 nel suo breve ma succoso contributo sugli aspetti antropici del fenomeno carsico nell'Italia peninsulare, dove considera i diversi modi dell'insediamento nelle forme carsiche di tipo concavo (bacini) e convesso (massicci). Dopo aver esaminato i rapporti tra le abitazioni e il carsismo e i caratteri delle viabilità nelle regioni carsiche, il SEGRE si sofferma ad illustrare lo svolgimento dell'agricoltura e della pastorizia in questo particolare ambiente nonché l'uso delle risorse idriche con osservazioni puntuali e precise e sulla scorta di numerosi riferimenti alle specifiche realtà locali. Valga per tutti questo esempio di una tipica usanza dei pastori della Ciociaria: "Le doline e le depres-

sioni carsiche dove si raccoglie un po' di fresco della notte, il cui fondo offra riparo dai venti, vengono cintate ed adibite a stazzi. Un caso particolare di utilizzazione di una grande dolina puteiforme per pascolo è offerto dal Pozzo Santullo (Collepardo, Frosinone); sul suo fondo inaccessibile, se non per mezzo di scale, circondato com'è da pareti strapiombanti alte dai 30 ai 50 metri, cresce un bosco rigoglioso. Con delle funi, al principio dell'estate vi viene calato un certo numero di pecore, che son lasciate pascolare libere ed incustodite per due o tre mesi". Altra tipica usanza è quella del Lazio meridionale dove "è molto diffuso il sistema di impermeabilizzare, intonacandolo con terra rossa, il fondo di molte doline. Dighette in muratura a secco e terra compressa recingono i bordi più bassi rialzando il livello di questi laghetti in parte artificiali detti *volubri*".

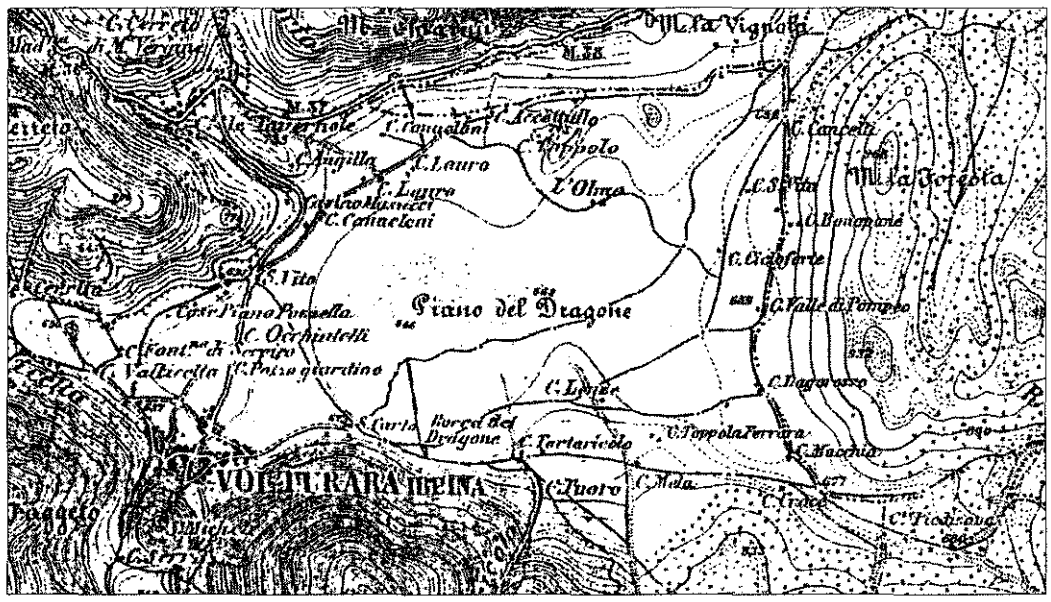
EVOLUZIONE DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI E ANTROPICHE DEI PIANI CARSICI

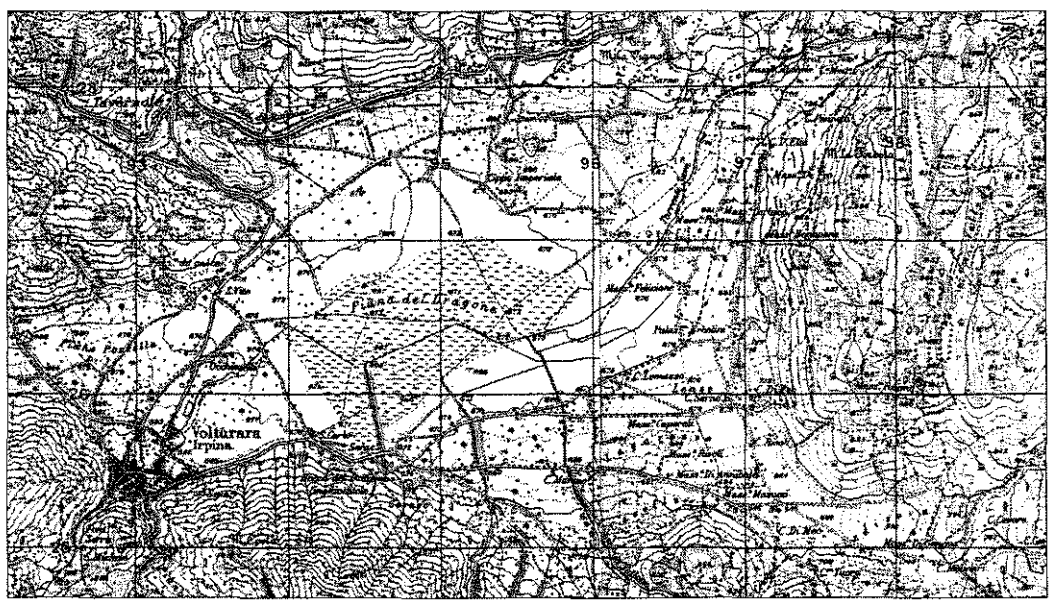
Più in generale, sotto il profilo dell'insediamento, si può rilevare che, normalmente, gli ambienti carsici, e quindi anche quelli in questa sede considerati, sono caratterizzati da una tenue intensità del tessuto demografico, con valori piuttosto bassi della densità di popolazione, di solito inferiore ai 25 ab/kmq o compresa tra i 25 e i 50 ab/kmq. Nel tempo, questi valori non presentano sensibili variazioni, denunciando, casomai, in certi casi una tendenza alla diminuzione, comune a molte altre regioni montuose.
Il carattere dell'insediamento rivela inoltre forme spiccatamente accentrate, di piccole e medie dimensioni, mentre le dimore sparse sono generalmente di tipo temporaneo ed occasionale (come nel caso delle malghe e delle casere nelle prealpi venete, dei roccoli della bassa montagna bresciana, dei fienili e degli stavoli friulani o delle capanne di pietre a secco delle montagne abruzzesi e molisane).
Anche le strutture agrarie e fondiarie presentano aspetti diversi, che vanno da dimensioni assai ridotte della stessa proprietà fondiaria (nelle regioni settentrionali) ad altre più ampie e con carattere di latifondo (nelle regioni meridionali). Tale diversità, più che dal contesto fisico, invero, dipende da particolari situazioni storiche e sociali, mentre, di per sé, la morfologia dell'ambiente carsico provoca in molti casi un notevole frazionamento della stessa parcellazione.
Nella già citata indagine effettuata molti anni fa da chi scrive (LAURETI 1971) nelle prealpi bresciane (*altopiano di Serle o di Cariadeghe*) era stato messo in rilievo il carattere sparso dell'insediamento umano (costituito soprattutto da nuclei e case sparse), legato proprio al frazionamento fondiario. Oggi molte di quelle aziende hanno cessato la propria attività per lasciar posto a seconde case acquistate e risistemate per il beneficio di nuovi proprietari provenienti dalle vicine aree urbane, mentre una parte di questo caratteristico altopiano carsico è stato finalmente trasformato in area protetta.
Un altro aspetto che ha caratterizzato il destino dei piani carsici, specialmente di quelli situati a quote elevate e comunque raggiungibili da una rete stradale è la loro riutilizzazione (conseguente al diffuso fenomeno dello spopolamento montano che ha caratterizzato il nostro Paese, ma anche il resto d'Europa per tutto il secolo appena trascorso) in funzione essenzialmente turistico-sportiva. A somiglianza di molti centri turistici di lunga tradizione, si è cominciato ad attrezzare, a partire dalla seconda metà del XX secolo, queste aree dapprima con semplici impianti di risalita e poi con più complesse infrastrutture residenziali ed alberghiere. Di conseguenza, la nuova utilizzazione di queste località non solo ne ha pressoché mutato il paesaggio, ma ne ha altresì affrettato la scomparsa della tradizionale economia silvo-pastorale. Un tipico esempio di tali modificazioni, relativo alle prealpi friulane occidentali, fu già illustrato da chi scrive una trentina d'anni or sono. Si tratta del ben noto *Piano del Cavallo*, caratteristico piano carsico compreso tra i 1250 e i 1280 metri di quota, già sede di alcune casere e di un rifugio utilizzato come base di partenza per le ascensioni al sovrastante gruppo del Monte Cavallo. La trasformazione di questo ambiente comincia verso la fine degli anni sessanta con la costruzione di alberghi, complessi residenziali, ristoranti, impianti sportivi ed altre infrastrutture, in buona parte ad uso delle esigenze di consumatori qualificati come il personale americano in servizio alla vicina base militare di Aviano
Trasferendoci dalle zone prealpine a quelle appenniniche, il panorama evolutivo non cambia di molto Due tipici esempi sono rappresentati, nel gruppo dei Monti Picentini (Appennino Campano), dal vasto Piano del Dragone e dal meno esteso Piano di Laceno. Prescindendo dalle caratteristiche comuni a questi due piani carsici (costituite dalla presenza di uno specchio d'acqua che periodicamente ne invade gran parte della superficie e che alimenta due distinti inghiottitoi), va rilevata la diversa forma di utilizzazione dei loro

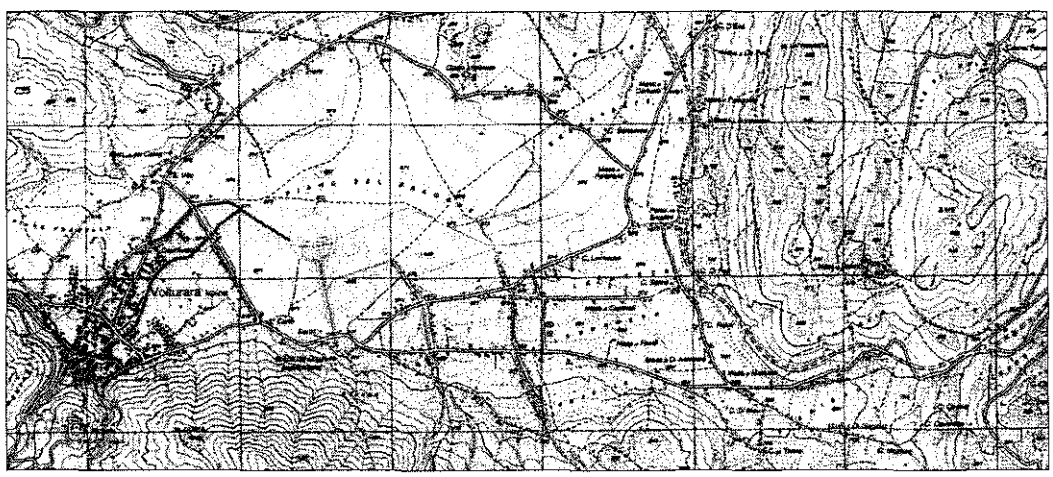
ambienti, così strutturalmente analoghi. Situato a circa 670 metri di quota, il *Piano del Dragone* (già parzialmente bonificato per le esigenze dell'agricoltura locale con la costruzione di un canale di drenaggio che convoglia le acque verso la bocca dell'inghiottoio, dove però si riversano sovente anche gli scarichi del vicino abitato di Volturara Irpina, fortemente devastato dal sisma del 1980) è stato recentemente attraversato dal nuovo percorso della statale Ofantina che con enormi sbancamenti e giganteschi piloni di cemento armato a sostegno del viadotto stradale, ha stravolto non poco la bellezza e l'armonia del paesaggio. Sostanzialmente non diversa è la situazione sul *Piano di Laceno* dove l'attuale forma di utilizzazione (in passato il piano era adibito interamente al pascolo e a colture stagionali, ma vi si coltivò anche frumento; i rilievi che delimitano questa bellissima conca tettonico-carsica furono rimboschiti verso gli inizi del XX secolo da oggi rigogliose fustaie di pino austriaco) è caratterizzata essenzialmente dal grosso insediamento turistico-residenziale (il Villaggio Laceno) creato circa 50 anni fa e che negli ultimi tempi si è sensibilmente accresciuto con il potenziamento delle strutture ricettive e sportive. Inoltre, le sorgenti che affiorano sul margine orientale del piano sono state captate, fin dall'inizio del secolo scorso, per alimentare l'Acquedotto Pugliese insieme alle vicine sorgenti di Cassano, captate a loro volta mediante una galleria che sottopassa il Montagnone di Nusco.
Se da un lato si deve rilevare l'importanza di queste conche carsiche per la loro alimentazione degli acquiferi sotterranei che, convenientemente catturati, consentono di soddisfare le esigenze di aree densamente popolate e intensamente industrializzate (quali la pianura napoletana e la regione pugliese), non va trascurato come appaia significativo il persistervi di forme di utilizzazione tradizionali, quali quelle agro-pastorali (ancora oggi il Piano di Laceno è sede di sporadiche colture e di pascolo estivo sui suoi terreni demaniali), spesso in deciso contrasto con le nuove forme di appropriazione dello spazio da parte delle attività connesse al turismo e agli sport invernali, quasi sempre avviate da iniziative esterne, anche se pur essi collegate alle particolari condizioni dell'ambiente naturale.

CONCLUSIONE

Come si è già avuto modo di sottolineare in altre occasioni, la rapida evoluzione dell'economia e del modo di vita nell'ultimo dopoguerra ha più o meno direttamente coinvolto anche queste aree che, per la loro natura sembravano destinate a condizioni immutabili. Dapprima lo spopolamento e quindi lo sviluppo delle comunicazioni stradali e l'avvento del turismo di massa, sempre in cerca di nuovi spazi dove organizzarvi il trascorrere del tempo libero, hanno già provocato notevoli modificazioni in alcune delle aree considerate. Si tratta, in particolare di modificazioni che, oltre all'assetto idrogeologico e all'evoluzione dei processi in atto, colpiscono in maniera pressoché irreversibile il paesaggio, dissolvendo quella sorta di equilibrio tra uomo e ambiente naturale che si era venuto formando nel corso di una secolare se non millenaria coesistenza. Va inoltre evidenziato, per molti dei piani carsici, il rischio dovuto all'alto potere inquinante di certi insediamenti industriali e civili, specialmente nei riguardi degli acquiferi captati per uso potabile. Tale rischio, del resto, è reso certezza proprio dalle elevate capacità di assorbimento delle rocce carbonatiche soprattutto se notevolmente carsificate. I problemi (e i pericoli) ecologici qui rilevati, comunque, restano, anche se, a limite, per salvare certe preziose oasi (come l'appetito Piano del Cansiglio) parrebbe inevitabile indirizzare l'ondata di furore turistico (o speculativo) verso altre plaghe ormai compromesse e destinate quindi a sacrificarsi per la salvezza delle prime.
Sono, queste, delle semplici constatazioni che prescindono da un immediato giudizio di valore. Da esse, tuttavia, potrebbe emergere la conclusione che gli attuali modi di vita e le possibilità offerte dalla moderna civiltà tecnologica autorizzino a rimettere in discussione il carattere condizionante dell'ambiente carsico. In effetti, pur se la componente spaziale di molti ambienti naturali si rivela fondamentalmente importante per gli attuali obiettivi dell'attività umana, pur tuttavia non si deve negare che certe carenze (di acqua, di risorse vegetali, ecc.) e certi ostacoli naturali, tipici dell'ambiente carsico, permangono (basti ricordare la recentissima apertura di una vasta dolina di crollo sull'altopiano di Livata nei Simbruini, altro gioiello carsico cui mi legano peraltro indimenticabili ricordi di gioventù, dilaniato dalle instancabili armate speculative dello sviluppo turistico, che per poco non si è trasformata in tragedia). Di essi e dei problemi che ne derivano bisognerà sempre tenerne il debito conto.







Il Piano del Dragone nei Monti Picentini in tre stralci della cartografia IGM riportati alla scala di 1:25000. Dall'alto in basso: situazione agli inizi del '900, a metà secolo e nell'ultimo decennio con ancora in costruzione il tracciato della nuova statale Ofantina.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BARATTA M. (1917-18), *La Carsia Giulia*, sunto delle lezioni del Corso di Geografia, R. Univ. degli Studi, Pavia, 340 p.
- BINI A., MENEGHEL M. & SAURO U. (1998), *Karst Geomorphology of Altopiani Ampezzani*, Zeitschrift fiir Geomorphologie, Suppl. Band 109, pp. 1-21.
- CASTIGLIONI G. B. (1963-64), *Forme del carsismo superficiale sull'altopiano del Cansiglio*, Atti Ist. Veneto, Venezia, t. CXXII, pp. 327-44.
- CUMIN G. (1929), *Guida della Carsia Giulia*, SAG, Trieste, 414 p.
- DEGASPERI C. (1957), *Rapporti fra fenomeni carsici e nomadismo pastorale nella zona del Pian Cavallo*, Atti XVII Congr. Geogr. Ital., Bari, vol. III, pp. 357-60.
- LANGELLA V. (1964), *Il Matese*, Pubbl. Ist. di Geogr. dell'Univ., Roma, n. s., 11.
- LAURETI L. (1971), *Carta dei fenomeni carsici dell'Altopiano di Serle (Brescia)*, Atti XX Congr. Geogr. Ital., Roma 1967, vol. III, pp. 111-15, 3 tavv.
- LAURETI L. (1973), *Il turismo invernale a la trasformazione dell'ambiente: il caso del Piano del Cavallo (Prealpi Friulane Occidentali)*, Atti Tav. Rot. sulla Geografia della neve in Italia, Soc. Geogr. Ital., Roma, pp. 385-90.
- LAURETI L. (1974), *L'uomo e l'ambiente carsico*, Atti XI Congr. Naz. di Speleologia, Genova 1972, in Mem. XI di Rass. Speleol. Ital., vol. II, pp. 65-72.
- LAURETI L. (1980), *I piani carsici dei Monti della Maddalena*, Atti XXII Congr. Geogr. Ital., Salerno 1975, Guida alle Escurs., vol. IV, t. I, pp. 167-71.
- LAURETI L. (1981), *L'utilizzazione delle aree carsiche nel Mezzogiorno italiano*, Atti Simp. Intern. sullo utilizzo delle aree carsiche, Trieste 1980, Ist. di Geol. dell'Univ. e Comm. Grotte della SAG, Trieste, pp. 197-201.
- MARINELLI O. (1922), *Atlante dei tipi geografici*, IGM, Firenze; 2a ediz. 1948 a cura di ALMAGIÀ R., SESTINI A. e TREVISAN L.
- MUSONI F. (1912), *Studi antropogeografici sulle Prealpi Giulie*, in MARINELLI O., Guida delle Prealpi Giulie (capp. VII-XI), vol. IV della Guida del Friuli, SAF, Udine, pp. 106-244.
- NANGERONI G. (1957), *Il carsismo, le grotte, le acque sotterranee*, in AA. VV., L'Italia fisica, TCI, Milano, pp. 284-303.
- NANGERONI G. (1972), *Da Milano al Piano Rancio*, coll. "Itinerari naturalistici e geografici attraverso le montagne italiane", vol. 1, Comit. Scient. del CAI, Milano, 63 p.
- SAURO U. (1973), *Il paesaggio degli Alti Lessini*, Studio geomorfologico, Memorie fuori serie n. 6 del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 160 p., 1 carta.
- SAURO U. (1979), *Morfologia carsica*, in CASTIGLIONI G. B., Geomorfologia, UTET, Torino, pp. 208-54.
- SAURO U. (1989), *Effetti dell'impatto umano sul carsismo*, in AA. VV., Problemi di inquinamento e salvaguardia della aree carsiche, SSI-CAI, Nuova Editrice Abulia, Martina Franca, pp. 77-94.
- SAURO U. & MENEGHEL M. (a cura di) (1995), *Altopiani ampezzani: geologia, geomorfologia, speleologia*, con testi di BINI A. et Al., La Grafica ed., Verona, 156 p.
- SEGRE A. G. (1947), *Aspetti antropici del fenomeno carsico nell'Italia peninsulare*, Mem. di Geogr. Antropica, CNR, Roma, vol. I, pp. 183-218.
- SEGRE A. G. (1948), *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*, Pubbl. dell'Ist. di Geogr. dell'Univ. di Roma, serie A, n. 7, 239 p.
- SESTINI A. (1963), *Il paesaggio*, vol. VII della collana *Conosci l'Itali*, TCI, Milano, 232 p.
- TURRI E. (1962), *Vita pastorale nella Lessinia*, Le Vie d'Italia, LXVIII, pp. 186-96.
- VIALA C. (2000), *Dictionnaire de la Spéléologie*, Spelunca Librairie Editions, La Ravoire, 264 p.

RIASSUNTO

Nel presente contributo, che idealmente si riallaccia a numerosi lavori sullo stesso argomento, dopo una sintetica rassegna delle forme carsiche considerate (campi, piani, ripiani, conche, ecc.), partendo dalle situazioni oggettive esistenti prima del secolo appena trascorso, viene ricostruita l'evoluzione delle condizioni ambientali ed antropiche fino ai nostri giorni.

Una particolare attenzione viene posta inoltre a quelle radicali trasformazioni che hanno contrassegnato gli ambienti carsici considerati, avvenute specialmente nella seconda metà del XX secolo, in seguito ai cambiamenti che hanno caratterizzato la struttura della società italiana con il declino delle attività agro-forestali e pastorali, con la dismissione di numerosi siti minerari e soprattutto con l'affermarsi della pratica turistica che spesso ha provocato una intensa urbanizzazione delle tipiche aree carsiche pianeggianti, indipendentemente dalla loro ubicazione, sia all'interno che marginalmente ai grandi massicci carsificati, ma anche con lo sviluppo della rete delle comunicazioni stradali e autostradali che ha contribuito non poco a modificare gli aspetti più tipici del paesaggio carsico.

Il contributo si conclude con un invito ad una maggiore tutela di quegli aspetti più tipici e significativi del rapporto tra comunità umane ambienti carsici che costituiscono, con le loro forme e le loro strutture, una testimonianza della storia e delle tradizioni della complessità regionale del nostro Paese, e quindi rappresentano anche un vero e proprio "bene culturale" che si ha il dovere di conservare come preziosa eredità per le future generazioni.

EDILIZIA ARCAICA, EDILIZIA FUNZIONALE

Lorenzo Mamino
Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino

RIASSUNTO

Un altro mondo. Solo conoscere o anche tramandare? Della cultura che ha prodotto gli edifici della montagna non abbiamo documenti scritti. Dunque, rispetto ai nostri meccanismi di indagine storica essi sono caratterizzati da poche certezze. E, in più, tra non molto, la cultura che li ha prodotti sarà finita per sempre perché anche le testimonianze orali di questo mondo saranno finite.
Oggi però gli edifici esistono, stanno tutti per essere perduti, ma finché esistono, sono documento di un mondo a sé, essenziali anche per la ricomposizione della nostra cultura e della nostra storia. Essi sono interessanti come prova di un modo di costruire autentico, schietto, quasi dimenticato, essenziale, economo, diretto a produrre spazi tutti strettamente indispensabili. Dunque non una cultura rozza li ha prodotti ma una cultura diversa dalla nostra.
Quando i nostri modi di pensare a riguardo delle costruzioni sono letterari, tanto i modi di pensare di un contadino isolato sui monti sono stati autonomi, secchi, diretti immediatamente al fine.
Dunque una presenza importante per una scenografia non dovuta se non in minima parte alla cultura delle corti o delle scuole, ma scaturita dal lavoro, messo in atto per la vita e il sostentamento dei figli, per costruire case, muri controterra, scoli, piantumazioni di alberi utili, edifici per ricoverare i prodotti della terra e gli animali, strade, ponti, imbrigliamento di acque, difese da incursioni di animali e di uomini ritenuti infidi.
Questa eredità deve essere tramandata. Ma come? Pensare di salvaguardare tutte queste opere con i modi di tutela messi in atto per i "beni culturali" è assurdo. Etnologi, antropologi, architetti, sono impotenti di fronte ad una tale impresa. Se qualcosa si salverà sarà dovuto solo ad azioni di reimpiego, magari con funzione culturale o turistica, non ad azioni vincolistiche.
La stessa, accelerata, proliferazione di piccole raccolte etnografiche (migliaia di vanghe, zappe, canestri, falci, zoccoli, carretti) è la prova e insieme la disperata denuncia di una impotenza a conservare ricordi più consistenti di un mondo che ormai si sgretola o si considera già perduto per sempre.
Ciò che si può fare subito: La ricerca sulla edilizia montana nelle valli che si porta avanti in Facoltà di Architettura a Mondovì.

LE ALTE VALLI DEL MONREGALESE

Quando dal piano e dagli ultimi centri di fondovalle le valli che dal Monregalese (Roccaforte, Villanova, Monastero Vasco, Vicoforte) si dipartono puntando al profilo delle Marittime e puntando al mare, quando siano superati gli ultimi centri frazionali di una qualche importanza (Prea, Rastello, Miroglio, Straluzzo, Seccata, Fontane, Valcasotto) queste valli si presentano come territorio selvaggio e area in abbandono. Resiste solo il pascolo di transumanza estivo e una sparuta castanicoltura. Il resto è turismo stento, di fine settimana, non vacanza prolungata. A questo territorio si accompagna un'edilizia sopravvissuta, dovuta a pratiche agricole e a relazioni umane ormai perdute. Studiare questi edifici vuol dire allora anche cercare di ricostruire attività, modi di vita, organizzazioni territoriali a malapena riconoscibili: sentieri e presenze edilizie dovute a spostamenti stagionali, ricoveri provvisori di persone e animali, viaggi verso il mare e verso la Francia.
Va detto subito che questi edifici non possono essere messi insieme o confusi con edifici della pianura, delle città, prodotti dalla cultura delle capitali, dalle scuole, dagli stili, dalla ufficialità che ha informato le diverse epoche storiche e che ha riempito gli archivi storici ora da noi consultabili.
Della cultura che ha prodotto questi edifici non abbiamo documenti scritti.
Dunque, rispetto ai nostri meccanismi di indagine storica essi sono caratterizzati da poche certezze.

E, in più, tra non molto, la cultura che li ha prodotti sarà finita per sempre perché anche le testimonianze orali di questo mondo saranno ormai inesistenti.
Oggi però gli edifici esistono e finché esistono, sono documento di un mondo a sé, essenziali anche per la ricomposizione della nostra cultura e della nostra storia. Essi sono interessanti come prova di un modo di costruire autentico, schietto, quasi dimenticato, essenziale, economo, diretto a produrre spazi tutti strettamente indispensabili. Dunque non una cultura rozza li ha prodotti ma una cultura diversa dalla nostra. Quanto i nostri modi di pensare a riguardo delle costruzioni sono letterari, tanto i modi di pensare di un pastore isolato sui monti sono stati autonomi, secchi, diretti immediatamente al fine.
Quanto i nostri modi di edificare sono giustificati dalla geometria imparata a scuola e da spirito cartesiano (il filo a piombo, la lignola ne sono espressione, in cantiere) tanto l'immediatezza dell'offerta di materiali naturali e la presenza di eventi atmosferici condiziona e favorisce gli edifici delle alte valli.
Dunque una presenza importante per una scenografia non dovuta se non in minima parte alla cultura delle corti o delle scuole, ma scaturita dal lavoro, messo in atto per la vita e il sostentamento dei figli, per costruire non solo case, ma anche muri controterra, scoli, piantumazione di alberi utili, edifici per ricoverare i prodotti della terra e gli animali, strade, ponti, imbrigliamento di acque, difese da incursioni di animali e di uomini ritenuti infidi.
Questa eredità deve essere tramandata. Ma come? Pensare di salvaguardare tutte queste opere con i modi di tutela messi in atto per i "beni culturali" sarebbe improprio e anche assurdo. Etnologi, antropologi, architetti, sono impotenti di fronte ad una tale impresa. Se qualcosa si salverà sarà dovuto solo ad azioni di reimpiego, magari con funzione culturale o turistica, magari saltuaria o stagionale, non ad azioni vincolistiche.
Il Politecnico di Torino, nella Sede di Mondovì, ha tentato un'altra strada: quella di raccogliere e di catalogare quanto resta degli edifici a circa cinquant'anni circa dal loro abbandono e di mettere insieme un Atlante di Schede per ogni valle[1]. E' quanto si può fare, subito, con poca spesa, per conservare almeno l'immagine di questa edilizia in lenta decomposizione. Che tra altri 50 anni non esisterà più.
Questa raccolta sistematica (il 50/60 % dell'intero patrimonio) serve anche ad approfondire la conoscenza che noi abbiamo di questi edifici, a tentare di delineare mappature di modi costruttivi, materiali, tipi, e di qui concorrere alla più generale costruzione di una storia dei manufatti edilizi ma anche del paesaggio e delle sue trasformazioni, alla storia delle presenze umane e dei modi di vita di pastori e contadini a contatto della loro terra. Storia mai troppo praticata dagli storici. Storia che comunque sarà impossibile quando gli edifici non ci saranno più. Storia che già oggi è impossibile, solo sulla base di questa raccolta, a ritroso, oltre il XVII secolo. Nessuno degli edifici schedati è infatti da ascrivere al Medioevo.
La data più antica tra quelle trovate scritte sugli edifici schedati è il 1688 (ai Perrini di Valcasotto). I rari documenti scritti che vi accennano (si trovano accenni alle cascine dei certosini o alle selle delle Alpi comunali) sono del Sette e Ottocento. I primi catasti delle zone rilevate sono della fine del XVIII secolo. Ciononostante però, per attribuzione regressiva, fidando sulla documentata permanenza delle forme storiche in antico regime, le schede possono essere utili anche agli studiosi del Medioevo.
Trattasi infatti sempre di costruzioni caratterizzate da modi costruttivi e da forme arcaiche, praticati a lungo proprio perché poco elaborati e perché primitivi, non schedabili o databili o distinguibili per connotati visibili, perché privi o quasi di decorazioni o di segni caratteristici.
Per futuri progettisti o futuri operatori sul territorio, conoscere questi modi di fare essenziali ed economi significa anche documentarsi su processi di produzione del tutto alternativi agli attuali: sempre più prolissi, caotici, casuali, frettolosi e sovrabbondanti di inutilità.
Crediamo che questo paesaggio contadino possa essere rivisto con occhi nuovi, non solo con occhi di pittore o di fotografo, che possa essere rivissuto, non solo da moderni contadini, pastori o boscaioli, ma anche da gente di città, in tutt'altre occupazioni occupata.

[1] Politecnico di Torino. Regione Piemonte. Provincia di Cuneo. Comunità Montane. Società di Studi Storici di Cuneo. "Atlante dell'edilizia montana nelle alte valli del Cuneese". 1. "Le valli Monregalesi" (a cura di L. Mamino), Vicoforte 2001; 2. "La Valle Varaita" (a cura di P. Mellano), Vicoforte 2003; 3. "La Valle Tanaro" (a cura di L. Mamino).

La raccolta vorrebbe cioè portare ad un riutilizzo esteso sia pure con premuroso rispetto e conoscenza. La raccolta non ha nessuna faccia sofisticata, letteraria o arcadica, non si ferma sulle connessioni formali, vuole illustrare le connessioni costruttive, le operazioni manuali, le tecniche. La raccolta vuole semplicemente sopperire alla mancanza di documenti scritti, come vorrebbe contribuire ad una costruzione sintetica ma corretta, ad una lettura oggettiva ma circostanziata della troppo poco nota meccanica che sottende una facciata e che tutti credono di conoscere perché vista e rivista, che tutti credono di amare perché trafugata con una fotografia stancamente e superficialmente riprodotta. Forse questo è anche un modo per invitare la cultura delle scuole a tacere per far luogo ad una semplice annotazione di modi di fare ormai divenuti per noi "estranei", "esotici" e cioè incomprensibili e irripetibili. Anche questo silenzio può essere cultura. Forse l'unica "cultura materiale" che a noi, più maestri che costruttori, è possibile e consentita.
Restano da indagare per ora le ragioni di localizzazione e di articolazione degli insediamenti, perché quasi ignote le condizioni storiche legate al lavoro, alla mobilità e alla necessità di sopravvivenza della popolazione insediata sui monti e perché molti e importanti nodi interpretativi di queste attività non sono ancora stati sciolti.
Lo studio ha quindi chiari limiti geografici e culturali complessivi. E' uno studio semplicemente e solamente documentario, da offrire come base a quanti vorranno in futuro attuare progetti di approfondimento storico o di intervento. La schedatura può però aiutare ad aprire molti filoni di ricerca. Circa la mobilità interna agli insediamenti è da tener presente che in epoche antiche le comunicazioni in quota (a collegare le comunità montane tra loro o con quelle di oltre confine) erano molto più frequenti delle comunicazioni con il fondovalle, almeno fino all'arrivo (nei centri di fondovalle) di servizi a tutti utili rappresentati da commercianti, artigiani, medici e farmacisti, parroci e maestri, notai e sindaci.
Per ciò che riguarda i materiali usati sono per quasi un millennio tutti reperiti sul posto, almeno fino al diffondersi dell'uso della lamiera di ferro (inizio secolo) o di elementi di giunzione moderni (colle, chiodi, cerniere, grappe, bandelle varie).
L'indagine ha messo in luce l'esistenza di un "corpus" omogeneo di edifici caratterizzato da semplicità costruttiva estrema, privo di decorazioni, con poche tipologie, sempre le stesse, ricorrenti per tutte le Valli Monregalesi e l'esistenza, sopra i 1000 metri, di un territorio sostanzialmente intatto, fermo al secolo scorso. Architettura e territorio però quasi privi di studi specifici che non siano inviti ad escursioni domenicali o a imprese sportive. Anche la storia dell'architettura si è occupata poco della montagna.
Vicino a noi, in epoca moderna, l'edilizia montana è servita ai critici dell'architettura per legittimazione del funzionalismo molto più che come espressione di un modo di vivere e quindi da vedere come documento fondante più che come riferimento autonomo.
A noi oggi interessa per l'evidenza di una sintassi ancora praticabile, comunicabile, indipendentemente dai materiali e dalle forme. E si rileva che questa sintassi ha generato una continuità ripetitiva ed estesa, partecipata, senza bisogno di direttive scritte, largamente praticata ma non per questo banale, segno di maturità, dignità e indipendenza delle singole comunità e dei singoli costruttori.
Bisogna anche pensare che gli uomini che per tanti secoli hanno prodotto questa edilizia (dal secolo XI al XIX) non potessero ignorare del tutto che in luoghi vicini (a valle, lontano appena qualche decina di chilometri) la pratica del costruire aveva cominciato a seguire altre strade, aveva cominciato ad essere caratterizzata da un linguaggio di facciata, legato agli stili architettonici e cioè a forme concordate (e per certa parte imposte). Quegli uomini devono aver ritenuto questo modo di fare, (che altrove poteva sembrare colto e raziocinante) non vincolante, estraneo, separato, da cui si poteva star fuori ancora.
Certo questa contrapposizione non è in tutti i "luoghi alti" così netta ma, nelle valli del Monregalese regge alla lettera. La contrapposizione dell'architettura locale con l'architettura (religiosa e civile) praticata per esprimere la cultura e la "civiltà" di paesi e città della pianura è totale.
Oggi è anche più evidente. Per essere questi paesi e città cinti da corone intermittenti di edifici pretenziosi nei richiami stilistici e banali come fatti costruttivi, mentre l'edilizia dei territori in esame conserva per sempre i suoi caratteri di saggezza costruttiva e di schiettezza espressiva. Occorre anche parlare delle sovrapposizioni e delle invasioni di campo: zone dei pascoli e aree urbane erano a fine Settecento ormai rese prossime, entrambe parti di un sistema sociale ormai quasi integrato, retto da una casa regnante e da una gerarchia ecclesiastica.

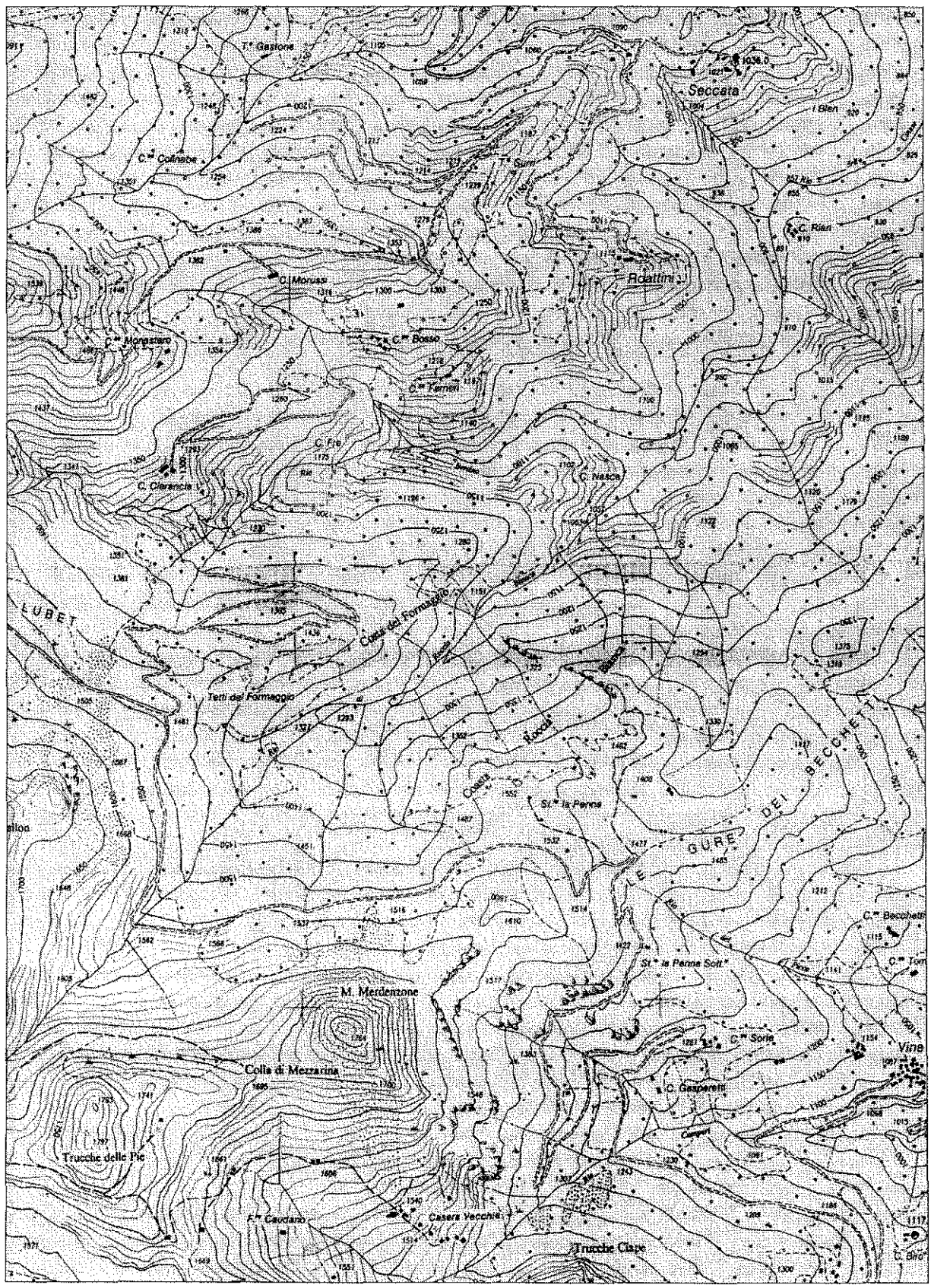


Fig. 1 - La zona in esame nell'estratto della carta C.T.R

La chiesa è certo la prima istituzione a pensare una qualche annessione delle popolazioni e delle terre montane. Prima con le due grandi Certose (di Casotto e di Pesio) e con cenobi rurali legati a Monasteri cistercensi (Vicoforte, Moline, Monastero Vasco) e poi con l'erezione di chiese parrocchiali, confraternite, cappelle e piloni e con parroci e curati che svolgono anche funzioni di maestro elementare.
Ciononostante gli edifici per il culto (involucri murari e suppellettili) appaiono ancora oggi completamente estranei alle terre che li ospitano e l'edilizia locale rispetto ad essi lontana e non toccata da alcun intento figurativo che non sia primordiale e con soli riferimenti all'economia e alla geometria elementare, e cioè alle ragioni del costruire e delle necessità quotidiane di esistenza sul luogo. In questa situazione grande importanza hanno le più elementari nozioni di vita sempre legate ad esperienze personali: la gravità dei pesi (pietre, terra, neve), le stagioni, il tempo di maturazione dei frutti, la loro inevitabile decomposizione, le infiltrazioni d'acqua, le valanghe, le piene dei torrenti.
Le due serie di edifici (case di montagna e chiese) troveranno pochi, elementari punti di contatto: i materiali, i solai e i tetti in legno, la volta a botte e, nel disegno, l'organizzazione della facciata con rispetto della simmetria, la forte denuncia degli spigoli o della linea di gronda.
Le schede cioè documentano una produzione edilizia fossilizzata anche per epoche storiche vicino a noi, quando già, a valle, tutto era chiaramente indirizzato agli stili e alla rappresentanza.
Questa edilizia e questo paesaggio sono dunque anche un segno di coesione sociale, separatezza voluta, diffidenza verso il moderno lungamente coltivata.
Una certa insistenza è stata riservata nelle schede agli edifici comunitari (forni, seccatoi, trune, selle) e agli edifici per il lavoro (scapite, fienili, stalle) perché proprio in essi pare di intravedere maggiormente il maturare di tipi edilizi autonomi e distintivi. La costruzione dei forni comunitari o dei seccatoi o delle selle in quanto edifici comunitari dimostra, ancora più della costruzione della casa, i caratteri simbolici, ereditari, di questa edilizia delle valli. Forni da pane, seccatoi per le castagne, selle per la conservazione del latte e dei formaggi, scapite, sono rigidamente ripetuti, sempre uguali. Varia la dimensione ma non la sagoma complessiva. Un solo forno tra quelli trovati ha il portico, un solo seccatoio tra quelli trovati è costruito su un forno da pane, una sola sella tra quelle trovate è interamente fuori terra.
E queste eccezioni parrebbero legate intimamente a fondi gestiti dalla Certosa di Casotto. Così parrebbe anche che le Certose come entità esterne, che portarono ad una revisione del modo di coltivare la montagna, possano avere portato anche modi nuovi di fare l'architettura, forse, per la prima volta, a partire da disegni, anche per l'edilizia rurale.
Ma anche questi modi sono stati, per così dire, poco praticati.

DA ROATTINI VERSO IL PREL; DA VINÈ A CASERA VECCHIA. DUE DIVERSE CONDUZIONI DEL PASCOLO ESTIVO.

L'agricoltura in alta valle quasi non esiste, a meno che non si voglia parlare della coltivazione dell'orto vicino a casa, o la coltivazione di pochi solchi di patate o di minuscoli campi di segale. L'attenzione dei residenti è concentrata invece sulla coltivazione del castagno da frutto e poi sulla transumanza per il pascolo estivo, transumanza che partiva dalla borgata di residenza abituale per avviarsi agli alti pascoli fino alle Colle. Nella zona carsica in esame i due paesi di riferimento in basso sono Fontane e Seccata, entrambi sui 1000 metri s.l.m. ed entrambi localizzati in Val Corsaglia.
Nei due centri c'era, prima dello spopolamento del secondo dopoguerra, una chiesa parrocchiale (a Fontane dal Seicento, a Seccata da metà Ottocento) una scuola elementare, un'osteria, qualche festa e qualche mercato o rivenditore ambulante. A questi due centri popolosi (210 abitanti a Fontane e 130 a Seccata ancora nel 1978) si appoggiavano nel secolo precedente due borgate importanti dislocate a quota 1100 circa: Vinè sopra Fontane e Roatin sopra Seccata. Da questi due centri e dai due paesi più in basso prendeva avvio all'inizio dell'estate la transumanza per gli alti pascoli estivi: da metà giugno a fine settembre, da San Giovanni a San Michele (fig. 1).
Si parlerà qui di due "conduzioni di pascolo" completamente diverse e che hanno dato origine ad edifici (ancora oggi visibili) di forme, dimensioni, disegno complessivo marcatamente dissimili perchè dissimile ad essi l'uso richiesto.

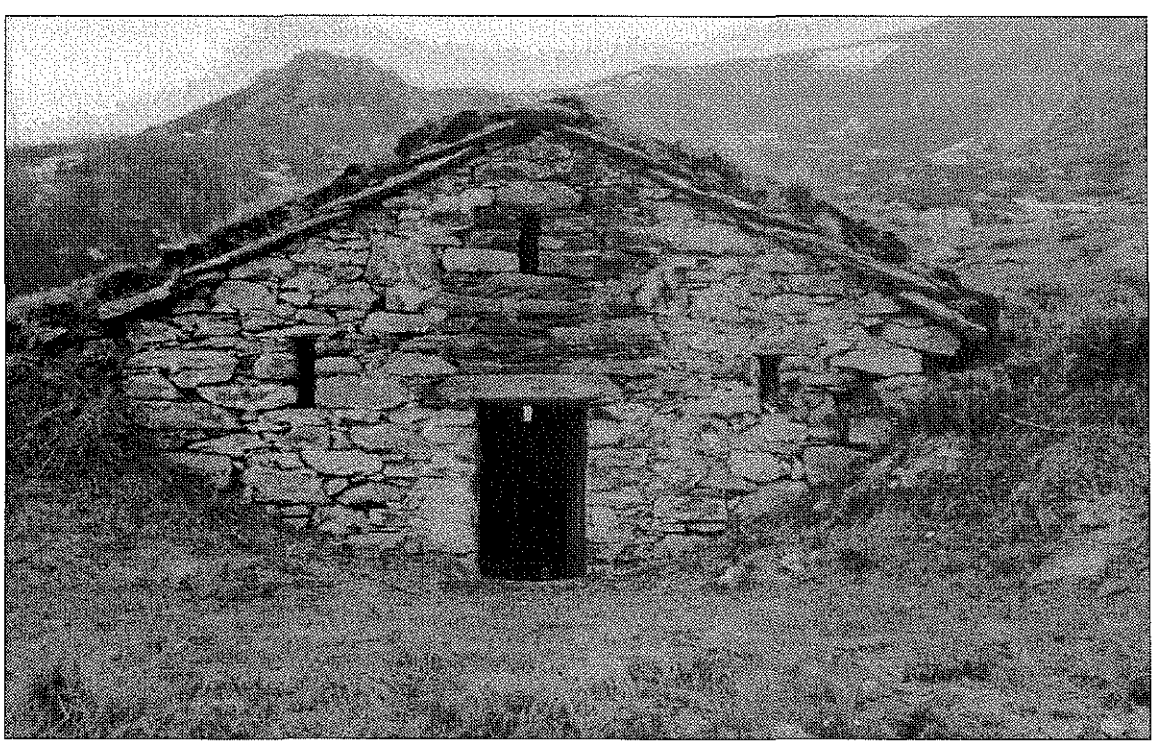
La prima "conduzione" prevedeva una residenza permanente alle borgate poste sui 1100 metri (Vinè, Roatin, Frè, Fomeri) con presenza, nel borgo principale, di una cappella e del relativo cappellano (che svolgeva anche funzioni di maestro elementare), di un artigianato di base (un falegname, un fabbro, un carpentiere-muratore), di edifici comunitari (il forno, il seccatoio per le castagne).
In queste borgate si abitava in stato di relativa autosufficienza tutto l'anno. Gli edifici sono composti di vani di abitazione, stalle, fienili, con volte in pietra e solai di legno, muri portanti con giunti di calce e parti di intonaco e cioè con un aspetto abbastanza "civile". Da queste borgate si passava a primavera tarda ai primi pascoli e ad edifici che avevano la funzione di riparo per le bestie: stalle-fienili usate nei giorni di pioggia e per la notte. Poi il trasferimento riprendeva e si arrivava alle case Gasparetti, Ciarancia, le Penne e Tetti Formaggio, ai piedi del Monte Merdenzone, fino alla Colla del Prel (1615 m s.l.m.). Qui gli edifici presentano tipi essenziali nettamente distinti: alcuni solo con stalla (sotto) e fienile (sopra), altri composti da stalla, abitazione e locale sottotetto (per riporre fascine, fieno, paglia). I primi solo con porte di accesso e senza finestre, gli altri con finestre, finestrine, torrini per il fumo del camino, qualche terrazzino. Edifici tutti di dimensioni ridotte, muri di sola pietra e tetti di paglia.
Il ritorno al basso avveniva con procedimento a ritroso, con stazione intermedia, a partire dalla festa di San Michele (29 settembre).
Il grande pascolo di Casera Vecchia rappresenta invece una eccezione nella pratica dell'alpeggio estivo.
L'Alpe di Casera Vecchia ha un'estensione di 80 giornate piemontesi (una grande cascina) fino all'Ottocento patrimonio dell'abbazia benedettina di San Pietro di Monastero Vasco.
Il Monastero pare risalire al 998 ma la donazione delle terre dell'Alpe da parte dei Marchesi di Morozzo risale, probabilmente, solo al XIV secolo. I monaci hanno poi trasformato le terre avute, con disboscamenti e concimazione, in pascolo da affidare, come forma antica di sperimentazione agricola d'alta montagna, ad una conduzione subalterna e controllata, come vera "stazione pastorale" con contratti da San Giovanni (24 giugno) a San Martino (11 novembre).
Questo implicava una fienagione da consumare sul posto, prima della partenza e prima delle nevicate. Il luogo ad alta quota (1540 s.l.m.) e privo di agevoli vie di collegamento non poteva infatti consentire il trasferimento del fieno, d'inverno, fino ai Vinè o fino ai Roattini.
Gli edifici qui sono tutti del tipo stalla (sotto) e fienile (sopra) tranne due (abitazioni) e tranne alcune selle per la conservazione di formaggi, burro, latte.

E' POSSIBILE UN RECUPERO DOPO L'ABBANDONO?

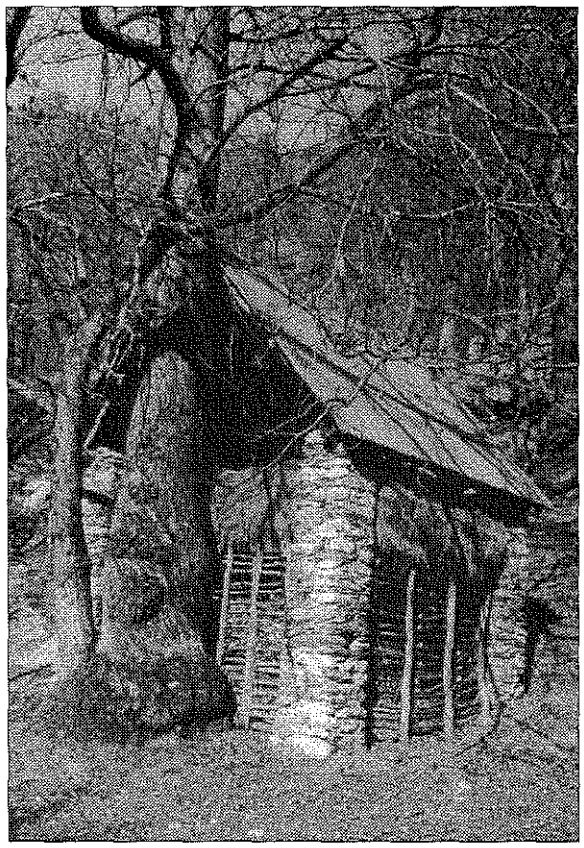
I pascoli anche oggi sono praticati come un tempo. Ma le strade sono più agevoli, il fieno e il latte per i formaggi si trasporta al basso, la guardia delle mandrie è affidata al "cane elettrico". Gli edifici, quasi tutti, sono da tempo abbandonati. Al basso, nello stesso tempo, è sorta, sul contorno dei centri frazionali più importanti, una moltitudine di edifici che, scimiottando l'edilizia tradizionale, hanno portato nell'area alpina gli stessi modi di fare, acritici e banalmente speculativi, delle periferie urbane di pianura ma con aggiunta di qualche rivestimento, in pietra o in legno. E di edifici del tutto diversi e molto lontani dalla "vera" architettura di montagna.
Però il recupero degli edifici abbandonati non ha soltanto problemi di filologia formale ed estetica, ma anche di distribuzione, di impianti, di superfici finestrate. Così mentre è arrivato il tempo di pensare che l'architettura antica è da ristudiare perché è sapiente, vera, semplice, poco costosa, perché e in quanto ha resistito al tempo, alla critica e alle mode, riuscendo a sostanziare e a conservare un paesaggio esteso, un'architettura "naturalmente" funzionale perché essenziale, intimamente legata alla terra come ai bisogni dei suoi utenti, capace di difendere e di aiutare nella conduzione dei pascoli e dei boschi e pertanto "naturalmente" adatta ai luoghi abitati come agli abitanti, così occorre, nel pensare ad un suo recupero, non avere timore nel coniugare tutto per ottenere un effetto di continuità.
Ma occorre rispondere ad un interrogativo di fondo: che cosa, alla fine, di questa edilizia delle valli è comunicabile, trasferibile? Su che cosa poggia la sua estraneità e il suo fascino? E' qualcosa di spiegabile? Un po' si è detto del processo costruttivo (materiali del posto, tecniche elementari) ma della poetica che dire? Occorre anzitutto tralasciare ogni suggestione legata alla patina del tempo, ai ricordi

personali, agli eventi occasionali, al silenzio, all'aria di mistero che le "terre alte" conservano. Occorre cioè non dare per sostanziale il fascino dell'antico, contrapposto a quello delle esistenze nostre attuali, reso dalle nostre vite attuali remoto e quindi anche arcano, reso mitico dal susseguirsi di interpretazioni letterarie, pittoriche, fotografiche.
E quindi, alla fine, in che cosa questi sempre diversi giochi di pietre sovrapposte, di legni grezzi incastrati nei muri, di tavole lavorate all'ascia e di null'altro per alcuni secoli si discosta da altri giochi che noi riteniamo anch'essi raffinati, di nobili facciate composte con cadenze regolari, intarsi marmorei, fantasie di stucchi, architetture arboree, pinnacoli e loggiati, tutti elementi pensati per l'abitare poetico? In questa edilizia delle alte valli del Monregalese, manca ogni tentativo di decorazione, almeno a noi evidente.
Si aggiunga la poca dimestichezza con le scuole e quindi anche con le scienze esatte e la matematica.
Si potrebbe continuare e parlare della assoluta assenza (si direbbe) di criteri di scelta delle pietre o dei legni, o della paglia, o dei rami che non sia per motivi statici, o di ingombro, o di trasporto, o di messa in opera. La geometria elementare qui non è imposta con alcuna evidenza: gli spigoli delle case che sarebbero segmenti materializzati sono appena accennati, gli angoli retti all'incontro di due muri contigui sono quasi tutti irregolari, i muri stessi e le falde dei tetti che potrebbero richiamare piani geometrici sono tutti ingobbiti per un uso trasandato (sembrerebbe) di travi, pietre, spessori, giunzioni, aperture.
Questa geometria però, forse per essere usata nelle forme più elementari o in modi trasandati, è stranamente evidente, appariscente e rivela un pensiero quantitativo sempre presente: peso, misura, numero sono sicuramente tenuti in grande importanza ma espressi in modo grezzo. La geometria come costruzione dell'intelletto, parrebbe priva di interesse. Essa invece è vista come necessità di cantiere e cioè per un connubio da attuare, subito, con la particolare natura delle cose: la rotondità di pietre e legni, le asperità del terreno, la diversa cedevolezza dei vari materiali, gli agenti atmosferici, le stagioni.
L'opera e l'invenzione del costruttore sta (sembrerebbe) solo in azioni di trasporto, sovrapposizione, congiunzione, saldatura e cioè nel rendere utile la materia e finalizzato il lavoro, ma senza spazio per la contemplazione che è invece da dedicare caso mai tutta alle manifestazioni naturali (una nevicata primaverile con erba già verde, un temporale e le pecore impazzite, una distesa di crochi o di primule, un bosco d'inverno, con la galaverna).
Spettacoli di fronte ai quali è inutile ogni tentativo di competizione.
Questo continuo interrogarsi sulla forza delle proprie braccia, questo limitato e discreto uso delle forme geometriche sono strumenti razionali sufficienti (e per quasi un millennio) per passare da un caos naturale indagato solo con pazienti spostamenti a piedi, ad un ordine che ancora denuncia tutte le difficoltà della sua trasformazione, che ancora testimonia il peso, la fatica che ha richiesto per il suo impianto e il suo mantenimento negli anni. E' questo il carattere più appariscente e più suggestivo della architettura tradizionale montana. Essa è data poi anche da un elementare uso delle tecniche, sempre le stesse, con arrangiamenti fortuiti, con solerte applicazione di piccole scoperte tramandate (il cardine di legno, il pilastro con forca in alto) che, tutte insieme, sembrano voler dire che l'edificio in sé è meno importante che la necessità di averlo o di mantenerlo.
Un ultimo segno distintivo di questa edilizia delle alte valli pare quindi essere quello di una provvisorietà da ricercare come definitiva e duratura (la casa è fatta per sé e per i figli), una solidità non curante, che ha nulla della "firmitas" degli edifici derivati da elaborazioni colte.
Questi caratteri dell'edilizia arcaica vanno rigidamente salvaguardati, sia che il progetto tenda ad un recupero sia che debba portare ad una aggiunta di parti nuove. La regola da seguire dovrebbe essere sempre un'opera di giustapposizione: parti vecchie e parti nuove semplicemente accostate, ognuna con le sue proprietà tecnologiche e di montaggio, formate all'ascia o con macchine a controllo numerico, montate a forza di braccia e di carrucola o con uso di elicottero. Solo così si potrebbe arrivare ad assemblaggi nuovi, distinguibili, ma in tema con gli assemblaggi dei costruttori antichi: pietre più legni più paglia più frasche più ogni altra cosa utile ma con estrema evidenza.
Le aggiunte se decise con sapienza porterebbero nuovi motivi di qualità.
L'integrazione, con l'avvicendamento delle stagioni o con l'intermittente veste naturale sarebbe, come nell'antichità, garantita.

▲ Foto 1
Valle Corsaglia - Comune di Frabosa Soprana, Casera Vecchia. Stalle e casotti (foto M. Roatta).

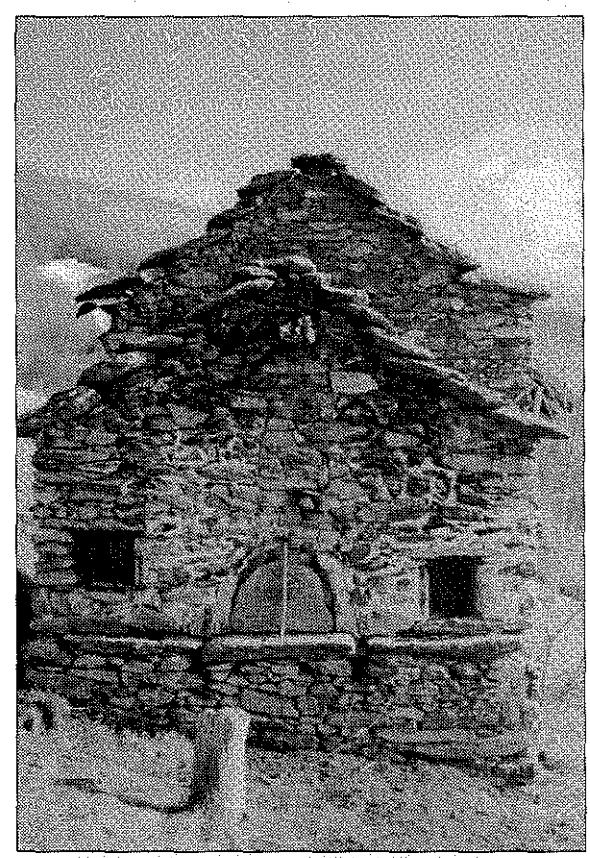


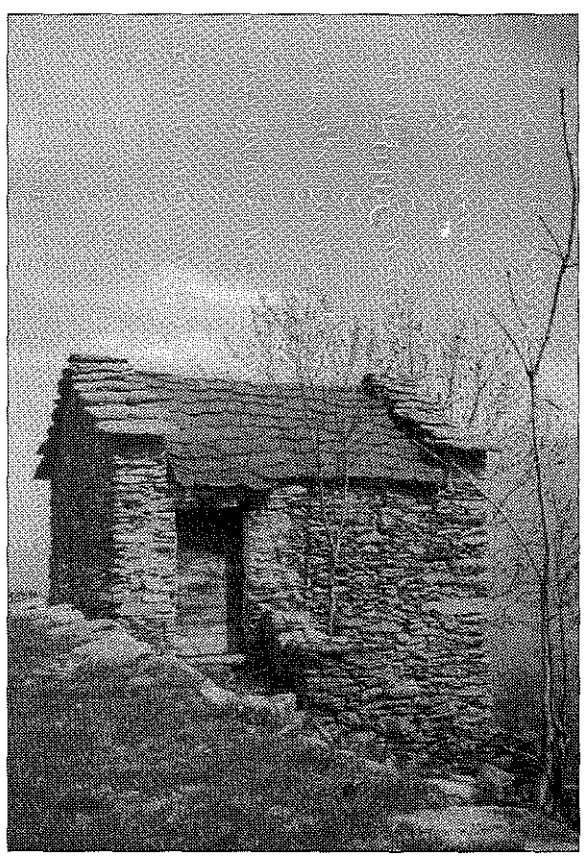
▲ Foto 2
Valle Casotto - Alpe della Valletta. Sella per conservazione dei formaggi.



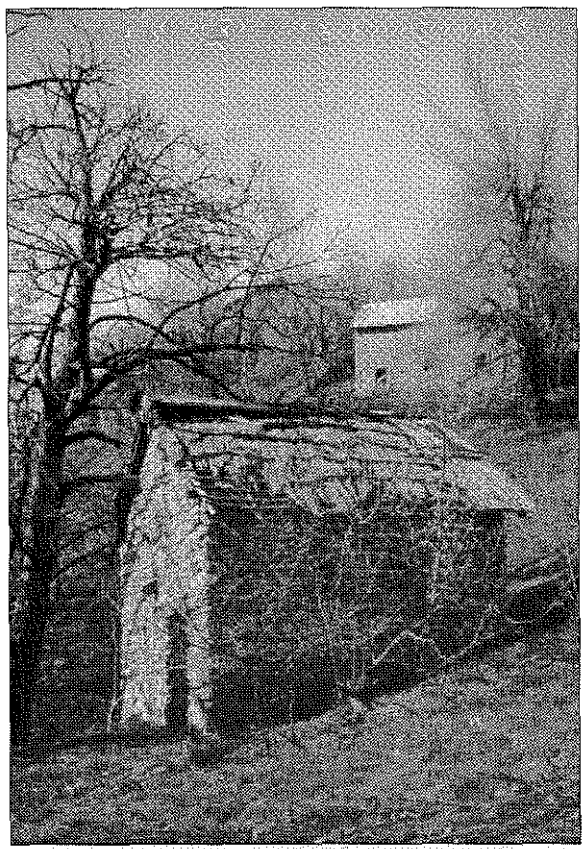
◀ Foto 3
Valle Corsaglia - Fienile appoggiato ad un castagno (foto M. Roatta).

▼ Foto 4
Valle Corsaglia - Prà di Roburent. Forno comunitario di case Roarin.

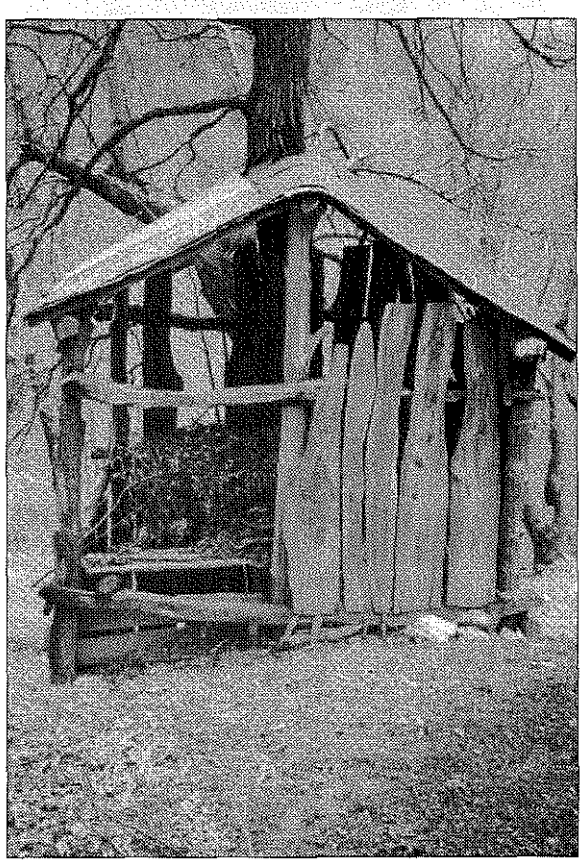




◀ Foto 5
Valle Ellero - Sopra la borgata di Sant'Anna. Casa con tetto racchiuso.



◀ Foto 6
Valle Corsaglia - Sopra Prà di Roburent
Il seccatoio di case Funde.



◀ Foto 7
Valle Maudagna - Rustico per foglie e fieno.

LA DIMENSIONE IPOGEA DELLA VAL PO NELLA TRADIZIONE E NELLA CULTURA POPOLARE LOCALE

Diego Priolo
C.A.I. - sez. di Pinerolo, TO

PREMESSA

La contorta relazione tra l'uomo e la dimensione ipogea nel corso del tempo può essere assunta anche a specchio delle difficoltà che egli ha incontrato, misurandosi con realtà superiori in quel momento storico alle sue possibilità di conoscerle, o relazionandosi con loro attraverso strutture e sovrastrutture sociali e culturali che ne condizionavano l'approccio.

Agli albori della storia dell'uomo, la grotta e la caverna furono tra i primi rifugi che contribuirono a garantire la stessa sopravvivenza del genere umano; archetipi inconsapevoli ma rassicuranti di calore, di protezione, di appartenenza alla terra e di maternità. Il buio di questi antri non era evocativo di paure o di angosce e per questo l'uomo li volle conoscere, li ispezionò e li assunse nel suo bagaglio di esperienze. Si fermò soltanto quando si rese conto che la crescita della sua specie non era ancora tale da fornirgli strumenti e conoscenze adeguati per procedere ulteriormente. La sua sicurezza, la sua familiarità ed il suo star bene in questi posti, si riflettettero per certi versi anche in una sua espressione comunicativa che oggigiorno noi diciamo artistica ma che per il nostro antenato aveva come finalità quella di documentare, di oggettivare e di confermare visivamente un'immagine fermata nella memoria, un suo vissuto. Tutto questo doveva infatti presupporre un'atmosfera ed un clima favorevoli, quali può offrire un luogo protettivo. Anche quando in epoca cosidetta classica l'ormai lungo percorso esperienziale dell'uomo e la sua capacità intellettiva sempre più evoluta, gli permettevano letture più concettuali e simboliche di questa dimensione, l'iniziale positività governava ancora questo rapporto. Così nelle grotte nascevano divinità, si svolgevano funzioni e ritualità connesse a misteri religiosi, si custodivano fisicamente e metaforicamente fonti di sapere. Lo stesso Gesù, almeno secondo una certa iconografia popolare, nacque in una grotta e questo accostamento, seppure solo prospettato in chiave narrativo-popolare, non è in ogni caso casuale ma latore di memorie, di tradizioni, di vissuti e soprattutto di continuità.
Di preciso non è possibile fissare un momento o un periodo storico quando questa dimensione naturale cominciò ad apparire sospetta, da temere. Probabilmente ci fu una concomitanza di percorsi culturali, esperienziali e di eventi storici. Certamente alla base, c'era in ogni caso la lontananza fisica progressiva dell'uomo dalla grotta, sempre meno realtà conosciuta e contemporaneamente sempre più oggetto di lettura simbolica o attraverso le lenti sempre più ispessite da strutture e sovrastrutture.
Fu probabilmente nel medioevo, quando le categorie del fantastico, del meraviglioso e dell'immaginario trovarono una certa classificazione ed organizzazione, e la cultura dotta prese in considerazione cosa aveva immaginato e prodotto quella popolare, che si cominciarono a fissare certi stereotipi, certi abbinamenti, certe credenze. Grotte e caverne si ritrovarono così non solo estranee ad approcci conoscitivi ma luoghi da diffidare a priori, non più popolati da uomini indifesi ma da creature da temere, fossero esse umane o sovraumane. E la creatura che occupava la grotta venne ritenuta non in cerca di un riparo ma di un luogo in cui agire senza essere vista, dunque sospetta ed in qualche modo colpevole.Un sospetto che per certi versi culturalmente e mentalmente si strutturò e si concretizzò ulteriormente, quando singoli individui o gruppi, per appartenenza etnica o per la religione professata o per la loro condizione sociale e/o fisica, aspetti tutti che per qualche ragione si contrapponevano od offrivano alternative al potere vigente in loco, furono costretti qui a rifugiarsi. Si costituiva così una classe di emarginati molto variegata: sia per la tipologia dei suoi appartenenti, sia per le modalità di relazione, ma in ogni caso sfuggente a precise classificazioni o collocazioni nella rigida impalcatura della società del tempo.

Certamente in questo processo di individuazione dei sospetti e delle creature frequentanti l'ambiente ipogeo, messo in atto dalla tradizione popolare, c'era a monte e contemporaneamente una grossa attività di rielaborazione, di adattamento e di parzialità di tutti quei messaggi informativi, normativi, religiosi calati dall'alto, dai dotti.
Il risultato fu comunque che giorno dopo giorno la grotta si aprì sempre meno all'esterno per rinchiudersi, per nascondere e per celare i suoi segreti. Ciò che un tempo, pur essendo un'eccezione sul territorio, non destava alcuna preoccupazione ma rientrava nella varietà paesaggistica e fisica locale, ora, tale peculiarità, veniva vista in distonia con il resto del paesaggio. Perchè queste improvvise aperture nella terra? Dove conducono? Cosa favoriscono ? Sono una porta aperta alla dimensione governata dal buio in opposizione a quella della luce? Tutte domande che sembrerebbero superate e già da tempo, ma che invece dialogando con la gente e quando un senso di fiducia e di rispetto si instaura tra intervistatore ed intervistato, si scoprono ancora radicate ed in qualche caso purtroppo le uniche informazioni sull'argomento. Nelle grotte e nelle caverne finirono anche gli ultimi retaggi del passato storico più remoto. Quasi uno sgabuzzino o una cantina in cui depositare vesti culturali ormai fuori tempo.
Così creature in origine non necessariamente notturne né obbligatoriamente associate al mondo ipogeo, si trovarono qui relegate sia sotto l'aspetto fisico sia culturale. L'assenza di luce determinò inoltre il concepimento di creature mostruose, impossibili con tale presenza; gli stessi tesori incredibili, nascosti in questi antri, non potevano essere immaginati all'esterno. Per gli esseri umani qui emarginati, il sospetto di un loro contatto o di una loro frequentazione con dimensioni del buio, aggravava poi naturalmente la condanna già emessa nei loro confronti. E questo nonostante l'uomo selvatico, capostipite di questa categoria di esclusi, e qui vissuto, fosse stato uno dei divulgatori di nuovi saperi e conoscenze, non certamente provenienti dal buio.
C'è poi un capitolo sorprendente in questa relazione ed è quello relativo alla presenza dell'eremita, forte figura di religioso che scelse la grotta o la caverna come abitazione in conseguenza della sua decisione di appartarsi dal mondo umano per stare più a contatto con Dio. Una scelta che per certi versi si potrebbe anche leggere come una specie di riconciliazione con la naturalità e la semplicità di questa dimensione ambientale. Non tanto una sacralizzazione o risacralizzazione di un luogo, azione che avrebbe sottinteso un intervento "egemonico" culturale, quanto un recupero di relazione tra soggetti un tempo molto vicini. (Considerando la prospettiva di questa ricerca, non ci si sofferma infine sull'abbinamento, simbolicamente ed emotivamente molto forte tra la figura della Madonna/Vergine Nera e la grotta, argomento troppo vasto e profondo per tentare anche solo un serio accenno divulgativo).

LA DIMENSIONE IPOGEA DELL'ALTA VAL PO

Le peculiarità fisiche del territorio dell'alta Val Po, tra cui la presenza di alti monti e di misteriose aperture nella terra, non potevano rimanere estranee alla vita fisica, sociale/relazionale e culturale delle comunità valligiane locali. E nella lettura che ne è derivata in merito, sono confluiti oltre al vissuto storico documentato, anche frammenti di memoria del passato più lontano della valle. Altrettanto influente nel momento della rielaborazione e della redazione di racconti e di credenze, è stata inoltre la collocazione di questo territorio tra contesti valligiani a forti identità e specificità, quali le valli pinerolesi, quelle saluzzesi e l'oltralpe francese. Un patrimonio collettivo di sapere e di vissuto che, anche quando si è misurato con il mondo sotterraneo, sebbene qui caratterizzato all'esterno da affioramenti rocciosi biancastri dovuti alla componente carsica che li contraddistingue, ha messo in evidenza alcune sue specificità.

La Grotta di Rio Martino sia per la sua collocazione, tutto sommata abbastanza vicina al paese, sia per il suo ingresso così imponente ed impossibile da non essere notato, sia per le sue possibilità di accoglienza, fu quella che probabilmente per prima s'incontrò con la locale comunità. Un'ipotesi sostenuta pure da documentazione storica quale il ritrovamento di resti di una possibile abitazione neolitica (fonte: Gazzetta di Saluzzo, 1872), e indirettamente, anche da una delle denominazioni in uso per indicarla e cioè da Balma (o Barma) di Rio Martino, apertura intesa dunque come riparo e protezione della roccia e non presupponente necessariamente un suo sviluppo sotterraneo.

Di fatto nel XVI, la credenza che in questo enorme antro si riunissero di notte terribili creature "stregonesche" o addirittura qui abitassero, era tale che il sito fu ufficialmente esorcizzato, e non privo di significato è il fatto che la stessa denominazione della grotta ricordi l'inquisitore Martino Delrio, uno dei responsabili di questo intervento. In anni successivi, durante il cosidetto periodo delle persecuzioni religiose, le ossa di San Chiaffredo per paura che venissero manomesse o distrutte, sarebbero state qui traslate dalla chiesa che le custodiva, con la speranza o con la certezza che nessuno avrebbe mai osato venirle a cercare in un simile luogo. Un altro elemento di disagio fu determinato dalla presenza di un rio interno, per di più anche copioso. Ciò significava infatti condotti, collegamenti inimmaginabili , un perdersi ulteriore in questo mondo sotterraneo, che venne per assurdo associato al Monviso, altra realtà per certi versi inimmaginabile, date le difficoltà della sua conquista. Sempre in questa prospettiva di eccezionalità, nei secoli successivi, alcuni studiosi come il Della Chiesa, il St.Simon ed il Malacarne, ipotizzarono nella grotta la presenza di un filone aureo, aggiornando inconsapevolmente sotto certi aspetti il tema del tesoro nascosto.
(In zona il tema, che ha un certo peso, ruota soprattutto sull'ipotizzata presenza della miniera d'oro della Brinduira che si apriva in un vallone che sale alla volta della Sea Bianca, sul versante orografico sinistro della Val Po, a circa 3 ore di cammino da Crissolo. Una frana ne avrebbe però ostruito da tempo l'ingresso, la cui individuazone - secondo la leggenda - sarebbe tuttavia facilitata osservando dove cadono i raggi del sole all'alba del 24 giugno. Uno studio dettagliato su questa miniera è stato effettuato da Luigi Destre e pubblicato sul n.54 di CAI - Monviso, Saluzzo)
Comunque sia, studi ed esplorazioni hanno ormai reso da tempo familiare e culturalmente inoffensiva questa bella grotta.Le stesse credenze del passato faticano a sopravvivere nel loro riporto come documento antropologico. Problematica pertanto la valutazione/classificazione del racconto/credenza raccolto in zona nell'agosto 2003 secondo il quale, quando il sole scende, si udrebbero vicino all'ingresso delle voci di bambini, vittime di un incidente accaduto qui nei pressi, quando il carro trainato da buoi e su cui si trovavano, precipitò. Di questa presunta tragedia non si sono infatti trovati riscontri "ufficiali", sebbene un simile incidente potesse purtroppo rientrare nella quotidianità lavorativa e sociale del passato.
Analizzando i contenuti della narrazione, emerge tuttavia anche un'altra considerazione e cioè che forse il potere evocativo di questo rilevante soggetto ipogeo non si è ancora del tutto esaurito e questo nonostante tutte le informazioni acquisite in merito. Forse ci sono ancora bisogni collettivi ed individuali che chiedono soddifazione attraverso una sua ennesima elaborazione fantastica. Il racconto presenta infatti più o meno in modo esplicito, possibili collegamenti con altri temi narrativi locali, quali ad esempio quello del ritrovamento del corpo di San Chiaffredo (la ragazza che sta arando e che precipita nella scarpata con i buoi che tirano l'aratro), quello del carro (mezzo di trasporto associato a divinità celtiche ma ricordante soprattutto in questa valle il mezzo normalmente impiegato per portare in processione S.Isidoro, figura molto venerata dal mondo contadino particolarmente nella bassa Val Po), quello dell'individuazione dell'apertura della miniera aurea sopra accennata (è il sole ad indicare l'ubicazione del luogo ed a stabilire il momento in cui un evento può accadere), ed infine quello della credenza che le grotte fossero in comunicazione con altre dimensioni fisiche e trascendentali, da cui la presenza delle voci, udibili quando il sole cala, perchè quello era il momento in cui cessavano le attività lavorative ed iniziava il periodo del rapportarsi con la dimensione temporale, fisica, psicologica e culturale del buio.
La morte per disgrazia in montagna è comunque un tema non secondario nella narrativa popolare alpina, sebbene la sua trattazione non sia sempre così esplicita e diretta. Nella vicina alta Val Varaita ad esempio, secondo una leggenda raccolta da Euclide Milano e pubblicata nel 1931 Nel Regno della Fantasia (leggende del territorio cuneese), la chiesa di Torrette ospitava una messa notturna in cui il celebrante ed i fedeli erano stati tutti vittime della montagna.

Avvolto ancora da una certa patina di leggenda, si presenta invece il **Buco di Valenza**,un soggetto ipogeo a sviluppo abissale, il cui anonimo ingresso: circa un metro di diametro (la diceria che ci si potrebbe casualmente cadere dentro non è poi così lontana dalla realtà!), se da un lato non incute timore, osservandolo poi da vicino e notando a cosa immette, diventa motivo di forte apprensione. Il Buco si trova ad un'ora abbondante da Crissolo, non molto distante dal sentiero che collega questo

centro con Oncino, passando per Meire Marco. L'area che lo ospita: a pochi metri dal letto spesso asciutto del rio di Comba Bruzà, sulla sponda orografica sinistra, presenta altre aperture che sono attualmente al vaglio esplorativo di alcuni gruppi speleologici piemontesi quali quello di Carmagnola e di Saluzzo, e che potrebbero far parte dello sviluppo ramificato di questo soggetto. Anche in questo caso si tratta di aperture "anonime" che consigliano pertanto una dovuta attenzione nella visita del luogo. Mentre le caratteristiche della Grotta di Rio Martino, favorendo la sua scoperta, ne determinarono anche molto presto la sua assunzione nel bagaglio esperienziale dell'uomo, le caratteristiche fisiche del Buco di Valenza impedendo un'analoga esplorazione, hanno accresciuto, ed indirettamente conservato, tutto quel corredo di diffidenze e di paure dettate dai limiti conoscitivi. Se nel caso precedente, l'antica frequentazione suggerì che il sito poteva effettivamente essere stato abitato, da cui l'associazione del luogo con le "masche"(streghe), termine generico e probabilmente improprio, ma consolidatosi nel tempo a seguito del prevalere della lingua piemontese sulla parlata provenzale del posto, per il Buco il riscontro immediato dell'impossibilità di un suo sfruttamento come possibile abitazione umana, non escluse in ogni caso a priori l'ipotesi che altre creature avessero potuto eleggerlo a rifugio.
Creature innaturali come solo un simile luogo avrebbe potuto accogliere e permettere loro di vivere. Se il Nicoli a pag. 293 del suo Monviso, Re di Pietra, parlando sulle possibili interpretazioni del toponino Valenza, riporta anche quella che vorrebbe tale termine in riferimento alla "masca- regina" che qui sarebbe vissuta", per i valligiani era però la presenza in questo abisso di un grosso corvo bianco e per di più velenoso, ad essere particolarmente temuta. Un animale mostruoso nelle sue anomalie come analogalmente si presentava il luogo che lo accoglieva. Un uomo calatosi dentro, per esaminare il tratto iniziale, quando venne riportato in superficie dai compagni che dall'esterno avevano collaborato all'impresa, risultò essere stato ucciso dalle terribili beccate velenose inferte sul suo corpo da questo misterioso animale. Nella versione riportata da Gianni Aimar in Gente del Monviso (I Libri del Corriere) a pag.144,, sarebbe stato soltanto il "dito mignolo destro a portare il segno dell'orribile morso". Un particolare anatomico non casuale e probabilmente legato al significato attribuito alla mano ed alle singole dita presso molte culture del passato.
In una conosciuta leggenda delle valli di Lanzo, raccolta da Maria Savi Lopez 150 anni fa, si legge, ad esempio, che i morti partecipanti a quelle misteriose processioni notturne che si svolgevano tra questi monti, illuminavano il loro cammino con il mignolo accesso. Una fiammella che nessun vento poteva spegnere e che essi potevano cedere al viandante in difficoltà. La stessa tradizione, supportata da un analogo sviluppo narrativo, si ritrova in una leggenda della val Maira in relazione al vallone dell'Olivengo, riportata da Euclide Milano come la Processione dei Morti).
Tornando all' episodio che si vorrebbe veritiero, almeno in relazione alla tragica fine dell'uomo, e nel cui riporto narrativo potrebbero essere confluite tracce dell'antiche culture qui diffusesi, va detto che in ogni caso, nei pressi del Buco, si trovava effettivamente fino a pochi anni fa una croce che veniva associata al presunto fatto sopra descritto.
(La scomparsa di un uomo in uno di questi abissi viene ricordata in modo più preciso nel Lou Pertù de Meni, cioè di Domenico, un giovane pastore di mucche, che una sera vi sarebbe caduto dentro e che non sarebbe stato più recuperato. Questo soggetto ipogeo si trova nella zona di Croce Bulè, ad ovest di Oncino, area contraddistinta anche dalla presenza carsica di Rocca Bianca.)
Le presunte antiche tracce, ipotizzate nella tragica cronaca, ruotano attorno al misterioso corvo. Il suo colore bianco, oltre ad un'eventuale associazione al cromatismo biancastro litico locale, ed al contrapporsi al colore nero naturale dell'uccello, è in molte vallate alpine piemontesi uno dei colori dell'imminenza di una tragedia, della morte. Nelle leggende delle valli saluzzesi, ad esempio, il cavallo bianco ed il montone bianco compaiono in genere come figure infauste per l'individuo che si accompagna a loro. Nelle valli cuneesi, soprattutto delle Alpi Marittime, troviamo invece il Candì, un essere di difficile identificazione, descritto a volte come una massa bianca di imprecisa consistenza il cui incontro procurerebbe sempre forti apprensioni. Circa la seconda vistosa anomalia di questo corvo, e cioè il fatto di essere velenoso, il richiamo più immediato è al serpente e soprattutto alla vipera, tra gli animali considerati più pericolosi in senso assoluto.

Si riteneva infatti che il suo veleno non avesse rimedi e questo acuiva da un lato la sua pericolosità reale e dall'altro il corredo immaginifico già sostenuto. Ma quale reminescenza o traccia di cultura potrebbe sottostare alla presenza di un così singolare uccello in un simile contesto ? Senza dare per scontato che si tratti di un'eredità culturale celtica, è però altrettanto impegnativo negarne la possibilità: sia per il significato associato a questo colore, sia per il fatto, soprattutto, che il corvo è uno degli animali di maggior spessore simbolico in questa cultura, con abbinamenti ricorrenti con Lugh, dio delle arti e della guerra, e con dee quali Nantosuelta e Morrigam. Un animale che può assumere per metamorfosi sembianze umane ma che rimane una creatura ctonia, del buio, e spesso rappresentato intento a cercare carogne dopo una battaglia. La collocazione di una simile creatura in quest'antro, potrebbe pertanto essere letta da un lato come la conservazione di una genuina memoria di questa civiltà che sicuramente, pur tra mediazioni ed adattamenti, caratterizzò per lungo tempo questo tratto alpino, e dall'altro, come il luogo simbolico e fisico in cui essa venne cacciata ed esiliata a seguito dell'imporsi di nuove culture.
Quando l'immagine di questo terribile custode cominciò ad affievolirsi, si rifece sentire il desiderio di conoscere qualcosa in più su questo misterioso abisso. Una voce popolare abbastanza diffusa, asseriva che un valligiano,convinto che questo buco dovesse per forza avere una via di uscita,vi avesse gettato dentro un giorno il suo vecchio gatto. Al di là dell'atto crudele, giudizio però elaborato sui nostri attuali valori e principi culturali, questo gesto non è che un adattamento dell'antico rito del sacrificio, come pegno o pagamento, prima di una nuova impresa o esperienza in senso lato. La scelta poi del vecchio animale potrebbe sottintendere una "pragmatica" valutazione econonica dell'eventuale perdita in un simile compito. Giudicare tale comportamento egoistico o crudele potrebbe essere molto riduttivo: una condanna morale, attualmente più che condivisibile, ma non esprimente la forma mentale ed i valori della società a cui appartenne chi redasse il racconto. Il vecchio gatto con il suo sacrificio, dal momento che venne trovato morto sul greto del Po, poco più a valle, comprovò in ogni caso l'esistenza di una via di uscita dal Buco. Un'altra considerazione in merito alla scelta del felino, potrebbe far riferimento a che cosa esso simboleggia o rappresenta nella tradizione popolare. In questa prospettiva il gatto è infatti contemplato come una creatura del buio sia in senso fisico sia in senso mentale- figurato. Una creatura dunque che avrebbe dovuto sapersi muovere in un simile ambiente, ed anche relazionarsi con gli esseri che qui potevano trovarsi.
Sempre per questo soggetto ipogeo, ma la pratica rituale era seguita anche in altre valli in analoghe situazioni, si narra che quando qualche pastore, soprattutto giovane, era costretto a passare nei pressi, fosse solito lanciare una pietra dentro. I racconti riportano diverse motivazioni in merito: per avere conferma della profondità dell'abisso non sentendo un sasso toccare il fondosasso (ma perchè allora ripetere il gesto altre volte?), per trattenere le creature che qui vivevano dall'uscir fuori o più verosimilmente come gesto- epigono delle offerte votive fatte alle divinità temute per non incorrere nelle loro ire?

Oltre al Buco, altrettanto presente nel patrimonio culturale popolare, resta la **Grotta della Fantino** o **lu(lou) Pertù d'lei(di) Fantine**, nel territorio di Oncino, comune che si trova nella valle del Lenta, affluente di destra del Po. Il Pertù, si apre ai piedi di un sostanzioso affioramente carsico, in zona le Cialancie, a monte della frazioni Chiotti. La sua bassa apertura, e la scarsa frequentazione del posto non facilitano certamente la sua scoperta e non sono rimasti in molti nella valle a conoscerne l'esatta ubicazione. Come dice la sua denominazione, esso sarebbe stato l'abitazione di una fata, qui detta "fantino" o "fantina", termine normalmente impiegato nelle zone di parlata provenzale delle vallate pinerolesi. Esso si sarebbe originato dal francese "enfant": bambino / infante, coniato probabilmente verso l' undicesimo secolo.
L'aspetto fisico prospettato dal termine si ritrova soprattutto nelle rappresentanti del mondo ferico delle valli pinerolesi dove uno dei modelli di fata chiara, per distinguerla da quella scura più marcatamente legata al mondo ctonio, la tratteggia in genere piccola, come una bambina, e con un volto ed una voce tipici di quell'età. A differenza di queste vallate, la fantino di Oncino, ricordata a volte come singola creatura o all'interno di un esiguo gruppo, evidenzia invece nelle carnagione scura, nella pelosità e nella bassa statura, caratteristiche che l'avvicinano di più allo stereotipo della donna selvatica che non tanto della fata, sebbene nell'arco alpino occidentale sia anche presente un simile tipo ferico.

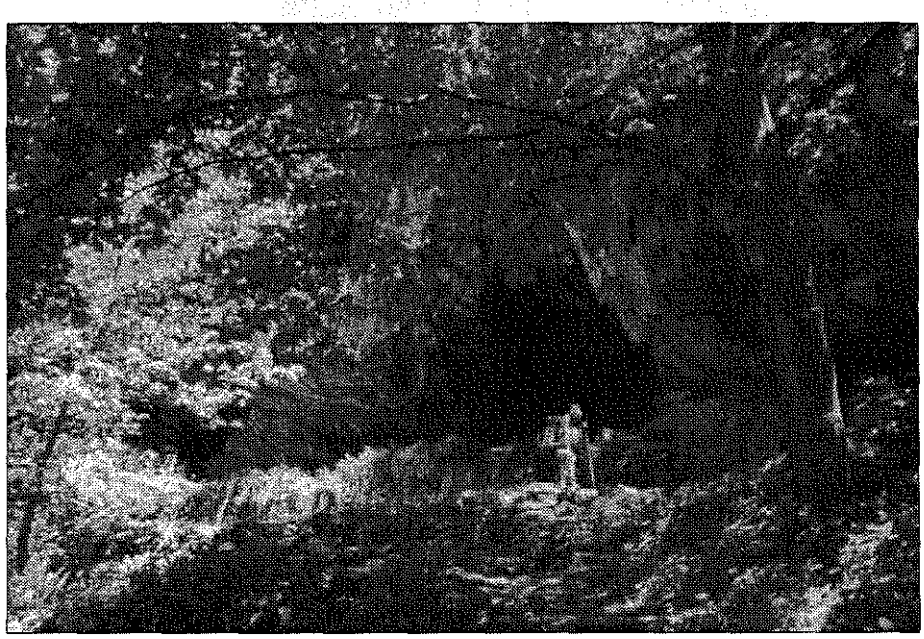
La minutezza del personaggio, al di là dell'aspetto simbolico, trova corrispondenza anche nelle dimensioni del suo sito abitativo: non solo un basso ingresso (meno di un metro di altezza) ma pure un lungo corridoio a seguire di analoghe proporzioni.
E proprio l'impedimento nel passato a procedere nell'ispezione di detto corridoio, ma con la quasi certezza che alla conclusione, esso cominciasse a scendere, fece ritenere che ci si trovasse di fronte ad un altro abisso, con conseguenti mode e forme di strategia conoscitiva del tutto simili a quelle elencati per il Buco di Valenza.
Così anche qui un gatto sarebbe stato sacrificato per scoprire dove uscisse più a valle lo sviluppo del pertus, ma in questo caso alla povera bestiola, per essere certi del suo riconoscimento una volta rinvenuta, venne legato un nastrino rosso al collo ... Sempre con le stesse finalità, nel Pertù de Meni, sarebbero stati invece gettati addirittura tre gatti con tanto di fiocco.
E' comunque difficile cogliere oggigiorno il ritratto complessivo della fata. Il racconto locale, prima fonte informativa, come spesso é accaduto, si presenta alquanto indebolito e particolarmente di fronte a simili personaggi. C'era una certa familiarità con loro, ma nello stesso tempo la consapevolezza della loro distanza sociale, comportamentale, funzionale, oltreché fisica. Se alcuni segni della loro presenza in un luogo, come il bucato, in genere bianco, steso ad asciugare al sole, potevano rientrare nelle normali mansioni di una donna di casa (naturalmente secondo i valori ed i modelli prospettati dal redattore e dal veicolatore del racconto), su di un piano metaforico, questa esposizione che doveva rassicurare gli umani,mostrando comportamenti ed abitudini condivisibili, poteva sottintendere il loro desiderio di entrare in contatto con quest'ultimi. Anche lo scambio dei loro figli con quelli delle donne dei villaggi sembrerebbe collocarsi in un'analoga prospettiva. Se per le "fontine" l'inserimento nella società umana risultava quasi impossibile, a causa delle fin troppe visibili differenze, per i loro figli, che non avevano ancora recepito la cultura delle madri (dal momento che la figura maschile ferica non è mai contemplata in queste valli) l'accoglienza sembrava "teoricamente" più a portata di mano.
Di fatto questi scambi imposti non avevano però mai successo ed ancora molto popolare è l'espressione che le fantine avrebbero usato quando venivano a riportare spontaneamente il frutto del loro rapimento ed a riprendersi i loro figli: "Arlé mielh lou miou brut brut que lou tiou bél bél " (Meglio il mio brutto brutto che il tuo bello, bello). (Da G.Aimar, op.cit. pag 146). Si racconta pure che per convincere le fantine a venirsi a riprendere i figli ed a riconsegnare i loro, le donne di Oncino dessero da mangiare ai primi terra ed acqua, il che procurava pianti di fame tali da richiamare presto le loro madri naturali.
In alcuni racconti c'è in ogni caso una certa insistenza sugli accorgimenti adottati per evitare che i bambini venissero rapiti. Essi non venivano infatti mai lasciati sul confine del prato o del campo (limite quindi non tanto fisico quando indicatore di saparazione di culture e di identità), territorio potenzialmente avvicinabile e contagiabile dall'altra parte, ma sempre tenuti dalla madre nelle strette vicinanze. Dunque le due società potevano condividere lo stesso territorio ma non la stessa dimensione culturale e questo nonostante qualche ricordo narrativo locale voglia le fantine tra le eroine culturali locali che avrebbero insegnato, ad esempio, a riconoscere e ad utilizzare le erbe medicinali.

La presenza della fata in valle è ricordata anche da un altro sito con analoghe caratteristiche geo-fisiche (non ancora però testate da un riscontro oggettivo) ed analoga denominazione: **Lou Pertù d'la fantino 'd Punta Gardetta**, che si apre poco sotto (3/5 metri) la sommità di Punta Gardetta, lungo un costone erboso ben visibile da Meire Bigorie. Pure in questo caso, un gatto, trovato morto dai padroni tre giorni dopo sotto il ponte di Oncino, avrebbe confermato la presenza di un condotto di uscita. L'ipotesi che la Fantino o le Fantine del Pertù siano infine eco di più personaggi e vicende del passato locale, trarrebbe alimento da un altro personaggio che sarebbe qui vissuto. Si tratta della Bouroujo(trascrizione "provvisoria"), una figura femminile, con caratteristiche fisiche vicine a quelle umane, ma connotata di un forte cromatismo scuro nei capelli, peluria, pelle, occhi e nel vestito. Essa viveva appartata, indicazione che dovrebbe già essere presente nel significato del nome che la identifica, ma ogni tanto si faceva vedere e la si poteva incontrare di notte soprattutto nella zona dei Chiotti.

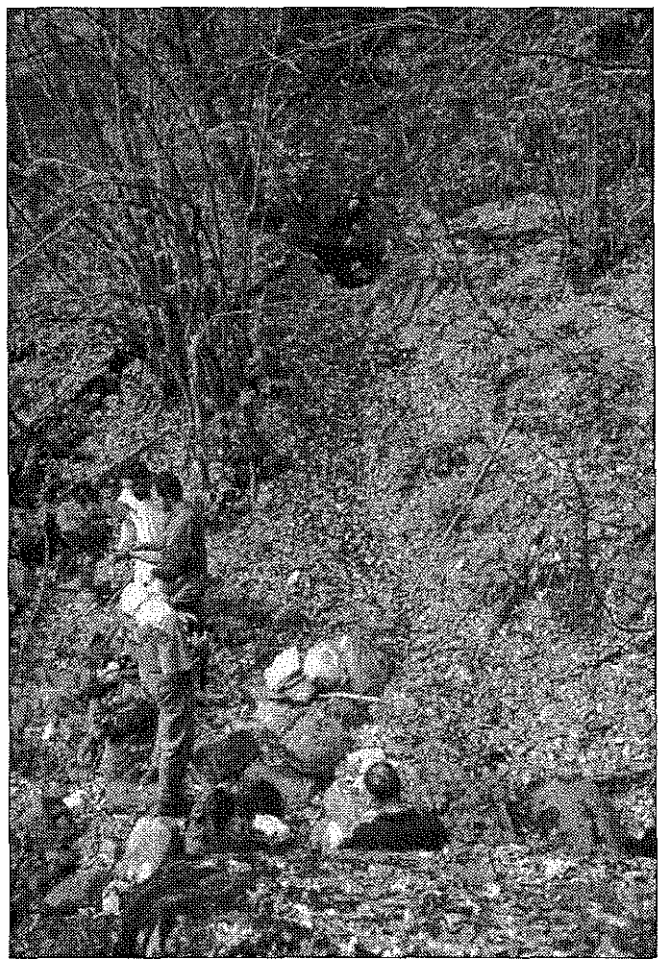
Coincidenza o conferma di una presenza forestiera in loco piuttosto significativa? Non si ricordano sue "male" azioni ma la si guardava con sospetto e con paura, ed a quanto raccolto in merito, essa appare più avvicinabile ad un certo stereotipo di strega o di donna selvatica che non di fata, seppur non addomesticata.

Prima di concludere, sebbene il soggetto ipogeo in questione non sia stato ancora individuato e si faccia difficoltà a trovare notizie in merito, è opportuno almeno citare il "**Pertù Caud**" (Buco Caldo), che in base alla frammentaria documentazione acquisita dovrebbe trovarsi poco distante dal Buco delle Fantine. La sua peculiarità sarebbe quella di emettere un'aria calda (secondo una voce) o di garantire internamente una temperatura alquanto alta e decisamente anomala rispetto a tutte le altre grotte. Lo si vorrebbe inoltre di forma piuttosto stretta e non ultimo, abitata da un vecchietto che secondo una tradizione sempre più fragile nel ricordo, sarebbe stato colui che portava i bambini nelle case dell'alta Val Po, un'insolita "cicogna" datata ... Anche in questo caso l'anomalia fisico-ambientale doveva trovare un'adeguata giustificazione e l'elaborazione costruita in merito è simbolicamente forte: la grotta come caldo antro materno e protettivo, il vecchietto come mediatore con l'esterno. Un mediatore anziano ma valorizzato dall'esperienza e forse anche vicino al ritorno alla terra, alla dimensione ctonia. Gli altri buchi della zona, stando a questa ricerca effettuata in questi ultimi anni, non conservano tracce significative di lettura popolare in merito.Di alcuni di loro, nonostante il ricordo e forse pure l'accatastamento, non si trovano più nemmeno gli ingressi o le ubicazioni.
In contrapposizione a questo dato, la ricerca speleo dei nostri giorni sta invece riservando sorprese che nel tempo potrebbero favorire da un lato un recupero di informazioni depositate nella memoria collettiva valligiana, e dall'altro un'ulteriore crescita di consapevolezza del valore di questa risorsa del territorio, evitando così anche il rischio che buchi casualmente scoperti o emersi a seguito di lavori stradali, o di scavi, vengano nascosti o colmati, sebbene "lodevole" sia la motivazione a monte dell'iniziativa, evitare cioè che possano essere fonte di pericolo.

Priolo Diego, insegnante di Inglese al liceo, si interessa da decenni di folklore, ed in particolare della dimensione narrativa espressa dalla leggenda, proponendo poi il frutto della sua ricerca sul territorio, soprattutto in relazione all'arco alpino, attraverso libri, articoli e conferenze. Le fotografie sono di Federico Magrì (CAI.sez.di Pinerolo).

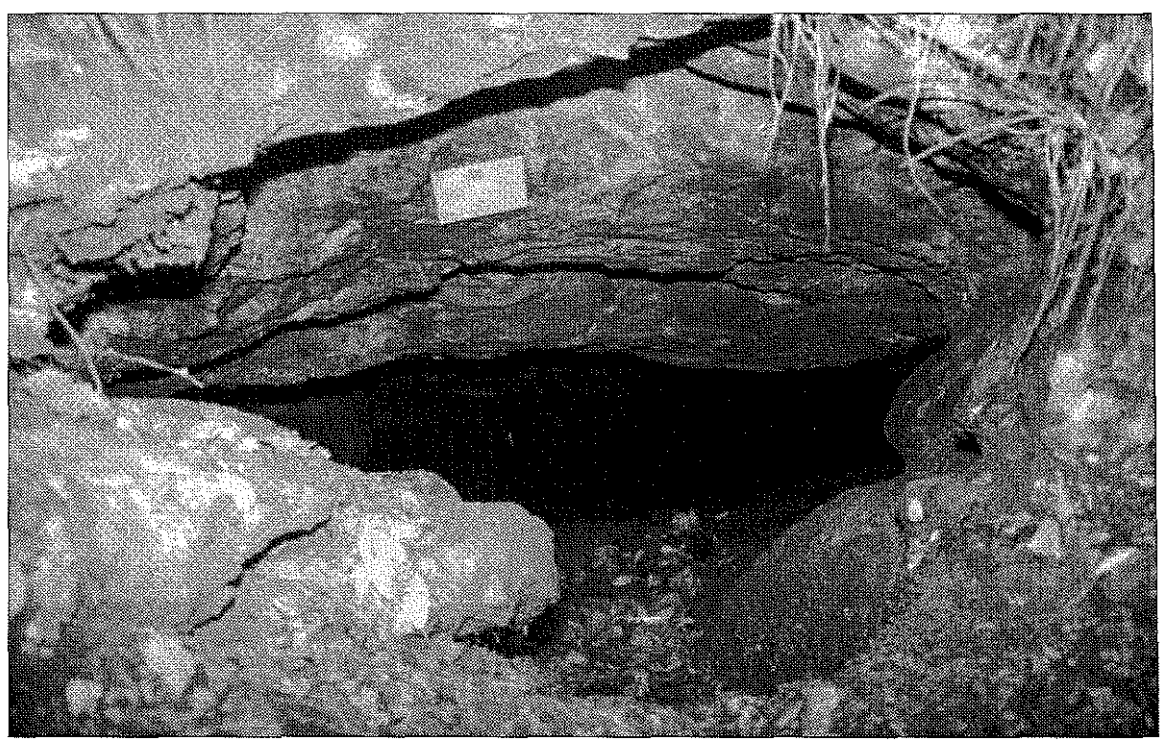


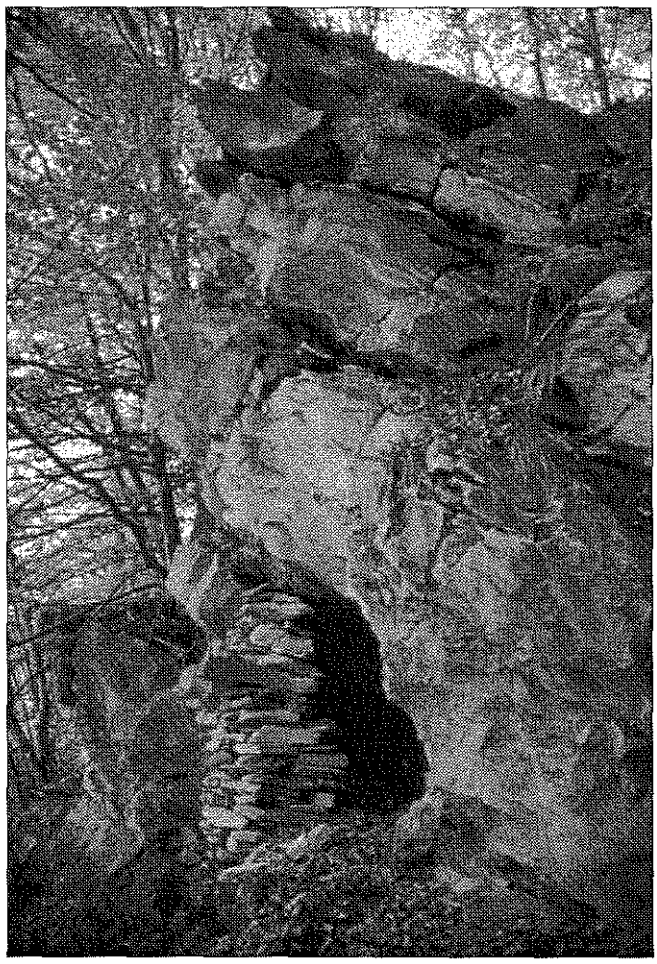
◀ Foto 1
Ingresso della Barma (o grotta) di Rio Martino, Crissolo. (foto D. Priolo)



◀ Foto 2
L'anonimo ingresso dell'Abisso "Buco di Valenza", Crissolo. (foto D. Priolo)

▼ Foto 3
Verso la Grotta della Fantino, Oncino.





◀ Foto 4
Barma nei pressi della grotta della Fantino.

▼ Foto 5
Lo stretto e basso corridoio iniziale della Grotta della Fantino. (foto F. Magri)

INSEDIAMENTI ED ATTIVITÀ ANTROPICHE NELL'ALTO BACINO DEL CORSAGLIA

Livia Ruffino
Associazione Culturale E KYE' di Fontane

PREMESSA

Per sopravvenuti impedimenti la presentatrice di questa relazione non ha avuto la possibilità di fornircene il testo esteso. Pubblichiamo volentieri questo riassunto, spiacenti che le interessanti tematiche ivi delineate non abbiano potuto essere qui esposte in modo più esauriente.

INSEDIAMENTI ED ATTIVITÀ

Considerato il tema del convegno, può aver senso chiedersi quando l'uomo cominciò a frequentare questa zona carsica, come cacciatore e più tardi pastore.
Certamente non era possibile quando l'ultima glaciazione riempiva di neve e ghiacci le valli e i passi alpini, tant'è vero che le più antiche testimonianze di presenza umana riguardano la costa ligure provenzale. Mi riferisco alle grotte dei Balzi Rossi e delle Arene Candide. Nella grotta di Bossea le ossa di Ursus Spelaeus ne testimoniano la presenza tra 80.000 e 12.000 anni fa e non si sono trovate tracce umane contemporanee. Si calcola che l'ultima glaciazione sia finita tra i 10.000 e 9.000 anni fa, ma occorre tenere presente che ci furono periodi interglaciali particolarmente miti, che possono aver favorito in tutto l'arco alpino la risalita dell'uomo verso valli e passi montani.
E' tramandata una fazenda o leggenda locale che fa proprio pensare a questi periodi di tempo eccezionalmente mite. A ben riflettere, miti e leggende possono avere un nocciolo di verità. Dunque tanto tempo fa un pastore si stabilì con la sua famiglia su questi pascoli e divenne così vecchio che le sue sopracciglia toccavano terra. I suoi figli, ormai uomini fatti, corsero un giorno da lui a chiedergli spiegazioni : era inverno e avevano visto scendere dal cielo piccole cose bianche e fredde, uno sfarfallio, e non sapevano di che si trattasse. Il vecchio, aiutato a sollevare le sopracciglia, riconobbe la neve, che da tempo lontanissimo non era più comparsa e consigliò ai figli di scendere in pianura col gregge e di tornare la primavera successiva.

Fazende a parte, non è lontano il Monte Bego con la Valle delle Meraviglie che con oltre 40.000 incisioni rupestri testimonia la vita di pastori dal 3000 a.C in poi. E' probabile che pastori in cerca di nuovi pascoli siano saliti fin qui attraverso il Colle dei Termini da Ormea o il Bochin dell'Aseo da Viozene, dapprima stagionali e poi, intorno al Mille, dopo la fine delle scorrerie saracene (i saraceni dalla costa risalivano le valli esattamente come i pastori), con stanziamento permanente in un piccolo villaggio e borgate sparse. Compaiono per la prima volta su antiche carte geografiche i nomi di Freabulza (Frabosa), Gareza (Garessio), Bosconia (Bossea), Fontannione (Fontane). Gli ultimi due termini fanno pensare a zone fittamente boscose e ricche di sorgive. La prova delle origini di questa gente e dei rapporti che ebbero col mondo esterno sta nascosta in codice nel linguaggio Kyè, che appartiene alla grande famiglia occitana o - se si preferisce dire- romanza, di matrice latina con infiltrazioni celtiche, provenzali, liguri, arabe, dovute alle vicende storiche. Lo storico romano Livio definiva queste genti liguri-montani.
Veniamo all'ambiente carsico dove gli antichi pastori si installarono. Avranno avuto senz'altro coscienza di grotticelle, buchi, inghiottitoi, ma ignorando le grandi grotte che non era possibile esplorare per mancanza di mezzi tecnici. A dire il vero qualche tentativo fu fatto, e lo racconta una donna anziana, Secunda, di 92 anni, riferendo notizie tramandate da sua nonna. Inghiottitoi erano noti ed era forte la curiosità di sapere dove andavano a sboccare. Si intuiva la presenza di

percorsi sotterranei dell'acqua che poi risorgeva qua e là. In un primo tempo si decise di buttare della crusca in un inghiottitoio, il Garb ed Mscin e di tener d'occhio risorgive e fontanelle, dove però la crusca non comparve.
Un secondo tentativo sarebbe stato effettuato buttando nel Garb una cagnetta nera incinta. I cuccioli in procinto di nascere avrebbero aumentato le probabilità che qualcuno ne uscisse da qualche parte. Secondo la tradizione la storia finì bene: cagnetta e cagnini spuntarono tutti sani e salvi. Dunque i percorsi idrici sotterranei avevano sbocco.
La Grotta di Bossea fu esplorata nella seconda metà dell'Ottocento. Prima era detta "la tana" e le fazende la immaginavano abitata da una mucca d'oro oppure dai morti, secondo uno shema classico mediterraneo. Le altre piccole cavità servirono per conservare burro e formaggi.
Le sporgenze rocciose divennero ripari con aggiunta di muretti a secco, utilizzando per questi e per recinti le pietre calcaree, facili da spaccare nei giunti di stratificazione e secondo i piani di frattura.
Le labie così ottenute servivano anche per le case. L'economia era di sussistenza, gli scambi di prodotti avvenivano prevalentemente attraverso i monti in direzione di Ormea, Viozene e decisamente la costa. Ce ne danno testimonianza i toponimi Pian dell'Olio, Tetti del formaggio. Olio, sale, olive, pesce in salamoia in cambio di castagne, formaggi, lana, canapa, erbe officinali. Una notizia curiosa: nel porto di Genova arrivavano nel XVII sec. navi olandesi ad acquistare canapa, che era anche la nostra, ritenuta ottima per cordami.

area tematica C

RISORSE MINERARIE E AMBIENTE CARSICO: STORIA, ECONOMIA E CULTURA MINERARIA NELLE VALLI MONREGALESI

Vanni Badino
Dipartimento di Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino

RIASSUNTO

Dal punto di vista giacimentologico, esistono interessanti correlazioni fra carsismo e formazioni di minerali utili. I processi di dissoluzione e dilavamento, da parte delle acque sia superficiali che profonde, delle rocce più facilmente solubili provocano da un lato la formazione di minerali residuali spesso di grande interesse economico, dall'altro modificano la morfologia della crosta terrestre creando ambienti idonei all'accumulo e conservazione di concentrazioni utili.
Un esempio in grande: la maggior parte dei giacimenti di bauxite del mondo, fonte primaria per la produzione di alluminio: esempi in piccolo, nel Monregalese: le Terre coloranti di Vicoforte; le mineralizzazioni a Fe-Al ("siderolitico") nella valle del Rio Sbornina. Esistono poi correlazioni fra carsismo e formazioni rocciose di elevato interesse economico: i marmi e gli alabastri.
Nei secoli passati l'utilizzazione delle risorse minerarie locali, anche di modesta entità, ha avuto un'importante significato per la stretta correlazione esistente fra sviluppo della società e disponibilità di risorse (territorialità).

INTRODUZIONE

I rapporti fra ambiente carsico e risorse minerarie possono essere di tipo diretto, ossia rapporti di causa-effetto nel senso che il carsismo può essere all'origine della formazione di giacimenti minerari, oppure rapporti di tipo indiretto, come quelli di semplice contiguità geologica e geografica.
Nel presente lavoro si tratterà di entrambi i casi: nella prima parte verranno prese in considerazione le correlazioni esistenti fra carsismo e risorse minerarie in generale, dal punto di vista della giacimentologia, ossia della disciplina che studia la genesi delle formazione dei minerali utili ai fini della loro ricerca e del loro sfruttamento industriale; nella seconda parte si tratterà invece in particolare delle risorse minerarie delle Valli monregalesi[1] indipendentemente dalla loro genesi: si tratta di risorse che quasi sempre non hanno rapporti genetici con il carsismo, ma sono comunque da considerare "di ambiente carsico" in quanto tutte le valli del Monregalese sono in maggior o minor misura interessate dal carsismo.
In via preliminare, una precisazione è necessaria circa l'oggetto specifico del lavoro. I minerali di cui si parla sono quelli che costituiscono, o che, specialmente a livello locale, hanno costituito in passato risorse dal punto di vista economico: per questo il loro interesse e significato sono strettamente legati alle situazioni socio-economiche dei territori ospitanti, situazioni continuamente e fortemente variabili nel corso del tempo. Se nella maggior parte dei casi il loro interesse economico è oggi inesistente, il loro studio ha però un elevato significato storico-culturale, in quanto contribuisce alla conoscenza delle attività e delle condizioni di vita delle popolazioni che su queste risorse hanno basato il loro sviluppo socio-economico.
Oltre a questo, i minerali, e specialmente i metalliferi, si rinvengono talvolta in forme cristalline di particolare e rara bellezza, e per questo possono presentare un interesse non solo scientifico, ma anche commerciale come minerali da collezione.

[1] Con il termine "Monregalese" si intende il territorio che costituiva l'antica Provincia di Mondovì e che includeva la regione montana compresa fra il Pesio e il Tanaro.

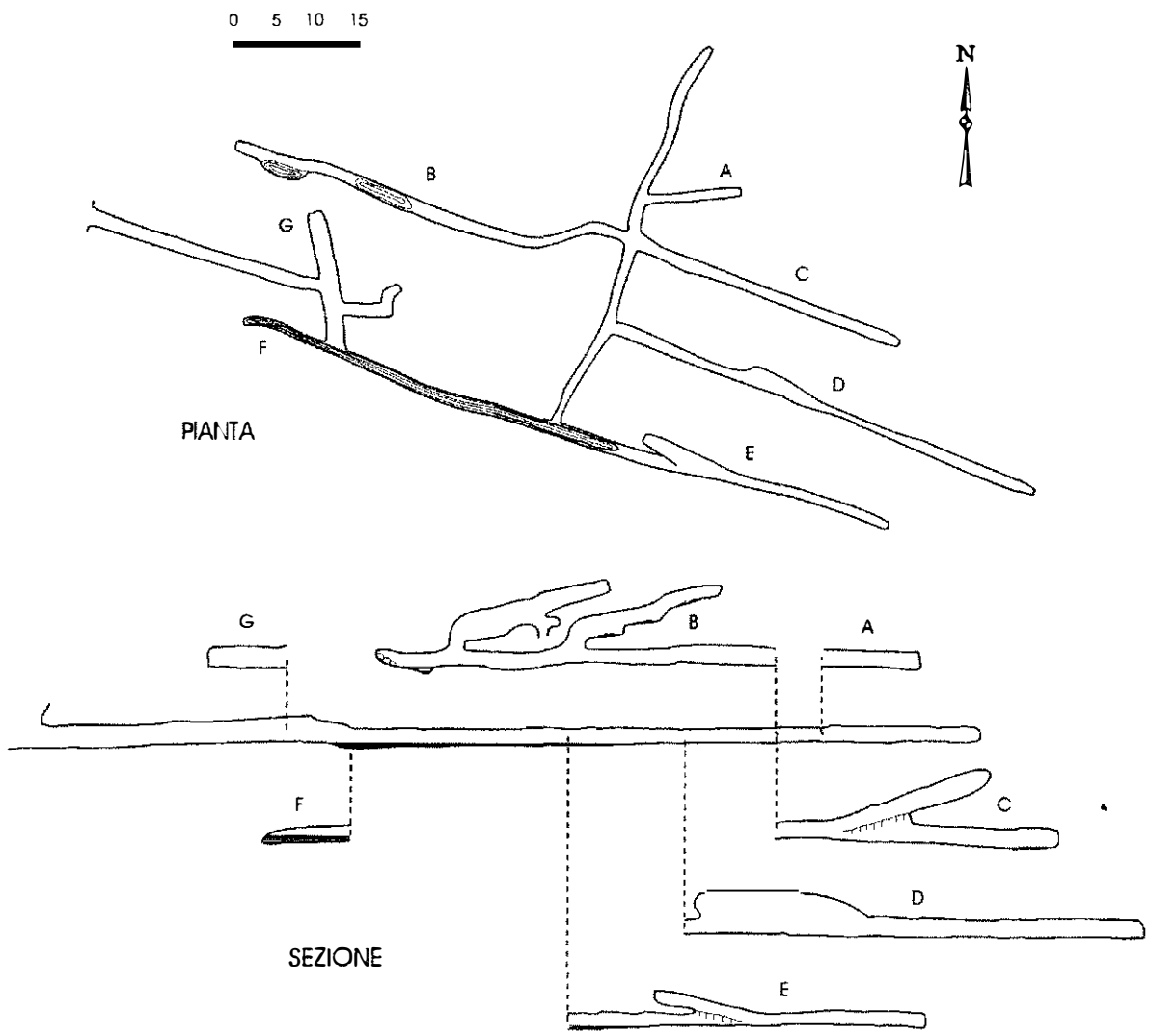
Tab.1 - Rapporti diretti causa-effetto fra carsismo e minerali utili.

A) GIACIMENTI RESIDUALI (da dissoluzione di calcari, dolomie etc.)
B) GIACIMENTI SEDIMENTARI (da trasporto e accumulo di materiali su supporto carsico)
Esempi: • *Bauxiti a muro calcareo*
Esempi locali: • *Terre coloranti e caolini (Vicoforte)* • *Siderolitico (Rio Sbornina)*
C) TRAVERTINI E ALABASTRI

Miniera di galena argentifera

Fontane

Rilievo: G.S.A.M.



Pur riconoscendo questo tipo di interesse, che mobilita una folta schiera di appassionati ricercatori di "campioni" mineralogici, e che certamente rappresenta una forma di ricerca lodevole quando si svolge in modo corretto nel rispetto degli ambienti naturali - e non, come spesso avviene, con atti di vandalismo - si sottolinea che questo argomento esula in ogni caso dall'ambito della presente nota, che, come si è detto, tratta specificamente dei minerali oggetto di attività estrattiva industriale.

CARSISMO E GIACIMENTI MINERARI

Dal punto di vista giacimentologico, esistono interessanti correlazioni fra carsismo e formazioni di minerali utili (v. Tab.1). I processi di dissoluzione e dilavamento, da parte delle acque sia superficiali che profonde, delle rocce più facilmente solubili provocano da un lato la formazione di minerali residuali spesso di grande interesse economico, dall'altro modificano la morfologia della crosta terrestre creando ambienti idonei all'accumulo e conservazione di concentrazioni utili.
Nel primo caso vengono definiti "residuali" quei giacimenti che si creano per concentrazione in loco di uno o più componenti della roccia madre, a seguito della disgregazione di questa per azioni di tipo solo fisico oppure anche chimico (decomposizione, passaggio in soluzione, etc.).
La concentrazione può anche avvenire lontano dalla sede originaria, in seguito al trasporto dei componenti utili da parte dell'acqua, oppure del vento, e deposizione in ambienti idonei all'accumulo e alla conservazione dei minerali utili: i giacimenti si dicono allora "sedimentari".
Nel caso dei giacimenti residuali, il minerale utile è quello che rimane in posto a seguito dell'asportazione per dilavamento degli altri componenti la roccia madre. Il tipo di minerale dipende dalla composizione della roccia originaria: quando si tratta di rocce calcaree è la componente carbonatica che viene asportata in soluzione, mentre possono residuare i componenti insolubili dei calcari, quali argilla e silice, ossidi di ferro e manganese e altri.
Anche più interessante, dal punto di vista della giacimentologia economica, è l'altro aspetto della correlazione fra carsismo e giacimenti minerari: i processi di dilavamento ed erosione, da parte dell'acqua, delle rocce carbonatiche, modificando la morfologia della crosta terrestre creano ambienti particolari sia in superficie, sotto forma di conche, avvallamenti, tasche, sia in sotterraneo, sotto forma di cavità di vario tipo, a camino, a lente, a camera. Entro questi ambienti si possono accumulare e conservare i minerali utili che derivano, a loro volta, da disgregazione di rocce primarie o secondarie.
Molti importanti giacimenti di bauxite in tutto il mondo sono ospitati in formazioni calcaree fortemente incarsite: sono le bauxiti sedimentarie trasportate e depositate in depressioni carsiche del suolo, talora costituite anche da doline, o foibe o inghiottitoi (come nei giacimenti istriani). Dal momento che la bauxite è la sola materia prima da cui si ricava industrialmente l'alluminio, si comprende il rilevante significato economico di questo fenomeno.
Un esempio, in piccolo, ma di interese per la tradizione mineraria dell'area monregalese si ha nell'"argilla figulina" e nelle "terre coloranti" di Vicoforte (v. Fig. 1), utilizzate, fino ai primi decenni del '900, la prima per ceramica e le seconde come pigmenti per coloritura murale e decorazione di edifici. I giacimenti si sono formati per riempimento di cavità carsiche, in genere di piccole dimensioni, da parte di agille residuali, che derivano dalla lenta lisciviazione di rocce calcaree, marnose o dolomitiche, il cui residuo è costituito da prodotti argillosi di elevata purezza (caolini), talora associati a ossidi di ferro (ematite e goethite, essenzialmente) e di manganese. Questi materiali, trasportati dall'acqua o dal vento, hanno potuto concentrarsi, come si è detto, in sacche carsiche, dove hanno trovato un ambiente fisico-chimico ideale per la loro conservazione, protetti da impurezze inquinanti che ne impedirebbero l'uso negli impieghi citati.
Un altro interessante esempio locale di correlazione fra carsismo e minerali utili si ha in una particolare formazione rocciosa chiamata "siderolitico", affiorante in alcune zone dell'alta Val Corsaglia (Balma, Artesinera, Rio Sbornina): si tratta di un paleosuolo residuale caratterizzato da elevato contenuto in Fe e Al, di colore rosso-violaceo, che talvolta riempie cavità di qualche metro di spessore originatesi a seguito di attività di erosione di tipo carsico sui calcari triassici in fase continentale, databile al Giurese inferiore (Lias) (PICCOLI G.C., 2002).

Si tratterebbe di una trasformazione dei calcari di relativamente debole intensità, a confronto con il metamorfismo profondo che ha interessato invece le formazioni adiacenti di calcari giurassici (Dogger e Malm) trasformandoli in marmi. A questo proposito, c'è però da rilevare una notevole affinità, sia per gli aspetti cromatici che strutturali, tra il "siderolitico" e alcune delle formazioni marmoree adiacenti, tanto da poter supporre un coinvolgimento del siderolitico nel processo metamorfico che ha prodotto queste ultime.
In ogni caso i marmi, sia in generale che a livello locale, sono in genere fortemente legati al carsismo. Come tutte le rocce calcaree, le formazioni marmoree sono tra le più soggette alla dissoluzione e alla lisciviazione da parte dell'acqua e per questo sono spesso sede di rilevanti fenomeni carsici, come succede nelle Alpi Apuane e nel Monregalese, dove, ad esempio, nella Grotta del Caudano, in Val Maudagna, è possibile incontrare, in zone di frana recente, belle superfici di marmo Verzino di Frabosa.
Come è ben noto, carsismo e pietre ornamentali trovano un elemento di collegamento nell'aspetto "costruttivo" caratteristico dell'azione delle acque carsiche: queste, così come generano stalattiti e stalagmiti, sono artefici della produzione del travertino e dell'alabastro calcareo, materiali - specialmente il primo - di vasto impiego come pietra ornamentale e da taglio, che si formano per precipitazione biochimica del carbonato di calcio per perdita di anidride carbonica.
Per quanto riguarda il travertino, si può rilevare che siamo di fronte a un caso di risorsa "rinnovabile". Le quantità di materiale continuamente depositate possono infatti essere grandissime, come avviene nella zona di Tivoli, dove si calcola che vengano prodotte dal fenomeno 250 mila tonnellate di calcare all'anno (VINASSA DE REGNY, 1933).
L'alabastro si forma quando le acque carsiche scorrono entro fessure e depositano il calcare con particolare regolarità, dando luogo alla tipica struttura zonata della pietra, che, tagliata e lucidata si presenta talvolta con caratteristiche cromatiche di particolare pregio estetico, che ne fanno un materiale da decorazione molto apprezzato fin dai tempi più antichi.

LE RISORSE MINERARIE DELLE VALLI MONREGALESI

E' opportuno premettere qualche considerazione sul significato del termine "risorsa", riferito ai minerali o più in generale al mondo naturale.
L'accezione del termine è essenzialmente economica: è una risorsa ciò che dalla natura l'uomo può economicamente ricavare in un determinato momento storico per soddisfare i propri bisogni. Dunque il concetto di risorsa varia nel tempo, perché variano le condizioni economiche: ciò che costituisce una risorsa oggi, può non essere stato tale in passato e viceversa.
E' questo il caso della maggioranza dei minerali che in passato sono stati oggetto di estrazione nelle Valli monregalesi, o in contesti similari, e in particolare di tutti i minerali "di miniera" (in questo caso i minerali metalliferi, la lignite, la barite, l'argilla per ceramica e le terre coloranti, distinti per ragioni giuridiche da quelli di "cava", come i marmi e i pietrischi): ci sono stati periodi in cui è risultato conveniente produrre localmente galena argentifera, barite e minerali di ferro, che oggi, anche con le tecnologie minerarie più sofisticate, non consentirebbero di realizzare un'attività estrattiva industriale.
Questo fatto si spiega con le caratteristiche geo-giacimentologiche dell'area, frutto delle vicissitudini complesse e tormentate legate ai fenomeni orogenetici ercinico ed alpino, da cui sono derivati giacimenti di assai limitate dimensioni, difficili da coltivare, e quindi di importanza mineraria piuttosto modesta. Il loro significato va però ricercato con riferimento al momento storico in cui l'attività produttiva si è svolta, ed allora diventa chiaro come esso possa essere stato anche rilevante.
Occorre infatti considerare che nelle zone, come queste, particolarmente penalizzate dalla distanza e dalle difficoltà di collegamento con le aree più sviluppate, l'economia è stata più a lungo ancorata al principio della territorialità, ossia alla stretta correlazione fra disponibilità di risorse naturali del territorio e sviluppo della comunità su di esso insediata. Per questo, là dove erano disponibili le risorse minerarie - per loro natura rare e preziose, compatibilmente con le dimensioni del mercato - esse hanno rappresentato vantaggi competitivi rispetto ad altre aree, in termini di possibilità di lavoro, commercio e quindi reddito.

Tab. 2 - Attività estrattive nelle valli monregalesi.

Miniere e ricerche minerarie

Valle Corsaglia

- Fontane (Frabosa Sop. e Roburent): *Galena argentifera*
- Fontane, Borello: *Barite*
- Montaldo Mondovì: *Fe - Mn*
- Rio Sbornina: *Ricerca (?) per Fe - Mn*

Altre Valli

- Garessio e Priola: *Galena argentifera*
- Bagnasco: *Lignite*
- da Valle Pesio a Valle Tanaro: *Ricerca per Uranio*

Marmi

- Frabosa Soprana, Frabosa Sottana, Monastero Vasco, Montaldo Mondovì, Garessio, Ormea, Monasterolo Casotto: *Svariati tipi di marmo (Nero, Bigio, Verzino, Viola, Persichini, Brecce ...*

Argilla per ceramica e terre colorate

- Vicoforte, Villanova Mondovì

Pietra da taglio e scultura

- Vicoforte: *Arenaria*

Minerali litoidi comuni

- Villanova, Roccaforte, S. Michele M.vì, Vicoforte, Bagnasco: *cave di pietrisco*

Da queste considerazioni si può allora dedurre che le ragioni principali di un'indagine sulle miniere del passato in un contesto come quello delle Valli monregalesi sono essenzialmente di tipo culturale, ma non è trascurabile anche l'interesse scientifico per una miglior conoscenza geo-giacimentologica della zona. In questa sede, non potendo entrare nei dettagli, ci si limita ad elencare i minerali che sono stati oggetto di coltivazione, o almeno di ricerca mineraria operativa, assieme ai principali siti di estrazione di cui si è a conoscenza (v. Tab 2) dedicando qualche maggior attenzione ai casi più significativi, e precisamente alla miniera di galena argentifera di Fontane e alla principale risorsa mineraria della zona, rappresentata dai marmi.

La miniera di Fontane

In località Isole della Frazione Fontane di Frabosa Soprana, a pochi metri di distanza dal greto del Torrente Corsaglia, sono visibili gli imbocchi di tre gallerie di accesso alla miniera: uno in sponda sinistra, e pertanto in Comune di Frabosa Soprana, e due in sponda destra, in Comune di Roburent (Fig. 2). Queste ultime, anche se parzialmente allagate, consentono di penetrare all'interno dell'ammasso roccioso per parecchie decine di metri, rivelando un reticolo di lavori minerari costituiti sia da scavi "in direzione", cioè seguendo in orizzontale l'andamento dei due filoni sub-verticali in cui è concentrata la mineralizzazione utile, sia da traversobanchi di collegamento dei filoni.
Si tratta di un giacimento, appunto, filoniano, concordante con le rocce incassanti, di verosimile genesi idrotermale. Le rocce alle salbande sono costituite da scisti filladici del Permocarbonifero, in prossimità del contatto con il Trias carbonatico, mentre il minerale utile è rappresentato da galena argentifera, presente come componente principale del filone, che ha potenza molto variabile e raggiunge un massimo di 30-40 cm. I minerali accessori sono molti e interessanti, da un punto di vista mineralogico: tra questi pirite, cerussite (carbonato di Pb), calcopirite (solfuro di Fe e Cu), tetraedrite (solfuro complesso di Sb, Cu e altri metalli); sono poi presenti numerosi minerali di alterazione, sia di piombo e ferro, sia di rame. Questi ultimi decorano alcuni tratti delle gallerie con vistose colorazioni azzurro-verdastre.
Le più antiche notizie storiche sulla miniera sono dovute a Spirito B. Nicolis di Robilant che nel 1786 afferma che da essa si estraggono solfuro di piombo e argento nativo. Successivamente, informazioni più dettagliate sono fornite da Vincenzo Barelli (1835), il quale ricorda che il diritto alla coltivazione della miniera apparteneva al Marchese di Pamparato fin dal 1788.

Ulteriori cenni si hanno in Jervis (1873), dopodichè si direbbe che sulla miniera sia calato un velo d'oblio, dal momento che non si conoscono, né in letteratura né tra i documenti della Pubblica Amministrazione, riferimenti specifici alla relativa attività estrattiva, che, da quanto risulta dalle caratteristiche degli scavi effettuati (Figg. 3 e 4), dovrebbe essersi protratta fino ai primi decenni del '900.[2]

I marmi del Monregalese

I più importanti litotipi presenti nel Monregalese sono rappresentati dai marmi: si tratta normalmente di calcari microcristallini metamorfosati, stratificati in bancate la cui potenza può variare da pochi centimetri fino ad alcuni metri, con caratteristiche tecnologiche di lavorabilità e lucidabilità generalmente buone, così come sono buone la resistenza meccanica e la durevolezza.

I marmi affiorano sporadicamente all'interno di un'area molto estesa, che, da Nord-Ovest a Sud-Est interessa i Comuni di Frabosa Soprana, Frabosa Sottana, Monastero Vasco, Montaldo M.vì, Monasterolo Casotto, Mombasiglio, Garessio e Ormea, costituendo uno dei pochi bacini marmiferi del Piemonte, certamente il più importante nel periodo di maggior sviluppo dell'impiego dei marmi colorati (sec. XVIII). Solo due cave sono attualmente attive, e una terza - la cava del Verzino di Frabosa - ha temporaneamente sospeso la sua attività. Ma numerosissime sono state le cave nel passato, aperte nella formazione geologica che ha fornito una grande varietà di marmi, dai bianchi ai colorati - neri, viola, rossi, persichini, gialli - molto interessanti in genere per le loro caratteristiche qualitative, ma solo in pochi casi consistenti dal punto di vista quantitativo.

I documenti disponibili testimoniano dell'esistenza di una quarantina di siti di antiche cave, molte delle quali localizzate nel Frabosano, sia sul versante della Valle Maudagna, sia su quello della Valle Corsaglia. Anche se si deve tener presente che all'epoca le cave e le relative produzioni potevano essere anche molto piccole, restano comunque sorprendenti il numero dei siti e le varietà dei marmi.

L'importanza del distretto marmifero è dimostrata dalla diffusione dell'impiego dei prodotti non solo nell'area monregalese (Fig.5), ma anche all'esterno, e in particolare a Torino: qui l'esempio più famoso è quello della Cappella della S. Sindone, capolavoro barocco del Guarini, che la volle tutta rivestita di marmo Nero di Frabosa. Com'è noto, un disastroso incendio, scoppiato nell'Aprile del 1997, ha completamente distrutto questo rivestimento e tuttora non sono iniziati i lavori di ricostruzione, per i quali sarà necessario disporre di una notevole quantità del marmo originario. E' questo un esempio dell'importanza di conoscere i siti delle antiche cave, poiché di quella del marmo usato dal Guarini si è perso il ricordo. Ricerche condotte in proposito dal Dipartimento di Georisorse del Politecnico di Torino hanno in tal caso consentito di localizzare il giacimento, tra i numerosi di marmo nero del Monregalese.

Altri esempi importanti si hanno, sempre a Torino, nella Chiesa della Gran Madre, dove si può ammirare un magnifico campionario che va dalla Breccia di Casotto delle otto gigantesche colonne interne (v. Fig.6) ai Gridellini della Val Tanaro, con i quali sono realizzati gli altari e le balaustre; un altro esempio è quello della Basilica di Superga, il cui interno è stupendamente ornato con colonne in marmo di Moncervetto (Monastero Vasco) e Persichino, un marmo di colore rosa fior di pesco, che si coltivava in Val Casotto e in alta Val Corsaglia (Rio Sbornina).

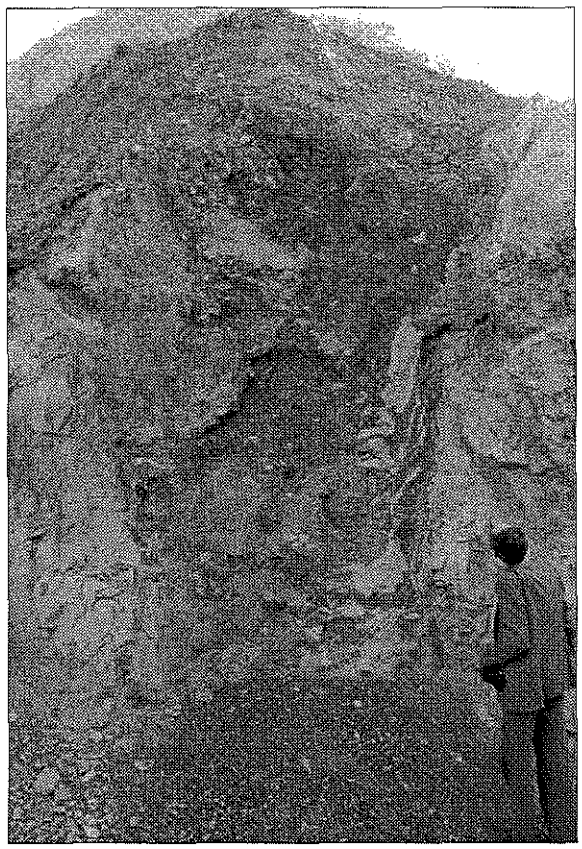
La limitata potenza delle formazioni utili è stata una delle cause della chiusura delle antiche cave, ma non l'unica né la più importante. Più spesso il motivo è da ricercare nelle sfavorevoli condizioni del mercato, dovute a un cambiamento nei gusti e nelle scelte degli architetti, oppure alla concorrenza di prodotti alternativi. Ciò che è certo è che le caratteristiche delle formazioni geologiche sono tali non solo da poter escludere l'esaurimento completo dei giacimenti, ma anche da poter prevedere la possibilità di una ripresa dell'attività estrattiva sia per le finalità del restauro sia - in alcuni casi - per produzioni di interesse commerciale.

[2] Durante il Convegno, grazie all'opera del Gruppo Speleologico del Cai di Cuneo che ha predisposto un impianto di pompaggio dell'acqua dalla miniera, è stato possibile esplorare molti tratti di gallerie prima inaccessibili e rendersi conto del notevole sviluppo dei lavori di tracciamento e coltivazione (fornelli, discenderie e gallerie su più livelli). E' auspicabile che l'esperimento possa essere ripetuto e ampliato, per migliorare la conoscenza di questa miniera, per molti aspetti ancora misteriosa.

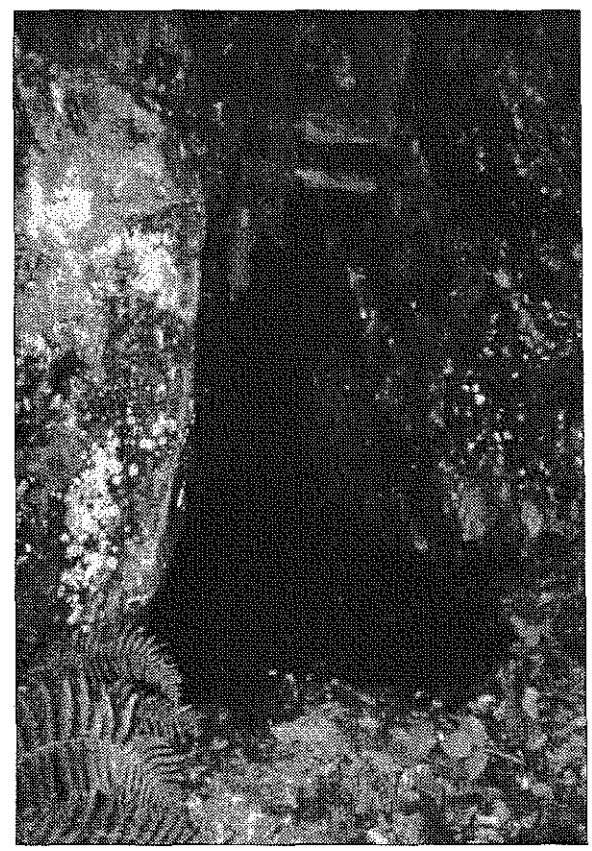
A questo proposito occorre tener presente il particolare significato dei marmi, che deriva dal loro peculiare impiego: l'utilizzo da tempo immemorabile in architettura e scultura, che fa dei marmi uno strumento indispensabile di documentazione e trasmissione di conoscenze, e quindi di grande significato culturale.
Questo fa sì che vi siano pietre il cui pregio non dipende dall'attuale domanda di mercato: si tratta delle "pietre storiche", e cioè delle pietre, spesso non più in produzione, che si trovano in opera nei monumenti e nelle opere d'arte, ma anche nei manufatti di uso comune, e che fanno parte del patrimonio culturale, e in particolare di quello storico-artistico-architettonico della società. In tal caso il pregio della pietra tuttora in posto nella sua sede naturale risiede nel significato che essa assume ai fini della salvaguardia e della conservazione, attraverso il restauro, di tale patrimonio, e, più in generale, nel fatto che essa costituisce un retaggio culturale di un'attività talora assai rilevante nella storia e nelle tradizioni locali.
Una pietra storica ancora presente nel suo contesto geologico deve allora essere considerata come una risorsa da tutelare e da valorizzare anche al di fuori delle condizioni di mercato: ed è questo un compito di cui dovrebbe farsi carico la Pubblica Amministrazione (Regioni, Soprintendenze, Comunità Montane e Comuni), a sostegno delle iniziative private intese a valorizzare le risorse naturali dei territori montani.
E' importante comprendere e far capire che la gestione di questo settore di attività è indirizzata veramente alla "produzione sostenibile", oggi obiettivo primario di ogni attività gestionale riguardante le risorse naturali. Questo concetto sta infatti a indicare, in particolare, che l'attività produttiva che abbia per oggetto una risorsa naturale non deve limitarsi a soddisfare le esigenze delle generazioni presenti, ma deve fare in modo che anche le generazioni future possano usufruire della risorsa stessa. La produzione deve quindi esser ispirata alla conservazione della risorsa e all'estensione della sua fruizione nel tempo: ed è proprio quanto avviene con la conservazione di una pietra ornamentale, strumento formidabile di trasmissione di testimonianze culturali e di collegamento fra le generazioni passate a quelle future.

BIBLIOGRAFIA

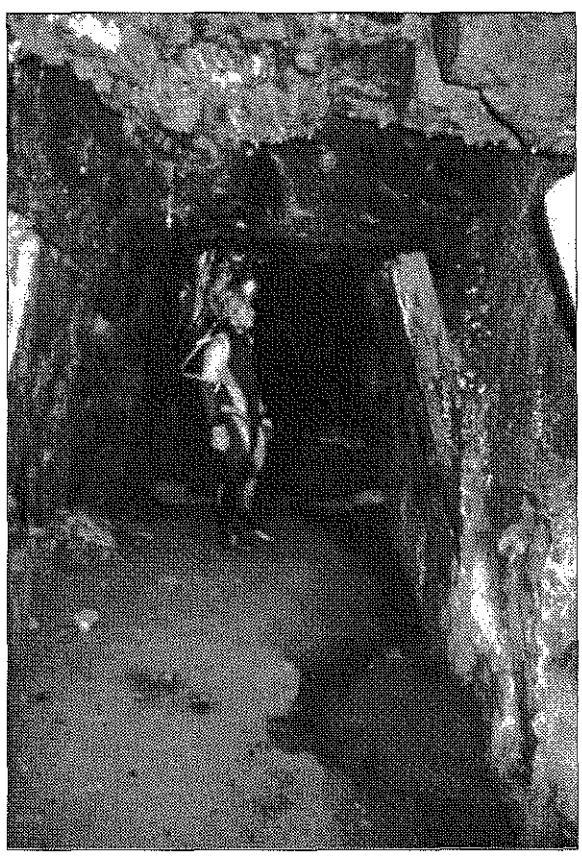
- ASSOCIAZIONE CULTURALE "E KIE'"(2003): *Fontane di Frabosa Soprana, Alta Val Corsaglia Geografia, Storia, Leggende, Curiosità e Aneddoti.* Tip. Mondovigraf, Mondovì, 2003.
- BADINO V., GOMEZ SERITO M. (1999): *I marmi del Monregalese. I Marmi policromi degli altari "alla romana" delle Valli Monregalesi*, in "Le risorse culturali delle Valli Monregalesi e la loro storia - Valli Monregalesi: immagini di un paesaggio culturale", pp.399-417. CMVM e Soprintendenze per i Beni Artistici e Storici e per i Beni Ambientali e Architettonici del Piemonte. L'Artistica Savigliano.
- BADINO V., MORANDINI FRISA A. (2000,a): *I marmi del Santuario di Vicoforte.* In "Studi Monregalesi", A.V, n. 1, 2000; pp. 5-20.
- BADINO V., BOTTINO I., FRISA MORANDINI A., GOMEZ SERITO M. (2000,b): *La caratterizzazione delle pietre storiche anche ai fini del restauro: il caso dei marmi del Monregalese.* Convegno su "Le cave di pietre ornamentali", Torino, 28-29 Novembre 2000, Atti, pp. 401-408.
- BADINO V., BOTTINO I., FORNARO M., FRISA MORANDINI A., GOMEZ SERITO M. (2001): *Valorizzazione delle risorse lapidee del bacino estrattivo dei marmi del Monregalese*, GEAM, A. XXXVIII, 2-3, giugno-settembre 2001; pp. 97-98.
- BARELLI V. (1835): *Cenni di statistica mineralogica degli Stati di S.M. il Re di Sardegna.* Tip. G. Fodratti, Torino, 1835.
- CAVINATO A. (1964): *Giacimenti minerari.* UTET, Torino, 1964.
- MASTRANGELO F., NATALE P., ZUCCHETTI S. (1983): *Quadro giacimentologico e metallogenico delle Alpi Occidentali italiane.* Boll. A.M.S., A. XX, 1-2, Marzo-Giugno 1983, pp. 203-248.
- *PICCOLI G.C. (2002): Minerali delle Alpi Marittime e Cozie - Provincia di Cuneo.* Associazione Amici del Museo Eusebio, Alba. L'Artistica di Savigliano, 2002.
- SCARZELLA P., NATALE P.(1989): *Terre coloranti naturali e tinte murali a base di terre.* Stamperia Artistica Nazionale, Torino, 1989.
- VINASSA DE REGNY P. (1933): *La terra.* UTET, Torino, 1933.



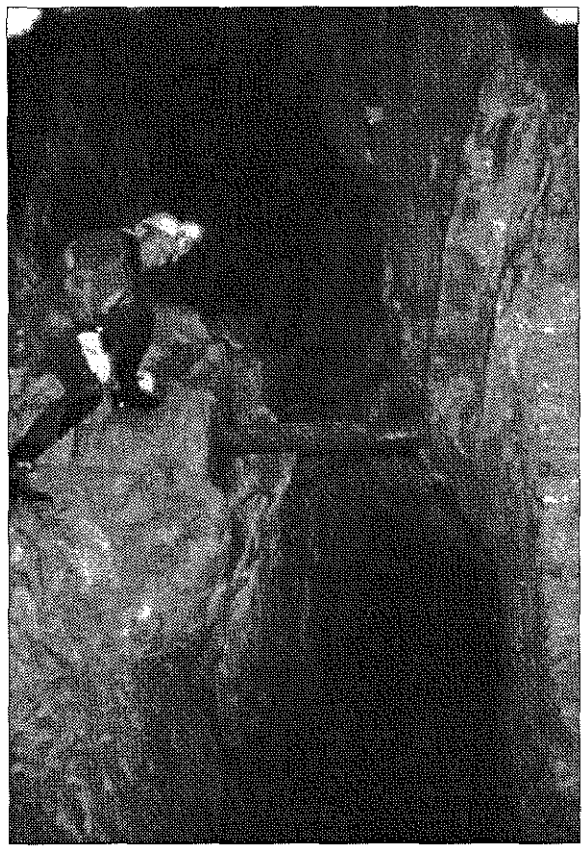
◀ Foto 1
"Terre coloranti" di Vicoforte. I giacimenti si sono formati per riempimento di cavità carsiche da parte di argille residuali. (foto da Scarzella et al., 1989)



▲ Foto 2
Miniera di Galena argentifera di Fontane: uno dei due accessi in sponda destra del Torrente Corsaglia (e pertanto in Comune di Roburent), a poca distanza dal greto del torrente.
(Foto G. Peano)



◀ Foto 3
Interno della miniera di Fontane. I lavori effettuati per realizzare la galleria in direzione denotano l'uso di tecniche di perforazione e volata di mine abbastanza recenti (prima metà del '900).
(Foto G. Peano)



▲ Foto 4
Interno della miniera di Fontane. Come per la realizzazione della galleria in direzione, i rialzi nel filone mineralizzato denotano l'uso di tecniche di perforazione e volata di mine abbastanza recenti (prima metà del '900).
(Foto G. Peano)

▲ Foto 5
Mausoleo di Carlo Emanuele I nella Cappella di S. Bernardo, Santuario di Vicoforte. Un esempio di impiego locale di marmi del Monregalese: colonne in Nero di Frabosa, basamenti e capitelli in Verzino di Frabosa.
(Foto M.Gomez Serito)

◀ Foto 6
Uno degli esempi dell'impiego di marmi del Monregalese a Torino: le grandi colonne in Breccia di Val Casotto nella Chiesa della Gran Madre.
(Foto M.Gomez Serito)

USO DELLE RISORSE IDRICHE DI NATURA CARSICA ED AGRICOLTURA: IL CASO DEL FUCINO (ABRUZZO, ITALIA CENTRALE)

Ezio Burri[1] - Andrea Del Bon[2] - Andrea Marchetti[2] - Marco Petitta[3]

[1] *Dipartimento di Scienze Ambientali - Università degli Studi - Via Vetoio - Località COPPITO - 67100 L'AQUILA (Italy)*
e/mail: ezio.burri@aquila.infn.it

[2] *Collaboratore del Dipartimento di Scienze Ambientali - Università degli Studi -L'AQUILA (Italy)*

[3] *Dipartimento di Scienze della Terra, Università "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 1, 00100 ROMA (Italy)*
e/mail: marco.petitta@uniroma1.it

RIASSUNTO

Con il completamento della bonifica del lago Fucino, nella seconda metà del XIX sec., tutti i fertili terreni derivati dalla vasta estensione dell'antico alveo lacustre vengono destinati ad un utilizzo agricolo di tipo intensivo. Dopo pochi decenni le acque, pur costantemente presenti nei canali di drenaggio, si rivelano insufficienti per le esigenze di irrigazione derivanti dalla pratica di questa attività. All'inizio il fenomeno inizia a manifestarsi in misura quasi impercettibile ma, nel tempo, diverrà sempre più imponente. Come rimedio vengono scavati, ai bordi della piana, pozzi sempre più profondi ed alimentati da acque provenienti dai massicci carbonatici che circondano la conca. Il deficit idrologico che ha caratterizzato tutta l'area nell'ultimo decennio, ha stimolato una serie di mirati monitoraggi sulla consistenza del patrimonio idrico e sul suo impiego in agricoltura. Queste indagini hanno consentito anche la redazione di una prima carta sulla vulnerabilità della risorsa.

ABSTRACT

After the drainage of Lake Fucino in the second half of the XIX century, all the fertile land in the vast area of the old lake bed was used for intensive agriculture. Even though water was constantly present in the drainage canals, after a few decades the supply was insufficient for the demands of irrigation. This problem was virtually imperceptible at first, but became more and more serious in time. To resolve the problem, increasingly deep wells were dug at the edges of the plain to tap waters deriving from the carbonate massifs surrounding the basin. The water deficit characterizing the area in the last decade has prompted a series of monitoring campaigns to quantify the water resources and their use in agriculture. These investigations have also led to the creation of a preliminary map of the vulnerability of this valuable resource.

INTRODUZIONE

L'evoluzione delle pratiche agricole condotte nell'area fucense ha determinato l'insorgere di nuove problematiche e il riproporsi di vecchi problemi. Prima della Riforma Agraria, attuata nel 1951, gran parte dei terreni agricoli era destinata alla coltivazione di grano, patata e barbabietola con rotazione triennale. La conduzione di tali terreni costituenti la cosiddetta "Proprietà Torlonia", estesa ben 13.000 ha, non era effettuata in forma diretta[4] ma mediante affittanze e subaffitanze che avevano determinato una estrema polverizzazione delle particelle con esiti negativi sul loro reddito. Dopo la Riforma, nonostante il tentativi di accorpamento della proprietà e la loro ridistribuzione, il problema del frazionamento venne gradualmente a riproporsi in misura anche abbastanza consistente. Inoltre, come d'altra parte era prevedibile, si evolsero rapidamente tecniche agrarie e tipologia di coltivazione e così, complice anche la meccanizzazione, vennero progressivamente preferite le colture di patate e barbabietole a discapito del grano (fig. 1)

[4] Precisamente 2800 ha destinati alla conduzione diretta, 900 ha alla mezzadria e 9.300 ha, la parte più consistente, alle affittanze.

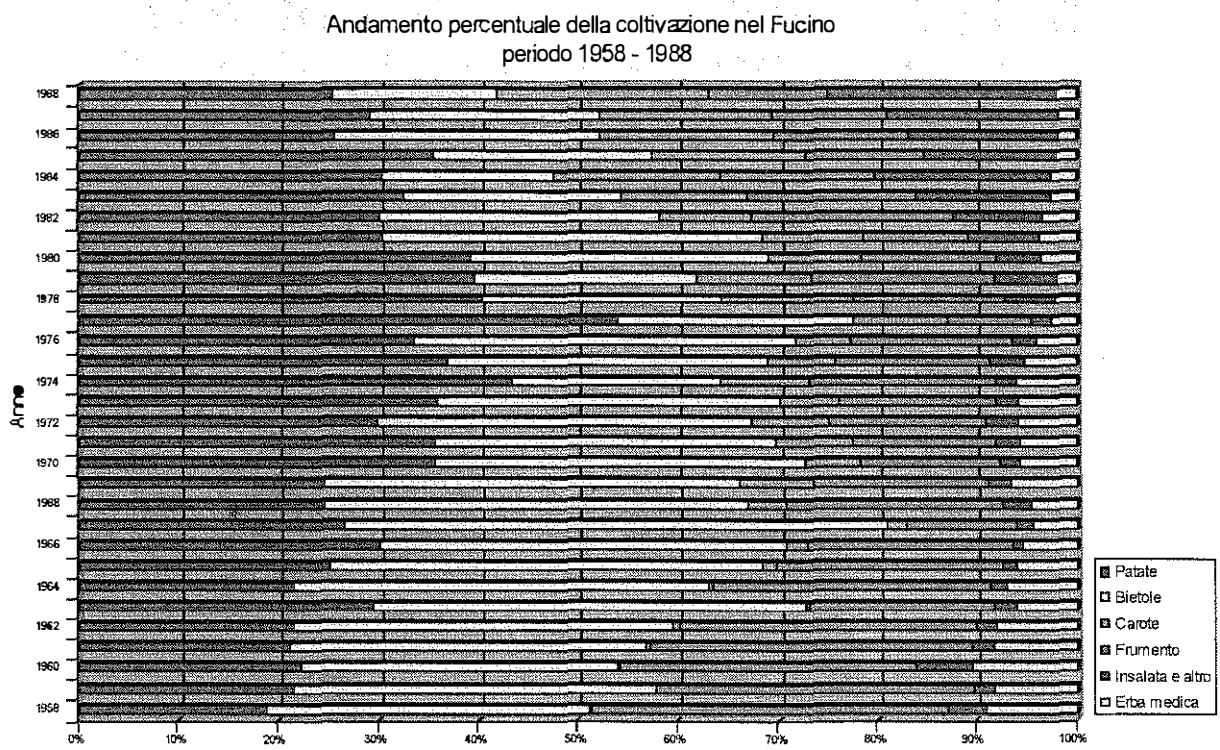


Fig. 1 - Andamento percentuale della coltivazione nel Fucino meridionale per il periodo 1958-1988. Fonte: elaborazione dati ARSSA.

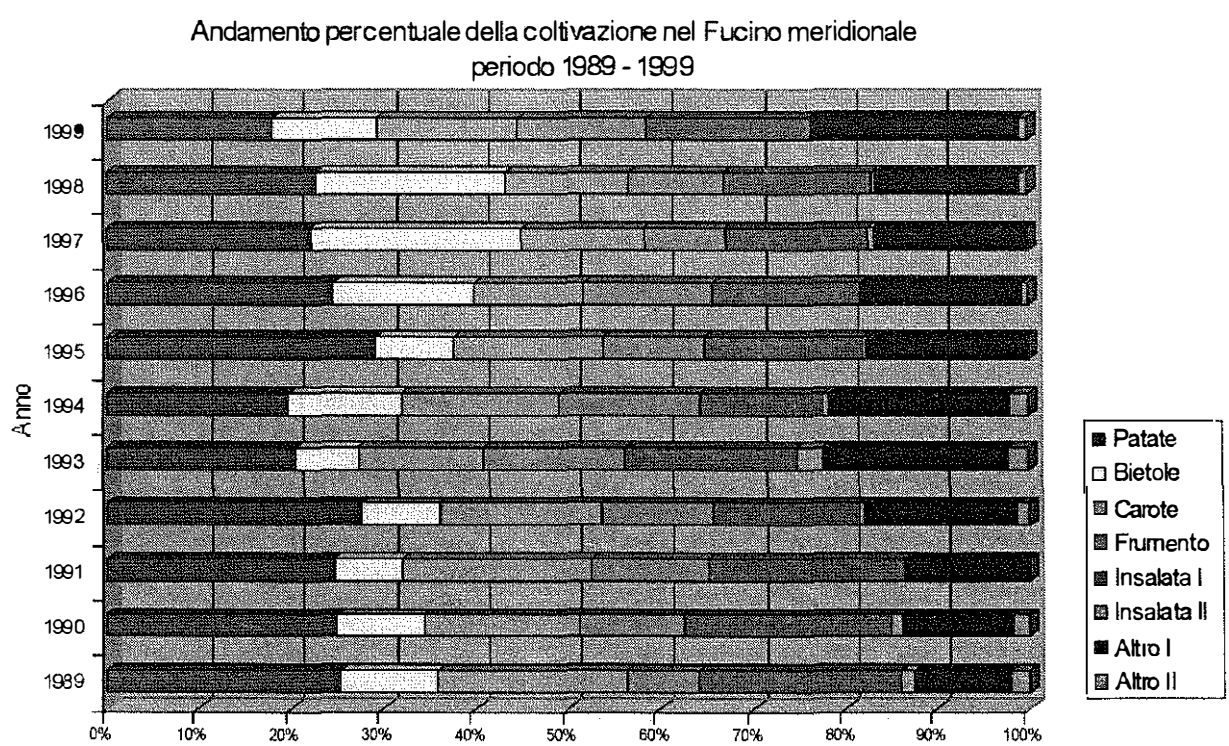


Fig. 2 - Andamento percentuale della coltivazione nel Fucino meridionale per il periodo 1989 -1999. Fonte: elaborazione dati ARSSA.

Più recentemente gli agricoltori si sono rivolti alla coltivazione specializzata, di tipo orticolo, in considerazione dei seguenti fattori:

- resa unitaria molto elevata di queste colture;
- abbondanza di mano d'opera, di provenienza in generale extra-comunitaria;
- possibilità di meccanizzazione sempre più elevata delle pratiche colturali;
- aumentata capacità imprenditoriale degli agricoltori;
- possibilità di ripetere due, o anche tre in qualche caso, cicli colturali annui sullo stesso terreno;
- richiesta di mercato estremamente selettiva ma, anche, molto remunerativa. In pratica le coltivazioni vengono condotte su "prenotazione" dell'acquirente che, in qualche caso, fornisce anche la semenza.

Tale intensificazione di pratiche agricole ha determinato la configurazione di due nuovi problemi:

- un uso massivo di pesticidi[5], anche se l'attività di promozione culturale e la vigilanza operata dall'ARSSA stanno ridimensionando il fenomeno, al punto che la produzione tende ad un prodotto di qualità, tutelato da un marchio;
- l'utilizzo della irrigazione a pioggia, che durante i mesi estivi determina un fabbisogno superiore alla disponibilità idrica offerta dai canali.

Come evidenziato nel diagramma[6] (fig. 2), tra le colture orticole vengono privilegiate carote, sedano, radicchio, insalate e finocchi contribuendo in modo consistente al notevole incremento dei prelievi idrici dagli acquiferi carsici circostanti essendo, come detto, insufficiente quella reperibile nei canali. Ciò comporta, di conseguenza, un maggiore rischio di depauperamento e d'inquinamento per le risorse idriche dell'area. Per fare fronte, dunque, alla crescente richiesta d'acqua per irrigazione, l'emungimento dai pozzi, che nel 1998 ammontava a circa 2.400.000 m^3, nel biennio successivo risulta più che raddoppiato. Come conseguenza dell'intenso pompaggio, la falda idrica si abbassa notevolmente e soprattutto in coincidenza di situazioni climatiche sfavorevoli quali, ad esempio, la crisi idrica del 1990 (Burri e Pettitta, 1999). L'intenso sfruttamento, che avviene soprattutto ai margini della piana, ha contribuito in modo sostanziale all'abbassamento della quota piezometrica registrata nei diversi campi pozzi e soprattutto alla diminuzione delle portate di alcune sorgenti storiche, sino alla loro scomparsa. Questo fenomeno risulta più evidente nel settore meridionale del Fucino, dove vi è una maggiore presenza di sorgenti e di risorse idriche. Inoltre, esso determina la presenza sul terreno di possibili inquinanti, che possono infiltrarsi nel suolo oppure essere trasportati dalle acque di irrigazione nei canali e nel collettore principale, dove i flussi sono ridotti al minimo o nulli, specie nel periodo estivo.

ASSETTO IDROGEOLOGICO

Una corretta analisi delle risorse territoriali, ai fini di uno sviluppo sostenibile e di un loro sfruttamento compatibile, non può quindi prescindere da un attento monitoraggio delle attività antropiche e delle risorse medesime, nonché da un'approfondita conoscenza geologico-tecnica e idrogeologica dell'area del Fucino.

---

[5] Oltre 35 kg/ha contro i 12,8 kg/ha della media nazionale italiana ed i 9,9 kg/ha del restante territorio abruzzese.

[6] In questo diagramma sono riportati i dati percentuali relativi alla coltivazione agricola dell'ultimo decennio. Con il termine di *"Insalata II"* si è voluto indicare il dato relativo alla seconda semina che avviene in giugno-luglio. Nella categoria *"Altro"* sono state incluse le colture orticole (finocchi, sedano, cavoli, cavolfiori, piselli, fagioli), sia mais, prati, erbai, pioppeti ed ulteriori generici. Qusto accorpamento si rende necessario poiché questi coltivi sono molto ridotti, se non esgui, riapetto al resto ed il loro censimento puntuale è di difficile realizzazione. Anche in questo caso, comunque, si è voluto distinguere il dato della prima semina da quello della seconda. Tra le colture orticole incidono nettamente i finocchi, tanto che l'ARSSA ha deciso, a partire probabilmente dal 2001, di scorporare tale dato dalla cat6egorie *"Altro"*. Dall'esame dei dati si può osservare come la coltivazione della patata sia rimasta sostanzialmente invariata nel periodo 1989-1999, mentre la barbabietola ha avuto un andamento molto più altalenante. Durante detto periodo si è registrato un notevolissimo incremento nella produzione di carote, cui fa riscontro una diminuzione della coltivazione del frumento, soppiantato da colture a maggiore redditività. La coltura dell'insalata ha occupato, nel periodo analizzato, una superficie ben maggiore di alcune tradizionali, quali la barbabietola ed il grano.

La Piana del Fucino si è venuta a determinare durante le fasi distensive dell'orogenesi appenninica a partire dal Pliocene - Pleistocene inferiore (Ambrosetti et alii, 1982, Galadini e Messina, 1999). Analogamente a tutte le maggiori conche intermontane (Rieti, L'Aquila - Scoppito, Fossa - S. Demetrio dei Vestini, Subequana, Sulmona, Pescasseroli), essa è ubicata in corrispondenza dell'intersezione di più strutture tettoniche, risultando così piuttosto ampia e notevolmente depressa rispetto ai rilievi circostanti. Questi rilievi sono costituiti prevalentemente da imponenti successioni di calcari per lo più mesozoici (Lias inferiore - Maastrichtiano). Ai bordi di questa grande conca sono palesi importanti faglie dirette associate a fasce milonitizzate, connesse anche all'azione dei più recenti sismi
Alcuni Autori, in particolare Giraudi (1988 e 1989), pongono in evidenza come, almeno per il periodo compreso tra il Pleistocene superiore e l'Olocene, l'evoluzione geologica dell'area sia stata condizionata maggiormente dalle variazioni climatiche piuttosto che dalla tettonica.
Dal Pliocene superiore sino in epoca storica la depressione è stata interessata prevalentemente da sedimentazione continentale e lacustre (Giraudi, 1989), raggiungendo nelle porzioni centrali spessori di diverse centinaia di metri. Riguardo i depositi sedimentari attribuibili al Pliocene - Pleistocene medio, essi sono stati rinvenuti solamente nella parte settentrionale del Fucino nel settore compreso tra S. Pelino Vecchio e la bassa valle del Giovenco (Bosi et alii, 1989).
I massicci carbonatici sovrastanti la Piana del Fucino sono sedi di imponenti acquiferi e le falde idriche, presenti all'interno dei sedimenti della piana, sono alimentate principalmente da tali acquiferi. Questi depositi detritici, di varia granulometria e composizione prevalentemente carbonatica, si sono costituiti in seguito allo smantellamento e al modellamento dei rilievi circostanti, formando nel tempo ampie falde di detrito interdigitate tra loro. I flysch, che in gran parte dell'Appennino centrale costituiscono il limite a flusso nullo *(aquiclude)* o a limitata permeabilità *(aquitard)*, si trovano probabilmente in profondità perché si possa risentire in superficie del loro effetto tamponante; di conseguenza il limite di permeabilità è costituito dagli anzidetti depositi a granulometria più fini.
I gradienti piezometrici, presenti all'interno dei massicci carbonatici, sono tali da consentire l'alimentazione delle falde che si estendono nella depressione fucense. Le discontinuità tettoniche nella piana consentono localmente risalite di fluidi profondi, provenienti dalle strutture carbonatiche ivi sepolte e connesse a quelle affioranti.
Celico (1978) individua una grande unità idrogeologica, denominata Monte Velino - Monte Cornacchia - Monti della Meta, suddivisibile in due unità idrogeologiche secondarie, separate dalla Piana del Fucino: M. Velino - M. Giano - M. Nuria e M. Cornacchia - Monti della Meta.
L'unità di Monte Velino - Monte Giano - Monte Nuria costituisce sempre secondo Celico (1978), il bacino di alimentazione delle sorgenti del Peschiera (di Canetra, della Valle del Velino - Antrodoco; Celico 1990a), mentre solo il massiccio carbonatico dei Tre Monti drenerebbe parte delle acque verso i depositi quaternari del Fucino.

L'unità idrogeologica di M. Cornacchia - Monti della Meta è suddivisa in tre substrutture indipendenti: Monte Pianeccia, Monte Fontecchia e Monte Cornacchia - Monti della Meta:

- il fronte sorgivo di Monte Pianeccia, piuttosto ampio, comprende il gruppo Restina, nei pressi di Venere, e coincide con la parte più depressa di questa struttura;
- la substruttura di Monte Fontecchia è tettonicamente sottostante alla dorsale di Monte Cornacchia. Il suo drenaggio è rivolto verso la Piana del Fucino tra Ortucchio e Trasacco, riflettendo l'andamento altimetrico del limite a flusso nullo. Le acque sarebbero per lo più intercettate dal Canale Allacciante Meridionale;
- la terza substruttura, Monte Cornacchia - Monti della Meta, comprende anche i Monti Carseolani e viene drenata esternamente al Fucino.

Boni et alii (1986) e Boni et alii (1993) indicano un valore di portata media delle sorgenti principali nel Fucino pari a circa 8,4 m3/s, dato molto simile a quello riportato Celico (1978).

INDAGINI CONDOTTE

Le indagini e i nuovi rilievi condotti a partire dal 1999 (nell'ambito della convenzione tra l'ARSSA e il Dipartimento di Scienze Ambientali - Università degli Studi di L'Aquila) hanno da un lato confermato lo schema di circolazione idrica nel sottosuolo proposto dagli Autori sopraccitati, dall'altro hanno indicato come la portata complessiva delle emergenze sorgentizie si sia drasticamente ridotta a poco più di un terzo rispetto ai dati pregressi. Anche il nuovo censimento delle sorgenti (ubicate nelle zone di Trasacco, Venere e Paludi di Celano) ha evidenziato una netta diminuzione del loro numero rispetto ai censimenti effettuati dalla Cassa per il Mezzogiorno (1979) e ancora prima dal Ministero dei Lavori Pubblici.
Allo stesso tempo lo sfruttamento delle risorse idriche sotterranee è aumentato notevolmente per fini agricoli, idropotabili e industriali, anche con la realizzazione di nuovi impianti di captazione, il cui impiego, unitamente agli intensi prelievi estivi dai canali per l'irrigazione, ha contribuito in modo determinante all'abbassamento del livello piezometrico delle falde acquifere, ospitate sia nei massicci carbonatici sia nei depositi detritici della piana e idraulicamente connesse alle prime.
A ciò è imputabile la netta diminuzione delle risorse idriche superficiali "storiche" nell'area fucense.
Nell'ambito delle indagini condotte sono stati monitorate con un campionamento periodico alcune sostanze (fosfati, nitrati e ione ammonio) reputate indicatrici di possibili inquinanti presenti nelle acque all'interno della piana (canali e sorgenti - Petitta et alii, 2003) e sono stati censiti i diversi centri di pericolo presenti nell'area.
Da quanto esposto risulta evidente l'importanza strategica qualitativa e quantitativa delle riserve idriche per le diverse attività antropiche (agricole, industriali, insediative e turistiche) e come questo bene debba essere prima di tutto tutelato.
La realizzazione della "carta della vulnerabilità dell'acquifero del Fucino" rappresenta una prima importante al problema di una corretta e moderna gestione della risorsa idrica, della pianificazione territoriale e della prevenzione.
L'esigenza della sua stesura nasce dalla constatazione di come lo sviluppo economico che ha interessato la Conca del Fucino ne abbia determinato la profonda trasformazione del territorio, sia con l'innesto di una fiorente attività industriale, sia con una trasformazione dell'agricoltura che assume sempre più caratteri intensivi. Tale sviluppo, accompagnato da una altrettanto forte crescita demografica e insediativa, non è stato però seguito da una distribuzione razionale della risorsa idrica, innescando così preoccupanti situazioni di squilibrio e di spreco.

LA CARTA DELLA VULNERABILITÀ

Considerando la vastità dell'area oggetto di indagine, 160 km^2 circa, la scelta della metodologia più adatta per redigere la carta della vulnerabilità dell'acquifero del Fucino è ricaduta sulla zonazione per aree omogenee, vista l'impossibilità oggettiva di utilizzare metodi parametrici che richiedono qualità e quantità di dati tali che non sono reperibili in tutta l'area fucense (Civita, 1994). Pur presentando un certo grado di soggettività, rappresentato dalla mancanza di parametri oggettivi e quantificabili, per la sua adattabilità a realtà vaste e articolate come quella oggetto di studio, si è ritenuta tale metodologia particolarmente idonea per l'area in esame. Sono stati evidenziati i fattori che condizionano in misura consistente la circolazione idrica sotterranea, quali la natura, la permeabilità orizzontale e verticale dei terreni affioranti, nonché lo stato di protezione degli stessi, assegnando particolare importanza alla soggiacenza della falda e alla tipologia della copertura superficiale. Tali fattori regolano la circolazione idrica sotterranea, ma allo stesso tempo determinano la dinamica di diffusione di un eventuale inquinante idroveicolato.
Ai fini della vulnerabilità dell'acquifero, per quanto riguarda la litologia, il grado di vulnerabilità sarà tanto maggiore quanto più alta sarà la presenza di sedimenti altamente permeabili, quali brecce, ghiaie e calcari fratturati, mentre sarà favorita la protezione dell'acquifero quando affiorano sabbie, limi o argille. La soggiacenza della falda è considerata invece inversamente proporzionale alla vulnerabilità, per cui risultano svantaggiate quelle situazioni in cui la superficie piezometrica si trova a breve profondità dal piano campagna.

È stato poi messo l'accento sulla presenza di strati ghiaiosi e sabbiosi, presenti sotto le coperture dei sedimenti argilloso-limosi di origine lacustre. Essi possono essere sede di falde idriche anche rilevanti, per cui un ulteriore parametro preso in considerazione riguarda la profondità del tetto delle ghiaie e delle sabbie, così come quella del substrato calcareo sede di acquifero.
Su questi elementi sono stati proposti cinque gradi di vulnerabilità che vanno da basso ad estremamente elevato. Nella carta allegata vengono riassunti i soli elementi di vulnerabilità intrinseca, mentre le informazioni relative ai centri di pericolo, pur esaminate in dettaglio, per motivi grafici non sono state rappresentate.
L'esame della carta consente di presentare le diverse situazioni di squilibrio presenti nell'area del Fucino, ponendo l'accento sull'interazione fra il valore della vulnerabilità intrinseca e le tipologie dei centri di pericolo (CDP) presenti sul territorio:

Settore di Avezzano
È questa l'area con la maggiore densità abitativa dell'intero bacino del Fucino. L'agglomerato urbano della città di Avezzano poggia su sedimenti di tipo fluvio-deltizio; è stato attribuito un grado di vulnerabilità elevato a quelle aree in cui è maggiore la componente grossolana (ghiaia) nei sedimenti (a Nord dell'abitato), mentre per la porzione più prossima alla piana, dove è più rilevante la componente sabbiosa e ghiaiosa, si è assegnato un grado di vulnerabilità alto.
La presenza sul territorio di numerose attività produttive quali officine meccaniche, allevamenti e opifici vari costituiscono dei CDP rilevanti in chiave inquinamento per gli acquiferi sottostanti.

Settore di Paterno
Nonostante la vicinanza al nucleo avezzanese, il comprensorio di Paterno non presenta particolari problemi riguardo la protezione delle acque sotterranee, nonostante la soggiacenza della falda sia soltanto a pochi metri dal piano campagna. Una copertura superficiale di tipo limoso-argilloso fa sì che il grado di vulnerabilità risulti medio. Inoltre è bassa la densità di attività potenzialmente a rischio.

Settore di Celano
Questo territorio si sviluppa prevalentemente sui depositi dei conoide di deiezione, costituiti in gran parte da ghiaie e sabbie con elevati valori di permeabilità; inoltre la falda è a soli pochi metri dal piano campagna, pertanto è stato assegnato il grado di vulnerabilità elevato. Procedendo verso la piana il grado di vulnerabilità si riduce, passando prima ad alto e poi a medio presso l'abitato di Borgo Strada 14, dove la falda si presenta in pressione, sotto una copertura dei depositi limosi lacustri.
La vulnerabilità della fascia di territorio interna alla circonfucense viene valutata di medio grado a causa della presenza, a pochi metri di profondità, di strati ghiaiosi e sabbiosi sepolti, sede di importanti acquiferi. E' in questa zona, tra l'altro, che sono ubicati la maggior parte dei pozzi produttivi utilizzati a scopo irriguo. Per quanto riguarda i centri di pericolo, il rischio è molto elevato per la presenza di impianti a forte impatto.
Da segnalare, in una zona con vulnerabilità elevata, l'esistenza di alcune industrie siderurgiche e chimiche, oltre alla discarica RSU di Celano.

Settore di Aielli e Cerchio
La zona, topograficamente rilevata rispetto alla Piana Fucense, assume un grado di vulnerabilità intermedio in considerazione del fatto che, nonostante la maggior parte dei depositi siano di natura ghiaiosa e sabbiosa, la soggiacenza della falda risulta dell'ordine di alcune decine di metri dal piano campagna. Le sole eccezioni si hanno in alcune aree (vulnerabilità estremamente elevata) dove vi potrebbero essere scambi idrici fra il corso d'acqua superficiale e la falda sottostante. La presenza di CDP è scarsa in questa zona.

Settore di Pescina e Collarmele
Gli abitati di Pescina e Collarmele e i relativi centri di pericolo sorgono su depositi ghiaiosi terrazzati. Per tale ragione si è assegnato un valore di vulnerabilità elevato, mentre è decisamente basso per i depositi sottostanti (Formazione di Cerchio). Per quanto concerne la fascia di raccordo fra i depositi terrazzati e quelli della piana bonificata, si è assegnato un grado di vulnerabilità medio in considerazione del fatto che essa è costituita soprattutto da depositi sabbiosi o limosi. Fanno eccezione le aree più prossime ai rilievi carbonatici e la Valle del Giovenco in cui i depositi ghiaiosi o ciottolosi, uniti ad una bassa soggiacenza della falda, determinano il massimo grado di vulnerabilità (estremamente elevato o elevato).

Settore di San Benedetto dei Marsi
Il territorio presenta un basso o medio grado di vulnerabilità, grazie alla presenza dei sedimenti limosi e argillosi di origine lacustre. In questo settore è alta la densità dei CDP, ma essi costituiscono un pericolo moderato per gli acquiferi data bassa vulnerabilità intrinseca.

Settore di Venere
La vicinanza dell'abitato di Venere alle sorgenti e alla struttura carbonatica che le alimenta, determina un valore della vulnerabilità alto o elevato. Da sottolineare in quest'area la presenza particolarmente a rischio di un'industria con scarichi organici difficilmente biodegradabili, di una con scarichi inorganici e di un impianto per la piscicoltura.

Settore di Gioia dei Marsi, Lecce dei Marsi e Ortucchio
È la scarsa soggiacenza della falda freatica dal piano campagna che determina classi di vulnerabilità da alte a estremamente elevate, anche in considerazione della presenza di depositi altamente permeabili quali ghiaie e ciottoli. E' invece modesta la densità di elementi antropici pericolosi, che sono rappresentati principalmente da cave per inerti da costruzione o da attività zootecniche.

Settore di Trasacco
E' l'area più delicata e sensibile di tutta la Conca del Fucino: in questa zona infatti si riversano i principali flussi idrici sotterranei provenienti dall'idrostruttura di Monte Fontecchia. I depositi principali sono rappresentati da ghiaie di origine fluviale e detriti di versante, i quali costituiscono la sede di un importante acquifero che emerge lungo il fronte sorgentizio che si sviluppa tra Trasacco e Ortucchio.
La falda è superficiale e, data la vicinanza delle numerose scaturigini del gruppo sorgentizio di Trasacco, sono stati assegnati gradi di vulnerabilità elevati o estremamente elevati.
Rilevante è la presenza, nelle vicinanze dell'abitato di Trasacco, delle opere di presa e i pozzi che alimentano l'acquedotto, nonchè numerosi pozzi utilizzati a scopo idropotabile o irriguo. Per questo motivo, nonostante le attività antropiche di una certa pericolosità non siano molto diffuse, questa zona rappresenta sicuramente un'area a cui dedicare particolare attenzione.

Settore di Luco dei Marsi
In questo settore i depositi limoso-argillosi, che determinano il grado di vulnerabilità basso, contribuiscono a proteggere il sottosuolo da un eventuali episodi di contaminazione. La concentrazione di CDP all'interno dell'area abitata è discreta.

Settore del Nucleo Industriale di Avezzano
La vulnerabilità intrinseca dell'area risulta di medio grado, vista la presenza di depositi sabbiosi e limosi variamente intercalati. Tuttavia è il settore a più alta concentrazione di CDP di ogni tipo, principalmente industrie e depositi chimici o di idrocarburi. E' quindi molto rilevante la pressione antropica sul territorio e la zona risulta particolarmente a rischio di contaminazione da parte di svariate tipologie di inquinanti.

Settore della Piana Bonificata

Tutta l'area interna alla SP 22 Circonfucense, corrispondente ai terreni bonificati dal prosciugamento del lago, assume un grado di vulnerabilità basso per la presenza di depositi limosi o limoso-argillosi, e in considerazione del fatto che la soggiacenza della falda supera le decine di metri di profondità.

Nonostante nella Piana l'attività agricola sia intensiva e molto sviluppata, con spargimento di pesticidi, concimi e fertilizzanti, mancano CDP puntuali, mentre sono presenti potenziali ingestori di inquinanti, come numerosi pozzi, attivi o abbandonati, ubicati maggiormente nel settore settentrionale.

CONCLUSIONI

La rapida evoluzione economica e sociale nell'area del Fucino impone, per una moderna e razionale gestione delle risorse, l'adozione di strumenti idonei, che consentano di potere rappresentare ed analizzare, in modo dinamico, i molteplici aspetti che interagiscono e si sovrappongono, consentendo un'adeguata pianificazione e interventi mirati.

Il sistema informativo territoriale (SIT) costituisce uno strumento appropiato per tali finalità. La carta della vulnerabilità deve essere considerata un suo importante ed imprescindibile tematismo, in quanto evidenzia la sensibilità della risorsa idrica ad eventuali o reali sollecitazioni antropiche. Ciò si rivela tanto più veritiero nella zona del Fucino, caratterizzata da una spiccata vocazione agricola e da una disponibilità idrica qualitativamente ottima.

Occorre, quindi, tutelare questa risorsa strategicamente ed economicamente importante, razionalizzandone l'impiego e vincolando l'uso del suolo. D'altro canto è oramai impellente la necessità di definire le reali risorse idriche disponibili annualmente ai fini di una pianificazione per l'utilizzo agricolo, industriale e umano. In tale prospettiva il monitoraggio costante del territorio, l'informatizzazione e l'elaborazione dei dati acquisiti sono strumenti fondamentali ed irrinunciabili.

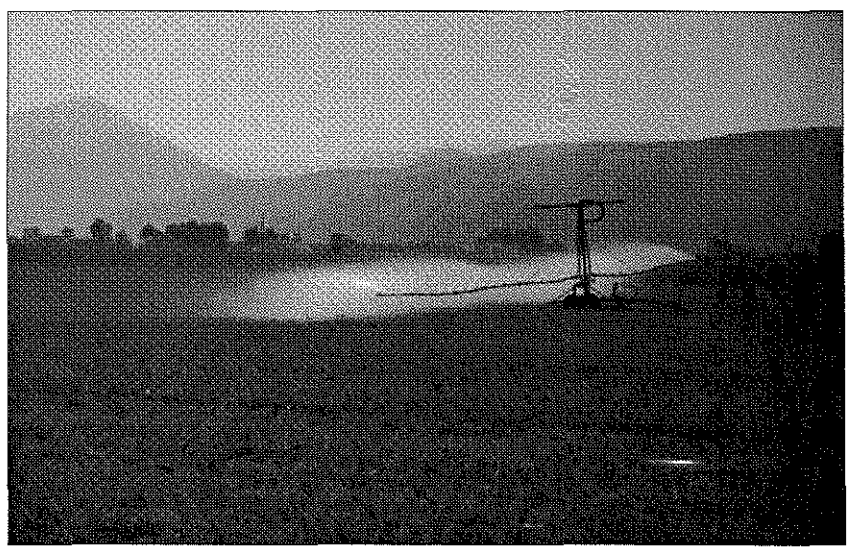
N.B. Le fotografie riprodotte nelle pagine seguenti sono tratte dall'Atlante del Paesaggio del Fucino (a cura di Ezio Burri), ed. ARSSA, in corso di pubblicazione.

BIBLIOGRAFIA

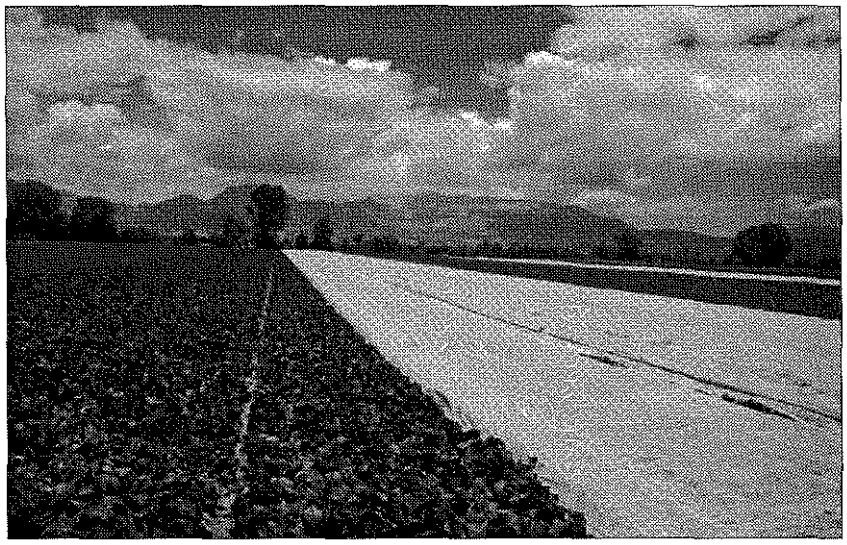
- AMBROSETTI P., CARRARO F., DEIANA G., DRAMIS F. (1982) - Il sollevamento dell'Italia centrale tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio - C.N.R. , P.F. Geodinamica, Pubbl. n° 513, pagg. 219-223.
- BONI C., BONO P., CAPELLI G. (1986) - Schema idrogeologico dell'Italia centrale - C.N.R., Mem. Soc. Geol. It., 35, pagg. 991-1012, 3 carte.
- BONI C., M. PETITTA, E. PREZIOSI & M. SERENI (1993) - Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio - C.N.R., 78 pagg.. S.p.A. Arti Grafiche Panetto & Petrelli, Spoleto.
- BOSI C., GALADINI F., MESSINA P. (1999) - Stratigrafia ed evoluzione geologica plio - pleistocenica della conca del Fucino - In: "13 Gennaio 1915. Il terremoto della Marsica" (a cura di Castenetto S. e Galadini F.), C.N.R., Serv. Sis. Naz., Ist. Poligr. Stat., pagg. 171-181. Roma.
- BURRI E., PETITTA M. (1999) - Farming and water management in the Fucino plain (central Italy) in the last century. Proocedings XVII International Congress ICID, Granada, 1D, pagg. 257-268.
- BURRI E., PETITTA M. (2003) - Agricoltural changes affecting water availability: from abundance to scarcity (Fucino Plain, Central Italy), Irrigation and Drainage, Wiley InterScience, Jobn Wiley & Sons, Ltd.(in press but Published online in Wiley InterScience (w.w.w. interscience.wiley.com) DOI:10.1002/ird.119
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1979) - Archivio idrogeologico del "Progetto Speciale 29" - Roma.
- CELICO P. (1978) - Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale - Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata di Napoli (1978 - 1979), 14, 97 pagg..
- CIVITA M. (1994)- Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & pratica, Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 7, 325 pagg., Pitagora Editrice. Bologna.
- GALADINI F., MESSINA P. (1999) - Neotettonica della Piana del Fucino - In: "13 gennaio 1915. Il terremoto della Marsica" (a cura di Castenetto S. e Galadini F.), C.N.R., Serv. Sis. Naz., Ist. Poligr. Stat., pagg. 199-222. Roma.
- GIRAUDI C. (1988) - Evoluzione geologica della Piana del Fucino negli ultimi 30.000 anni - E.N.E.A., C.R.E. Il Quaternario, 1, (2), pagg. 131-159.
- GIRAUDI C. (1989) - Datazione con metodi geologici e radiometrici di un evento sismico preistorico ai Piani di Aremogna e delle Cinque Miglia - Piano di Pezza (Abruzzo - Italia Centrale) - In: "I terremoti prima del 1000: storia, archeologia, sismologia", Ist. Naz. di Geofisica.
- PETITTA M., BURRI E., DEL BON A., PANNUNZIO G. (2003) -Water and agricultural management: environmental problems in the Fucino Plain. In Proocedings Workshop "Nitrate in Groundwater in Europe", Poland, June 2002
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 e Note: F. 145 " Avezzano", I ed. 1934

◀ Foto 1
Le acque per l'irrigazione, in buona parte, vengono prelevate dai canali di raccolta con l'ausilio di pompe azionate dai motori dei mezzi agricoli.
(foto Burri - prop. ARSSA)

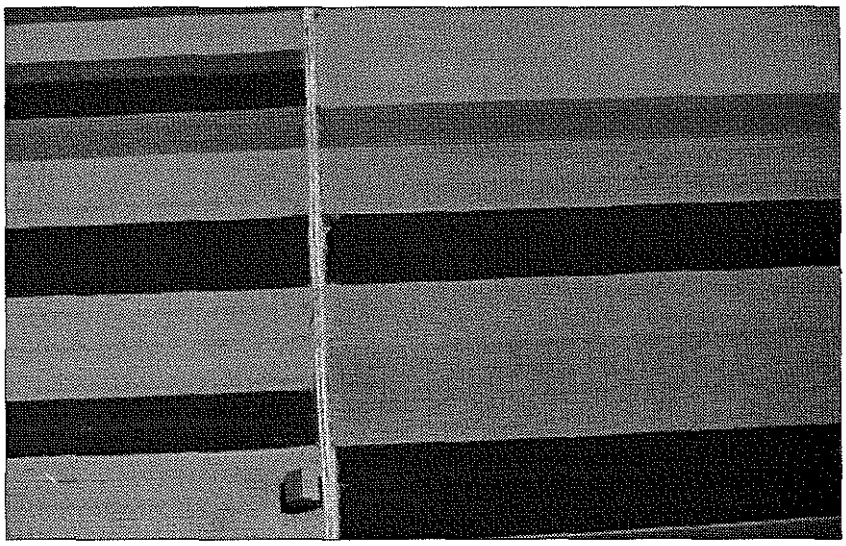
◀ Foto 2
L'irrigazione a pioggia è, in assoluto, il sistema più utilizzato nonostante questo metodo comporti un notevole dispendio della risorsa idrica.
(foto Burri - prop. ARSSA)



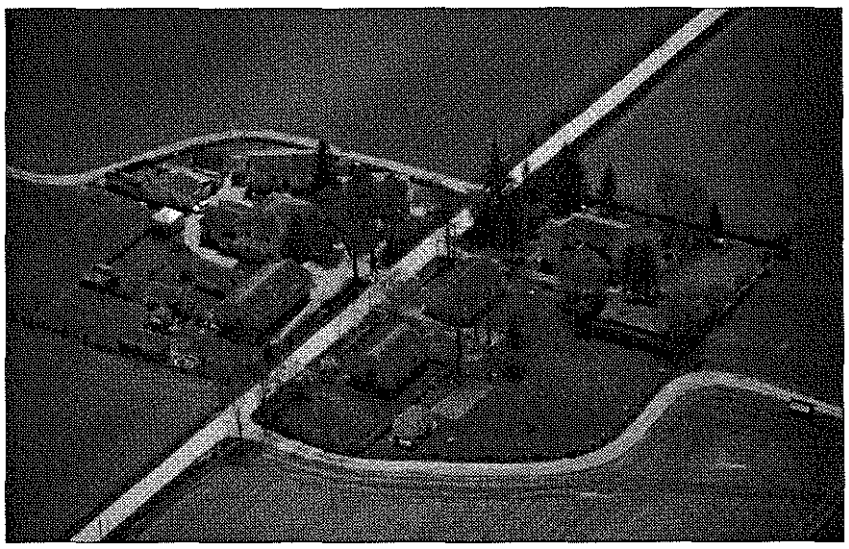
◀ Foto 3
Anche l'impiego di pesticidi è piuttosto consistente anche se, soprattutto negli ultimi tempi, si assiste ad una maggiore cautela nella loro utilizzazione.
(foto Burri - prop. ARSSA)



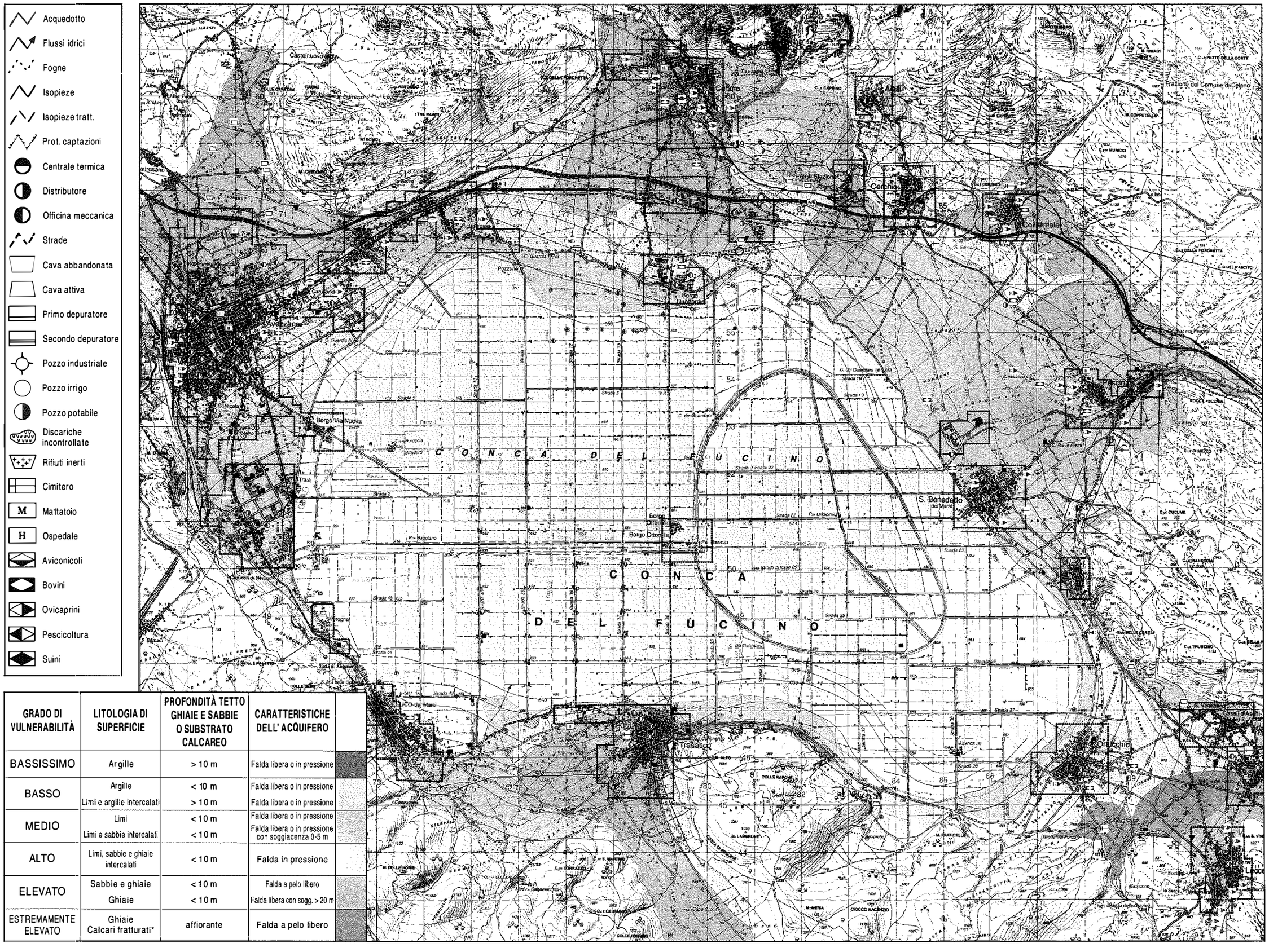
◀ Foto 4
Un'immagine emblematica dell' agricoltura fucense: coesistenza di coltivazioni già avviate e nuovi impianti in serra.
(foto Burri - prop. ARSSA)



◀ Foto 5
L'armonica geometria della tessitura nelle coltivazioni fucensi.
(foto D'Angelo - prop. ARSSA)



◀ Foto 6
Nella vasta pianura fucense emergono gli storici nuclei abitativi creati, subito dopo la bonifica, per la conduzione agricola del vasto latifondo.
(foto D'Angelo - prop. ARSSA)



GRADO DI VULNERABILITÀ	LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE E SABBIE O SUBSTRATO CALCAREO	CARATTERISTICHE DELL' ACQUIFERO
BASSISSIMO	Argille	> 10 m	Falda libera o in pressione
BASSO	Argille	< 10 m	Falda libera o in pressione
	Limi e argille intercalati	> 10 m	Falda libera o in pressione
MEDIO	Limi	< 10 m	Falda libera o in pressione
	Limi e sabbie intercalati	< 10 m	Falda libera o in pressione con soggiacenza 0-5 m
ALTO	Limi, sabbie e ghiaie intercalati	< 10 m	Falda in pressione
ELEVATO	Sabbie e ghiaie	< 10 m	Falda a pelo libero
	Ghiaie	< 10 m	Falda libera con sogg. > 20 m
ESTREMAMENTE ELEVATO	Ghiaie Calcari fratturati*	affiorante	Falda a pelo libero

L'IMPORTANZA SOCIO-ECONOMICA DELLE GROTTE TURISTICHE

Arrigo A. Cigna

International Show Caves Association - Società Speleologica Italiana

RIASSUNTO

L'ambiente sotterraneo consiste nella maggior parte dei casi in un sistema isolato dal punto di vista energetico. Pertanto qualsiasi intrusione comporta, in linea di principio, una modificazione dell'equilibrio naturale. Per questo motivo, nella valutazione dell'impatto ambientale su di una grotta, occorre prendere in considerazione tutte le possibili forme di frequentazione: dalla semplice esplorazione da parte degli speleologi, all'escursionismo speleologico, al vero e proprio turismo.

In generale, com'è ovvio, è il turismo di massa la fonte più importante di apporto energetico in grado di perturbare sostanzialmente il bilancio della grotta. Per questo motivo è ormai considerato indispensabile procedere ad una valutazione di impatto ambientale, prima di aprire al turismo una grotta, e di predisporre una rete di monitoraggio dei principali parametri climatici che vengano elaborati da un'apposita commissione con il compito di controllare il sostanziale mantenimento dell'ambiente sotterraneo nei limiti dell'equilibrio naturale.

In questo lavoro vengono riassunte le tappe essenziali dei procedimenti di esame delle caratteristiche ambientali e delle loro eventuali variazioni dovute alle diverse situazioni di frequentazione umana. In particolare viene fornita anche una valutazione di massima dei costi relativi alle possibili soluzioni per il monitoraggio dei principali parametri.

Tuttavia le implicazioni socioeconomiche connesse con la turisticizzazione di una grotta non si limitano a considerazioni sull'ambiente sotterraneo. Infatti, accanto all'impatto su tale ambiente da parte dei turisti che lo frequentano, occorre considerare anche quello, corrispondente, che la grotta turistica ha sull'ambiente circostante. Le maggiori grotte turistiche esistenti nel mondo hanno portato ad una modifica sostanziale dell'economia locale influenzando in modo massiccio lo sviluppo dei centri vicini.

Questo effetto si è manifestato in un cambiamento radicale delle caratteristiche socio-economiche trasformando piccoli centri ad economia agricola modesta in poli di attrazione turistica a livello regionale o addirittura nazionale. Quando poi si esamini l'insieme delle grotte turistiche, senza limitarsi ai casi più appariscenti, si vede come il risultato globale si manifesti in una voce essenziale dell'economia.

Naturalmente tutto ciò implica la necessità di una programmazione molto accurata di tutto il processo dal momento che piccole anomalie od errori possono evolversi rapidamente con effetti disastrosi sia sull'ambiente sotterraneo sia sull'ambiente socio-economico correlato.

Parole chiave: ambiente sotterraneo, equilibrio energetico, protezione dell'ambiente, reti di monitoraggio, grotte turistiche, sviluppo socio-economico.

ABSTRACT. (THE SOCIO-ECONOMICAL ASPECT OF SHOW CAVES)

The cave environment is, in the majority of instances, a system isolated from the point of view of the energy balance. Therefore any intrusion implies, in principle, a change of the natural equilibrium. For this reason, when an environmental impact assessment has to be carried on, any form of presence of human beings must be taken into account, from the simple cave exploration, to adventure tours, to the visitors in a show cave.

Obviously, the latter is in general the most relevant source of energy, which may affect the energy balance of a cave. Therefore, it is now widely accepted the necessity of an environmental impact assessment to be performed before the development of a show cave. A monitoring network of the main climatological parameters must be installed and a commission with the task of checking the degree of protection of the cave environment must be established.

In this paper the main steps of the evaluation of the cave parameters and their possible changes due to different forms of the human presence are summarised. In particular a rough cost estimation of the different forms of cave monitoring is here reported.
However, the socio-economical implications due to the development of a show cave are not limited to the cave environment. In fact, together with the impact of the tourists on the cave environment, also the impact of the show cave in the surroundings must be considered. The most important show caves in the world brought a relevant change. The most important show caves of the world have heavily modified the economy of their neighbouring.
Effect resulted in a radical change of the socio-economical characteristics by transforming small towns with a modest agricultural economy into large tourist resorts of regional or national importance. When the whole of show caves is considered, without limiting to the most remarkable caves, the global effects appear clearly as an instrumental source for the economy. Obviously, a very accurate programming of the entire process is required because small anomalies or mistakes may develop rapidly and become ruinous effects both for the cave environment and the corresponding socio-economic environment.

Key words: cave environment, energy balance, environmental protection, monitoring networks, show caves, socio-economic development.

INTRODUZIONE

L'ambiente sotterraneo consiste nella maggior parte dei casi in un sistema isolato dal punto di vista energetico. Pertanto qualsiasi intrusione comporta, in linea di principio, una modificazione dell'equilibrio naturale. Per questo motivo, nella valutazione dell'impatto ambientale su di una grotta, occorre prendere in considerazione tutte le possibili forme dei frequentazione: dalla semplice esplorazione da parte degli speleologi, all'escursionismo speleologico, al vero e proprio turismo.
In generale, com'è ovvio, è il turismo di massa la fonte più importante di apporto energetico in grado di perturbare sostanzialmente il bilancio della grotta. Per questo motivo è ormai considerato indispensabile procedere ad una valutazione di impatto ambientale, prima di aprire al turismo una grotta, e di predisporre una rete di monitoraggio dei principali parametri climatici che vengano elaborati da un'apposita commissione con il compito di controllare il sostanziale mantenimento dell'ambiente sotterraneo nei limiti dell'equilibrio naturale.
Questi criteri sono stati riaffermati in diverse occasioni e, più recentemente nelle riunioni del Dipartimento della Protezione e Gestione delle Grotte dell'Union Internationale de Spéléologie nel corso del 13° Congresso Internazionale di Speleologia svoltosi a Brasilia nel Luglio 2001, nonché in occasione di un seminario internazionale "Monitoring of Karst Caves" che ha avuto luogo a Skocjan (Slovenia) nel Novembre 2001. In quest'ultima occasione sono state anche discusse ed approvate delle raccomandazioni (Cigna, 2002) con lo scopo di fornire una traccia di massima per la messa in opera di reti di monitoraggio per lo sviluppo di grotte turistiche.

Le reti di monitoraggio

La disponibilità sul mercato di sistemi di acquisizione e registrazione dei dati a costi relativamente economici ha consentito la messa in opera di reti di monitoraggio in svariate occasioni, con un notevolissimo miglioramento della conoscenza del comportamento dell'ambiente sotterraneo rispetto al passato quando le misure dovevano essere effettuate manualmente da un operatore.
Queste reti si distinguono essenzialmente in due categorie: quelle semiautomatiche per le quali si deve operare uno scarico dei dati delle singole stazioni (in generale con una frequenza dell'ordine del mese) e quelle automatiche che trasmettono in continuazione le uscite dei vari sensori ad calcolatore situato, in generale, all'esterno della grotta. Per quanto concerne la gestione delle reti, è bene tenere presente che è sufficiente disporre di software molto semplici che consentano un facile trasferimento a fogli elettronici tipo Excel.

Ciò permette ulteriori elaborazioni, che possono essere anche abbastanza complesse, senza sovraccaricare eccessivamente il sistema di normale acquisizione dei dati. Nel caso di grotte turistiche di una certa importanza può risultare utile l'informazione al pubblico, attraverso un monitor, con la segnalazione dei parametri ambientali correnti.

Reti semiautomatiche

Sono costituite da sistemi di registrazione dei dati (data logger) forniti da sensori specifici. Questi sistemi sono programmabili in modo da acquisire le uscite dei sensori ad intervalli determinati secondo le caratteristiche del parametro da misurare. In generale sono provvisti di alimentazione autonoma che ne consente il funzionamento per periodi lunghi (mesi o anni). Alcuni tipi di sensore non richiedono alimentazione mentre per altri è necessario provvedere con batterie o alimentazione di rete. Talvolta è conveniente utilizzare la rete per il normale funzionamento, lasciando alla batteria il compito di supplire in caso di interruzioni della rete.
Il costo indicativo dei diversi componenti di una rete semiautomatica (Forti, 2002) è soggetto a variazioni, talvolta importanti, in funzione dell'evoluzione della tecnologia. Mentre l'inflazione tende a far lievitare i costi, l'evoluzione tecnologica e l'allargamento del mercato hanno un effetto contrario per cui il risultato complessivo è sostanzialmente un diminuzione dei costi.
Nella Tavola 1 sono riportati i costi dei componenti più comuni, riferiti al 2003. L'indicazione di marche, modelli e prezzi viene data a puro titolo indicativo e come esempio, allo scopo di fornire soltanto un orientamento di massima nella fase di stesura di uno studio di fattibilità.
La stazione meteorologica esterna è stata indicata nella versione economica ed è in grado di acquisire dati da quattro canali (pressione atmosferica, precipitazioni, temperatura, umidità relativa.
Viene poi indicato un data logger a 12 bit che, oltre a due sensori interni per temperatura ed umidità, dispone anche di due canali ai quali si possono collegare due sensori per temperatura ad alta sensibilità (risoluzione: 0,01°C). Per lo scarico dei dati occorre un apposito software, che, tra l'altro, è anche molto versatile.

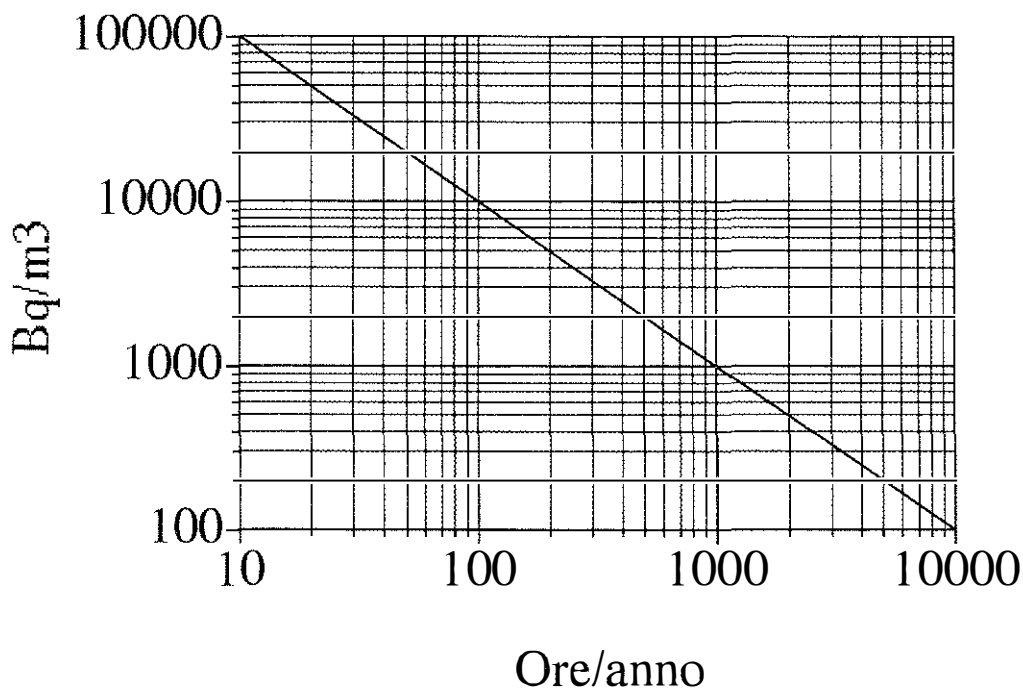
Tavola 1 - Componenti di una rete semiautomatica.

Componente	*Parametro*	*Marca*	*Unità di misura*	*Precisione*	*Costo US $*
Staz. meteo esterna	4 canali	Onset	-	-	199
Sensore	Pressione atm.	Onset	mbar	± 0,1	119
Sensore	Precipitazioni	Onset	mm	± 0,2	395
Sensore	Temperatura Umidità relativa	Onset	°C %	± 0,4 / ± 1	125
Software	-	Onset	-	-	40-95
Data logger	Temp. e Um.rel + 2 canali	Onset	°C %	± 0,35 / ± 2,5	119
Sensore alta precis.	Temperatura	Onset	°C	± 0,01	40
Software	-	Onset	-	-	25
Data logger	4 canali	Onset	-	-	179
Sensore*	CO2	Vaisala			750
Sensore*	Temperatura Umidità relativa	Vaisala	°C %	± 0,2 / ± 3	480
Radon monitor**	Radon	Sun Nucl. Corp.	pCi/L	± 25% o 1 pCi/L	535

** Richiede un alimentatore a 24 V*
*** Ha una batteria interna (durata 24 ore) oppure richiede un alimentatore esterno*

É noto che la misura dell'umidità relativa in grotta è molto aleatoria in quanto, nelle condizioni dell'ambiente delle grotte, i sensori capacitivi sono facilmente mesi fuori uso dalla condensa. Inoltre la loro sensibilità è troppo bassa per fornire informazioni attendibili nei dintorni del 100% e cioè se ci siano condizioni di evaporazione o di condensazione. A questo inconveniente si può ovviare adoperando sensori del punto di rugiada (costo elevato) oppure altri, come quello della Vaisala indicato nella Tavola 1, che hanno prestazioni migliori della media. É anche possibile ricorrere all'artificio di riscaldare leggermente il sensore di umidità in modo da evitare la condensazione, misurare l'umidità assoluta (g di acqua per m^3 di aria) a questa temperatura più elevata e calcolare l'umidità relativa alla temperatura ambiente.
Per quanto riguarda la misura della concentrazione del radon è bene ricordare che, secondo il Decreto Legislativo del 26 Maggio 2000, n. 241, per quanto riguarda le grotte, l'esercente deve provvedere alla misura della concentrazione media annua del radon. Se essa risulta inferiore a 400 Bq/m^3 non sono necessari ulteriori azioni, se è compresa tra 400 e 500 Bq/m^3 occorre continuare nelle misure della concentrazione media annua. Se, infine, questa risultasse superiore ai 500 Bq/m^3, bisogna limitare il tempo di esposizione delle persone esposte in modo che tale esposizione, valutata applicando il fattore convenzionale di conversione di $3*10^{-9}$ Sv per unità di esposizione, espressa in $Bq*h/m^3$, risulti inferiore a 3 mSv/anno. Il diagramma di Fig. 1 permette di valutare il numero di ore/anno che un individuo può trascorrere in un ambiente ad una data concentrazione di radon senza superare il limite sopra citato.

Fig. 1 – Numero di ore all'anno che un individuo può trascorrere in un ambiente ad una data concentrazione di radon senza superare il limite legale di 3 mSv/anno.



La misura della concentrazione di radon in grotta può essere effettuata adoperando dei dosimetri a traccia, che forniscono un valore mediato su tutto il periodo di misura. Questo dosimetri devono, però, essere processati e letti con un'apposita strumentazione che risulta piuttosto costosa per un singolo esercente. Tale misura può essere anche effettuata mediante strumentazione come quella indicata nella Tavola 1. Tale apparecchio può essere programmato per eseguire misure ad intervalli prefissati; è opportuno precisare che la precisione della misura, indicata dal costruttore come ± 25%, ha un significato estremamente cautelativo e che in realtà tale misura risulta essere sensibilmente più affidabile.

A titolo di esempio, una rete semiautomatica minima, consistente in una stazione esterna (temperatura, umidità relativa, precipitazioni e pressione atmosferica) ed un data logger in grotta con quattro sensori che possono essere situati in luoghi diversi (due sensori di temperatura ad alta risoluzione (± 0,01°C), un sensore per la CO_2 (± 2% in ppm) ed un sensore per temperatura (± 0,5°C) ed umidità relativa (± 3 %)), viene a costare circa 900 $ per la stazione esterna e 1600 $ per quella interna.

Reti automatiche

Le reti di questo tipo costituiscono, in linea di principio, la soluzione migliore per il monitoraggio di una grotta. Purtroppo, però, l'esperienza accumulata finora ha mostrato dei risultati molto deludenti in quanto la maggioranza dei fornitori di queste reti non ha alcuna esperienza di reti in grado di operare in modo affidabile all'interno dell'ambiente di grotta.
Per questo motivo, installazioni che hanno comportato impegni economici rilevanti sono state in grado di funzionare soltanto per tempi piuttosto brevi, con fermate anche prolungate dovute a guasti dei sensori, della rete di trasmissione e dei calcolatori.
Un problema che si è ripetuto in diverse occasioni è stato il danneggiamento di componenti della rete a causa di scariche elettriche provocate da temporali che venivano trasmesse all'interno della grotta attraverso le linee di alimentazione e quelle di trasmissione dei dati. Questo fenomeno può essere controllato inserendo opportuni circuiti che bloccano le extracorrenti lungo la linea di alimentazione in prossimità dell'ingresso in grotta e di accoppiatori elettro-ottici all'uscita della linea trasmissione dati dalla grotta.
Analogamente a quanto esposto nel caso delle reti semiautomatiche, a titolo di esempio e senza alcuna intenzione di raccomandazione, vengono qui riportate alcune caratteristiche e relativi prezzi per una rete campione costituita da un sensore per temperatura ed umidità relativa e da uno per la concentrazione della CO_2 collegati via cavo ad un acquisitore per la memorizzazione dei dati, per la trasmissione da un sistema di comunicazione fra acquisitore e Personal Computer formato da una coppia di potenziatori in linea per portare il segnale seriale all'imboccatura della grotta, da un telefono GSM mobile per la trasmissione dalla grotta al locale ove è installato il calcolatore e dal software di comunicazione e gestione dati installato su quest'ultimo.
Bisogna tenere presente che gli stessi sensori che si usano in una rete semiautomatica possono essere ovviamente installati anche in una automatica purché le loro uscite siano compatibili con le caratteristiche del sistema di acquisizione. Questa possibilità permette così sia di utilizzare diversi tipi di sensori che possono risultare più convenienti sia per le loro caratteristiche tecniche che per il costo.
Nella messa in opera di una rete automatica è opportuno prevedere con molta cura le condizioni di assistenza da richiedere alla ditta fornitrice. Infatti, mentre un guasto in una rete semiautomatica può interessare un singolo sensore o, al più, il gruppo di sensori aventi un alimentatore in comune, nel caso di una rete automatica un eventuale guasto può interessare anche l'intero sistema di acquisizione e registrazione dei dati.
É evidente che, nel primo caso, un ritardo nella riparazione del guasto comporterebbe la mancata acquisizione da parte del sensore danneggiato (nel caso del guasto dell'alimentatore, la sua identificazione ed la successiva riparazione non richiede un intervento specializzato) mentre nel secondo caso la necessità di un intervento da parte della ditta fornitrice risulta essere molto più probabile.
Infatti l'esperienza finora acquisita nella gestione di reti di quest'ultimo tipo, ha mostrato che l'inconveniente più comune deriva proprio da ritardi dell'intervento e da successivi tempi lunghi per la rimessa in funzione del sistema, con la perdita, quindi, di lunghi periodi di registrazione.

Tavola 2 - Componenti di una rete automatica (Ditta LASTEM)

Descrizione	Prezzo (€)
SENSORI	
DME706: Termoigrometro per ambienti con uscite normalizzate Campo di misura –30 +70 °C; 0÷100 %UR DWA526: Alimentazione 24 Vca	400
Cavo da m 100 con connettore	220
DSO182: Sensore spettrofotometrico di concentrazione CO2 Uscita 4÷20 mA Alimentazione 24 Vca Campo di misura 0-÷30.000 ppm	1400
DWA526 : Cavo da m 100 con connettore	220
CENTRALINA DI ACQUISIZIONE DATI	
DGB105: Acquisitore-elaboratore a 10 ingressi BABUC-ABC Numero di canali d'ingresso: 8 analogici, 2 impulsivi, 60 digitali via cordless n° 2 attuatori per la gestione di allarmi Rata di acquisizione: programmabile da 1 secondo a 12 ore Base di elaborazione: programmabile da 1 minuto a 24 ore Ingresso seriale RS232 da ricevitore cordless Uscita: RS232 Visualizzatore su visore LCD 80 car. 4 righe a tastiera Convertitore A/D: 12 bit Alimentazione:24 Vcc Batteria interna ricaricabile da 2 Amp/h Esecuzione IP 65 Completo di: Cavo seriale da m 5	2040
DEB515: Supporto a parete per acquisitore	38
DYA070: Memocard RAM 256 Kb	39
DGM104:	200
DEA253 : ALIMENTATORE 220/24 Vca 150 W; esecuzione IP65	116
SISTEMI DI CONNESSIONE A PERSONAL COMPUTER	
POTENZIATORI DI LINEA Acquisitore/PC (per linea di lunghezza max 2 km) composti da:	
Potenziatori per ABC	336
Potenziatori per PC	336
Connettore	38
Cavo LAN 4x2xAWG24/I-S/FTP-CMX cat.5 schermato	1,6 al m
DEA712: Telefono cellulare GSM dati dual-band+Modem+antenna	600
DEB509: Cavo seriale ABC/GSM 9/9 pin	36
DYA089: Supporto antenna GSM su palo	52
DYA051 : Collare per fissaggio supporto antenna su palo	30
SOFTWARE GAP	
DSA411: Licenza per software di: Programmazione trasferimento dati e gestione archivi su PC in ambiente WINDOWS 95, 98, NT 4, composto dai moduli SETUP, COMUNICAZIONE, REMOTO, GRADI GIORNO, GESTIONE ARCHIVI, VISUALIZZAZIONE in EXCEL 5.0 o successivi e COMUNICAZIONE AUTOMATICA	710

Sempre a titolo di esempio, una rete automatica minima, consistente in una stazione interna con 5 sensori di temperatura ed umidità e tre sensori di CO_2 ehe possono essere situati in luoghi diversi, dotata di alimentatore e di potenziatore di linea e di un telefono GSM per la trasmissione a distanza al calcolatore posto in un locale all'esterno viene a costare circa 11000 €.
Naturalmente bisognerebbe aggiungere, per completezza, la stazione meteo ed il calcolatore, posti all'esterno.
Ma questa valutazione ha soltanto lo scopo di fornire una indicazione dell'ammontare indicativo dei costi di una installazione di questo tipo.
Bisogna, naturalmente, ricordare che non sono inclusi ulteriori costi aggiuntivi quali un sistema di alimentazione non interrompibile adeguatamente protetto dalle scariche atmosferiche ed un contratto di manutenzione ed assistenza.

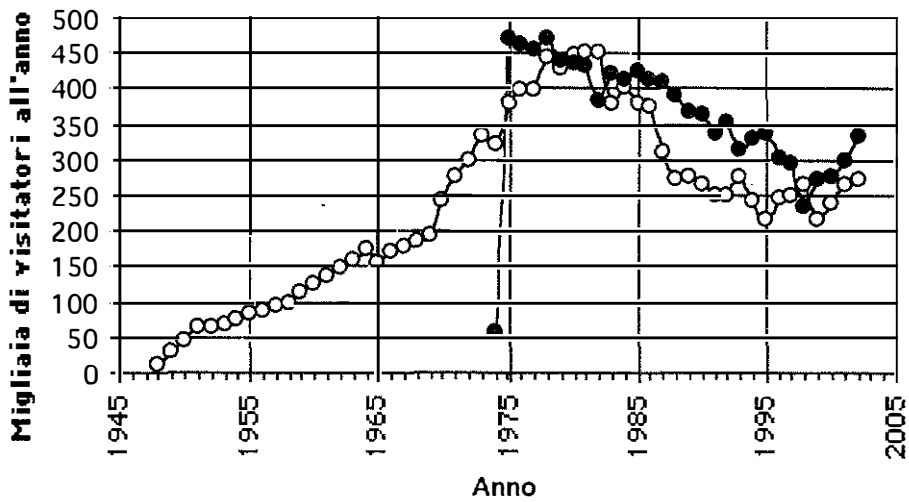
Comitato scientifico

Come si è riportato all'inizio, le reti di monitoraggio sono essenziali per l'acquisizione dei dati. Ma è parimenti essenziale che questi dati vengano elaborati e quindi utilizzati da persone competenti. Quindi, per assicurare la sorveglianza e la protezione dell'ambiente di grotta, è necessario prevedere la costituzione di un Comitato Scientifico fornendogli i mezzi per il suo funzionamento, per l'esecuzione di interventi che si rendessero necessari per la salvaguardia dell'ambiente nonché per lo svolgimento di ricerche suggerite dai risultati forniti dalla rete di monitoraggio.
Mentre l'impegno economico per il funzionamento del Comitato risulta modesto rispetto alle spese di impianto e gestione della rete, l'impegno per gli interventi e le ricerche possono variare entro limiti relativamente vasti, in funzione, ovviamente, della fragilità dell'ambiente interessato e della disponibilità del gestore della grotta.
In particolare, sia che il monitoraggio sia stato fatto prima dello sviluppo della grotta, o che sia successivo allo sfruttamento turistico della grotta (come succede più frequentemente), un compito fondamentale del Comitato Scientifico è quello di valutare la capacità ricettiva della grotta in questione in modo da assicurare che l'impatto complessivo della turisticizzazione non comporti variazioni irreversibili degli equilibri naturali.
Questo problema è già stato trattato ampiamente in altre sedi, per cui si rimanda alle relative pubblicazioni (Bertolani et al., 1991; Huppert et al., 1993, Cigna, 1997, Cigna, Cucchi & Forti, 2000).

LE GROTTE TURISTICHE E L'IMPATTO SOCIO-ECONOMICO

L'apertura al pubblico di una grotta che venga attrezzata per renderla visitabile dai turisti può comportare delle modificazioni molto rilevanti all'economia locale. Sotto questo punto di vista sono emblematici i casi delle due maggiori grotte turistiche italiane, le grotte di Castellana e quelle di Frasassi. In Fig. 2 è riportato il numero dei visitatori nel corso degli anni.
A questo proposito è interessante notare la differenza di comportamento per le due grotte.
I visitatori delle grotte di Castellana sono aumentati lentamente dopo l'apertura, con un incremento più rapido negli anni '70 fino ad una diminuzione negli anni'80, dovuta alla concomitanza degli effetti di una mediocre gestione dell'epoca, dalla "saturazione" dei visitatori e di altri fattori geopolitici.
Per le grotte di Frasassi, invece, la salita è stata rapidissima (il numero dei visitatori nei tre mesi del 1974 quando la grotta è stata aperta al pubblico, se normalizzato all'intero anno, sarebbe stato già di 220.000) e la flessione negli anni '80 è riconducibile soprattutto ai fattori geopolitici, oltre che al terremoto che ha interessato le Marche nel Settembre1997 e che ha provocato un vistoso calo nel 1998.

Fig. 2 – Andamento del numero dei visitatori nelle Grotte di Castellana (o) ed in quelle di Frasassi (•) secondo i dati forniti dai rispettivi enti gestori.



La sostanziale differenza tra le due grotte nella fase iniziale di crescita, è spiegata dalla loro differente localizzazione. Infatti, per quanto riguarda Castellana, situata ad un estremo dell'Italia, negli anni '50 e '60 il turismo in generale era ancora in via di sviluppo e l'accessibilità viaria era limitata alle normali strade statali o alla ferrovia, per cui lo sviluppo della nuova meta turistica era necessariamente lenta.

Per Frasassi, invece, la prossimità della riviera adriatica, la maggior mobilità del pubblico ed una efficiente rete stradale, hanno consentito uno sviluppo rapidissimo.

La risalita, che si osserva per entrambe le grotte negli anni 2000, è dovuta probabilmente sia ad un turismo maggiormente diretto a mete nazionali sia ad una più attenta gestione della pubblicità da parte degli enti gestori.

Per tutti e due i centri, Castellana e S.Vittore di Genga, le rispettive grotte hanno costituito un polo di attrazione che ha trasformato fondamentalmente le rispettive economie precedenti legate soprattutto all'agricoltura.

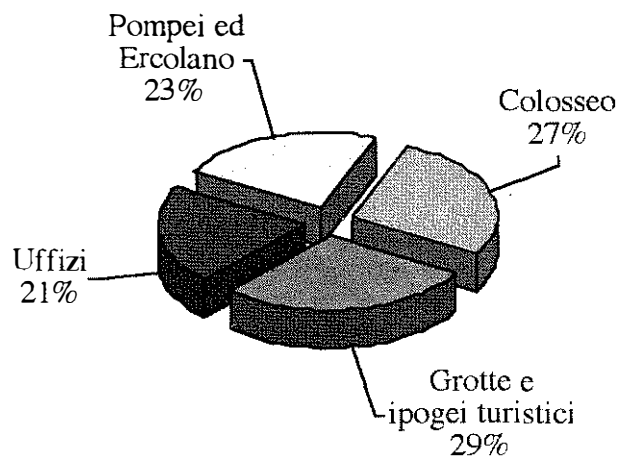
Proprio questo sviluppo eccezionale, aveva comportato un danno ingentissimo a Castellana quando nel 1994 la locale magistratura[1] aveva disposto la chiusura delle grotte per inosservanza delle norme di sicurezza per i visitatori.

Infatti, tutta l'economia della regione totalmente imperniata sul turismo della grotta, ne era rimasta sconvolta per alcuni anni finché, compiuti i necessari interventi, il provvedimento ha potuto essere revocato.

[1] A questo proposito vale la pena di ricordare che l'ordinanza iniziale del magistrato imponeva, tra le altre cose, che le stalattiti situate nei pressi del camminamento turistico venissero pitturate a strisce nere e gialle e che l'ambiente sotterraneo venisse illuminato con l'intensità richiesta per i luoghi di lavoro. Fortunatamente si riuscì a far ricondurre il provvedimento entro criteri compatibili con una corretta gestione dell'ambiente cavernicolo che, d'altra parte, non ha nulla in comune con un luogo di lavoro convenzionale.

Il caso di Castellana è veramente emblematico e mostra come sia essenziale una gestione attenta di una grotta turistica. Dopo la scomparsa di Franco Anelli nel 1977, la grotta era stata considerata dall'amministrazione comunale come una fonte perenne di reddito che non richiedeva alcuna forma di attenzione. La costruzione di un impianto di distribuzione dell'acqua potabile alle fattorie soprastanti la grotta senza la contemporanea costruzione della fognatura aveva portato all'incredibile quanto prevedibile inquinamento dell'ambiente sotterraneo.
Ma il segnale non veniva colto e, così, una decina di anni dopo, era stata la volta dell'inosservanza delle norme di sicurezza, sopra ricordata, a comportare un altro ostacolo al turismo. Soltanto negli ultimi anni una più attenta politica gestionale ha messo fine ad una situazione assurda che rischiava di compromettere irrimediabilmente un patrimonio insostituibile.
Per quanto riguarda l'Italia, è interessante notare il ruolo svolto dalle grotte turistiche confrontato con altri importanti richiami. Il turismo sotterraneo coinvolge circa 2,5 milioni di persone all'anno, delle quali i quattro quinti riguardano il solo turismo in grotta (Chiesi, 2002). Dal confronto con le altre ben note mete turistiche (Fig. 3) appare assolutamente evidente l'importanza economica della risorsa costituita dalle grotte turistiche.

Fig. 3- Distribuzione del flusso turistico in Italia nel 1998 (dati RAI 1999, riportati in: Chiesi, 2002).



Una valutazione a livello mondiale (Cigna & Burri, 2000) ha stimato in più di 150 milioni di persone all'anno il flusso dei visitatori delle circa 800 maggiori grotte turistiche del mondo. Nella Tavola 3 è riportata una stima indicativa del bilancio economico locale riferita al singolo visitatore.

Tavola 3 - Stima indicativa del bilancio economico per visitatore di grotta turistica (in $ USA).

Biglietto d'ingresso		5
Altre spese:	Souvenir e spuntini	1,5
	Pasti	5
	Trasporti	2
	Agenzie di viaggio	2
TOTALE		**15,5**

Applicando questa stima ai 150 milioni di visitatori, si ricava che la spesa diretta per la visita alle grotte turistiche ammonta a circa 2,3 miliardi di $ USA. Il personale coinvolto direttamente nella gestione complessiva (inclusi, cioè, i servizi) ammonta a diverse centinaia di persone. Tenendo conto, infine che, per ognuna di queste, ve ne sono altre centinaia che rappresentano l'indotto (Forti & Cigna, 1989) si calcola un numero complessivo di un centinaio di milioni di persone che ricevono il loro salario, direttamente o indirettamente, dalle grotte turistiche. In altre parole, si può assumere che, per ogni visitatore, vi sia circa una persona impegnata.
Nella realtà queste cifre sono sottostimate, in quanto sono stati valutati i soli visitatori delle grotte propriamente dette, mentre molte di queste sono situate all'interno di strutture ben più ampie, come i parchi, per cui il numero delle persone coinvolte nel turismo speleologico in senso lato è ancora più grande.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il fatto che una grotta turistica comporti un ritorno economico ha indotto molte persone, più o meno inconsciamente, a considerare l'impresa come un'attività sconveniente. A parte il fatto che dei vantaggi economici non sono sempre e comunque da considerarsi come sconvenienti e quindi automaticamente in contrasto con i principi etici, non è stato dato il giusto peso a diverse conseguenze positive che nulla hanno a che fare con la borsa del gestore.
Infatti è stato messo in evidenza (Forti, 1996) che una grotta, se è ricca di concrezioni o di altre attrattive ed è facilmente accessibile, viene adeguatamente protetta dai vandali proprio rendendola turistica. Inoltre è stato possibile effettuare molti studi e ricerche grazie al contributo economico dei gestori di grotte turistiche.
Pertanto non si deve, in generale, osteggiare la turisticizzazione di una grotta quanto, piuttosto, si deve avere cura che questa turisticizzazione avvenga nel pieno rispetto delle raccomandazioni citate all'inizio di questa stessa nota.
Inoltre, è opportuno ottimizzare il ricavo della gestione affinché vi siano fondi sufficienti ad assicurare la messa in opera di tutti gli accorgimenti per la protezione dell'ambiente ipogeo e a finanziare studi e ricerche. A questo proposito bisogna tenere presente due fatti che possono condizionare anche pesantemente una gestione e, precisamente, una crescita al di sopra di un certo livello e l'invecchiamento.
Infatti, quando una grotta turistica raggiunge un'importanza tale da superare l'ambito locale, la sua gestione necessita di un approccio molto diverso da quello iniziale, che poteva essere affidato a poche persone in grado di agire col semplice buonsenso. Purtroppo, mentre risulta del tutto ovvio che la gestione di una grossa industria sia assolutamente differente da quella di un'impresa familiare, le implicazioni che derivano dal passaggio di qualche decina di migliaia di visitatori all'anno ad alcune centinaia di migliaia non vengono avvertite come un cambiamento di scala ma come un semplice, e provvidenziale, aumento.
L'altro aspetto è quello dell'invecchiamento del prodotto offerto ai visitatori. Si tratta di un problema noto da tempo e che costituisce la ragione prima dei miglioramenti e delle innovazioni che si attuano, per esempio, nei musei, nelle gallerie d'arte ed in tante altre attrattive turistiche. Naturalmente, mentre è relativamente semplice attuare interventi di questo tipo nella maggior parte dei casi, quando si ha a che fare con una grotta le sue caratteristiche intrinseche non consentono una adeguata elasticità.
Si tratta, allora, del problema della rivitalizzazione di una grotta turistica. Dal momento che, in generale, non è evidentemente possibile operare in modo significativo sull'ambiente della grotta, occorre intervenire su altri aspetti come l'istituzione di itinerari naturalistici, il collegamento pubblicitario con altre grotte turistiche, spettacoli "son et lumière", iniziative didattiche, miglioramento del livello culturale delle guide speleologiche, ecc. (Burri & Cigna, 1991).
In assenza di operazioni di questo tipo, sarebbe molto difficile contrastare in modo efficace il declino, lento ma inesorabile dovuto alla "saturazione" del gusto dei visitatori.

RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento alle Signore Antonella Montanaro della Direzione delle Grotte di Castellana e Renata Marinelli del Consorzio Frasassi che hanno gentilmente fornito i dati relativi alle presenze dei visitatori.

BIBLIOGRAFIA

- BERTOLANI M., CIGNA A.A., MACCIÒ S.,MORBIDELLI L., SIGHINOLFI G.P., 1991 - *The karst system "Grotta Grande del Vento - Grotta del Fiume" and the conservation of its environment.* In: Sauro U., Bondesan A. & Meneghel M, (Eds.) - Proc. Int. Conf. on Environmental Karst Areas (Italy, 15-27 Sept.,1991). Quad. Dip. Geografia, Univ. Padova, 13, 1991: 289/298; anche come: Rapporto ENEA RT/AMB/92/19.
- BURRI E., CIGNA A.A., 1991 - *Some considerations on the potential for revitalization of show caves.* In: Sauro U., Bondesan A. & Meneghel M, (Eds.) - Proc. Int. Conf. on Environmental Karst Areas (Italy, 15-27 Sept.,1991). Quad. Dip. Geografia, Univ. Padova, 13, 1991: 299/303. Anche come: Rapporto ENEA RT/AMB/92/18.
- CHIESI M., 2002 – *La ricerca di requisiti di qualità nella fruizione e nell'adattamento turistico di una grotta (Primo contributo).* Le Grotte d'Italia, s.V, 3: 5-13.
- CIGNA A.A., 1997 - *Meteorologia ipogea, grotte turistiche e problemi di impatto ambientale.* Atti XVII Congr. Naz. Speleologia, Castelnuovo Garfagnana, Settembre 1994, 1: 205-207.
- CIGNA A.A. (Ed.), 2002 - *Monitoring of caves - Conclusions and recommendations.* Acta Carsologica, Slovenska Akademija Znanosti in Umetnosti, Ljubljana, 31 (1): 175-177.
- CIGNA A.A. & Burri E., 2000 - *Development, management and economy of show caves.* Int. J. Speleol., 29 B (1/4): 1-27.
- CIGNA A.A., CUCCHI F. & FORTI P., 2000 - *Engineering problems in developing and managing show caves.* J. Nepal Geological Soc., 22: 85-94.
- FORTI P., 1996 – *Turisticizzazione e tutela dell'ambiente ipogeo: due aspetti non contrastanti.* In: Cigna A.A. (Ed.), BOSSEA MCMXVC, Proc. Int. Symp. Show Caves and Environmental Monitoring, Cuneo, Italy: 49-56
- FORTI P., 2002 - *Il monitoraggio ambientale dei parametri di base in una grotta turistica.* Le Grotte d'Italia, s.V, 3: 33-41.
- FORTI P. & CIGNA A.A., 1989 - *Cave tourism in Italy: an overview. Cave Tourism* . Proc. Int. Symp. 17Oth Anniv. Postojnska Jama, Postojna, Nov. 10-12, 1988. Centre Scient. Res. SAZU & Postojnska Jama Tourist and Hotel Organiz.: 46/53.
- HUPPERT G., BURRI E., FORTI P. & CIGNA A., 1993 - *Effect of Tourism Development on Caves and Karst.* in: P.W. Williams (Ed.) - Karst Terrains, Environmental Changes and Human Impact. Catena Supplement 25: 251/268

L'ALTOPIANO DELLA GARDETTA E LE CENTRALINE DEL VALLONE DEL PREIT (VALLE MAIRA - CUNEO)

Enrico Collo

Geologo, Operatore Naturalistico Nazionale CAI

RIASSUNTO

L'altopiano della Gardetta, nell'alta Valle Maira, è stato recentemente inserito fra i geositi dell'UNESCO e dei Patrimoni Geologici Italiani per l'eccezionale stato di conservazione delle sue antichissime successioni rocciose. L'autore, dopo un inquadramento geografico dell'area in esame, ne descrive le principali evidenze geologico-stratigrafiche e le più importanti morfologie carsiche di superficie nelle rocce carbonatiche e nelle evaporiti, soffermandosi brevemente su alcuni aspetti dell'idrogeologia dell'area e sulle sorgenti permanenti ivi esistenti. Viene infine presa in esame l'utilizzazione delle acque erogate dalle predette risorgenze per l'alimentazione di una successione di piccole centrali idroelettriche, localizzate presso il Colle del Preit e nell'omonimo vallone, la cui produzione è utilizzata anche per le necessità energetiche di alcuni alpeggi presenti in zona.

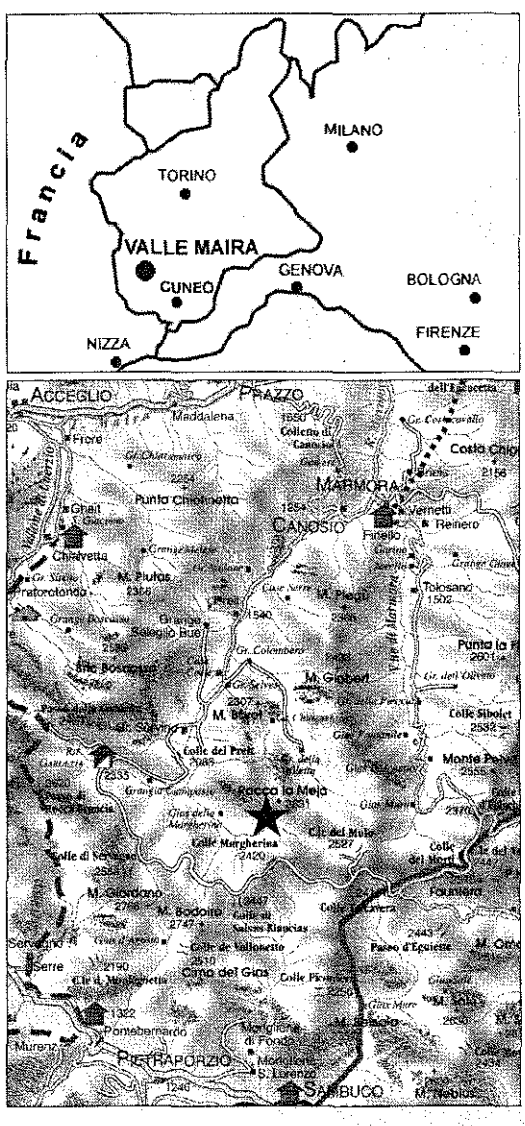


Fig. 1 - Ubicazione dell'area allo studio

COME ARRIVARE

L'altopiano della Gardetta (Fig. 1, 2) è situato in Valle Maira nel Comune di Canosio, in un'area crocevia di tre vallate cuneesi: Maira, Grana e Stura.

Da Cuneo, si raggiunge Dronero; si risale dunque la Valle Maira fino a Ponte Marmora, da cui si svolta a sinistra nel Vallone di Marmora, proseguendo verso Canosio e risalendo l'intero Vallone del Preit. Raggiunto il Colle del Preit, si continua a salire nelle praterie fino al Pianoro della Gardetta, ove è situato l'omonimo rifugio CAI (2335 m).

È possibile raggiungere il rifugio anche attraverso i colli Valcavera e Margherina, con arrivo da Castelmagno-Vallone dei Morti (Valle Grana) oppure da Demonte-Vallone dell'Arma (Valle Stura).

Per gli amanti del trekking, esistono facili escursioni con partenza dal Vallone di Unerzio attraverso il Passo della Gardetta (Valle Maira) e da Pietraporzio attraverso il Passo di Rocca Brancia (Valle Stura).

Rotabili

La strada dalla Valle Maira è asfaltata fino al Colle del Preit (2083m); da qui continua su strada sterrata fino in prossimità del rifugio. Dalle Valli Grana e Stura, la strada è asfaltata fino al Colle Valcavera (2416m), dopodichè prosegue su sterrato in quota fino al rifugio; percorso estremamente panoramico.

Cartografia essenziale

Carta I.G.C. 1:50.000 *"Valli Maira, Grana, Stura"*.

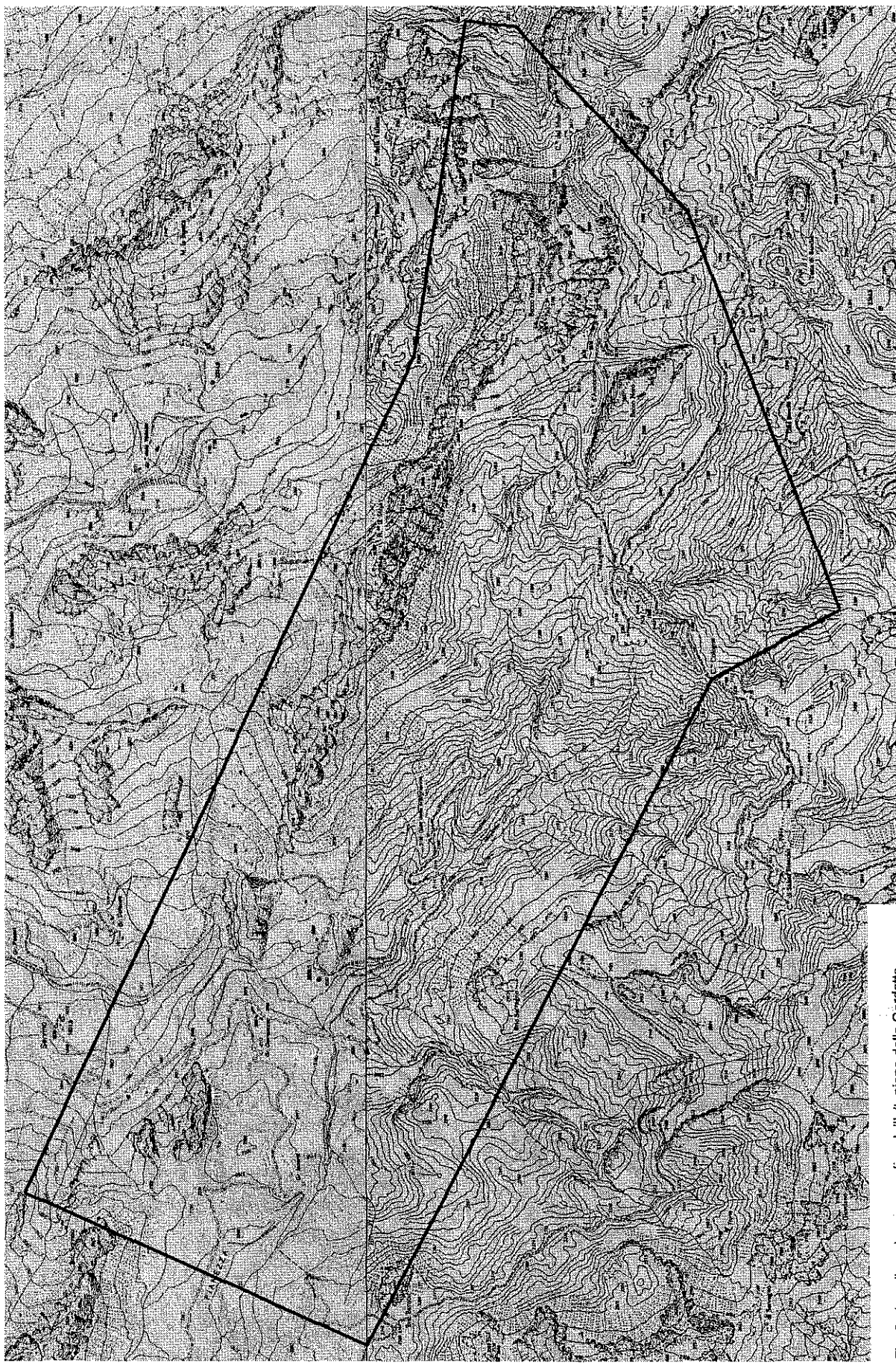


Fig. 2 - Localizzazione geografica dell'altopiano della Gardetta.

EVIDENZE GEOLOGICO - STRATIGRAFICHE

Nell'anno 2001, l'intero pianoro della Gardetta è stato censito fra i geositi dell'UNESCO e dei Patrimoni Geologici Italiani. Ciò è dovuto allo straordinario stato di conservazione di successioni rocciose comprese tra 300 e 200 milioni di anni orsono, e testimonianti l'evoluzione ambientale di un antico territorio precedente alla formazione della catena alpina (Foto 1).
Tipi litologici diversi evidenziano il graduale passaggio da un ambiente continentale vulcanico e desertico, fino alla impostazione di una piattaforma marina carbonatica, che successivamente si evolverà in un bacino oceanico profondo.
Altro pregio geologico, evidenziabile negli immensi panorami sulle vette circostanti, è il riconoscimento della strutturazione in distinte unità di accavallamento tettonico. Queste unità, a partire dallo scontro fra due continenti, iniziato 65 milioni di anni orsono, hanno prodotto il sollevamento della catena alpina così come oggi la osserviamo.
Dal punto di vista stratigrafico, la successione dettagliata degli affioramenti rocciosi, è così riassumibile:

- insieme vulcanico continentale del Carbonifero e Permiano (andesiti e porfiroidi);
- successione quarzitica di fiume (Verrucano e conglomerati quarzosi) e di spiaggia (quarziti arenacee) del Permiano superiore e Triassico inferiore;
- formazione evaporitica delle Carniole Inferiori (gessi e calcari a cellette), riferibile a lagune salate del Triassico inferiore;
- successioni di piattaforma carbonatica di mare poco profondo del Triassico medio (calcari e dolomie dell'Anisico-Ladinico);
- formazione evaporitica delle Carniole Superiori (gessi e calcari a cellette), riferibile a lagune salate del Triassico superiore.
- lacuna di sedimentazione per emersione della piattaforma (iatus) del Giurassico inferiore (Lias).
- nuovo sprofondamento della piattaforma con calcareniti nere del Giurassico medio (Dogger).

Tale successione evidenzia dunque una tipica sequenza di trasgressione marina su terre emerse continentali (vulcani continentali > fiumi > delta e spiagge > lagune evaporitiche > piattaforma carbonatica marina).
Rocca La Meja (Foto 1, 2, 4), in particolare, è una cresta allungata in direzione est-ovest, con aspetto variabile a seconda del punto di osservazione: da est e da ovest spicca la stratificazione verticale delle rocce di cui è composta, alternanze di calcari e dolomie formatesi sull'antica costa marina.
Nel profilo si vede uno strato a maggiore erodibilità, che scava dei canalini lungo la dorsale della montagna (come la parte terminale del sentiero che conduce in vetta): si tratta di un episodio vulcanico esplosivo, le cui ceneri si sono depositate all'interno di questo mare poco profondo.
Ciò che colpisce lo sguardo è il colore marroncino con patine verdastre e violacce delle rocce che costituiscono questo canalino, a differenza degli altri strati carbonatici nei quali è incassato, che hanno colori che vanno dal bianco al grigio scuro.
Dopo la strutturazione e l'accavallamento della catena alpina, che hanno raddrizzato gli strati rocciosi di questo antico mare, gli agenti meteorici (acqua, neve, ghiaccio, sbalzi termici) hanno potuto erodere con maggiore facilità questa roccia vulcanica a matrice fine, decisamente più scagliosa rispetto agli strati circostanti, molto più compatti.
Il risultato finale è dunque la presenza di un canalino, che è inoltre di fondamentale importanza temporale, in quanto corrisponde al punto di passaggio fra due epoche geologiche distinte, l'Anisico e il Ladinico, comprese nel periodo Triassico.
Giunti al Ladinico superiore, si assiste ad un evento tipico del Dominio Brianzonese: la piattaforma carbonatica, invece di sprofondare nelle profondità marine come negli altri domini alpini, riemerge dal mare. Questo episodio viene registrato dalle Carniole superiori, che rappresentano un lieve sollevamento dei fondali marini, con la nuova formazione di lagune salate evaporitiche. La sedimentazione si interromperà per tutto il Giurassico inferiore, per poi riprendere soltanto nel Dogger con sedimenti di piattaforma carbonatica in rapido approfondimento. Tali evidenze si possono riscontrare nelle rocce seguendo il sentiero che conduce sul Monte Cassorso (Foto 3).

CENNI GEOMORFOLOGICI

Le formazioni del Quaternario sono rappresentate soprattutto da depositi legati a processi di degradazione dei versanti, a fenomeni glaciali e, in parte minore, a depositi alluvionali e lacustri. Data la quota elevata, manca completamente una copertura boschiva, rendendo ottimali le condizioni di rilevamento.

I depositi prevalenti sono costituiti dal detrito di falda, che forma grandi accumuli ai piedi delle pareti rocciose (Foto 4). Coni detritici e detriti di falda con cordoni nivomorenici al fronte raggiungono dimensioni imponenti specialmente ai piedi delle pareti carbonatiche di Rocca La Meya, del Monte Cassorso, del Bric Servino, del Bric Bernoir e del Bric Servagno. Coni detritici sono ben sviluppati anche sotto le pareti quarzitiche del Becco Grande, mentre le andesiti del Becco Nero danno origine a detriti di falda ben sviluppati.

Il detrito presenta una pezzatura ed un colore variabili a seconda delle litologie: in piccoli ciottoli e bianco in quelle quarzitiche, media e scuro nelle rocce vulcaniche ed anche in grossi blocchi e prevalentemente grigio in quelle carbonatiche.

Gli accumuli carniolitici con la degradazione tendono invece ad assumere un aspetto terroso di colore arancione (calcari a cellette) o bianco (gessi).

Per quanto riguarda i depositi glaciali, essi sono sviluppati soprattutto lungo i versanti meridionali di tutto il Pianoro della Gardetta, con localizzazione dei circhi glaciali lungo le creste che si snodano fra Rocca Brancia, Punta Bernoir, Monte Servagno, Monte Giordano e Monte Bodoira.

Le coperture moreniche sottostanti mostrano un flusso da Sud verso Nord, con presenza di piccoli cordoni morenici sia frontali che laterali, con due laghi proglaciali alla base del Bric Bernoir. Le morene sono ricche sia di blocchi, sia di matrice argillosa, permettendo lo sviluppo di una coltre erbosa e un tempo anche di grossi larici, di cui oggi si ritrovano soltanto i ceppi tagliati nella morena del Buscas. Ciò indica la presenza di un clima caldo in passato, probabilmente in epoca medioevale, quando in valle si riuscivano a coltivare anche l'ulivo e la vite.

I depositi eluviali sono molto estesi su tutti i terreni silicei della Gardetta, mentre i depositi alluvionali interessano quasi esclusivamente le zone pianeggianti attraversate dai ruscelli del Rio Pianezza e del Rio Margherina, individuabili alla Pianezza, sotto il Colle del Preit e alla Margherina (Foto 10).

MORFOLOGIE CARSICHE

Il carsismo agisce sulle rocce carbonatiche della zona solo in superficie, producendo solchi carreggiati e fessure ridotte, le maggiori delle quali si trovano sulla cresta che separa il Colletto della Meya dal Becco Grande. I maggiori fenomeni di fessurazione verticale si incontrano sulla dorsale che dal Colle del Mulo salgono alla Cima di Test (Foto 5), per poi attraversare il Vallone dei Morti e proseguire verso Punta Parvo. Dal Vallone dei Morti, guardando la Cima di Test (Foto 6), si nota come la montagna disegni un'anticlinale nei depositi di piattaforma carbonatica del Triassico medio (calcari e dolomie dell'Anisico-Ladinico); la struttura è caratterizzata da due grosse spaccature a livello della cerniera, evidenziabile morfologicamente nel profilo della vetta e nella presenza della stessa gola.

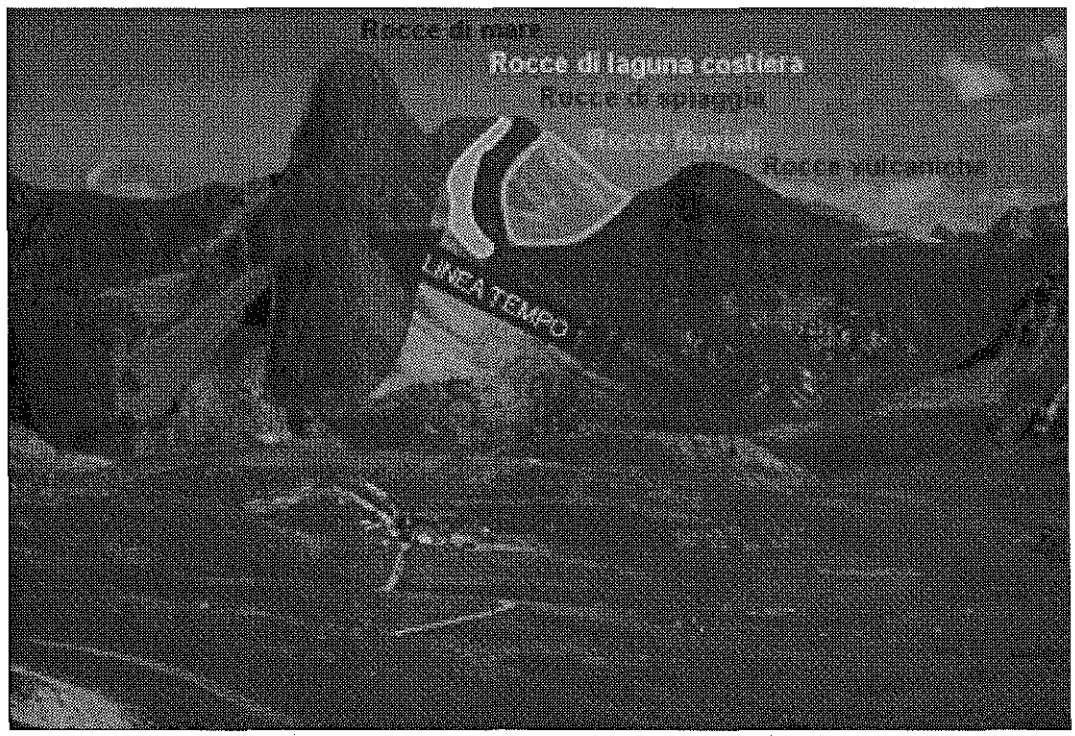
Alla sommità della cima di Test, si trovano un gran numero di fessurazioni verticali anche di grandi dimensioni, alcune profonde anche più di 100 metri, la cui origine è stata prima tettonica, per collassamento gravitativo dell'anticlinale, e poi ha subito una evoluzione carsica i cui reticoli sotterranei non sono ancora stati analizzati. Effetti decisamente più evidenti di carsismo superficiale si sviluppano negli accumuli evaporitici dei gessi e calcari a cellette, entro i quali si sono generati una gran quantità di calanchi e grandi doline (Foto 7). Le forme carsiche evaporitiche più spettacolari si incontrano ai Colli di Valcavera, del Mulo, della Margherina, di Salsas Blancias, e al Passo della Gardetta.

Le sorgenti permanenti sono localizzate in aree di risorgenza carsica o di contatti tettonici fra litologie diverse: sotto il Passo della Gardetta, al contatto tettonico fra le rocce carbonatiche e quelle silicee; alla risorgenza dei depositi morenici che scendono dal Colle di Servagno, nel punto di accavallamento tettonico dei terreni brianzonesi sopra quelli subbrianzonesi; ai piedi degli accumuli evaporitici nel pianoro della Margherina.

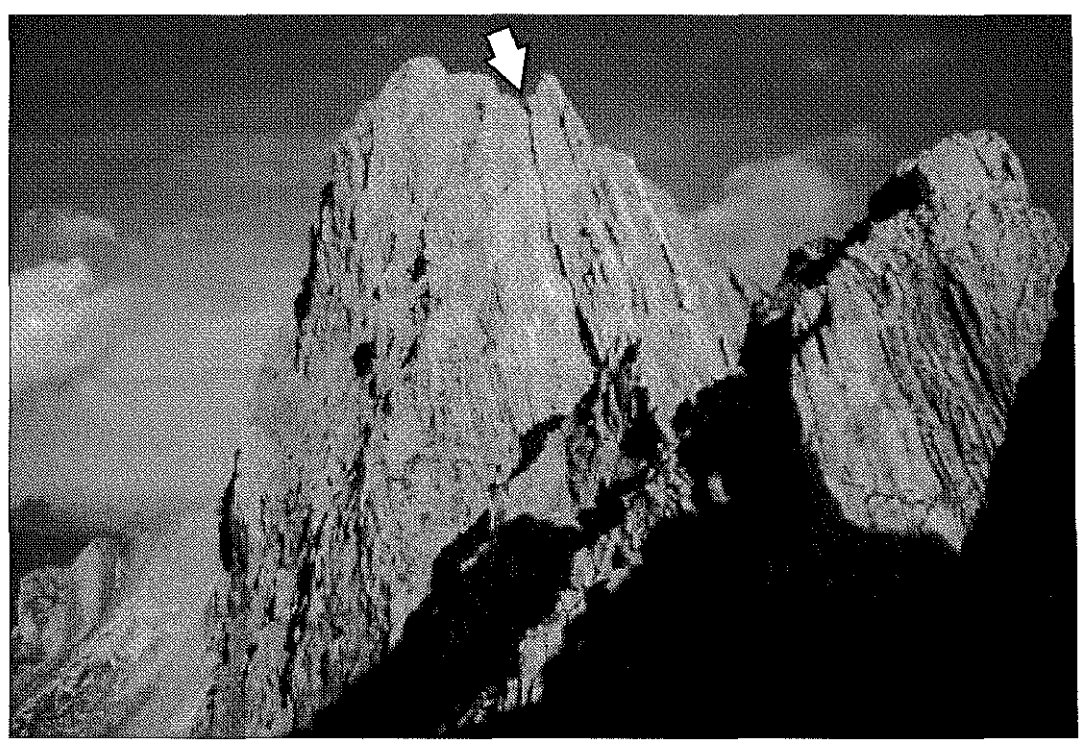
Sono infine presenti depositi lacustri e piccoli laghetti dovuti in buona parte al riempimento di doline, oppure con origine di escavazione glaciale al fronte di una morena. Essi sono caratterizzati dal non avere immissari, bensì essere alimentati dagli accumunli nivali dell'inverno, e presentano la tendenza a seccarsi con l'estate o a sviluppare un ambiente anossico, con colore rossastro dell'acqua. Col tempo vengono progressivamente riempiti dal detrito fine e si trasformano in torbiere, le cui estensioni maggiori si trovano nella conca settentrionale della Regione Pianezza e sulle pendici occidentali del Becco Nero.
Unico lago permanente con un emissario ed alimentazione da una sorgente sotterranea è il Lago della Meya, che si imposta al contatto fra gli scisti cineritici dell'insieme vulcanico e i conglomerati quarzosi della succesione fluviale.
Le sorgenti di alimentazione delle centraline elettriche del Vallone del Preit, oggetto della visita, hanno la caratteristica di raggiungere la superficie alla base dei grandi complessi evaporitici della Margherina, nonché dal contatto tettonico/glaciale/carsico del Colle Servagno, che ha visto susseguirsi l'accavallamento del dominio brianzonese su quello subbrianzonese (Unità di Rocca Peroni sull'Unità del Bodoira-Monte Giordano), la formazione di un circo glaciale con un rock-glacier nella fase di esaurimento del ghiacciaio e l'impostazione di un reticolo idrico su litologie carsiche (Foto 8).

LE CENTRALINE IDROELETTRICHE DEL VALLONE DEL PREIT

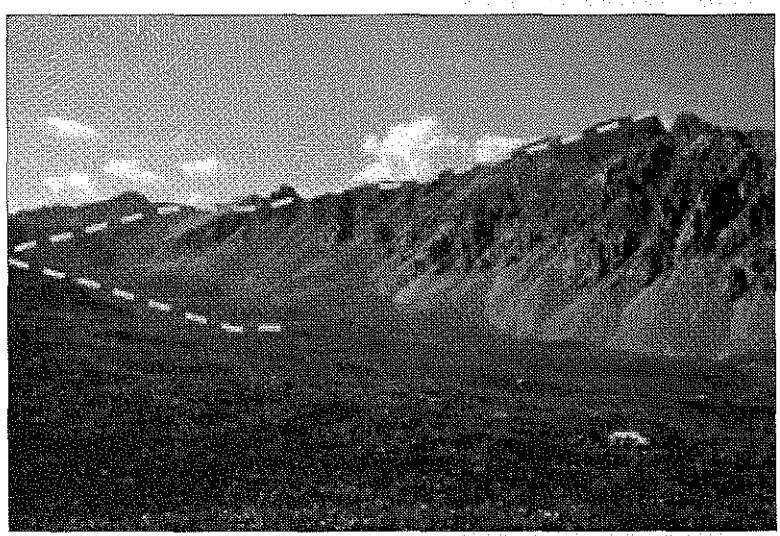
Costeggiando la parte meridionale dell'altopiano della Gardetta, sotto il Colle Servagno si incontra la risorgenza d'acqua in prossimità del contatto tettonico fra i domini brianzonese e subbrianzonese, citata nel paragrafo precedente. Tale risorgenza va ad alimentare una piccola centralina, la cui produzione va a rifornire di energia elettrica i tre margari che nel periodo estivo portano le mandrie al pascolo. La presa d'acqua si trova ai piedi del Bric Servagno, mentre la centralina si incontra oltre il Colle del Preit in prossimità del ponte che conduce al Gias della Margherina, dove si incontrano le risorgenze alla base dei complessi evaporiti (Foto 10).
Al Colle del Preit è stata ultimata la costruzione di un tunnel lungo più di 400m e con un diametro di 2 m., che al termine dei lavori verrà completamente riempito di acqua, fungendo da bacino di accumulo per una centralina che si trova poco sopra l'abitato del Preit, e creando un lago artificiale nel pianoro alluvionale a monte del colle (Foto 11). Le opere di presa corrono completamente in tubazioni sotterranee, in buona parte sotto il manto stradale, fin quasi all'abitato di Preit, alla confluenza col ruscello che scende dalla zona della Valletta (vallone del Lago Nero). Questa centralina è denominata "Alto Preit" (salto 450 m).
Nella piccola piazzetta del Preit, si incontra un'altra presa che incanala l'acqua verso la centralina di Marmora-Canosio, al cui interno arrivano le captazioni dei ruscelli sia del Preit (Turbina Pelton, salto 330 m) e sia di Marmora (Turbina Francis, salto 142 m).
Da notare, in questo impianto di Canosio, l'ulteriore recupero idroelettrico delle acque di scarico, che vanno ad alimentare una piccola centralina (Turbina Cross Flow, salto 24 m). Scendendo ancora lungo il Vallone, un'ultima presa convoglia le acque del torrente verso la centrale idroelettrica di Ponte Marmora, che fa parte delle quattro grandi centrali della Valle Maira (Acceglio, Ponte Marmora, San Damiano, Dronero) (Foto 12). Questi impianti vedono il loro bacino di accumulo principale al Lago di Saretto, nel comune di Acceglio.



▲ Foto 1
Successione stratigrafica della dorsale dal Becco Nero a Rocca la Meja.

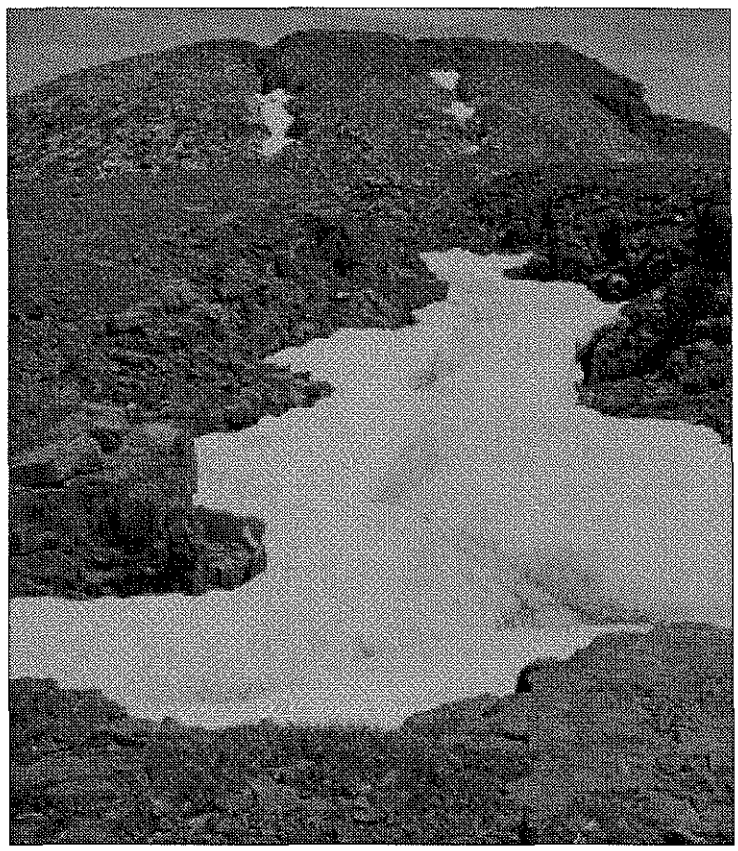


▲ Foto 2
Le stratificazioni verticali di Rocca la meja, con il canalino centrale.

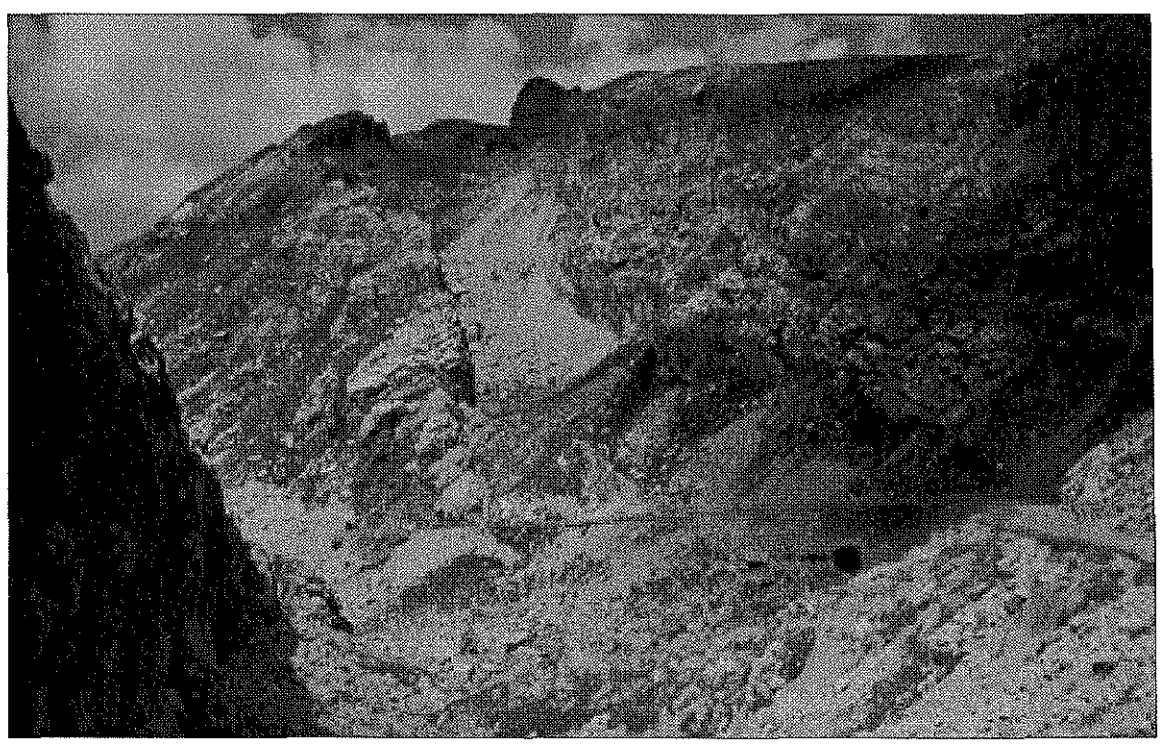


◀ Foto 3
Linea di cresta del Monte Cassorso, con sentiero.

▲ Foto 4
L'altopiano della Gardetta, visto dalla vetta del Monte Oserot.



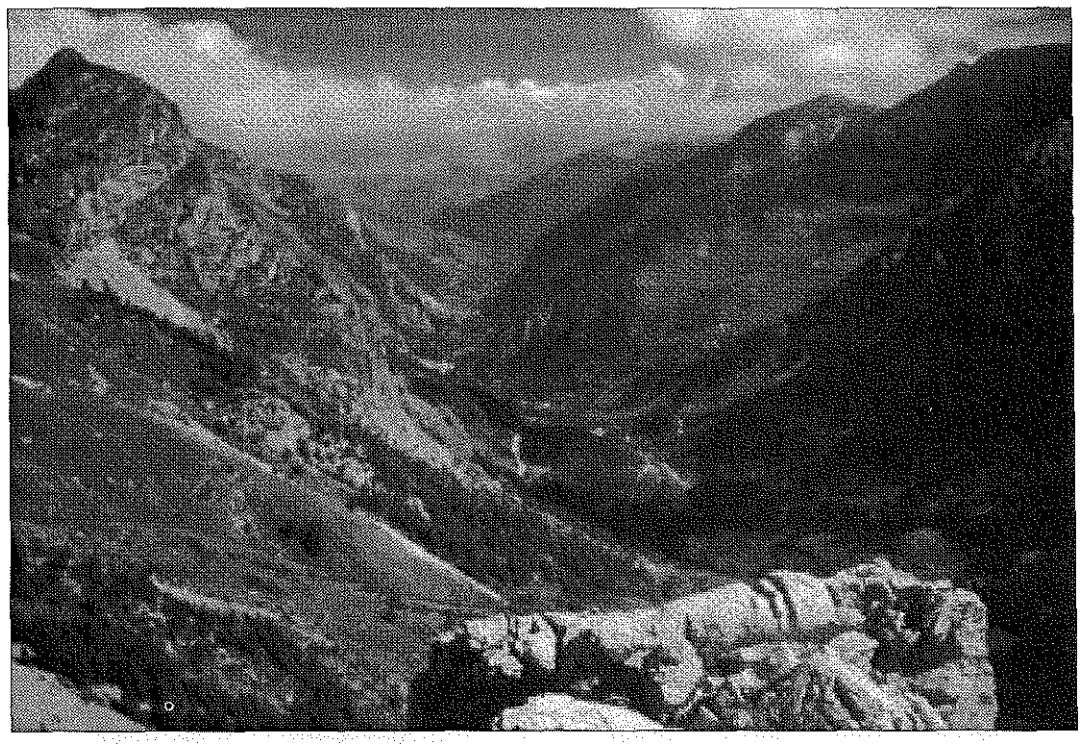
◀ Foto 5
Fratturazioni tettonico-carsiche sulla dorsale della Cima di Test.



▲ Foto 6
Frattura dell'anticlinale a livello della cerniera nel Vallone dei Morti; prosecuzione in direzione sud-est delle fratture della foto 12.

▲ Foto 7
Doline impostate sui gessi al Colle diValcavera.

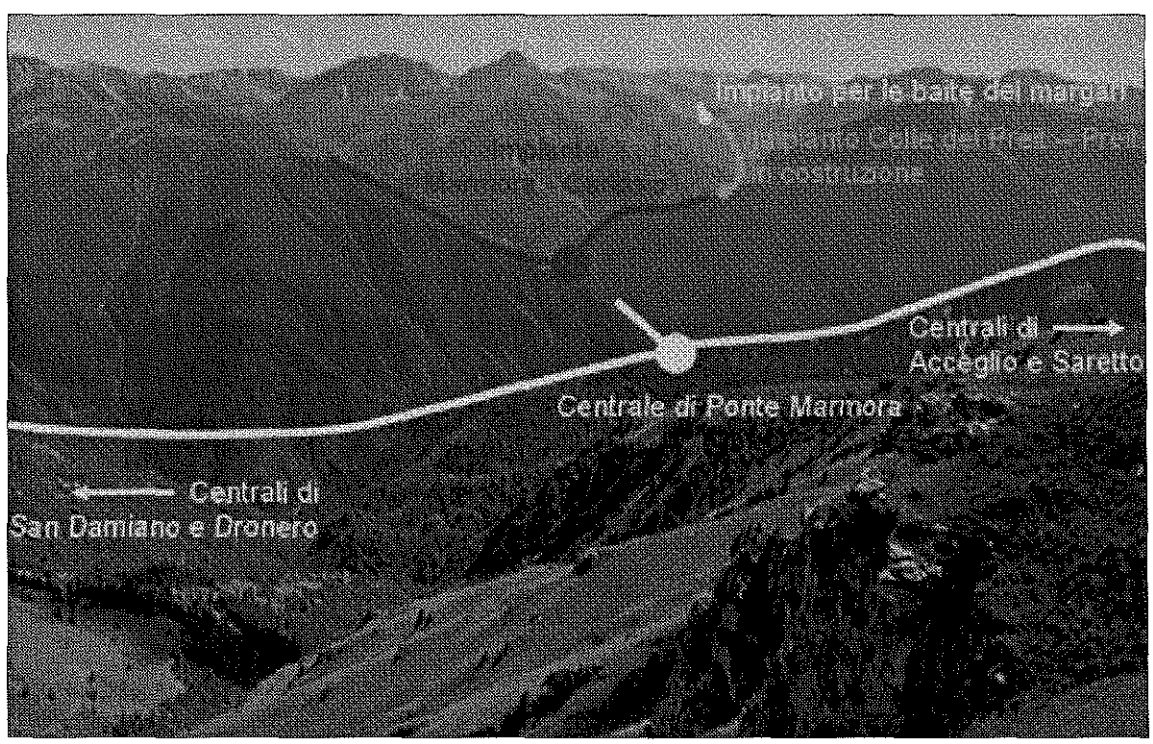
▲ Foto 8
Accavallamento tettonico del Brianzonese sul Subrianzonese al Colle Servagno; le frecce indicano la sorgente.



▲ Foto 9
Il Vallone del Preit.

▲ Foto 10
Il complesso evaporitico della Margherina, con risorgenze e depositi alluvionali ai suoi piedi.

▲ Foto 11
Lavori di costruzione della presa al Colle del Preit.



▲ Foto 12
Prospetto degli impianti idroelettrici del Vallone di Marmora e del Preit, fino all'asse principale della Valle Maira, a Ponte Marmora.

LE OPERE IDRAULICHE DI SUPERFICIE E IL SISTEMA CARSICO IPOGEO DELLA GROTTA DI ZEMEROSA (SONNINO - LAZIO)

Alberta Felici, Giulio Cappa, Emanuele Cappa
Shaka Zulu Club Subiaco, Società Speleologica Italiana

RIASSUNTO

Nella vallata sottostante l'abitato di Sonnino (Monti Ausoni - prov. Latina) è noto da tempo immemorabile un grande inghiottitoio (il Catàuso) nel quale si versano i due torrenti che la percorrono sui due lati; risalendola, dopo qualche chilometro biforca. Fino a quel punto, il tratto delimitato dai due torrenti è pianeggiante e fittamente coltivato ad orti e frutteti; stante la cronica penuria d'acqua e i violenti temporali, i torrenti sono stati accuratamente delimitati da antiche murature a secco e nel mezzo si trovano piccoli fossi, pure irregimentati, nonché molte cisterne, pozzi ed altre opere minori. Apparentemente non ci si trova in un ambiente carsico, però qualche anno fa su segnalazione dei residenti si è trovato un inghiottitoio nel quale versano tre solchi, piccoli fossi regimati, poi dimenticati da quasi tutti: l'esplorazione ha rivelato un sistema complesso di gallerie e pozzi, con diramazioni che debbono essere ancora percorse data la difficoltà (ristrettezza) di molte di esse. Oltre a rilevare in scala 1:200 le cavità interne, si è proceduto a topografare alla stessa scala (!) tutta l'area soprastante, scoprendo molte altre forme carsiche minori ed interessanti correlazioni tra superficie e sottosuolo; sono anche stati identificati i possibili tracciati di alimentazione di alcuni rami della cavità, provenienti da microcavità superficiali o perdite di uno dei due torrenti principali. La destinazione finale delle acque interne è invece ancora da chiarire, ma l'orientazione prevalente della grotta sembra indicare una sua sostanziale indipendenza dagli altri fenomeni carsici della zona (Voragine Catàuso, risorgenza Bagnoli, ecc.).

ABSTRACT

In the valley below the town Sonnino (Ausoni Mountains - prov. Latina) an important sinkhole (name: il Catàuso) is well known from time immemorial; two streams that run along the valley, which bifurcate upstream, flow into it. The land between these streams is nearly flat: it is filled by gardens and orchards; in order to withstand violent storms the streams and even the slightest ditches are carefully surrounded by dry-stone masonry; many cisterns, wells and other minor works are scattered in the fields. The environment does not appear of karstic nature, yet some years ago the residents informed us of the presence of a second sinkhole into which three small streams flow; its explorations revealed a wide network of conduits and shafts: some very narrow branches still wait to be pushed. The cave has been surveyed in scale 1:200 and the same scale has been used for a survey of the surface above: several minor karstic features have been located, among them small leakages and the possible origin of the phreatic inception horizon. The final destination of the deep water flow is on the contrary still unknown, but very likely it is quite independent from the main karstic system that starts from the Catàuso sinkhole.

PREMESSA

Gli studi sul carsismo della zona risalgono alla metà del XX secolo (SEGRE, 1948) ma, dopo alcune ulteriori visite alla principale voragine, il Catàuso, non furono proseguiti né estesi al territorio circostante. Solo negli anni '90 due speleologi romani (Ezio Carallo e Luciano Nizi), su segnalazione dei locali, scoprirono l'imbocco di un altro inghiottitoio, molto nascosto, e qualche tempo dopo vi condussero gli scriventi, avendo incontrato difficoltà nell'avanzamento, in fondo al pozzo, nello stretto

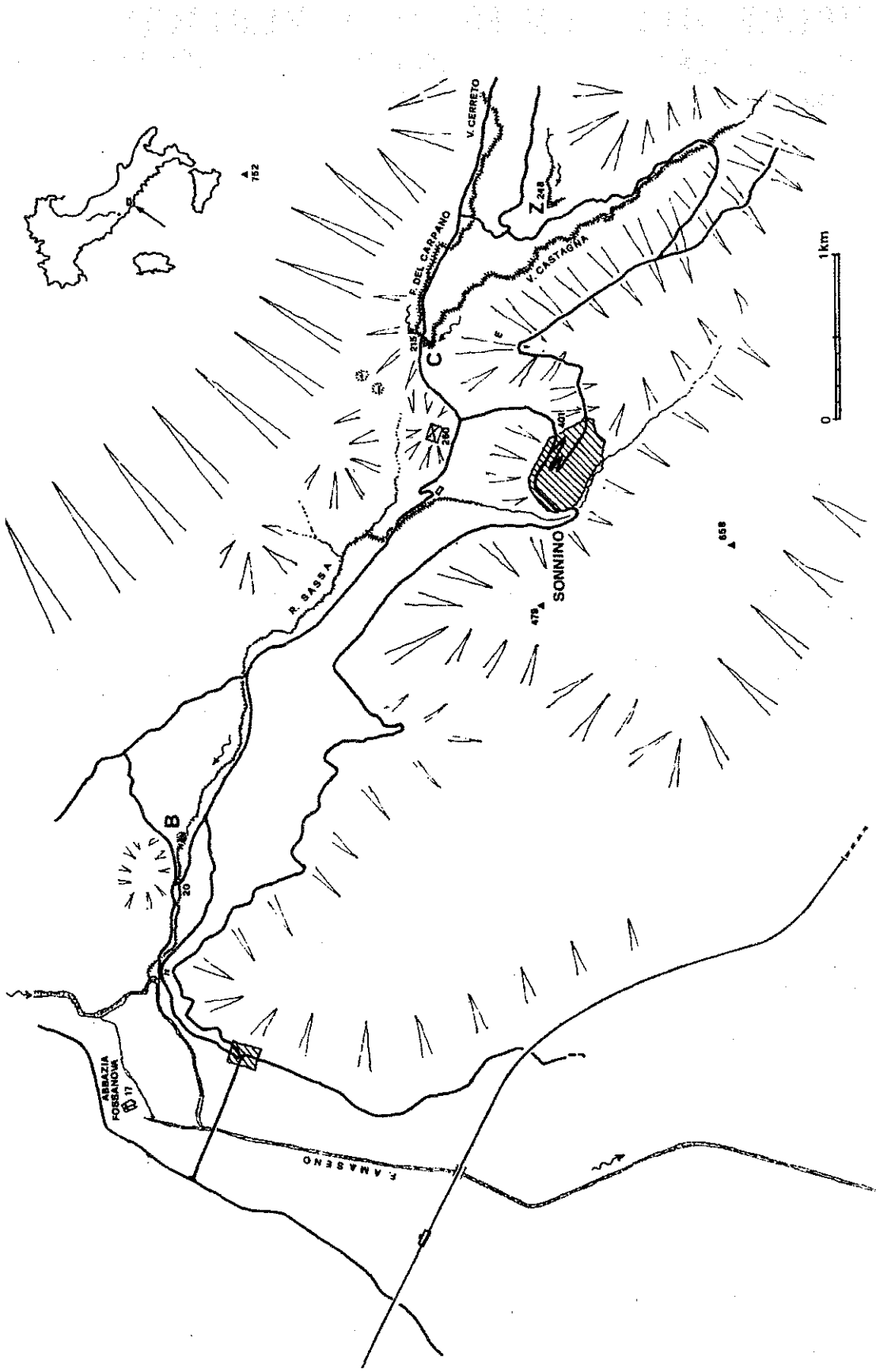


Fig. 1 - I sistemi carsici sotto Sonnino (Monti Ausoni - LT) C = il Cataùso di Sonnino - B = la polla sorgiva di Bagnoli - Z = la Chiavica di Zemerosa.

meandro che ne costituiva la naturale prosecuzione. Dal 1998 al 2001 con un numero non indifferente di uscite il ramo principale della grotta e varie sue diramazioni furono esplorati e rilevati in scala 1:200 dai giovani dello Shaka Zulu Club, mentre noi anziani procedevamo a topografare nella stessa scala tutto il terreno soprastante, all'inizio con lo specifico intento di trovare altri potenziali imbocchi, poi di ottenere una visione più completa dell'insieme dei fenomeni carsici dell'area e, infine, per inquadrare questi nel contesto agricolo e residenziale umano.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA E CARATTERISTICHE GENERALI DEL CARSISMO

La Fig. 1 sintetizza le caratteristiche salienti della vallata che si snoda ai piedi dell'abitato di Sonnino (LT) nella porzione più meridionale dei Monti Ausoni i quali, assieme ai M. Lepini a NW e M. Aurunci a SE, costituiscono la catena degli Anti-Appennini che si sviluppa parallela alla costa da Roma al confine con la Campania. Peculiarità di questa vallata è di trovarsi interrotta a metà sviluppo, sotto l'abitato, da un dosso roccioso su cui è posto il cimitero (q. 260 in Fig.1): infatti subito ad Est le acque provenienti dalla parte superiore della vallata si scaricano nell'inghiottitoio denominato "il Catàuso" (sigla C), imponente voragine che con un primo salto di 45m e numerosi altri successivi raggiunge la profondità di 136m. I due fossi che vi si gettano (F.so del Càrpano e F.so Castagna) sono sempre asciutti, tranne che in occasione di forti piogge e questo fa capire come i fenomeni carsici debbano essere presenti anche più a monte. Essi provengono da due valli (rispettivamente V. Cerreto e V. Castagna) le quali, circa 2km a monte del Catàuso, convergono in un'unica piana, stranamente dotata di due solchi che scorrono quasi paralleli, ai piedi delle scarpate laterali. Questa è l'area oggetto del presente studio e in particolare il suo tratto noto localmente come Piano Fontana, illustrato dalla Fig. 2.
Al di là del dosso di q. 260, verso Ovest la valle riprende, in perfetto allineamento, dimostrando che la sua genesi è stata più antica del fenomeno di incarsimento profondo che l'ha più tardi interrotta; il fosso, ora unico, prende il nome di Rio Sassa ed è attualmente percorso sempre da un rivolo d'acqua (maleodorante) che proviene dal depuratore di Sonnino, indicato in Fig. 1 con un rettangolino 300m ad Ovest del cimitero; questo rio si getta nel F. Amasceno a fianco dell'Abbazia cistercense di Fossanova. Meno di 1km prima di raggiungere il fiume, pochissimi metri a Nord del rio si trova una polla d'acqua limpida (osservate trote) dalla quale sbocca quasi sempre un notevole flusso d'acqua: molto nota e denominata Bagnoli, è indicata in Fig. 1 con la sigla B. Secondo Segre dovrebbe trattarsi della risorgenza del Catàuso ma un recente tentativo di colorazione sembra non confermare tale ipotesi.
Secondo la carta geologica (Foglio 159 Frosinone, B. Accordi, 1966) l'intera area risulta costituita da calcari del Cretacico superiore - Paleocene, tranne il fondo delle valli in argomento, che sarebbe occupato da terre rosse e alluvioni del Quaternario. In realtà queste coperture sono molto sottili e dovunque emergono elementi di roccia in posto.
A Nord della vallata si erge una ripida ed omogenea scarpata che sale fin verso quota 800m per poi prolungarsi ancora più a Nord in un vasto altopiano dove sono noti fenomeni carsici sia epigei che ipogei.

CARATTERISTICHE LOCALI DEL CARSISMO

Il Piano Fontana (Fig. 2) è costituito da una dorsale praticamente piatta, che separa i due fossi principali (Càrpano a N e Castagna a S) ed è insolcata al centro, in direzione Est-Ovest da un fossatello di ugual nome che proviene da un antico fontanile e sorgente (fuori carta) che ha conferito tale denominazione; esso termina bruscamente, dopo una stretta svolta a sinistra di 180°, nell'inghiottitoio denominato "Chiàvica di Zemerosa" (nome attribuitogli dagli abitanti di una casetta posta nelle immediate vicinanze, in ricordo della loro zia Maria Rosa; il termine locale "chiàvica" significa inghiottitoio). Il terreno è quasi tutto coltivato e risulta costituito da un abbastanza sottile strato di residui di disfacimento carsico (terra rossa) misti a cineriti del vulcanesimo laziale; ma è sufficiente percorrere la zona per rendersi conto di quanto diffusi siano gli affioramenti della sottostante formazione calcarea cretacica. Per altro, lungo la strada posta sulla sinistra della figura emergono estesi blocchi di roccia i quali presentano evidenti tere-

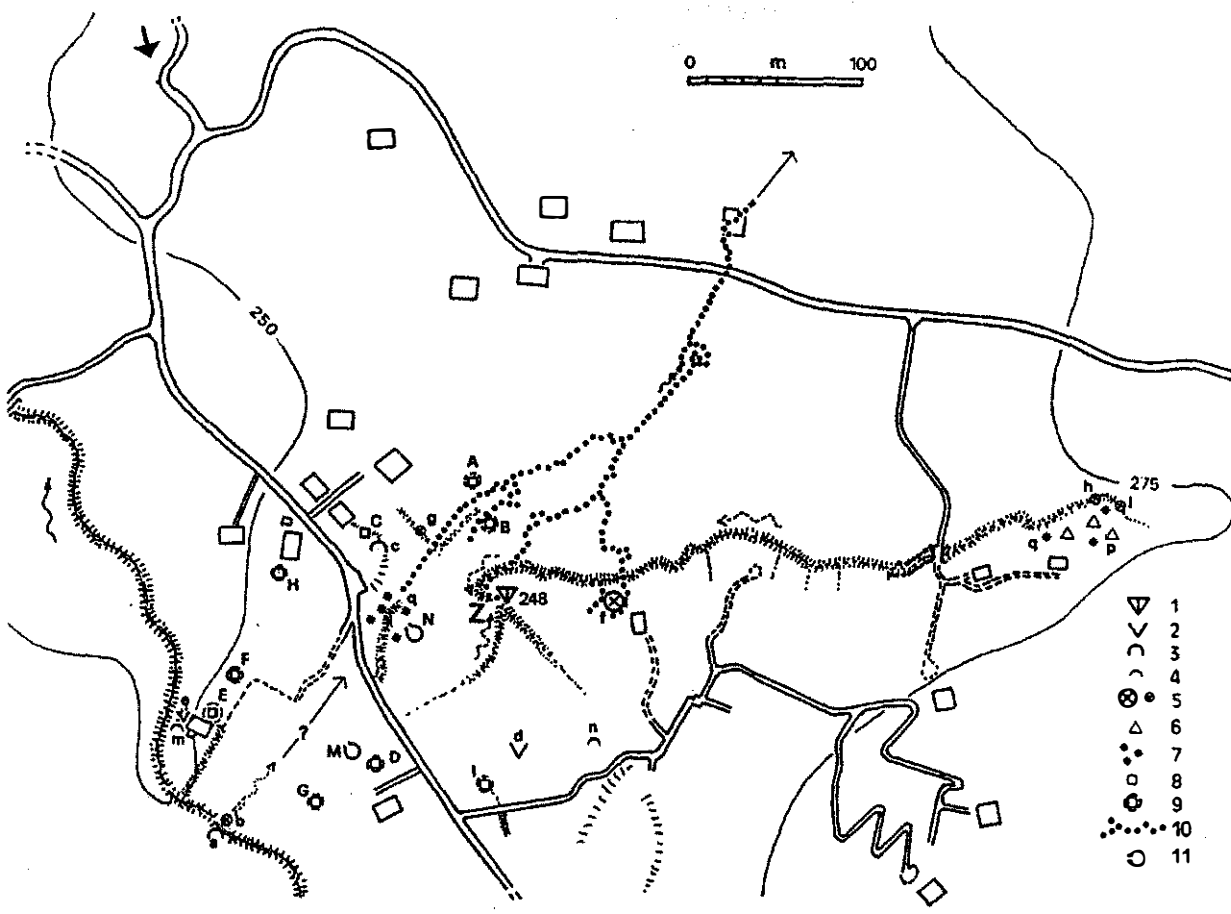


Fig. 2 - Il Piano Fontana soprastante la Chiàvica di Zemerosa.

Forme carsiche: Z = Chiàvica di Zemerosa
a = sbocco nel Fosso Castagna di piccola cavità freatica
b = ripresa della stessa cavità al di là del fosso
c = grotticella carsico-freatica d'interstrato, passante
d = grotticella subverticale
e = inghiottitoio colmato da detrito
f = dolina intasata da scarti edili, probabile punto d'assorbimento
g, h, i = punti d'assorbimento lungo i fossi
m, n = micro-cavità carsico-freatiche
p = chicots
q = campi ruiniformi

Opere antropiche:
pozzi: A - B - D (rilievi in Fig. 4)
pozzi-cisterna : E - F (rilievi in Fig. 4) - G - H - I
cisterna: C (rilievo in Fig. 4)
capanne: M - N (basi circolari di pietre a secco, diam. est. ca. 3m; int. ca. 1,6m; h. ca. 50cm)

Simboli: (1 a 8 secondo BINI-CAPPA, 1974)
1 = imbocco di cavità verticale, temporaneamente assorbente; 2 = imbocco di cavità verticale fossile; 3 = grotticella; 4 = microcavità carsico-freatica; 5 = punto idricamente assorbente, impenetrabile; 6 = chicots; 7 = campi ruiniformi; 8 = cisterna secca; 9 = cisterna con acqua, parte interna rotonda; 10 = tracciato sotterraneo della Chiàvica di Zemerosa; 11 = basi di capanne.

brazioni carsiche, alcune delle quali (lettere *c* e *d*) si configurano come vere e proprie grotticelle. In prossimità dell'inizio del Fosso Fontana e più a Sud, dove la strada si inoltra nella Valle Castagna, si notano campi ruiniformi, solcati da canyons che riescono ad ospitare piante di olivi e fichi, da cui emergono alcuni chicots alti diversi metri. Formazioni analoghe sono state osservate nei vicini Monti Lepini presso Carpineto Romano (FELICI, 1977).
Lungo il fondo del Fosso Castagna si incontra un esteso tratto di affioramento della roccia viva: circa a metà lunghezza si nota sulla sinistra idrografica lo sbocco di un cunicoletto freatico (lettera *a*) di circa 20-30cm di larghezza e di fronte, sulla destra orografica, la sua prosecuzione verso NNE (lettera *b*) che sembra dirigersi proprio verso la parte a monte (ancora da esplorare) di una diramazione della cavità sotterranea di Zemerosa (il cui tracciato è schematizzato in Fig. 2 con una serie di punti neri). La stratificazione dei calcari mostra una lieve pendenza (intorno ai 10°) in direzione NE che corrisponde a quella prevalente di sviluppo della grotta, che passa mediante modesti salti verticali a livelli sempre più bassi della stratificazione.
Meno di 100m ad Est dell'inghiottitoio di Zemerosa (*Z*) si trovava una profonda dolina assorbente (lettera *f*) che risulta sovrapposta ad un camino ascendente di un'altra diramazione della grotta; recentemente, a seguito della ristrutturazione di una vicina casetta essa è stata colmata da detriti di materiali edili. Altre due piccole perdite si notano invece all'estremità superiore del Fosso Fontana (lettere *h* ed *i*): esse suggeriscono l'esistenza in profondità di altre cavità oltre a quella nota.

GLI INSEDIAMENTI UMANI NELL'AREA

Iniziamo la trattazione ricordando un evento che è rimasto impresso nella memoria di coloro che abitano presso l'imbocco di Zemerosa: era la fine del 1943 o i primi mesi del 1944, la guerra si era momentaneamente arrestata sul fronte di Cassino; fronte che, ovviamente, si estendeva anche fino al mare, pochi chilometri a SE della nostra zona, sulla quale piovevano perciò quotidianamente bombe d'aereo e proiettili d'artiglieria; la popolazione non sapeva dove nascondersi ma i genitori o nonni degli attuali vicini di casa, che ben conoscevano l'esistenza dell'inghiottitoio, osarono inoltrarsi nel primo pozzo, nel quale trovarono il rifugio necessario; la ristrettezza dell'imbocco, protetto per giunta dalle pareti del soprastante fossato rendeva il posto abbastanza sicuro, solo una bomba che lo centrasse esattamente poteva essere una minaccia. Fu così che, in tutta fretta, poco sopra il fondo (vedi Fig. 3) costruirono un tavolato di legno, vi portarono qualche materasso, poche altre masserizie e viveri; ogni volta che vi si dovevano rifugiare, prima calavano con corde donne e bambini, poi gli uomini scendevano in arrampicata, aiutandosi con le stesse corde. Così sopravvissero, nascondendosi là sotto nei momenti dei peggiori bombardamenti, per qualche mese. E furono fortunati che in quell'inverno non si verificarono violenti temporali; dopo uno di tali eventi meteorici, nel 2000, tornati per proseguire le esplorazioni scoprimmo che una vasca di roccia, asciutta, era stata riempita da qualche metro cubo di terriccio trasportatovi da un'improvvisa piena dei fossi che convergono nell'inghiottitoio; inoltrandosi più in basso fu constatato che la violenza della piena aveva spostato assai più a valle vari ingombranti rifiuti, notati nelle precedenti uscite.
Oggi tutta l'area è suddivisa in molti piccoli appezzamenti ed al loro interno stanno sorgendo parecchie case o villette; parte dei terreni sono coltivati a frutteto, prevalentemente ulivi o fichi, essenze che resistono bene ai periodi estivi caldi e secchi. Numerose strade asfaltate, molto strette, e le loro diramazioni bianche consentono di accedere con i veicoli a tutte le proprietà (nella Fig. 2 ne sono indicate solo alcune, così come pure per le costruzioni). Mezzo secolo fa esistevano solo mulattiere e sentieri, le proprietà dovevano essere meno frazionate d'oggi, esistevano già varie case in muratura e numerose capanne; i terreni dovevano essere tutti coltivati con cura, come è dimostrato dal grande numero di fossatelli, spesso rivestiti da pietre a secco che ne formano sia gli argini che il letto; essi creano un fitto reticolo di drenaggi (convergenti verso l'inghiottitoio nei suoi dintorni) che è possibile osservare anche nei terreni oggi privi di colture, dove è in atto un rimboschimento selvaggio. La cura con cui sono state realizzate tali canalizzazioni mette in evidenza come anche in passato il clima locale doveva essere caratterizzato da poche ma violente precipitazioni, che avrebbero potuto asportare la preziosa sottile

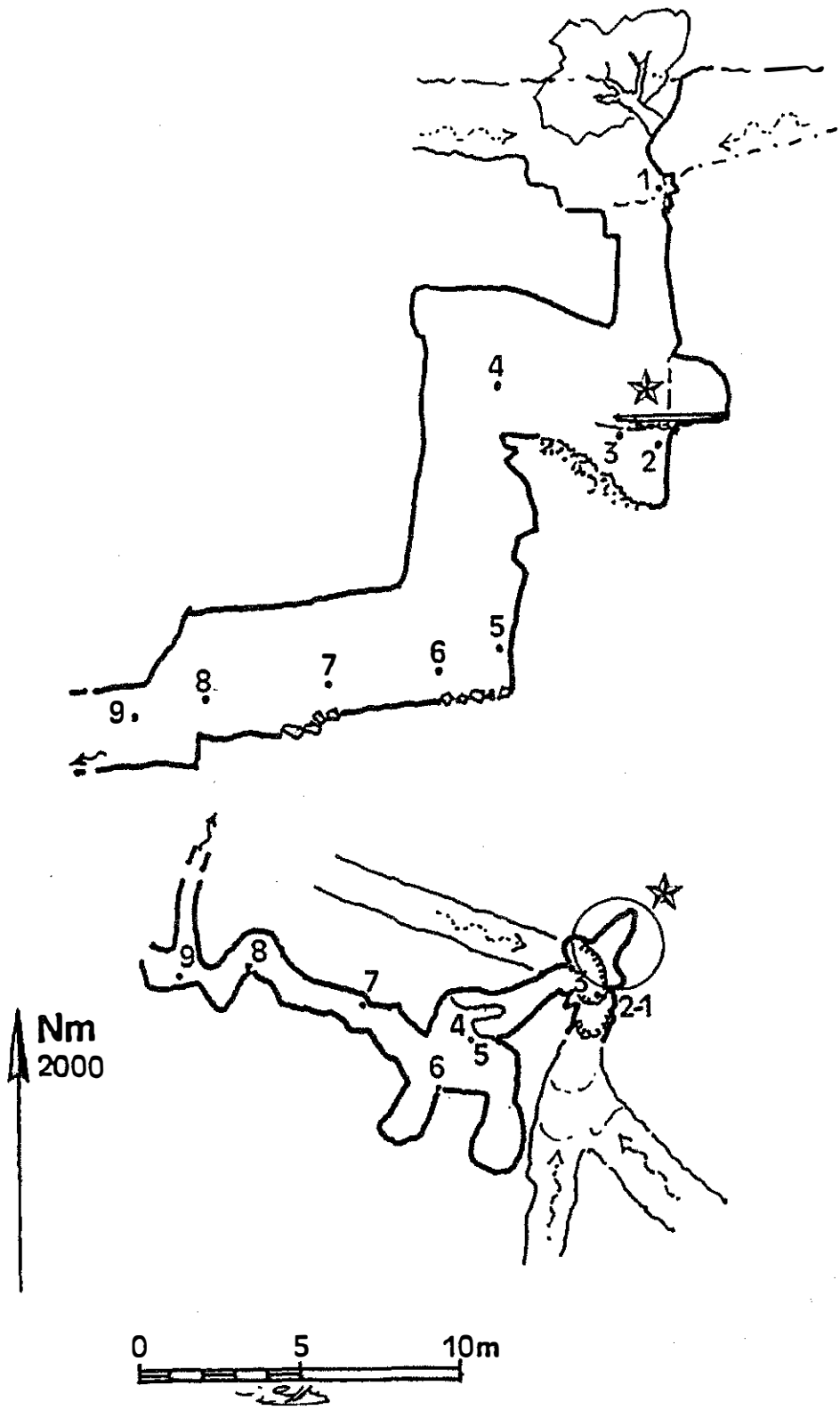


Fig. 3 - Pianta e sezione del tratto iniziale della Chiàvica di Zemerosa, in cui fu installato un impalcato di legno (stella) per creare un rifugio per gli abitanti della casa vicina, durante la fase cruciale dei combattimenti sulla linea di Cassino, nel 1943-44.

coltre di terreno agricolo in assenza di scarpate murarie e piccole briglie, pure di pietra, dove i fossatelli sono più acclivi. Non sono state osservate invece opere murarie di protezione intorno ai punti dove sono presenti evidenti perdite di origine carsica (indicate in Fig. 2 col simbolo *x* circondato da un cerchietto): se mai, in un paio di casi si è notata la tendenza ad occluderle con detriti, quando si trovano fuori dal percorso dei fossi. Alcune delle vecchie case di pietra sono abbandonate ed in incipiente dissesto, altre sono in fase di recupero.
Come dappertutto, caratteristica delle aree carsiche è la penuria di risorse idriche. Attualmente lungo ogni stradina asfaltata corre un tubo dell'acquedotto comunale che, pertanto, rifornisce tutte le abitazioni, mentre le esigenze irrigue si sono attenuate a causa della riduzione delle superfici coltivate ad ortaggi. La campagna è disseminata da un buon numero di pozzi e cisterne, evidente traccia della presenza di piccole falde sospese dovute a lenti di sedimenti impermeabili: infatti assai rare appaiono le forme di raccolta dell'acqua piovana, dirette ad alimentare le cisterne. Le opere che abbiamo potuto esaminare consistono per lo più in pozzi vecchi di qualche secolo, alcuni dei quali sono stati in epoca più recente ingranditi, assumendo la configurazione di pozzi-cisterna. Quelle presenti nei terreni soprastanti la grotta o nelle vicinanze sono state indicate nella pianta di Fig. 2 con le lettere *A*, *B*, ..., *I*. Le opere alle sigle da *A* a *F* sono state rilevate ed appaiono in Fig. 4.
I pozzi originari presentano un imbocco rotondeggiante, bordato da grosse pietre piatte, di ca. 50cm di diametro, sotto al quale la cavità si amplia nel giro di qualche metro fino ad un diametro di 1÷1,5m; le pareti si presentano rivestite di pietre grezze, per lo più a secco; le loro profondità oscillano tra 5 e 6m; tipici esempi sono i pozzi *A*, *B* e *D*, dei quali due sono ancor oggi pieni d'acqua, mentre in *B* si trova un pozzo completamente asciutto e palesemente abbandonato da tempo: esso insiste proprio sulla verticale di un ramo della grotta e probabilmente la sua falda è stata risucchiata dal sistema carsico sottostante.
Altri esemplari, definibili pozzi-cisterna, mostrano pareti rivestite di intonaco impermeabile al di sotto di ca. -2m; poiché essi si presentano tutti parzialmente pieni d'acqua (anche in questa stagione estiva 2003 caratterizzata da un'estrema siccità) non è stato possibile accertare se il rivestimento giunga fino al fondo o si interrompa un po' più in alto. Le loro profondità sono all'incirca le stesse del gruppo dei pozzi ma i diametri della parte cilindrica appaiono sensibilmente maggiori (fino a 3m). Essi possono essere considerati antichi pozzi che, nel corso del XX secolo sono stati ampliati, come dimostrano gli interventi alla loro copertura esterna, dove si notano rifacimenti in calce o cemento e imbocchi quadrati modellati in modo da poter essere chiusi da uno sportello. All'interno non sono stati osservati sbocchi di canalizzazioni che possano condurre l'acqua dall'esterno ai pozzi-cisterna: dunque c'è da desumere che la maggioranza di essi sia rimasta alimentata da falde locali, giacenti ad una profondità di 4÷6m (cioè circa a livello del fondo dei pozzi): si tratterebbe di falde sospese, create da strati argillosi o terre rosse impermeabili, oppure d'interstrato nella formazione calcarea sottostante. Non è stato possibile accertare se il fondo dei pozzi e pozzi-cisterna si trovi nel sedimento o nella roccia viva.
A fianco di alcune di queste opere si notano vasche rettangolari, costruite con pietre più o meno squadrate, che erano destinate ad essere riempite d'acqua estratta dal vicino pozzo, e dovevano servire come lavandini (lavaggio di panni, ortaggi, ...), e ancora come piccoli abbeveratoi per gli animali domestici.
A queste opere idrauliche si deve aggiungere una cisterna (*C*), ricavata in una fenditura naturale della roccia e completata con un muro di contenimento a valle nonché una copertura a volta ribassata, in opera cementizia mista; essa si trova a lato di un gruppo di casette dove abitano i discendenti di coloro che si erano rifugiati in fondo al pozzo di Zemerosa.
Qua e là si incontrano ancora le basi di capanne circolari (due sono indicate in Fig. 2 con le sigle *M* e *N*), costituite da grosse pietre piatte (diametro esterno circa 3m, interno ca. 1,6m; altezza non superiore a 50cm), dalle quali è ormai scomparso il rivestimento superiore vegetale; i pochi capanni per attrezzi agricoli ora in uso sono costituiti da bandoni metallici, che deturpano sensibilmente il paesaggio.
Si è già accennato all'altro importante intervento umano sul territorio: la regimazione delle acque meteoriche per mezzo di accuratissimi fossatelli foderati di pietre a secco. A questo proposito occorre aggiungere due ulteriori osservazioni: anche il Fosso Castagna presenta sponde costruite con solidi muri a secco, alti 2÷3m e con pietre sporgenti a mo' di gradini, che consentono di scendere al

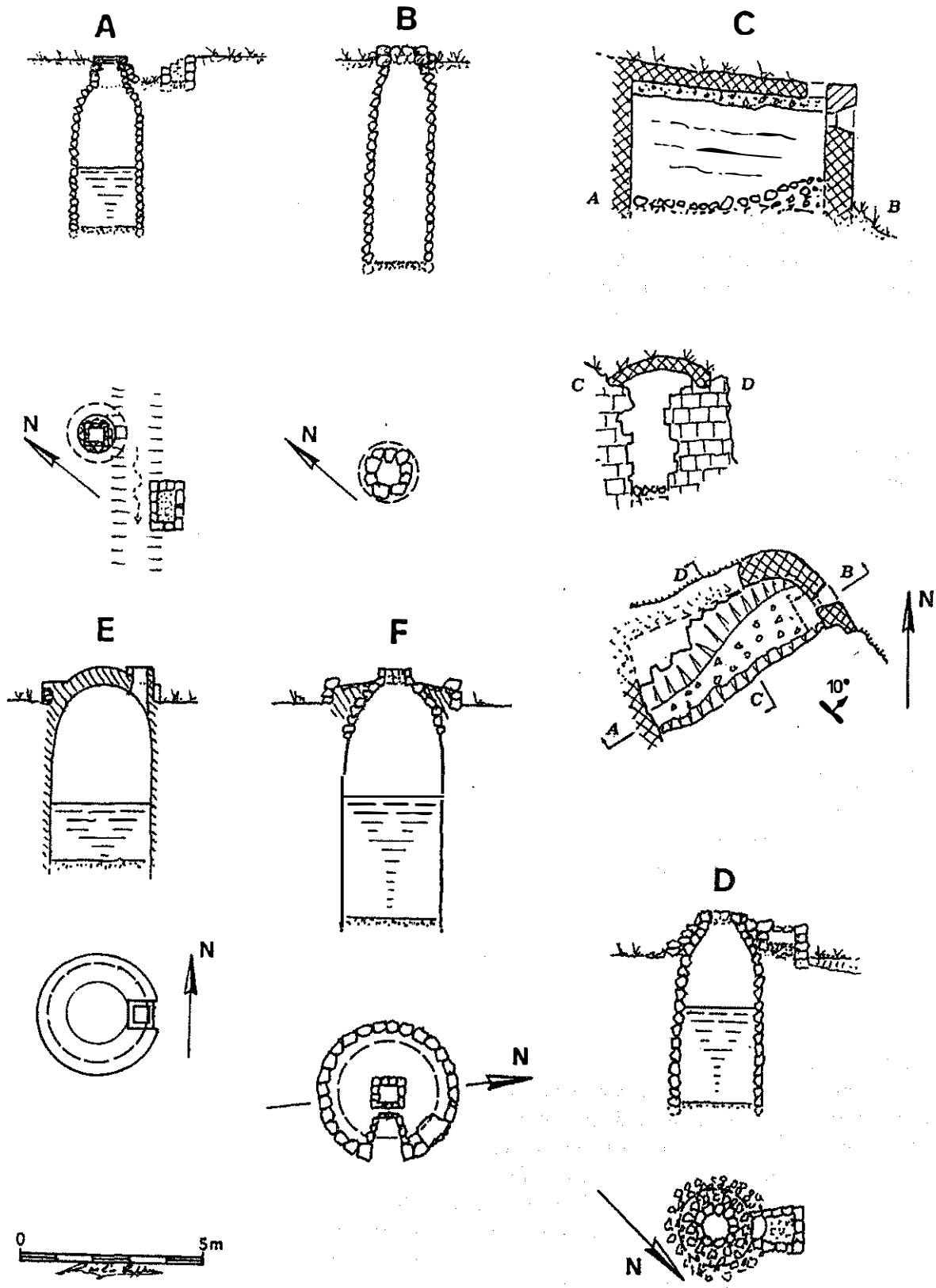


Fig. 4 - Pianta e sezione delle cisterne A, B, C, D, E, F di Fig. 2.

fondo; quest'ultimo è per lunghi tratti di roccia viva, in altri appare lastricato artificialmente e altrove la sua struttura è mascherata dai detriti che lo ricoprono; invece il sub-parallelo Fosso Càrpano non presenta opere di contenimento se non nel tratto più a monte. L'ultima osservazione riguarda la manutenzione di questi manufatti: alcuni fossatelli presentano evidenti segni di interventi e veri e propri rifacimenti abbastanza recenti, indizio che la rapida evoluzione dell'assetto antropico nella zona non trascura questi particolari che sono, ovviamente, oggi ancora più essenziali per un'utilizzazione intensiva del territorio.
Non dappertutto questo avviene: si nota che le particelle acquistate da "nuovi venuti" ricorrono a canalizzazioni, tubazioni e altre opere cementizie, perché manca loro la sensibilità per la conservazione di uno stile insediativo tradizionale ed elegante: è evidente che in assenza di regolamenti edilizi specifici non ci sia speranza di una sua sopravvivenza a fronte di un rapido cambiamento del tipo di popolazione che si insedia nella campagna. Un invito perciò agli amministratori locali perché intervengano per assicurare la conservazione di questo piccolo angolo di ambiente carsico, fino ad oggi caratterizzato da un invidiabile rustico stile insediativo.

BIBLIOGRAFIA

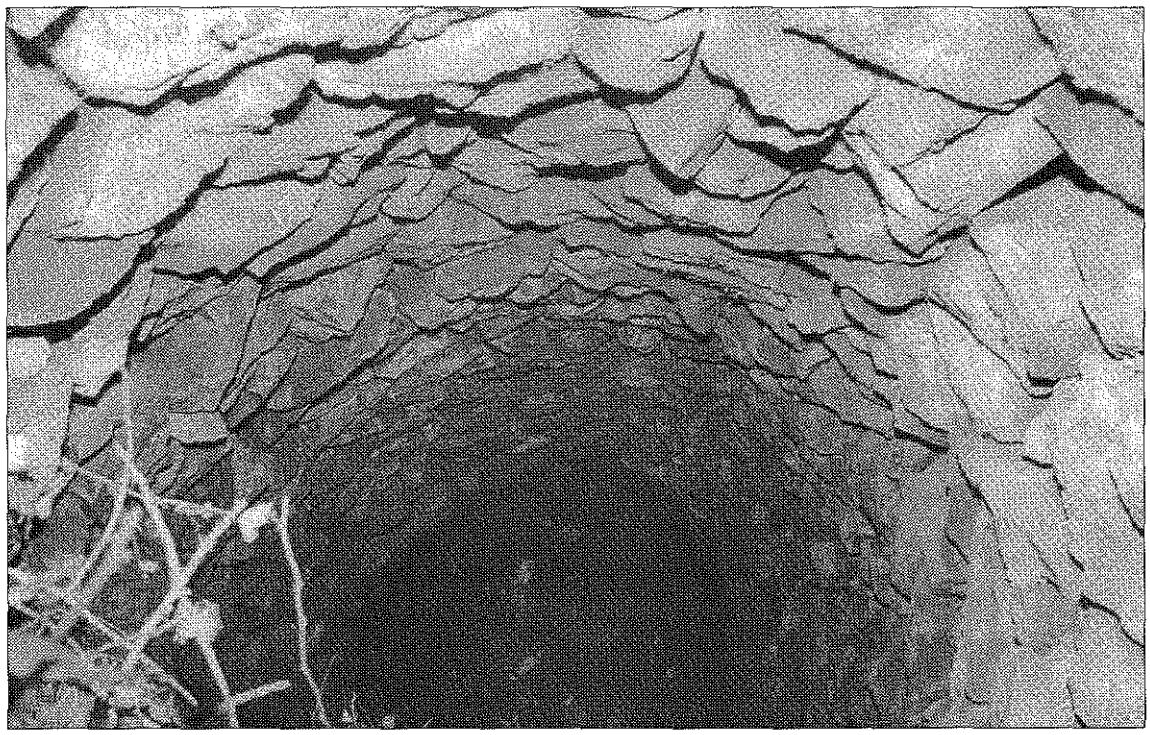
- BINI ALFREDO, CAPPA GIULIO, (1974), *Proposte di simbologia per carte morfologiche ed idrologiche di aree carsiche*, Boll. Assoc. Ital. di Cartografia, 32, Napoli, pp. 179-199
- FELICI ALBERTA, (1977), *Il Carsismo dei Monti Lepini (Lazio) - Il territorio di Carpineto Romano*, Notiziario Circolo Speleol. Romano, a. XXI-XXII, p. 226 (Cunicoli in località "Porciani")
- SEGRE ALDO GIACOMO, (1948), *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*, Istituto di Geografia - Univ. di Roma, A, 7, pp. 84-86 e 78

CARTOGRAFIA

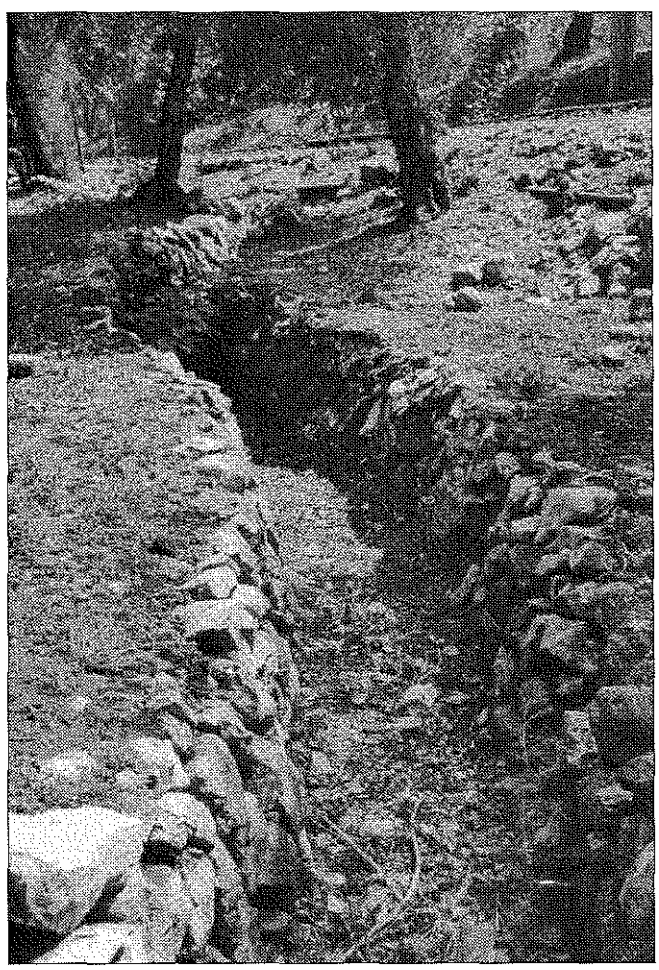
- Carta Geologica d'Italia 1:100'000 - Foglio 159 Frosinone (ACCORDI B., 1966)
- Tavolette IGM 1:25'000 n. 159 II NO Roccasecca dei Volsci e 159 II SO Sonnino (entrambe rilevate aerofotogrammetricamente nel 1938)

▲ Foto 1
Parete esterna di contenimento della cisterna "C".

▲ Foto 2
Esterno del pozzo "D".



▲ Foto 3
Pareti in muratura a secco e fondo asciutto del pozzo "B" (ripresa verticale verso il basso).



◀ Foto 4
Vecchia canaletta rivestita di pietre a secco.

POTENZIALITÀ TURISTICHE DELLE GROTTE NEI DESERTI DELLA ARABIA SAUDITA

Paolo Forti [1], John J. Pint [2], Mahmoud A. Al-Shanti [2], Abdulrahman J. Al-Juaid [2], Saeed A. Al-AMoudi [2] and Susana Pint [2]

[1] *Istituto Italiano di Speleologia, Università di Bologna, forti@geomin.unibo.it*
[2] *Saudi Geological Survey, Jeddah., Saudi arabia, thepints@saudicaves.com*

RIASSUNTO

Il turismo speleologico è un rapido aumento in tutto il mondo, tanto da poter essere considerato per molti Paesi una voce importante nel loro bilancio economico. Attualmente sono oltre 90 le nazioni che possiedono grotte attrezzate per il turismo e il loro numero tende a crescere di anno in anno.
L'Arabia Saudita è un paese con grandi aree carsiche e vulcaniche ambedue ricche di cavità naturali di dimensione e con caratteristiche tali da poter essere facilmente trasformate in grotte turistiche.
La maggioranza delle grotte saudite si trova nel deserto e questo, invece di essere un ostacolo alla loro turisticizzazione, ne è invece uno dei motivi fondamentali. In generale infatti il clima delle normali grotte turistiche (molto più freddo e umido di quello esterno) può risultare un problema per i visitatori. Al contrario il clima delle grotte del deserto è per tutto l'anno estremamente più piacevole e sopportabile di quello estremo presente al loro esterno.
Un altro motivo per trasformare in grotte turistiche alcune cavità saudite è quello di salvaguardare non solo quelle grotte, ma ampie aree carsiche (che fungono da ricarica a importanti acquiferi sotterranei) dal rischio di degrado sia ad opera di processi naturali che a seguito di azioni antropiche.
Prima di iniziare la stesura di progetti dettagliati di turisticizzazione di alcune grotte più importanti, è comunque importante valutare che tipo di flussi turistici siano possibili in Arabia Saudita, tenendo anche presente le caratteristiche e la struttura sociale di quel paese.

Parole chiave: Cavità naturali, turismo speleologico, Arabia Saudita

ABSTRACT

Cave tourism is rapidly expanding all over the world and for many countries it represents an important element of their economy. Presently, over 90 nations have show caves and their number is increasing year by year.
Saudi Arabia has huge karst areas and lava fields richly endowed with natural cavities, whose size and characteristics seem to be suitable for easy transformation into show caves.
The majority of the known Saudi caves are located inside deserts. This, rather than being an obstacle, may actually represent a distinct advantage. In fact, generally speaking, the climate of normal show caves (cooler and by far more humid than the outside climate) may present a problem for visitors. However, the climate inside the desert caves is, throughout the year, far more tolerable and pleasant than that on the surface.
Another important reason to transform some of the Saudi natural cavities into show caves is to protect certain karst areas (which recharge important aquifers) from pollution and other damage which may occur due to natural or manmade causes.
However, before initiating a detailed plan for the development of show caves in Saudi Arabia, it is of fundamental importance to evaluate the kind and the amount of tourist traffic which might be possible, in light of the characteristics and social structure of Saudi Arabia.

Keywords: Natural cavities, speleological tourism, Saudi Arabia

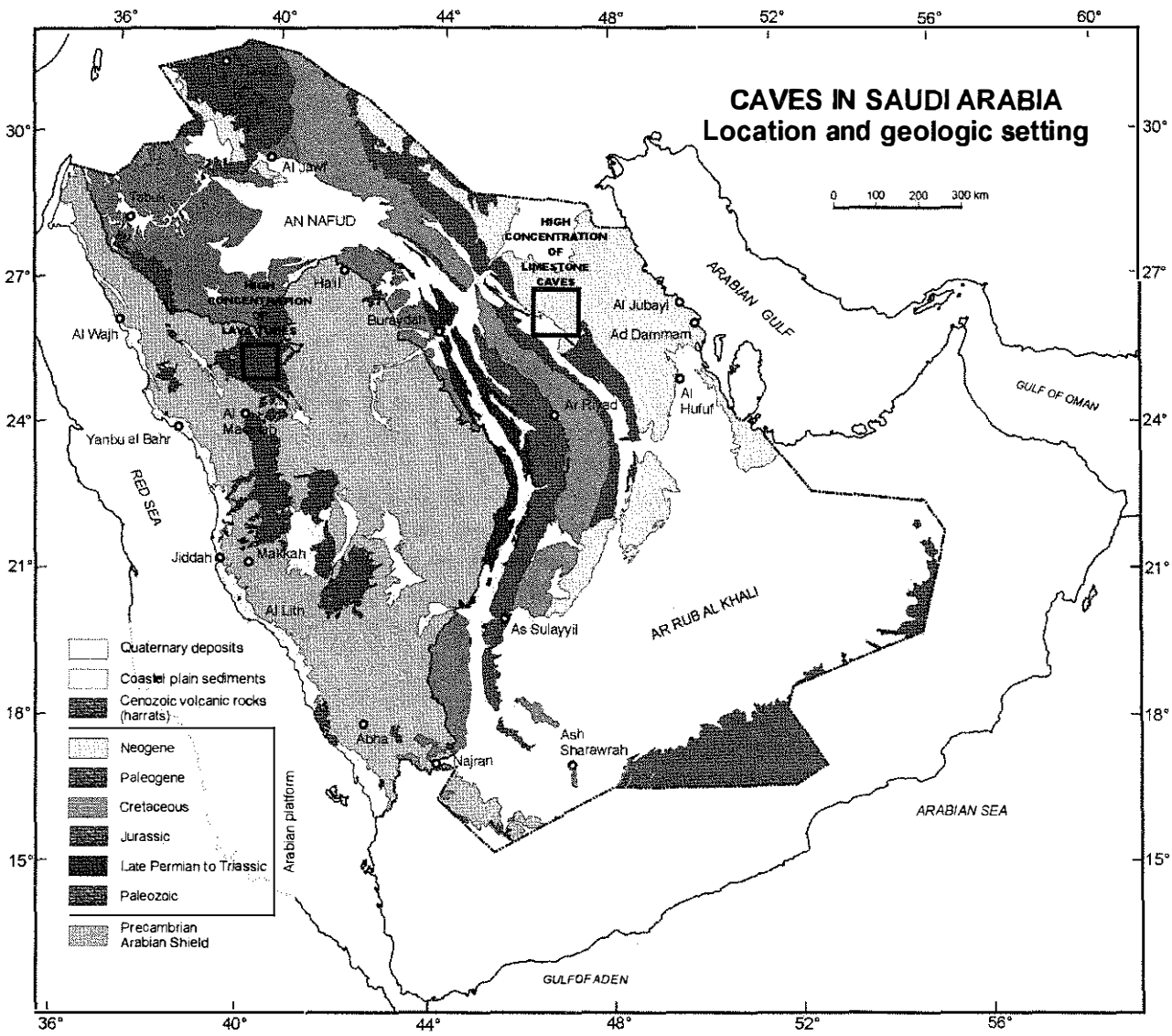


Fig. 1 - Schema geologico dell'Arabia Saudita in cui sono riportate le principali aree con grotte carsiche e vulcaniche (da Pint 2003 modificato).

INTRODUZIONE

Nell'ultimo secolo l'interesse attorno all'ambiente di grotta è cresciuto in maniera esponenziale non solo dal punto di vista scientifico ma anche da quello economico. Il turismo speleologico si sta infatti espandendo in tutto il mondo: attualmente oltre 90 nazioni di 5 continenti hanno grotte turistiche e il loro numero sta crescendo di anno in anno (Cigna & Burri, 2000).
Soprattutto dopo la seconda guerra mondiale, il turismo correlato alle grotte turistiche e ai parchi naturali in aree carsiche è cresciuto rapidamente e attualmente rappresenta una voce economica molto importante nel bilancio di svariate nazioni. In Tabella 1 sono riportate delle valutazioni dei principali parametri economici che contraddistinguono il turismo speleologico; bisogna poi tenere presente che questi numeri vanno almeno raddoppiati se debbono essere tenuti in considerazione anche i Parchi Naturali a prevalente interesse carsico-speleologico.

Tab. 1 - Valutazione dell'importanza socio-economica delle grotte turistiche nel mondo (da Cigna et Al. 2000, modificato).

Numero totale di grotte turistiche	~ 800
Numero di grotte turistiche "importanti" (più 100,000 visitatori all'anno)	~100
Numero totale di visitatori/anno	~ 170,000,000
Denaro speso per visitare ogni anno grotte turistiche (???)	~1,700,000,000
Persone direttamente impiegate nella gestione di Grotte turistiche	~100,000-200,000
Persone il cui salario deriva indirettamente dall'attività delle G.T.	~ 100,000,000

L'Arabia Saudita ha grandi aree carsiche e laviche (Fig. 1) con molte grotte naturali, ma attualmente nessuna di queste è stata trasformata in cavità turistica.
La maggior parte delle grotte carsiche attualmente conosciute si trovano nella Formazione Umm-Er-Radhuma (Paleocene-Eocene inferiore), costituita da calcareniti, calcari dolomitici e dolomia e in una unità più recente (Miocene-Pliocene) di rocce clastiche,formata da arenarie, marne e calcari sempre ben cementati da calcite.
Queste formazioni calcaree si estendono dal confine nord dell'Arabia saudita fino a qualche punto al di sotto dell'enorme deserto Rub Al Khali nel sud e dal Golfo si spingono ad est fino al deserto di Dahna, uno stretto nastro di sabbia che taglia in diagonale tutto il paese.
La più alta concentrazione di grotte in calcare si trova in un'area carsica a circa 230 chilometri a nord della capitale Riyadh. Alcune di queste grotte consistono in pozzi fusoidi dalle pareti lisce, profondi 10-15 metri, che si sviluppano nei calcari della formazione Um-Er-Radhuma.
Queste cavità a volte proseguono con passaggi orizzontali alla base del pozzo di accesso: spesso hanno caratteristiche di labirinti bidimensionali con gallerie anastomizzatesi e il loro sviluppo totale può raggiungere anche svariate centinaia di metri. Spesso queste cavità naturali hanno le pareti crivellate di fori con lame di erosione-corrosione particolarmente sviluppate; inoltre il soffitto e il pavimento delle grotte è a volte decorato da speleotemi di calcite (stalatttiti, stalagmiti, eccentriche). Le cavità di questo tipo si sviluppano normalmente nella rocce clastiche del Miocene-Pliocene che, in alcune aree, ricopre la Formazione di Um-Er-Radhuma
L'Arabia Saudita possiede anche alcuni pozzi profondi, di cui il più grande è un salto di oltre di 100 metri; almeno fino ad ora, però, queste cavità verticali si sono sempre dimostrate completamente chiuse. Dal loro fondo, infatti, non si diparte mai alcuna galleria orizzontale.
Sempre per quello che riguarda le grotte in calcare, vanno citate alcune cavità che si sviluppano anche al di sotto della superficie freatica attuale. Questo tipo di grotte è concentrato attorno alla città di Al-Kharj ed in particolare una di queste, la grotta di Ain Hit, è stata oggetto di svariate spedizioni speleo-subacquee (Pint 2003).

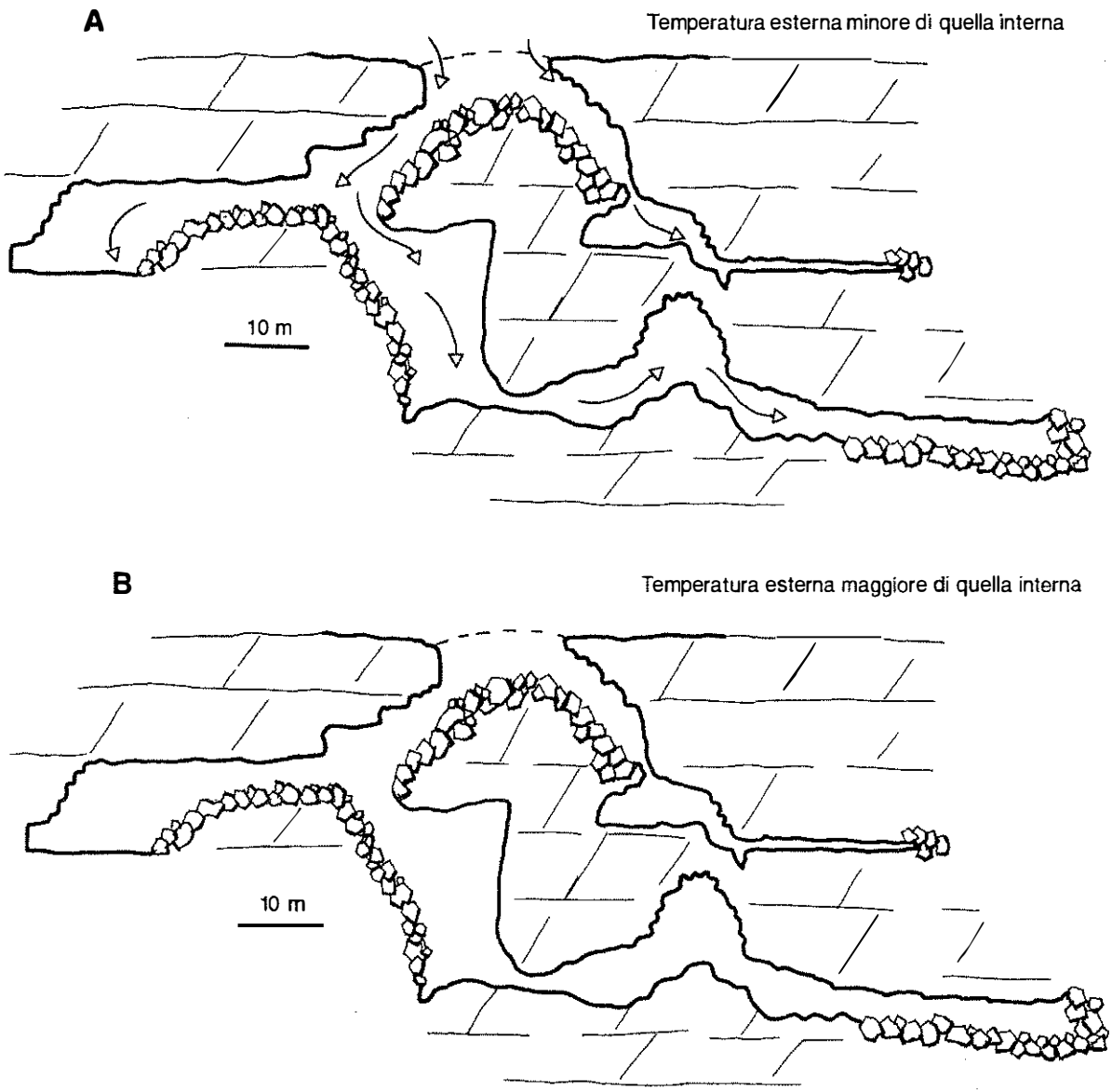


Fig. 2 - Sezione verticale semplificata della grotta di Murubbeh: Le frecce indicano il flusso d'aria quando la temperatura esterna è inferiore a quella interna (A). Quando la temperatura esterna è maggiore di quella interna la grotta si comporta come una "trappola per il freddo" impedendo all'aria fredda di fuoriuscire (B).

Infine, essenzialmente nella zona nord del Paese, vicino alla frontiera con Iraq, si trovano grotte la cui genesi è probabilmente correlata alla dissoluzione degli strati di gesso in contatto col calcare: infatti in queste grotte gli speleotemi sono essenzialmente costituiti da una grande varietà di infiorescenze e croste di gesso.
Solamente alla fine del 2001 sono incominciate le esplorazioni delle grotte che si trovano nei campi di lava dell'Arabia Saudita. A questo proposito bisogna qui ricordare che in questo paese esistono ben 85.000 chilometri quadrati di lave affioranti(Fig. 1), che qui prendono il nome di *Harrat*. Il primo luogo in cui si è svolta una spedizione speleologica è stato l'Harrat Kishb dove sono stati facilmente individuati ed esplorati 5 tubi lavici. Successivamente altre spedizioni sono state effettuate in altre tre differenti arre laviche sempre a Nord di Jeddah, ed esattamente agli Harrats Khaybar, Ithnayn e Buqum. In tutte queste località sono state trovate grotte laviche (Foto 1): attualmente la più lunga di queste misura oltre mezzo chilometro di sviluppo. Visti i risultati di queste primissime esplorazioni si è pertanto certi che l'Arabia Saudita ha un potenziale di grotte vulcaniche tra i più grandi del mondo.
Le grotte saudite ospitano una fauna abbastanza ricca: tra i mammiferi possono essere ricordati i pipistrelli, i piccioni, i lupi, le volpi e le iene; esiste anche una fauna troglofila e troglobia, essenzialmente costituita da insetti, che però, allo stato attuale delle ricerche, non è stata ancora studiata.
Sia nelle grotte in calcare che in quelle laviche gli speleologi hanno trovato teschi umani, animali mummificati e manufatti molto antichi, forse neolitici, dimostrando così l'eccezionale importanza delle cavità naturali per ricostruire l'ecosistema e i primi passi dell'antropizzazione dei deserti sauditi di cui ancora si sa davvero poco.
Anche se molte delle grotte dell'Arabia Saudita erano note da moltissimo tempo ai Beduini, che le utilizzavano come riparo per le tempeste del deserto e soprattutto per approvvigionarsi di acqua potabile (Pint, 1997, 2003), l'attività speleologica invece è molto recente. In fatti le prime esplorazioni cominciarono in maniera sporadica e non organizzata appena 20 anni addietro, ma solo negli ultimi 3 anni esse sono state condotte in maniera scientifica e coordinata dalla Saudi Geological Survey.
Nel marzo del 2003 è stata effettuata una spedizione congiunta tra la Saudi Geological Survey e l'Istituto Italiano di Speleologia di Bologna che ha avuto come oggetto la vista e lo studio di alcune delle grotte in calcare nell'area carsica di As Sulb Plateau con lo specifico intento di verificarne il loro potenziale turistico (Forti, 2003).
Nel presente lavoro i risultati di questa ricerca preliminare sono brevemente presentati e discussi.

LE GROTTE DI AS SULB PLATEAU

A circa 250 km da Riad, cui è collegato da una bella strada asfaltata, si trova i centro dell'altopiano di Summan, denominato As Sulb Plateau (Fig. 1).
La zona è un deserto sassoso subpianeggiante con alcuni accumuli di sabbia che si concentrano nelle piccole depressioni del terreno.
Le rocce affioranti sono essenzialmente calcari della formazione Um er Radhuma con lembi di altre formazioni carbonatiche più recenti (Miocene-Pliocene): la struttura di queste formazioni mostra una forte ricristallizzazione e dolomitizzazione, con parziale decalcificazione (Schifsma E., 1978). La stratificazione è suborizzontale e in generale poco potente (decimetrica). Le caratteristiche tessiturali della roccia sono tali da non permettere l'evoluzione di chiare microforme carsiche: in pratica sono del tutto assenti i karren e le vaschette, mentre nelle aree dove affiora la roccia più tenace sono a volte presenti alveolature di corrosione.
La zona è letteralmente crivellata da buchi subcircolari, con diametro variabile tra i 20-30 cm e i 2 metri, che danno adito a pozzetti subverticali: pochissime di queste cavità sono state esplorate o anche semplicemente posizionate sulla carta... per ora le grotte note dell'area infatti non arrivano al centinaio (Pint, 2003), ma la potenzialità è sicuramente di due ordini di grandezza maggiore.
In alcuni casi, poi, lo sprofondamento degli strati superficiali ha dato luogo a più o meno ampie doline di crollo da cui si accede in maniera abbastanza semplice ai sistemi carsici sottostanti.

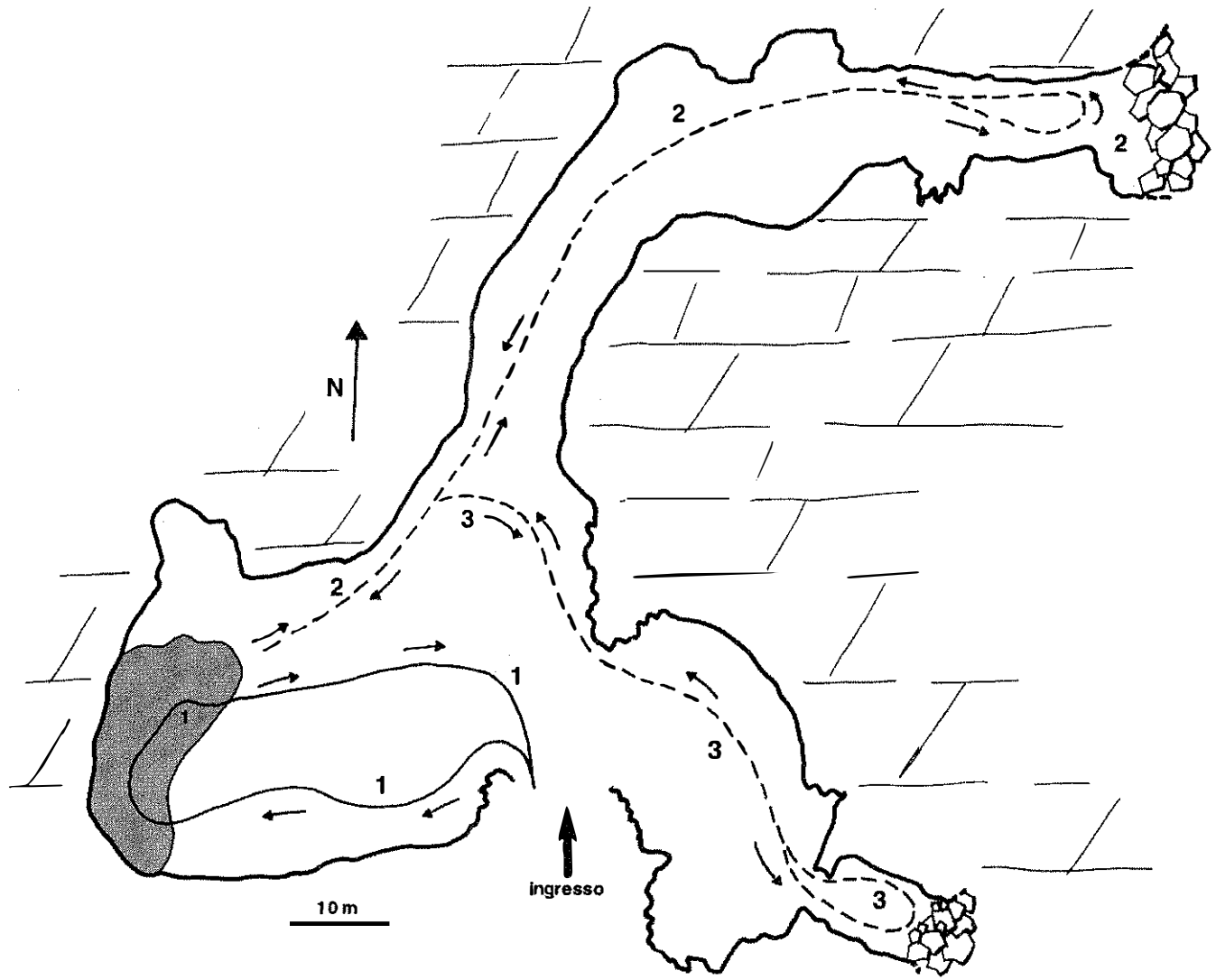


Fig. 3 - Pianta semplificata della grotta di Murubbeh in cui sono state differenziate le varie aree in funzione dei differenti tipi di utilizzazione turistica: in grigio e sentiero 1 da trasformarsi in grotta turistica tradizionale aperta a tutti; sentiero 2 per escursioni di tipo trekking; sentiero 3 per visite scientifiche.

Attualmente le più grandi grotte dell'area raggiungono a malapena il chilometro di sviluppo, ma certamente il procedere delle ricerche potrà far trovare anche sistemi carsici molto maggiori; la profondità massima delle grotte attualmente conosciute non supera i 30 metri e difficilmente anche in futuro tale valore potrà essere superato di molto.
Due di queste (Friendly cave e Surprise cave) presentavano il caratteristico ingresso a pozzo subverticale, con profondità variabili tra i 12 e i 15 metri (Foto 2).
Per entrarvi è necessario utilizzare scalette metalliche e/o corde: in effetti l'uso delle corde è qui molto limitato, sia dalla presenza ubiquitaria di sabbia fortemente abrasiva, sia dal fatto che i pozzi presentano molti tettucci e asperità che richiederebbero frazionamenti ogni 2-3 metri.
Alla base del pozzo in ambedue le grotte si dipartono gallerie orizzontali, con diametri massimi di 3-4 metri, in cui è evidente che per lungo tempo è stazionata acqua quasi ferma, che ha portato all'evoluzione di forme di corrosione esasperata caratterizzata da fori, alveoli pendenti etc....
In effetti tutta l'area di As Sulb Plateau è stata interessata in passato dalla stabile presenza di un acquifero carsico quasi superficiale (15-20 metri di profondità), che ha permesso l'evoluzione di un labirinto bidimensionale di gallerie tutte allo stesso livello e, con ogni probabilità interconnesse tra loro: quest'ultima ipotesi, comunque, non è stata ancora dimostrata a causa della scarsità delle ricerche speleologiche effettuate sino ad oggi.
Una delle ragioni principali del rapido abbassamento della superficie piezometrica avvenuto in tempi abbastanza recenti è sicuramente da mettere in relazione al constante incremento nel prelievo d'acqua dalle falde per scopi essenzilmente agricoli.
Il fatto che in tempi non molto antichi ancora l'acqua stazionasse ad un livello abbastanza superficiale è dimostrato dal fatto che molti dei pozzi naturali presentano al loro ingresso profondi solchi di erosione dovuti alle funi che i beduini utilizzavano per entrare in grotta e recuperare l'acqua dal fondo delle stesse.
Se l'acqua ha stazionato in queste grotte fino a poche centinaia o migliaia di anni addietro, l'infiltrazione dalla superficie invece si è sicuramente arrestata molto tempo addietro, infatti tutte le concrezioni di una certa dimensione presenti risultano essere assolutamente antiche (con età superiore ai 400.000 anni BP (Benischke et *Al.* 1997).
Attualmente le concrezioni di carbonato di calcio sono quasi dappertutto fossili: gli unici speleotemi attivi sono alcune belle concrezioni di gesso presenti soprattutto nella Surprise cave, tra queste meritano di essere citate una grande trays e una piccola stalagmite cava o tremagmita (Foto 3).
La presenza di gesso secondario è una costante di tutte le grotte del Al Sulb Plateau: le forme più comune riscontrate sono le croste millimetriche che ricoprono pareti e soffitti, ma a volte sono presenti anche stalattiti monocristalline o delicate infiorescenze: al momento attuale non è chiara la presenza di così diffusi depositi secondari di gesso, che comunque potrebbero essere messi in relazione con le formazioni di anidride affioranti non troppo lontano.
Le altre due grotte visitate (la grotta Rutuwbah e la grotta Murubbeh) hanno un ingresso su frana e non necessitano quindi di attrezzature particolari per entrarvi: la prima è caratterizzata da una umidità relativa abbastanza elevata per quest'area (oltre il 75-80%) ma per morfologie e speleotemi è molto simile alle altre grotte già visitate.
Discorso completamente differente deve essere fatto per la Grotta Murubbeh, che, per le sue caratteristiche climatiche e morfologiche, merita di essere descritta maggiormente in dettaglio.

IL FRIGORIFERO NATURALE DELLA GROTTA MURUBBEH

La grotta di Murubbeh è un'enorme vano sotterraneo (almeno 150x80x50 m) che si apre all'esterno attraverso una fenditura di 10x3 metri al fondo di una piccola dolina di crollo (Foto 4).
Già questa caratteristica è sufficiente a distinguerla in maniera netta de tutte le altre grotte dell'area: infatti in nessuna di esse si trovano saloni di dimensioni superiori ai 15x6x6, cioè di un ordine di grandezza inferiore. Inoltre tutto il pavimento della cavità è formato da grandi massi di crollo che indicano come la grotta dovesse essere ancora più grande prima del suo parziale collasso.

Anche la profondità raggiunta dalla grotta: oltre 40 metri, con possibilità di andare ancora più in basso (seguendo alcuni pozzi nel pavimento di crollo) è assolutamente non normale, dato che, come detto precedentemente, la superficie freatica nell'area ha stazionato a lungo tra i 15 e i 20 metri di profondità, ove si sono appunto sviluppate le gallerie suborizzontali delle altre grotte.
La grotta di Murubbeh è totalmente priva di tali labirinti bidimensionali e delle forme di erosione accentuata caratteristiche delle altre grotte, risultando invece essere stata un enorme lago, la cui superficie era sì al livello delle altre grotte, ma la cui profondità arrivava diecine di metri più in basso.
Anche il concrezionamento della grotta è peculiare essendo tutto di natura "freatica": sono infatti assenti gli speleotemi gravitazionali (stalattiti, stalagmiti) mentre hanno un'enorme diffusione le cave clouds, le digitazioni subacquee, i boxwork, le folia (Hill & Forti, 1997). Inoltre tutto il pavimento di crollo è costantemente ricoperto da uno strato, con spessori da decimetrico a metrico, di crosticine di calcite flottante formatasi per evaporazione delle acque del lago sotterraneo: l'eccezionale quantità di questi depositi suggerisce che il processo si sia mantenuto attivo per un lunghissimo periodo di tempo.
Considerate queste caratteristiche si può supporre che la genesi della grotta sia ascrivibile alla costante risalita di acque dal basso che mantenevano il lago sotterraneo ad un livello costante nonostante la forte evaporazione dalla sua superficie.
Nelle zone più profonde della grotta, poi, sono presenti belle cristallizzazioni di calcite macrocristallina, che potrebbero anche fare suggerire una genesi "termale" o comunque ipogenica della grotta (Forti et *Al.*, 2002).
Infine, va segnalato un altro motivo di interesse della grotta: infatti durante l'esplorazione della cavità i Sauditi hanno trovato, in alcuni diverticoli laterali, interessantissimi reperti paleontologici e archeologici, che mostrano con chiarezza come questa grotta fosse conosciuta e visitata nell'antichità.
La dimensione della cavità, le sue caratteristiche morfologiche, la presenza di particolari speleotemi e non ultima la sua facilità di accesso hanno praticamente da sempre attirato curiosi e visitatori , che purtroppo, molto spesso, si sono dimostrati non rispettosi dell'ambiente sotterraneo deturpandolo con scritte (Foto 5) e soprattutto lasciandovi una enorme quantità di pattume.
Ma è un'altra incredibile caratteristica che rende la grotta Murubbeh assolutamente unica e probabilmente ideale per sviluppare un "turismo nel deserto": la sua temperatura interna è infatti costantemente di 16 °C tutto l'anno, quindi circa 8-10 gradi meno della media annuale per l'area.
Questo fatto si spiega con il grande volume interno della grotta, collegato con l'esterno attraverso una piccola apertura alla sommità della stessa: in queste condizioni la cavità risulta essere una perfetta trappola per il freddo. Infatti d'inverno ed anche tutto l'anno, durante le notti particolarmente rigide, l'aria fredda "cade" all'interno della grotta ove si stratifica rimanendovi intrappolata e impedendo all'aria calda estiva e/o diurna di entrare (Fig. 2).

PROBLEMI DI DEGRADO E SALVAGUARDIA DELLE GROTTE NEL DESERTO

Tutte le grotte dell'Arabia Saudita e in particolare quelle di As Sulb Plateau sono in grave pericolo di distruzione a causa sia di eventi naturali sia di azioni antropiche.
Attualmente sono le cause naturali che preoccupano di più: infatti in questi anni si è notato come la sabbia del deserto possa penetrare rapidamente nelle grotte arrivando anche, in alcuni casi, a riempirle totalmente.
E' ovvio che non si può contrastare completamente un fenomeno naturale come la desertificazione, comunque i sauditi stanno seriamente pensando di creare delle protezioni artificiali a difesa dell'ingresso delle più importanti cavità, di cui alcune tra l'altro dovrebbero essere trasformate, almeno parzialmente, in grotte turistiche.
L'altro pericolo deriva dalle azioni di devastazione antropica, che, seppure ancora limitata alle poche cavità con accessi facili suborizzontali, sta aumentando in maniera esponenziale in questi ultimi anni sia perché solo ora la popolazione ha cominciato a conoscere l'esistenza stessa delle grotte, sia perché il progredire della penetrazione antropica, con la creazione di nuove strade asfaltate permette adesso di arrivare in breve tempo e comodamente molto vicino all'area carsica.

Sino all'anno scorso infatti per raggiungere il As Sulb Plateau e le sue grotte era necessario un viaggio di quasi 70 km fuoripista nel deserto, mentre attualmente, come già accennato precedentemente, una grande superstrada proveniente da Riadh passa a meno di 3 km dalle prime grotte...
L'azione vandalica si esplica in varie maniere: lasciando scritte deturpanti sulle pareti, abbandonando o addirittura gettando grandi quantità di rifiuti all'interno delle grotte o infine rompendo, e più raramente, asportando le concrezioni.
Quest'ultima azione è certamente la più grave: infatti se alle prime due è possibile, o sarà comunque possibile in futuro, mettere rimedio, la rottura e l'asportazione dei pochi speleotemi presenti è sicuramente una perdita irreparabile.
Va comunque anche osservato che la presenza di materiale potenzialmente inquinante abbandonato all'interno delle grotte può causare nel tempo un avvelenamento più o meno grave del grande acquifero che si trova alcune diecine di metri al di sotto del deserto e che è di importanza vitale per lo sviluppo agricolo, industriale e civile di tutta questa area dell'Arabia Saudita.
Per tutti questi motivi la Società Geologica Saudita sta pianificando la chiusura con cancelli di alcune delle grotte più belle e di più facile accesso nell'area di As Sulb Plateau (Pint, 2002): questo progetto, comunque, si scontra per ora con la burocrazia saudita e ben difficilmente potrà essere realizzato in tempi brevi. Attualmente quindi la salvaguardia delle grotte della regione è praticamente affidata all'opera di educazione ambientale e carsica sviluppata dalla Società Geologica Saudita attraverso la pubblicazione di libri e articoli e l'effettuazione di ricorrenti cicli di conferenze sull'argomento.

LA SOCIETÀ SAUDITA ED IL TURISMO CARSICO SPELEOLOGICO

Sino ad oggi in Arabia Saudita non ci si era mai posto il problema dell'apertura al turismo delle grotte e questo per un due motivi. Innanzitutto si sapeva troppo poco dei fenomeni carsici in generale e delle cavità naturali in particolare e poi la struttura della società saudita era tale da rendere un simile progetto non interessante economicamente.
La situazione è cambiata radicalmente per quel che concerne il primo punto: infatti l'attività svolta dalla Società Geologica Saudita ha permesso infatti l'esplorazione e il rilevamento di un discreto numero di cavità naturali che, per caratteristiche interne, potevano essere trasformate, almeno in parte, in grotte turistiche. La pubblicazione di queste attività ha fatto sì che il popolo saudita si sia reso conto dell'esistenza di tutto un mondo sotterraneo al di sotto del loro Paese e abbia imparato a conosceme almeno alcune caratteristiche e peculiarità principali.
Ancora più importante è risultata la trasformazione della società saudita, che in questi ultimi anni ha cominciato ad aprirsi ad alcune istanze comuni al mondo occidentale, quali quella appunto del tempo libero e delle attività ad esso correlate.
Infatti l'aumentata mobilità interna ha permesso ad un numero sempre maggiore di sauditi di viaggiare attraverso il proprio paese venendo in contatto con le peculiarità delle aree carsiche e in parte anche delle cavità naturali: questo ha comportato, come accennato nel paragrafo precedente, gravi problemi di conservazione delle cavità naturali e di salvaguardia dall'inquinamento degli acquiferi carsici a queste correlati. Per tutti questi motivi la Società Geologica Saudita ha avanzato l'ipotesi di trasformare alcune grotte, in maniera assolutamente rispettosa del loro ecosistema, in cavità turistiche ad ingresso rigorosamente controllato, sia per rispondere alle richieste turistiche che per regolare gli accessi e quindi limitare i pericoli di danneggiamento e/o inquinamento.
La stragrande maggioranza delle grotte attualmente conosciute si trovano all'interno dei deserti dell'Arabia Saudita. Questo fatto, lungi dall'essere un ostacolo, può rappresentare effettivamente un punto di forza per la loro turisticizzazione. Infatti in generale il clima delle normali grotte turistiche (più freddo e molto più umido di quello esterno) può rappresentare un problema per i visitatori. Al contrario, il clima delle grotte nel deserto è, per tutto l'anno, molto più tollerabile e piacevole di quello esterno.
Se si considera che nel As Sulb Plateau le temperature diurne possono raggiungere anche i 50-55 °C e che, in estate, di notte non si scende mai sotto i 28-30 °C si può facilmente capire come un "frigorifero naturale" come la grotta di Murubbeh possa divenire una attrazione estremamente interessante.

Inoltre la grotta di Murubbeh presenta al suo interno grandi aree subpianeggianti seguite da passaggi un poco più complessi ma sempre di dimensione non troppo angusta, e pertanto risulta facilmente trasformabile in grotta turistica con percorsi differenziati in funzione delle richieste dei visitatori (Fig. 8). Il primo tratto infatti potrebbe essere riservato ad un turismo familiare, che comprenda anche donne e bambini: nella grande sala (zona grigia di fig. 8) poi troverebbero posto ampie zone attrezzate per la sosta in modo da permettere a molte persone contemporaneamente di profittare dell'eccezionale clima della cavità.
L'apertura di una grotta turistica sarebbe quindi una delle pochissime attività in cui tutta la famiglia saudita nel suo complesso potrebbe svagarsi.
Ma il turismo possibile in questa grotta non si risolverebbe solo in questo, infatti dal grande salone, poi, partirebbero vari "sentieri attrezzati" sia per la visita sportiva delle altre zone della grotta (sentiero 2), che ovviamente a seconda dei casi sarebbe consentita solo a coloro che abbiano capacità fisiche e tecniche adeguate, sia riservati alla ricerca scientifica (sentiero 3).
Dalla grotta di Murubbeh poi dovrebbero partire una serie di percorsi esterni, in modo da collegare il punto principale di turisticizzazione dell'area con qualche altra grotta (quale per esempio Friendly cave e Surprise cave), da attrezzarsi esclusivamente per percorsi trekking. Questo per permettere di meglio conoscere non solo il fenomeno carisco della regione ma anche e soprattutto l'ambiente del deserto che tanta parte ha avuto nella vita delle generazioni passate e attualmente sta letteralmente scomparendo dallo stile di vita dei giovani sauditi.
Sulla base delle caratteristiche delle grotte di As Sulb Plateau si può supporre che un flusso turistico di alcune diecine di migliaia di persone l'anno non dovrebbe alterare in maniera sostanziale i parametri microclimatici delle grotte. Infatti la stragrande maggioranza dei turisti si concentrerebbe esclusivamente nella prima parte della Grotta Murubbeh, mentre un 10-20% massimo verrebbe suddiviso tra le altre grotte e i trekking esterni.
Dal punto di vista pratico, poi, tali livelli di frequentazione turistica non dovrebbero essere difficili da raggiungere considerato l'ampio bacino di utenza costutito dal Riadh (4.7 milioni di abitanti) e dintorni.
Lo stesso tipo di "turisiticizzazione" a più livelli, una volta testato in questa area dovrebbe essere in seguito anche applicata ad altre zone del paese e soprattutto a quelle laviche non lontane da Jeddah o Medina.

CONCLUSIONI

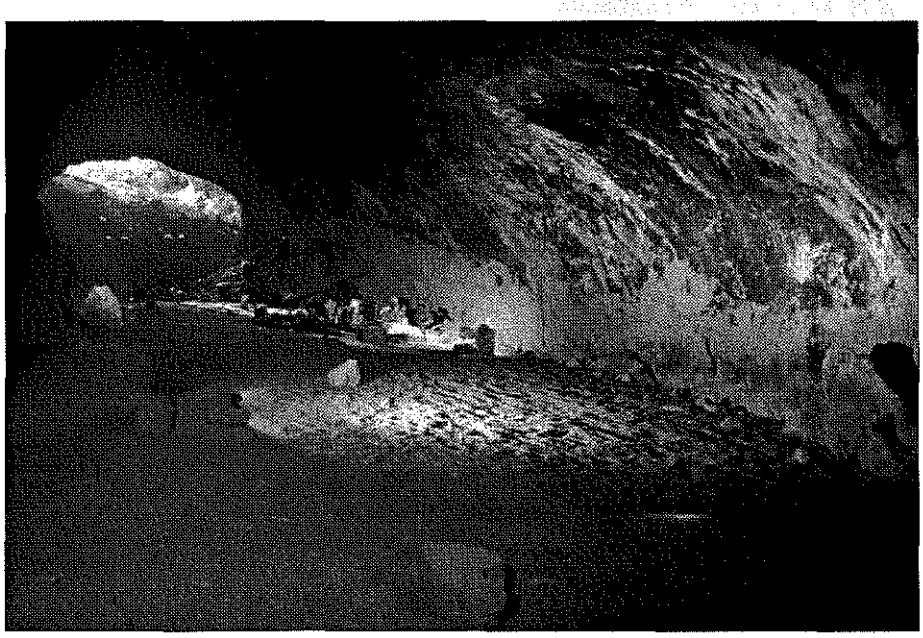
Probabilmente il tipo di turismo carsico-speleologico che meglio si addice alla Società Saudita è quello prevalentemente ecologico-naturalistico in superficie assieme con differenti livelli di fruizione di alcune grotte o parte di esse (grotte propriamente turistiche, grotte per escursioni sportive o veri e propri trekking).
Dal punto di vista economico, tuttavia, prima di iniziare a stendere un piano dettagliato per lo sviluppo di grotte turistiche in Arabia Saudita è di fondamentale importanza fare una valutazione del tipo e del volume di traffico turistico che questa nuova attività può innescare.
Questo ovviamente dipenderà direttamente dal modo in cui la trasformazione in atto della società saudita proseguirà nel futuro: qualora il trend evidenziato negli ultimi anni venisse confermato allora sicuramente anche l'Arabia Saudita entrerà di diritto a far parte del sempre più grande gruppo dei Paesi che hanno un fiorente turismo carsico speleologico.
In particolare l'area carsica di As Sulb Plateau sembra essere ideale per la realizzazione dei primi percorsi turistici sia in grotta che all'aperto e questo perché si trova a una distanza tale dalla capitale Riadh che permette gite in giornata. Inoltre la grande quantità di grotte conosciute rende estremamente facile l'individuazione di percorsi differenziati in grado di soddisfare ogni tipo di richiesta da parte del pubblico: da semplici percorsi adatti a tutta la famiglia a esplorazioni molto più complesse e faticose, tali da richiedere un bagaglio tecnologico da vero speleologo.
Non va dimenticato infine che lo sviluppo di un turismo ecocompatibile e consapevole permetterà di mantenere in sicurezza le qualità delle acque accumulate negli acquiferi che si sviluppano al di sotto delle cavità naturali e che sono di importanza strategica per l'Arabia Saudita e che attualmente sono a grave rischio di contaminazione.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Saudi Geological Survey e il suo presidente Dr Mohammed Tawfiq per il supporto da sempre fornito non solo all'esplorazione speleologica delle grotte di questo paese ma anche al Progetto di Turismo Speleologico in particolare.

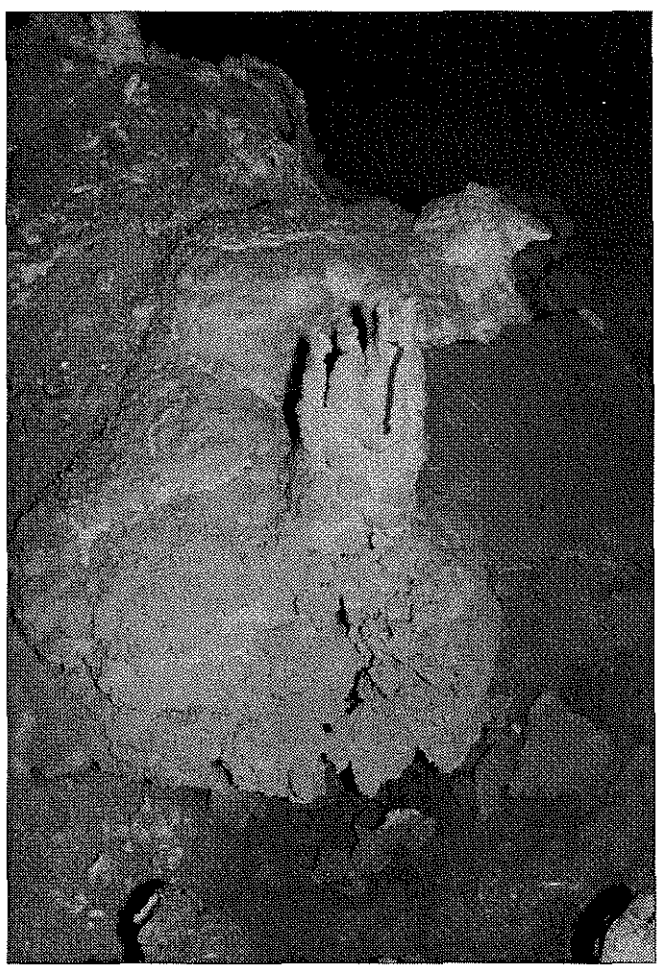
BIBLIOGRAFIA

- BENISCHKE R., FUCHS G., WEISSENSTEINER V. 1997 *Speleological investigation in Saudi Arabia* Proc. Int. Congr. of Speleol. Le Chaux de Fond, v.8 p. 425-428
- CIGNA A., CUCCHI F., FORTI P. 2000 *Engineering problems in developing and managing show caves.* Proc. Int. Symp. Engineering Geology, Kathmandu, Nepal, J. Nepal Geol. Soc. v.22, p. 85-94
- CIGNA A.A. & BURRI E., 2000 *Development, management and economy of show caves.* Int. J. Spel., 29B (1/4), 1-27.
- FORTI P. 2003. *Le grotte sotto il deserto: brevi note a margine di una spedizione in Arabia Saudita* Sottoterra, 114, pp. 34-43.
- FORTI P., GALDENZI S., SARBU S. 2002 *The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects.* Continental Shelf Research 22, p. 2373-2386
- HILL C.A., FORTI P. 1997 *Cave minerals of the World* Nat. Spel. Soc. Huntsville, 464 pp
- PINT, J., 1997, *Return to the Desert Caves of Saudi Arabia.* NSS News, National Speleological Society, Vol 55, No 11, November, pp. 329-335.
- PINT J., 2002 *Preliminary survey for caves suitable for tourism in the kingdom of Saudi Arabia: As Sulb Plateau* Open-File report of S.G.S. n.2002-10, 28 pp
- PINT J., 2003 *The Desert Caves of Saudi Arabia*, Stacey International, London, 120 pp
- SCHYFSMA E. 1978 *As Sulb Plateau, General geology* in Al-Sayari S.S., Zötl J.G. (Eds.) *Quaternary period in Saudi Arabia* Spring-Verlag, NY, 164 pp

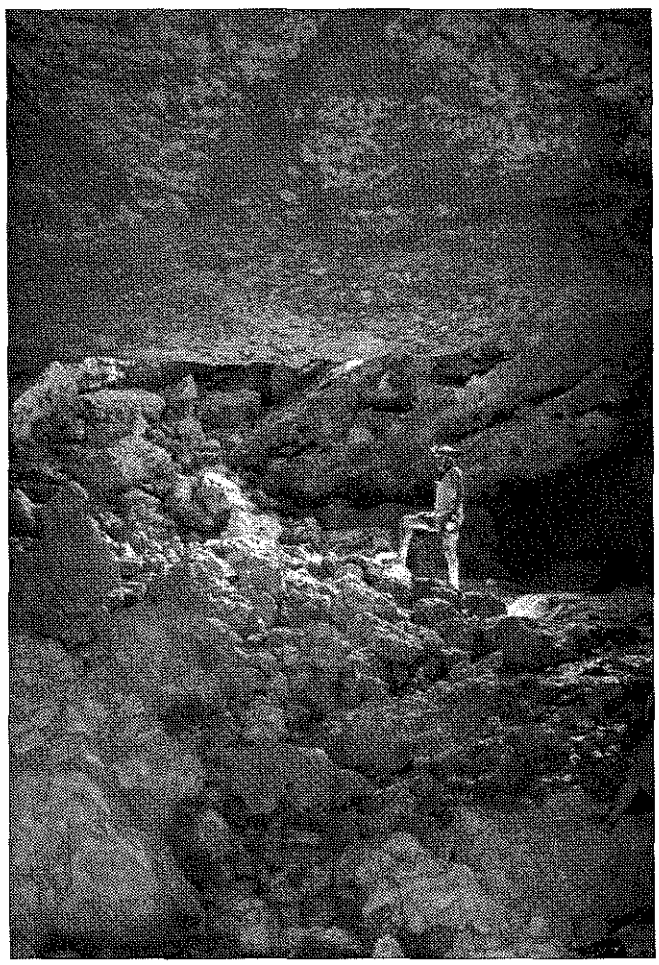


◀ Foto 1
Il campo interno situato all'ingresso del tubo di lava Kahf al Hibashi, situato nell'Harrat Buqum a circa 400 km ad est di Jeddah, è lungo più di 400 metri.

▲ Foto 2
Un piccolo foro che permette l'accesso ad una grotta del As Sulb Plateau.

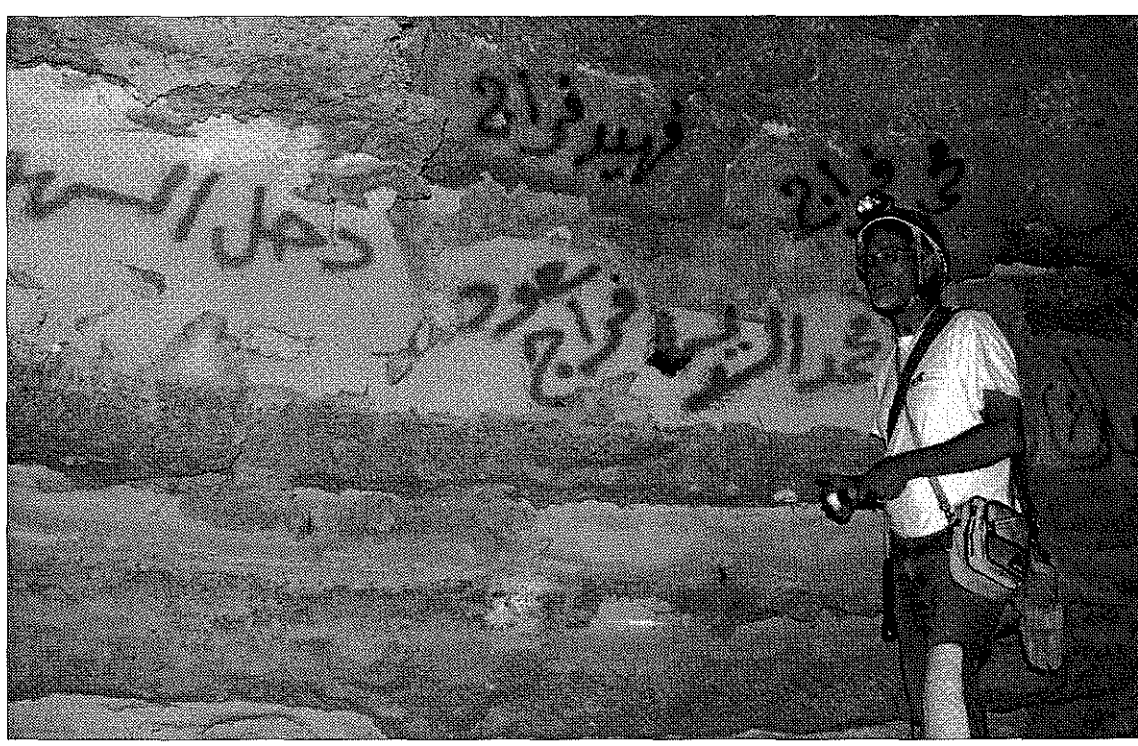


◀ Foto 3
La temagmita di gesso della Surprise cave.



◀ Foto 4
Sul fondo dei depositi di crollo che caratterizzano l'ingresso alla grotta di Murubbeh, da questo punto si diparte il grande salone, con diametro approssimativamente di 50 metri, che possiede un pavimento di sabbia suborizzontale. La popolazione del vicino villaggio di Shawiah ha utilizzato questo salone da moltissimo tempo come luogo di relax.

▼ Foto 5
Scritte recenti che deturpano le pareti della grotta Murubbeh.



IL PAESAGGIO CARSICO NELLE EVAPORITI DEL BACINO CROTONESE: PECULIARITÀ ED IPOTESI DI VALORIZZAZIONE

Antonio Moretti, Gianluca Ferrini

Dipartimento di Scienze Ambientali – Università dell'Aquila

RIASSUNTO

Vengono presentate le forme, i fenomeni e le peculiarità che caratterizzano i paesaggi impostati sui complessi evaporitici, con particolare riguardo all'area carsica compresa tra il margine orientale della Sila ed il Mare Ionio (Bacino Crotonese auct.). Vengono anche analizzate le potenzialità del territorio in relazione al rapporto comunità umana-ambiente naturale. Vengono infine proposte alcune strategie per una corretta protezione e valorizzazione del patrimonio storico, paesaggistico e naturalistico.

INTRODUZIONE

Il paesaggio carsico nelle formazioni evaporitiche (foto 2) costituisce un ambiente raro, dalle forme suggestive, nel complesso molto differente rispetto a quello delle corrispondenti regioni carbonatiche, anche se vi sono riconoscibili molti degli elementi fondamentali del carsismo classico: doline, inghiottitoi, *carren*, reti idriche sotterranee, ampie cavità ipogee ecc.

Le rocce evaporitiche infatti (gessi, anidridi e salgemma) hanno una elevata solubilità ed una scarsissima resistenza all'erosione (foto 3); questi due fattori fondamentali si traducono in una evoluzione accelerata del paesaggio esposto agli agenti esogeni, che si completa con la scomparsa degli affioramenti in tempi mediamente 10 volte inferiori rispetto a quelli delle corrispondenti formazioni calcaree. Questo fatto fa si che nel carsismo sui gessi, a differenza di quello su calcari, i processi di dissoluzione ed erosione siano più efficaci sulle rocce esposte agli agenti atmosferici rispetto a quelle coperte da suolo o dalla vegetazione. La superficie esposta della roccia è sempre attraversata da fittissime reti di microcarren a spaziatura centimetrica, crateri da pioggia e scanalature da erosione eolica.

La mancanza di una significativa dissoluzione biochimica da parte della copertura vegetale, e la costante presenza di una consistente frazione pelitica insolubile, fa si che l'epicarso sia molto ridotto o del tutto assente. L'assenza di una consistente rete di fratture superficiali progressivamente allargate dalla dissoluzione permette quindi un modesto ruscellamento superficiale con la formazione di valli cieche che durante le precipitazioni più abbondanti recapitano in brevissimi periodi (poche ore o decine di minuti) notevoli quantità di acque e carico solido in inghiottitoi anche di grandi dimensioni.

Nel tempo il progressivo ma rapido arretramento verso monte del punto di assorbimento dell'inghiottitoio, più o meno accompagnato dal crollo delle volte di cavità sotterranee, porta alla formazione di profonde forre, che possono finanche trasformarsi in veri e propri *canyon* di attraversamento, come nel caso del vallone Comò che interseca l'intero altopiano delle Vigne di Verzino.

Altro elemento peculiare delle rocce evaporitiche è la costante associazione con sedimenti pelitici e la presenza di una notevole frazione di materiale argilloso disperso all'interno della roccia od interstratificato con questa. Il paesaggio che ne risulta è quindi molto spesso caratterizzato, nelle regioni temperate, da una assoluta dominanza di masse argille residuali a formare collinette e calanchi, dalle quali solo sporadicamente affiorano piccoli duomi di roccia o blocchi di gessi ed alabastri, a segnalare la presenza della serie evaporitica sepolta. Talvolta (è il caso di Lattarico, in Calabria centrale) la serie evaporitica è completamente sepolta, e solo il crollo improvviso di una cavità e la conseguente comparsa di voragini all'interno delle plaghe argillose segnala la presenza insospettata di evaporiti sepolte a pochi metri di profondità.

Più frequentemente, a causa dell'elevata plasticità delle evaporiti, all'instabilità delle cavità sotterranee si accompagna il piegamento progressivo degli strati sovrastanti, che si esprimono in superficie con doline di subsidenza imbutiformi mantellate da plaghe argillose, il cui unico punto di assorbimento è un inghiottitoio centrale (foto 4).

IL PAESAGGIO CARSICO DEL BACINO CROTONESE

Solo in regioni con valori di piovosità relativamente bassi, come nel nostro caso i versanti ionici della Calabria, è possibile trovare estesi affioramenti di rocce evaporitiche; gli affioramenti di salgemma (foto 7) esposti lungo la valle del fiume Vitravo, nei pressi di Zinga, sono unici in Europa. Nonostante le basse precipitazioni (> 800 mm/anno), nel Bacino Crotonese è tuttavia possibile misurare tassi di dissoluzione della roccia superiori al mm/anno nelle anidridi esposte all'azione degli agenti esogeni. Valori ancora più alti sono riscontrabili su altre litologie evaporitiche (alabastri, salgemma), all'interno delle reti idriche sotterranee e lungo le fiumare, dove all'effetto della dissoluzione si aggiunge quello dell'abrasione meccanica operata dal materiale trasportato dalle acque durante i periodi di piena. In alcune cavità attive del Bacino Crotonese (grave Grubbo, risorgiva del Vallone Cufalo) sono stati osservati abbassamenti delle soglie ed erosioni laterali di alcuni cm in occasione di periodi di alluvionamento particolarmente intensi.

Il paesaggio è quindi in rapida evoluzione, con ripide scarpate in arretramento per crollo che delimitano ampie strutture tabulari *(mesas)* o monoclinali (*cuestas*) appoggiate sulle formazioni argillose, e solo la recente età del suo sollevamento tettonico al di sopra del livello del Mare Ionio (ª 700.000 anni) ne ha permesso la conservazione. I pacchi evaporitici, di spessore mai superiore ai 200 m, sono intensamente carsificati, e formano acquiferi a rapida circolazione confinati verso il basso da formazioni impermeabili (argille) o semipermeabili (Calcare Evaporitico, Tripoli), che spesso accolgono diffuse mineralizzazioni a zolfo e falde solfuree a più lenta circolazione.

Gli insediamenti antropici sono stati spesso penalizzati dalle formazioni evaporitiche. Il suolo è poco produttivo a causa dell'elevata salinità e dalla carenza di materia organica, le acque che si raccolgono nei serbatoi sotterranei e quelle sorgive sono molto basiche (*acqua amara, fonte amara* ecc. sono toponimi frequenti) ed inadatte sia ad uso potabile che per l'allevamento del bestiame, e talvolta non utilizzabili neppure per uso irriguo perché salmastre o sulfuree. La potente città medioevale di Acerentia, arroccata su di una pittoresca "*mesa*" di gessi ed anidridi (foto 5) ai margini orientali della Sila, nei pressi dell'attuale Cerenzia, è stata definitivamente abbandonata alla fine dell'ottocento per l'impossibilità di approvvigionarla di acqua di qualità accettabile. Gli intensi fenomeni di erosione cui sono soggette le pareti degli edifici (foto 6), costruiti con lastre di gessi ed anidridi, mettono in evidenza la scarsa resistenza della roccia agli agenti atmosferici; in aggiunta l'acqua che penetra all'interno delle fratture causa l'idratazione della anidride in gesso, con conseguente aumento di volume del materiale e progressivo allargamento delle fratture fino al crollo della struttura.

Tuttavia a questo ambiente apparentemente ostile all'uomo si accompagna spesso un paesaggio naturale pieno di vitalità e di bellezza. La roccia esposta, che per composizione chimica e facile erodibilità non offre substrato a muschi e licheni, si staglia candida tra il verde smagliante dell'erba che cresce vigorosa sulle plaghe di argilla; i profondi canaloni, inutilizzabili per l'uomo, sono occupati da antiche selve d'alto fusto, le cui ombrose profondità accolgono le ultime comunità selvatiche; le pareti dirupate, dai crolli frequenti, sono attraversate da migliaia di fratture, cavità e recessi che forniscono inaccessibile rifugio a rapaci e chirotteri; le numerose vene d'acqua, dal percorso effimero, sono popolate da rare varietà di anfibi; sui margini delle sorgenti sulfuree o salmastre (foto 8) colonie di solfobatteri, alghe verdi e piante alofile contendono lo spazio a rigogliose vegetazioni di giunchi.

È un paesaggio per pochi, che unisce alla sua selvaggia bellezza un grande interesse naturalistico (foto 9): solo a chi lo ama rivela i suoi segreti, offre i suoi tesori nascosti in anfratti misteriosi, insospettabili agli occhi dei più. Chi vorrà visitarlo per davvero dovrà essere più di un turista, dovrà percorrere a piedi i suoi profondi *canyon* e le sue ampie fiumare fiorite, pernottare in tenda nelle frequenti piazzole erbose, osservando un cielo stellato tra i più ricchi d'Italia, ascoltando la voce del silenzio cantare tra le rupi. Anche le grotte offrono ambienti assolutamente peculiari e ben differenti dalla cavità classiche della speleologia. Rare e per questo ancora più preziose le concrezioni (foto 1), frutto di un complesso processo bio-chimico attivato dalle colonie di solfobatteri, forse tra gli organismi viventi più antichi del nostro Pianeta.

La loro attività biologica scinde il solfato di calcio dei gessi allontanando lo zolfo come H_2S attraverso risorgenze sulfuree (foto 6), o fissandolo in forma metallica in particolari orizzonti all'interno degli

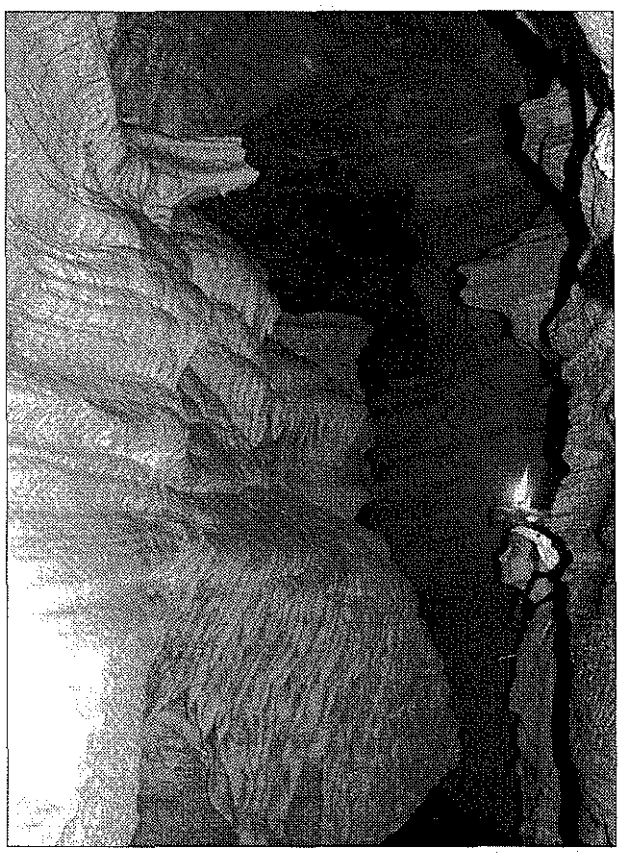
acquiferi saturi. Altri microrganismi, ancora poco studiati, combinano il calcio disciolto nelle acque con il carbonio proveniente dalla fermentazione della materia organica, sempre abbondante nelle cavità, producendo singolari forme di concrezionamento calcareo, travertini e colate lattee nei rami fossili.
Le pareti delle cavità sono scalpellate dalle acque in pressione nella roccia viva; questa, candida in superficie per l'effetto calcificante del sole, rivela nelle grotte un'incredibile varietà di colori (foto 10), dal rosa dei gessi al nero dei livelli sapropelitici. Il fitto alternarsi delle lamine della stratificazione, estremamente interessanti per i geologi, traccia sulle pareti e sulle volte splendidi arabeschi, che si illuminano di mille piccoli diamanti alla luce delle lampade. Vasche, profonde marmitte dalle acque verde smeraldo, cascate, altissime sale e stretti laminatoi completano la scenografia. Molto abbondanti le colonie di chirotteri (foto 11), che trovano sicuro rifugio nel fitto reticolato delle fratture.
Non sono grotte facili. Le volte, specie nelle doline di ingresso, sono molto franose (foto 12); le precipitazioni improvvise, scorrendo sulla copertura argillosa, possono riempire le cavità con inaudita violenza in poche ore; molti passaggi, a causa dell'abbondante frazione argillosa, sono estremamente scivolosi; le pareti armate cedono in breve tempo, per l'erosione dei gessi e l'attacco degli acidi sulfurei sul metallo, obbligando gli speleologi ad un continuo lavoro di ripristino.
Non sono quindi cavità adatte per uno sfruttamento turistico di massa: come la terra che la contiene, vanno rispettate e visitate con intelligenza, sotto la guida di chi le conosce e le protegge da molti anni.

LA VALORIZZAZIONE DEL TERRITORIO

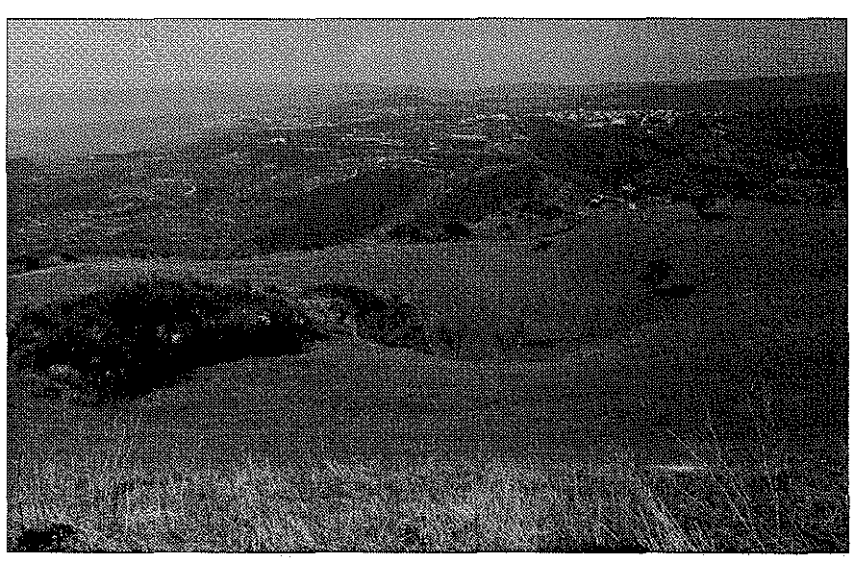
Il Bacino Crotonese ha sostenuto per secoli consistenti realtà minerarie, situate prevalentemente sulle formazioni evaporitiche. Particolarmente importanti furono i giacimenti di zolfo di S.Domenica e di S.Maria del Conero, tra Strongoli e S.Nicola dell'Alto, che occupavano nel periodo di massimo sviluppo oltre 5.000 operai; i cantieri furono abbandonati alla fine degli anni 60, ed attualmente sono in fase di completo degrado. Importanti furono anche le miniere di salgemma di Zinga-valle Cufalo, anche esse chiuse da decenni per la loro elevata pericolosità: attualmente l'attività mineraria prosegue solo presso belvedere di Spinello con il metodo della salamoia calda, causando frequenti fenomeni di subsidenza e notevole danno al territorio.
Sono presenti anche resti di piccole coltivazioni di gessi ed alabastri eseguite negli anni 50-70, anche esse interrotte per la mancanza di un adeguato sistema strutturale.
Anche l'attività agricolo-pastorale, un tempo importante fonte di reddito, è attualmente in netto regresso, sia a causa del progressivo inaridimento del territorio, sia di uno sconsiderato rimboschimento effettuato negli anni 60 dall'Opera Valorizzazione Sila, utilizzando specie esotiche non idonee allo sviluppo di suoli, che avrebbero dovuto fornire materia prima per le cartiere di Crotone.
È evidente che al momento la più promettente tra le risorse dell'area è quella turistico-ambientale, favorita anche dalle condizioni climatiche che rendono possibile la fruizione del territorio anche nelle stagioni primaverili ed autunnali (foto 13), offrendo una importante alternativa a località più classiche e conosciute.
Il paesaggio carsico rappresenta in quest'ottica un enorme patrimonio paesaggistico e naturalistico, che può essere difeso e valorizzato offrendolo ad un *target* turistico di alto livello. Di questo patrimonio i ruderi dell'antica Acetentia, i gessi e le grotte di Verzino, il paesaggio a calanchi, le rupi candide, i canyon oscuri e le ampie fiumare fiorite sono forse le gemme più preziose, ma singolarmente non sufficienti a garantire un'adeguata valorizzazione in senso tradizionale.
Per raggiungere questo obiettivo dovranno essere inquadrate nel contesto ambientale e naturalistico della terra che le accoglie (foto 14), nella sua antica cultura e nella storia delle sue genti; andranno poi collegate ad altre realtà turistiche già note come quelle costiere e montane, arricchite con itinerari e percorsi di vario grado di difficoltà ed integrate con le altre risorse del territorio, non ultima quella enogastronomica. Solo così sarà possibile raggiungere uno sviluppo che non sia semplicemente rapina del patrimonio ambientale a vantaggio di pochi grandi complessi turistici, ma crescita reale ed equa distribuzione su tutta la comunità delle ricchezze naturali di questa splendida regione.

BIBLIOGRAFIA

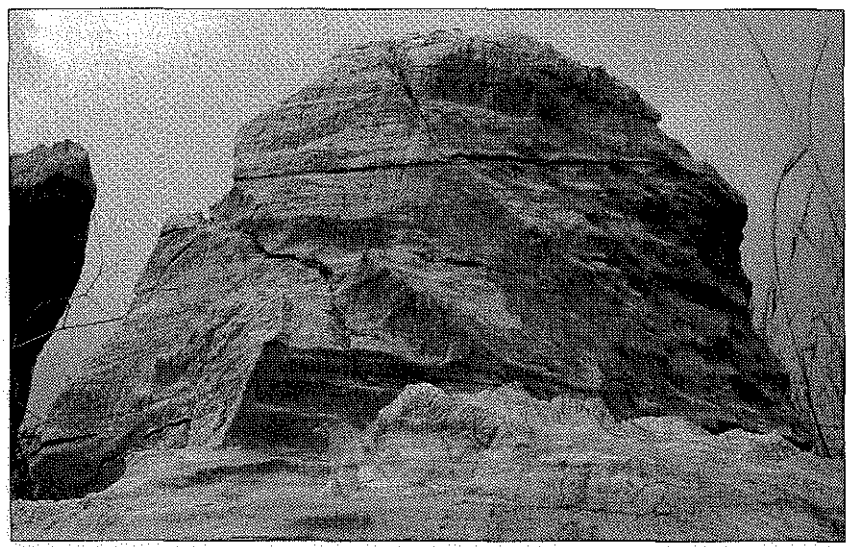
- GRUPPO NAZIONALE DI GEOGRAFIA FISICA E GEOMORFOLOGIA (1998) - *L'area carsica delle Vigne (Verzino, Crotone)*, a cura di GIANLUCA FERRINI. Mem. Ist. Ital.Spel., X, serie II, 126 pp.
- MORETTI A. (1993) - *Note sull'evoluzione tettono-stratigrafica del Bacino Crotonese dopo la fine del Miocene*. Boll. Soc. Geol. It., 112,845-867.



◀ Foto 1
Grave Grubbo, presso Verzino: le concrezioni calcaree si sovrappongono alle gesso-anidridi stratificate.

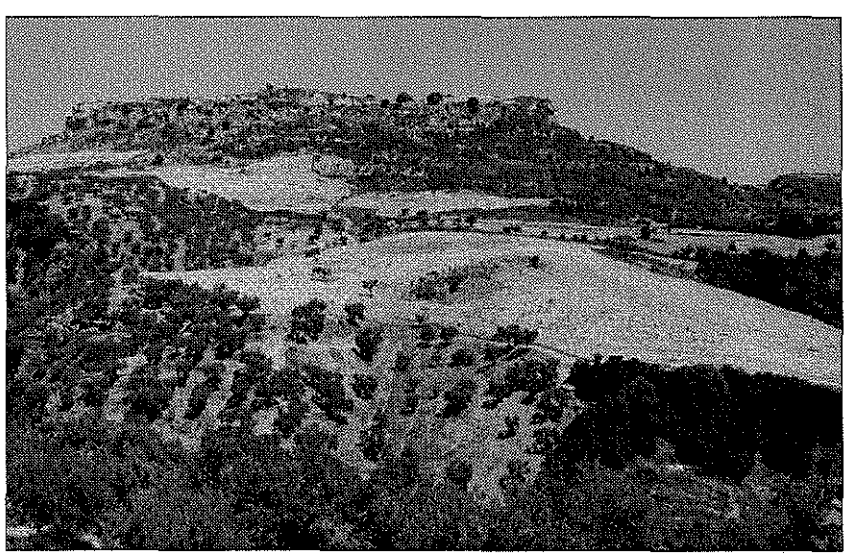


◀ Foto 2
Dolina imbutiforme alla sommità dell'acrocoro di Acerentia, mantellata di argille residuali; sullo sfondo il tipico paesaggio della Presila crotonese.

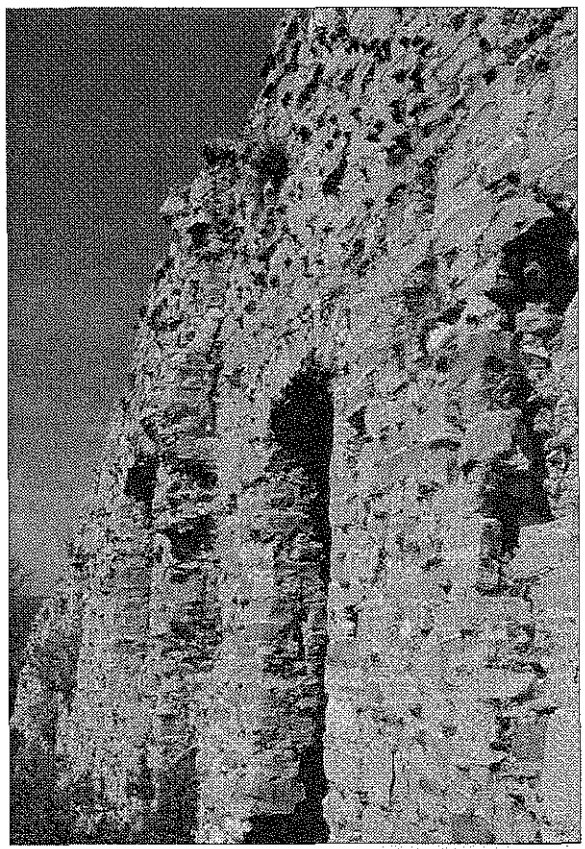


◀ Foto 3
Anidridi stratificate scolpite dal vento e dalle precipitazioni. L'altezza del blocco è circa 35 cm.

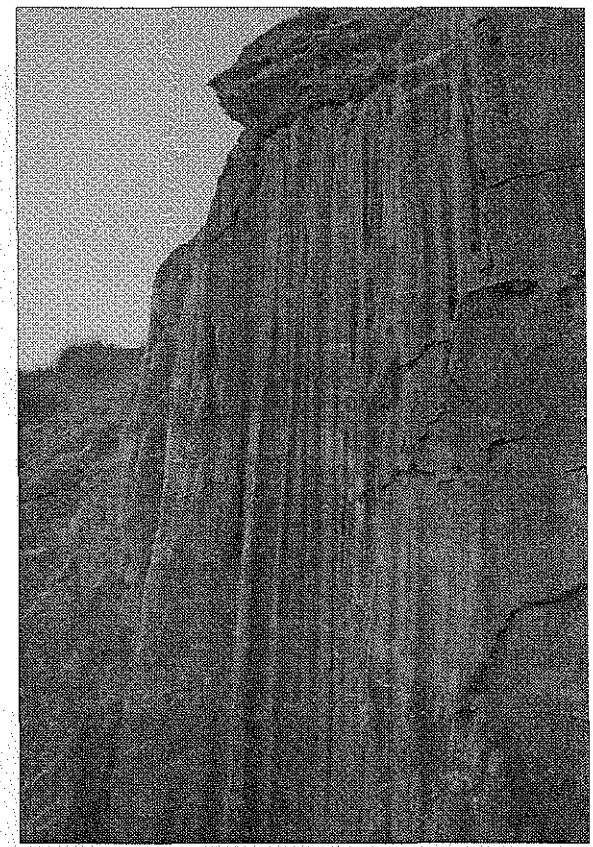
◀ Foto 4
La plasticità dei gessi è particolarmente evidente nel progressivo piegamento degli strati e nella formazione di doline imbutiformi a causa dell'allargamento, per erosione-dissoluzione, di cavità sotterranee.



◀ Foto 5
L'acrocoro di Acerentia, formato da anidridi messiniane stratificate, sovrastanti le argille tortoniane ed il basamento paleozoico.

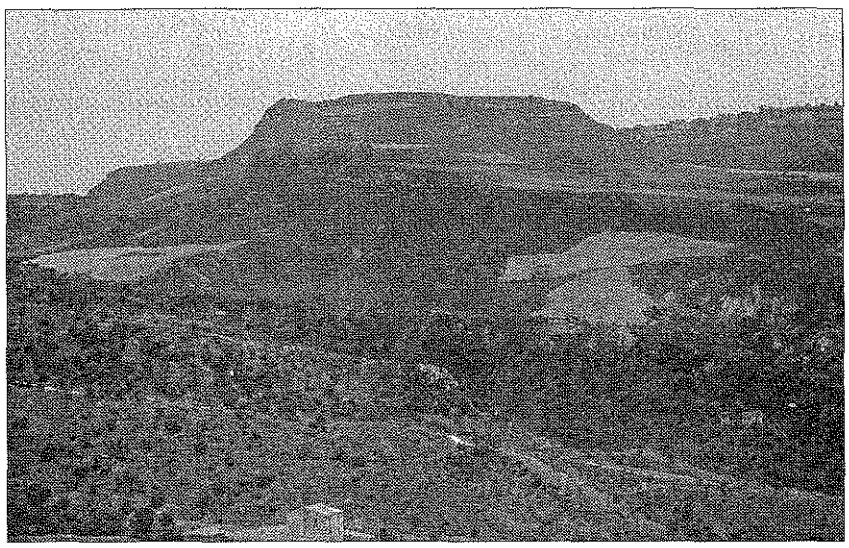


▲ Foto 6
I laterizi sporgenti dal muro di un edificio, nell'antica città di Acerentia, danno un'indicazione sull'entità della dissoluzione operata dagli agenti atmosferici in circa un secolo.



▲ Foto 7
Affioramenti naturali di salgemma presso Zinga (Kr).

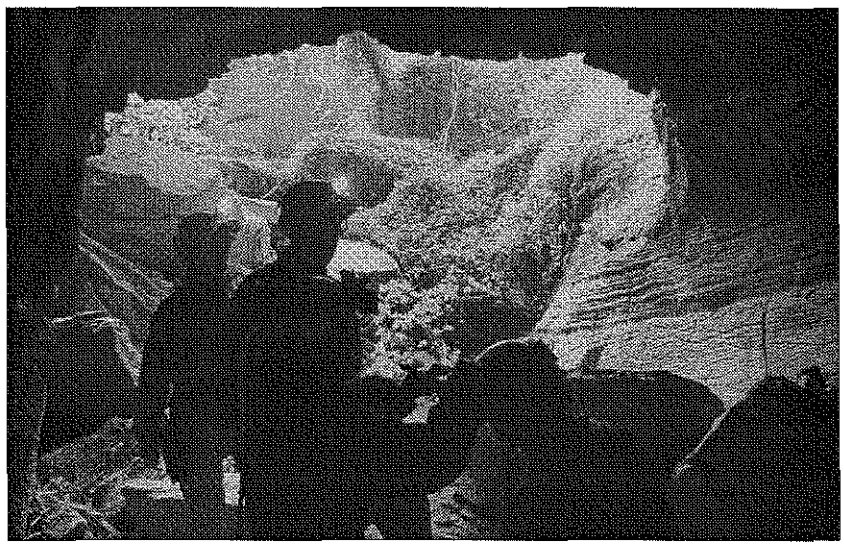
◀ Foto 8
Risorgente sulfurea perenne alla base della formazione evaporitica messiniana nel Vallone Cufalo, Kr.



◀ Foto 9
Timpa del Castello, presso Verzino. In basso, la profonda fiumara del fiume Lese (sito protetto Bioitaly) incide le formazioni cristalline paleozoiche.

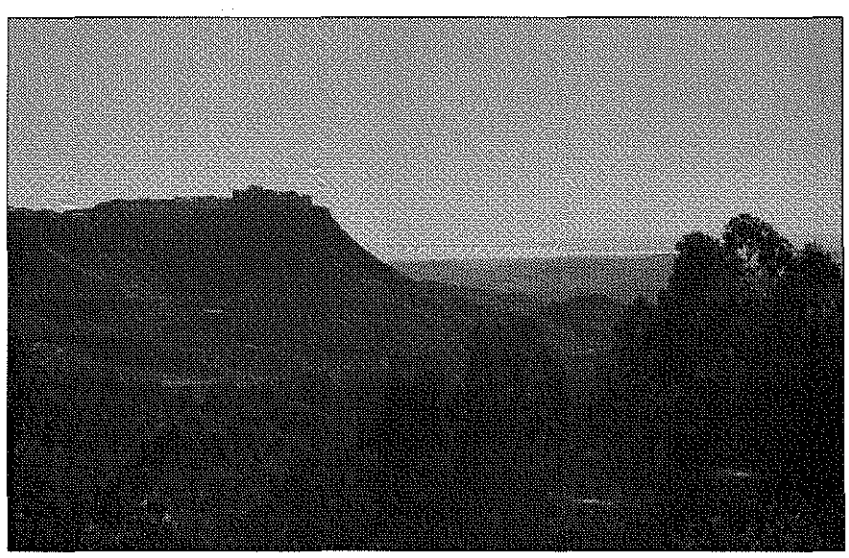
◀ Foto 10
Splendidi arabeschi disegnati dalla stratificazione delle gesso-anidridi sulle volte della Grave Grubbo.

◀ Foto 11
Le grotte di Verzino ospitano numerosissime comunità di chirotteri, segno inequivocabile di un equilibrio ambientale ancora non compromesso dall'attività antropica.



◀ Foto 12
La dolina di ingresso della Grave Grubbo, vistosamente interessata da fenomeni di crollo che si ripetono in occasione di eventi meteorici eccezionali.

◀ Foto 13
La fiumara del Lese, nel dicembre 2002. Un ottimo punto di sosta nei pressi dell'ingresso inferiore della Grotta del Palummaro.



◀ Foto 14
Il paese di Strongoli visto dall'area mineraria di S.Domenica. Sullo sfondo il golfo di Crotone e la penisola di Capo Colonna.

LIPIZZA-CARSO TRIESTINO: UNA DOLINA SANTUARIO, UNA CISTERNA D'ACQUA RICCA DI ENERGIA

A. Tremul R. Calligaris

Associazionne Culturale Ere Remote - Trieste

RIASSUNTO

Nel complesso di Lipizza sul Carso triestino, allevamento di cavalli per la corte di Vienna ufficialmente dal 1580, esiste dall' '800 un luogo che è passato per tradizione popolare da posto di grande tranquillità ai riti legati alla Madonna di Lourdes e con essa all'acqua. Dopo la frequentazione anche con processioni provenienti direttamente da Trieste cadde nell'oblio durante il periodo titino per essere ripreso una decina di anni fa. Il luogo e l'acqua di una cisterna riscoperta di recente sembrano emanare energia, e nel silenzioso mistero molti raggiungono la dolina per trovarvi sollievo.

Alexander Alois Radel, responsabile dell'equile, usava cercare tranquillità nella dolina che vedeva come una "perla del Carso", dove fece porre una targa (1821) ricordando il poeta latino Ovidio. Uno dei suoi successori Karl Grünne visse per 27anni a Lipizza, fino al 1875 e pare che anch'esso trovasse benessere nelle ore trascorse in quella dolina. I collegamenti religiosi si rifanno a Edmondo Legat, cappellano di Lipizza. La piccola conca venne dedicata alla Madonna di Lourdes domenica 5 maggio 1889. Don Edmondo venne consacrato sacerdote il 20/08/1891 a 43 anni. La statua della Vergine venne posta in una nicchia - grotta domenica 1° maggio 1892 "quale segno di gratitudine per sciogliere un voto" da parte dello stesso cappellano.

Dal 1908 la Madonna è considerata miracolosa: si tramanda che una bimba cieca dalla nascita nel guardare la statua riacquistò la vista. Nel 1925 gli speleologi del CAI - Alpina delle Giulie rimasero bloccati da un'inondazione nell'Abisso Bertarelli in Istria. Si ritennero salvati dalla Madonna e tutti si recarono nella dolina ad accendere la candela di estrema riserva. In seguito molte furono le processioni, numerosi gli ex voto. Nell'anno delle acque dolci particolare attenzione va rivolta alla cisterna. Decine le bottiglie e bottigliette di fine '800 e primi '900 raccolti nel deposto di terra rossa che la ha parzialmente riempita. Un rito legato a Lourdes, ancora perpetuato dai numerosi fedeli. Un luogo libero assolutamente avulso da sfruttamenti commerciali, che vede sempre maggiori frequentazioni.

LIPICA (LIPIZZA), PICCOLO TIGLIO

Lipizza, oggi Lipica, alle spalle di Trieste, è nota da oltre 400 anni per l'allevamento dei cavalli bianchi che venivano qui allevati e poi mandati a Vienna per la scuola spagnola d'equitazione. Il nome dovrebbe derivare da Lipa, piccolo tiglio dunque un simbolo da sempre nei paesi slavi. L'origine dell'allevamento non è argomento di questa relazione ma vale la pena di riassumerne le date fondamentali.

Alla fine del '400 la zona era ancora soggetta alle scorrerie dei Turchi, mentre nei periodi di maggior tranquillità i problemi riguardavano il taglio della legna di frodo o il pascolo abusivo, problemi questi ultimi che si ripeteranno nei secoli, in particolare con la comunità di Gropada.

Da sempre villa del Vescovo, venne affittata (16/5/1543) dal vescovo Piero Bonomo a Giovanni Maria Prospero Todeschino per l'annuo censo di 10 ducati da 6 lire, amministrata dal vicario Francesco Ziscovich a nome del nuovo vescovo Francesco Risano. L'affitto al Todeschino continuò nel triennio 1547 - 1549. Il villaggetto contava tre fattorie con tre famiglie, che annualmente contribuivano al vescovo 36 lire, 6 galline, 6 focacce, 6 carri di legna e 3 di fieno. Il 2 aprile 1574 l'arciduca Carlo d'Austria stipulava una convenzione con il vescovo Giovanni de Betta per avere la villa di Lippizza[1]

[1] Nel lavoro il nome della località verrà riportato sempre nella grafia trovata nei singoli documenti.

per 50 fiorini all'anno. Nel gennaio del 1579 furono avviate le trattative tra l'arciduca Carlo e il vescovo Nicolò de Coret per l'acquisto di Lipizza. La lettera di fondazione dell'allevamento è datata 19 maggio 1580 e nell'anno successivo venne avviata l'attività. L'arciduca nominò primo direttore il patrizio triestino Francesco de Jurco, cui successe il figlio Pietro. La carica rimase a triestini fino al 1641, poi passò ad "esteri", sempre su nomina imperiale.

LA CHIESA

La chiesetta venne eretta verosimilmente con le ristrutturazioni dell'allevamento volute da Leopoldo I°, imperatore dal 1658 e venne dedicata dapprima a Sant'Antonio abate, poi a Sant'Antonio da Padova, protettore degli animali. E'proprio del 1658 un documento del parroco della pieve di Šveti Tomaž di Gročana, da cui Lipizza dipendeva, che parla del dirvi messa ogni domenica e nelle festività.
Nel 1703 l'edificio venne rifatto a carico dell'erario, nel 1710 con decreto di Giuseppe I°, si stabilì la presenza in loco di un sacerdote. In seguito il personale di servizio a Lipizza era così organizzato, su nomina dell'Oberleitung des K.K. Oberstallmeister zu Wien (Direzione Generale dell'Imperial Regio Scudiere Superiore di Vienna):

1 Gestütmeister	*Capo allevamento*
1 Controlor	*Controllore*
2 Unterbeamte	*Impiegato subalterno*
1 Caplan	*Cappellano (che seguiva anche la scuola)*
2 Pferdeärtzte	*Veterinari*
16 Gestütknechte	*Addetti*

TRA STORIA E LEGGENDA

Nel 1995 venivamo contattati perché a Lipizza era stato scoperto un vano sotterraneo, in una dolina nota come Vrtača (orto) che era stata ripulita dopo decenni di abbandono. Era stata per lunghi anni luogo di culto dedicato alla Madonna, probabilmente trascurato nel secondo dopoguerra anche in seguito alle vicende politiche. Agli inizi degli anni '80 un signore di Treviso aveva provato a ripulire la dolina.
Ci venne così raccontata la storia, tramandata nel tempo, che ha subíto le inevitabili distorsioni ma che è servita d'avvio alla presente ricostruzione storica.
Tra il 1848 e il 1875 a guida dell'allevamento di Lipizza vi era Karl Gruen che, ammalatosi di tubercolosi ossea, si ritirò in pace e quiete nella dolina. Lì visse a lungo finché guarì. Per gratitudine verso Santa Maria fece costruire una cappelletta scavando nella roccia viva, e piantò tutto intorno fiori. Durante l'occupazione italiana il luogo diventò meta di pellegrinaggio da parte dei triestini non solo per la sua bellezza ma anche per le numerose guarigioni. Per ringraziamento lasciavano oggetti di ogni genere alla Madonna. Molto nota la storia di Angelica Mezojec di Kovčiče che, cieca dalla nascita, visitò il luogo a quattro anni d'età e guardando la statua venne miracolata e riacquistò la vista. Morì a Mantova a 79 anni.

I PERSONAGGI

Alexander Alois Radel

Sulla parete della dolina è ancor oggi scolpita una scritta

RADEL ALOIS
QUA OVIDIUS IN EXILIO
MDCCCXXI

Ne troviamo l'origine nel libro edito in occasione del terzo centenario della fondazione dell'allevamento (1880). Già allora si parlava della frequentazione da parte dei triestini di questa dolina, considerata una perla ambientale.

La fresca ombra, il bel verde e la pace che qui il visitatore trova, richiamarono in questo posto uno dei capi dell'allevamento nel riposo dopo gli impegni del lavoro. Questo visitatore fece scolpire la seguente iscrizione in una parete di roccia ora fittamente coperta dalle edere, in un audace paragone tra se stesso e Publio Ovidio Nasone.
Alexander Alois Radel fu a Lipizza in qualità di Oberstallmeister (Scudiere Superiore) tra gli anni 1792 e 1835, ai tempi dell'imperatore Francesco II e la dolina aveva già fama di luogo tranquillo.

Karl Grünne

Conte, nato a Vienna nel 1808 da una famiglia di origine olandese del XIII secolo, con il padre generale nato a Dresda, entrò in cavalleria a vent'anni. Dopo 11 anni scelse la carriera politica ma - si dice - essendo favorevole alla secessione degli ungheresi venne nominato aiutante generale e sostituto Grande Scudiere di Sua Maestà, divenendo di fatto responsabile di tutti gli allevamenti di cavalli. Fu a Lipizza dal 1848 al 1875. Di lui si ricordano molte iniziative positive. In un documento del 1897 si legge che "con lui incominciò una nuova era di razionale sviluppo che portò all'odierno (1897) definitivo solido impianto. Provvide riforme, rifabbriche di edifici divenuti insufficienti, costruzioni di nuovi fabbricati per la scuola di equitazione, per la fucina dei maniscalchi, di una stalla pegli animali ammalati, di un grandissimo fienile, di serbatoi d'acqua che fecero cessare del tutto la tema della siccità".
"A menomare la grande carestia che infierì sul Carso nel 1864 contribuì il pronto soccorso del 1859 dal Grande Scudiere conte de Grünne che seppe raccogliere fra i membri dell'augustissima Famiglia imperiale ben 25 mila fiorini."
"Mentre la città di Trieste aveva già nel 1842 tentato il rimboschimento del Carso col mezzo di semi, per incominciare quello con piantine nel 1857 e proseguirlo appena nel 1864 col sistematico imboschimento di particelle di terreno, sei anni prima il conte Grünne aveva inaugurato una coltura boschiva, che continuata fino ai giorni nostri, diede dei risultati eccellenti." Interessante per noi in particolare il passaggio che cita la costruzione delle cisterne. Quasi certo quindi che anche la cisterna rinvenuta nella dolina si deve all'opera di Karl Grünne, mentre pare da escludere una sua grave malattia. Accanto all'iscrizione di Radel, un'altra targa ricorda Karl Grünne, sebbene in un latino maccheronico

IN MEMORIAM COMTE GRUNNE

Negli anni 1714 - 15 vi fu una ricerca d'acqua vicino ad Opicina per trovare una sorgente "per benefizio della razza cesarea di Lippiza". Stante il difetto di acque sorgive per il personale e per i cavalli si portavano le cavalle e i puledri ai due stagni d'acqua perenne di Percidou, oppure a Prestranek, dove avveniva anche l'addestramento di cavalli.
Nel 1817 Markscheider Jettman tentò una perforazione ai piedi del Kokos, ma inutilmente.
"Stante il difetto di acque sorgive è provveduto al bisogno per il personale di amministrazione e di servizio per il cavalli delle scuderie a mezzo di ampie e regolari cisterne, ad altre occorrenze per gli animali ammessi al pascolo sopperiscono i serbatoi aperti in varie situazioni nel bosco."
"Lipizza non possiede acque vive e perciò a varie riprese vennero costruite 6 cisterne nelle quali si convogliano dai tetti a mezzo di grondaie le acque piovane. Queste cisterne provvedono ai bisogni degli uomini Per gli animali le acque vengono raccolte in quattro abbeveratoi sparsi nel bosco".
Il complesso di Lipizza era diviso in cinque parti, in senso orario:
- Zavody a nord, verso Sesana, con la raccolta d'acqua Sklandou lacke.
- Jeblenza, tra le strade per Corgnale e Sesana, nella quale in una dolina molto regolare c'è l'unica sorgente d'acqua, denominata Fontana lacke, che d'inverno dava ghiaccio per tutto l'allevamento.
- Mihlauce tra le strade per Corgnale e Trieste, sul cui fondo si trova una dolina di limitata estensione che è certamente una delle più belle del Carso, sul cui fondo crescono poderosi ed ombrosi ippocastani e di bordi sono chiusi da quercie, abeti rossi, pini neri". Proprio la dolina in argomento.
- Pot Keglice a sud ovest di Zavody.
- Un'altra raccolta d'acqua, l'Adler lacke, aveva ancora sui pilastri della porta due aquile rovinate, dal tempo dell'occupazione francese.

Edmondo Legat

Nato a Stari Trg, sulla sponda orientale del polje di Circonio, il 12/3/1848 divenne sacerdote a 43 anni, il 20/8/1891 e morì l'11/2/1902, a soli 54 anni. Fu Consigliere Concistoriale ad honorem C. et R. Capell. Lipicae, facente quindi parte di una sorta di consiglio segreto del vescovo. Come detto, la nomina del cappellano di Lipizza dipendeva dall'Oberteilung des K.K. Oberstallmeister zu Wien (Direzione Generale dell'Imperial Regio Scudiere Superiore di Vienna).
Molto utile ci risulta la relazione fatta dal Club Touristi Triestini di una loro gita primaverile, del I° maggio 1897. "Ritrovatisi alle 6 antimeridiane al largo del Boschetto ...di là ci si diresse a Lipizza, ove si giunse alle 9 antimeridiane.
Visitata ed ammirata la pittoresca cappella della Madonna, fatta scavare nella roccia dal Cappellano don Legat, in fondo alla dolina ubertosissima sita a sinistra del viale principale ..." Quantomai curioso il seguito: "...si raggiunse il bosco ove secondo il nostro programma era stabilito di far tappa e di merendare con le provvigioni portate seco, il che si pretende esprimere col barbaro termine di pik-nick."
In effetti basta leggere le due lapidi in calcare poste a lato della cappelletta:

IMMACOLATAE COELESTI SUAE MATRI
OPTIMUM QUOD LIPICA PRAEBET PROEDIUM
5/5/1889

GRATITUDINE MOTUS VOTUMQUE DEDICAVIT
ADAPTAVIT ED. LGT. C. ET CAPELL.
1/5/1892

Le date corrispondono tutte alla prima domenica di maggio, il mese mariano, e si sono potute raccogliere varie testimonianze dell'usanza di partecipare alla processione che alla prima domenica di maggio saliva al "santuario" di Lipizza seguendo un preciso percorso: dalla Rotonda del Boschetto per Sottolongera (dove la chiesa ancora non c'era), a Longera (presso l'attuale capolinea dell'autobus N° 35), lungo un viottolo denominato "scala di vacche" fino alla strada Nuova per Basovizza, fino al grande acero, poi al Dazio, lungo la strada postale (dietro alle attuali serre), poi passando per i due stagni lungo la strada verso Lipizza, fino al grande portone e al viale (oggi dietro al distributore di benzina) e sulla sinistra fino alla dolina.
Anche attualmente il così detto santuario di Lipizza è dedicato alla Madonna di Lourdes e le corrispondenze con le date non sembrano casuali. Bernadette vide la Madonna a Lourdes nel 1858. L'autorizzazione al culto giunse nel 1862. L'istituzione della festa liturgica a Lourdes risale all'11/2/1891.
La prima lapide posta a fianco della cappelletta di Lipizza risale al 5/5/1889, Edmondo Legat diventò sacerdote il 20/8/1891 e pose la seconda lapide a Lipizza il 1/5/1892.
Caso volle che morì l'11/2/1902, giorno della festa liturgica a Lourdes.
Molto interessante notare come la cappelletta sia rivolta verso il sorgere del sole nel giorno della festa dell'11 febbraio (circa 105°E), il che fa pensare ad una tradizione molto antica.
Merita ricordare a questo punto le "guarigioni con acqua zampillante" di Lourdes e la presenza della cisterna nella dolina di Lipizza.

Angelica Mezojec

Dietro alla statua della Madonna e nell'ambito della dolina sono stati trovati molti *ex voto*, di fattura e materiale povero, evidenti doni per ringraziamento portati da triestini non particolarmente facoltosi. La tradizione ricorda il miracolo più importante fatto dalla Madonna di Lipizza.
Angelica Mezojec, nata a Kovčiče (Marcossina) nel 1904, cieca dalla nascita, iniziò a vedere nel 1908, durante una visita alla dolina. Tornò spesso in quel luogo e morì probabilmente in provincia di Mantova nel 1983.

L'ALLUVIONE DEL 25 AGOSTO 1925

Nell'agosto del 1925 anche i soci del CAI - Società Alpina delle Giulie, ebbero modo di fare voto alla Madonna di Lipizza per poter avere salva la vita.
Nel corso di un'esplorazione alla VG 602, nota come grotta della Marna, abisso Bertarelli o Zankana jama, nell'intento di giungere a battere il record di profondità (450 metri) un gruppo di soci della Società Alpina delle Giulie rimase bloccato per molte ore da un'improvvisa inondazione. Morirono in quell'occasione due dei cinque operai del paese di Raspo, Biagio e Carlo Bozich, travolti dalle acque. Biagio venne recuperato pochi giorni dopo, i resti del cranio di Carlo furono raccolti qualche anno dopo, sul fondo della grotta. Nelle lunghissime ora d'attesa, bloccati sottoterra, "sorse spontanea l'idea d'un voto alla Madonnina di Lipizza da sciogliere nel caso d'aver salva la vita: portare al piccolo santuario la candela d'estrema riserva che ciascuno porta ricucita nella casacca e davanti all'immagine benedetta verrà accesa in segno di grazia ricevuta". E così andarono a sciogliere il voto a Lipizza i soci G. Urbica, G. Cesca, G. Tevini, A. Devecchi, G. Mahorsich, E. Boegan, V. Malusà, G. Redivo, e G. Jernull, mancarono all'appuntamento R. Battellini e A. Steffè.
Un importante segno della fama assunta nel tempo dalla Madonnina di Lipizza.

IL NOSTRO INTERVENTO

Tra l'inverno del 1995 e il 1996 è stato realizzato uno scavo nella cisterna della dolina, dapprima in collaborazione con la Direzione dell'Allevamento di Lipizza, poi con il Ministero della Cultura della Repubblica Slovena, in particolare con il Museo di Nova Gorica. Al momento della segnalazione del piccolo foro di accesso, al livello del suolo, in corrispondenza tra una parete del lato corto e il tetto in mattoni, risulta che sopra alla struttura vi fosse una piramide di blocchetti calcarei naturali, messi forse a dare forza di sostegno alla volta stessa. Il foro aperto permetteva appena il passaggio del corpo. L'interno del vano, dai lati di 180 X 180 cm, iniziahnente fondo poco più di 1 metro, era ricoperto di terriccio rosso e addirittura castagne e foglie cadute nella stagione autunnale dal fondo dolina.
Lo scavo è stato approfondito per circa un metro, trovando una "stratigrafia"che ripropone diversi tipi di materiali usati nel tempo per pavimentare il suolo della dolina. Dalla terra rossa al ghiaino sabbioso chiaro, ecc., evidente conseguenza del dilavamento naturale della dolina.
Molte le bottiglie trovate, generalmente di piccole dimensioni, alcune di birra, altre di farmacie triestine. Di particolare interesse alcune scritte SENOZEČER EXPORT BIER che fa riferimento alla birreria di Senosecchia fondata nel 1820 e che cessò l'attività nel 1924, JS nelle bottigliette da medicinale, che fa riferimento a Jacopo Serravallo senior, farmacista in Trieste, morto nel 1890. Molti i colli di bottiglia , pochi i vetri colorati, pochi i nomi apparentemente non locali.
La cisterna presenta una struttura quadrangolare regolare con muro in blocchi calcarei una piccola galleria orizzontale quadrangolare in uno degli angoli nella parte bassa, rivolta verso il bordo della dolina e un sistema molto ingegnoso di filtro in un altro angolo ma nella parte adiacente al tetto. Questa parte è costituita da uno scivolo in roccia che supera il filo della parete in modo da far cadere l'acqua liberamente senza scorrere sulla parete. La sua parte esterna ha permesso di riscoprire larghe superfici lastricate, ricavate tra i grandi ippocastani, con lunghezze di almeno un paio di metri. Erano le zone di raccolta dell'acqua. Ricordano i sistemi di raccolta d'acqua effettuati sul Carso triestino in vari posti, come ad esempio la grande cisterna di Rupingrande, la cisterna Badalučka di Banne, la stessa Funtana di Lipizza. La nostra proposta di valorizzazione prevedeva il generale abbassamento (10 - 15 cm) dell'attuale livello di terra sul fondo della dolina, per riportarlo ai livelli storicamente noti e riconoscibili dalle fotografie d'epoca raccolte nel frattempo e che avrebbe permesso di rendere potenzialmente attiva l'intera struttura della cisterna.
Si è voluto invece rifare il tetto della cisterna, invero ormai prossimo al collasso, già realizzato a volta a botte in mattoni. Il lavoro è stato fatto con largo uso di cemento. Poi il tetto è stato ricoperto con una superficie di blocchetti di calcare naturali. Tutto il perimetro della dolina è stato abbellito con l'innalzamento di un muretto carsico perimetrale e la realizzazione di un'aiuola per fiori, con ampio nuovo apporto di terra rossa. Peccato. Ad oggi la struttura più facilmente evidenziabile sarebbe comunque la costruzione esterna per la raccolta d'acqua e il filtro.

LA DOLINA OGGI

Le progressive vicende storiche che hanno visto la frequentazione della dolina almeno dal '700 (Alois Radel), la costruzione della piccola cisterna (Karl Grünne, quasi certamente) la posa della statua della Madonna nella cappelletta (Edmondo Legat, 1889 - 1892), hanno portato ad una tradizione religiosa legata alle processioni e alle visite con richiesta di grazia e conseguente dono di ex voto.
Dopo il "periodo italiano" finito con la seconda guerra mondiale, il luogo è andato dimenticato. Ripreso negli anni '90 è stato sempre più frequentemente mèta di persone che "sentono energia".
La tradizione vuole legata la presenza dell'acqua alla Madonnina, come nella grotta di Lourdes.
Oggi chi si reca nella dolina segue un preciso percorso: dall'ingresso seguendo il sentiero alto fino al cancello e da lì all'ippocastano al centro dolina che risulta con la corteccia quasi liscia.
Molte persone infatti si fermano in piedi presso l'albero e impongono le mani sul tronco. "Sentono" così energia, vibrazioni, una sensazione di benessere e ricarica, sembra infatti che l'energia entri attraverso le mani e si scarichi dai piedi l'energia negativa e che il percorso per portare beneficio debba essere fatto nel modo corretto due volte entro otto giorni.
L'ippocastano rilascia energia che pare paragonabile all'energia rossa, mentre da altri punti della dolina l'energia che viene emessa è quella blu. Interpretiamo tale fenomeno come riferibile a diverse lunghezze d'onda.

LA GEOBIOLOGIA

Secondo questi studi esistono in natura campi di energia e di magnetismo terrestre capaci di irradiare e quindi di condizionare l'ambiente e l'uomo. Queste energie si sviluppano lungo linee sincroniche o di forza sull'intero pianeta, amplificandosi in determinati punti.
In particolare si distingue il reticolo di Hartmann, sviluppato su tutta la terra, con fasce larghe 15 - 20 cm distanziate di 2 - 2,5 m in direzione Nord - Sud e 2 - 3 m in senso Est - Ovest, con un'alternanza regolare di polarizzazioni positive e negative nei nodi.
Il reticolo di Curry è invece disposto diagonalmente a 45 gradi, su tutta la terra, con lati lunghi 3,5 - 4 m. L'incrocio dei due reticoli e l'influenza di altri fattori possono dare effetti molto negativi (acque sotterraneee). Spesso questi luoghi sono stati usati per costruire megaliti, cattedrali, forse addirittura le stesse piramidi.
Nella zona di Trieste sono state individuate varie aree. A Duino il bosco della Cernizza, le falesie del sentiero Rilke, le foci del Timavo. Sul Carso la zona del santuario di monte Grisa, in città lo stesso colle di San Giusto. Nella vicina Istria a Strugnano, dove ci sono un megalito, una croce e una chiesa nel punto in cui nel 1512 apparve la Madonna.
A Nord di Bosovizza, in località Lanisce, i roccioni della dolina sarebbero sede di energie positive; lungo la linea di confine tra Bosovizza e Lipizza, la Globoca dolina darebbe energia negativa essendo sede di un "nodo di hartmann". Poco lontano si sviluppa in profondità la grotta Claudio Skilan, che raggiunge le acque di fondo.
La dolina della madonnina di Lipizza si trova sullo stesso allineamento delle prime due e non è lontana dall'abisso di Lipizza, un pozzo di pochi metri di diametro ma profondo 207 metri.

DA UNA GENERAZIONE ALL'ALTRA

Difficile non intersecare nei ricordi due triestini, Angelo Purini (socio CAI) e il signor Zamperlo.
Il primo fu per lunghi anni volontario a Lourdes e usava ricordare come il primo miracolo che lui aveva notato era quello che nel grande incontro tra ammalati non avvenissero contagi.
Zamperlo invece usava curare - senza fini di lucro - applicando un ferro caldo nell'orecchio (metodo detto "el tic ") in corrispondenza del nervo simpatico.

STATO VIBRATORIO DEI TESSUTI BIOLOGICI E ACQUE A "LUCE BIANCA"

Secondo il dottor Paul Nogier, fondatore e direttore del centro GLEM di Lione, si possono riproporre in chiave energetica, su basi della medicina occidentale, tecniche come l'agopuntura, la riflessologia, la cromoterapia.
Per la bioenergetica auricolare o auricolomedicina l'orecchio esterno non è solo un collettore di onde sonore ma anche un alimentatore bioenergetico, come un'antenna che capta ed emette onde vibrazionali necessarie all'equilibrio dell'individuo che interagisce costantemente con l'ambiente.
Il sistema d'intervento si avvale di filtri (Anneaux tests) che contengono sostanze solide o liquide, chimiche o biologiche, colorate e non, selezionate in base al loro stato vibrazionale.
I filtri vengono avvicinati ed allontanati all'orecchio, interferiscono con il campo vibratorio dell'organismo e rilevano così le vibrazioni. Appoggiando i filtri alla pelle si procede al riequilibrio delle frequenze, che vengono così assorbite dall'organismo.
L'analisi frequenziale è il test usato in auricolomedicina per misurare lo stato vibratorio dei tessuti biologici.
La dottoressa Enza Ciccolo del Gruppo Italiano di Bioenergetica Auricolare (GIBA) ha applicato l'analisi frequenziale al mondo animale, vegetale e minerale e non solo all'uomo. Ha preso in esame le acque "sante" o "miracolose" di Lourdes, Montichiari, Fatima, San Damiano, Mediugorje, quelle di Lipizza sono in corso di studio, che sono state denominate "acque a luce bianca" perché dall'analisi frequenziale mostrano di rispondere a tutte le frequenze dello spettro della luce, e l'insieme dei colori dello spettro costituisce la luce bianca.
La dott. Ciccolo iniziò i suoi studi in occasione di una sua visita a Lourdes, nel marzo del 1984, meravigliandosi anch'essa del mancato effetto di contagio nelle vasche. Analizzò campioni con test di risonanza e trovò in questi tutte le frequenze della luce. Ne dedusse che ciò ha l'effetto di equilibrare l'ambiente. I germi patogeni presenti nell'acqua di Lourdes perdono così la loro virulenza e quindi non attaccano altri organismi, compreso l'uomo.
La luce è data da onde elettromagnetiche ed è una fonte di energia indispensabile. Gli organismi captano dalla luce la propria frequenza vitale e la utilizzano per vivere perfettamente sani. C'è un continuo scambio frequenziale tra l'organismo e l'ambiente.
L'inquinamento sia fisico che energetico può causare patologie che corrispondono alla perdita della corretta frequenza nei tessuti.
La risonanza è l'incontro di due onde di uguale ampiezza e lunghezza.
Secondo Emilio del Giudice (fisico nucleare presso il CNR di Milano) il fluire dell'acqua rende instabili i suoi legami e l'acqua assume un gran numero di conformazioni molecolari che variano anche ogni milionesimo di secondo.
L'acqua assorbe così le frequenze di luce. L'acqua è in grado di assumere microinformazioni vibratorie e può farle giungere a qualsiasi risonatore biologico (cellule, tessuti, organi). Queste informazioni vengono recepite e, tradotte in codice biochimico e trasmesse all'organismo.
L'acqua ha un'infinita capacità di rigenerazione. Poche gocce di "acqua madre"immesse in acqua naturale vi trasferiscono le informazioni dell'equilibrio di luce.
La dott. Ciccolo ha sperimentato a Mediugorje che il momento dell'apparizione di Maria è il momento iniziale dell'informazione all'acqua. L'acqua "informata", come terapia va assunta nei momenti "risonanti "della giornata, vedendo così la sua azione amplificata. La terapia è riportata al ciclo lunare (28 giorni).
Le reazioni biologiche che portano alla formazione della sostanza organica (carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto) sono influenzate dal ritmo in 4 tempi. Le fasi lunari riassumono le 4 stagioni, i 4 momenti della materia (terra, acqua, aria e fuoco), i momenti della giornata (mattino, mezzogiorno, pomeriggio e sera) nei quali si rispecchiano i 4 momenti vibratori che generano le stagioni, le maree, le fasi lunari, il ritmo cardiaco.

CONCLUSIONI

Questa nostra ricerca ha ricostruito le vicende storiche della dolina di Lipizza, nota almeno dal '700 come luogo in cui si trova comunque una qualche forma di giovamento.
La leggenda tramandata negli anni ha confuso in particolare le vicende del Conte Karl Grünne e del sacerdote Edmondo Legat. Viene da pensare che la persona ammalata sia stata proprio il Legat e non il Grünne.
Come comandante di Lipizza sarebbe stato quasi certamente sostituito. Inoltre il Legat prese i voti in età avanzata (43 anni) il 20/8/1891 e morì a soli 54 anni. Le due lapidi relative alla cappelletta sono degli anni 1889- 1892 e l'ultima parla di un voto, forse relativo alla sua guarigione.
Le vicende legate alla cisterna, al gran numero di bottiglie di vario tipo ritrovate al suo interno, la possibile presenza di linee sincroniche di energia, la frequentazione della dolina ancora oggi notevole, le nuove interpretazioni delle acque legate a questi "santuari" sono da parte nostra una raccolta di dati aperta ad ogni interpretazione personale.

BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (Stoka Magda, Zandegiacomo Mario), 2004 - *Il bosco Igouza. Storia, natura e sentieri.* Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. In corso di stampa.
- BERTARELLI L. V., BOEGAN E., 1926 - *Duemila grotte.* Quarant'anni di esplorazione nella Venezia Giulia. 1926 TCI, 1 - 49
- BERTARELLI L. V.,1925 - *Le Tre Venezie.* Guida d'Italia del Touring Club Italiano. Vol III, 275.
- CALLIGARIS R., 1996. - *Lipizza una piccola Lourdes del Carso* "Il Piccolo" 18 agosto 1996. 7
- CICCOLO E., 1993 - *Incontro sulle acque a "luce bianca" un messaggio dal Cosmo. Nuove possibilità di ricerca e studio per una scienza che rispetti l'uomo e l'ambiente.* Ass. UN PONTE "tra il corpo e lo spirito" Mestre Ve. 28/11/1993
- CICCOLO E.,1992 - *Aspetti terapeutici delle acque a luce bianca.* Atti dei Convegni - V[a] fiera della Salute, Bazzano (Bo) 14/6-7/7/1991. Soc. ed. Andromeda Inediti n°52
- MARTINELLI M., 2000 - *Energie duinesi.* PlanetAdria anno I n°0, 57 - 59
- MEDEOT S. L. , 1974 - *Una tragedia speleologica di 50 anni fa l'abisso Bertarelli (1925-1975)* suppl.. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"della Società Alpina delle Giulie della Sez. di Trieste del CAI
- OBERSTALLMEISTERAMTE a cura di, 1880 - *K.K. Hofgestüt zu Lippiza 1580 - 1880.* Wien
- TASSO - JASBITZ A., PAROVEL P.G.,1999 - *Repen Tabor*, Mladika, Trieste 8-12.
- TOMMASINI de M., 1876 - *Cenni storici e fisici sulla selvicoltura dell'agro triestino.* Memoria letta nelle adunanze del dì 10 e 24 aprile 1876 della Soc. Adriatica di Scienze Naturali. Boll. Soc. Adr. Sci. Nat. di Trieste vol. II, 69-74

ARTICOLI CONSULTATI

- *La Terra ci parla con l'energia.* Il Piccolo 08/05/2000.
- *Entrando nell'energia del pianeta Terra anche le pietre fanno sentire il suono.* Il Piccolo 10/05/2000.
- *Lipizza, dalle note di un veterinario,* 61/62. Il Tourista anno IV - 1897.
- *Passeggiata primaverile*, 45/46. Il Tourista anno IV - 1897.
- *Lipizza*, dalla pubblicazione dell'i. r. Ufficio del Gran Scudiere redatta dal dott. Auer. 77/79. Il Tourista anno IV - 1897.

DEPLIANTS E BROCHURE

- Das Gailtaler Wunschelruten Wanderweg. Harmonie - Zentrum "beim bachmann". her magor, Oberfellach, Austria www.carnica.or.at/bachmann/
- The natural hearling resort "na Tratah" in the mountain village Tunjce near Kamnik city, Slovenia www.vd-zdravilnigaj.si

ASSOCIAZIONE GROTTE TURISTICHE ITALIANE: FINALITÀ E CRITERI OPERATIVI

Vittorio Verole-Bozzello

Associazione Grotte Turistiche Italiane

RIASSUNTO

Fondata nel 1994, l'Associazione delle Grotte Turistiche Italiane (A.G.T.I.) è nata dall'esigenza, manifestata dagli operatori del settore, di favorire lo scambio delle rispettive esperienze in campo gestionale, tecnico e promozionale, al fine di selezionare tutte le soluzioni migliori e di ottimizzare la conduzione di ogni singola grotta, valorizzandone nel contempo i più importanti aspetti naturalistici e scientifici, curandone un'attenta tutela ambientale.

FINALITÀ E CRITERI

Per *grotte turistiche* si intendono normalmente solo le cavità sotterranee naturali *illuminate elettricamente* nelle quali, rispettando periodi di apertura ed orari prestabiliti, si svolgono *visite guidate* lungo *sentieri agevolmente percorribili in completa sicurezza* da chiunque non sia affetto da gravi handicap fisici. L'accesso, *sempre a pagamento*, è possibile *senza l'adozione di particolari attrezzature o di un abbigliamento "speleologico"*. Si consigliano comunque in tutti i casi scarpe con suola di gomma (anche leggere, da città o da tennis) ed eventualmente una giacca impermeabile leggera per ripararsi dalle gocce. Nelle grotte più fredde è bene aggiungere una felpa o un maglione.
Vengono definite "semituristiche" le cavità che mancano di alcuni di questi requisiti e richiedono in genere un'illuminazione individuale, che può essere elettrica o ad acetilene, spesso fornita dagli organizzatori delle visite. Tra i requisiti mancanti, i più frequenti sono, nell'ordine, l'impianto elettrico, i sentieri comodi, la guida. Vengono talvolta indicate come grotte anche forre molto strette nelle quali spesso è presente qualche punto-luce.
Esistono anche *grotte "speleoturistiche"*, nelle quali le visite si svolgono lungo percorsi facili ma *non dotati di sentieri*, con strettoie, brevi tratti da compiersi in arrampicata, corde fisse o scalette. Spesso è presente il fango e quasi sempre è richiesta una discreta preparazione atletica. *Attrezzature indispensabili: casco con lampada frontale, abiti "da buttare" o tuta, stivali o scarponi, eventuale imbraco.* Caschi e stivali sono forniti talvolta dagli organizzatori. Le visite sono condotte quasi sempre da speleologi.
Nata come alternativa alle "grotte turistiche" per creare una forma di turismo sotterraneo meno impattante, l'alternativa "speleoturistica" si rivela spesso più dannosa per l'ambiente sotterraneo sia per l'intrinseca impossibilità di un'adeguata sorveglianza, sia perché quasi sempre è inevitabile il contatto fisico tra i visitatori (spesso sporchi di fango) e le concrezioni. Concrezioni che poi si sentiranno autorizzati a toccare anche nelle grotte turistiche, perché non riusciranno a capire il senso della proibizione di toccare formazioni calcaree che altrove potevano calpestare senza alcuna precauzione. A tutto ciò va sommata la presenza del fumo dell'acetilene, che oltre a produrre un inquinamento immediato del microclima interno, alla lunga finisce per annerire pareti e concrezioni.
Nelle grotte turistiche invece il percorso obbligato costituito dai sentieri e la barriera fisica dei corrimano, oltre alle chiare raccomandazioni delle guide e ad una migliore possibilità di sorveglianza, rendono improbabile il contatto con le concrezioni e facilitano la pulizia dell'ambiente dagli eventuali rifiuti che il gruppo potrebbe lasciare dietro di sé, mantenendo intatto l'habitat della fauna troglobia che, ammesso che possa essere disturbata dalle luci, può sempre trovare un sicuro rifugio allontanandosi dai sentieri. Le luci elettriche inoltre non liberano nell'aria emissioni gassose o particolati. Il fenomeno della clorofilla può essere contenuto mediante opportuni accorgimenti.

In alcune grotte turistiche possono essere presenti anche itinerari semituristici o speleoturistici di qualità, la cui buona conduzione è garantita dagli enti gestori.
Attualmente esistono in Italia 37 grotte turistiche, alcune delle quali hanno dimensioni veramente minime, come ad esempio le Grotte di Rescia (CO) e la Grotta Maona (PT), mentre altre sono quasi sempre chiuse, come la Grotta di Equi (MS), la grotta di Roverè Mille (VR), la Grotta dei Dossi (CN), ed altre. Il numero dei visitatori varia da un minimo di poche migliaia di persone l'anno a massimi di alcune centinaia di migliaia (Frasassi e Castellana). Molte delle grotte minori che nel 1970 erano ancora aperte con visite guidate e regolari orari di visita non sono più in funzione. Tra queste citiamo le grotte del Sogno e Delle Meraviglie (BG), la Grotta di San Giovanni d'Antro (UD), la Grotta Giusti (PT), oggi usata solo per l'antroterapia, la Grotta di Acquasanta (AP) e la Grotta di Montevicoli (LE). Fondata nel 1994, l'Associazione delle Grotte Turistiche Italiane (A.G.T.I.) nacque dall'esigenza, manifestata dagli operatori del settore, di favorire lo scambio delle rispettive esperienze in campo gestionale, tecnico e promozionale, al fine di selezionare tutte le soluzioni migliori, scartando al contempo quelle che avevano portato a risultati negativi.
Attualmente il nome "A.G.T.I." è anche un marchio di garanzia in quanto non tutte le grotte possono entrare a far parte dell'Associazione. Per essere ammesse devono possedere precisi requisiti previsti da un disciplinare che prevede, tra l'altro, la perfetta agibilità dei sentieri, che devono essere percorribili in condizioni di assoluta sicurezza senza bisogno di attrezzature personali o di un particolare abbigliamento; l'efficienza e l'affidabilità di un impianto elettrico fisso che permetta ai visitatori ed alle guide di procedere senza torce; la correttezza delle informazioni fornite dalle guide; le dovute precauzioni per la conservazione dell'ambiente; periodi di apertura ed orari ben definiti che garantiscano la possibilità di effettuare le visite nei tempi previsti.
Le grotte associate sono attualmente 19, così distribuite nelle varie regioni: Piemonte 1 (Grotta di Bossea), Veneto 1 (Grotte di Oliero), Friuli e Venezia Giulia 1 (Grotta Gigante), Liguria 2 (Grotte di Toirano e Grotte di Borgio Verezzi), Toscana 1 (Grotta del Vento), Marche 1 (Grotte di Frasassi), Lazio 2 (Grotte di Pastena e Grotte di Collepardo), Abruzzo 1 (Grotte del Cavallone), Campania 2 (Grotte di Pertosa e Grotte di Castelcivita), Puglia 3 (Grotte di Castellana, Grotta Zinzulusa e Grotta di Santa Croce), Sardegna 4 (Grotta di Nettuno, Grotta Is Zuddas, Grotta Su Mannau e Grotta di Su Marmuri). Si può notare come accanto a tutte le grotte più famose d'Italia siano presenti anche diverse realtà "minori" che, pur essendo meno note, possiedono peculiarità tali da poter riservare agli appassionati piacevoli sorprese e scoperte entusiasmanti.

Gli obbiettivi principali dell'A.G.T.I. sono i seguenti:
1) La valorizzazione e la divulgazione scientifica degli aspetti fondamentali riguardanti i fenomeni carsici ipogei e di superficie. Le grotte turistiche possono infatti essere utilizzate come laboratori scientifici consentendo, con i loro impianti, una facile installazione ed un agevole accesso alle strumentazioni.
2) Lo studio di tutti i problemi che interessano direttamente o indirettamente la gestione delle grotte turistiche.
3) La continua ricerca di soluzioni sempre più efficaci per il perseguimento degli scopi suddetti e per l'ottimizzazione dei servizi forniti ai visitatori.
4) La tutela ambientale delle grotte attrezzate turisticamente e dei siti carsici che le circondano.
5) La promozione di un'immagine complessiva delle grotte turistiche che stimoli nei visitatori un interesse sempre più forte verso il mondo sotterraneo.

Per il perseguimento di questi scopi l'A.G.T.I. organizza incontri e gruppi di lavoro, partecipa a mostre e convegni, stampa e distribuisce materiale informativo e fornisce informazioni a chiunque sia interessato alla visita del mondo sotterraneo.
Attualmente è in fase di ultimazione un fascicolo informativo a colori di 16 pagine contenente una presentazione dell'A.G.T.I., un discorso generico sul fascino del mondo sotterraneo, e un elenco con descrizioni e foto di tutte le grotte associate.

Sono inoltre in fase di elaborazione le seguenti iniziative:
1) Pannelli comuni di tutte le grotte associate da posizionare presso ogni biglietteria.
2) Azione promozionale consistente nell'applicare la tariffa ridotta a tutti i visitatori individuali che consegneranno il biglietto di un'altra grotta precedentemente visitata.
3) Aggiornamento del sito internet, in modo che siano facilmente accessibili foto, testi e notizie riguardanti tutte le cavità associate.
4) Istituzione di un data base contenente ogni notizia riguardante gli aspetti gestionali e le soluzioni tecniche adottate dalle varie grotte.

Presso la Grotta del Vento è in fase avanzata di sperimentazione per conto dell'A.G.T.I. un sistema antiscivolo che, basato sull'impiego di materiali di elevata durezza, quali il corindone e il carburo d silicio, limitano al massimo l'usura dei gradini e dei piani di calpestio.

SPERIMENTAZIONE ANTISCIVOLO IN ATTO ALLA GROTTA DEL VENTO

La sperimentazione in corso è stata fatta nel modo seguente: lungo il tratto di maggior calpestio della grotta, percorso tra andata e ritorno da circa 140.000 persone ogni anno, sono stati creati dieci rettangoli campione della lunghezza di circa ml. 1,15 (larghezza circa un metro) usando malte di cemento Portland "425" con percentuali diverse di abrasivi, quali il corindone (durezza 9 nella scala di Mohs) ed il carburo di silicio (durezza 9,5). Alle mescole viene aggiunto un aggrappante chimico che viene spalmato a pennello sul sottofondo preesistente. La prova viene condotta lungo un piano inclinato avente la pendenza del 16%, corrispondente ad un angolo di 9° (angolo retto 90°).
Le mescole usate nella prova in oggetto nei dieci riquadri sono le seguenti (iniziando dal basso):

1) Cemento 25%, carborundum 75%
2) Cemento 25%, carborundum 37,5%, corindone 37,5%
3) Cemento 25%, corindone 75%
4) Cemento 25%, sabbia commerciale 37,5%, corindone 37,5%
5) Cemento 25%, sabbia commerciale 37,5%, carborundum 18,75%, corindone 18,75%
6) Cemento 25%, sabbia commerciale 37,5%, carborundum 37,5%
7) Cemento 34%, carborundum 66%
8) Cemento 34%, carborundum 33%, corindone 33%
9) Cemento 34%, corindone 66%
10) Cemento 34%, sabbia commerciale 66%

I rettangoli campione sono stati fatti alla fine di ottobre del 2002, passato abbondantemente il periodo necessario per la stagionatura e per lo spolvero delle sporgenze più mobili, la superficie è stata accuratamente lavata con l'idropulitrice. Le prove di tenuta sono state effettuate impiegando un dinamometro secondo questa procedura: una fascia tessile è stata passata alternativamente attorno alle scarpe di due persone di peso molto diverso ed applicata a un dinamometro, a sua volta agganciato al cavo di un argano. Esercitando una trazione sull'argano, l'ago del dinamometro ha indicato il valore dello sforzo necessario su ogni mescola per dare inizio allo scivolamento.
In base a questo primo test le mescole migliori sia per suole di cuoio che per suole di gomma sono state la 6 e la 7. La peggiore la 10, ma le differenze non sono enormi. Bisogna comunque considerare che la mescola 10 è la più soggetta ad usura, pertanto è probabile che le prove che verranno effettuate in futuro sugli stessi campioni potranno evidenziare differenze più marcate (*).

* Nella primavera del 2004 le prove sono state ripetute per verificare la tenuta delle varie mescole dopo il passaggio di 140.000 persone. Il campione più valido è risultato il 7, ma il 9 (cemento 34% - corindone 66%) e senz'altro più interessante, in quanto a una differenza del tutto trascurabile (circa il 3%) fa riscontro un costo notevolmente inferiore e l'assenza del fastidioso luccichio tipico del carborundum, che male si ambienta con l'ambiente sotterraneo.

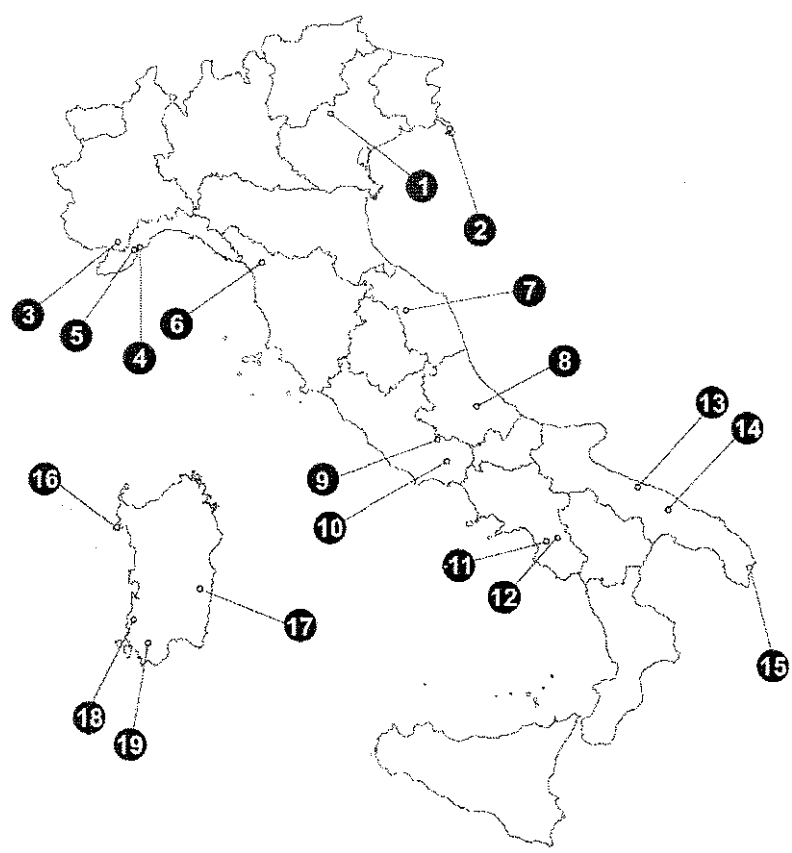
Lungo il piano inclinato oggetto della sperimentazione si erano verificate in passato alcune cadute, peraltro senza conseguenze, provocate dal fatto che il cemento usato era un pozzolanico con titolo "325". Questo tipo di cemento col tempo si consuma, facendo sporgere la ghiaia calcarea i cui elementi, arrotondati e lucidati sempre più dal contatto con le suole delle scarpe, finiscono per diventare oltremodo scivolosi.
Dove si era presentato questo inconveniente, nella Grotta del Vento si era sempre rimediato in maniera efficiente coprendo il tutto con un sottile getto di malta composta da una giusta proporzione tra sabbia commerciale e cemento Portland "425", molto più resistente. A distanza di 20 anni dall'adozione di questa soluzione non si sono più verificate cadute da scivolamento e le superfici si sono mantenute perfettamente ruvide. Le prove in oggetto mirano ad individuare mescole che garantiscano proprietà antisdrucciolo ancora superiori la cui durata nel tempo dovrebbe essere pressoché illimitata.

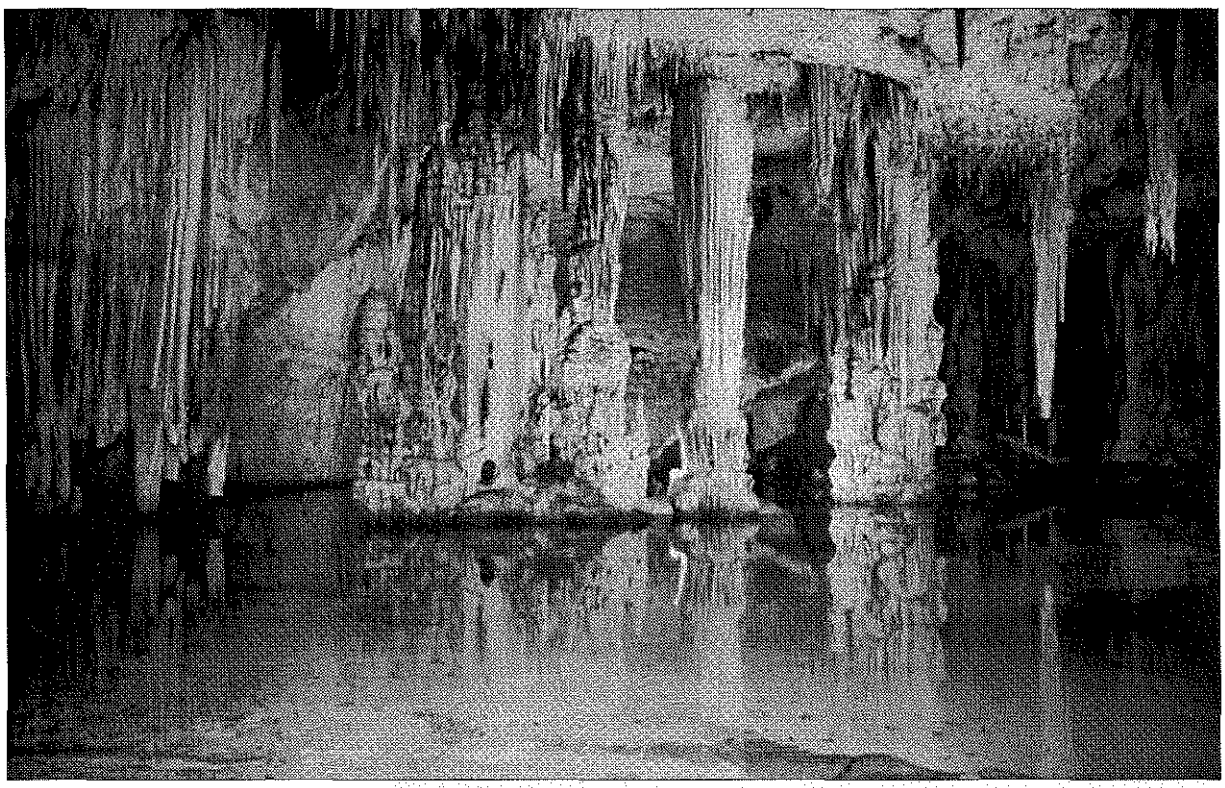
MATERIALI IMPIEGATI PER LA SPERIMENTAZIONE

- *Carborundum: SIKANOR IV GR.12* (confezioni da Kg 25) produttore Norton AS - Norvegia. Prezzo pagato nel mese di marzo 2002: 130 euro al quintale.
- *Corindone: ALODUR DST III GR.16* (confezione da Kg 25) produttore Treibacher Schleifmittel - Italia. Prezzo pagato nel mese di marzo 2002: 67,10 euro al quintale.

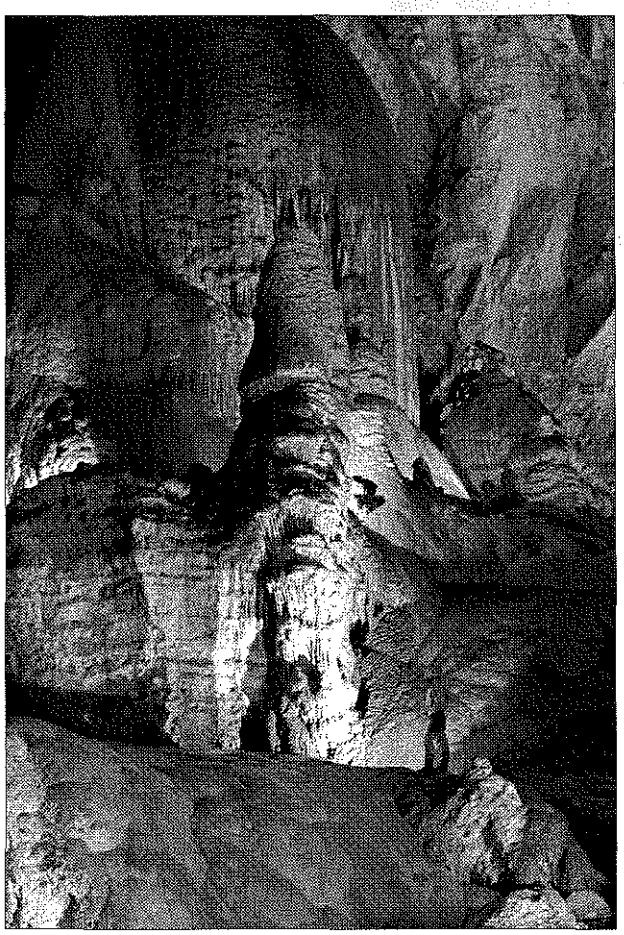
La scelta della grana (12 per il carborundum e 16 per il corindone) è dipesa essenzialmente dalle disponibilità di magazzino. Va comunque evitato l'impiego di grane troppo sottili poiché il loro impiego potrebbe ridurre notevolmente l'effetto antiscivolo. Ditta fornitrice: Tecnocave s.r.l. via Vicinale Belvedere, 22 54031 - Avenza Carrara (MS) Tel. 0585 856108.

1) Grotta di Oliero
2) Grotta Gigante
3) Grotta di Bossea
4) Grotte di Borgio Verezzi
5) Grotte di Toirano
6) Grotta del Vento
7) Grotte di Frasassi
8) Grotta del Cavallone
9) Grotte di Collepardo
10) Grotte di Pastena
11) Grotte di Pertosa
12) Grotte di Castelcivita
13) Grotte di Santa Croce
14) Grotte di Castellana
15) Grotta di Zinzulusa
16) Grotta di Nettuno
17) Grotta Su Marmuri
18) Grotte di Su Mannau
19) Grotte Is Zuddas



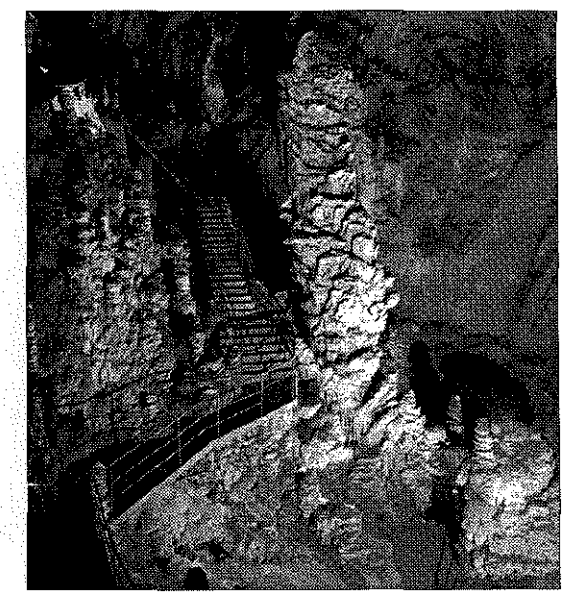


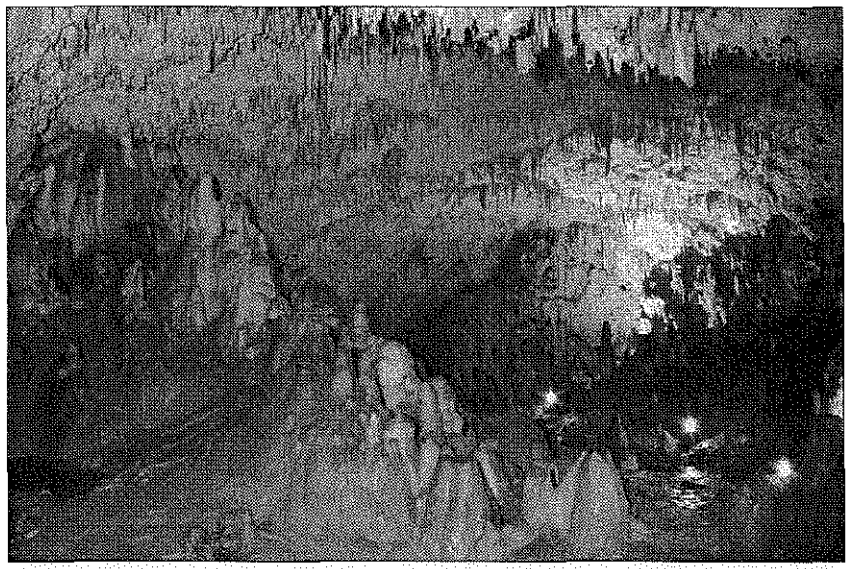
▲ Foto 1
Grotta di Nettuno.



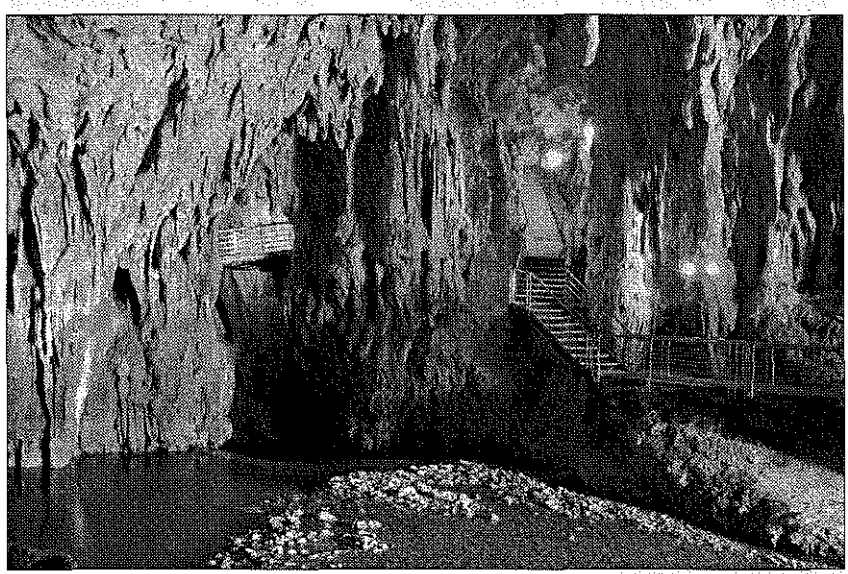
◀ Foto 2
Grotte Castelcivita.

▼ Foto 3
Grotta Gigante.

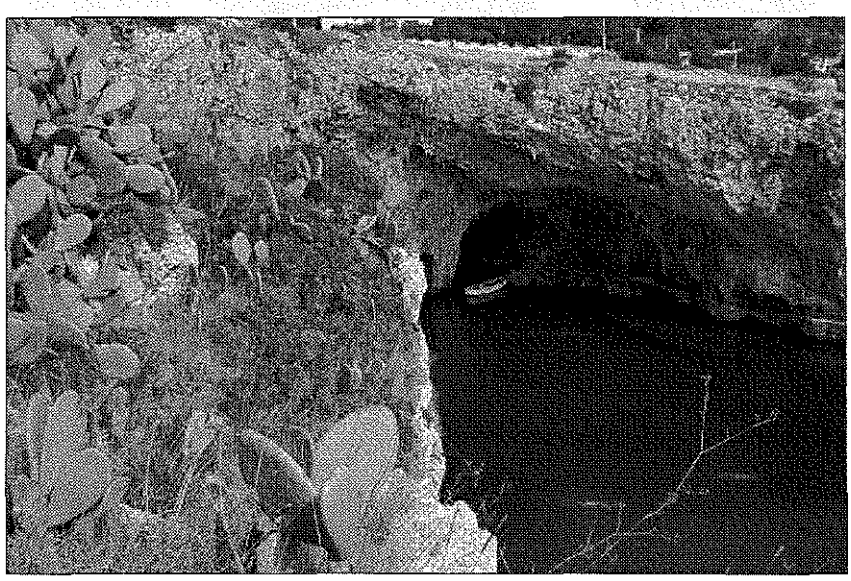




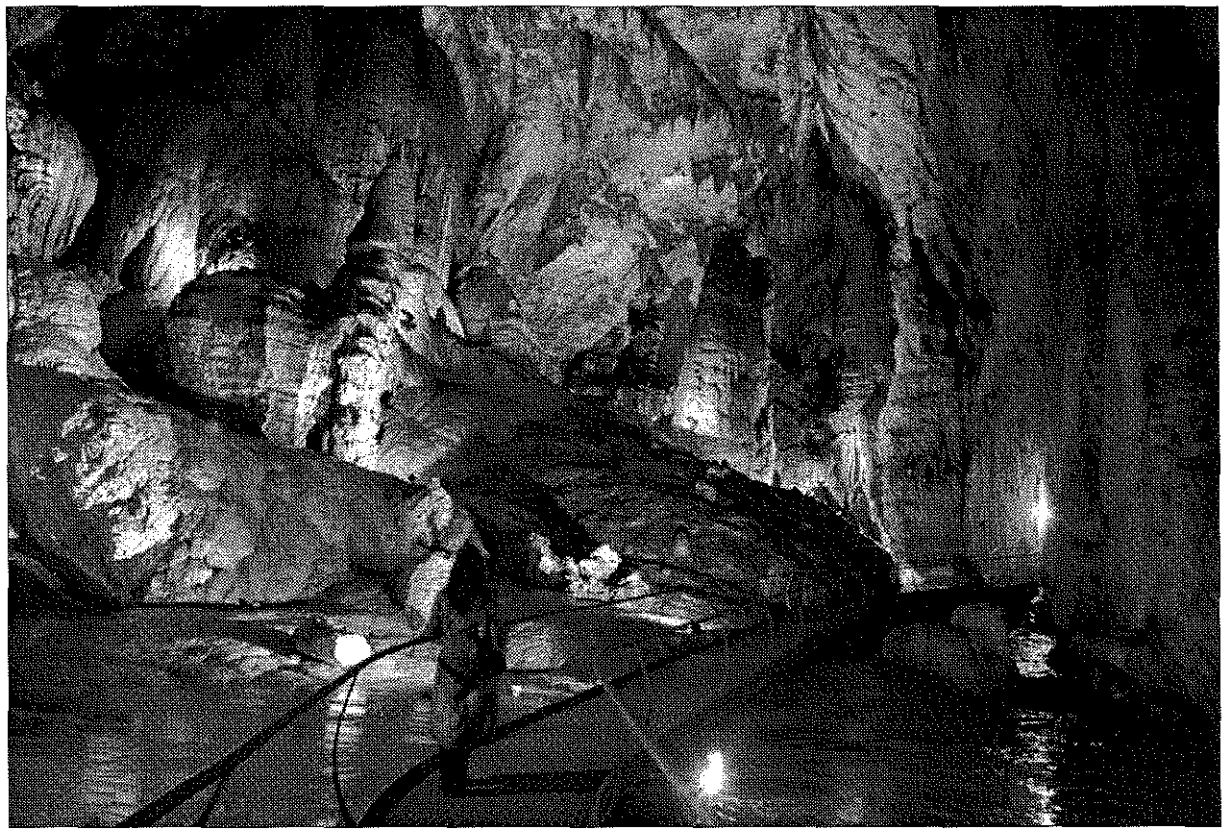
◀ Foto 4
Grotta del Cavallone.



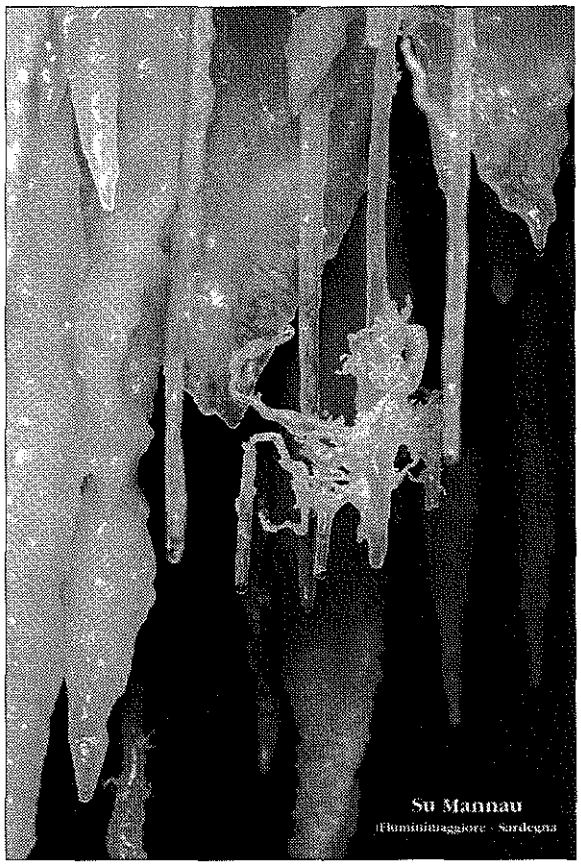
◀ Foto 5
Grotte di Pastena.



◀ Foto 6
Grotta di Zinzulusa.



▲ Foto 7
Grotta di Su marmuri.



◀ Foto 8
Grotta Su Mannau.

▼ Foto 9
Grotta Is Zuddas.

LA GROTTA DEL VENTO: VALORIZZAZIONE E TUTELA AMBIENTALE, SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Vittorio Verole-Bozzello

Associazione Grotte Turistiche Italiane

RIASSUNTO

La Grotta del Vento, situata al centro del Parco Naturale delle Alpi Apuane, è aperta al pubblico dal 1967, anno in cui ebbero termine i lavori di valorizzazione del "primo itinerario", un percorso di un'ora che si snoda tra magnifici gruppi concrezionali in fase di accrescimento, caratterizzati da colori vivaci, notevole traslucidità e superfici rese brillanti dal velo d'acqua che le alimenta senza interruzione.
Tre anni più tardi fu attrezzato il "secondo itinerario", della durata di due ore, che, superato il "primo", scende tra le pareti levigate di un profondo baratro scavato da acque freatiche e prosegue lungo le sponde di un piccolo fiume sotterraneo.
Nel 1982 fu approntato il "terzo itinerario", della durata di tre ore, che aggiunge al "secondo" la visita di una diramazione molto articolata nella quale si possono osservare ambienti finemente concrezionati, meandri, canali di volta e tratti verticali. Uno di questi è costituito da un pozzo di 90 metri che viene risalito per oltre 30 fino a raggiungere un ampio salone laterale seguito da uno stretto canyon.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

In pratica la grotta è suddivisa in tre parti del tutto diverse tra loro che permettono una panoramica veramente completa sulla morfologia e sugli stadi evolutivi del carsismo profondo.
La parte più elevata, che viene raggiunta dai sentieri del 3° itinerario, è caratterizzata da tutti gli aspetti tipici della morfologia vadosa, mostrando un labirinto di meandri e pozzi tuttora percorsi dall'acqua in seguito alle piogge più abbondanti.
La parte mediana, oggetto del 1° itinerario, offre la possibilità di ammirare ambienti fossili suborizzontali, abbelliti dalla presenza di un abbondante e vario concrezionamento (stalattiti, stalagmiti, colate, drappeggi, laghetti incrostanti, concrezioni da splash, pisoliti, ecc.). Le pareti appaiono vistosamente aggredite dall'intensa azione corrosiva operata dall'acqua di condensazione nei tratti non rivestiti dalla calcite. Non mancano sporadici episodi graviclastici, ormai abbondantemente cementati.
La parte più profonda (raggiunta dal 2° itinerario) è costituita da una serie di vasti ambienti freatici in parte attraversati da un corso d'acqua perenne che, decisamente modesto nei periodi asciutti, durante i quali è alimentato quasi esclusivamente dall'acqua di condensazione, in occasione delle piogge più violente può gonfiarsi fino a sommergere centinaia di metri di gallerie, ripristinandovi per alcune ore la circolazione sotto pressione. Durante una piena eccezionale verificatasi nel giugno del 1996 in seguito ad un nubifragio di eccezionale violenza (oltre 400 mm. di pioggia in 5 ore) l'acqua salì per quasi 60 metri, riversandosi all'esterno attraverso il 1° itinerario con una portata di circa 10 mc/sec.

LA CORRENTE D'ARIA

Il nome di questa cavità è dovuto ad una corrente d'aria che in alcune strettoie potrebbe toccare i 40 km/h se non venisse limitata da una porta a tenuta. La velocità del vento è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura tra l'interno (+ 10,7 costanti) e l'esterno (variabile con l'andamento delle stagioni). Durante l'inverno l'aria interna, più calda e quindi più leggera, sale. D'estate avviene esattamente il contrario. Il vento cessa quando le due temperature si equivalgono. Si presume che il dislivello tra l'ingresso turistico (situato a 642 metri s.l.m.) e le bocche superiori si aggiri attorno agli 800 metri.

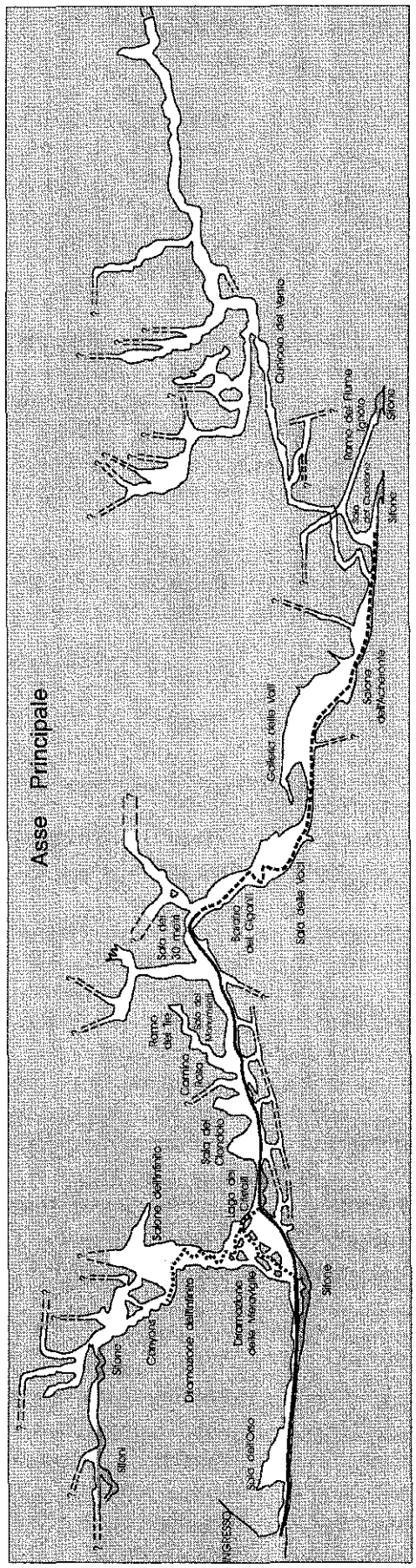


Fig. 1 - Sezione dalla Grotta del Vento.

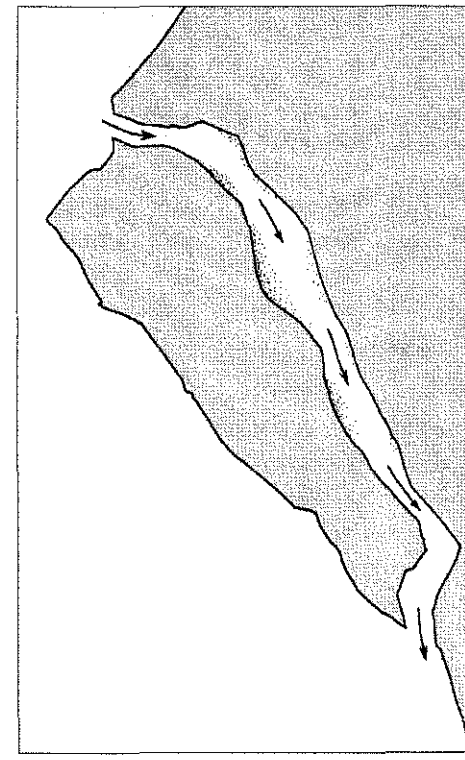


Fig. 3 - Flusso della corrente d'aria durante il periodo estivo.

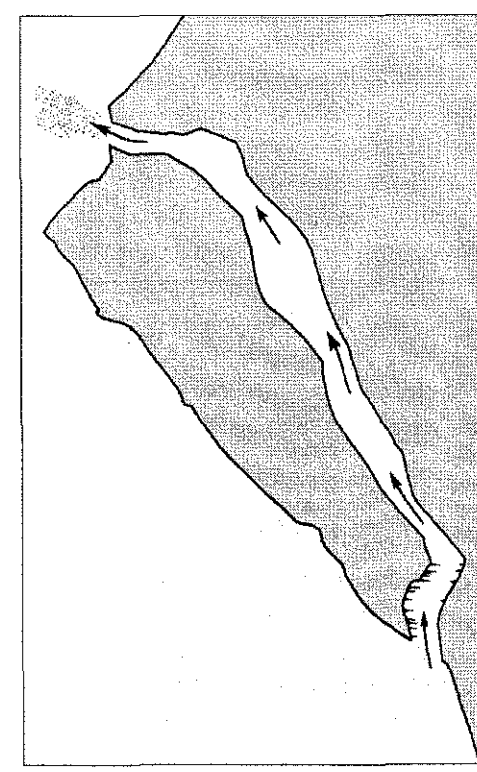


Fig. 2 - Flusso della corrente d'aria durante il periodo invernale.

IL CARSISMO ESTERNO

Il paesaggio esterno è dominato dalla mole slanciata del M. Pania Secca, ardito rilievo calcareo che, ad un versante meridionale caratterizzato da esili creste dentellate ed imponenti pareti, contrappone un versante settentrionale più dolce che ospita estese zone di assorbimento carsico. Tra queste la più nota è l'Altopiano della Vetricia dove, in un fittissimo intreccio di fratture tettoniche, si possono ammirare campi solcati, doline di crollo, pozzi a neve, immense voragini, massi erratici, e numerose forme minori di erosione, quali i solchi a doccia, le rocce cribrate, le kamenitze e le crestine a lisca di pesce. Non molto distante un ciclopico arco naturale collega tra loro le vette di un monte (Monte Forato) dal quale si domina un magnifico panorama sulla costa tirrenica. Alla base di una parete calcarea strapiombante si può visitare un singolare santuario (Eremo di Calomini), costituito nella sua parte più antica da una serie di ipogei in parte ampliati artificialmente.

UNA GROTTA DIDATTICA

Se sotto il profilo prettamente turistico la Grotta del Vento costituisce un'attrattiva di grande rilievo (ogni anno i visitatori sono circa 70.000 nonostante le difficoltà di avvicinamento costituite da una viabilità del tutto insufficiente), ancor più importante è la sua funzione dal punto di vista didattico, dovuta sia alla straordinaria varietà di aspetti morfologici che ai numerosi processi evolutivi tuttora in atto. A tutto ciò va aggiunta anche la possibilità di osservare, a una distanza relativamente breve, un carsismo superficiale di grande interesse e di rara bellezza.
Nella valorizzazione della grotta sono stati adottati alcuni criteri innovativi, finalizzati allo scopo di consentire a chiunque di poter apprezzare e comprendere, vedendoli di persona, aspetti che in passato erano stati sempre riservati solo a speleologi esperti e dotati delle necessarie attrezzature. I percorsi comprendono anche la visita di pozzi verticali e di condotte freatiche caratterizzate da forme di erosione giovanili, aspetti questi che altrove erano sempre stati giudicati di scarso interesse turistico, in quanto non rispondenti a canoni di bellezza basati esclusivamente sullo stereotipo dei soliti ambienti più o meno pianeggianti, dove si tende ad enfatizzare la somiglianza dei gruppi concrezionali con la "torre di Pisa", la Madonnina", il "duomo di Milano", lo "gnomo", il "gufo", e via dicendo.

SOLUZIONI SCARTATE

Prima di dare inizio ai lavori di sistemazione turistica venne effettuata una serie di visite in tutte le grotte allora attrezzate in Italia e nelle principali cavità naturali situate nel resto dell'Europa. Lo scopo era quello di valutare le soluzioni tecniche da esse adoperate per poi adottare le più confacenti alle caratteristiche della Grotta del Vento. La scelta fu eseguita con l'intento di limitare al massimo l'impatto ambientale e di assicurare nello stesso tempo ai visitatori il massimo comfort e la massima sicurezza.
Fu deciso di non scavare scalini a colpi di scalpello nelle colate concrezionali, non solo per ovvi motivi di tutela, ma anche perché la calcite, molto tenera, tende in breve a levigarsi divenendo scivolosa.
Fu scartata anche l'idea di posare un fondo cosiddetto "naturale" (costituito da ghiaino riportato periodicamente) in quanto, oltre a mascherare la reale morfologia del pavimento, provoca forti accumuli di liquidi biancastri ai lati del percorso. Inoltre, col passare del tempo, il pietrisco tende a scendere, facendo affiorare una poltiglia argillosa particolarmente sdrucciolevole.
Seppure preferibili a quelli in terra battuta, anche i camminamenti pavimentati con pietra "faccia-vista", o peggio ancora a mosaico di ciottoli arrotondati, sono stati scartati, sia perché appaiono troppo artificiosi, sia perché, in una grotta molto frequentata, la pietra calcarea si consuma, diventando in pochi anni scivolosa come il sapone.
Lo stesso problema si manifesta anche con l'impiego di lastre calcaree tagliate "a filo sega"o brocciardate, peraltro assai poco diffuse sia per motivi estetici che di costo.
La tendenza, manifestatasi soprattutto di recente, all'impiego di strutture metalliche prefabbricate, viene giustificata sostenendo che, qualora il numero dei visitatori risulti insufficiente a coprire le spese

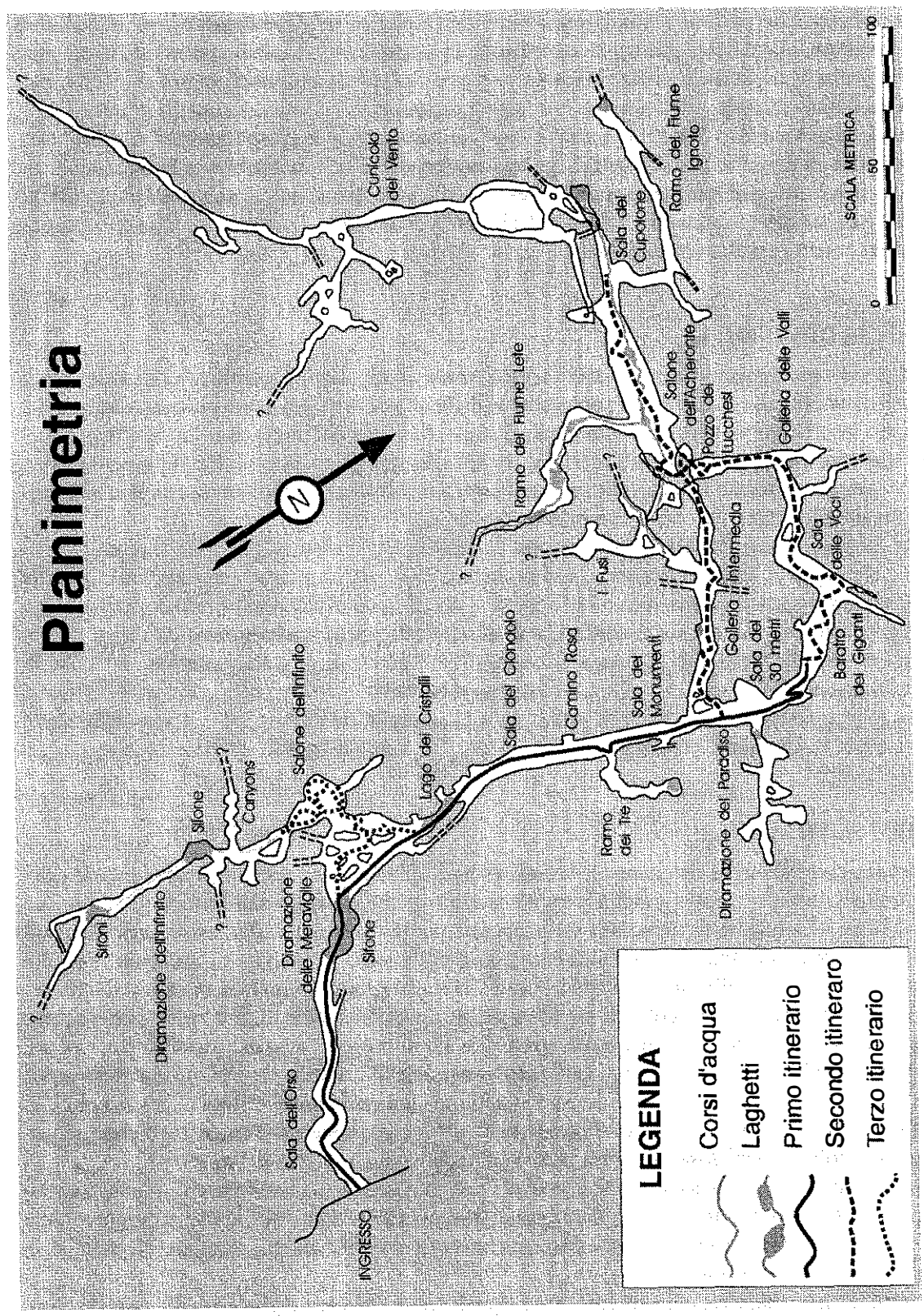


Fig. 4 - Planimetria dalla Grotta del Vento.

di gestione, resta sempre la possibilità di smontare il tutto, riportando la grotta al suo aspetto naturale. Va considerato che, se la gestione è in passivo, non si vede come sia possibile reperire i fondi per smontare i sentieri e portare i rottami all'esterno. Resterebbero comunque qua e là i profondi fori e le squadrature dei punti di ancoraggio, oltre alle inevitabili macchie di ruggine che rimarrebbero a perenne ricordo di un'operazione sbagliata che si poteva forse evitare facendo compiere a veri esperti uno studio preventivo di fattibilità.
Nel progettare la valorizzazione di una grotta non basta limitarsi a risolvere problemi puramente tecnici quali il tracciato, le caratteristiche e la tipologia dei sentieri e degli impianti di illuminazione, ma occorre esaminare con cura il rapporto tra costi di allestimento (che vanno ammortizzati), costi di gestione ed entità degli introiti presumibili. Per valutare quest'ultima voce non basta un'analisi comparativa con le altre grotte turistiche, ma occorre studiare molto attentamente l'ampiezza e le caratteristiche del bacino di utenza, il potenziale turistico dell'area circostante e, soprattutto se esiste una buona viabilità di avvicinamento e la possibilità di realizzare strutture di accoglienza e adeguate aree di parcheggio in prossimità dell'ingresso.

CARATTERISTICHE DEI SENTIERI

Nella Grotta del Vento si è optato per il sentiero di cemento che, nei tratti di scorrimento, ha una larghezza costante che non supera mai i sessanta centimetri (53,6 da ringhiera a ringhiera). Il problema dell'incrocio dei gruppi è stato risolto con alcuni percorsi ad anello (presenti nel 2° e nel 3° itinerario), con diverse piazzole di scambio e di sosta e mediante l'impiego di una serie di segnali luminosi che vengono attivati dal passaggio dei visitatori.
Particolare cura è stata posta nella progettazione delle scalinate, cercando di ottimizzare i raggi di curvatura ed il rapporto tra l'alzata (quasi mai superiore ai 18 centimetri) e la pedata (che al centro di ogni scalino non è mai inferiore ai 30 centimetri). Ciò sia per facilitare la visita anche alle persone anziane o fisicamente debilitate, sia per far sì che l'attenzione dei visitatori non venga distolta dalle spiegazioni per controllare ad ogni passo dove mettere i piedi. Per lo stesso motivo gli scalini in sequenza hanno sempre la stessa altezza.
Per armonizzare il più possibile i sentieri all'ambiente naturale sono stati evitati gli angoli e le linee rette: l'andamento è quasi ovunque curvilineo. Ciò naturalmente ha complicato in maniera considerevole la realizzazione dei corrimano che, fatti in acciaio zincato, hanno assunto per ossidazione un colore grigio neutro pressoché uguale a quello dei calcari dolomitici che ospitano la grotta.
I sentieri non vengono artificiosamente mascherati ma, essendo una realtà indispensabile per la visita, scorrono arditi evitando quasi sempre il contatto con le pareti, in modo da non interromperne la continuità. Lo stesso criterio è stato seguito, nei limiti del possibile, anche per quanto riguarda il rapporto tra sentiero e pavimento: per evitare il contatto tra manufatto ed elemento naturale, sono state realizzate ben 28 passerelle sospese in cemento armato. E' stato scelto questo materiale sia per la sua facile plasmabilità, sia per il suo colore, molto simile a quello della roccia, sia per la sua natura prevalentemente calcarea che lo rende quanto di meno estraneo si possa immaginare all'interno di una grotta carsica.
I primi sentieri furono realizzati con cemento pozzolanico avente titolo "325". I risultati furono piuttosto deludenti per la rapida usura che nel giro di pochi anni faceva sporgere gli inerti calcarei che, levigati dalle suole delle scarpe, divenivano molto scivolosi. Il problema è stato completamente risolto impiegando un cemento tipo "Portland" con titolo "425": piani di calpestio stesi da quasi vent'anni appaiono ancora come nuovi dopo il passaggio di almeno un milione di visitatori.
L'adozione del cemento non significa comunque che i sentieri in acciaio siano sempre da scartare: in grotte particolarmente ampie, come la Grotta di Bossea (Frabosa Soprana - CN) e l'Inghiottitoio di Val di Varri (Pescorocchiano - RI), sono stati realizzati camminamenti metallici ben armonizzati al paesaggio sotterraneo. I piani di calpestio in grigliato permettono tra l'altro una visione particolarmente suggestiva sull'ambiente sottostante. Quelli in lamiera goffrata, utilizzati altrove, risultano invece antiestetici, fastidiosamente rumorosi e si coprono ben presto di una patina viscida che finisce per seppellire i rilievi antiscivolo, richiedono frequenti operazioni di pulizia.

L'IMPIANTO ELETTRICO

Nell'esecuzione dell'impianto elettrico si è sempre cercato di evitare un'illuminazione sfarzosa "da palcoscenico", impiegando esclusivamente luci bianche proporzionate alle superfici da mettere in risalto e lasciando al buio ampie zone per accentuare quel senso di mistero che l'ambiente sotterraneo deve suscitare nel visitatore.
Per prevenire, o almeno limitare il più possibile la formazione di alghe verdi, l'impianto è stato frazionato in quindici tratti, allo scopo di ridurre il tempo di esposizione delle concrezioni alla luce dei riflettori: dove questo accorgimento si è rivelato insufficiente, il problema è stato risolto abbinando ai riflettori più "pericolosi" dei sensori di presenza che, mediante un temporizzatore, spengono immediatamente le luci non appena i visitatori si allontanano dai soggetti illuminati. In altre grotte il verde è stato prevenuto con successo mediante l'impiego di lampade a vapori di sodio che emettono una luce gialla monocromatica. Questo tipo di luce, molto usato nelle gallerie stradali, impedendo del tutto la visione di qualunque colore diverso dal giallo, risulta del tutto inadatto alla Grotta del Vento, nella quale la varietà cromatica è una delle caratteristiche principali.
Ogni punto luce è protetto da un interruttore magnetotermico che scatta in caso di corto circuito o di assorbimenti anomali. Ciò permette di riparare i singoli riflettori senza bisogno di spegnere le luci circostanti. Le cassette stagne contenenti i teleruttori, i magnetermici, i temporizzatori, i relè passo-passo e tutti gli altri componenti elettromeccanici ed elettronici di ogni tratto sono riscaldati da speciali resistenze, onde evitare i danni che potrebbero derivare dall'elevatissima umidità ambientale.
Per scongiurare il rischio che l'eventuale interruzione di una fase possa lasciare al buio un'intera sezione della grotta, le luci di ogni tratto sono distribuite su tre fasi.
Un gruppo elettrogeno da 60 KwA ad intervento automatico, sempre tenuto in caldo da una resistenza situata alla base della coppa dell'olio, fornisce l'energia necessaria per l'intero impianto di illuminazione in caso di improvvisa interruzione dell'erogazione fornita dall'E.N.E.L. Il tempo di oscuramento ha una durata leggermente inferiore ai 7 secondi.

PRECAUZIONI ADOTTATE PER NON ALTERARE I PARAMETRI MICROCLIMATICI

Quando la grotta fu esplorata dal Gruppo Speleologico Lucchese nel 1964, l'accesso era ostacolato da un'angusta strettoia avente una sezione trasversale di circa 12 decimetri quadrati. È chiaro che all'interno di questa strozzatura la corrente d'aria poteva divenire violentissima, ma l'ostacolo riduceva comunque notevolmente il volume complessivo dell'aria circolante all'interno del sistema.
Un ostacolo ancora più drastico era costituito da un sifone che, a circa 80 metri dall'ingresso, chiudeva ermeticamente il passaggio per una media di otto mesi all'anno.
Per consentire le visite in qualunque stagione il sifone fu superato mediante una galleria artificiale lunga 30 metri, e dalla galleria iniziale furono rimossi circa 600 metri cubi di materiale detritico per consentire ai visitatori di procedere in posizione eretta.
Per evitare che questi interventi alterassero in maniera radicale il regime della corrente d'aria ed i parametri microclimatici, si posizionarono a fianco della porta blindata che protegge la grotta alcuni aeratori regolabili la cui sezione corrisponde a quella della vecchia strettoia iniziale. Chiudendo completamente gli aeratori, nei mesi meno asciutti si riproducono le stesse condizioni create in precedenza dal sifone bloccato (situazione autunnale – invernale – primaverile). Aprendoli si ha un regime corrispondente a quello estivo. In realtà l'unico vantaggio reale di questo accorgimento è quello di consentire durante i mesi di maggiore affluenza turistica un abbondante ricambio dell'aria, evitando così un accumulo eccessivo di anidride carbonica ed evitando nello stesso tempo di esporre i visitatori ad una corrente d'aria che potrebbe diventare insopportabile se non venisse in qualche modo regolata. Ovviamente, essendo l'ingresso turistico la "bocca fredda" di un sistema "a tubo di vento", durante l'inverno la prima parte della grotta può subire abbassamenti di temperatura e di umidità relativa direttamente proporzionali alla quantità d'aria che viene fatta passare attraverso gli aeratori. Per quanto riguarda i parametri climatici delle zone più interne, non si sono mai registrate variazioni significative sia nella temperatura dell'aria che nella percentuale di anidride carbonica durante i cinque anni di spe-

rimentazione speleoterapica condotti con successo dai ricercatori dell'Università di Pisa. I cicli di cura avvenivano durante l'estate, quindi in coincidenza coi periodi di massima frequentazione turistica. Leggere e repentine variazioni della temperatura si verificavano solo nelle immediate adiacenze dei sentieri più transitati.
Tornando alla limitata utilità delle precauzioni prese nell'intento di tutelare le condizioni climatiche interne, va considerato che la situazione che si è voluto mantenere inalterata è semplicemente quella relativa all'estate del 1964, l'anno in cui venne effettuata l'esplorazione in seguito alla quale fu deciso di attrezzare la grotta per il turismo. Appena 20 anni prima la strettoia iniziale era completamente chiusa da una massa detritica fluitata dal canalone esterno, mentre la collocazione di alcuni frammenti di ceramica rinvenuti durante gli scavi effettuati per liberare dai detriti la galleria iniziale dimostrò che pochi secoli addietro il passaggio era libero e probabilmente i valligiani potevano raggiungere il sifone senza grossi problemi per approvvigionarsi d'acqua. Ciottoli fluviali cementati al soffitto della galleria iniziale indicano però che, andando ancora più indietro nel tempo, deve esserci stato un periodo durante il quale il condotto fu completamente riempito dai detriti. Osservazioni più recenti hanno permesso di appurare che, se il condotto iniziale ed il sifone venissero completamente ripuliti dai riempimenti, la sezione trasversale risultante sarebbe quasi ovunque di 10-12 metri quadrati. Qualcuno potrebbe osservare: ma quando la galleria era libera dai detriti era percorsa da acqua circolante sotto pressione, e quindi l'aria non poteva passare; è vero: effettivamente l'attuale ingresso turistico della grotta anticamente era una sorgente valchiusana, ed è ritornato ad esserlo per alcune ore durante l'alluvione del 1996, e probabilmente chissà quante altre volte. Ma la scoperta di alcune massicce concrezioni stalagmitiche sotto il limo che copre il pavimento del punto più profondo del sifone indica che in un lontano passato l'attività della valchiusana cessò completamente per qualche migliaio di anni, consentendo all'aria di circolare liberamente anche durante l'inverno.
Per vedere quale poteva essere la situazione in quel periodo, durante un'eccezionale ondata di freddo verificatasi nell'inverno del 1985 la porta blindata venne lasciata aperta per una notte intera. Dopo 10 ore nella Sala dell'Orso (20 metri dall'ingresso), dove a cose normali la temperatura non scendeva quasi mai sotto il valore di +10°C., si formarono stalattiti di ghiaccio lunghe fino a due metri, mentre alla base della galleria artificiale che sovrasta il sifone la temperatura scese di otto gradi. Il fortissimo vento entrante trascinò all'interno della grotta una cospicua quantità di neve, coprendo un lungo tratto del pavimento. La porta fu immediatamente richiusa per evitare che il gelo, avanzando ulteriormente verso le parti più interne, potesse danneggiare le concrezioni.
Alla luce di queste osservazioni si può pertanto affermare che, in condizioni naturali, almeno nella prima parte di questa grotta la normalità non è costituita da una situazione microclimatica stabile, bensì da un'estrema variabilità di tutti i parametri.

IL SISTEMA DI COMUNICAZIONE TELEFONICA

In tutte le grotte turistiche di grande sviluppo uno dei problemi più grossi è quello delle comunicazioni tra le guide e l'esterno (e viceversa). Nella Grotta del Vento fu adottato negli anni 80 un sistema interfonico che consentiva di colloquiare "a viva voce" tra la biglietteria ed alcuni punti fissi all'interno della grotta. Il sistema, più volte danneggiato dai fulmini e dall'umidità, finì per essere abbandonato. D'altra parte la sua utilità era limitata sia dal basso numero delle postazioni interne, sia dall'inevitabile mancanza di riservatezza. In altre grotte sono in funzione telefoni stagni ubicati in più punti che consentono alle guide di parlare con la biglietteria. Anche in questo caso però gli apparecchi sono fissi e dall'esterno è molto difficile rintracciare le guide desiderate.
Da due anni nella Grotta del Vento ogni guida è dotata di un telefono tascabile (tipo cellulare) col quale può colloquiare con l'esterno o con le altre guide da qualsiasi punto, semplicemente componendo il numero che corrisponde a chi si vuole rintracciare. Dalla biglietteria è possibile passare alle guide telefonate provenienti dalla rete esterna o abilitare i loro apparecchi a comunicare con qualunque abbonato, sia della telefonia fissa che di quella cellulare. La propagazione delle onde radio avviene attraverso dodici antenne protette, dislocate lungo i sentieri in modo da coprire l'intero percorso turistico.

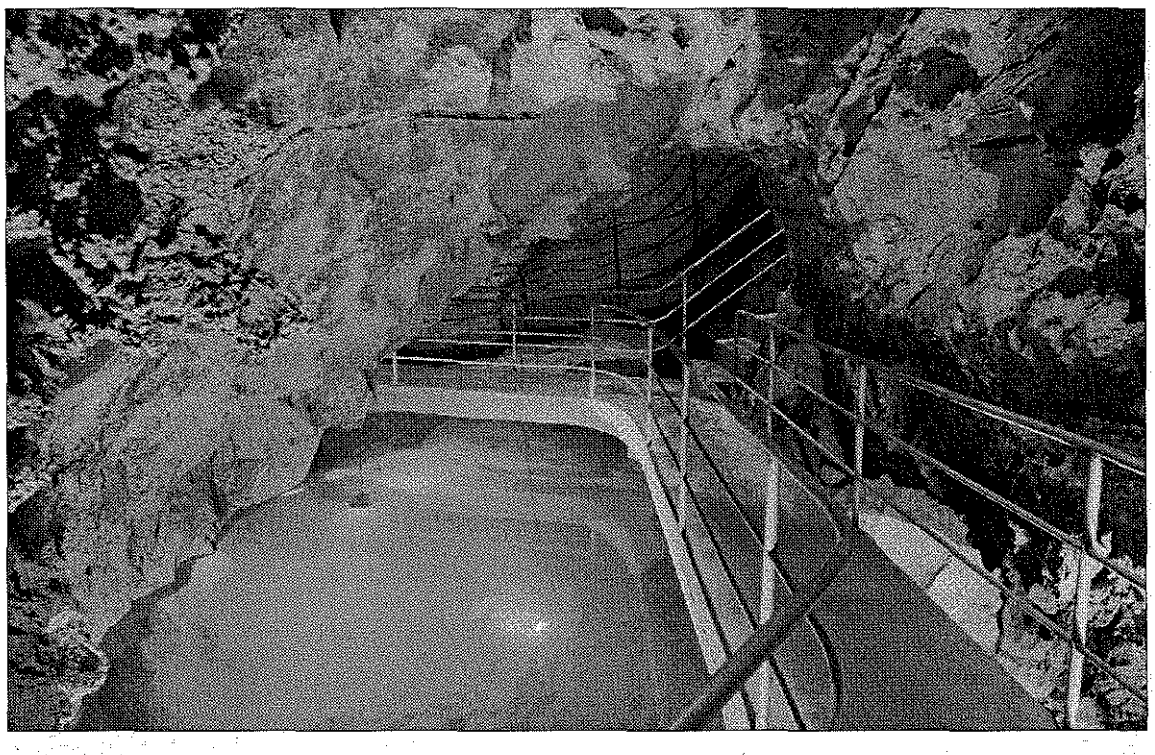
Questo sistema, che ha sempre funzionato perfettamente, è utilissimo sia per snellire il traffico interno nei periodi di maggiore affollamento, sia per comunicare coi centri di assistenza tecnica durante i lavori di manutenzione. Ovviamente potrebbe divenire addirittura prezioso per eventuali operazioni di pronto soccorso.

I SERVIZI ESTERNI

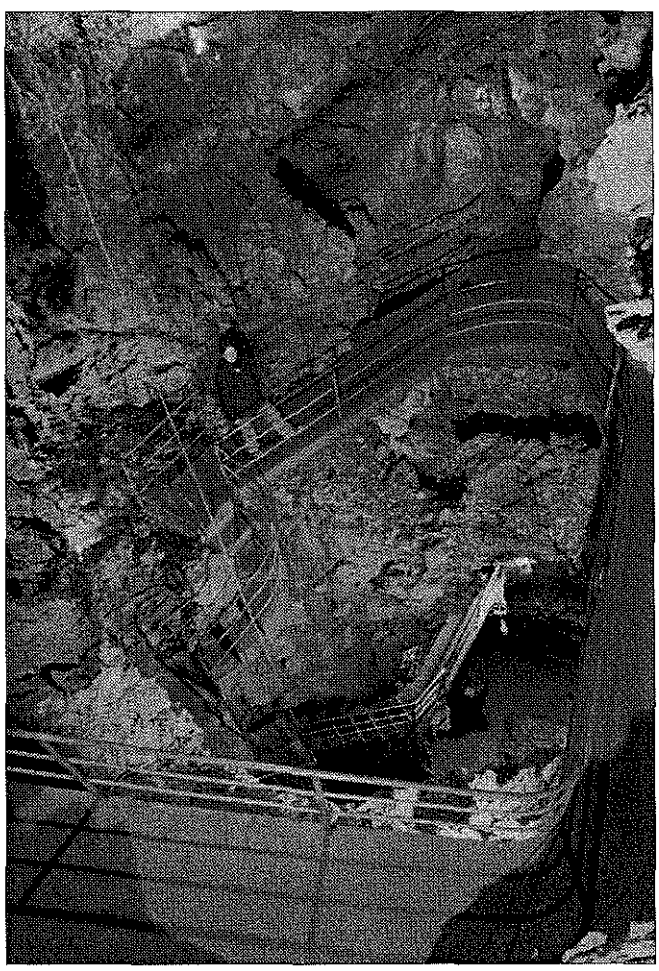
Ad appena 40 metri dall'ingresso, un ampio edificio di tre piani ospita gli uffici direzionali, la biglietteria, il bar, una sala ristorante, i servizi igienici ed un grande negozio che in 36 vetrinette espone una vasta rassegna di minerali e di fossili provenienti da ogni parte del mondo. Presso la biglietteria è possibile acquistare carte topografiche della zona e diversi libri di interesse turistico e naturalistico.
Uno spazio apposito è stato dedicato alla depliantistica riguardante tutte le grotte turistiche che vogliono diffondere la propria immagine nelle sedi più adatte. All'esterno è stata allestita un'estesa area picnic con diversi tavoli, fontane e panchine immersi nel verde.

RIFLESSI SULLO SVILUPPO SOCIO-ECONOMICO DEL TERRITORIO

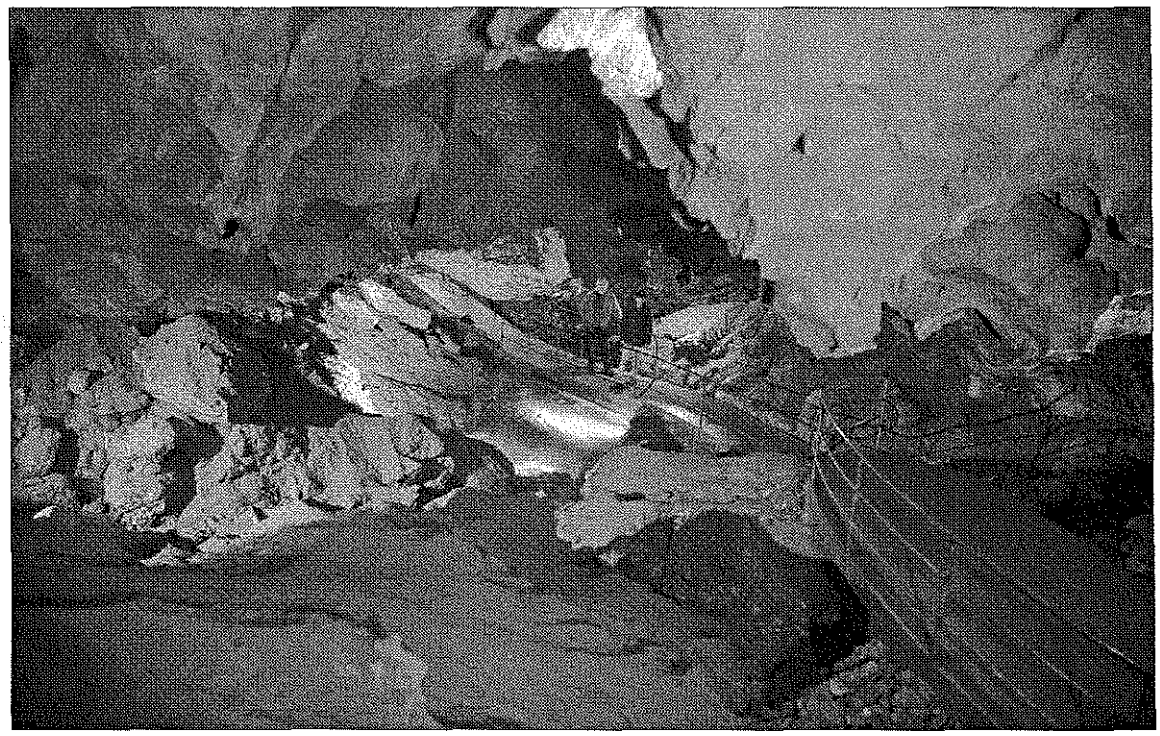
Prima che la Grotta del Vento divenisse la maggiore attrattiva della Garfagnana, nei paesi disseminati lungo la valle del torrente Turrite non esistevano altre attività economiche se non qualche minuscola bottega di generi alimentari e qualche piccola impresa boschiva. I giovani si trasferivano presso i lontani luoghi di lavoro e sul posto restavano quasi esclusivamente gli anziani.
A distanza di 35 anni la situazione è mutata radicalmente: le vecchie botteghe sono scomparse, ma la sola Grotta del Vento impiega nella bassa stagione non meno di 7 persone. Nell'alta stagione il numero sale a 24. Ma questa non è che la punta dell'iceberg. Va infatti considerato tutto l'indotto che non è costituito solo dai fornitori, dagli impiantisti e dalle numerose ditte che hanno lavorato e tuttora lavorano saltuariamente per la grotta, ma si estende a tutte le imprese commerciali e turistico-ricettive che sono sorte in seguito alla sua valorizzazione.
Di fronte alla Grotta del Vento funziona un ristorante che nel mese di agosto arriva a servire diverse centinaia di clienti ogni giorno. Molti di questi ritornano poi più volte, portando parenti, amici e conoscenti anche durante la stagione invernale.
Accanto al ristorante è in funzione da tre anni un negozio di prodotti tipici della gastronomia garfagnina. Il proprietario del negozio, che è un grossista di generi alimentari, tramite questo punto vendita riesce ad allargare molto facilmente la diffusione dei suoi prodotti. Altri quattro ristoranti sono sorti lungo la strada che conduce alla grotta. La mancanza di strutture alberghiere viene ampiamente compensata dal fiorire di numerose aziende agrituristiche e da diversi affittacamere.
La presenza di tre grossi allevamenti di trote lungo il torrente è in gran parte da mettere in relazione all'esistenza di tutte queste attività ed all'incremento delle presenze che ha fatto seguito all'apertura della grotta. Anche esercizi commerciali che apparentemente non hanno niente a che fare col turismo, dichiarano di avere un grosso incremento nelle vendite durante la stagione turistica. Non a caso a Gallicano, punto di partenza per la grotta, un grosso centro commerciale appartenente ad una nota catena internazionale è uno dei pochi in Toscana a rimanere aperto tutte le domeniche.
Ma i benefici che derivano dalla grotta non si limitano all'ambito della valle sinora presa in esame. Lo sanno bene gli oltre 40 albergatori della Garfagnana e della Media valle del Serchio, che dal movimento turistico provocato dal richiamo della grotta traggono la maggior percentuale di presenze.
Non solo, ma la Grotta del Vento provvede a distribuire annualmente il loro materiale pubblicitario in occasione delle numerose fiere turistiche alle quali partecipa con un proprio stand esponendo immagini di tutta la valle del Serchio.
Da sottolineare infine l'attività della "Edizioni Grotta del Vento", una piccola casa editrice che si occupa della produzione e della distribuzione di quasi tutte le cartoline riguardanti il Parco delle Apuane e la valle del Serchio, oltre ad alcuni libri, tra i quali l'unica guida turistica veramente completa della Garfagnana.



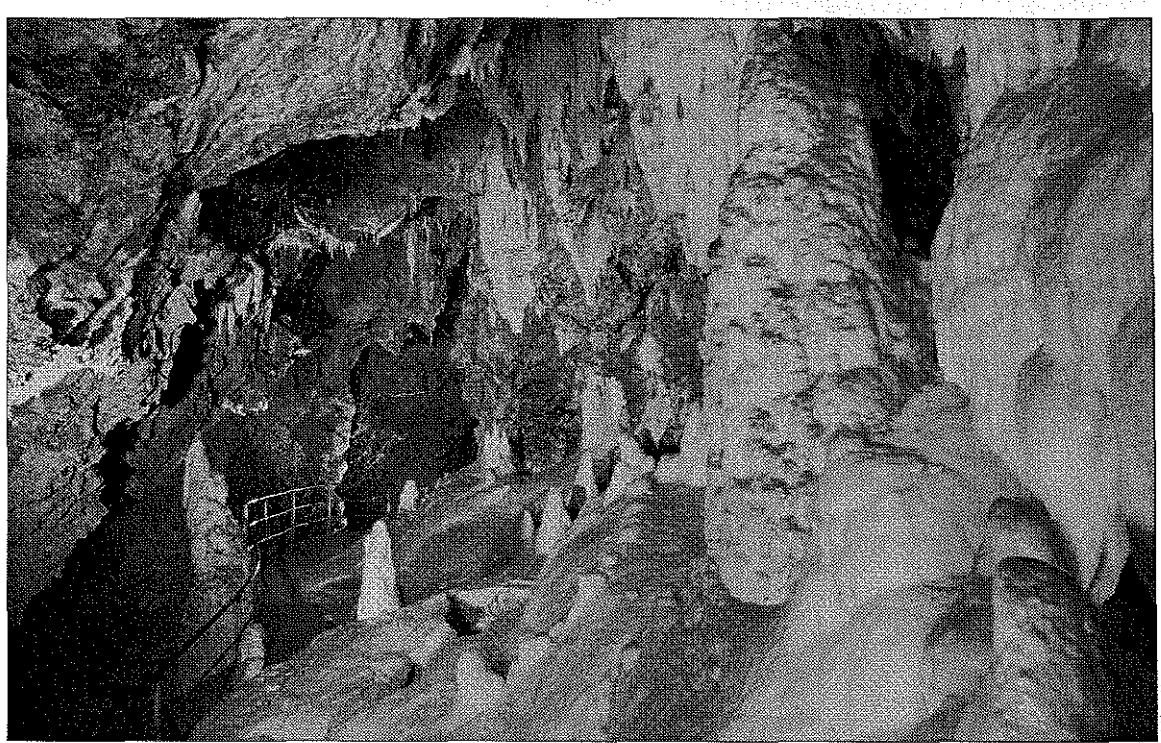
▲ Foto 1
Ponte sul sifone iniziale.



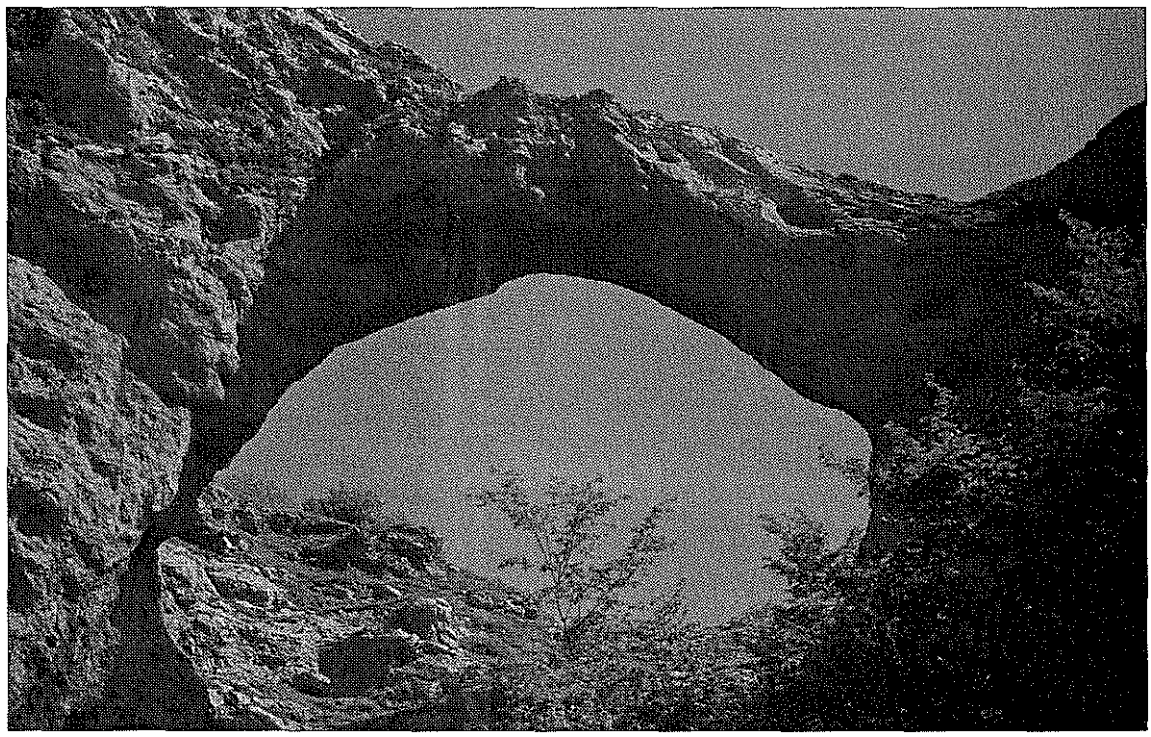
◀ Foto 2
Sentiero in parete nel Pozzo dell'Infinito.



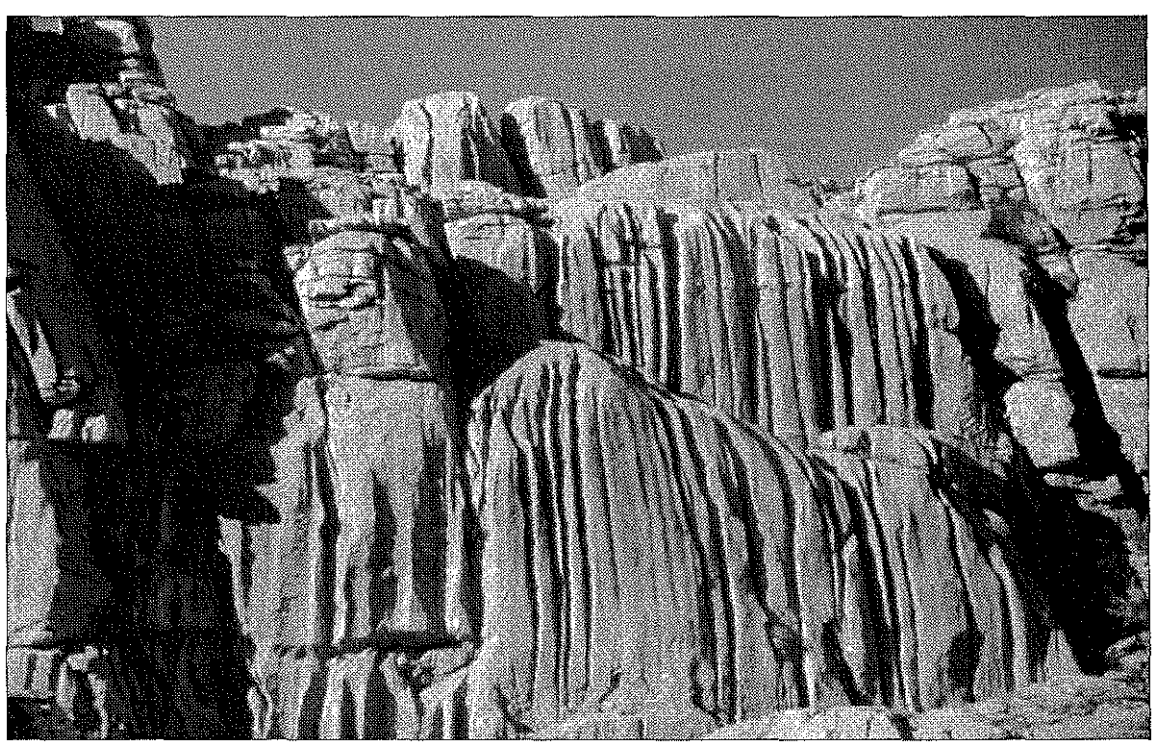
▲ Foto 3
Sentieri nella zona dell'Acheronte (secondo itinerario).



▲ Foto 4
Sala del Monumenti.



▲ Foto 5
L'arco ciclopico del Monte Forato.



▲ Foto 6
Altopiano della Vetricia, solchi a doccia.

area tematica D

VARIAZIONI DELLA CARICA BATTERICA NELLE ACQUE DELLA GROTTA DI BOSSEA E LORO POSSIBILE RELAZIONE CON LA RAREFAZIONE DELLE POPOLAZIONI DI NIPHARGUS SP. (CROSTACEI ANFIPODI)

Mario Aragno [1], Enrico Lana [2], Angelo Morisi [1], Guido Peano [2-3]

[1] *ARPA Piemonte, Dipartimento di Cuneo* - [2] *Stazione Scientifica di Bossea* - [3] *Comitato Scientifico Centrale del CAI*

RIASSUNTO

La carica batterica di due diversi sistemi acquiferi della grotta di Bossea (Polla delle Anatre e Torrente Mora) è stata valutata con cadenza mensile fra Agosto 2002 e Agosto 2003; i risultati vengono confrontati con analoghe analisi effettuate negli anni '80. Si evidenzia la netta diminuzione dei valori di carica relativi alla Polla e, per contro, un aumento significativo degli stessi nel torrente: il fatto è messo in relazione rispettivamente con la cessazione e l'avvio ex novo di attività zootecniche nelle aree di ricarica dei due sistemi. La probabile scomparsa, o almeno l'impossibilità di ulteriore reperimento a partire dal 1995, dell'Anfipode Niphargus sp., precedentemente assai diffuso nel collettore ipogeo principale, è messa in relazione con i riscontri microbiologici.

La tesi è supportata da dati relativi alla scomparsa di altri crostacei stigobionti in località dell'Italia nord-orientale a seguito di alterazione della falda acquifera, che confermano la sensibilità di questi organismi all' inquinamento organico; i risultati negativi di recenti ricerche mirate alla raccolta di microfauna stigobia ed il fatto che si sia mantenuta costante la presenza di una seconda specie di Niphargus (che frequenta in Bossea un microhabitat indenne dall'alterazione) sembrano avvalorare questa ipotesi.

ABSTRACT

The water microbial charge of two different groundwater systems in the Bossea cave were monitored monthly from august 2002 to august 2003; the data are compared with that of similar studies carried out in the '80s. A conspicous drop in the microbial charges in the "Polla" spring was observed, together with a significant increase in the "Mora" watercourse. These facts are hypothetically related respectively with the end and the beginning of livestock activities in the absorbing areas of the two systems.

The disappearance of a crustacean species of the genus Niphargus from the cave is referred and correlated with the microbial data: this hypotesis is supported by the constancy of presence and the invariability of distribution of another Niphargus species, inhabiting a microhabitat not affected by the contamination.

LA SITUAZIONE IDROGEOLOGICA

Il sistema carsico di Bossea (di cui è parte terminale la grotta turistica omonima) è alimentato prevalentemente dalle perdite alveari del Rio di Roccia Bianca e del confluente Rio Bertino che scorrono nella depressione valliva interposta fra il Colle del Prel e la Costa di Roccia Bianca.

Le infiltrazioni nell'alveo del Rio di Roccia Bianca si verificano in un settore situato a valle dei Tetti del Formaggio, lungo circa 300 metri, con assorbimento frazionato in più punti attraverso le ghiaie e le sabbie grossolane del fondo e le fratture della roccia e più massivo nell'inghiottitoio terminale, abitualmente ingombro di sedimenti ma fortemente beante, oltre il quale il corso d'acqua rimane abitualmente in secca. Gli estesi reticoli di diaclasi e di piccoli condotti sottostanti l'alveo provvedono poi ad un rapido drenaggio delle acque in profondità.

Le dimensioni delle fratture, l'assenza di consistenti spessori di depositi filtranti nell'alveo del torrente e la relativa rapidità di transito delle acque determinano un facile trasferimento nel sistema carsico delle sostanze inquinanti e dei materiali in sospensione (sabbie fini, limi, argille) presenti nelle acque di superficie.
Il Rio di Roccia Bianca ha origine circa 1,5 km più a monte in una depressione immediatamente sottostante il Pian dei Gorghi, compresa fra le falde della Cima Artesinera (versante orientale), delle Trucche delle Pre' e le estreme propaggini della Punta del Vallon. E' formato dall'apporto di varie piccole emergenze alimentate dalle acque assorbite sui predetti rilievi, tutti costituiti da rocce carbonatiche mesozoiche comprese in formazioni triassiche, giurassiche e cretacee.
Di qui ha inizio l'omonimo vallone che si approfondisce rapidamente.
Il rio presenta, nel primo tratto del suo percorso, uno scorrimento prevalentemente subalveare sotto una spessa coperture eluvio-colluviale.
Le acque riaffiorano con il raggiungimento delle quarziti permo-triassiche del Monte Merdenzone, costituenti substrato impermeabile.
In quest'area la portata del torrente viene notevolmente arricchita dall'apporto di numerose piccole sorgenti, sia situate al contatto fra i calcari delle Trucche delle Pre' e le quarziti del Merdenzone, sia scaturenti dalle stesse quarziti in zone localmente interessate da intensa fratturazione. Nei pressi dell'intersezione con la strada intercomunale Fontane-Colle del Prel, il torrente abbandona le quarziti per ritornare sui calcari cretacei e giurassici., mentre il vallone diviene rapidamente molto incassato e scosceso.
Poco oltre, in corrispondenza dei calcari profondamente fratturati, hanno inizio le perdite alveari.

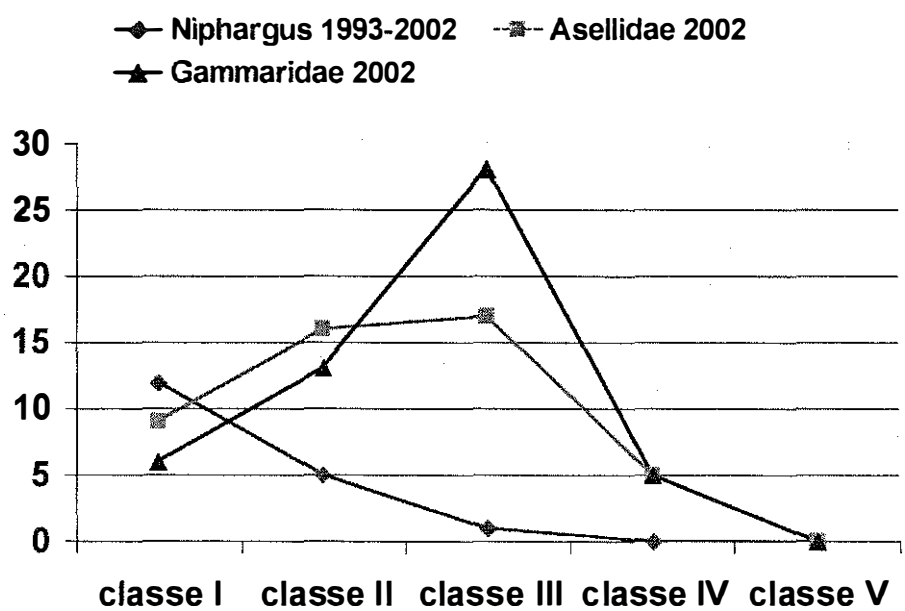
LE INSTALLAZIONI ANTROPICHE SOVRAIMPOSTE

Proprio nella zona di origine del Rio di Roccia Bianca è stata installata una decina di anni fa una stalla d'alpeggio, capace di accogliere, con il ripiano antistante, qualche centinaio di bovini, con allegato alloggio dei pastori. Negli anni seguenti sono state realizzate varie opere sussidiarie, come sistemazione del terreno a pianoro, captazioni di sorgenti, installazione di vasche per abbeveratoio animali, ecc. che hanno comportato rilevanti movimenti di terra. Negli ultimi due anni è stato inoltre costruito più a valle un nuovo edificio, destinato probabilmente a caseificio, situato nei pressi dell'intersezione del rio con la predetta strada intercomunale, sul bordo di un esteso pianoro di stazionamento dei bovini anch'esso immediatamente sovrastante il torrente e stagionalmente ricoperto di sterco.
E' infine in tracciamento una nuova sterrata che appare destinata a congiungere il predetto edificio con la stalla del Pian dei Gorghi, che segue l'andamento dell'alveo del torrente, finora realizzata per un tratto di alcune centinaia di metri. Anche qui sono state captate alcune piccole sorgenti, precedentemente libere, intubandone le acque residue in condotti che passando sotto la sede stradale,le recapitano nel Rio Roccia Bianca. Tutte queste opere hanno comportato nuovi movimenti di terra in immediata vicinanza del sottostante torrente.
Oggi le deiezioni animali si sono accumulate progressivamente entro la stalla e nelle zone di stazionamento esterne, in immediata continuità con l'alveo del Rio di Roccia Bianca, nel quale si riversano i liquami inquinanti per scolo e dilavamento. Tali liquami, disciolti o sospesi nelle acque, penetrano poi, un po' più a valle, nel sistema carsico di Bossea, producendovi un marcato incremento della carica batterica.
Anche il terreno smosso dai lavori di costruzione e sistemazione delle superfici, dilavato dalle acque meteoriche, ha raggiunto e continua a raggiungere in parte rilevante l'alveo del torrente. Da questo percola poi, in sospensione, nel collettore del sistema carsico di Bossea, creando, in occasione delle precipitazioni, forti intorbidamenti, anche abbastanza duraturi, del torrente che percorre la parte turistica della grotta, un tempo ben noto per la limpidezza cristallina delle acque. Tali materiali determinano contemporaneamente un marcato aumento degli ingenti e pericolosi accumuli di limi ed argille presenti nella zona sommersa dell'acquifero, che ha avuto un ruolo determinante nell'ostruzione dei punti più ristretti di alcuni condotti, causa prima dell'alluvione che ha inferto danni rilevanti alle attrezzature turistiche ed alle installazioni scientifiche della cavità, nell'anno 1996, costituendo potenzialmente un grave pericolo per eventuali visitatori presenti in quel momento nella grotta.

I CROSTACEI NELLA FAUNA DI BOSSEA

Negli anni dal 1969 al 1971, nell'ambito delle attività della neonata sezione biologica della Stazione Scientifica di Bossea, ricerche faunistiche effettuate nel laghetto della sala dell'Orso e nel tratto superiore del torrente ipogeo della grotta portarono alla cattura di numerosi esemplari di una specie "grande" (circa 10 mm di lunghezza) di *Niphargus* (Crostacei, Anfipodi): sulla base di una prima determinazione effettuata da A.Vigna Taglianti, la specie veniva citata come "*N.* sp. cfr. *tauri*" sul bollettino del Gruppo Speleologico Alpi Marittime "Mondo Ipogeo". Nel 1985 la specie veniva citata da Bologna & Vigna Taglianti nella loro "Fauna cavernicola delle Alpi Liguri" come "*Niphargus* cfr. *aquilex*" in base allo studio di esemplari raccolti nel 1969 da A. Morisi e G.Peano.
Contemporaneamente alle raccolte della specie "grande" venivano saltuariamente rinvenuti in una pozzetta di stillicidio sita all'interno del laboratorio biologico alcuni esemplari di una specie "piccola" (4-5 mm) di *Niphargus*, citati genericamente nei resoconti della stazione sul bollettino del Gruppo Speleologico Alpi Marittime; sulla base delle stesse raccolte, Bologna & Vigna Taglianti (op. cit., 1985) riportavano la specie come "*N.* sp. gr. *speziae-romuleus*". Dopo un periodo di stasi, l'attività della sezione biologica è ripresa a partire dal 1992 e, pur senza che si siano effettuate raccolte di esemplari, è stata documentata a più riprese la presenza dei *Niphargus* della specie di dimensioni maggiori lungo il corso superiore del torrente sotterraneo; per attirare i crostacei in quelle occasioni sono state usate semplici ma efficaci trappole cilindriche traforate innescate con materiale organico in decomposizione; le osservazioni appena citate risalgono agli anni 1992-1993.
A partire da quegli anni in località pian dei Gorghi è stata intensificata l'attività pastorizia in quota con la installazione di una nuova stalla per bovini, l'aumento del numero di animali stabulati e l'adeguamento di opere di drenaggio e condottazione dell'acqua da abbeverata e contemporaneamente si sono verificati in Bossea episodi più o meno frequenti ed intensi di intorbidamento delle acque: tali eventi sembrano in evidente concomitanza (poiché si intensificano durante il periodo degli alpeggi) con tali attività. Nel 1995, a seguito della visita a Bossea di Fabio Stoch, specialista di questi crostacei, si sono effettuate ricerche più approfondite lungo il corso superiore del torrente e nel laghetto della Sala dell'Orso, ma non sono stati più trovati esemplari della specie di dimensioni maggiori; nella stessa occasione si sono invece rinvenuti esemplari della specie "piccola" anche nei laghetti concrezionati posti lungo la risalita ai Laghi Pensili.
A seguito dei rilevamenti effettuati nel 1998-1999 per la elaborazione della propria tesi di laurea (si trattava di ben 28 campionature con esche attrattive controllate a cadenza circa mensile), A. Nigro segnala la cattura nel laghetto della sala dell'Orso di cinque soli individui di *Niphargus* della specie "grande" (uno il 6.08.1998, uno il 5.03.1999 e tre il 22.10.1999) Ricerche successive non hanno dato esito positivo per la specie "grande", mentre sono stati rinvenuti altri esemplari del *Niphargus* di dimensioni minori in pozzette alimentate da stillicidio, sia lungo il percorso turistico che nel tratto superiore del torrente ipogeo.
Nel corso del 2003 sono state posizionate numerose esche lungo il corso del fiume nei siti in cui in passato era stata rinvenuta la specie maggiore, ma le osservazioni, condotte per almeno sei mesi, non hanno dato esito positivo; nello stesso periodo invece, sono stati rinvenuti esemplari di *Niphargus* della specie "piccola" in tutti i siti in cui questa era stata già osservata precedentemente. Contemporaneamente sono state effettuate ripetute ricerche mediante microretino da plancton (100 μm) per verificare la eventuale presenza di microcrostacei stigobi; a tutt'oggi anche questa ricerca ha dato esito negativo.
Nel torrente ipogeo di Bossea, in condizioni di microhabitat analoghe a quelle del *Niphargus* "grande", con il quale condivide anche la nicchia trofica (sono infatti entrambi dei detritivori tagliuzzatori), vive un altro crostaceo troglobio: si tratta di *Proasellus franciscoloi* (Chappuis), un Isopode endemico delle Alpi Liguri noto, oltre che a Bossea, solo in altre due grotte del cuneese; osservazioni costanti condotte nell'ultimo decennio non hanno messo in evidenza variazioni significative nella densità di popolazione e distribuzione di questi asellidi, che risultano sempre presenti lungo il torrente in tutti i siti nei quali erano stati rinvenuti precedentemente.
Appare evidente che il *Niphargus* di piccole dimensioni è legato alle acque di stillicidio, quindi poco o affatto influenzato dalle variazioni del carico organico o della qualità dell'acqua del torrente, mentre l'altra specie, legata alle acque correnti, è significativamente esposta a fattori di alterazione della qualità delle acque e si dimostra sensibilmente meno tollerante di *Proasellus* nei confronti di tali fattori; vale la pena di ricordare come, in accordo con quest'ultima osservazione, numerosi metodi di rilevamento della

qualità delle acque e degli ecosistemi di acque correnti mediante bioindicatori attribuiscono genericamente agli Isopodi una minore sensibilità all'eccesso di carico organico rispetto agli Anfipodi [Biotic Score (CHANDLER 1970), Biological Monitoring Working Party (ARMITAGE & al, 1983; ALBA-TERCEDOR & SANCHEZ-ORTEGA, 1988), Saprobien Index (DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG-DIN, 1990) etc.]: d'altra parte *Niphargus* è considerato, per la sua indubbia specializzazione, relativamente meno tossicotollerante.
A conferma di ciò, e nonostante la saltuarietà di rivenimento di *Niphargus* in acque correnti superficiali, è possibile segnalare che la casistica accumulata da ARPA Piemonte sembra rilevare una netta correlazione fra il rinvenimento di questi Anfipodi e alti livelli di qualità ambientale, come mostra il grafico della pagina seguente.
Casi di inquinamento di reticoli idrografici ipogei sono noti in varie parti del mondo e ne sono stati studiati gli effetti sulla fauna sotterranea, in particolare sugli organismi stigobi che, essendo direttamente legati all'ambiente freatico o comunque alle circolazioni idriche sotterranee, sono i primi ad essere influenzati dalle variazioni dei parametri chimici e/o microbiologici connesse ai fenomeni. Rimanendo nell'ambito della biospeleologia italiana, riportiamo qui di seguito due esempi molto esemplificativi.
Nella grotta Buso della Spurga o Spurga dei Peri che si apre sui monti Lessini veronesi erano presenti il crostaceo Isopode *Monolistra berica* (Fabiani) e l'Anfipode *Niphargus stygius* (Schiödte). All'inizio degli anni '90 del secolo scorso, sono state installate delle porcilaie nella zona soprastante la cavità; l'inquinamento organico da infiltrazione che ne è derivato ha provocato la completa scomparsa delle due specie citate nonchè della microfauna stigobia che prima cra molto abbondante e significativa; quest'ultima è stata sostituita da specie banali epigee avvantaggiate dall'abbondanza di sostanze organiche veicolate dalle acque (Caoduro et al., 1995).
Un altro caso è quello della Grotta Nuova di Villanova, sita in Lusevera in provincia di Udine, zona che è stata teatro di un terremoto nel 1976; a seguito del sisma sono state allestite delle baracche per i terremotati che hanno dato luogo a scarichi fognari diffusi generando durante il decennio successivo un inquinamento organico delle acque della grotta.
Questo fenomeno ha portato alla totale scomparsa dell'Isopode *Monolistra coeca juliae* (Feruglio) e ad una notevole riduzione della popolazione dell'Anfipode *Niphargus stygius danconai* (Benedetti), nonchè alla sostituzione dell'originaria microfauna stigobia specializzata con elementi epigei; negli anni successivi, con lo smantellamento delle baracche ed il cessare della causa inquinante, si è assistito ad un parziale ripopolamento da parte degli elementi specializzati succitati provenienti presumibilmente da affluenti sotterranei non interessati direttamente dall'inquinamento (Stoch, 1992).



LE ANALISI MICROBIOLOGICHE

A fronte di tali premesse ed osservazioni si è ipotizzato che l'aumentato carico organico e/o le mutate condizioni di veicolazione dei reflui zootecnici nel rio Rocce Bianche e, da questo, nel collettore di Bossea potessero essere la causa della rarefazione/scomparsa di *Niphargus* cfr. *aquilex* nella grotta; allo scopo di documentare le alterazioni ipotizzate a carico del torrente ipogeo è stata condotta fra agosto 2002 e agosto 2003 una campagna di campionamenti mirati al rilevamento di alcuni parametri microbiologici che sono stati considerati indicatori della tipologia di inquinamento presunta:

Coliformi totali	ufc in 100 ml
Coliformi fecali	ufc in 100 ml
Streptococchi fecali	ufc in 100 ml
Staphilococcus aureus	ufc in 100 ml
Pseudomonas aeruginosa	ufc in 100 ml
Spore di Clostridi solfito-riduttori	ufc in 100 ml
Escherichia coli	ufc in 100 ml
Salmonella sp.	presenza / assenza (in 1 litro)
Salmonella sp.	presenza / assenza (in 5 litro)
Escherichia coli O157	presenza / assenza (in 1 litro)

Lo stesso set di parametri è stato rilevato sulle acque della cosiddetta "Polla del Paradiso", una scaturigine la cui provenienza è assolutamente estranea all'area di infiltrazione soggetta alle attività pastorali precedentemente citate; per una singolare coincidenza, queste acque risultavano in passato pesantemente inquinate dal punto di vista microbiologico a causa di una modesta attività zootecnica a conduzione familiare coincidente con la loro ristretta area di assorbimento: tale attività è completamente cessata ormai da diversi anni.
Per valutare la qualità di un'acqua ai fini della potabilità, si ricercano gli indicatori di contaminazione batterica perchè la ricerca diretta dei patogeni è di difficile attuazione: vista la loro esigua quantità occorrerebbe infatti analizzare grandi volumi di acqua; inoltre i microrganismi patogeni possono essere presenti in modo discontinuo, per cui la loro negatività ai test analitici non assicura con certezza che essi siano assenti.
Si ricorre allora alla ricerca di *germi indicatori*, cioè batteri normalmente presenti in grande quantità nell'intestino umano o degli animali omeotermi: in un grammo di feci sono presenti infatti 1.7×10^7 coliformi totali, 3.0×10^6 streptococchi fecali, 1.0×10^5 Clostridi solfito riduttori: per questo motivo il loro ritrovamento nelle acque è indizio di una contaminazione di origine essenzialmente fecale e sono chiamati indicatori di contaminazione batterica.
Questo approccio analitico dà maggiori garanzie in quanto semplifica i tempi di esecuzione delle analisi ed è in grado di suggerire la possibile presenza di altri agenti eziologici batterici e virali di malattie a circolazione oro-fecale; nell'indagine microbiologica effettuata nel periodo agosto 2002/2003 sull'acqua della polla delle Anatre e del torrente Mora, sono stati ricercati i seguenti germi indicatori ed alcuni microbi patogeni responsabili di malattie a trasmissione oro-fecale:

Coliformi totali: comprendono i generi *Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella.* Sono enterobatteri gram negativi, asporigeni, aerobi o anaerobi facoltativi, fermentanti il lattosio a 35-37°C con produzione di acido, gas e aldeidi in 24-48 ore. Sono ossidasi negativi e beta-galattosidasi positivi. Possono essere di origine fecale e/o tellurica (suolo, vegetali, acque superficiali), sono indice di una contaminazione recente della falda.

Coliformi fecali: sono un gruppo di coliformi "termotolleranti", fermentanti il lattosio a 44°C perché posseggono idrolasi termostabili. Il loro ritrovamento nelle acque indica una contaminazione fecale in atto e/o presenza di sostanza organica metabolizzabile.

Streptococchi fecali: varie specie di streptococchi capaci di crescere a 45°C in terreni contenenti 40% di bile; includono i generi *Streptococcus* ed *Enterococcus*. Sono soprattutto commensali del tratto intestinale di alcuni animali e dell'uomo, e sono più resistenti dei coliformi alle variazioni di temperatura, luce, raggi UV.

Clostridi solfito-riduttori: sono batteri anaerobi obbligati, per cui sono presenti nell'ambiente esterno sotto forma di spora; la loro presenza nelle acque indica una contaminazione pregressa in quanto le spore sono forme microbiche resistenti per molti anni agli agenti esterni. Sono presenti nelle feci in minore quantità rispetto a coliformi e streptococchi per cui il loro ritrovamento può essere saltuario.

Carica batterica a 36°: esprime il numero di batteri presente in 1 ml di acqua con temperatura ottimale di crescita a 36°C, condizione che favorisce lo sviluppo di microrganismi legati all'uomo e agli animali. Questo parametro indica contaminazione degli strati profondi della falda. Il valore guida, nel caso di potabilità dell'acqua, è 10 UFC/ml ed il superamento di tale valore, o sue brusche variazioni nel tempo, impone ulteriori indagini perché è indizio di fecalizzazione, superficialità e scarsa protezione della falda.

Carica batterica a 22°: la temperatura di 22°C favorisce lo sviluppo di microrganismi di origine tellurica. Essa indica, se elevata, uno scorrimento superficiale della falda. Il valore guida, nel caso di potabilità dell'acqua, è 100 UFC/ml .
Enterobatteri patogeni: il loro ritrovamento nell'ambiente idrico indica in modo certo l'esistenza di contaminazione fecale; inoltre essi possono moltiplicarsi nelle acque dei fiumi. Nei sedimenti fluviali o lacustri si trovano più germi che nelle acque sovrastanti perché l'adesione a particelle di sostanza organica aumenta la sopravvivenza dei microrganismi. Nell'indagine effettuata si sono ricercati in modo particolare due generi patogeni:

- **Salmonella**: il genere *Salmonella* è soprattutto un parassita intestinale dell'uomo e degli animali. Questi ultimi rappresentano un importante veicolo di trasmissione in quanto possono essere portatori di salmonelle per un lungo periodo. Le salmonelle si trovano inoltre frequentemente nelle acque di scarico e talvolta in quelle fluviali e marine, come pure in certi alimenti che possono più facilmente venire a contatto con il microrganismo.
- **Escherichia coli O157**: ceppo enteroemorragico di *Escherichia* coli che causa la sindrome uremico-emorragica. Il suo habitat è costituito dal tratto intestinale dei bovini, i quali rappresentano il serbatoio naturale di questo microrganismo. La diffusione del batterio nell'ambiente esterno può causare gravi infezioni nell'uomo che si infetta ingerendo cibi o acque contaminate.

Staphylococcus aureus: è un batterio gram+, asporigeno, a forma di sfera che si presenta in ammassi irregolari a grappolo. E' aerobico, o anaerobico facoltativo, coagulasi positivo, fermenta il mannitolo, cresce bene alla concentrazione di 10% di sale nel terreno di coltura, produce un pigmento giallo oro o leggermente arancione. La principale riserva naturale degli stafilococchi patogeni è l'uomo: il contagio, però, può avvenire non solo direttamente ma anche attraverso l'ambiente poiché essi sono ubiquitari e capaci di sopravvivere a lungo nell'ambiente esterno. Per cui il loro ritrovamento non è solo limitato alla cute e alle mucose umane ma si può riscontrare nelle feci degli animali (specie quelli lattiferi, quali mucche e pecore) nei tessuti artritici del pollame, tra la polvere e le gocce di umido, nel cibo, nel tratto digerente delle mosche ecc.

Pseudomonas auruginosa: il genere *Pseudomonas* comprende germi bastoncellari, gram negativi, aerobi e mobili per la presenza di flagelli polari, diffusi nel suolo, nell'acqua, nell'aria, ma anche nelle feci (soprattutto nella specie umana): il germe è percentualmente più presente nei liquami che nelle feci per cui è considerato indicatore di scarichi. *Pseudomonas aeruginosa* è patogeno per l'uomo, che può essere contagiato sia per contatto diretto (infezioni cutanee e delle mucose), sia per ingestione del microrganismo.

RISULTATI DELLE ANALISI MICROBIOLOGICHE

Polla delle Anatre

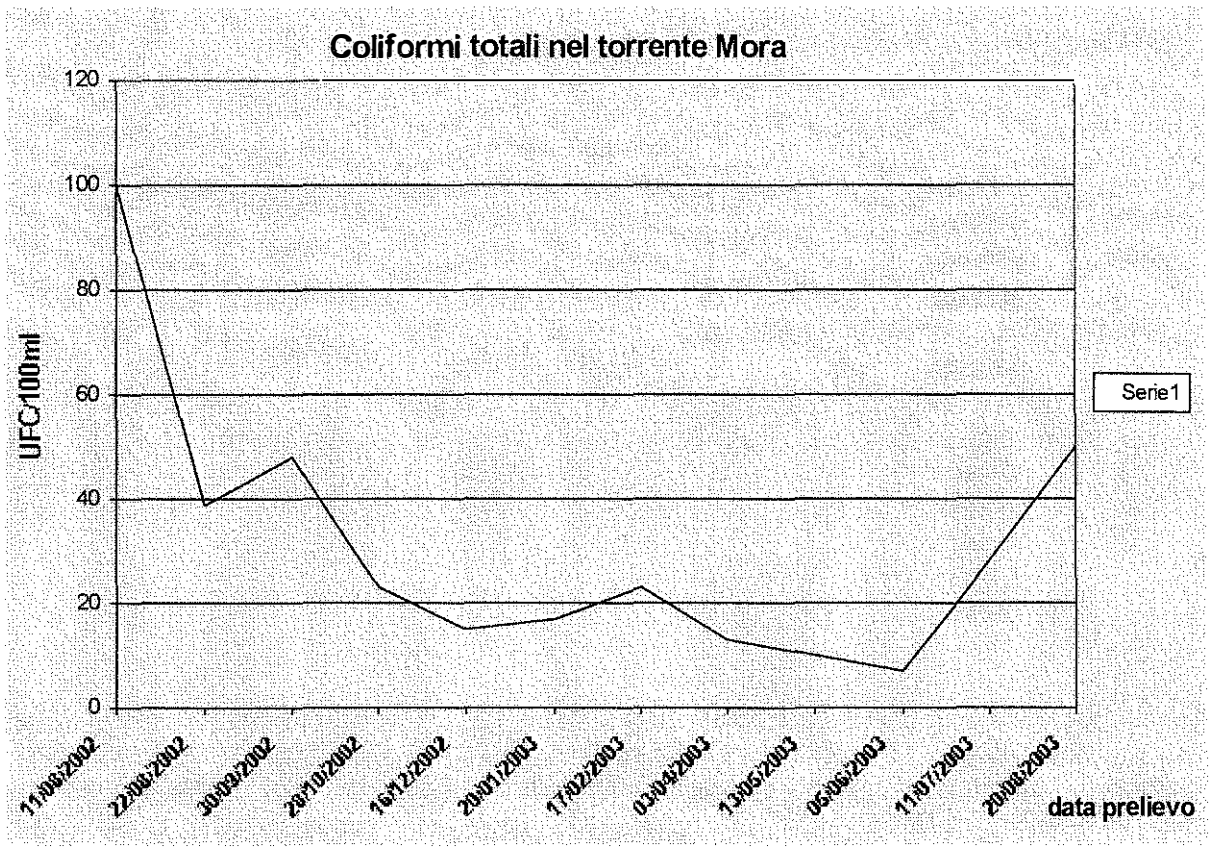
Data di prelievo	Coliformi totali	Coliformi fecali	Escherichia coli
11/08/02	0	0	/
22/08/02	1	0	/
30/09/02	0	0	/
28/10/02	0	0	0
16/12/02	3	0	0
20/01/03	1	0	0
17/02/03	0	0	0
03/04/03	0	0	0
13/05/03	0	0	0
05/06/03	0	0	0
11/07/03	0	0	0
20/08/03	0	0	0

Questa tabella riassume le analisi effettuate durante l'anno della Polla delle Anatre per quanto riguarda i parametri coliformi totali, coliformi fecali ed *Escherichia coli*: si è riscontrato un numero molto limitato di coliformi totali di probabile origine tellurica in tre prelievi ma, come si vede, nessun ritrovamento di batteri fecali.

Torrente Mora

Data di prelievo	Coliformi totali	Coliformi fecali	Escherichia coli
11/08/02	>100	4	/
22/08/02	39	9	/
30/09/02	48	4	/
28/10/02	23	1	2
16/12/02	15	0	0
20/01/03	17	0	0
17/02/03	23	0	0
03/04/03	13	0	0
13/05/03	10	0	0
05/06/03	7	0	0
11/07/03	28	0	0
20/08/03	50	42	33

La tabella riassume le ricerche di coliformi totali, coliformi fecali ed *Escherichia coli* effettuate sull'acqua del torrente Mora nel periodo di indagine: la presenza costante di coliformi totali in numero abbastanza elevato nel periodo estivo ed il riscontro di batteri fecali lascia presumere una contaminazione della falda da parte di attività zootecniche esercitate in superficie.



Polla delle Anatre

Data di prelievo	Streptococchi fecali	Spore di Clostridi solfito-riduttori	Staphylococcus aureus	Pseudomonas aeruginosa
11/08/02	0	/	/	/
22/08/02	0	/	/	/
30/09/02	0	/	/	/
28/10/02	0	0	0	0
16/12/02	0	0	0	0
20/01/03	0	0	0	0
17/02/03.	0	0	0	0
03/04/03	0	0	0	0
13/05/03	0	0	0	0
05/06/03	0	0	0	0
11/07/03	0	0	0	0
20/08/03	0	0	0	0

Questa tabella riassume le analisi effettuate durante l'anno della Polla delle Anatre per quanto riguarda i parametri streptococchi fecali, spore di clostridi solfito riduttori, *Stpahylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* non si sono riscontrati microrganismi in nessuno dei dodici campioni analizzati.

Torrente Mora

Data di prelievo	Streptococchi fecali	Spore di Clostridi solfito-riduttori	Staphylococcus aureus	Pseudomonas aeruginosa
11/08/02	9	/	/	/
22/08/02	5	/	/	/
30/09/02	0	/	/	/
28/10/02	1	2	2	0
16/12/02	0	0	0	0
20/01/03	0	1	0	0
17/02/03	0	0	0	0
03/04/03	0	1	0	0
13/05/03	0	0	0	0
05/06/03	0	0	0	0
11/07/03	0	0	0	0
20/08/03	25	0	0	0

La tabella riassume i risultati delle analisi effettuate durante l'anno del torrente Mora per quanto riguarda i parametri streptococchi fecali, spore di clostridi solfito riduttori, *Stpahylococcu aureus* e *Pseudomonas aeruginosa*: si rileva la presenza di streptococchi fecali nel periodo estivo in concomitanza con la presenza di attività pastorali e la presenza saltuaria di spore di clostridi solfito riduttori.

Polla delle anatre

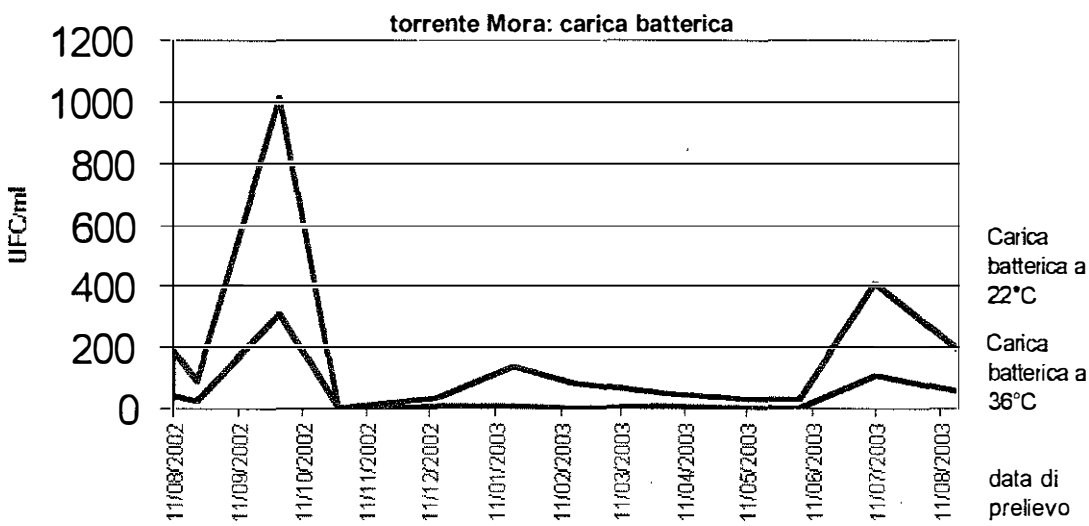
Data di prelievo	Carica batterica a 36°C	Carica batterica a 22°C
11/08/02	2	24
22/08/02	1	2
30/09/02	1	2
28/10/02	/	/
16/12/02	1	2
20/01/03	1	1
17/02/03	1	2
03/04/03	1	2
13/05/03	2	5
05/06/03	2	25
11/07/03	2	8
20/08/03	1	2

Le cariche batteriche a 36°C ed a 22°C sono pressoché costanti e non sembrano influenzate dalla periodicità dei prelievi.

Torrente Mora

Data di prelievo	Carica batterica a 36°C	Carica batterica a 22°C
11/08/02	40	148
22/08/02	21	65
30/09/02	310	700
28/10/02	/	/
16/12/02	3	30
20/01/03	7	128
17/02/03	2	82
03/04/03	4	44
13/05/03	1	31
05/06/03	1	28
11/07/03	105	300
20/08/03	52	140

La carica batterica a 36°C ed a 22°C si distribuiscono in modo non costante e risultano influenzate dalla stagionalità dei prelievi: si nota un discreto incremento dei valori nel periodo estivo-autunnale.



Polla delle anatre e torrente Mora

Data di prelievo	Salmonella /11	Salmonella/5l	E. coli O157/11
28/10/02	Assente	Assente	Assente
16/12/02	Assente	Assente	Assente
20/01/03	Assente	Assente	Assente
17/02/03	Assente	Assente	Assente
03/04/03	Assente	Assente	Assente
13/05/03	Assente	Assente	Assente
05/06/03	Assente	Assente	Assente
11/07/03	Assente	Assente	Assente
20/08/03	Assente	Assente	Assente

La ricerca di germi patogeni in entrambi i campioni ha dato esito negativo.

RISULTATI DELLE ANALISI MICROBIOLOGICHE (ANNI 70/80)

Polla delle anatre

Data diprelievo	Coliformi totali	Escherichia coli	Spore di Clostridi	CBT a 22°	CBT a 36°	Streptococchi fecali
27/10/1976	5	4	/	> 300	> 300	/
06/12/1976	0	0	/	8	3	/
26/06/1977	0	0	0	16	6	0
10/09/1977	0	0	0	14	5	0
02/051978	5	4	15	> 300	200	/
07/05/1978	2	0	/	> 300	> 300	
24/10/1982	9	9	/	6000	300	/
02/07/1984	0	0	0	3	1	/

Si può notare in questa tabella che negli anni 1978/1982 la Polla delle anatre presentava un inquinamento microbiologico rilevante con cariche batteriche molto elevate e presenza di coliformi totali ed *Escherichia coli* , in concomitanza con la modesta attività zootecnica citata nel testo; tale attività è completamente cessata da qualche anno come pure l'inquinamento della polla.

Torrente Mora

Data diprelievo	Coliformi totali	Escherichia coli	Spore di Clostridi	CBT a 22°	CBT a 36°	Streptococchi fecali
27/10/1976	2	0	/	33	2	/
06/12/1976	0	0	/	6	2	/
27/04/1977	0	0	0	170	40	0
26/06/1977	0	0	0	5	1	0
10/09/1977	1	1	0	45	13	0
02/051978	0	0	0	33	14	0
07/05/1978	0	0	0	88	3	/
14/05/1978	0	0	0	27	3	0
24/10/1982	3	3	/	80	10	/
02/07/1984	0	0	/	14	1	/
26/10/1996	9	8	/	/	/	0

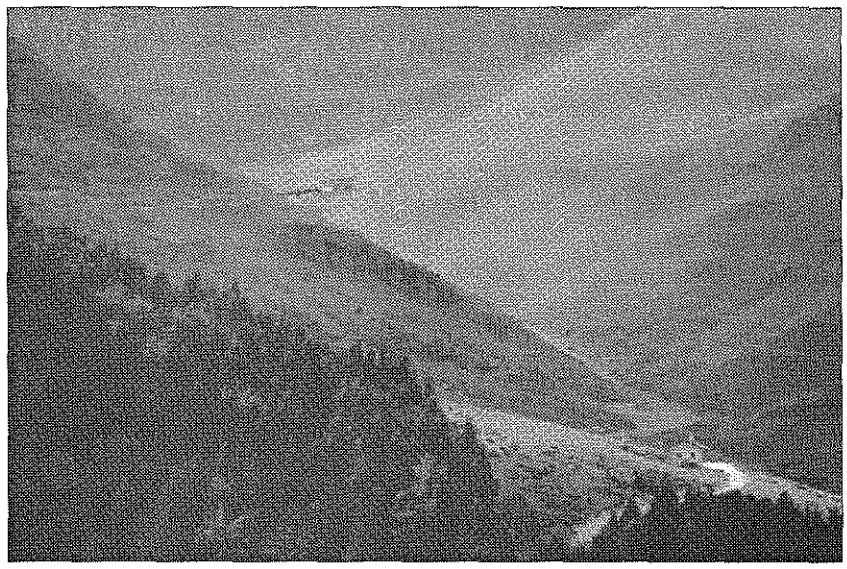
Negli anni 1970/1980, come si vede, il torrente presentava cariche microbiche poco significative per un inquinamento. Solo nel 1996 si riscontrano presenze di coliformi totali ed *Escherichia coli* significative per un inquinamento di tipo fecale della sorgente.

CONCLUSIONI

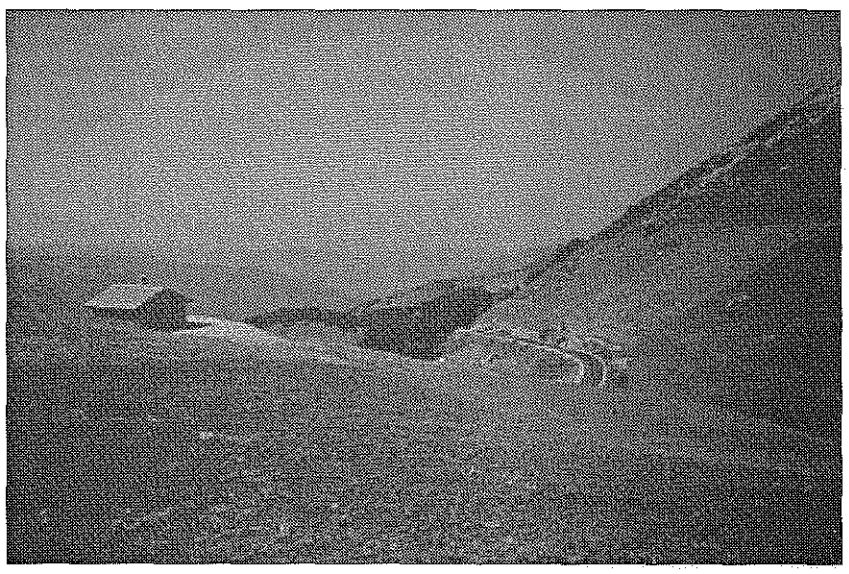
I fatto che la presenza dei germi indicatori nelle acque del torrente di Bossea si manifesti soprattutto nel periodo estivo-autunnale, corrispondente a quello di massima attività pastorale nel bacino del rio Roccia Bianca, è prova di una diretta corrispondenza fra i due fatti; all'aumento di carica batterica potrebbe essere collegata la rarefazione della specie "grande" di *Niphargus*, più reofila, mentre l'apparente indifferenza della specie "piccola" è spiegata dal fatto che essa frequenta un microhabitat diverso, costituito dalle acque che transitano entro minute fratturazioni della roccia o che si raccolgono in pozze da stillicidio.

BIBIOGRAFIA

- BOLOGNA M., VIGNA TAGLIANTI A., 1985 - *Fauna cavernicola delle Alpi Liguri* - In "Annali del Museo Civico di St. Nat. G. Doria", Genova, 388 pp.
- CASALE A., GIACHINO P.M., LANA E., MORISI A., 1996 - *Attività antropica - Faune ipogee e biomonitoraggio dai precursori allo speleoturismo* - In "Bossea MCMXCV", Atti del simposio int. "Grotte turistiche e monitoraggio ambientale" (A. Cigna ed.), Frabosa Soprana (Cuneo) 24-26/3/95: 367-378.
- CAODURO G., GASPARO F. & STOCH F., 1995 - *Primi risultati delle indagini sulla fauna delle acque sotterranee della regione veronese*, Speleologia veneta, Fed. Speleologica Veneta.
- GHETTI P.F., 1997 - *Indice biotico esteso (I.B.E.); manuale di applicazione*. Provincia Autonoma di Trento, 222 pp.
- LANA E., 2001b - *Biospeleologia del Piemonte. Atlante fotografico sistematico* - Regione Piemonte, Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi. Ed. "La Grafica Nuova", Torino, 260 pp.
- MORISI A., 1969b - *Il laboratorio sotterraneo di Bossea. Primi risultati* - Mondo Ipogeo, boll. G. S. Alpi Marittime CAI, Cuneo: 35-38.
- MORISI A., 1970 - *Rendiconto Biospeleologico per il 1970* - Mondo Ipogeo, boll. G. S. Alpi Marittime CAI, Cuneo: 56-60.
- MORISI A., 1971a - *Attività biospeleologica 1970-71* - Mondo Ipogeo, boll. G. S. Alpi Marittime CAI, Cuneo: 48-51.
- MORISI A., PEANO G., 1983 - *Importanza biologica della grotta di Bossea* - Mondo Ipogeo, boll. G. S. Alpi Marittime CAI, Cuneo: 81-87.
- NIGRO A, 2000 - *Effetti dello speleoturismo sulle faune cavernicole: il caso della grotta di Bossea* Tesi di Laurea in Ecologia, Facoltà di Scienze M.F.N., Università di Torino, relatori G. Badino e A. Morisi; a.a. 1999-2000
- PEANO G., 1970b - *L'installazione del laboratorio sotterraneo di Bossea* - Mondo Ipogeo, boll. G. S. Alpi Marittime CAI, Cuneo: 52-55.
- STOCH F., 1992 - *Indagini faunistiche sui Crostacei delle acque sotterranee della Val Torre (Italia nordorientale)*, Gortania, Atti Museo Friul. Storia Nat, 14:167-183.
- STOCH F. & DOLCE S., 1994 - *Progetto Timavo: risultati delle indagini sulla fauna della acque sotterranee*, Atti e Memorie Comm. Grotte "E.Boegan", 31:59-71.



◀ Foto 1
Il vallone del Rio di Roccia Bianca con le installazioni dell'alpeggio: in basso a destra l'edificio apparentemente destinato ad attività casearie, recentemente costruito in prossimità delle perdite alveari del torrente; in alto a sinistra la stalla con l'area di stazionamento del bestiame.



◀ Foto 2
Il nuovo edificio d'alpeggio con l'estesa area di stazionamento del bestiame sovrastante l'alveo del torrente.

◀ Foto 3
Il nuovo edificio, forse destinato a caseificio e (a destra) l'area di stazionamento degli animali.
In primo piano, la parte già tracciata della possibile strada di collegamento con la stalla soprana.

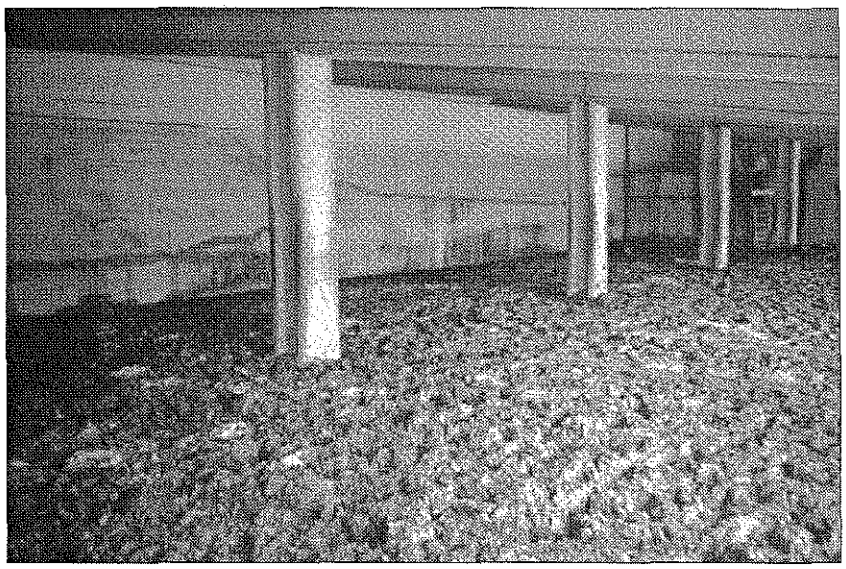


Foto 4
L'interno della stalla con lo spesso strato di deiezioni che, se non asportate e trasportate altrove, sembrano destinate a convergere progressivamente nel sottostante alveo di rio di Roccia Bianca.

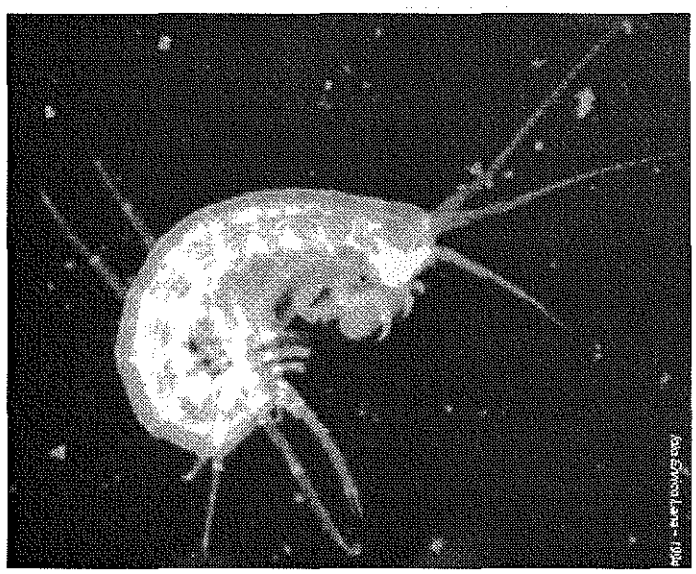


Foto 5
Niphargus cfr. aquilex, crostaceo endemico del solo sistema carsico di Bossea, non più ritrovato nelle acque del collettore dall'anno 1999.

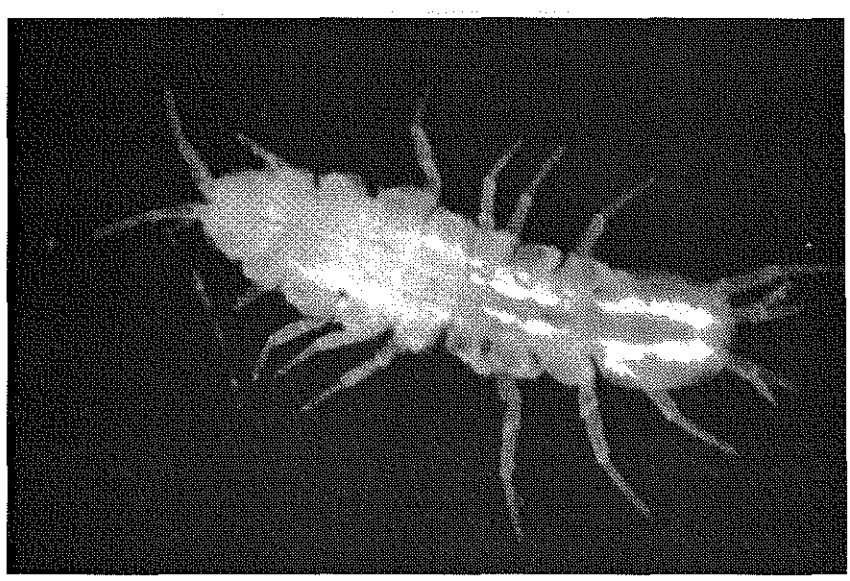


Foto 6
Proasellus franciscoloi: la specie a ristretto endemismo, attualmente ancora reperibile nelle acque della grotta, potrebbe tuttavia essere minacciata nella sua sopravvivenza in caso di immissione nel sistema carsico di abbondanti residui di un'eventuale lavorazione del latte nel nuovo edificio dell'alpeggio.

PROBLEMI DI PROTEZIONE DELL'AMBIENTE IPOGEO E NOTE SULL'IMPATTO DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA IN AMBIENTE SOTTERRANEO

Pier Mauro Giachino[1] - Dante Vailati[2]

[1] *Regione Piemonte - Settore Fitosanitario Regionale, Torino* - [2] *Museo Civico di Scienze Naturali, Brescia*

RIASSUNTO

Gli autori riesaminano la struttura di un ecosistema e delle sue parti epigee ed ipogee definendo univocamente le componenti fisiche, chimiche e climatiche basilari per la comprensione del popolamento ipogeo. Particolare attenzione viene posta nella definizione dell'ambiente sotterraneo, con le sue diverse componenti (reticolo di fessure della roccia madre, Ambiente Sotterraneo Superficiale o MSS e grotta), rispetto all'ambiente endogeo caratteristico del suolo. Analogamente vengono definite con maggiore chiarezza le faune associate all'ambiente sotterraneo e ristretto l'uso del termine di fauna sotterranea al solo ambiente ipogeo, con esclusione dell'ambiente endogeo.
Vengono riproposte tramite un breve excursus le interazioni delle attività umane, già oggetto di precedenti contributi, con l'ambiente nel suo insieme, mentre viene analizzato in dettaglio il problema dell'impatto dei prelievi di materiali biologici dall'ambiente sotterraneo e endogeo per motivi di studio. Vengono portati nuovi dati a sostegno dell'utilizzo di tecniche di campionamento indiretto che risultano in molti casi, nei confronti dell'ambiente ipogeo e sulla base di una pluriennale esperienza personale, molto meno distruttive della raccolta diretta.

ABSTRACT

Problems of protection in the hypogean environment and notes on the impact of research activities in subterranean habitats. *The authors re-examine the structure of the ecosystem and of its epigean and hypogean parts pointing out univocally the physical, chemical, and climatic factors that are fundamental for the comprehension of the hypogean population. A particular attention is put in the definition of the subterranean environment, with its different elements (fissure web in the parent rock, Superficial Subterranean Environment or MSS and caves), compared with the endogean environment that is characteristic of the soil. At the same time the faunas associated with the subterranean environment are defined more clearly and the use of the term of subterranean fauna is restricted only to this environment, excluding the endogean environment.*
The interactions of human activities with the environment as a whole are re-proposed in a brief excursus, as they were dealt with already in previous contributions, whereas the problem of the impact of collecting biological materials in the subterranean and endogean habitats for study purposes is analysed in detail. New data are provided to support the use of indirect collecting techniques that are in several cases much less destructive than direct collecting in hypogean habitats on the basis of a personal experience.

DEFINIZIONE E LIMITI DELL'AMBIENTE IPOGEO: ALCUNE PRECISAZIONI

Prima di toccare alcune questioni connesse con la protezione dell'ambiente ipogeo è opportuno procedere a qualche precisazione inerente la sua stessa definizione e estensione, nonché i rapporti tra struttura fisica, fattori ambientali e componente biotica. Riteniamo questo passaggio utile, in considerazione delle incertezze e/o della confusione che talvolta ancora regnano circa la definizione precisa e i limiti di questo ecosistema. Per comodità di comprensione, si è spesso distinta una porzione che sta al di sopra della linea di calpestio, chiamata ambiente *epigeo*, da una porzione comprensiva di tutto ciò che sta al di sotto della linea di calpestio, chiamata in modo molto generico ambiente *ipogeo*, spesso definita impropria-

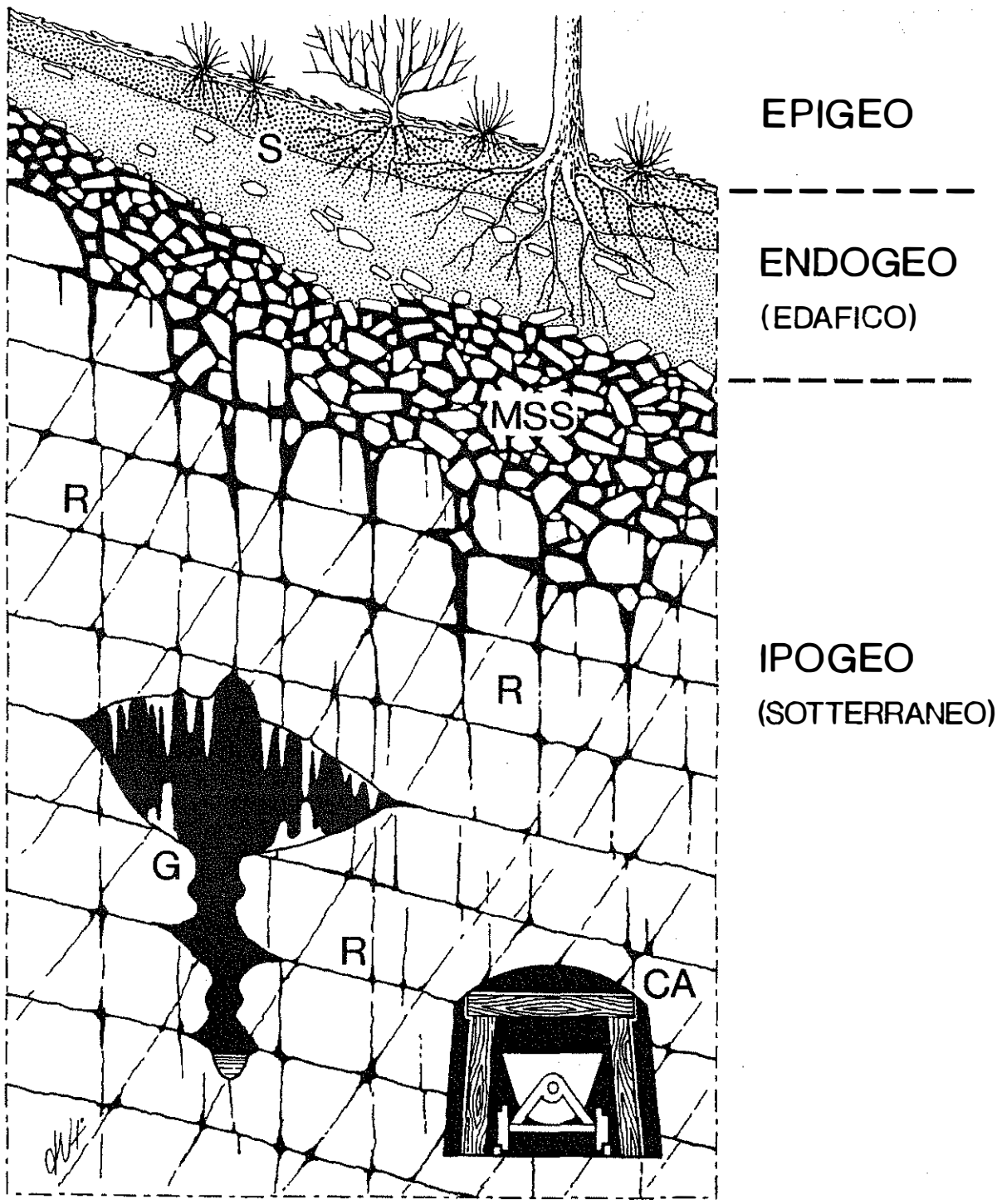


Fig. 1 - Rappresentazione schematica dei diversi compartimenti dell'ambiente ipogeo in relazione tra loro e con l'ambiente endogeo Lo schema evidenzia in particolare le connessioni fra le fessure della massa rocciosa e gli ambienti esplorabili biologicamente (grotte, cavità artificiali, MSS). S: suolo; R: reticolo di fessure della massa rocciosa; G: grotta; CA: cavità artificiale; MSS: Ambiente Sotterraneo Superficiale

mente ambiente sotterraneo, dove invece riteniamo sia bene distinguere ulteriormente un ambiente *endogeo* (o *edafico*), cioè quello proprio del suolo, da un ambiente *ipogeo* (o *sotterraneo* propriamente detto). Occorre ricordare che queste suddivisioni "di comodo" servono ad evidenziare condizioni di vita diverse e che si succedono in ambienti ecologicamente diversi, che però non risultano quasi mai nettamente isolati l'uno dall'altro, ma sono in realtà strettamente correlati a formare un *continuum* inscindibile (fig. 1): in pratica, l'esistenza e la diversità biologica di ciò che sta ad un livello inferiore, dipende in larga misura dagli apporti, organici e inorganici, di ciò che gli sta sopra. In tali condizioni appare chiaro che qualsiasi forma di perturbazione della porzione epigea si rifletterà anche su quella ipogea. Ciò è particolarmente evidente, come già ripetutamente segnalato (Caoduro *et al.*, 1995; Casale *et al.*, 1996a), per l'ambiente carsico, caratterizzato da una elevata permeabilità del substrato roccioso e quindi in grado di trasmettere con notevole velocità diversi tipi di perturbazioni esterne, inclusi gli inquinanti di ogni tipo, alla parte ipogea.
D'altra parte, sappiamo come l'ambiente ipogeo sia da considerare, da un punto di vista ecologico, un "ecosistema incompleto" nel quale, a causa della mancanza di luce e quindi della quota di produzione primaria, la maggior parte delle risorse energetiche necessarie è prevalentemente garantita soltanto dall'esistenza di un continuo trasferimento, "dall'alto verso il basso", dall'ambiente epigeo.

L'ambiente epigeo

Negli ambienti di superficie possiamo facilmente percepire la presenza di elementi macroscopici significativi alquanto familiari, in quanto quotidianamente sotto i nostri occhi:

a) la luce, essenziale per consentire la fotosintesi clorofilliana e quindi la produzione primaria di energia da parte dei vegetali, e la presenza di un fotoperiodo diurno e stagionale.
b) le precipitazioni atmosferiche, che oltre a essere essenziali per la vita delle piante e degli animali presenti, hanno funzione di ricarica delle reti idriche sia superficiali che sotterranee, alimentando gli acquiferi.
c) le variazioni rapide e ampie, sia giornaliere sia stagionali, dei fattori climatici.
d) il suolo, qui inteso come substrato cui è legata e su cui si svolge la vita dell'ambiente epigeo, con le sue componenti minerali e organiche.
e) la vegetazione, che oltre ad essere fonte primaria di energia per l'ambiente epigeo, lo è anche per l'ambiente ipogeo che basa gran parte della propria rete alimentare sui vegetali decomposti e fluitati dalle acque di percolazione; essa è inoltre importante per i processi di formazione dei suoli.
f) il materiale organico di origine animale che concorre alla formazione del suolo e fornisce energia, esso stesso, alla rete alimentare dell'ambiente ipogeo.

L'ambiente endogeo

Si identifica con il "suolo" in senso lato, almeno con quella parte dei suoi strati più superficiali che, dal punto di vista biologico, è detta anche, con termine omologo, ambiente *edafico*, interessata, per definizione, dalla presenza dell'apparato radicale delle piante. E' in questo ambiente che avvengono le maggiori trasformazioni che interessano il continuo apporto di materia organica da parte della vegetazione e della fauna associata che (sommata all'azione chimico-fisica e climatica, anche a lunga scadenza, che interviene sulla componente litologica e mineralogica) concorre ai processi di formazione del suolo, contribuendo a determinare fra l'altro il profilo, la tessitura, la granulometria, la porosità, l'umidità e il pH dei vari tipi di suolo.
Il suolo non sempre è presente, cosicché, quando è assente, può affiorare direttamente la roccia nuda, con il suo reticolo di fessure, o un detrito clastico scoperto, non pedogenizzato.
L'ambiente endogeo è influenzato più direttamente, più rapidamente e più pesantemente dalle perturbazioni esterne rispetto a quello ipogeo. La fauna specializzata tipica di questo ambiente viene detta fauna *endogea* o *edafica*.

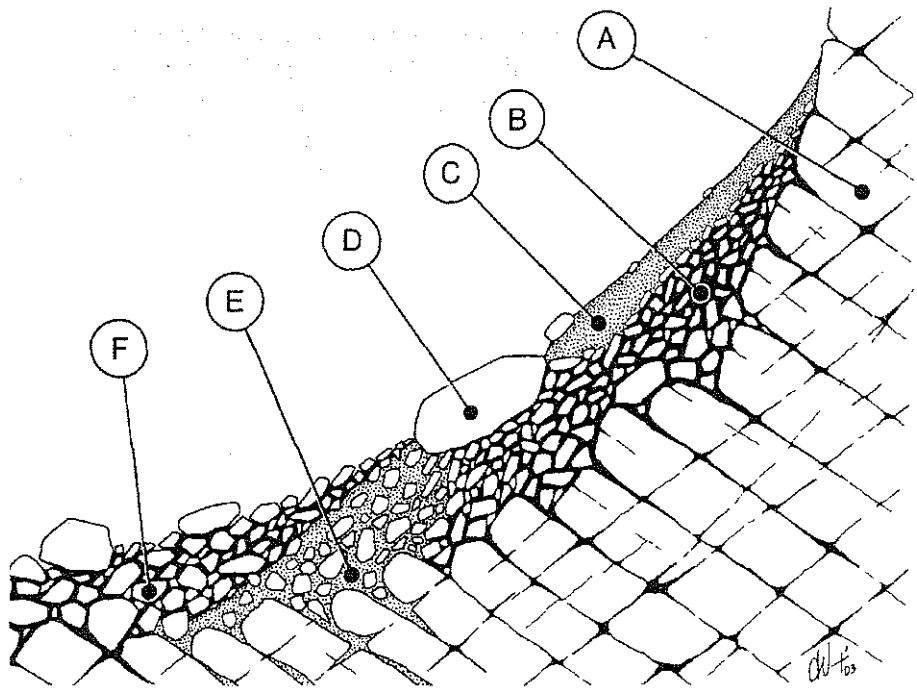


Fig. 2 - Rappresentazione schematica delle diverse situazioni nelle quali si possono trovare i depositi detritici, determinanti o meno l'esistenza dell'MSS. A: reticolo di fessure della massa rocciosa; B: MSS costituito da detriti rocciosi con spazi liberi a contatto con la roccia madre e tamponato in superficie da uno strato di suolo; C: suolo; D: masso profondamente interrato e con la superficie inferiore a contatto con l'MSS; E: accumulo detritico nel quale gli spazi fra i clasti sono colmati dai sedimenti terrosi del suolo e quindi non percorribili da organismi sotterranei; F: accumulo detritico fresco, non ricoperto dal suolo e quindi con spazi liberi perturbati dal clima esterno, inadatti alla vita di organismi sotterranei.

L'ambiente ipogeo

Si identifica con il "sottosuolo", inteso etimologicamente come la parte che sta sotto al suolo e che interessa quindi la massa rocciosa e ciò che ad essa è legato; esso è detto anche, con termine omologo, ambiente *sotterraneo*, termine quest'ultimo forse da preferire, essendo più immediato il suo significato e prestandosi meno a definizioni equivoche. Questa è la porzione sulla quale ci interessa focalizzare l'attenzione, in quanto comprende anche le grotte, oggetto pregnante dell'esplorazione speleologica. Da un punto di vista biologico, però, è molto importante sottolineare che il *reticolo di fessure* esistente in qualsiasi corpo roccioso, umanamente non percorribile – costituito dai microspazi vuoti, aerati in ambiente terrestre o allagati in quello acquatico –, deve essere considerato (Vailati, 1988) come l'ambiente a maggiore stabilità per quanto attiene ai parametri fisico-chimici e climatici rispetto agli ambienti ad esso limitrofi, cioè l'*ambiente sotterraneo superficiale* (MSS degli Autori francesi) e le *grotte* stesse (intese unicamente come fessure a misura d'uomo), che ne fanno parte integrante, ma che sono certamente, anche se in piccola misura, più soggette a perturbazione. La fauna specializzata tipica di questo ambiente è detta fauna *ipogea* o *sotterranea*. In questo contesto la definizione di organismo "cavernicolo", retaggio di un passato in cui ne veniva considerato l'indissolubile legame con le grotte a misura d'uomo, ha perso progressivamente il suo significato originario. Lo stesso termine "troglobio", usato in contrapposizione a "troglofilo" e "troglosseno" nelle classificazioni di tipo ecologico, riflette una visione ancora esclusivista, legata al concetto di grotta. Secondo le più recenti acquisizioni sugli ambienti di vita degli organismi sotterranei, si è visto che è il reticolo di fessure della roccia madre a dover essere considerato il loro "ambiente d'elezione"; ad esso si collegano habitat "limitrofi" strettamente connessi (grotte, ambiente sotterraneo superficiale, gallerie di micromammiferi, cavità artificiali, etc.) costituendone una ininterrotta estensione. I differenti habitat di uno stesso ambiente sotterraneo presentano spesso popolamenti esclusivi di specie con differenti gradi di specializzazione e morfologie anche molto diverse.

Essi rappresentano delle finestre che ci permettono di penetrare ed esplorare biologicamente il mondo sotterraneo: non solo quindi le grotte (che possono non esistere, soprattutto nei terreni non carbonatici), non solo gli ipogei artificiali (il cui scavo interferisce con il reticolo di fessure), ma anche il cosiddetto ambiente sotterraneo superficiale, raggiungibile ed esplorabile dalla superficie esterna.
Sostanzialmente, l'*ambiente sotterraneo superficiale* (MSS; "Upper Hypogean Zone" degli autori di lingua inglese) (figg. 2 - 7) è rappresentato, nella maggior parte dei casi e nella sua forma terrestre più tipica, dagli spazi vuoti aerati esistenti fra i detriti rocciosi che per varie cause morfogenetiche si sono accumulati a contatto della roccia madre – del cui reticolo di fessure costituiscono quindi un'estensione – e risultano tamponati dall'esterno, cioè coperti da uno strato di suolo che ne garantisce il mantenimento di valori di umidità e di temperatura abbastanza costanti.
Per riassumere le caratteristiche fondamentali proprie dell'ambiente sotterraneo (non esclusive delle grotte), ricordiamo che esse sono date da:

a) assenza di luce e di fotoperiodo
b) ridottissima escursione termica annuale
c) umidità relativa prossima al grado di saturazione
d) assenza di piante verdi, di produzione primaria fotosintetica e di fitofagi
e) catene alimentari con saprofagi dominanti.

Resta ovvio che l'esistenza stessa di una qualsiasi forma di ambiente sotterraneo terrestre è data dalla formazione di spazi vuoti aerati, non colmati da sedimenti che potrebbero rendere impossibile il transito degli organismi. Indifferente sembra invece essere la natura della roccia. Elementi di fauna sotterranea specializzata sono stati raccolti, oltre che in rocce carbonatiche, più o meno carsificate, anche in aree costituite da scisti cristallini, quarziti, gneiss, graniti e granodioriti (fig. 8). I terreni migliori per la formazione e presenza di MSS sono costituiti da clasti derivanti da rocce scistose a sfaldatura meccanica. In quelle carbonatiche, in cui prevale, o comunque si instaura, la dissoluzione chimica, spesso gli spazi fra i clasti risultano obliterati perché colmati da argille e/o terre residuali (fig. 2). Per contro, nelle rocce carbonatiche si realizzano i fenomeni speleogenetici più importanti, con la formazione di cavità di grandi dimensioni ("grotte" propriamente dette).

ESCLUSIVITÀ DELL'AMBIENTE SOTTERRANEO E DELLE FAUNE ASSOCIATE

Storicamente, e fino alla metà del secolo scorso, si riteneva che soltanto nelle grotte esistesse una fauna specializzata ad esse esclusiva, caratterizzata, oltre che dalla riduzione e scomparsa di organi e funzioni (anoftalmia, atterismo, depigmentazione, ecc.), da habitus dall'iconografia ben nota come l'aspetto gracile, ma anche la taglia notevole, le appendici estremamente allungate, ecc. (Jeannel, 1926, 1943). Nel "suolo" in senso lato, senza considerare l'eventuale presenza di MSS (allora sconosciuto), era presente, viceversa, una fauna pure specializzata, ma in modo funzionale ben diverso, con specie di piccola o piccolissima taglia, dal corpo appiattito o cilindrico che, quando allungato, può facilmente essere curvato, e con appendici molto brevi e con numero di articoli talora ridotto (Delamare Deboutteville, 1951; Coiffait, 1958).
Il rinvenimento già negli Anni '60 di elementi specializzati, tipici dell'ambiente di grotta, attraverso scavi operati in superficie (Bucciarelli, 1960), ma che, superato il suolo, raggiungevano di fatto l'ambiente sotterraneo, portarono successivamente, anche in ambienti diversi da quelli carsici, alla scoperta dell'MSS (Juberthie *et al.*, 1980; Juberthie *et al.*, 1981), ovvero alla constatazione che determinate caratteristiche ambientali, analoghe a quelle dell'ambiente sotterraneo, favoriscono la presenza di elementi specializzati, *non endogei*, al di fuori delle "grotte". A tale proposito, è bene sottolineare che l'esistenza di MSS popolati da elementi specializzati, in terreni non carbonatici, assolutamente privi di grotte, è stata successivamente confermata e documentata anche in molte località prealpine e balcaniche (Vailati, 1988; Casale & Vigna Taglianti, 1990; Casale *et al.*, 1996b).
Purtroppo, dopo la definizione originale di MSS (Juberthie *et al.*, 1980; Juberthie *et al.*, 1981), e nonostante le puntualizzazioni successive sul concetto di ambiente sotterraneo e sul rapporto reticolo di fessure/grotte e reticolo di fessure/MSS (Juberthie, 1983; Vailati, 1988), si nota ancora una relativa con-

fusione nella definizione di concetti che ormai sembravano abbastanza chiari e standardizzati. Caduto il significato di "cavernicolo", si è passati al concetto di "sotterraneo", comprensivo quest'ultimo di ciò che vive anche al di fuori delle grotte, ma che non è "endogeo", che non appartiene cioè al suolo vero e proprio, ma è strettamente legato all'ambiente profondo del reticolo di fessure della massa rocciosa. Ma non sempre tale distinzione è univoca. In sede di indagine sul campo la spesso non chiara identificazione, rispettivamente, di suolo e MSS ha talora comportato un'ingiustificata estensione del termine "sotterraneo" agli elementi endogei e, viceversa, del termine "endogeo" alla fauna propria dell'MSS.
Riteniamo che la confusione esistente attorno al concetto di MSS e alla sua definizione si debba in parte imputare, oltre che ad una, in certi casi, errata interpretazione dei termini e/o ad un approccio forse troppo superficiale al problema, al fatto che dal punto di vista pedologico il detrito a contatto della roccia madre si identifica spesso con il cosiddetto "orizzonte C" nel profilo di un ipotetico suolo (fig. 1). Per il pedologo, quindi, fa parte integrante dell'iconografia del suolo, cioè di quello che noi abbiamo chiamato ambiente endogeo e che abbiamo appena ribadito essere ben distinto da quello sotterraneo. Quest'ultima interpretazione è però di tipo biologico, non pedologico, e considera pertanto il tipo di specializzazione e le modalità di vita degli organismi coinvolti. Questo è forse il maggiore scoglio concettuale da superare per conseguire una maggiore chiarezza e per parlare la stessa lingua.
Alla luce di questi fatti, è bene allora precisare che l'MSS non è tanto una struttura fisica, ma un'insieme di condizioni ambientali ed è definibile come tale solo se vi sono realizzate le medesime caratteristiche dell'ambiente sotterraneo (spazi vuoti, assenza di luce e di fotoperiodo, escursioni termiche ridotte al minimo, umidità prossima al grado di saturazione), al quale deve essere connesso senza soluzione di continuità e del quale, ribadiamo, fa parte e costituisce un'estensione verso la superficie e a contatto del suolo. In questo senso, è bene anche sottolineare che non solo non appartiene all'ambiente endogeo, ma nemmeno rappresenta, come ancora capita di leggere, un ambiente di transizione tra questo e quello sotterraneo. Una zona di transizione, quando al variare brusco si sostituisce la gradualità a seconda della struttura, può esistere e essere individuata al passaggio tra il suolo e l'MSS, ma non può essere identificata con quest'ultimo. Non identificandosi necessariamente con una struttura fisica definita, ricordiamo anche che l'MSS può essere presente o assente a seconda che le condizioni ambientali sopra descritte siano realizzate o meno. Quindi, MSS non è sinonimo di presenza di detriti rocciosi o di scavo particolarmente profondo. A parità di struttura (accumulo detritico), in assenza di condizioni idonee, che ricreino quelle del reticolo di fessure sottostante (ad esempio quando i detriti siano colmati da elementi colluviali provenienti dal suolo soprastante, eliminando gli spazi vuoti), l'MSS non esiste. Potremmo dire, in questo caso, che esiste l'orizzonte C del pedologo, ma non l'MSS. Questa considerazione è importante e aiuta forse a spiegare in parte come mai organismi sotterranei specializzati a volte sono presenti e a volte no, in ambienti che, apparentemente, ma forse ad un giudizio troppo superficiale, possono sembrare simili.

VULNERABILITÀ DELL'AMBIENTE SOTTERRANEO

Alla luce di quanto sopra esposto risulta comunque chiara la stretta dipendenza, per quanto attiene alla vulnerabilità, della porzione endogea e sotterranea delle aree carsiche nei confronti delle attività antropiche che si svolgono in superficie.
Un excursus analitico circa tali attività e la loro influenza sulla porzione sotterranea è fornito da Sauro (1989) e recentemente anche da Casale *et al.* (1996a) e da Casale (2000), mentre sistemi standardizzati di monitoraggio dei parametri di vulnerabilità degli acquiferi carsici sono stati utilizzati come strumenti di gestione del territorio (Civita & De Maio, 1997; Forti, 2002).
Per quanto attiene al problema della deforestazione in ambiente carsico, trattato in dettaglio da Decu & Racovitza (1983), la nostra esperienza personale, realizzata nell'area mediterranea e in particolare in Grecia, ci induce a constatare l'esistenza, sulla fauna, di un consistente effetto volano, ovvero di una certa "inerzia" nella variazione qualitativa e quantitativa del popolamento sotterraneo di una determinata area. Territori completamente denudati da secolari, se non millenari disboscamenti, quando non compromessi da fenomeni erosivi conseguenti e quando non inquinati da altre attività antropiche, conservano una ricchissima e importante fauna di elementi sotterranei estremamente specializzati, a testimoniare di non

risentire in modo apprezzabile, se non in tempi lunghissimi, delle mutate condizioni vegetazionali di superficie. Con ogni probabilità è solamente il suolo, quindi l'ambiente endogeo, a risentire maggiormente, e di certo più rapidamente, degli effetti di un'azione di sboscamento. Resta ovvio che un'importante compromissione del suolo, o addirittura la sua eliminazione, dovuta a fenomeni erosivi conseguenti, avrebbe dirette e rapide ripercussioni anche su un MSS sottostante eventualmente presente.
In tema di conservazione, vanno poi considerate le attività umane svolte direttamente in ambiente sotterraneo o ad esso strettamente connesse, come gli eccessi di frequentazione di grotte sia da parte degli stessi speleologi, primi "difensori" del mondo sotterraneo, sia da parte del turismo di massa e di ciò che a questo consegue (Chiesi *et al.*, 1999, 2001).
Infine, non può essere ignorato l'importante e discusso problema dell'impatto dovuto al prelievo di campioni di fauna sotterranea per motivi di ricerca scientifica: su tale problema, ci soffermeremo brevemente nel capitolo che segue, con particolare attenzione all'Ambiente Sotterraneo Superficiale.

PRELIEVI DI ORGANISMI A SCOPO DI STUDIO

Esistono forme di prelievo di organismi viventi in ambiente ipogeo, più o meno condannabili, motivate da scopi diversi dalla ricerca scientifica (collezionismo, acquariofilia), che esulano volutamente dalla presente analisi.
Se consideriamo invece il problema del prelievo di campioni di fauna sotterranea o endogea a scopo di studio, fenomeno in parte già trattato da Casale (1972) per quanto riguarda il concetto di rarità in grotta e da Casale *et al.* (1996a) per porre nella giusta luce presunte quanto fittizie "estinzioni" di taxa, un'attenzione particolare cade inevitabilmente sulle tecniche di raccolta utilizzate e sulla loro reale o presunta incidenza sul popolamento sotterraneo del sito nel quale il prelievo viene effettuato.
In sede di discussione, si contrappongono spesso i due metodi, del prelievo mediante ricerca diretta e del prelievo indiretto mediante varie forme di attrattivi o trappole, rispettivamente e ci si interroga, giustamente, su quali possano essere gli effetti negativi sulla fauna esercitati da ciascuno di essi.
Analogamente a quanto più volte ribadito nei confronti degli ecosistemi di superficie (Balletto & Casale, 1991), anche nei confronti dell'ambiente sotterraneo ed endogeo appare di prioritaria importanza, in occasione di prelievi faunistici, la preoccupazione e la messa in atto di tutte le precauzioni possibili al fine di non alterare l'ambiente stesso o di cercare di ridurre al minimo indispensabile le possibili alterazioni. Mentre non sono mai state confermate estinzioni di specie dovute a prelievi faunistici (Casale, 1972; Casale *et al.*, 1996a), modifiche delle caratteristiche ambientali per distruzione diretta o inquinamento sono invece ben note (Stoch, 1992; Caoduro *et al.*, 1995). È inoltre noto, oggi, il forte impatto che prelievi prolungati per anni, direttamente o mediante trappole, possono esercitare su popolazioni locali di singole specie in singole grotte (che talora rappresentano l'unica stazione nota di specie particolarmente vulnerabili). Tale risultato è omologabile a quello che si realizza con la trasformazione turistica delle grotte medesime. Dati recenti evidenziano infatti, per singole specie e in singole grotte (di moderata estensione), l'esiguità di numerica di certe popolazioni, come verificato per il Coleottero *Laemostenus (Antisphodrus) schreibersi* in una grotta austriaca (Rusdca, 1992). È chiaro che raccolte intensive e prolungate, mediante trappole, in situazioni di questo tipo possono provocare danni sensibili al popolamento.
La stessa raccolta diretta, da più parti spesso decantata come l'unica tecnica "non impattante" e "eticamente corretta" da potersi utilizzare in ambiente sotterraneo, può rivelasi assai meno morbida di quanto creduto e talvolta, in condizioni particolari, persino più distruttiva di altre. Ne sono esempi assai eclatanti lo stato di profonda modificazione fisica di alcune grotte prealpine note per albergare faune di particolare interesse e di conseguenza soggette a raccolta diretta intensiva (Caoduro *et al.*, 1994). Lo stesso discorso può essere esteso alla raccolta diretta di fauna sotterranea o endogea, mediante scavi dalla superficie. Alcune stazioni, note per la possibilità di reperire fauna sotterranea mediante scavi dalla superficie, sono in realtà, a causa della loro limitata estensione, assai più vulnerabili delle grotte stesse. In alcuni casi, si è assistito, purtroppo, al pesante sconvolgimento o alla completa distruzione di queste stazioni, anche con l'uso di attrezzature "pesanti", mediante estesa asporta-

zione del suolo e conseguenti inaridimento ambientale e irreperibilità della fauna specializzata ivi esistente. Casi come questi sono noti agli autori, ad esempio, in diverse località delle Prealpi lombarde. Analizzando una convinzione diffusa nello stesso ambiente scientifico, in relazione alla raccolta indiretta mediante trappole, si evidenzia una quasi generale condanna delle stesse, non fondata però su dati scientifici certi e quantificabili, ma più spesso basata unicamente su valutazioni emotive derivanti da luoghi comuni tramandati "per tradizione" di generazione in generazione. Ne sono esempio (fatte salve le eccezioni sopra riportate) i casi già citati da Casale (1972) e Casale *et al.* (1996a) relativi a grotte nelle quali intense attività di ricerca anche mediante trappole non hanno in realtà avuto la benché minima influenza sulla composizione e sull'abbondanza delle comunità presenti. Oltremodo ingiustificata appare anche la tendenza a legittimare la tecnica di raccolta mediante trappole in MSS e a condannarne l'uso in grotta.
Recenti e pluriennali esperienze di ricerca in ambiente sotterraneo svolte dagli autori nel Bacino del Mediterraneo, mediante la posa di oltre 2000 trappole in MSS hanno portato alle seguenti osservazioni e/o conclusioni:

1) Fondamentale appare la scrupolosità con la quale il metodo viene applicato, particolarmente nella fase di registrazione del posizionamento di ogni trappola, che deve essere condotta in modo meticoloso al fine di garantirne il successivo reperimento. In tal senso possiamo affermare che nessuna trappola da noi posizionata è rimasta in sito perché non ritrovata.
2) La quantità di fauna specializzata catturata da ogni singola trappola, lasciata in sito secondo la nostra metodologia per un anno, è sempre relativamente modesta. Soltanto in pochi ristretti casi sono state effettuate catture numericamente significative di specie caratterizzate probabilmente da una densità demica assai elevata. Non esistono prove sperimentali in appoggio alla presunta azione attrattiva delle esche da notevoli distanze.
3) Osservazioni dirette ci consentono di affermare che l'esiguo numero di esemplari catturato è dovuto all'inattivazione dell'esca usata nella trappola dopo un limitato periodo (sicuramente ben inferiore all'anno) grazie allo sviluppo sull'esca di una sorta di "tappo micotico" che ne provoca di fatto l'inattivazione. Tale tappo micotico si sviluppa, a volte, all'imboccatura dell'intera trappola impedendo la caduta di ulteriori organismi.
4) Trappole lasciate in sito per motivi climatici indipendenti dalla nostra volontà e recuperate dopo 10 anni hanno rivelato un contenuto non superiore a quello medio di una trappola lasciata in sito per un solo anno, dimostrando la fondatezza di quanto sopra affermato in relazione alla brevità della fase attrattiva.
5) Possiamo affermare che nessuno degli ambienti da noi indagati con tale tecnica è stato in qualche modo significativamente alterato. Ciò anche perché l'affinamento della tecnica di posizionamento e delle attrezzature utilizzate consente ormai di operare mediante scavi minimi del diametro di 20-25 cm circa per una profondità variabile fino a 50-60 cm circa. Le buche, che vengono successivamente riempite con i materiali di risulta scavati, non costituiscono un'alterazione apprezzabile del sito indagato.
6) Purtroppo, siamo invece costretti a segnalare che un certo numero di stazioni di superficie in MSS, alcune delle quali costituivano la località tipica e unica conosciuta di specie recentemente descritte, o addirittura di specie nuove non ancora descritte, sono già scomparse negli ultimi anni a causa di pesanti modificazioni ambientali dovute ad attività antropiche: cementificazione intensiva, costruzione di strade, coltivazione di cave, sbarramento e inondazione di intere valli.

RINGRAZIAMENTI

Siamo molto grati al Prof. Achille Casale dell'Università di Sassari per gli utili consigli durante la stesura del presente articolo.

- Pier Mauro Giachino - Settore Fitosanitario Regionale
  Environment Park, Palazzina A2, Via Livorno, 60 - 10144 Torino (Italia)
- Dante Vailati - Museo Civico di Scienze Naturali
  Via Ozanam, 4 - 25128 Brescia (Italia)

BIBLIOGRAFIA

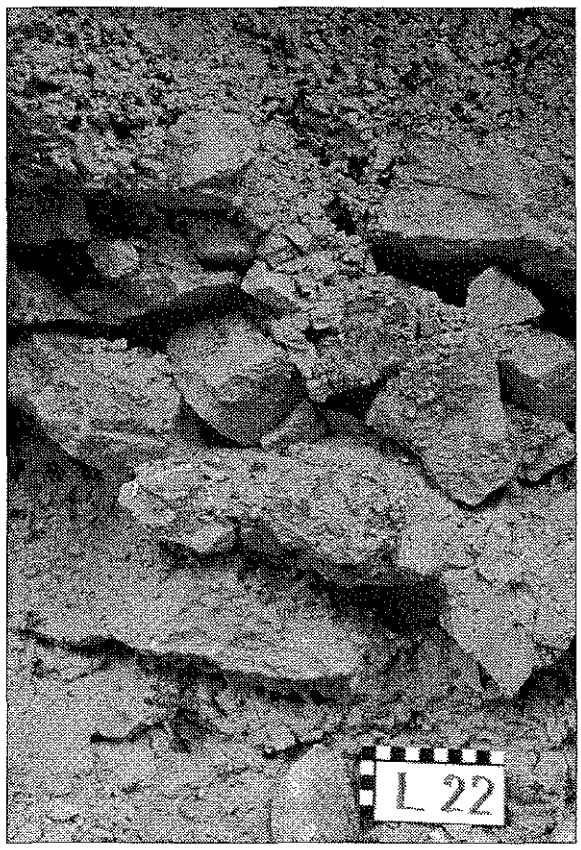
- BALLETTO E. & CASALE A., 1991 - *Mediterranean Insect Conservation.* In: N. M. Collins & J. A. Thomas (eds.), The Conservation of Insects and their habitat. - Academic Press: 121-142.
- BUCCIARELLI I., 1960 - *Ulteriori osservazioni sul rinvenimento di troglobi nel letto dei torrenti.* - Boll. Soc. Ent. It., 90 (9-10): 170-171.
- CAODURO G., OSELLA G., RUFFO S., 1994 - *La fauna cavernicola della regione veronese.* - Mem. Mus. Civ. St. Nat. Verona, 11, 144 pp.
- CAODURO G., GASPARO F. & STOCH F., 1995 - *Primi risultati delle indagini sulla fauna delle acque sotterranee della regione veronese.* - Speleologia Veneta, N.S., 3:92-96
- CASALE A., 1972 - *Sul significato preciso dei concetti di rarità e di rarefazione nello studio delle entomofaune cavernicole.* - Atti IX Congr. Naz. Ital. Entomol., Siena: 273-277.
- CASALE A., 2000 – *Impatto antropico e biomonitoraggio in ecosistemi sotterranei.* – Atti e Memorie dell'Ente Fauna Siciliana, 6(1999): 61-76.
- CASALE A. & VIGNA TAGLIANTI A., 1990 - *Note su Duvalius di Grecia con descrizione di cinque specie nuove (Coleoptera, Carabidae).* - Fragm. Entomol., 22 (2): 323-368.
- CASALE A., GIACHINO P.M., LANA E. & MORISI A., 1996a - *Attività antropica, faune ipogee e biomonitoraggio dai precursori allo speleoturismo.* - Proc. Int. Symp. Show Caves and Environmental Monitoring. Bossea 1995, Cuneo, Italy: 367-379.
- CASALE A., GIACHINO P.M., VAILATI D. & VIGNA TAGLIANTI A., 1996b - *Specie nuove o poco note del genere Duvalius in Grecia (Coleoptera, Carabidae).* - Fragm. Entomol., 27 (2): 289-346.
- CHIESI M., FERRINI G. & BADINO G., 1999 - *L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta.* Quaderni Didattici, Soc. Speleol. It., 5: 18 pp.
- CHIESI M., LAPINI L. & STOCH F., 2001 - *Tutela e conservazione dell'ambiente sotterraneo.* - Quaderni Habitat, Ministero dell'Ambiente e Mus. Friulano St. nat., Udine: 131-147.
- CIVITA M. & DE MAIO M., 1997 - *SINTACS: Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento.* - Quaderni di Tecniche di Protezione ambientale, 60, 200 pp.
- COIFFAIT H., 1958 - *Les Coléoptères du sol.* - Suppl. Vie et Milieu, 7: 204 pp.
- DECU V. & RACOVITZA G., 1983 - *Sur la conservation des écosystèmes forestiers et souterrains des zones calcaires.* - Mèm. Biospéol., 10: 177-178.
- DELAMARE DEBOUTTEVILLE C., 1951 - *Microfaune du sol des pays témpéres et tropicaux.* - Suppl. Vie et Milieu, 1: 360 pp.
- FORTI P., 2002 - *Il rischio di degrado e la pianificazione territoriale per le risorse idriche delle sorgenti Fontanone di Paitone e Pedimonte di Botticino.* In: Forti P. & Marchesi G. (eds), Dalle Sorgenti ai Pozzi e dai Pozzi alle Sorgenti. - Brescia, maggio 2000. ASM SpA, Quaderni di Sintesi, 58: 107-117.
- JEANNEL R., 1926 - *Faune cavernicole de la France avec une étude des conditions d'existence dans les domaine souterrain.* - Lechevalier, Paris.
- JEANNEL R., 1943 - Les fossiles vivants des cavernes. - Gallimard, Paris.
- JUBERTHIE C., 1983 - *Le milieu souterrain: étendue et composition.* - Mém. Biospéol., 10: 17-65.
- JUBERTHIE C., BOUILLON M. & DELAY B., 1981 - *Sur l'existence du milieu souterrain superficiel en zone calcaire.* - Mém. Biospéol., 8: 77-93.
- JUBERTHIE C., DELAY B. & BOUILLON M., 1980 - *Extension du milieu souterrain en zone non-calcaire: description d'un nouveau milieu et son peuplement par les Coléoptères troglobies.* - Mém. Biospéol., 7: 19-52.
- RUSDEA E., 1992 – *Stabilisierende Selektion bei microphthalmen Höhlentieren: untersuchungen zur tageszietlichen Aktivitätsverteillung und Populationsdynamik von Laemostenus sch reibersi (Küster) (Carabidae)* - Mém. Biospéol., 19: 1-110.
- STOCH F., 1992 - *Indagini faunistiche sui Crostacei delle acque sotterranee della Val Torre (Italia nordorientale).* - Gortania. Atti Mus. Friul. St. Nat., 14: 167-183.
- VAILATI D., 1988 - *Studi sui Bathysciinae delle Prealpi centro-occidentali.* Revisione sistematica, ecologia, biogeografia della "serie filetica di Boldoria" (Coleoptera Catopidae). - Monogr. Natura Bresciana, 11, 331 pp.

▲ Foto 1
Accumulo detritico fresco, non ricoperto dal suolo, alla base di parete rocciosa (Prealpi Bresciane). Ambiente perturbato dal clima esterno e quindi inadatto alla vita di organismi sotteranei. (foto D. Vailati)

▲ Foto 2
Progressivo inerbimento di una falda di detrito nelle Prealpi Bresciane; preludio alla probabile futura trasformazione in MSS. (foto D. vailati)

▲ Foto 3
Presenza di MSS sotto il suolo poco profondo di una prateria in ambiente carsico - Prealpi Bresciane. (foto D. Vailati)

▲ Foto 4
Presenza di MSS al di sotto di un suolo coperto a sua volta da detriti scoperti - Óros Tetrazi, Grecia. (foto D. Vailati)



◀ Foto 5
Particolare di MSS sezionato - Prealpi Bresciane. Sono visibili i clasti calcarei, di dimensioni decimetriche, coperti di argilla. (foto D. Vailati)

◀ Foto 6
MSS in substrato non calcareo (quarzite); è visibile anche una trappola in fase di posizionamento - Cradle Mts. Natrional Park, Tasmania, Australia. Le ricerche condotte non hanno rilevato la presenza di elementi specializzati.

L'IMPATTO DELLE ATTIVITA' UMANE SU UN TERRITORIO CARSICO ALPINO

Domenico Sanino
Pro Natura Piemonte

RIASSUNTO

Gli ambienti carsici, in particolare quelli posti ad altitudini più elevate, sono aree di estremo interesse naturalistico ed ambientale, ma anche luoghi ricchi di risorse che l'uomo ha da sempre cercato di sfruttare. In passato, il territorio carsico monregalese ha visto rari interventi ad opera dell'uomo. A parte un discreto sfruttamento agro-silvo-pastorale con qualche problema di inquinamento delle falde acquifere e minime trasformazioni del territorio, come la realizzazione di insediamenti temporanei, l'area che va dalla valle Corsaglia alla valle Pesio ha subito, tutto sommato, piccole alterazioni. Anche l'attività estrattiva, da sempre risorsa primaria delle nostre montagne, è stata assai contenuta. A Fontane, in alta val Corsaglia lungo il torrente omonimo fin dal XVIII secolo esistevano miniere di piombo e rame, di facile sfruttamento, ma ben presto dimenticate. Altre mineralizzazioni, a ferro e manganese, si trovano nella zona di Montaldo di Mondovì e furono sfruttate a partire dalla seconda metà del 1800.
L'intervento minerario più rilevante è stata l'estrazione del calcare. A questo proposito vorrei ricordare la cava del Monte Calvario a Villanova Mondovì che sta "intaccando" un'opera d'arte di notevole pregio, il santuario di Santa Lucia, risalente al XIII secolo, interamente costruito nella viva roccia. L'acqua che cola dalle pareti rocciose della grotta naturale, a cui è addossato il santuario, pare miracolosa per gli occhi. Altro recente intervento umano, in particolare nelle aree di fondovalle, è la realizzazione di piccole centraline idroelettriche. A fronte di una limitata produzione di energia, il danno ambientale causato nelle opere di intubamento e sbarramento dei corsi d'acqua è piuttosto elevato. Per di più questo tipo di intervento si aggiunge a quelli necessari per la captazione delle acque carsiche per ragioni idropotabili. Oltre all'impatto visivo, questa sottrazione di acqua incide negativamente sugli ecosistemi delle valli.
Viene infine, preso in considerazione 'impatto ambientale creato dalla realizzazione di centri turistici in piena area carsica, con riferimento agli insediamenti di Prato Nevoso ed Artesina collegati allo sfruttamento sciistico della zona. L'attività edilizia, come si è verificato in tante altre zone delle nostre Alpi, non ha tenuto conto delle situazioni ambientali generali e sono state quasi sempre adottate tecniche costruttive e materiali non adeguati alle medesime

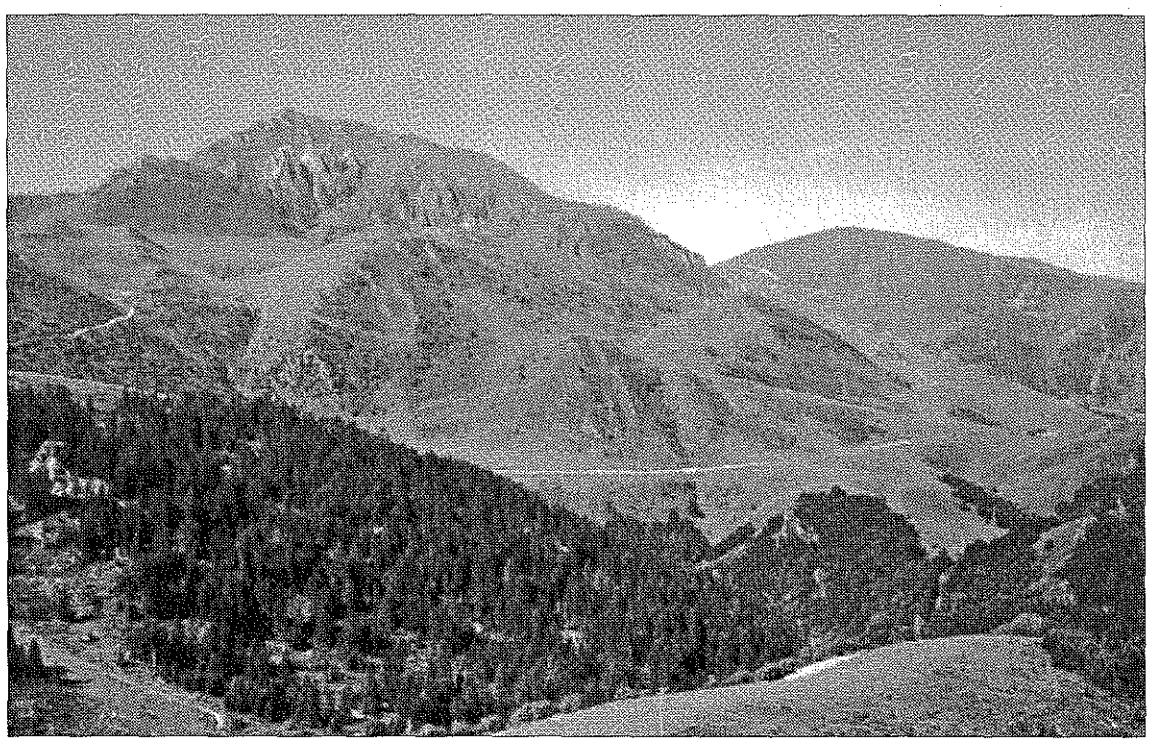
L'IMPATTO DELLE ATTIVITÀ UMANE

Gli ambienti carsici, in particolare quelli posti ad altitudini più elevate, come tutta la zona che va dalla val Corsaglia alla val Vermenagna, sono aree di estremo interesse naturalistico ed ambientale, ma anche luoghi ricchi di risorse che l'uomo ha da sempre cercato di sfruttare.
Questo territorio sotto l'aspetto geologico è relativamente semplice; di fatto è formata da rocce calcaree e dolomitiche che non hanno creato cime importanti, grandiose.
Però, per quanto riguarda lo sfruttamento umano, queste montagne si presentano spesso assai dirupate, e quindi di non facile accesso.
In passato, il territorio carsico monregalese ha visto, tutto sommato, interventi poco impattanti ad opera dell'uomo. Il più importante è stato lo sfruttamento agro-silvo-pastorale, in particolare l'allevamento di ovini e caprini che ha creato qualche problema di inquinamento delle falde acquifere.

Comunque, le trasformazioni del territorio sono state minime; tra queste si può ricordare la realizzazione di insediamenti temporanei, di cui si è parlato in altre relazioni.
In definitiva si può dire che, in passato, l'area che va dalla val Corsaglia alla val Pesio ha subito, tutto sommato, piccole alterazioni.
Anche l'attività estrattiva, da sempre risorsa primaria delle nostre montagne, è stata assai contenuta. A Fontane, in alta val Corsaglia, lungo il torrente omonimo fin dal XVIII secolo esistevano miniere di piombo e rame, di facile sfruttamento, ma ben presto dimenticate. Tra queste (già stata segnalata in altra relazione) la miniera di galena argentifera di Fontane. Si sa che questa vena metallifera di "piombo solforato argentifero", come è indicato nelle antiche cronache, aveva uno spessore di pochi centimetri (una quarantina) ed apparteneva al Marchese di Pamparato che l'avrebbe sfruttata fino a metà 1800. Poi fu dimenticata nonostante l'importanza mineralogica di questo giacimento.
Altre mineralizzazioni, a ferro e manganese, si trovano nella zona di Montaldo di Mondovì e furono sfruttate a partire dalla seconda metà del 1800.
Però l'intervento minerario più rilevante è stata l'estrazione del calcare, anche di marmi pregiati come quello di Frabosa, usato tra l'altro nella cappella della Sindone di Torino. L'estrazione del calcare spesso è avvenuta in piccole cave a gestione familiare, che purtroppo hanno lasciato segni evidenti sul territorio, o in cave ben più grandi con attività a carattere industriale, come la cava del Monte Calvario a Villanova Mondovì. L'attuale sito di escavazione è coltivato con la tecnica moderna "a gradoni". Il vecchio sito era invece spostato in direzione di un'opera d'arte di notevole pregio, il santuario di Santa Lucia, risalente al XIII secolo, interamente costruito nella viva roccia. L'acqua che cola dalle pareti rocciose della grotta naturale, a cui è addossato il santuario, pare miracolosa per gli occhi. Questo tipo di intervento può definirsi scriteriato in tutti i sensi. E' arrivato talmente ad intaccare il santuario, che è stato necessario sorreggere la montagna con dei muraglioni di cemento.
Non si vuole qui negare l'attività di escavazione mineraria, risorsa importante per il territorio carsico. Si tratta di procedere in modo corretto e compatibile con il territorio. Ha scritto Giovanni Romolo Bignami, pianificatore territoriale recentemente scomparso: "La chiave di volta di un intervento di cava, dopo le necessarie indagine geologiche e geominerarie, è il piano di coltivazione che, se predisposto in modo razionale e completo, rappresenta di per sé la base sicura per un buon recupero del territorio interessato". Si può dire, quindi, che predisporre ed applicare in modo valido un piano di coltivazione, progettato con cura e con il necessario apporto multidisciplinare, costituisce sicuramente circa i tre quarti del recupero stesso.
Il recupero può essere effettuato utilizzando il materiale di risulta dell'azione di escavazione; così si rimodellano i fronti delle cave ricostruendo il primitivo stato dei luoghi e si colmano le buche di scavo. E' superfluo accennare che prima di un simile intervento occorre accertare lo stato "inerte" del materiale che si utilizza per il recupero e prestare particolare attenzione al problema delle falde acquifere, problema che deve essere ben presente fin dall'inizio delle operazioni minerarie.
La salvaguardia delle falde acquifere deve essere la costante preoccupazione di quanti progettano ed operano in questo settore.
Altro intervento umano è lo sfruttamento della risorsa acqua, soprattutto per ragioni idropotabili. Questo argomento è stato oggetto di alcune relazioni per cui non viene affrontato in questa sede.
C'è un aspetto legato all'acqua che vorrei in questa sede evidenziare: lo sfruttamento idroelettrico. Da un po' di anni, in montagna e anche nelle zone carsiche, si sono realizzate piccole centraline idroelettriche ed altre (tante) sono in corso di autorizzazione da parte della Provincia. A fronte di una limitata produzione di energia, il danno ambientale causato nelle opere di intubamento e sbarramento dei corsi d'acqua è piuttosto elevato.
Può sembrare strano che le Associazioni ambientaliste si oppongano alla produzione di energia elettrica mediante lo sfruttamento di una risorsa rinnovabile, qual è l'acqua. Non si è contrari all'idroelettrico, ma a questo tipo di idroelettrico realizzato in montagna, in zone a forte rischio di alterazione ambientale.

Vale la pena soffermarsi un attimo su questa questione.
I progetti, presentati per l'approvazione, troverebbero in generale giustificazione "semplicemente" con lo scopo di permettere il raggiungimento dell'obbligo di quota produzione da fonti rinnovabili pari al 2% da parte dei produttori di energia (anche se ciò non sempre traspare dai nomi delle società proponenti, ma il sospetto che l'energia prodotta venga ceduta, come quota o come diritto - i così detti "certificati verdi" - ai grandi produttori di energia, così come previsto dal D. L.vo Bersani n.79 del 16.3.99 - o questi, sia pure indirettamente, ne siano già di fatto proprietari, è più che legittimo); si tratta di un mercato decollato a partire dal 2001 e sicuramente molto redditizio per il futuro. Poi, i progetti risultano tutti realizzati in condotta forzata, con diversione delle acque di torrenti e rii montani inaccettabile per la quantità di acqua prelevata, e restituita nella migliore delle ipotesi a valle, a notevole distanza, quando non "ceduta" a cascata ad altri utilizzatori esistenti (vedi ENEL) o potenziali (progetti in corso o futuri).
Il concetto di DMV (Deflusso Minimo Vitale) che il legislatore ha voluto introdurre a salvaguardia dell'ambiente (riconoscendo esplicitamente che la sua messa in atto porta la situazione ambientale al limite della criticità) è di per sé inaccettabile in situazioni di equilibri ecologici delicati quali quelli montani.
Prendiamo, come esempio, un torrente alpino: nella stagione invernale, la poca acqua residua può addirittura ghiacciare con le evidenti pesanti ripercussioni sull'ecosistema; nella stagione estiva, la poca acqua fatta defluire subirà inevitabilmente un innalzamento della temperatura, con riduzione dell'ossigeno disciolto e conseguenti alterazioni degli equilibri ecologici (specie come la trota sono molto sensibili in questo senso).
La Legge Galli (L. n.36 - 5 gennaio '94) al riguardo impone limitazioni al prelievo sicuramente più rigorose, anche se non meglio quantificate; testualmente (capo 1 art 3, par 3) vi si legge: "nei bacini idrografici caratterizzati da consistenti prelievi o da trasferimenti, sia a valle che oltre la linea di displuvio, le derivazioni sono regolate in modo da garantire il livello di deflusso necessario alla vita negli alvei sottesi e tale da non danneggiare gli equilibri degli ecosistemi interessati".
Spesso i proponenti i progetti mirano esclusivamente al loro interesse ed il DMV è qualcosa di "fastidioso" al quale devono sottostare (prova ne sono affermazioni del tipo "il progetto ha una sua giustificazione anche nel fatto che altrimenti l'acqua andrebbe persa, sprecata" (!)).
Per ottenere l'autorizzazione ad installare una centrale idroelettrica occorre presentare un progetto di valutazione di impatto ambientale (VIA) e l'autorizzazione dovrebbe essere vincolata ad alcuni presupposti come la descrizione delle principali alternative tecnologiche e localizzative considerate, inclusa l'ipotesi di non realizzazione del progetto, e la giustificazione della scelta compiuta.
Invece, quasi nessun proponente indica le alternative (altre fonti rinnovabili a minore impatto ambientale, migliore utilizzo degli impianti già esistenti con interventi vari, impianti idroelettrici ad acqua fluente senza grosse diversioni, e, perché no, risparmio energetico) e questa carenza a rigore dovrebbe di per sé comportare la non ammissibilità di moltissimi progetti.
Inoltre, nelle procedure autorizzative spesso manca qualsiasi riferimento ad un quadro più generale che non sia quello meramente economico (le giustificazioni sono sempre le stesse: non autosufficienza energetica, prospettive di espansione dei consumi energetici, elettrici in particolare); in altre parole la valutazione di impatto ambientale non può limitarsi alla singola opera ed alla porzione limitata di territorio su cui fisicamente va ad incidere, ma va riferita ad un contesto ambientale ampio (almeno a scala di ecosistema vallivo); né ha senso in carenza di una seria programmazione (Piano Energetico Ambientale) che definisca i reali fabbisogni, una volta esaurite tutte le opzioni di risparmio energetico, e tenda a soddisfarli privilegiando le fonti energetiche rinnovabili a basso impatto ambientale.
Non voglio, alla luce di quanto su esposto, negare un certo ruolo (comunque residuale) dell'idroelettrico (le nostre vallate hanno già dato molto!); le proposte delle associazioni ambientaliste in merito all'idroelettrico ci sono e vertono su progetti a basso impatto ambientale come il micro idroelettrico nelle vallate; gli impianti ad acqua fluente sui grossi canali irrigui (salti piccoli, ma portate elevate e pressoché costanti per gran parte dell'anno); potenziamento e miglioramento, lad-

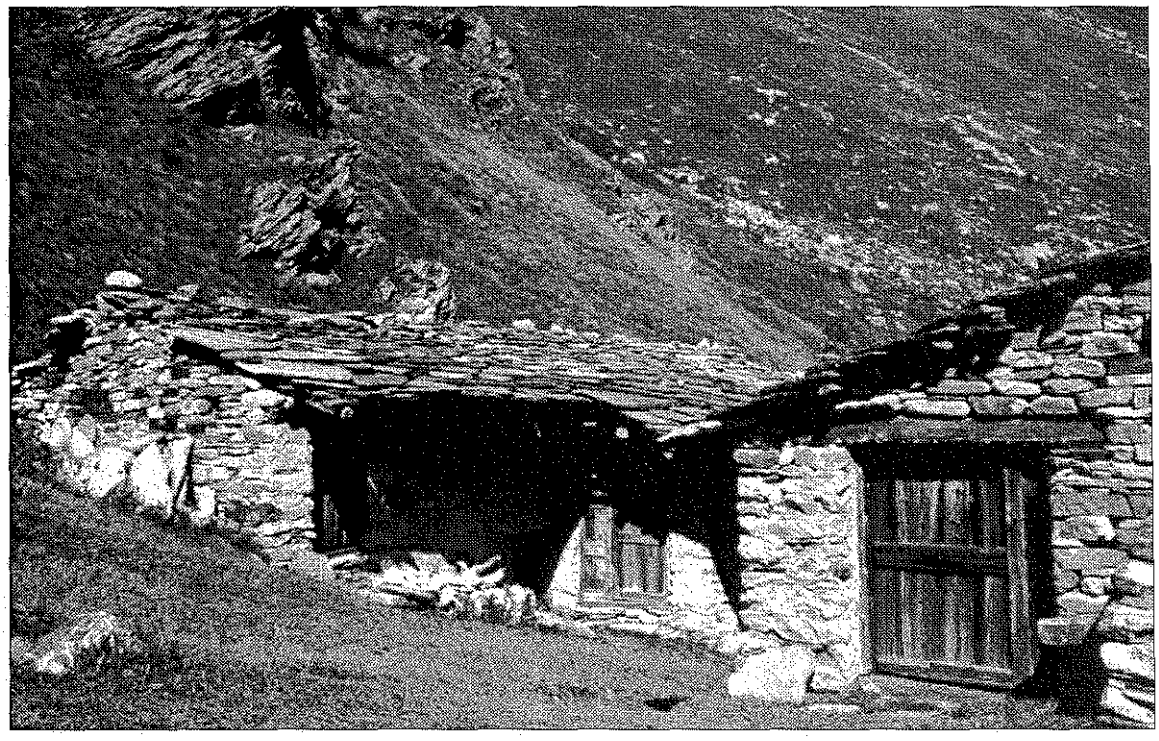
dove sia possibile, del tasso di utilizzazione dell'idroelettrico già esistente (parco ENEL e centrali private), recupero di eventuali centrali dismesse, ecc..
Infine, vorrei soffermarmi sull'impatto ambientalc creato dalla realizzazione di centri turistici in piena area carsica. Mi riferisco, ad esempio, agli insediamenti di Prato Nevoso ed Artesina collegati allo sfruttamento sciistico della zona. Qui è avvenuto ciò che purtroppo si è verificato in tante altre zone delle nostre Alpi. Si sono realizzate strade che feriscono la montagna; si sono disboscate intere pendici che poi franano; si è costruito senza tener conto delle situazioni ambientali generali, della tenuta delle pendici, della presenza di doline, del problema degli scarichi, della pesantezza delle opere manutentorie poi richieste (si pensi solo agli interventi per rendere idoneo il terreno a diventare una pista da sci).
Quasi sempre si sono adottate tecniche costruttive e materiali non adeguati alle situazioni.
In alta montagna, oltre gli orizzonti botanici, le costruzioni dovrebbero essere limitate al minimo indispensabile con uno studio molto ponderato dell'ubicazione, della tecnica costruttiva da adottare e dei materiali da impiegare. In caso contrario il degrado non ha limiti.
Anche in questo caso non si vuole negare un certo ruolo economico positivo per la sopravvivenza della montagna. E' il modo col quale troppo spesso si è proceduto a non essere accettato. Il posizionamento ed il tracciamento delle piste da discesa, delle sciovie, delle funivie, di eventuali serbatoi idrici per la produzione della neve artificiale richiede attenti studi geomorfologici. Quante volte si è provveduto ad effettuare prove di portanza del terreno al fine di poter determinare i carichi? Quante volte, dopo questo studio geologico, sono state adottate misure tecniche indispensabili relative al dimensionamento delle piastre di fondazione e all'eventuale inserimento di pali?
Ogni intervento, sia esso per la realizzazione di piste da sci, di strade di avvicinamento o di centri residenziali, deve essere accompagnato da immediate opere di drenaggio, di raccolta e di convogliamento delle acque; di assestamento delle pendici franose; di rinverdimento delle pendici interessate dalla costruzione di strutture o dal passaggio di piste. Perché ogni ferita lasciata sul terreno può innescare processi irreversibili di erosione e di franamento.
Diceva il dott. Giovanni Romolo Bignami: "Progettare una stazione turistica che si esprime essenzialmente attraverso la realizzazione di condomini, sul fondo di un vallone in erosione, sul colmo o al piede di un conoide di deiezione o lungo un corso d'acqua d'alta quota, non a distanza di sicurezza o in una zona valanghiva, non è soltanto un'offesa al paesaggio, ma alla sicurezza degli investimenti e al buon nome dei tecnici".



▲ Foto 1
L'ambiente dell'Alta Val Corsaglia - Ellero.

▲ Foto 2
Interventi antropici: fienagione.

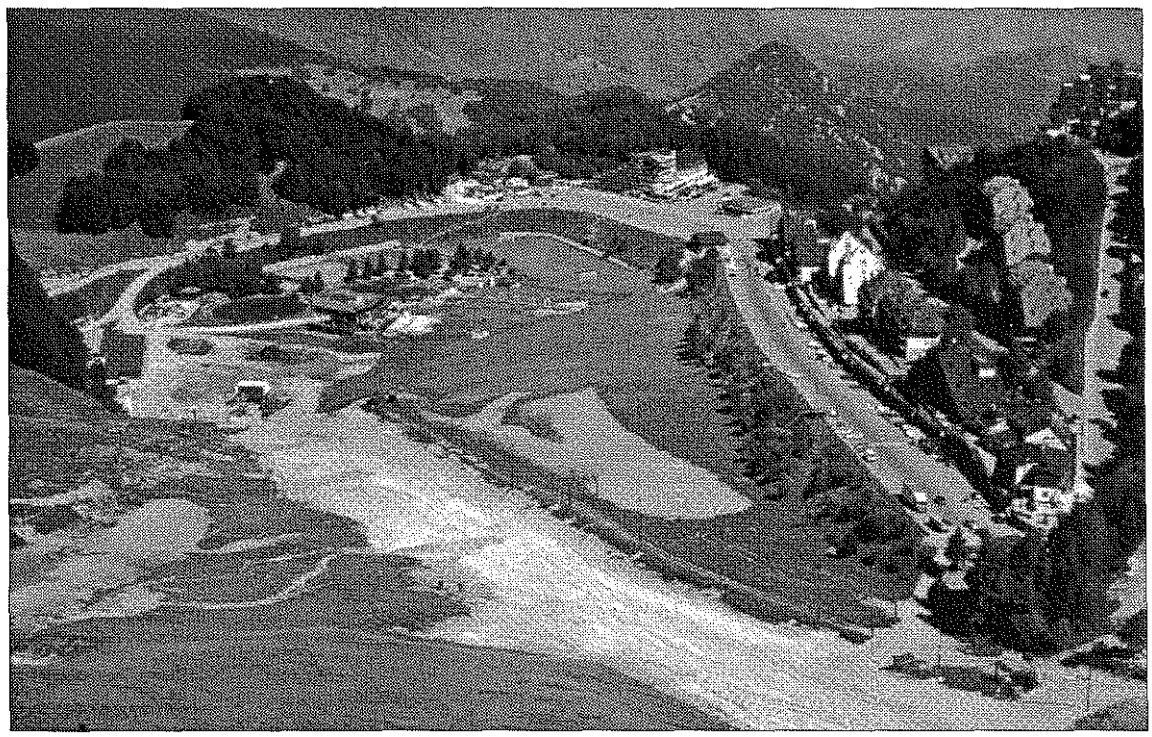
▲ Foto 3
Allevamento caprino.



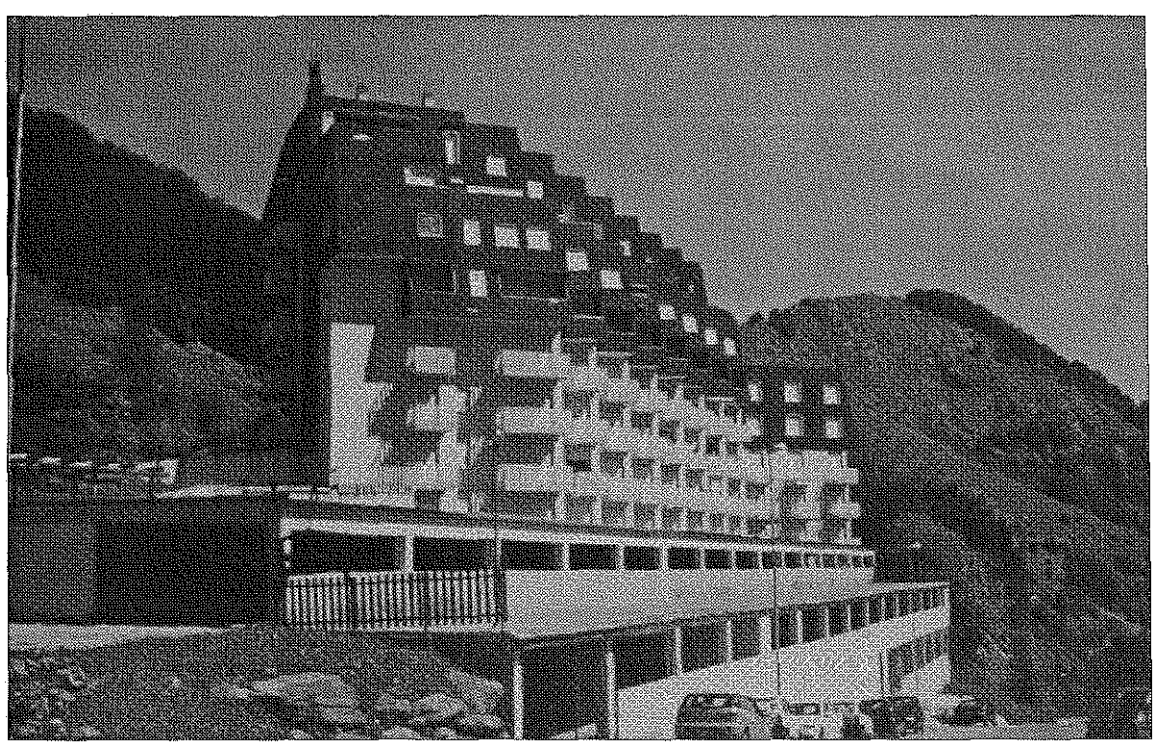
▲ Foto 4
Insediamenti temporanei in Valle Ellero.

▲ Foto 5
Cava di calcare di Villanova Mondovì, realizzata con l'attuale tecnica "a gradoni". Sulla destra si osserva la vecchia cava, vicinissima al Santuario di Santa Lucia.

▲ Foto 6
Una piccola centrale idroelettrica.



▲ Foto 7
Prato Nevoso: alterazione della cotica erbosa per la realizzazione di piste da sci.



▲ Folo 8
Complesso residenziale di grande impatto ambientale ad Artesina.

LA RISORSA AGROSILVOPASTORALE, EVOLUZIONE STORICA ED ESIGENZE DI TUTELA AMBIENTALE. AMBIENTE CARSICO DELLE VALLI CORSAGLIA E MAUDAGNA

Federico Regis
ARPA Piemonte

RIASSUNTO

La conservazione dei sistemi produttivi agricoli e zootecnici nell'ambiente alpino è importante per la difesa dal dissesto idrogeologico, il mantenimento della biodiversità, la tutela del paesaggio e degli aspetti culturali e storici dei territori montani.
Nelle alpi sud-occidentali storicamente la coltivazione del castagno, della patata, della segale unitamente all'attività della pastorizia hanno permesso l'insediamento dell'uomo e lo sviluppo di autentiche civiltà montane. Per queste coltivazioni sono state adottate tecniche d'impianto e di gestione del territorio, ancora esistenti, che ne hanno permesso il loro utilizzo nei luoghi più impervi in completa armonia con il territorio.
L'utilizzazione delle superfici erbacee sopraforestali può produrre redditi derivanti dalle produzioni d'origine zootecnica equiparabili a quelli ottenuti in ambiti meno svantaggiati. Questo però deve avvenire considerando le specifiche peculiarità geologiche del territorio in questione che potrebbero condizionare gli interventi di gestione e sviluppo agro-silvo-pastorale e turistico, se non adeguatamente programmati tramite un'analisi ambientale delle risorse disponibili.

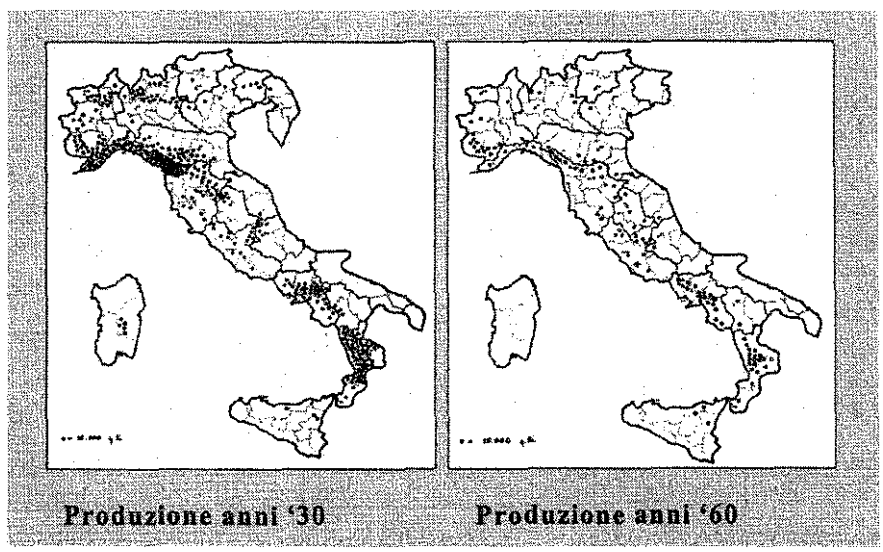
ABSTRACT

The conservation of agricultural and livestock productive systems in the alpine areas is very important for hydrogeologial defense, the maintenance of biodiversity, the protection of landscape and the cultural and historical aspects of mountain territories.
In the south-western Alps historically the cultivation of the chestnut tree, of the potato, of rye united to breeding activity has allowed the takeover of man and the development of authentic mountain cultures. For these cultivations, still-existing techniques and territorial management systems have been adopted, than of it they have allowed their use in the more steep areas, in complete harmony with the territory
The use of grasslands can produce yields for some productions comparable to those obtained in the richer areas. However, this must happen considering the specific geologic characteristics of the territory that could influence the agricultural, breeding and tourist development, if not adequately programmed by means of an environmental analysis of the available resources.

INTRODUZIONE

La conservazione dei sistemi produttivi agricoli e zootecnici nell'ambiente alpino è di primaria importanza per la difesa dal dissesto idrogeologico, il mantenimento della biodiversità, la tutela del paesaggio e degli aspetti culturali e storici dei territori montani. Tali azioni costituiscono la base per uno sviluppo sostenibile delle aree marginali per renderle fruibili compatibilmente con le normative di salvaguardia ambientale.
Negli areali delle alpi sud-occidentali storicamente la coltivazione del castagno, della patata, della segale unitamente all'attività della pastorizia hanno permesso l'insediamento dell'uomo e lo sviluppo di autentiche civiltà montane.

Il castagno è stato un vero albero del pane, che ha fornito nutrimento per gli uomini e per gli animali, materiale per l'edilizia, strumenti per il lavoro e la vita quotidiana. Per la sua coltivazione sono state adottate tecniche d'impianto e di gestione del territorio, ancora esistenti, che ne hanno permesso l'utilizzo nei luoghi più impervi in completa armonia con il territorio. Dopo un declino della castanicoltura nell'immediato dopoguerra, per motivazioni di mutati scenari socioeconomici, si assiste ad un rinnovato interesse per questa coltura in concomitanza di quella della patata e della segale.
L'utilizzazione delle superfici erbacee sopraforestali, adeguatamente presente nel passato ove vi era un presidio puntuale e diffuso nel territorio montano, si ripropone con rinnovato interesse quale strumento economicamente sostenibile ed ecologicamente compatibile per la gestione tramite la pastorizia di porzioni di territorio ambientalmente e paesaggisticamente degne di tutela. I redditi derivanti dalle produzioni d'origine zootecnica in tali areali sono equiparabili a quelli ottenuti in ambiti meno svantaggiati.
In relazione a questi scenari di rinnovato interesse per gli ambienti montani, occorre considerare le specifiche peculiarità geologiche del territorio in questione che potrebbero condizionare gli interventi di gestione e sviluppo agro-silvo-pastorale e turistico, se non adeguatamente programmati tramite un'analisi ambientale delle risorse disponibili e della loro eventuale limitazione d'uso.



IL CASTAGNO

Il castagno ha svolto in passato un ruolo fondamentale per la sopravvivenza delle popolazioni montane. La sua utilizzazione è documentata fin dal Medioevo e si è protratta fino ai giorni nostri.
Oltre che alimento nella dieta quotidiana, ha fornito legname da ardere e per la costruzione di edifici e manufatti, lettiera per il bestiame, tannino per la concia delle pelli. Per la sua coltivazione sono state adottate tecniche d'impianto e di gestione del territorio, ancora esistenti, che ne hanno permesso il suo utilizzo nei luoghi più impervi in completa armonia con il territorio.
Dopo la crisi e l'abbandono che ha subito la coltura tra gli anni 1950-70, un crescente e rinnovato interesse è rivolto al recupero dei castagneti tradizionali ed alla messa a dimora di nuovi impianti, ciò in funzione della attenuata virulenza dei patogeni che hanno in passato minacciato la sopravvivenza della specie (cancro corticale e mal dell'inchiostro), incremento della domanda di frutti di pregio con elevate caratteristiche qualitative per l'impiego industriale e per l'ottenimento di un'ampia varietà di prodotti, quali marrons glacés, puree, farine, creme, marroni canditi, semilavorati e prodotti finiti ad alto valore aggiunto richiesti per l'esportazione.
La castagna si è quindi trasformata da "*pane dei poveri*" ad alimento di pregio che valorizza le produzioni tipiche dì qualità.
Nel complesso la castanicoltura nelle valli cuneesi ed in paricolare in quelle monregalesi è una realtà ancora vitale che caratterizza molti aspetti ambientali e culturali. Occorre però pensare ad una integra-

zione delle risorse dove tutte le attività (turismo, artigianato, agricoltura, zootecnia,silvicoltura) concorrano a creare uno sviluppo sostenibile nel rispetto dell'ambiente per evitare che attività non consapevoli danneggino queste bellezze naturali ed il loro patrimonio culturale.
L'agricoltura di montagna, manifesta infatti, punti di debolezza quali marginalità socioeconomica e fragilità strutturale, ma anche punti di forza quali alta valenza ambientale e pluriattività. Questi punti dì forza vanno perciò posti in luce anche per il castagno che, come è stato accennato, è oggi una risorsa a valenza plurima: frutti e legno non sono sempre l'elemento portante, ad essi si affiancano le funzioni paesaggistiche, turistiche e culturali.
Il castagno costituisce nella provincia di Cuneo una realtà decisamente di rilievo e, pur non conservando l'importanza economica e sociale del passato, resta indubbiamente fonte di non trascurabile ricchezza.
Il castagno riveste una duplice attitudine, forestale ed agraria,contribuisce alla formazione del reddito di molti operatori economici e contemporaneamente, se correttamente gestita, questa coltura concorre a preservare il patrimonio boschivo dal dissesto idrogeologico e a formare agroecosistemi unici ed insostituibili, in armonia con uno sviluppo sostenibile della montagna.
Alcune aree geografiche si caratterizzano per la produzione di castagne destinate all'essiccazione (Valli Monregalesì, Valli Mongia e Cevetta), altre per il pregio dei frutti indirizzati al consumo fresco o all'industria dolciaria (Valli Vermenagna e Pesio, Valle Stura, Valle Varaita).
All'inizio dell'800 le statistiche riferivano di abbondanti castagneti fruttiferi che "*provvedono la pianura di questo frutto, di cui si fa un commercio piuttosto considerabile*" , con castagneti di 40-50 piante/ha, dove gli esemplari migliori, di circa 1 m di diametro, fornivano raccolti di circa 2 q/pianta. Nel 1880 si riferiva di una produzione annua di circa 79.280 q per Cuneo, di 53.432 q per Saluzzo, di 276.504 q per Mondovì e di 64.408 q per Alba, per un totale di circa 473.624 q.
Nel 1925 per il Circondario di Mondovl, si documentava che le valli Ellero, Maudagna, Corsaglia, Casotto, Mongia, Bormida, Tanaro e le colline di Mondovì e Ceva sono "*dai 400 m ai 1000 m circa di alltitudine rivestite da ottime e produttive selve di castagneti per ben 29.000 ha*".
Fino all'immediato dopoguerra le castagne erano commercializzate fresche dall'inizio di ottobre fino alla metà di novembre, successivamente secche (bianche) nel corso dell'inverno, fino a metà marzo.
L'essiccazione avveniva in locali di diversa tipologia: un semplice graticciato ricavato nel locale di abitazione o di un edificio a parte, l'essiccatoio o "*secou*", a pianta quadrata o rettangolare, con copertura in lastre di pietra (lose) o tegole, costruito in mezzo ai boschi o in prossimità delle abitazioni, talvolta con annesso un locale per gli attrezzi. Il "secou" era formato da due piani: in quello inferiore, che funzionava da caldaia, veniva acceso un fuoco, alimentato più volte al giorno con legna di castagno o prodotti forestali di scarto come bucce di castagne. Al piano superiore si trovava un unico graticcio in legno o in metallo; su di esso i frutti erano disposti in uno strato che, inizialmente di 20 cm, aumentava gradualmente, fino a raggiungere i 50 cm. Durante l'essiccazione i frutti erano rivoltatati periodicamente e la temperatura mantenuta costante. Al termine di questa operazione venivano sbucciati ponendoli in sacchi.
I luoghi più importanti per la compravendita delle castagne erano: Garessio, Ormea, Ceva, S. Michele Mondovl, Borgo S. Dalmazzo, Demonte, Dronero, Venasca, Paesana, Saluzzo, Barge.
II mercato di Cuneo diventa, nel tempo, un mercato di importanza europea e l'appuntamento della tradizionale fiera di S. Martino (11 novembre) a Cuneo.
Il mercato di Mondovì commercializzava all'inizio del '900, in media 50.000 q/anno di castagne.
La castanicoltura cuneese, pur mantenendo nel tempo il suo ruolo strategico per la sopravvivenza di larghe fasce della popolazione, inizia nell'Ottocento il suo declino.
Le cause sono molteplici ma l'avvento dell'era industriale con il conseguente abbandono delle campagne, la sostituzione del castagno con altre coltivazioni a più breve ciclo e più redditizie (specie nelle zone di pianura), il diffondersi dapprima del mal dell'inchiostro e, verso il 1930 del cancro corticale, provocano, nel corso dei decenni che seguono, la graduale ceduazione di ampie aree castanicole ed una costante diminuzione della superficie coltivata a castagno da frutto, con conseguente ridimensionamento del ruolo tradizionale che questo albero aveva rivestito in passato per le vallate cuneesi.

I comuni d'alta montagna subiscono le conseguenze maggiori di quella crisi socio-economica che rende sempre più accentuate le differenze di condizione di vita tra pianura e montagna ed induce all'esodo la popolazione rurale. Il castagno, con le sue produzioni diversificate, continua tuttavia a rimanere una risorsa di spicco nell'economia montana cuneese della prima metà del Novecento, sia per il sorgere di numerose industrie del tannino nel Cuneese, sia per la vivace commercializzazione delle castagne sui mercati europei e di Oltreoceano che per il consistente consumo interno.

I PASCOLI

I pascoli sono un'importante risorsa per gli areali alpini ed appeninici, per pascolo s'intende una formazione vegetale permanente a copertura erbacea, o variamente stratificata con cespugli e alberi, a prevalente utilizzazione diretta da parte degli animali.
Il pascolamento può per altro essere esercitato più o meno intensivamente anche su altri tipi di risorse foraggere permanenti o temporanee: prati, erbai, maggesi inerbiti, stoppie, colture cerealicole ma in tali casi le problematiche relative esulano dai pascoli propriamente detti.
I pascoli rappresentano generalmente la forma più estensiva di foraggicoltura. Ritroviamo tali risorse soprattutto nelle aree precluse ad altre utilizzazioni agricole o dove si vogliano conseguire determinati risultati di tipo ambientale e paesaggistico, con una varietà assai ampia di situazioni e tipologie quali estreme altitudini alpine, aree costiere ed interne semi- aride, ecc.
Dall'antichità e fino al più recente passato, l'attività pastorale, con maggiore o minore rispetto di regole gestionali corrette, ha profondamente modellato il paesaggio agrario associato a sistemi pastorali, caratterizzando estesi territori.
Ai pascoli va quindi riconosciuto oltre al ruolo produttivo (localmente anche rilevante), un fondamentale significato ambientale, tanto più importante quanto più fragile e marginale è l'areale interessato.

La vegetazione pastorale

La vegetazione pastorale è l'elemento visivo che più macroscopicamente caratterizza i pascoli, consentendo l'interpretazione delle condizioni ambientali prevalenti (nell'appezzamento o nel territorio considerato) e dello stato della stessa risorsa, soprattutto in relazione alle modalità di utilizzazione.
Si parla quindi in tal contesto di pabularità. In senso generale, qualsiasi specie vegetale utilizzata o utilizzabile come fonte alimentare dagli animali al pascolo è considerata pabulare.
Tuttavia, non tutte le specie presenti nei terreni a pascolo sono ugualmente appetite da ovini, bovini, caprini, equini, ecc. Spesso una pianta è utilizzata parzialmente (solo i frutti o le foglie o i germogli apicali), oppure soltanto in corrispondenza di alcune fasi fenologiche (ad esempio le graminacee che sono molto appetite allo stadio foglioso, vengono progressivamente rifiutate dalla spigatura in avanti; alcuni cardi sono utilizzati nel periodo giovanile).
Il concetto di pabularità è legato, oltre alle caratteristiche intrinseche della pianta, al contesto vegetazionale, ambientale e gestionale in cui viene a trovarsi l'animale utilizzatore.

Fattori condizionanti la vegetazione pastorale

Il popolamento vegetale pastorale è l'espressione dell'interazione fra le condizioni pedoclimatiche e le azioni antropiche d' utilizzazione. Ne derivano formazioni vegetali diverse, suscettibili d'evoluzioni anche importanti in funzione del prevalere dei diversi aspetti. In relazione a ciò la vegetazione è l'indice più significativo delle condizioni ambientali prevalenti in un territorio pastorale.

Lo studio della vegetazione pastorale

Lo studio della vegetazione in quanto tale è essenzialmente affrontato in termini fitosociologici e in termini fitogeografici. L'associazione vegetale è la nozione di base del metodo fitosociologico, rappresentandone l'unità tassonomica fondamentale. Essa è un insieme di specie fra cui alcune più regolarmente presenti nell'associazione stessa sono dette "caratteristiche", accanto ad altre meno regolarmente riscontrabili definite "compagne". Le associazioni vegetali e soprattutto le unità di rango progressivamente superiore entro cui queste vengono riunite (alleanza, ordine, classe), consentono di caratterizzare alcuni ambienti pastorali alpini, appenninici e mediterranei.
L'approccio fitogeografico si basa principalmente sulla nozione di fascia di vegetazione determinata dal quoziente termico altitudinale, e sul concetto di "serie" che esprime la dinamica attesa per un popolamento vegetale, che lentamente e attraverso numerose fasi, e senza azioni antropiche, dovrebbe evolvere verso uno stadio finale stabile detto "climax".

Il metodo di studio

Agronomicamente la vegetazione è si un indicatore ambientale e gestionale fondamentale, ma è anche risorsa alimentare per gli erbivori. Per queste ragioni è indispensabile un approccio alla vegetazione di tipo quantitativo. La principale differenza fra gli approcci di studio della vegetazione descritti, che presentano finalità sostanzialmente diverse, risiede essenzialmente sul significato da attribuire all'abbondanza delle diverse specie. Nel metodo fitosociologico e fitogeografico è preminente la "presenza" rispetto all' "abbondanza" delle diverse specie; nel metodo fitopastorale è l'abbondanza degli individui, anche in termini ponderali, più che la gamma delle specie, a caratterizzare una vegetazione.
La presenza, anche particolarmente elevata, degli individui di alcune specie non è mai casuale, ma bensì l'espressione più significativa di più puntuali condizioni ambientali e gestionali. La finalità agronomica di questo metodo è evidente, considerando gli obiettivi della gestione pastorale: conservare la risorsa pascolo; rispondere alle esigenze alimentari degli animali; rispondere alle esigenze di conservazione dell'ambiente del paesaggio, della biodiversità e della fruibilità dei territori considerati.

Le tipologie di vegetazione pastorale alpina

L'applicazione del metodo fitopastorale in differenti areali dell'arco alpino, dell'appennino e degli ambienti mediterranei ha consentito di individuare grandi tipologie di "ecofacies" significative per una più organica descrizione della vegetazione ai fini pastorali.

Pascoli del piano montano e subalpino

Le formazioni prative sopra citate, nei limiti altitudinali della vegetazione climacica forestale (piano montano e subalpino), se sottoposte prevalentemente al pascolamento evolvono verso cenosi tipicamente pascolive.
Dalle minori alle maggiori altitudini ritroviamo:
Brachipodieti: caratterizzati dalla importante presenza di una delle tre seguenti specie di *Brachypodium (B. caespitosum, B.genuense, B. rupestre)*, si tratta di popolamenti assai poveri, derivanti quasi sempre da evoluzione di mesobrometi su suoli a scarsa fertilità e spesso percorsi dal fuoco nelle esposizioni solatie e risalenti le pendici alpine *(B. caespitosum)* e appenniniche *(B. genuense)* fin oltre i 2000 m di altitudine. Ritroviamo parimenti formazioni a brachipodio *(B. rupestre)* nelle aree un tempo coltivate e prevalentemente su terreno calcareo.
In tutte le formazioni il brachipodio tende a divenire esclusivo, accompagnandosi con specie che derivano dalle formazioni di evoluzione (ad es.: *Bromus erectus, Festuca gr. rubra*) e con arbusti diversi *(Genista, Spartium, Calluna)* e invadenti erbacee *(Pteridium)*. che indicano la possibile e progressiva evoluzione verso cenosi arbustive.

Le formazioni a brachipodio presentano un modesto - medio potenziale produttivo, variabile a seconda delle condizioni ambientali e di gestione del pascolo. L'aspetto qualitativo dell'erba è senza dubbio carente, anche per il notevole accumulo di parti morte che spesso caratterizza queste specie.
Lolieti-cinosureti: caratterizzati dall'abbondanza di *Lolium perenne* e, con maggiore frequenza in area appenninica, del *Cynosurus cristatus*, rappresentano le formazioni pastorali qualitativamente migliori della collina e della bassa e media montagna. Si affermano in condizioni di pascolamento razionale con un buon livello di restituzioni animali. A queste due specie sono spesso associate *Trifolium repens* e *Poa pratensis* con altre di minore rilievo.
Festuceti: si tratta delle formazioni pastorali più significative del piano montano e sub-alpino. Sono caratterizzati dalla presenza significativa di specie a foglia fine del genere *Festuca* appartenenti al gruppo *rubra* e/o *ovina*. Si affermano ovunque prevalga un pascolamento razionale con sufficiente - medio apporto di restituzioni animali e in funzione delle condizioni pedo-ambientali e gestionali la loro composizione floristica assume connotazioni assai diverse. Sono abbondanti le graminacee a lamina larga produttive ed esigenti, come *Dactylis glomerata* e *Festuca pratensis* negli ambienti più fertili e freschi, accompagnate da *Trifolium repens, T. pratense, Trisetum flavescens, Taraxacum officinale, Poa pratensis*; aumenta l'incidenza di quelle a lamina media come Agrostis tenvis nelle condizioni intermedie; accanto alla *F. gr. rubra* si affermano specie del gruppo *F. ovina* con aumento delle dicotiledoni non foraggere nelle situazioni meno favorevoli. La composizione floristica non foraggera dei festuceti è tra le più varie ed equilibrate, con un notevole interesse paesaggistico e ambientale: *Trollius europaeus, Stellaria graminea, Rhinanthus minor*, ecc.
Nardeti: formazioni caratterizzate dalla presenza di *Nardus stricta* che tende a divenire esclusivo, associato a *Festuca gr. ovina* o *gr. rubra, Agrostis tenvis. Arnica montana, Gentiana acaulis, G. lutea, Potentilla aurea.* Spesso compaiono *Calluna vulgaris, Genista germanica, Vaccinium mirtillus* e *V. uliginosus*, ad indicare una possibile involuzione verso formazioni arbustive. I nardeti derivano generalmente dal progressivo impoverimento dei festuceti per condizioni di sottocarico e soprattutto per uno squilibrio fra prelievo di fitomassa ed quantità delle restituzioni animali, che il cotico insufficientemente riceve a causa di gestioni irrazionali del pascolamento.

Pascoli del piano subalpino e alpino

Al limite superiore della vegetazione forestale la gamma delle tipologie pastorali si amplia notevolmente, in relazione ad una crescente influenza delle condizioni ambientali. Soprattutto i ruoli della esposizione e della durata della copertura nevosa divengono progressivamente più importanti salendo in altitudine.
Nell'ambito del territorio subalpino e alpino inferiore si possono individuare alcune tipologie pastorali tipiche dei pianori, delle pendici moderate, degli alti fondovalle, ove prevalgono condizioni di buona disponibilità idrica del suolo, con sufficiente insolazione e senza innevamento particolarmente prolungato: queste sono definibili *condizioni intermedie*, in opposizione alle *condizioni termiche* dei ripidi versanti esposti a sud. soggetti a forti escursioni termiche e a importanti variazioni delle disponibilità idriche dei suoli. Nei versanti esposti a nord o al limite altitudinale dei pascoli anche sui ripiani o pianori, ritroviamo poi formazioni vegetali condizionate soprattutto dal prolungato innevamento: si parla quindi di formazioni delle *condizioni nivali.*

Pascoli di condizioni intermedie

I pascoli delle condizioni intermedie sono i più importanti per lo sviluppo e la fruibilità delle superfici e per la loro qualità pastorale. Come elemento di transizione fra la vegetazione delle praterie del piano subalpino inferiore e quello superiore, ritroviamo ancora dei festuceti distinguibili come formazioni a: *Festuca nigrescens* (gr. *rubra*). Caratterizzate dalla abbondanza di alcune specie di buon valore foraggero *(Dactylis glomerata. Phleum alpinum, Agrostis tennis, Trisetum flavescens, Trifolium pratense)*, presentano una maggiore ricchezza floristica rispetto ai festuceti del piano montano e subalpino.

Sono frequenti *Ranunculus acer, Alchemilla gr. vulgaris, Leontodon hispidus, Taraxacum officinale, Helianthemum grandiflorum, Geranium silvaticum, Poligonum bistorta*, se prevalgono condizioni di fertilità con un buon livello delle restituzioni.
Si affermano *Festuca* del gr. *ovina, Avenella flexuosa, Geum montanum, Carex sempervirens, Anthoxanthum odoratum, Nardus stricta* quando vengono a ridursi notevolmente le restituzioni degli animali pascolanti.
Carex sempervirens e *Plantalo alpina*, variamente associate a *F. gr. rubra e ovina.* Si affermano su terreni più superficiali e poveri.
Festuca paniculata, variamente associata a *F. gr. rubra, Nardus strida, Trifolium alpinum, Carex sempervirens*, e ricco corteggio floristico *(Pulsatilla sp., Narcissus spp., Anemone spp.).* Sono formazioni tipiche del versante sud della catena alpina in posizioni soleggiate, attualmente in espansione per la progressiva riduzione dei carichi animali.
Nardus stricta, variamente associato a *Festuca gr. rubra, Carex sempervirens, Geum montanum, Leontodon helveticus, Meum atlananticum*, e a molte altre specie di interesse floreale (gentiana, arnica). Rappresentano una fase di impoverimento dei festuceti a seguito di irrazionale gestione del pascolamento.
Trifolium alpinum, con *Carex sempervirens e Avenella flexuosa.* Sono caratteristiche del piano alpino e subalpino che possono occupare anche porzioni importanti di pendii e ripiani in condizioni nivali. Si tratta di eccellenti praterie di altitudine, soprattutto per la qualità del foraggio, quando sia presente in proporzione rilevante il *Trifolium alpinum.*
Festuca violacea, Carex sempervirens e Plantago alpina. Formazioni di altitudine caratteristiche delle pendici relativamente più calde nell'ambito delle condizioni intermedie.
Poa alpina con *Phleum alpinum, Taraxacum alpinum.* Tipiche dei pianori di altitudine intensivamente pascolati e concimati nelle immediate vicinanze dei ricoveri animali. Rappresentano la formazione pastorale più antropizzata e produttiva del piano alpino, ma di modesta importanza per le ridotte superfici occupate.

Pascoli di condizioni termiche

Si tratta sovente di pascoli a cotico discontinuo per la notevole ripidità dei pendii in posizione soleggiata. Sono interessanti le formazioni più chiuse quali quelle a:
Brachypodium caespitosum (Alpi) e *B. genuense* (Appennino) in continuità con le analoghe formazioni del piano sub-alpino inferiore. In funzione della maggiore o minore abbondanza di *Festuca gr. rubra e gr. ovina, Plantago alpina, Plantago atrata, Plantago fuscescens. Lotus corniculatus*, assumono una maggiore o minore importanza pastorale.
Onobiychis montana con *Festuca gr. ovina, Festuca violacea, Lotus corniculatus, Helianthemum nummularium, Sesleria varia.* Tipicamente su terreno calcareo, queste formazioni sono le migliori delle condizioni termiche. La qualità dei pascoli è strettamente dipendente dall'abbondanza della prima specie. Nei pendii più ripidi l'*Helianthemum nummularium* può caratterizzare per la sua notevole presenza la formazione, che assume in questi casi connotazioni di minor significato pastorale.
Sesleria varia con *Festuca gr. ovina, Lotus corniculatus, Carex sempervirens, Astragalus sempervirens, Helianthemum nummularium.* Formazioni di minore importanza per lo più a cotica discontinua caratteristiche dei pendii calcarei alpini.

Pascoli di condizioni nivali

Sono pascoli interessanti per le utilizzazioni tardo-estive in grado di assicurare foraggio di buona qualità anche in stagione avanzata. Formazioni a:
Plantago alpina e *Festuca gr. rubra*. Queste specie frequentemente associate a *Trifolium thalii, T. pallescens, Phleum alpinum, Leontodon hispidus, Poa alpina, Nardus stricta, Alopecurus gerardi*, caratterizzano i migliori pascoli alto-alpini su terreni ricchi di carbonaii, razionalmente utilizzati.

Nardus stricta e *Plantago alpina.* Tipiche degli alti valloni su terreno siliceo, rappresentano spesso l'evoluzione dei precedenti per cattiva gestione. Alle due specie citale si associano frequentemente: *Carex sempervirens, Avenella flexuosa, Agrostis rupestris. Trifolium alpinum, Poa alpina, Ligusticum mutellina, Ranunculus pyrenaicus, Alpecurus gerardi.*
Nelle conche, nelle valletto nivali, rilroviamo ancora formazioni di interesse pastorale a *Plantago alpina* associata a *Alopecurus gerardi, Ranunculus pyrenaicus, Genum montanum, Poa alpina, Carex foetida.* Con oltre 8 mesi di innevamento, alla *Plantago alpina* ritroviamo sostanzialmente associali *Salix herbacea* o *S. refusa* (suoli umificati acidi) o *Salix reticulata* o *S. serpyllifolia* (su calcare) e *Alchemillapentaphyllea.*
Altre formazioni erbacee chiuse del piano sub alpino e alpino in condizioni termiche quali i seslerieti (formazioni a *Sesleria varia*, su calcare), i firmeti (formazioni a *Carex firma*, su calcare), e al limite altitudinale superiore, i curvuleti (formazioni a *Carex curvula* e *C. rosae*) presentano un certo interesse ambientale, naturalistico e paesaggistico, ma scarso interesse pastorale per la modesta produttività e qualità della fitomassa offerta.
Alcune formazioni montane, subalpine e sopraforeslali a frutici ed arbusti nani con importante presenza erbacea, possono presentare un certo interesse pastorale soprattutto in relazione alle dinamiche evolutive esistenti fra pascoli mal gestiti e gli arbusteti a frutici.
Nel piano montano si possono citare le brughiere a *Calluna vulgaris* e *Genista sp.*; nel piano subalpino quelle a *Vaccinium myrtillus, V. uliginosum, V. gaultherioides* (Appennino tosco-emiliano) *Rhododendron ferrugineum R. hirsutum* (su calcare nelle Alpi centrali e orientali) con *Nardus stricta, Meum atlamanticum, Carex sempervirens. Festuca gr. rubra, Avenella flexuosa, Trifolium alpinum, Plantago Athamanticum alpina, Polygonum viviparum.* Esse sono spesso, in funzione della composizione, il risultalo di una progressiva involuzione di festuceti e nardeti in condizioni di esposizione e suolo più o meno favorevoli e di minor o maggiore altitudine.
In posizioni solatie le formazioni di condizioni termiche possono analogamente evolvere verso arbusteti a *Juniperus nana*, che consentono di individuare antiche situazioni di intensa, quanto irrazionale, utilizzazione pastorale, prevalentemente con ovini.

L'ecosistema cotico erboso

La vegetazione dei pascoli si manifesta sotto forma di *cotico erboso*, che è un vero e proprio ecosistema dotato di elementi costitutivi e di un funzionamento che trasforma gli input, conseguenti al flusso dell'energia e al ciclo della materia in output secondo la dinamica propria delle aggregazioni di esseri viventi.
L'ecosistema cotico erboso non è troppo dissimile dall'ecosistema bosco. Entrambi sono infatti risorse primarie rinnovabili che offrono prodotti, assicurano la protezione e l'accumulo della fertilità del suolo, il mantenimento della biodiversità, la funzione paesaggistica e quella ricreativa. Nel pascolo, come nel bosco, occorre assicurare la perennità della risorsa, controllare l'evoluzione della vegetazione, realizzare piani di gestione tecnica ed economica.
Il cotico erboso per altro, presenta una maggiore sensibilità ai fattori ambientali e antropici e la necessità di venire utilizzato tempestivamente, pena la degradazione, dell'erba e a medio termine l'involuzione della vegetazione.
In sintesi, è possibile attribuire alle specie presenti nel cotico erboso differenti ruoli:
ruolo produttivo, svolto dalle migliori graminacee e leguminose a cui si aggiungono composite, rosacee e poche altre rappresentale nel complesso da molli individui che apportano il grosso dell'offerta;
ruoli protettivo o antierosivo, svolti dalle specie che, per la fittezza dell'apparato aereo e radicale, per il portamento prostralo o l'habitus a rosetta, smorzano l'impatto delle piogge battenti, trattengono per adesione parte dell'acqua in eccesso, riducono il ruscellamento, producono effetto pacciamante, imbrigliano il suolo, migliorandone la struttura e favorendone la portanza;

ruolo difensivo, nei confronti della copertura vegetale, assunto, a seguilo della selezione degli erbivori, prevalentemente dalle piante spinose (a seconda degli ambienti, appartenenti ai generi *Carlina, Cirsium, Carduus, Silybum, Centaurea, Eryngium, Astragalus, Genista*) e velenose (*Aconitum, Aquilegia, Colchicum, Veratrum, Helleborus, Asphodelus, Euphorbia, Ferula, ecc.*), favorite dal sovraccarico animale;
ruoli complementari, svolti ad esempio dalle piante aromatiche o a vistosa fioritura per il richiamo di erbivori e insetti pronubi, oppure da quelle che favoriscono allre specie attraverso la messa a disposizione di acqua *(Alchemilla gr. vulgaris)*, di nutrienti (leguminose) o di sostanza organica *(Dryas octopetala)*.
Il cotico erboso, rispondendo pronlamente alle sollecitazioni esterne, mostra dunque una grande reattività, adattandosi fino a influire sullo stesso comportamento degli animali nel quadro di un reciproco condizionamento. Il cotico erboso è condizionato da suolo, clima ed animali utilizzatori.
Il suolo influisce sul cotico erboso sopratutto nelle fasi di colonizzazione e negli ambienti estremi (aree di altitudine, reazione acida o alcalina, ecc.). Favoriscono l'insediamento e il mantenimentodel cotico erboso una tessitura equilibrata (senza eccessiva prevalenza di argilla) e una reazione del suolo vicina alla neutralità. In situazioni di buona fertilità del suolo, il cotico erboso ne risulta meno influenzato, fino a presentare una completa autonomia vegetativa.
La quantità e la frequenza delle precipitazioni nel periodo vegetativo, la persistenza della copertura nevosa agendo da coibente termico, la luminosità sono gli elementi climatici che influenzano positivamente la continuità spaziale, la produttività, la qualità e la perennità del cotico erboso.
Il vento rappresenta viceversa un fattore negativo, sia per gli effetti meccanici, particolarmente deleteri nelle zone di crinale e in inverno per l'asportazione della coltre nevosa, sia per l'esasperata evapotraspirazione in estate.
Gli animali al pascolo svolgono una duplice funzione: da un lato sono gli utilizzatori e i trasformatori dell'offerta pabulare, dall'altro sono un mezzo di gestione e di mantenimento delle potenzialità produttive e dell'equilibrio vegetazionale del cotico erboso.
Le specie utilizzatrici appartengono essenzialmente agli erbivori domestici (bovini, ovini, equini, caprini) e selvatici (mufloni, daini, cervi, stambecchi, camosci, caprioli, conigli e lepri).

Le principali azioni degli animali al pascolo sulla vegetazione

Le tre azioni animali che condizionano maggiormente il cotico erboso sono: il prelievo di fltomassa, le restituzioni attraverso le deiezioni e il calpestamento. Ognuna di queste azioni comporta effetti positivi e negativi; in genere, in situazioni di carico equilibrato i primi prevalgono sui secondi.
Il prelievo di fltomassa prende il nome di pascolamento quando interessa completamente il manto erbaceo, e di brucatura quando si limita ad organi di piante (apici, foglie, germogli) più frequentemente legnose.
Il pascolamento presenta due caratteri fondamentali: l'intensità dovuta all'approfondimento verso il suolo del morso degli animali, modesto per i bovini, notevole per ovini ed equini, che al limite possono pregiudicare il ricaccio dell'erba, e la selettività, cioè la diversa preferenza verso le singole specie, che in genere è modesta per gli equini e i bovini adulti e progressivamente crescente per giovani bovini, ovini, caprini e ungulati selvatici che lasciano sul campo un maggior numero di piante rifiutate.
La restituzione delle deiezioni dà luogo a effetti positivi e negativi sulla produttività e sulla qualità del pascolo.

Sono negativi:
- l'effetto ustionante sulla vegetazione dovuto all'alta concentrazione e, nel caso dei bovini, alla notevole massa delle deiezioni stesse;
- l'occupazione di superficie che può variare dal 5 al 25% ;
- la diffusione di semi di infestanti contenuti nelle deiezioni solide o mete;
- l'insediamento di specie nitrofile nei luoghi di deposizione delle deiezioni;

Sono positivi:
- l'apporto e il riciclo dei nutrienti che con tecniche di pascolamento corretto da luogo a incrementi di produttività e qualità del pascolo:
- la diffusione dei semi di buone foraggere contenuti nelle mete;
- l'insediamento di buone foraggere esigenti sulle superfici oggetto di deiezione.

Nel caso del pascolamento semi-intensivo o estensivo, percentuali variabili fra il 75% e il 90% dell'azoto ingerito dagli animali ritornano al terreno e tale restituzione può superare anche l'asportazione, soprattutto se agli animali vengono somministrate integrazioni con alimenti concentrati.
La quantificazione degli apporti di nutrienti al suolo è complessa. Come indicazione di larga massima si può valutare che 100 giorni di pascolamento di un capo adulto bovino (UBA) restituiscono fra feci ed urine 35 kg di N, 5 kg di P_2O_5, 35 kg di K_2O. Una UBA ovina (6,6 pecore) restituisce, sempre per lo stesso periodo, valori di poco inferiori. Considerando i carichi stagionali medi delle diverse categorie di pascoli, tali apporti sono in grado di mantenere la vegetazione pabulare ad un livello nutrizionale medio-buono, soprattutto se è presente la componente delle leguminose.
L'apprezzamento dell'efficacia delle restituzioni è in ogni caso è difficile, in quanto interferiscono distribuzione spaziale, rapidità di degradazione, mobilità dei nutrienti nel suolo, volatilizzazione dell'ammoniaca. Sulla distribuzione spaziale interferiscono i rapporti fra le attività animali (pascolamento e riposo), la pendenza e il carico. Le zone a restituzioni più elevate sono ovviamente quelle di maggior carico, con una certa preferenza però per le aree di riposo e meno pendenti.
Tutte le tecniche di controllo della distribuzione delle restituzioni, quali pascolamento razionale, corretta collocazione ed eventuale rotazione tre punti di abbeverata, punti sale, aree mungitura, aree riposo.

Corretta gestione degli animali

La corretta gestione degli animali pascolanti per ottenere un prelievo d'erba proporzionato alla capacità produttiva del cotico e una regolare restituzione dei nutrienti con le deiezioni solide e liquide, assicura la conservazione e il miglioramento dei pascoli.

Recupero delle deiezioni stalline

Dove è attuato il riposo notturno o diurno degli animali in ricoveri o stalle, viene normalmente praticata la raccolta delle deiezioni solide e liquide in vasche di deposito unitamente alle acque di lavaggio delle poste.
Molto rara è la disponibilità di lettiera per la produzione di letame generalmente soltanto nella bassa montagna con foglie di alberi o felci. Mentre la valorizzazione del letame non crea particolari problemi, salvo quelli legati allo spandimento autunnale che non può oggi che essere meccanizzato, l'utilizzazione dei liquami pone una serie di problemi tecnici e ambientali.
Va premesso che la distribuzione sul pascolo dei letami o dei liquami prodotti in stalla dagli animali utilizzatori è esigenza prioritaria per la vegetazione pastorale. Le antiche tecniche della distribuzione con fertirrigazione dei liquami mediante una fitta rete di fossatelli orizzontali ed obliqui assicurano questo regolare apporto di nutrienti ai cotici, contribuendo a conservare le differenti tipologie vegetazionali. L'onerosa manutenzione dei fossatelli e delle adacquatrici ha ridotto notevolmente l'applicazione della tecnica, solo in parte sostituita da spandimento con tubazione flessibile in aree non meccanizzabili o con carro botte, nelle zone accessibili ai mezzi meccanici.
La ridotta o mancata distribuzione delle deiezioni accumulate, determina un eccesso di nutrienti in aree limitrofe ristrette, con evoluzioni negative della vegetazione verso specie nitrofile *(Urtica, Rumex, Chenopodium, Senecio, Poligonum)* e corrispondenti impoverimenti dei cotici nelle aree pascolate circostanli, per aumento delle specie oligolrofiche come *Nardus stricta.*

Alle evoluzioni vegetazionali da eccesso si accompagnano a volte lisciviazioni importanti dei nutrienti o addirittura dispersione dei liquami, non o parzialmente utilizzati, sui pendii sottostanti le vasche o le zone di accumulo o nei corsi di acqua superficiali.
La quantificazione dell'apporto di deiezioni solide e liquide al pascolo deve considerare il potenziale produttivo del pascolo e le caratteristiche del suolo. Quantità dell'ordine delle 20 t per ha di liquami sono correttamente impiegabili per le cotiche pingui, si scende a 10-15t per cotiche medie. Quantitativi ancora inferiori sono impiegabili con vegetazioni più povere e soprattutto su substrati permeabili e superficiali. Tali quantitativi si possono aumentare in presenza di vegetazione produttiva e in buone condizioni di giacitura e profondità di suolo.
In tali contesti l'attività pastorale correttamente gestita, deve essere conservata e valorizzata per il ruolo significativo che presenta, ad essa infatti è legata una serie numerosa di prodotti tipici caseari e carnei di alta qualità non producibili in ambienti diversi dal territorio pastorale.
Da essa dipendono anche importanti aspetti paesaggistici, di fruibilità turistica e di equilibrio ambientale che non possono essere sottovalutati in una coerente politica territoriale.
Il pascolo, quindi, da fornitore di prodotti, sta assumendo sempre più il ruolo di elargitore di servizi di crescente importanza di salvaguardia territoriale e culturale nella società odierna.

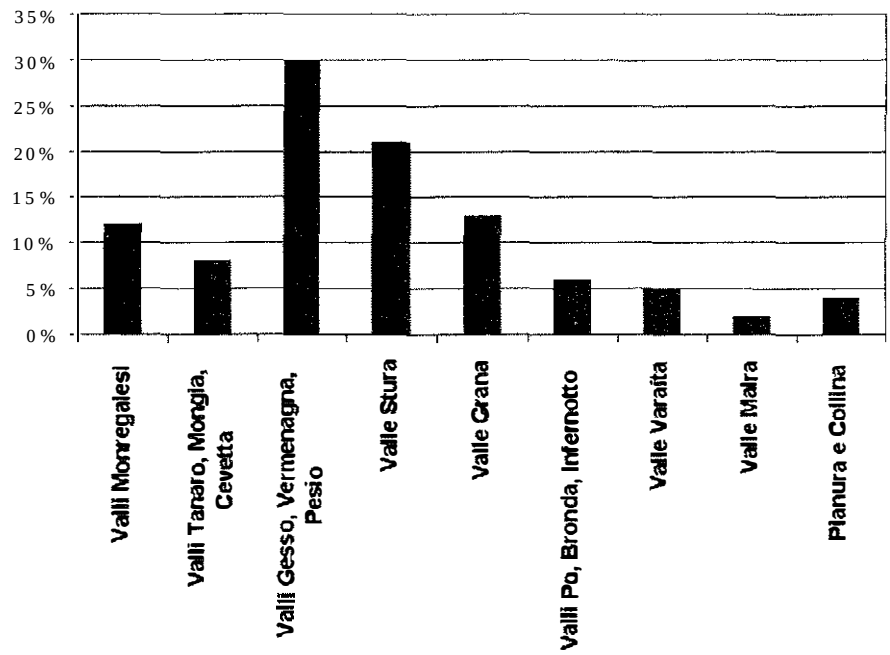
Si ringrazia per la preziosa collaborazione: Luisa Billò, Camera di Commercio di Cuneo; Paolo Aceto, Marco Brachet Contol, Davide Cugno, Alessandra Gorlier, Giuseppe Lobera, Giampiero Lombardi, Università di Torino, Facoltà di Agraria.

BIBLIOGRAFIA

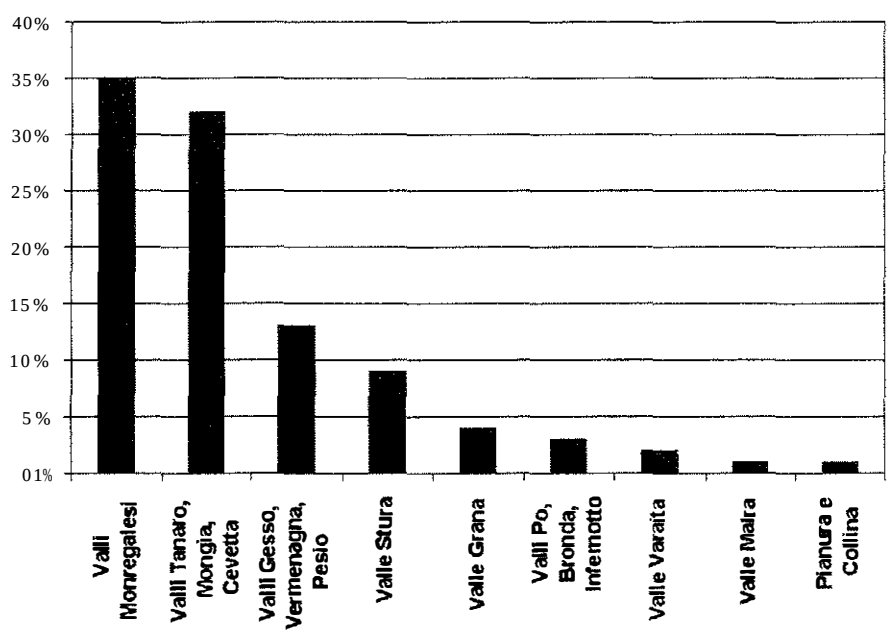
- AMBROGIO C., BORTOLAMI G., RICCI B. (1979) - *Carta idrogeologica e della vulnerabilità all'inquinamento delle risorse idriche delle Valli Ellero e Maudagna* (Provincia di Cuneo), CNR - Regione Piemonte.
- BERTOLINI-GUERROT G.Pd.M., 1856 - *Saggi di Agricoltura Pratica sulla Coltivazione del Castagno e della Vite.* Paravia, Torino, pp. 144
- BIGNAMI G.R., SALSOTTO A., 1983 - *La Civiltà del Castagno*, L'Arciere (CN), pp. 126
- BIRAGHI A., 1950 - *La distribuzione del cancro del castagno in Italia.* Ital.For.Mont.5,1,18-21
- BOTTERI G., 1892 - *Memorie storielle e statuti antichi di Chiusa di Pesio.* Torino; riedito nel 1976 a Cuneo.
- BOUNOUS G., 1997 - *Indagine sulla castanicol-tura da frutto in Provincia di Cuneo.* Provincia di Cuneo, pp. 95.
- BOUNOUS G., 1998 - *Strategie d'intervento per il recupero dei castagneti.* L'Inf. Agr. 40, 67-72
- BOUNOUS G., AGNISETTA M., BALDIZZONE M.C., GIOFFRE' D., PAGLIETTA R., ZAPPIA R., 1988 *Indagine sulle caratteristiche bioagronomiche di 10 cultivar di castagno piemontesi.* L'Inf. Agr. 49, 51-77
- BOUNOUS G.. GIACALONE G.. MONDO M., 1998 - *Situazione attuale e problematiche della castani coltura da frutto cuneeae.* Monti e Boschi, 1,5-12
- BOUNOUS G., MELLANO G., 1986 - *Interventi a favore della castanicoltura da frutto delle valli Gesso, Vermenagna e Pesio.* Atti "Giornate di studio sul castagno",Caprarola (VT): 205-221
- BONO G., BARBERO M. (1976) - *Carta ecologica della Provincia di Cuneo* (Scala 1:100.000), Documents de cartographie ecologique, XVII, 1-48.
- BRAUN-BLANQUET J. (1983) - *Plant sociology* - Translated, Revised and Edited by George D. Fuller and Henry S. Conard, Koeltz Scientific Books, Koenigstein.
- BOUQUET, 1906 - *Il castagno.* Tip. Manassero, Torto e Moletta, Mondovì.
- CANTIANI M.G. (1985) - *L'analisi fitoecologica in apicoltura*, L'Italia Forestale e montana, n°1, pp. 35-52.
- CAVALIERE A., GRIGNANI C., REYNERI A. (1989) - *Caratterizzazione delle risorse foraggere in Alta Valle Camonica e studio della loro utilizzazione*, in Sistemi agricoli marginali. Rapporto e conclusione del progetto di ricerche sullo scenario di Valle Camonica (Lombardia). CNR - Progetto finalizzato I.P.R.A., pp. 127-183.
- DAGET P., POISSONET J. (1969) - *Analyse phytologique des prairies* -Applications agronomiques, C.N.R.S.
- C.E.P.E., Montpellier, document n° 48, 67 pp.
- EYNARD I, PAGLIETTA R.,1966 - *Contributo allo studio delle cultivar di castagno della provincia di Cuneo.* Atti Convegno Internazionale sul Castagno, Cuneo: 330-365
- EYNARD I., PAGLIETTA R., 1966 - *Contributo allo studio delle cultivar di castagno della provincia di Torino*, Atti Convegno Internazionale sul Castagno, Cuneo:371-411
- FENAROLI L., GIACOMINI V. (1958) - *Conosci l'Italia: La Flora*, T.C.I., Milano.
- JOUGLET J.P., BONARD A., D'UBOST M. (1992) - *Eléments de pastoralisme montagnard* - Tome 1: Vegetation. Equipents, CEMAGREF, Grenoble.
- MONTACCHINI F. (1986-1987) - *Tipi di vegetazione naturali e antropici sul territorio piemontese*, Annali dell'Accademia di Agricoltura di Torino, Vol. centoventinovesimo, pp. 167-191.
- OZENDA P. (1985) - *La vegetation de la chàine alpine*, Masson, Paris.
- OZENDA P. (1982) - *Les végétaux dans la Biosphère*, Doin, Paris Pignatti S. (1982) - Flora d'Italia, Edagricole,
- RICCI, BOVOLO, 1925 - *I Castagneti del circondario di Mondovì.* Tip, Monregalese, Mondovì (CN), pp.181
- WEISS H., 1995 - *Quale futuro per i paesaggi rurali?* Atti Convegno Paesaggio Agrario e Archi-tettura Rurale, San Germano Chisone (TO): 5-20

APPENDICE

Produzione castagne In provincia di Cuneo



Su p ricie a castagneto in provincia di Cuneo



COMPOSIZIONE PABULARI DEI PASCOLI IN VAL CORSAGLIA

Facies a *Nardus stricta*	29%
Facies a *Festuca gr. ovina*	28%
Nardo-festuceti di transizione	14%
Facies a *Festuca gr. ovina e Poa violacea*	13%
Facies a *Carex semprevirens e Helianthemum nummularium*	10%
Facies a *Poa alpina*	5%
Praterie inondate a carici	1%

Esposizione calda, pendenza elevata, suoli superficiali e poco evoluti				
Calcare			Silice	
1500-1700 m.	1500-1700 m.	2000-2200 m.	1500-1700 m.	1700-2200 m.
Formazioni a *Brachypodium cespitosum*	Formazioni a *Helictotricon parlatorei*	Formazioni a *Carex semprevirens e Sesieria varia*	Formazioni a *Brachypodium cespitosum e Calluna vulgaris*	Formazioni a *Festuca panicolata e Avenella flexuosa*
Faggeta	Pino mugo o Rododendro		Faggeta	Ontanei

Pendenza Intermedia suoli mediamente evoluti			
Substrato indifferente Altitudine 1500-2000 m.			
Equilibrio prelievi d'erba-restituzioni			
SCARSO		MEDIO	ELEVATO
Suoli freschi ed esposizioni fredde Formazioni arbustive: ad *Alnus viridis* (alle altitudini inferiori) a *Rhododendron ferrugineum* (alle altitudini superiori) a *Vaccinium gaultheroides* e Nardus stricta	Suoli asciutti ed eposizioni calde Formazioni a dominanza di *Nardus sticta* con: *Brachypodium cespitosum* (alle altitudini inferiori *Plantago fuscescens* (alle altitudini intermedie) *Carex semprevirens* (alle altitudini maggiori)	Nardo-Festucieti di transizione	Facies a *Festuca gr. ovina*

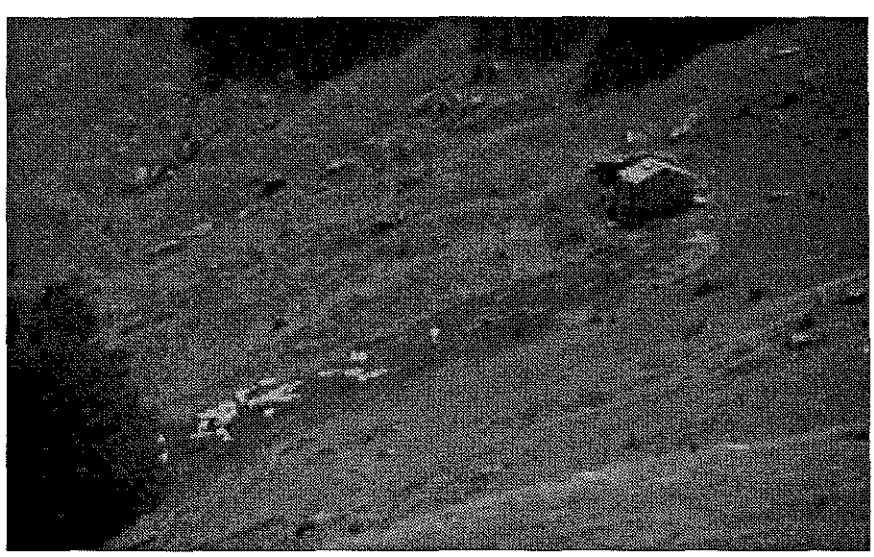
COMPOSIZIONE PABULARI DEI PASCOLI IN VAL CORSAGLIA

Pendenza modesta suoli ben sviluppati		
Equilibrio prelievi d'erba-restituzioni		
Elevato		Scarso
1500-1800 m.	1800-2200 m.	1500-2200 m.
Formazioni ad *Agrostis tenuis* e *Festuca gr ovina*	Formazioni a *Poa alpina*	Formazioni a *Nardus stricta*

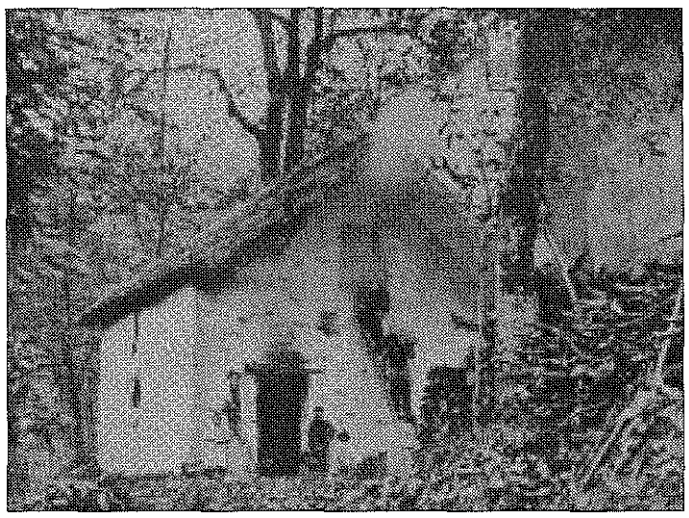
Piani cacumunali e dorsali			
2000-2300 m.	< 2000 m.		
Formazioni *Trifolium alpinum*	Superfici abbandonate Formazioni arbustive di *Rhododendron ferrugineum*	Pascolamento scarso e disomogeneo Formazioni a *Nardus sticta*	Pascolamento equilibrato, buon apporto di restituzioni Formazioni a *Festuca gr. ovina*

◀ Foto 1
Elementi fondamentali degli insediamenti alpini: bosco, pascolo, edificati.

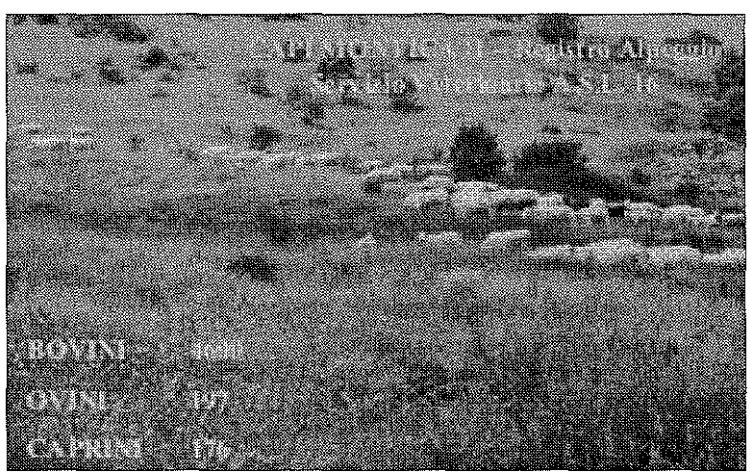
◀ Foto 2
Alpeggi in Valle Corsaglia.



◀ Foto 3
Danneggiamento da calpestio e sviluppo di flora nitrofila.



◀ Foto 4
Un essiccatoio di castagne in Valle Corsaglia.



◀ Foto 5
Numero di capi presenti negli alpeggi in Valle Corsaglia.

area tematica E

MONITORAGGIO IN CONTINUO DI ACQUE CARSICHE E INTERPRETAZIONE IDRODINAMICA DEI DATI: ALCUNI CASI NEL CARSO CLASSICO

Giacomo Casagrande, Franco Cucchi, Luca Zini

Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, Università degli Studi di Trieste
Via Weiss 2, 34100 Trieste (casagran@univ.trieste.it - cucchi@univ.trieste.it - zini@univ.trieste.it)

RIASSUNTO

Il Carso classico è una idrostruttura complessa, costituita da un bacino di alimentazione di circa 600 km² che si estende nelle province di Trieste e Gorizia ed in territorio sloveno. L'area sorgentifera è costituita dal sistema delle risorgive del Timavo e del Lisert, che ha portate complessive medie superiori ai 30 m³/s e drena le acque provenienti dalla parte meridionale del bacino (fiume Timavo Superiore - Reka), dalle perdite dei fiumi Isonzo e Vipacco, che vengono a contatto con i terreni calcarei nell'area più settentrionale del bacino, e dalle acque di infiltrazione. Lungo le diverse direttrici di deflusso il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste ha, da diversi anni, installato stazioni per il monitoraggio in continuo dei livelli e dei parametri chimico-fisici delle acque. I punti naturali di monitoraggio sono l'inghiottitoio di San Canziano (in Slovenia), le rare cavità che raggiungono il livello di base (Abisso di Trebiciano, Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko, Grotta Lindner, Pozzo dei Colombi, tutti in Italia), le sorgenti (III Ramo del Timavo, Sorgenti di Aurisina) e le depressioni in cui affiora la falda carsica di base (laghi di Doberdò e Pietrarossa). Vista la diversa tipologia dei punti di monitoraggio si illustrano le esperienze acquisite sul campo per quanto riguarda le problematiche pratiche di monitoraggio (scelta della strumentazione, installazione, ecc.) e si commentano ed interpretano alcuni esempi di dati. Dato che i risultati ottenuti sono strettamente connessi all'organizzazione dei vuoti all'interno dell'idrostruttura, alla presenza di riserve diverse, alle velocità di deflusso sotterraneo, i dati raccolti danno un contributo fondamentale alla ricostruzione del funzionamento idrodinamico del sistema. Gli scenari deducibili sono in alcuni casi confrontabili con situazioni conosciute già nel dettaglio e quindi non costituiscono novità, in altri casi, a ulteriore testimonianza di quanto sia importante nel carsismo ipogeo il monitoraggio "in continuo", portano a rivedere alcune delle ipotesi formulate durante la centenaria tradizione di studi idrogeologici nel Carso Classico.

PREMESSA

La compiuta conoscenza di un'area carsica e della sua carsificazione si può ottenere solamente con studi politematici ed interdisciplinari: la via per quantificare l'entità e la tipologia delle risorse contenute nei massicci carsificati e per definire la loro vulnerabilità e le condizioni ottimali di utilizzo, passa per lo studio delle caratteristiche del carsismo epigeo e di quello ipogeo con il concorso di numerosi specialisti di estrazione culturale differente in grado di acquisire, trattare e interpretare i numerosi dati necessari all'elaborazione dei modelli idrogeologici.

Il Carso Classico è, proprio per la sua "classicità", l'area in cui più la sinergia fra gruppi di ricerca potrebbe dare frutti interessanti. Il Carso di Trieste ormai da anni è studiato dai ricercatori triestini che hanno raccolto una serie notevole di dati grazie anche al posizionamento, nelle grotte più profonde dell'altopiano e nella zona delle risorgive, di numerosi strumenti in grado di misurare in continuo il livello delle acque di falda e le loro caratteristiche chimico-fisiche. Allo scopo precipuo di definire la vulnerabilità e la potenzialità delle riserve idriche contenute nell'idrostruttura, si è attivata una rete di monitoraggio in continuo per conoscere nel dettaglio l'idrodinamica del fiume Timavo ipogeo[1].

[1] E' grazie ai finanziamenti del CNR-GNDCI legati alla Linea di ricerca 4 "Vulnerabilità degli acquiferi" coordinata da Massimo Civita, che l'Unità Operativa 4.7 (coordinata da Franco Cucchi) ha potuto progettare, costruire, acquistare quasi tutti gli strumenti.

I valori vengono assunti da strumenti appositamente costruiti e memorizzati in *data logger*, dai quali vengono prelevati ogni 4-6 mesi. Sono in funzione, alcune da quasi 7 anni, le seguenti stazioni di monitoraggio descritte da monte verso valle (si veda anche la figura 1):

- Grotte di San Canziano (Slovenia), ove a 350 metri dall'ingresso si misurano conducibilità, temperatura e altezza delle acque (sensore 0-30 m)
- Abisso di Trebiciano (Italia), ove nel sifone di uscita della Caverna Lindner si misurano conducibilità, temperatura e altezza delle acque (due sensori, 0-10 m e 0-30 m);
- Grotta Lazzaro Jerko (Italia), ove nel lago della Caverna Medeot si misurano conducibilità, temperatura e altezza delle acque (due sensori, 0-10 m e 0-30 m);
- Grotta Lindner (Italia), ove nel ramo basso è situato un misuratore di altezza delle acque quando presenti per risalienza (sensore 0-10 m);
- sorgenti a mare di Aurisina (Italia), ove nel cunicolo artificiale di raccolta dell'acqua per il vecchio acquedotto di Trieste, immediatamente a monte di uno stramazzo, è sistemata una sonda con galleggiante per la misura dell'altezza dell'acqua (sensore 0-1 m);
- Pozzo dei Colombi (Italia), ove si misura l'altezza delle acque (un sensore 0-10 m);
- uno dei tre rami delle Risorgive del Timavo (Italia), ove si misurano conducibilità, temperatura e altezza delle acque (sensore 0-1 m);
- Lago di Pietrarossa (Italia), ove si misura l'altezza delle acque (sensore 0-1 m);
- Lago di Doberdò (Italia), ove, con un sensore piazzato sul fondo del lago si misura l'altezza delle acque (sensore 0-10 m).

Vengono inoltre recuperati e informatizzati, quando possibile, i dati di portata del fiume Isonzo a Gorizia, del fiume Timavo presso le risorgive, del fiume *Vipava* prima della confluenza con il fiume Isonzo, del fiume *Reka* a Gornje Vreme (Slovenia) ed i dati meteo climatici. Recentemente è stata attivata una stazione di livello alle Sorgenti di Bagnoli, facenti capo ad un bacino carsico limitrofo, quello dell'idrostruttura del Monte Carso, esteso quasi interamente in Slovenia.

STRUMENTAZIONE E POSA IN OPERA

Dal 1995 ad oggi sono stati utilizzati diversi tipi di strumentazioni, sia per adeguarle alle diverse condizioni di regime e logistiche presenti nei punti di monitoraggio, sia per l'evoluzione delle offerte del mercato, che solo negli ultimi anni ha visto un abbassamento dei costi e una produzione di strumenti affidabili, compatti e resistenti. Le diverse tipologie di punti con acqua del Carso (torrenti e sifoni ipogei, pozzi con acqua al fondo, laghi e sorgenti) hanno condizionato la scelta della strumentazione e la sua messa in posto, costringendo sempre a soluzioni appositamente studiate, spesso modificate sulla base delle esperienze.

Rinforzi particolari, utilizzo di strumenti a blocco unico indipendente e protezione delle sonde con tubi in PVC sono risultati necessari nelle Grotte di San Canziano, ove è impossibile installare strumenti dotati di sonda collegata con cavo al data-logger, visto il regime torrentizio e gli elevati valori di trasporto solido del corso d'acqua, le ampie escursioni, la difficoltà a raggiungere il greto. Accorgimenti particolari per ottenere precisione nella misura sono stati adottati alle Risorgive del Timavo e alle Sorgenti di Aurisina, ove le maree interferiscono su oscillazioni di livello modeste, con la messa in posto di strumenti con intervallo di misura 0-1 m a compensazione barometrica.

Problema di altro tipo è quello legato alle ampie oscillazioni di livello quali quelle che si verificano nell'abisso di Trebiciano, dove sono stati installati due strumenti, uno con range 0-30 m ed uno con range 0-90 m, visto che durante gli eventi più intensi i livelli si innalzano anche di 50-60 metri (massimi storici superiori a 100 m). Gli strumenti, immersi nel sifone di uscita, sono collegati ad una teleferica in acciaio che consente il recupero anche durante piene di alcuni metri.

Per il monitoraggio dei livelli sono stati inizialmente impiegati strumenti autocostruiti (CREVATIN ET ALII, 1997), costituiti da una sonda di livello, abbinata in alcuni casi anche ad una sonda di temperatura, inserita all'interno di un involucro di acciaio (un tubo lungo una ventina di centimetri) e posizionata alle estremità; la chiusura ermetica a protezione dei datalogger e delle batterie è garantita da due tappi filettati muniti di guarnizione.

Il misuratore di pressione idrostatica, non automaticamente compensato con la pressione atmosferica, è stato costruito per misure di precisione (ad es. risoluzione di 0,1 cm nel caso dello strumento 0-10 m) e per memorizzare, secondo un programma definibile dall'esterno, ben 16.092 misure. Nel nostro caso la lettura del livello viene impostata solitamente ad 1 ora, in alcuni casi a 30'.
Il misuratore di temperatura da noi costruito operava con notevole precisione in un intervallo da -10 °C a +40 °C ed era in grado di memorizzare 7.788 misure. Anch'esso aveva intervallo di lettura programmabile mediante software, indipendentemente dall'intervallo impostato per i livelli.
Gli strumenti, prima della messa in posto, vengono testati in laboratorio con un'apposita strumentazione capace di riprodurre le pressioni idrostatiche e con un termometro di precisione.
Per il monitoraggio della conducibilità sono stati utilizzati prodotti presenti sul mercato, spesso con accorgimenti di adattamento o lievi modifiche (ad es. inserimento in scatole stagne e aggiunta di batterie).
Nel complesso le esperienze trascorse hanno insegnato come il minimo errore di costruzione o montaggio può compromettere facilmente l'acquisizione dei dati, in particolare del parametro conducibilità, risultato di gran lunga il più difficile da monitorare, anche con i nuovi e più affidabili strumenti garantiti per qualsiasi condizione e completamente sigillati.

PRIMI RISULTATI

Una prima fase di studio è iniziata analizzando una cinquantina di eventi di piena verificatisi nell'arco degli anni 1995-2000 (in totale più di un centinaio). Per ogni singola piena e ogni sito monitorato sono stati estratti i tempi di inizio - picco - fine piena, nonché l'altezza raggiunta dalle acque e la velocità di crescita e di diminuzione della piena. Diagrammando i tempi di ritardo tra i diversi siti, sono state discriminate le tipologie di piena, legate a rapporti di ritardo costanti tra i diversi siti (fig. 2). E' stata così provata l'esistenza di almeno tre tipologie di piena alle risorgive, dipendenti dall'entità del contributo al sistema sorgentifero dei diversi dreni che lo alimentano.
Prove con traccianti avevano già messo in luce il collegamento delle Foci sia con le acque del Timavo superiore (*Reka*) e di Trebiciano (provenienti quindi da SE), sia con le acque del bacino Isonzo-Vipacco (provenienti quindi da N e NE).
L'analisi dell'andamento di temperatura e conducibilità durante le piene ha portato a risultati particolarmente significativi per il tratto S. Canziano -Trebiciano - Lazzaro Jerko ed ha messo in luce l'esistenza di un dreno diretto tra queste tre cavità. L'uso dei parametri come traccianti naturali ha inoltre permesso di calcolare la velocità di deflusso nel tratto Trebiciano - Lazzaro Jerko (vedi oltre).

INTERPRETAZIONE DEI DATI:ALCUNI ESEMPI

Gli apporti alle Foci del Timavo da SE

Partendo da un semplice confronto delle portate annuali per il tratto San Canziano - Foci del Timavo (fig. 3) risulta evidente come il regime dell'Alto Timavo regoli direttamente, specialmente in fase di piena, il regime alle Foci, tanto che l'ipotesi di connessione tra questi due punti è argomento riportato negli scritti storici di questi luoghi e scientificamente provato già nel 1908 (TIMEUS, 1912 e 1928). Nel grafico presentato le differenze di intervalli tra inizio e picco piena nei due siti (l'impulso di piena si trasferisce nell'arco massimo di 3 giorni, spesso nell'arco di 24 ore) indicano che in generale si tratta di un circuito sotterraneo veloce, in cui lo scorrimento avviene in pochi ed importanti dreni principali. Nel dettaglio invece non è possibile definire solo con dati di livello-portata l'organizzazione dei reticoli di drenaggio, i loro rapporti quantitativi e le velocità reali di trasferimento. La presenza di episodi di piena minori non correlati e la differenza notevole nelle portate medie (10 m^3/sec a San Canziano, 30 m^3/sec alle Foci) escludono la possibilità di un unico e diretto sistema drenante tra San Canziano e le Foci del Timavo.

Ad un esame completo degli episodi e coinvolgendo anche altri siti monitorati posti lungo la direttrice di deflusso (Abisso di Trebiciano e Grotta Lindner, figura 4), emerge la variabilità del sistema di alimentazione da SE, a testimonianza della presenza di diverse aree di drenaggio che si possono attivare e alternare.
L'entità delle piene all'Abisso di Trebiciano (12,5 km da San Canziano, 22,5 km dalle Foci del Timavo) è anch'essa relazionata alle portate massime di San Canziano, e svariate prove con traccianti hanno dimostrato negli anni il collegamento tra le acque delle due cavità e le Foci del Timavo (TIMEUS, 1912; MOSETTI, 1965; GEMITI, 1984).
I parametri chimico-fisici raccolti negli ultimi anni aiutano a meglio definire anche l'idrodinamica di questo tratto: i dati di portata e di livello confermano un circuito veloce, con innalzamento talvolta quasi contemporaneo, quindi con tratti anche in pressione. La conducibilità (figura 5, riferita ad un altro episodio) presenta nei due siti andamento simile e legato alla presenza di un dreno dominante, anche se l'onda di piena a Trebiciano è più ampia, diluita nel tempo e presenta lievi effetti pistone (con arrivo di acque di riserva) con più impulsi di piena nel tempo. In particolare la diminuzione della conducibilità a Trebiciano è contemporanea o addirittura in anticipo rispetto a quella misurabile a San Canziano: il che dovrebbe essere dovuto all'arrivo di acque di neoinfiltrazione non provenienti da San Canziano.
Il monitoraggio in continuo per il tratto San Canziano - Trebiciano mette in risalto un circuito a circolazione veloce e un collegamento, non unico e non diretto tra le acque e la presenza già nel tratto San Canziano - Trebiciano di modeste riserve e di diluizioni. La temperatura (fig. 6) risulta il parametro forse meno utile, anche se è interessante notare la progressiva omogeneizzazione dei valori partendo da San Canziano (presenza di una oscillazione diurna-notturna), a Trebiciano (presenza di una oscillazione stagionale) fino alle Foci del Timavo (debole oscillazione stagionale), a testimonianza di una miscelazione con acque di riserva lungo la direttrice di deflusso che va a sommarsi al normale effetto di mitigazione lungo il percorso sotterraneo delle acque.
Comportamento "anomalo" ha invece la Grotta Lindner, interposta tra l'Abisso di Trebiciano e le Foci del Timavo (fig. 1), il cui fondo, posto a circa 2 m s.l.m., presenta sporadici episodi di allagamento temporaneo il cui monitoraggio ha portato a distinguere un sito non interessato da drenaggio diretto di acque. L'analisi di una quindicina di episodi di piena monitorati dal 1999 al 2002 ha confermato che la presenza d'acqua al fondo della grotta Lindner è strettamente connessa alle fasi di piena delle Foci del Timavo (superamento alle Foci del livello di 2.0 m s.l.m.; GEMITI ET ALII, 1977) ed è quindi legata al circuito sotterraneo delle acque che sgorgano alle Foci, o a parte di esse. La particolarità sta nel ritardo con cui si presenta la comparsa d'acqua al fondo della grotta Lindner rispetto a molti dei siti monitorati (tra cui anche l'Abisso di Trebiciano). Queste osservazioni unite all'andamento regolare delle curve dei livelli (estremamente costanti sia negli innalzamenti che negli abbassamenti, figura 4) e alla mancanza di relazione con le precipitazioni locali, portano a concludere che la cavità è interessata da un circuito sotterraneo legato indirettamente alle acque di fondo del sistema Timavo, con presenza d'acqua per travaso conseguentemente all'innalzamento generale dei livelli e probabile tamponamento dei deflussi provenienti da SE, con una sorta di "arretramento" della piena dalle Foci del Timavo verso la cavità.
Se alla Grotta Lindner la sola correlazione dei livelli è risultata sufficiente a realizzare una interpretazione idrodinamica, in casi più complessi non si può prescindere da un monitoraggio più ampio. In figura 7 viene riportato il confronto tra conducibilità alle Foci del Timavo e nelle Grotte di San Canziano alla fine del 2002. A titolo qualitativo viene illustrato come le Foci, pur intimamente legate ai livelli di piena del Timavo Superiore, presentano arrivi d'acqua differenziati ed andamenti variabili da piena a piena. Le acque di piena possono infatti essere costituite sia dall'uscita di acque di riserva (inizio ottobre), che da un notevole apporto di acque di neoinfiltrazione (fine ottobre), fino ad un comportamento misto con l'arrivo di diversi impulsi di piena (novembre). Nei casi più complessi il monitoraggio della conducibilità risulta quindi molto importante.

Il tratto Trebiciano-Lazzaro Jerko

L'Abisso di Trebiciano e la Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko sono state oggetto di uno studio dettagliato (CUCCHI ET ALII, 2001), qui di seguito sintetizzato ed aggiornato con nuovi dati. Le due cavità profonde più di 300 metri (fig. 1) risultano finestre ottimali per lo studio dell'idrologia ipogea del Timavo e consistono in una serie di pozzi di limitate dimensioni che danno adito a vaste ed estese gallerie orizzontali in cui scorre l'acqua. Non solo le gallerie ma anche decine di metri di tratti verticali sono scavati in rocce dolomitiche, notoriamente poco solubili rispetto a quelle francamente calcaree.
I monitoraggi eseguiti nel periodo 2000-2001 indicano che nelle due cavità l'inizio delle piene è simultaneo e che le variazioni nel tempo di temperatura e conducibilità hanno andamento pressoché identico ma con uno sfasamento variabile da episodio a episodio, comunque contenuto in poche ore (figg. 8 e 9).
L'interpretazione dei dati raccolti ha permesso di presupporre (in previsione di una esperienza di tracciamento) un collegamento al medesimo circuito idraulico, con la particolarità che gli innalzamenti istantanei e contemporanei fanno corrispondere questi 2 ambienti ipogei ad una sorta di "torri piezometriche" collegate alle acque di base, con circolazione a pressione. Il sistema drenante risponde immediatamente alle precipitazioni esterne, è soggetto ad una circolazione veloce e ad un rinnovo consistente delle acque nella fase di piena, anche se è sicura la presenza di acque di riserva a probabile circolazione più profonda che vengono mobilizzate dagli impulsi di piena più forti.
Il confronto fra temperatura e conducibilità porta a due importanti considerazioni. In primo luogo risulta che la variazione dei livelli non è accompagnata nella fase iniziale da effettivo arrivo di acque di neoinfiltrazione, in quanto non si ha nessuna variazione di temperatura e conducibilità: ciò va a conferma dell'ipotesi di una trasmissione dell'onda di piena per pressione. In secondo luogo l'analisi dei tempi di sfasamento delle curve permette di definire il tempo ipotetico di percorrenza in fase di piena dei 3250 m in linea d'aria che separano le 2 cavità: il tempo varia dalle 4 alle 20 ore (media 8 ore, quindi 400 m/h). Per inciso test con traccianti nel tratto Trebiciano - Foci del Timavo (GEMITI, 1982) danno ordini di grandezza per le velocità apparenti di 50-100 m/h in magra e di 500-600 m/h in fase di piena.
I nuovi dati confermano inoltre lievi differenze nelle curve di esaurimento (a Trebiciano la fase di esaurimento veloce cessa prima) che potrebbero indicare che il collegamento tra le due cavità non è unico e diretto, ma che il tratto in questione ha ulteriori, seppur limitate, vie di drenaggio.

Gli apporti alle Foci del Timavo da N

Gli apporti provenienti da settentrione (in generale Carso goriziano e sloveno) hanno influenza meno diretta sulle variazioni di portata alle Foci ed il loro contributo sembra essere più importante nel mantenimento dei deflussi in fase di magra (GEMITI & LICCIARDELLO, 1977; FLORA ET ALII, 1991; DOCTOR ET ALII, 2000). Il monitoraggio dell'area settentrionale della zona sorgentifera è stato avviato in tempi più recenti ed interessa per ora la parte più meridionale del Carso di Monfalcone e Gorizia, ma i dati raccolti evidenziano che da un punto di vista idrodinamico gli innalzamenti nei punti monitorati sono omogenei, contenuti ed abbastanza contemporanei, testimoniando la presenza di una falda di base piuttosto continua e poco differenziata, con deflussi più lenti e legati probabilmente ad un reticolo di dreni interconnessi abbastanza fitto. Com'era da aspettarsi, dato che si tratta di un lago alimentato da più sorgenti, il confronto delle curve di piena al Lago di Doberdò e alle Foci del Timavo (fig. 10) presenta andamenti generali nettamente diversi da quelli rilevabili nelle grotte di Trebiciano e San Canziano: le curve di piena risultano meno accentuate e con esaurimenti più lunghi e sono sempre accompagnate da aumento di conducibilità, il che indica presenza di riserve e assenza di acque di neoinfiltrazione a circuito veloce. L'inizio delle piene è spesso posticipato rispetto alle Foci, le variazioni di temperatura nelle fasi di piena sono molto poco accentuate. Nel complesso quindi il comportamento è da correlare ad una tipologia di drenaggio diversa da quella presente nel Carso di Trieste.
Il Lago di Doberdò è stato anche oggetto di uno studio più dettagliato (CUCCHI ET ALII, 2000) per evidenziare l'eventuale influsso delle maree sugli innalzamenti periodici. La quota media della superficie dell'acqua risulta essere attorno ai 3,6 m s.l.m.

Le massime oscillazioni di livello sono risultate superiori a 6 m. Dall'analisi dei dati non si sono riscontrate particolari variazioni di livello attribuibili alle escursioni di marea la cui influenza sul livello del lago è nulla. Le acque quindi risulterebbero avere un regime diverso da quello riconosciuto da NICOLETTIS (1981) nel Lago di Doberdò e da KRIVIC (1982) nella vicina area del Vallone di Brestovica (SLO), ove, nei pozzi scavati per l'approvvigionamento idrico in occasione di particolari regimi di marea si notano escursioni della falda ipogea variabili da 2 cm a 10 cm, con sfasamento minimo rispetto alle variazioni di livello del mare nel Golfo di Trieste.

CONCLUSIONI

Dagli esempi riportati risulta chiaro come le principali vie di drenaggio e le modalità di circolazione, che fra l'altro per la vastità e la maturità carsica dell'area di infiltrazione possono attivarsi in tempi e con intensità di volta in volta variabili, sono intimamente legate alla variabilità dei parametri chimico-fisici. Notevoli difficoltà interpretative nel caso del monitoraggio di sorgenti come quelle delle Foci del Timavo sono date dalla sovrapposizione di più impulsi di piena, riferiti ad aree di ricarica diverse con tempi di drenaggio diversi. Ne emerge che la definizione dell'idrodinamica di un sistema non può prescindere da un monitoraggio contemporaneo in continuo ed in più punti dei parametri chimico-fisici. Uniti a dati geologici, geomorfologici e speleologici, ad analisi chimiche delle acque e a test con traccianti, costituiscono un insieme di dati sufficientemente completo per modellare il funzionamento di un acquifero, definire le sue potenzialità o vulnerabilità.

Nel Carso Classico (fig.1) la ricerca dell'acqua sotterranea ha costituito in passato un reale problema di approvvigionamento idrico e solo in seguito è divenuta un'affascinante ricerca sia scientifica che speleologica del corso sotterraneo del Fiume Timavo (GALLI, 1999), portando costantemente gli abitanti di queste zone a stretto contatto con l'ambiente carsico e le problematiche che lo circondano. Per questo motivo le ricerche attuali rappresentano un'importante appendice alla tradizione di studi sull'idrologia carsica di quest'area e gli scenari dedotti dai dati più recenti hanno in alcuni casi una doppia valenza: normalmente fungono da elementi di miglior taratura delle interpretazioni di situazioni conosciute già nel dettaglio, in altri casi, a ulteriore testimonianza di quanto sia importante nel carsismo ipogeo il monitoraggio "in continuo", portano a rivedere alcune delle ipotesi formulate durante la centenaria storia di studi idrogeologici sul Carso di Trieste.

Come già detto in altra sede (CUCCHI & ZINI, 2002), i dati idrogeologici sul Carso Classico ed in particolare sul Carso di Trieste che stanno venendo alla luce, portano quindi (specie se in sinergia con quelli geologici e geomorfologici) a dover rivisitare alcune "certezze" storicamente proposte: in profondità è quasi solamente il sistema di discontinuità, con le sue famiglie di piani a diversa conducibilità idraulica, a guidare l'impostazione della rete di deflusso, condizionata dalla geometria spaziale delle discontinuità, dalla loro locale conducibilità idraulica sotto pressione, dall'effetto attrazione del sistema sorgentifero, dalla miriade di punti di assorbimento a diversa portata. Si è sviluppato, nell'arco di alcune decine di milioni di anni all'interno della piattaforma del Carso un reticolo carsico ben gerarchizzato, diffuso tanto arealmente quanto in verticale, oggi in grado di far defluire in tempi rapidi le acque di infiltrazione. Tanto la zona vadosa quanto quella satura sono potenti e vaste, la zona di oscillazione ha estensione e potenza variabile da posto a posto in funzione della situazione geologica e della carsificazione locali. Le direzioni di deflusso sono guidate dalla geometria e dalla permeabilità del reticolo ipogeo, secondo linee equipotenziali disposte in funzione del carico idrodinamico, cioè dei punti di ingresso e di uscita delle acque dal sistema.

BIBLIOGRAFIA

- CREVATIN G., CUCCHI F., MARINETTI E, ZUPIN C. (1997): *Strumentazione per il monitoraggio in continuo di acque carsiche.* Mondo sotterraneo, anno XXI (1-2), 13-24.
- CUCCHI F., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N. (1989): *The carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy).* Mem. Soc. Geol. Ital., Vol. XL (1987), 35-44.
- CUCCHI F., FURLANI S., MARINETTI E. (2000): *Monitoraggio in continuo del livello del lago di Doberdò.* Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXVII (1999), 143-153.
- CUCCHI F., CASAGRANDE G., MANCA P., ZINI L. (2001): *Il Timavo ipogeo tra l'Abisso di Trebiciano e la Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko (Carso Classico triestino, Italia).* Le Grotte d'Italia, s.V, 39-48.
- CUCCHI F. & ZINI L. (2002): *Considerations on the speleogenesis in the Trieste Classical Karst.* Mem. Soc. Geol. It., 57, 481-486.
- DOCTOR D.H., LOJEN S., HORVAT M. (2000): *A stable isotope investigation of the Classical Karst aquifer: evaluating karst grounwater components for water quality preservation.* Acta Carsologica, 29(1), 79-92.
- FLORA O., GALLI G., LONGINELLI A., NEGRINI L. (1991): *Studio geochimico-isotopico di alcune sorgenti carsiche: un nuovo modello idrologico.* Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", vol. XXIX, 19-36.
- GALLI M. (1999): *Timavo - Esplorazioni e studi.* Supplemento n. 23 di Atti e Mem. della Comm. Grotte "E. Boegan", 195 pp.
- GEMITI F., MILANI G. (1977): *Correlazioni tra i livelli d'acqua della grotta A. F. Lindner ed il fiume Timavo.* Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre, 6, 23-30.
- GEMITI F., LICCIARDELLO M. (1977): *Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso triestino e Goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali.* Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre, 6, 43-61.
- GEMITI F. (1984): *Nuova ed originale prova di marcatura delle acque del Timavo.* Annali del Gruppo Grotte dell'Associazione Trenta Ottobre, 7, 43-62.
- FAZIO G., GEMITI F. (1973): *L'utilizzazione di alcuni traccianti naturali nello studio dell'idrologia ipogea del Carso triestino, in relazione al corso sotterraneo del Timavo.* Atti 1° Convegno Spel. Friuli-Venezia Giulia, 83-92.
- FORD D. & WILLIAMS P. (1989): *Karst geomorphology and hydrology.* Unwin Hyman Ltd Ed., 601 pp., Cambridge.
- KRIVIC P. (1982): *Transmission des ondes de marée à travers l'aquifère cotier de Kras.* Geologija, 25(1), 309-325.
- MELIS R., COLIZZA E., PUGLIESE N. (2000): *Eventi cenomaniani e turoniani nell'Abisso di Trebiciano (Carso triestino).* Accad. Naz. Sci. Lett. Arti di Modena, Collana di Studi, 21 (2000), 169-176.
- MOSETTI F. (1965): *Nuova interpretazione di un esperimento di marcatura radioattiva del Timavo.* Boll. Geof. Teor. ed Appl., Vol. VII (27), 218-243.
- MOSETTI F., POMODORO P. (1967): *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema del Timavo.* L'Acqua, XLV, n.4, 97-103.
- NICOLETTIS P. (1983): *Il regime idrico del Lago di Doberdò e della falda carsica del monfalconese.* Atti del 4° Convegno di Speleologia del Friuli Venezia-Giulia, 249-256.
- TIMEUS G. (1912): *Il litio e la radioattività quali mezzi d'indagine nell'idrologia sotterranea - L'origine del fiume Timavo.* Atti della Soc. Italiana per il progresso delle scienze, 5, 751-771.
- TIMEUS G. (1928): *Nei misteri del mondo sotterraneo. Risultati delle ricerche idrologiche sul fiume Timavo 1895-1914, 1918-1927.* Alpi Giulie, Vol. XXIV (1), 1-39.
- ULCIGRAI F. (1977): *La successione stratigrafica dell'Abisso di Trebiciano.* Atti e Mem. Comm. Grotte "E. Boegan", vol. XVI, 21-44.

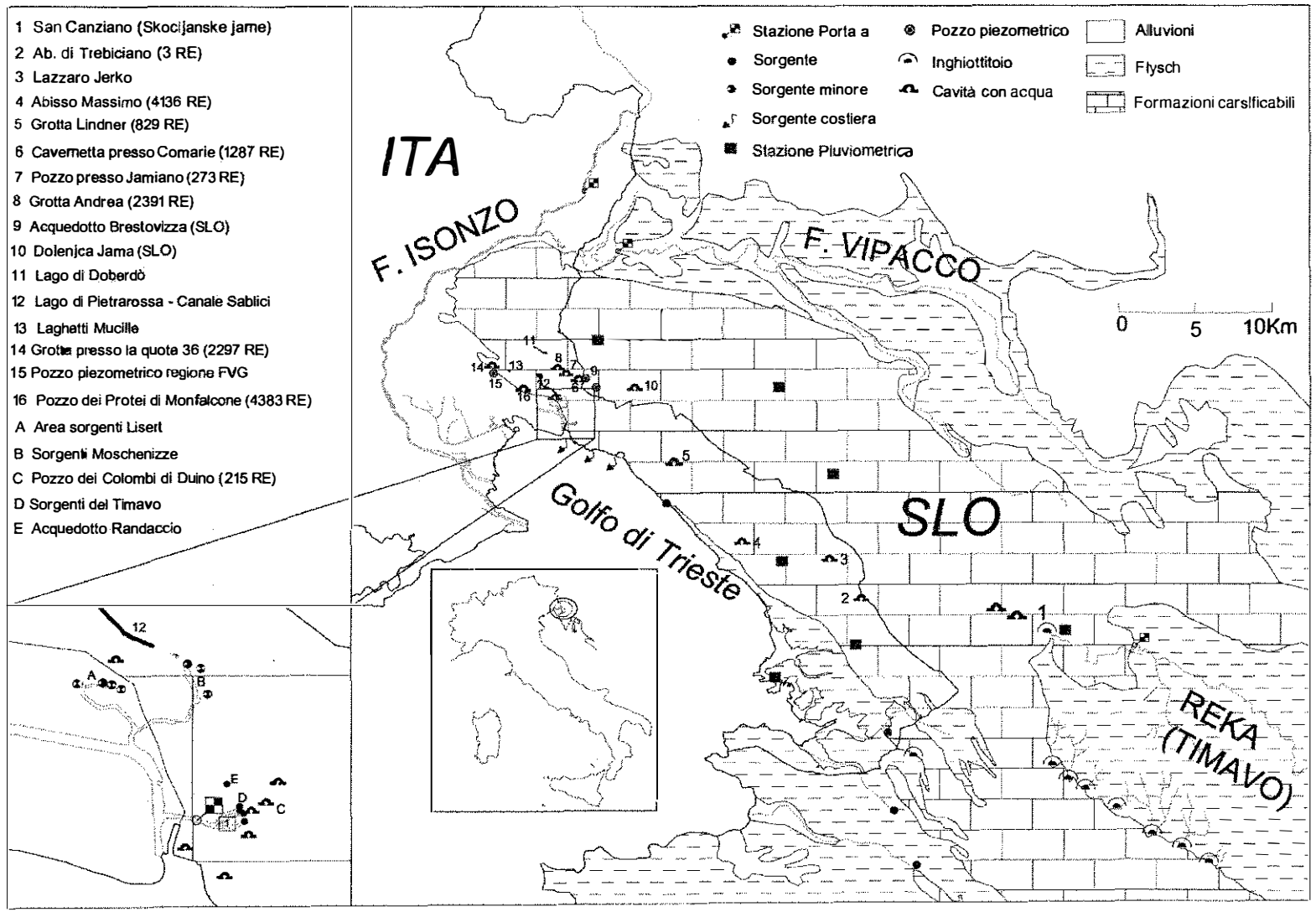


Fig. 1 - Inquadramento generale dell'area del Carso Classico e punti utili all'osservazione delle acque sotterranee (cavità carsiche, sorgenti, laghi carsici e pozzi attrezzati a piezometro). Il Carso triestino è inteso come l'area della provincia di Trieste (area sud-occidentale), quello goriziano come l'area della provincia di Gorizia (area settentrionale), quello sloveno come l'area più interna, delimitata dalla formazione del Flysch e dal fiume Vipacco.

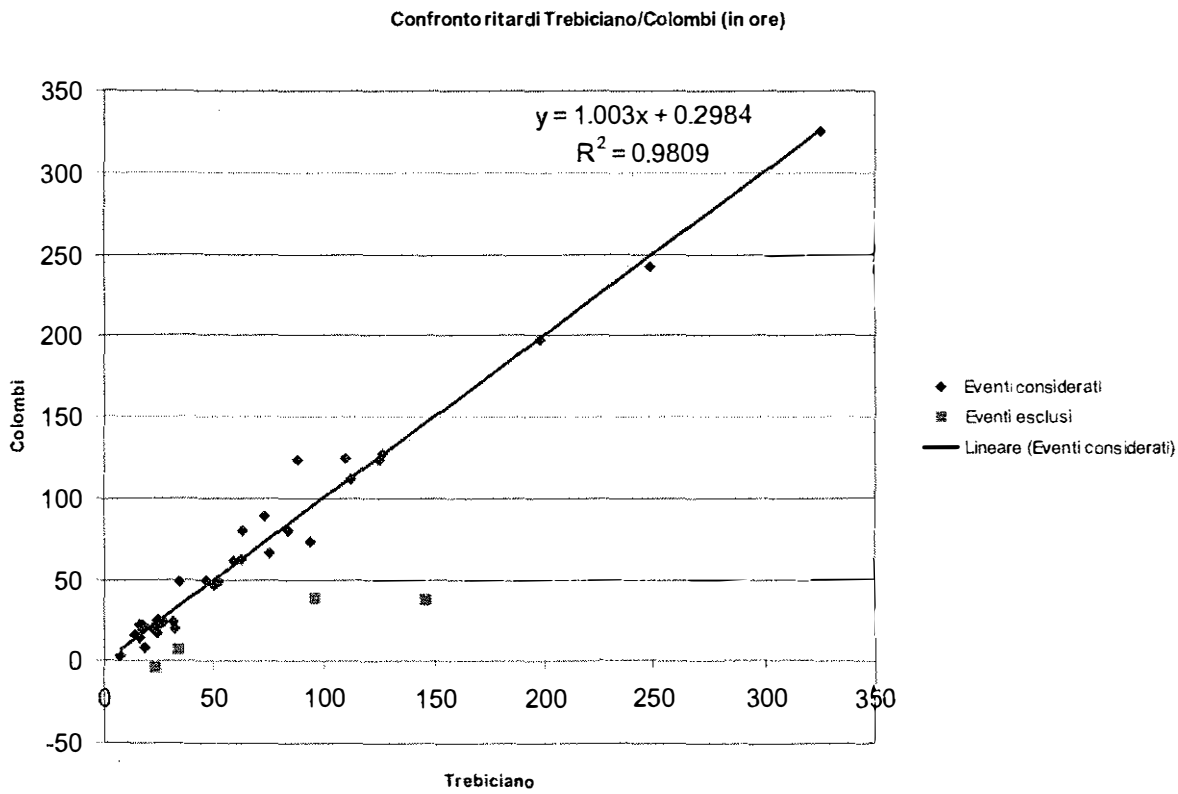


Fig. 2 - Esempio di uno dei diagrammi ottenuti sulla base dell'estrazione dei tempi di inizio-picco-fine piena dei siti monitorati. Qui viene riportato il confronto tra l'Abisso di Trebiciano e il Pozzo dei Colombi (Carso triestino) degli episodi disponibili dal 1995 al 2000. Sono diagrammati in ore i tempi di inizio piena nei due siti (il tempo t0 è l'inizio delle precipitazioni meteoriche). La correlazione è molto buona se vengono esclusi 4 eventi, 2 dei quali rivelatisi in una successiva analisi maggiormente legati ad impulsi di piena provenienti dall'Isonzo-Vipacco. Gli eventi correlati invece appartengono ad episodi di piena con cospicuo contributo proveniente dall'alto Timavo. In questo caso si evidenzia quindi la presenza di due tipologie di piene, dipendenti dal contributo di aree di alimentazione separate. La pendenza della retta (di poco superiore ad 1) indica che il pozzo dei Colombi negli eventi correlati è mediamente in leggero ritardo rispetto a Trebiciano, con risposta all'arrivo della piena nei due siti spesso quasi contemporanea.

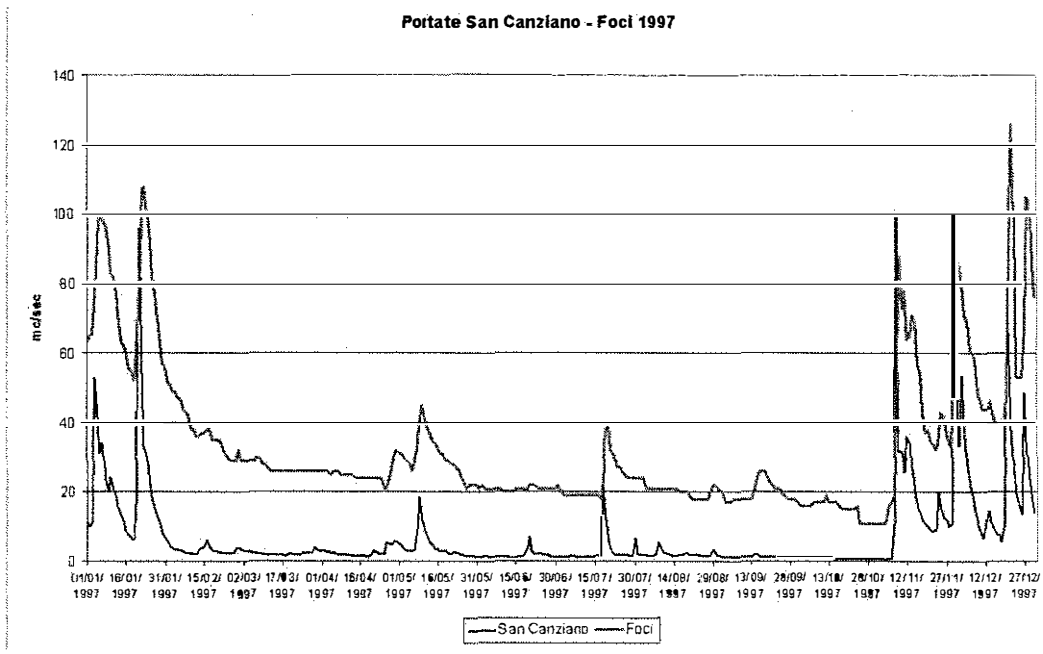


Fig. 3 - Portate del fiume Reka (Timavo Superiore) e alle Foci del Timavo per l'anno 1997. Le portate dell'Alto Timavo regolano, specialmente nelle fasi di piena, quelle delle Foci del Timavo. Da notare la differenza di portata nelle fasi di magra e la presenza di episodi minori di piena alle Foci senza contributi da San Canziano (settembre 1997) o di piene dell'Alto Timavo che trovano Isolo ieve corrispondenza alle Foci del Timavo (giugno 1997).

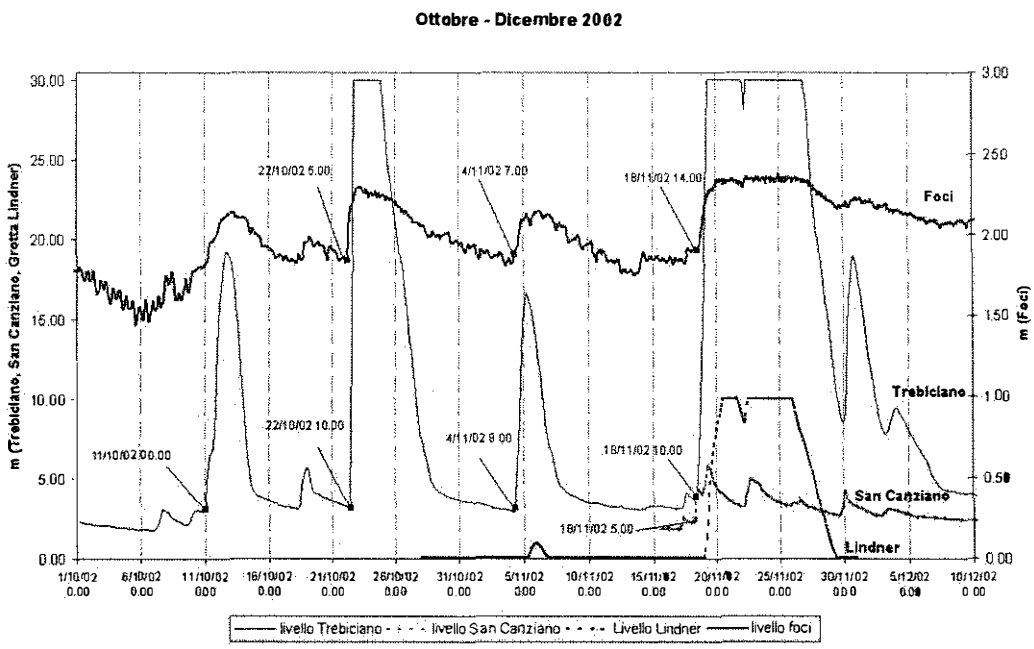


Fig. 4 - Confronto dei livelli disponibili nell'Abisso di Trebiciano, alle Foci del Timavo, alle Grotte di San Canziano e nella grotta Lindner per il periodo ottobre-dicembre 2002. Si nota bene la reciproca dipendenza degli innalzamenti, ed il ristretto intervallo dell'inizio delle piene (pur con rapporti consequenziali variabili da episodio a episodio). Fa eccezione la grotta Lindner, ultimo sito a presentare innalzamenti, anche con notevoli ritardi, pur se interposta tra l'Abisso di Trebiciano e le Foci del Timavo. Le curve di livello a Trebiciano e nella grotta Lindner in alcuni casi hanno superato il range dello strumento (30m e 10m).

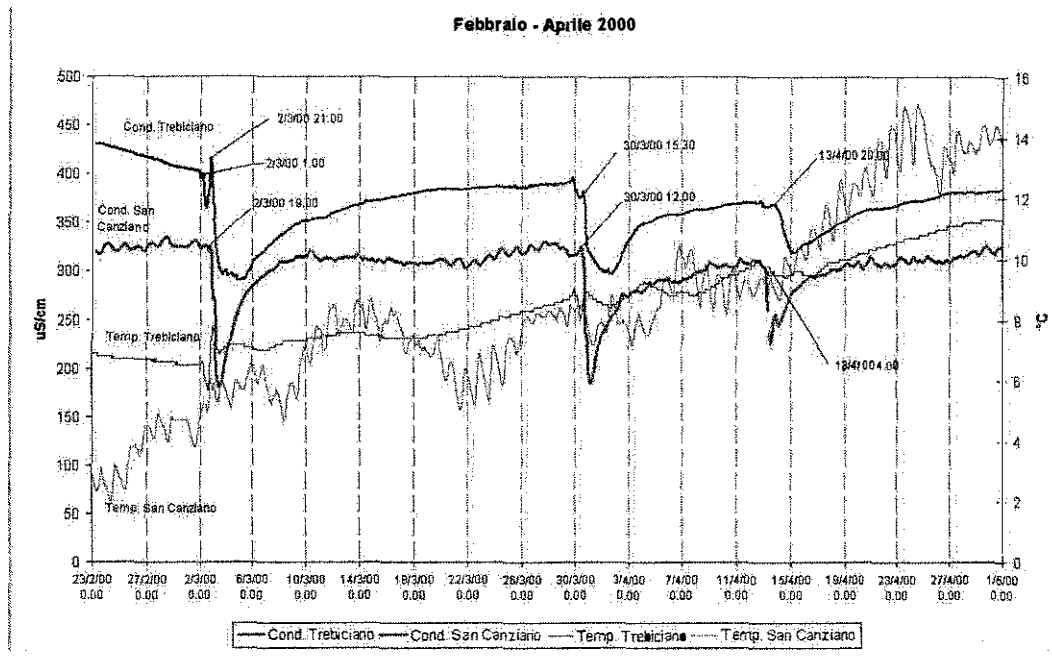


Fig. 5 - Particolare dell'andamento delle piene del periodo febbraio-aprile 2000 a San Canziano (Alto Timavo) e nell'Abisso di Trebiciano, evidenziato con le variazioni di temperatura e conducibilità. Il trend della conducibilità nei due siti è simile e testimonia un drenaggio abbastanza diretto e veloce, con notevole apporto di acque di neoinfiltrazione. A Trebiciano si evidenziano deboli effetti di pistonaggio nella fase iniziale delle piene ed arrivi differenziati (risalite della conducibilità). Solo nel caso della piena di inizio aprile i tempi di shift delle curve potrebbero indicare, basandosi sui dati dei tracciamenti effettuati, l'effettivo arrivo di acque di piena da San Canziano. La temperatura subisce variazioni talora meno evidenti e non sempre in fase con quelle della conducibilità. In generale testimonia anch'essa bene l'arrivo di acque di piena ma i fenomeni di probabile miscelazione con acque di riserva e la presenza di acque di provenienza diversa, fra l'altro con importanti variazioni stagionali (San Canziano) ed effetti di mitigazione non quantificabili, ne rendono difficile l'interpretazione.

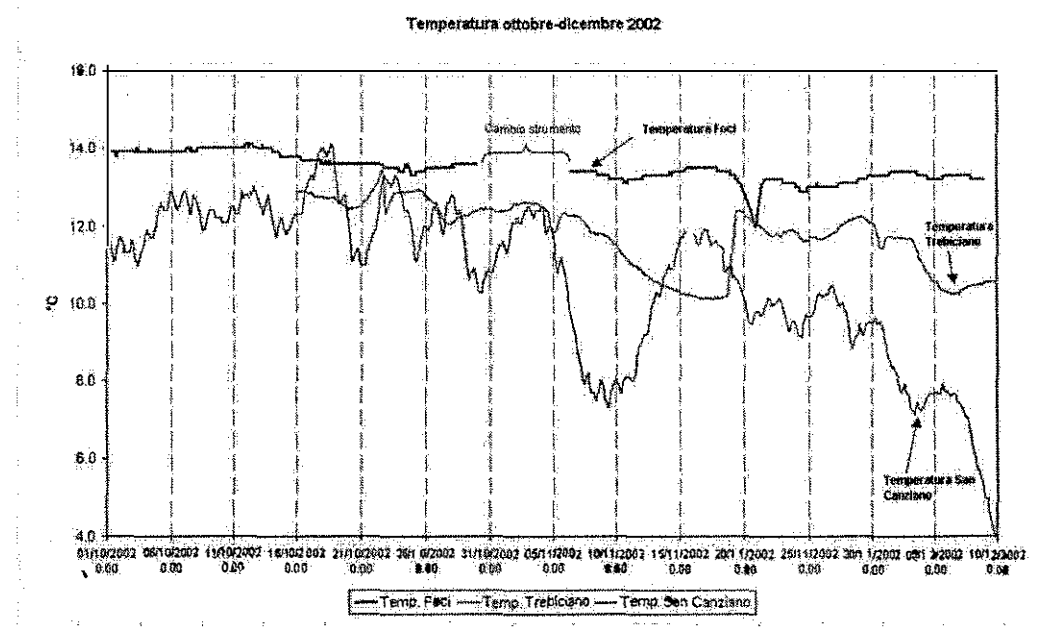


Fig. 6 - Andamento della temperatura per il periodo ottobre-dicembre 2002 a San Canziano, Abisso di Trebiciano e alle Foci del Timavo. Si noti il progressivo effetto di annullamento delle oscillazioni della temperatura seguendo l'ipotetico percorso delle acque ipogee, con annullamento a Trebiciano delle oscillazioni diurne-notturne e variazione stagionale alle Foci debolmente percettibile.

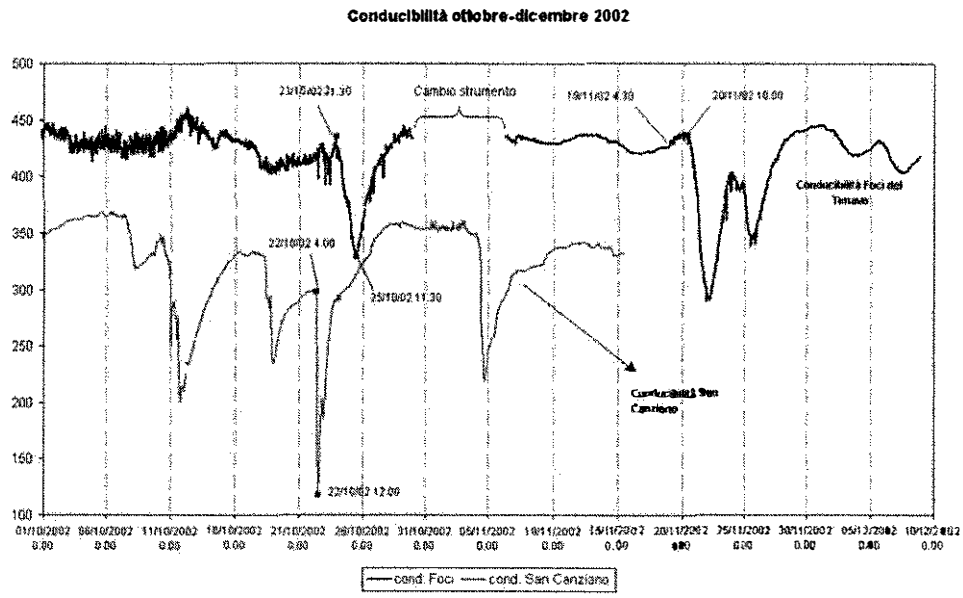


Fig. 7 - Andamento della conducibilità per il periodo ottobre-dicembre 2002 a San Canziano e alle Foci del Timavo. Da notare la variabilità della curva nei tre episodi alle Foci del Timavo, con notevole effetto pistone nell'episodio di inizio ottobre, andamento simile a San Canziano in quello di fine ottobre ed andamento misto nell'episodio di novembre. Lo shift delle curve della conducibilità, per gli episodi con andamento simile, è molto più marcato rispetto allo shift delle curve dei livelli (figura 4) e si avvicina agli ordini di grandezza dei tempi effettivi di percorrenza delle acque di piena.

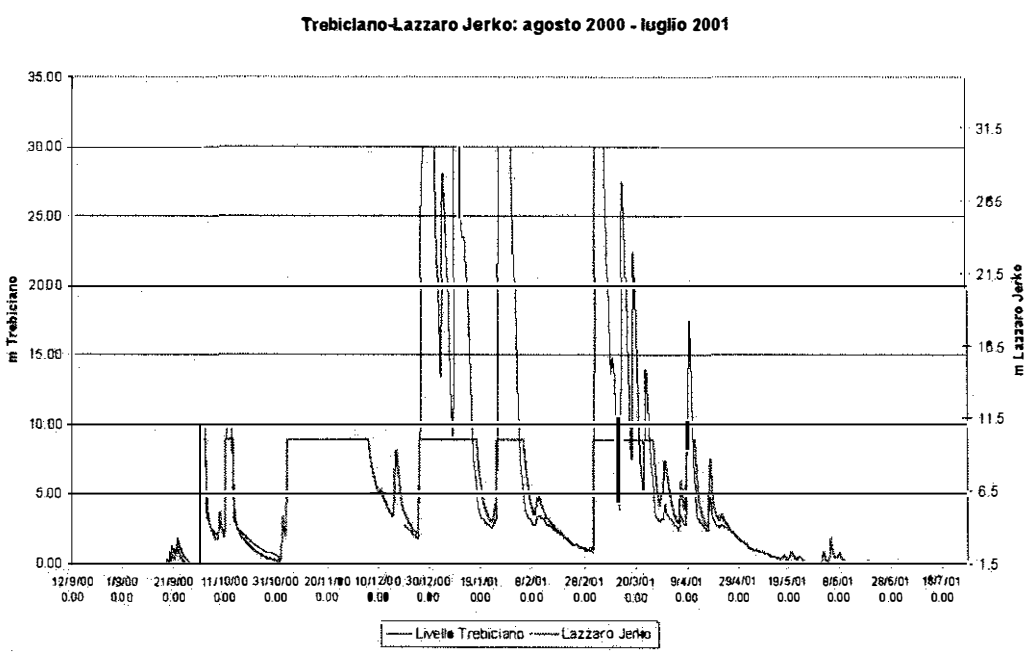


Fig. 8 - Andamento dei livelli nell'Abisso di Trebiciano e nella Grotta di Lazzaro Jerko nel periodo settembre 2000-maggio 2001. Si noti la contemporaneità degli eventi e la sovrapposizione delle 2 curve. Lievi differenze sono presenti nelle fasi di esaurimento. Nella Lazzaro Jerko il range di misura dello strumento (0-10 m) è stato spesso superato.

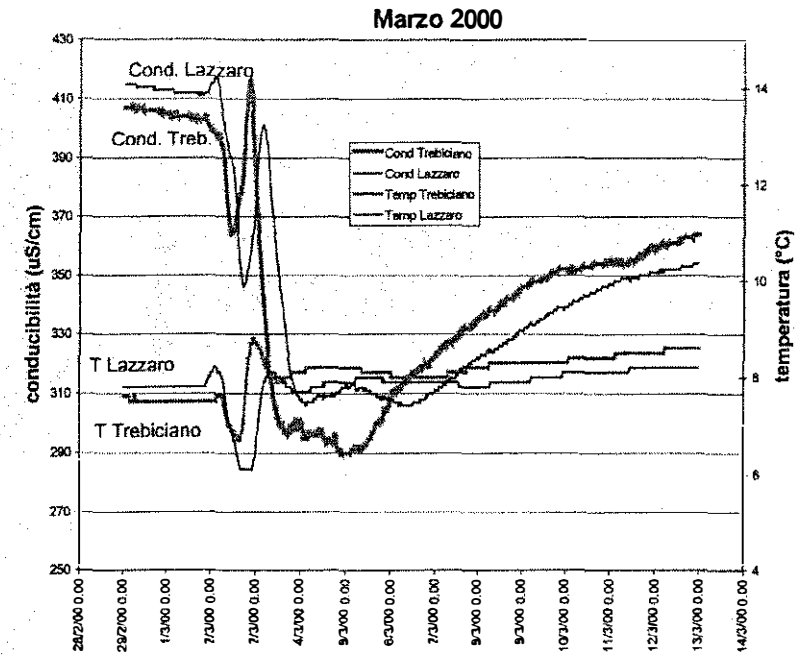


Fig. 9 - Andamento di temperatura e conducibilità nell'Abisso di Trebiciano e nella Grotta di Lazzaro Jerko nel marzo 2000. Le variazioni molto simili testimoniano il collegamento idrico delle due cavità. Lo shift delle curve, confermato anche dall'analisi di altri episodi, è utile in questo caso a calcolare la velocità apparente delle acque di piena tra le due cavità.

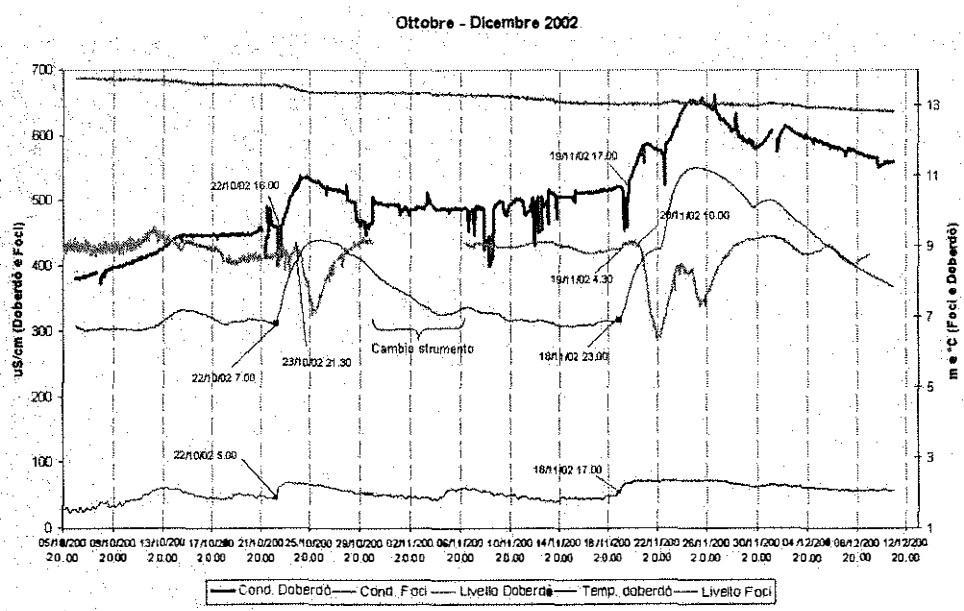
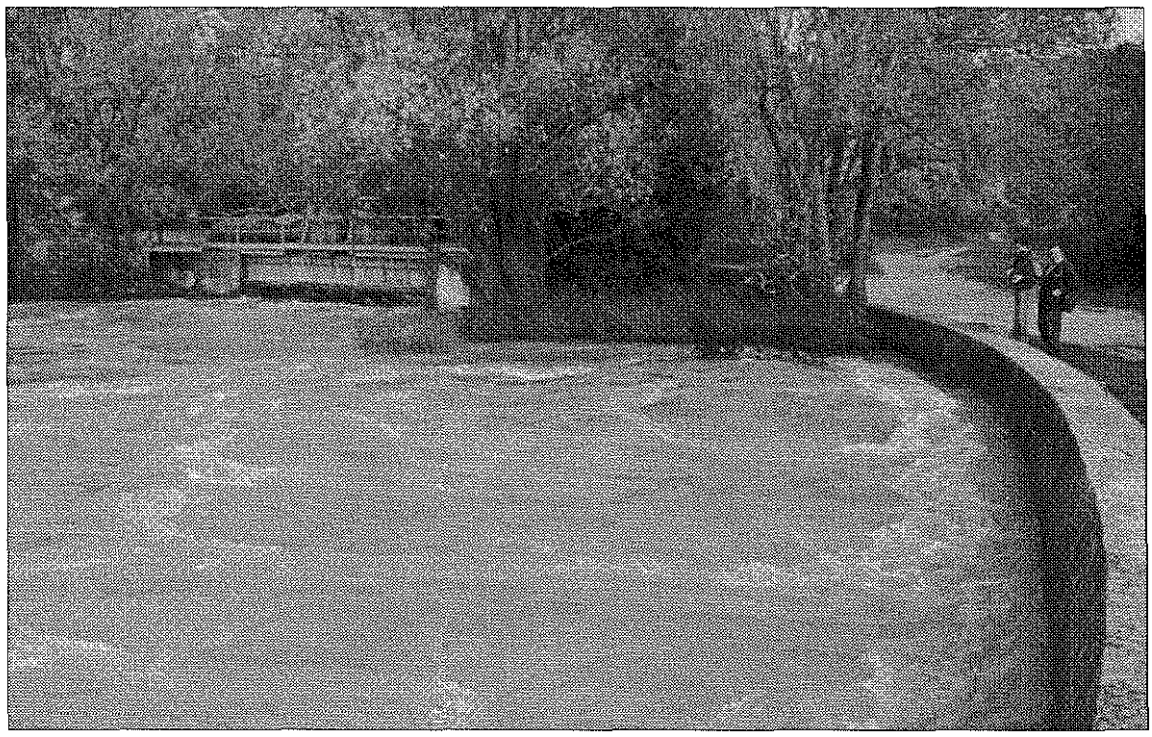
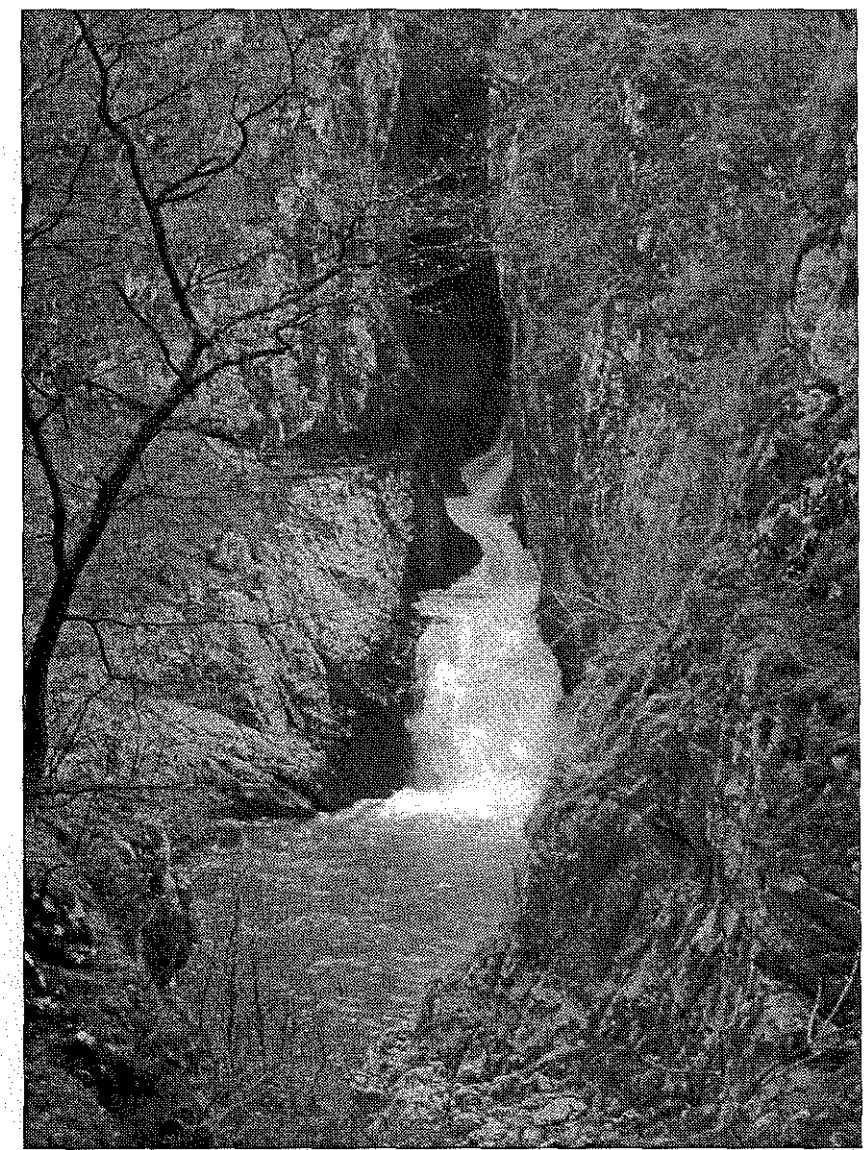


Fig. 10 - Andamento di temperatura, conducibilità e livelli al lago di Doberdò ed andamento di livelli e conducibilità alle Foci del Timavo per il periodo ottobre-dicembre 2002. Al lago di Doberdò l'innalzamento dei livelli è accompagnato da aumento di conducibilità (valori non assoluti) ed esaurimento che perdura nel tempo, a testimonianza della mobilizzazione di acque di riserva, velocità di deflusso più lente e drenaggio più diffuso. L'inizio delle piene a Doberdò è in lieve ritardo rispetto alle Foci a testimonianza che nella fase iniziale delle piene delle Foci non contribuiscono le acque di quest'area.



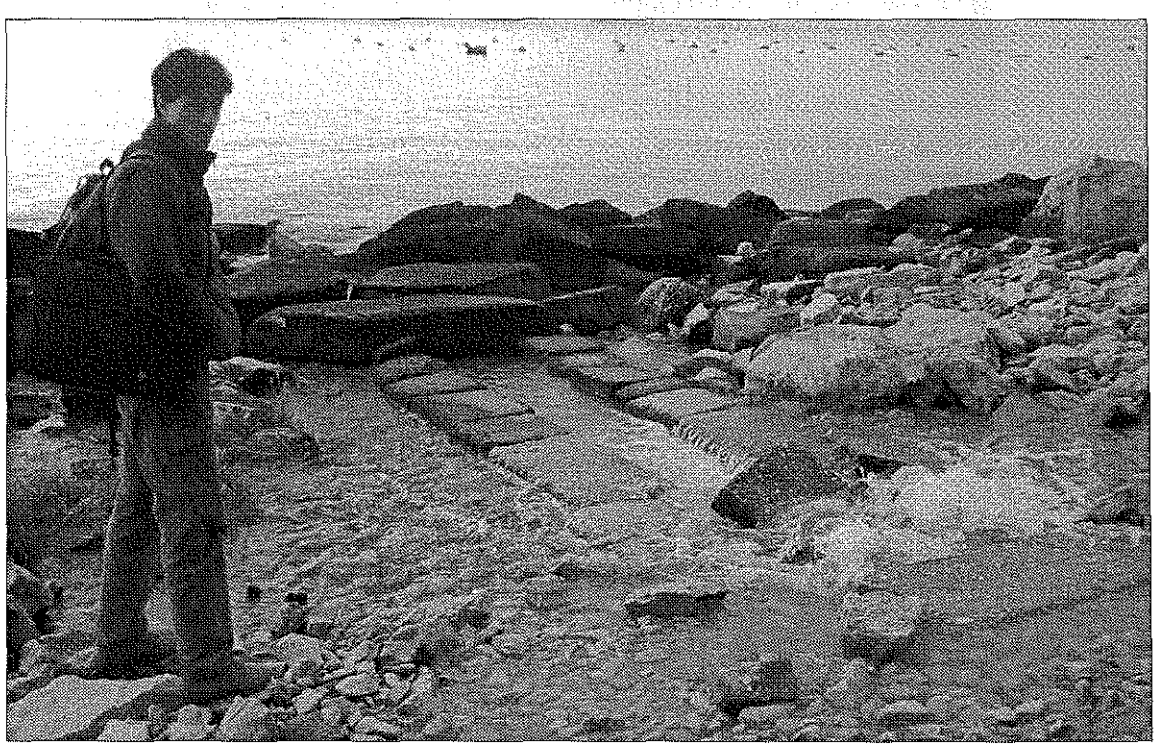
▲ Foto 1
Il terzo ramo delle Foci del Timavo in fase di piena.

▲ Foto 2
Installazione della stazione di monitoraggio nella forra del Timavo Superiore (Reka) nelle Grotte di San Canziano.

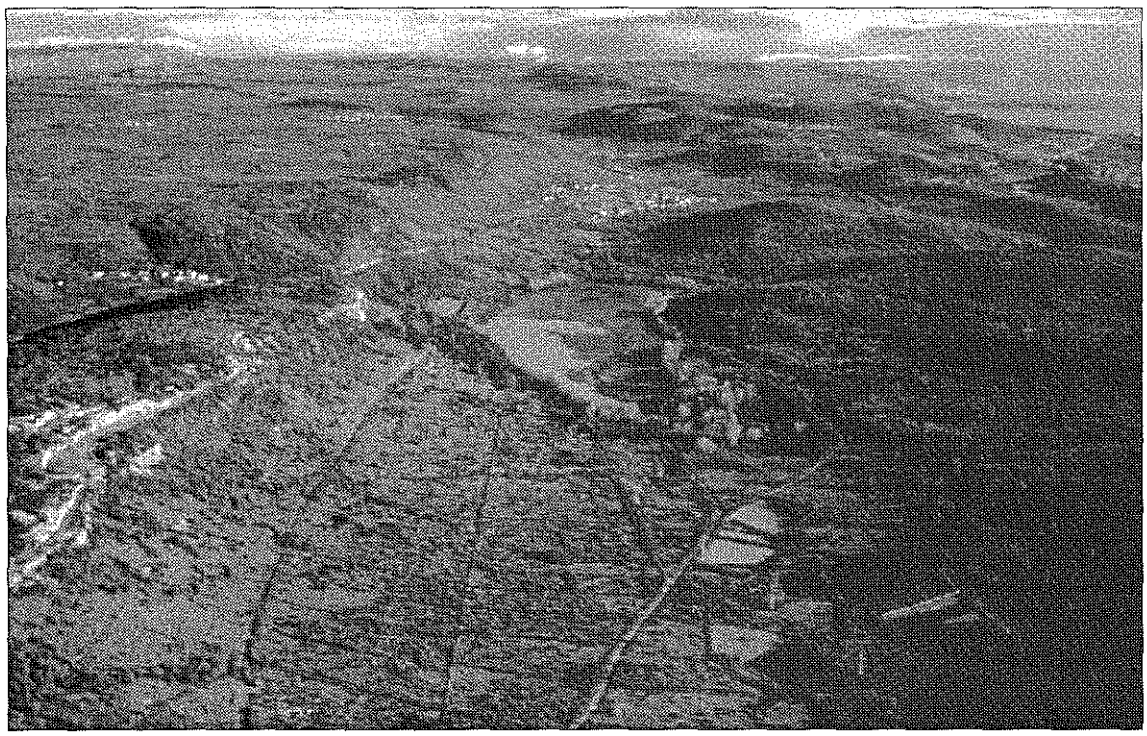


▲ Foto 3
Il Timavo Superiore ricompare nella Veliki Dol per poi inabissarsi definitivamente nelle Grotte di San Canziano.

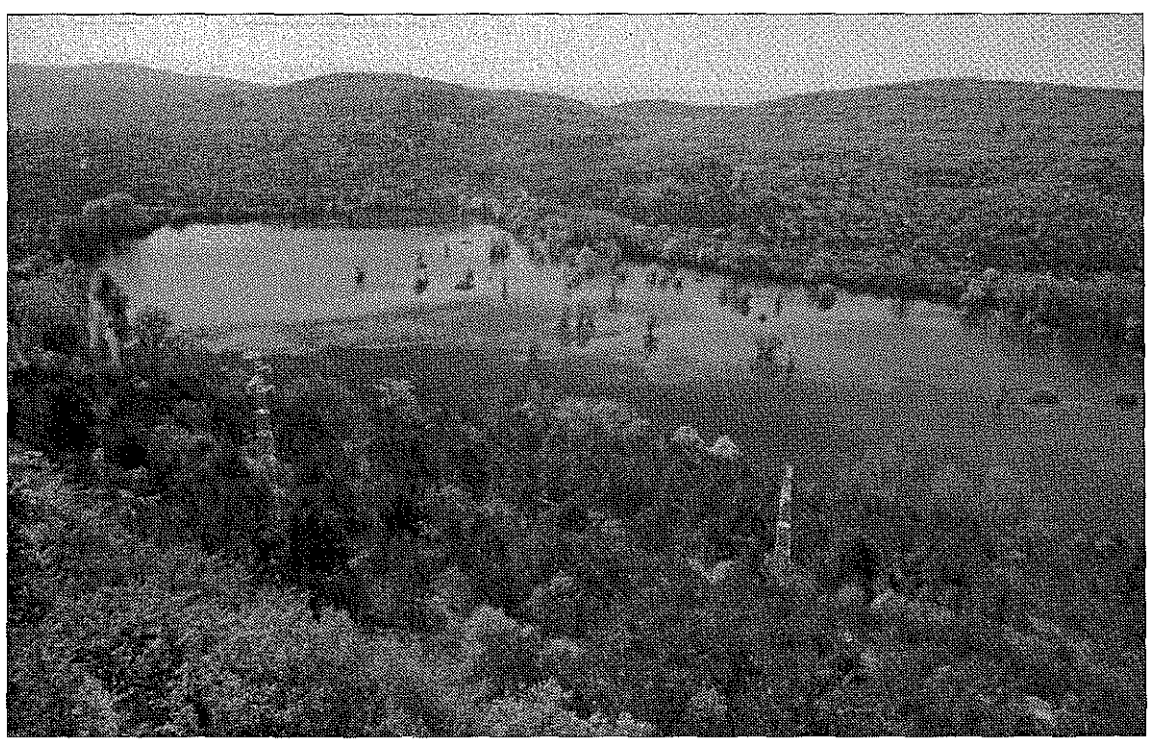
▲ Foto 4
Misuratore di livello a leva installato presso il Lago di Pietrarossa.



▲ Foto 5
Le sorgenti di Aurisina: una delle polle che si attivano in fase di piena lungo la spiaggia antistante alle prese del vecchio acquedotto di Trieste.



▲ Foto 6
Il Lago di Doberdò, in secondo piano sulla destra il Golfo di Trieste.



▲ Foto 7
Il Lago di Doberdò in fase di piena.

RICERCHE ED ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO AMBIENTALE NELLA GROTTA GRANDE DEL VENTO A FRASASSI (ANCONA)

Mario Cocchioni[1*], Sandro Galdenzi[2*], Marco Menichetti[3*], Federico Montechiaro[4] e Mario Giordano[4*]

[1] *Dipartimento di Scienze Igienistiche e Sanitarie-Ambientali - Università di Camerino*
[2] *Istituto Italiano di Speleologia - Sezione di Frasassi*
[3] *Istituto di Geodinamica e Sedimentologia - Università di Urbino*
[4] *Lab. di Fisiologia delle Alghe, Dip. di Scienze del Mare, Facoltà di Scienze MM.FF.NN. Università Politecnica delle Marche*
* *Comitato Tecnico Scientifico - Grotte di Frasassi*

RIASSUNTO

Le condizioni ambientali della Grotta Grande del Vento a Frasassi sono costantemente analizzate grazie alle indicazioni di un Comitato Tecnico Scientifico, al fine di salvaguardare una delle grotte turistiche più frequentate in Italia, con oltre 300.000 visitatori annui. Le più recenti attività di studio condotte nella grotta sono brevemente descritte. I dati ambientali acquisiti grazie ad una rete di monitoraggio hanno fornito numerose indicazioni sull'evoluzione stagionale dei flussi d'aria, sulle relazioni esistenti tra zone turistiche e non, sul ruolo degli ingressi naturali ed artificiali. La concentrazione della CO_2 subisce forti riduzioni per l'afflusso di aria esterna dagli ingressi artificiali e più contenuti aumenti causati dalla presenza di visitatori. Le variazioni naturali raggiungono tuttavia entità anche più elevate e la grotta appare capace di assorbire questo tipo di perturbazioni. Il campionamento delle acque sotterranee ad intervalli mensili ha consentito di evidenziare chiari cicli stagionali e di distinguere diversi tipi di acque. Significative differenze sono emerse sia nelle caratteristiche chimiche delle acque percolanti, sia in quelle delle acque freatiche sulfuree.
La presenza dei turisti e dell'impianto di illuminazione artificiale comporta inevitabilmente la colonizzazione delle grotte da parte di organismi fotosintetici. La notevole resilienza al buio delle alghe più comunemente rinvenute nella Grotta Grande del Vento (Phormidium sp., Cyanophyceae) fa ritenere che un oscuramento anche prolungato delle grotte (fino a un mese) non costituisca una strategia efficace per il controllo della crescita algale. Una significativa inibizione della crescita è stata invece ottenuta mediante l'adozione di regimi di illuminazione di appropriate intensità e composizione spettrale.

ABSTRACT

The "Grotta Grande del Vento" at Frasassi, Ancona, is one of the most popular show caves in Italy, with more than 300,000 tourists per year. In order to protect this valuable environment, a Scientific Committee was set up to ensure continuous monitoring of the main chemical, physical and biological parameters. The results of the most recent research activities conducted in the cave are presented here. The analysis of the data collected by the cave monitoring system provided a large amount of information on the seasonal evolution of air fluxes, on the interactions among areas accessible to tourists and restricted areas, and on the role of artificial and natural entrances to the cave. The CO_2 concentration was strongly reduced by the influx of outside air through the artificial entrance, while it was only slightly increased by the presence of tourists. CO_2 levels, however, appeared to be mostly affected by natural phenomena. Whatever the cause of CO_2 perturbations, the cave system appeared to be able to buffer them without major consequences. Sampling of karstic water on a monthly basis allowed to unveil the presence of seasonal cycles and made it possible to characterize several types of water. Water analysis also allowed a thorough description of the differences existing in the chemistry of percolating and sulfuric freatic waters.
The colonization and proliferation of photosynthetic organisms in the cave is related to the presence of tourists and artificial light sources. The remarkable resistance to dark incubation shown by the most common algae in the "Grotta Grande del Vento" (Phormidium sp., Cyanophyceae) indicates that even a prolonged period of obscuration (up to one month) of the cave is not an effective strategy for the control of algal proliferation. A significant inhibition of growth was instead achieved through the adoption of specific light regimes with appropriate photon flux density and spectral quality.

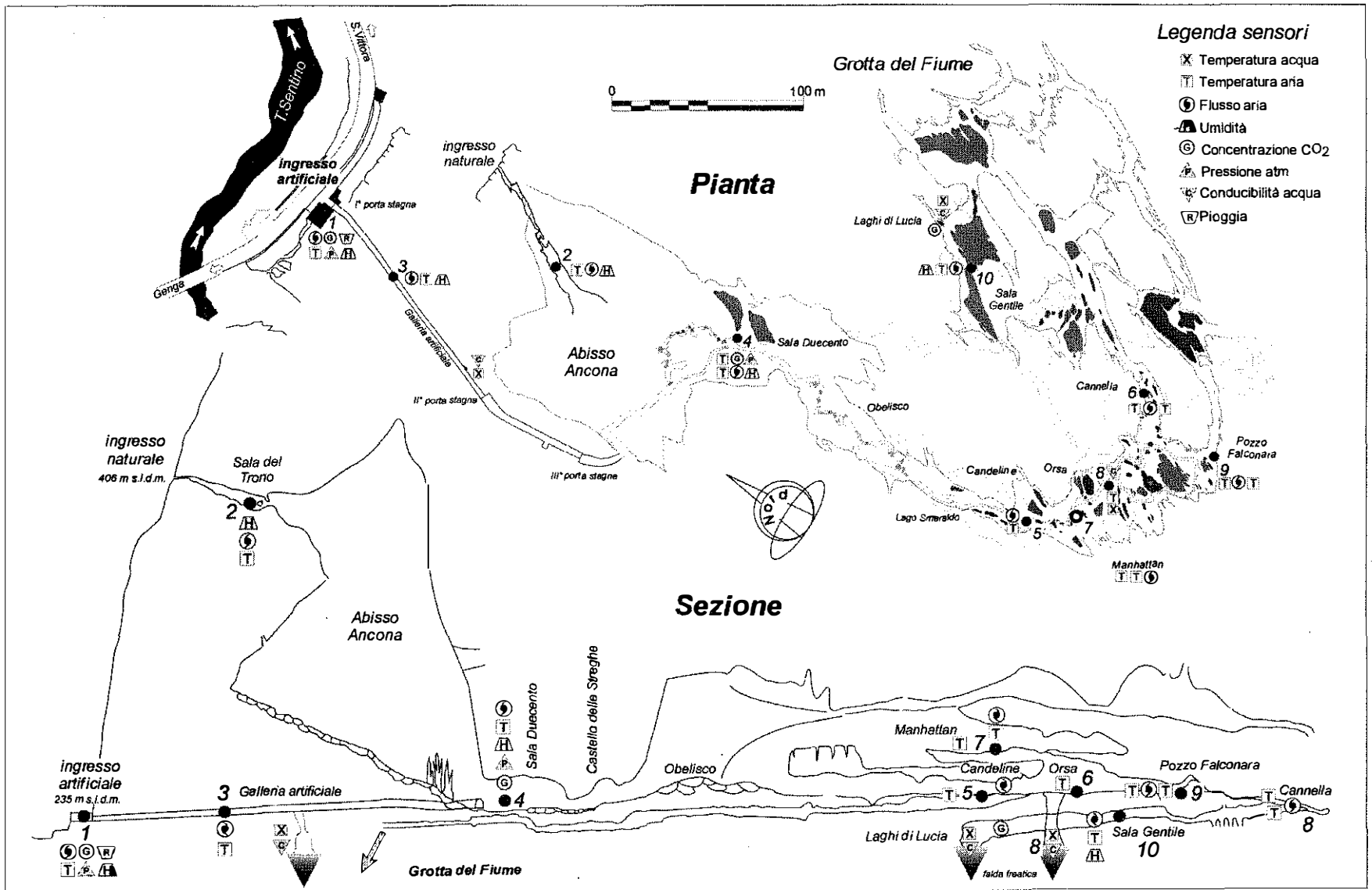


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni di misura e dei diversi tipi di sensori installati nella parte turistica della Grotta Grande del Vento (Rilievo modificato da Bocchini & Coltorti, 1990).

INTRODUZIONE

Il complesso della Grotta Grande del Vento si apre nella Gola di Frasassi, in Italia centrale dove si estende per oltre 20 km attraverso una serie di gallerie di andamento sub-orizzontale, poste su piani sovrapposti e collegate da pozzi e grandi sale. La grotta è sviluppata soprattutto nella parte più prossima al versante esterno, ma in alcuni parti si addentra per oltre 1 km all'interno del massiccio calcareo. La parte turistica è stata visitata mediamente ogni anno da circa 300.000 persone dal 1974, quando è stato realizzato il tunnel artificiale che rappresenta l'ingresso turistico.
A partire dal 1975 un comitato di consulenza scientifica ha affiancato, con finalità consultive, l'amministrazione della grotta. Il comitato, nel corso degli anni, ha operato per analizzare gli effetti del flusso turistico e per trovare soluzioni che ne riducessero l'impatto, e contestualmente ha favorito lo sviluppo delle ricerche nella grotta. Ampi resoconti di queste attività sono stati proposti a più riprese, e per una dettagliata descrizione si rimanda a Comitato Tecnico Scientifico (2000), con relativa bibliografia. Nell'ultimo periodo le attività hanno riguardato principalmente l'analisi dei dati di monitoraggio ambientale, lo studio dei caratteri chimici delle acque anche in relazione al loro impiego nella grotta per pulizia ed alimentazione artificiale di laghetti, la mitigazione degli impatti dovuti all'illuminazione, sia come sviluppo di alghe, sia come causa di apporti termici.

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

L'attuale rete di monitoraggio è stata realizzata nel 1997 in sostituzione di un preesistente sistema andato in avaria nel 1993. E' stato recentemente realizzato un approfondito studio (Galdenzi & Menichetti, 2002), comprendente sia la descrizione delle caratteristiche tecniche del sistema e dei criteri seguiti nella progettazione, sia la dettagliata discussione dei dati acquisiti e il loro confronto con le serie storiche di dati. A questo lavoro si rimanda pertanto per una più completa discussione dell'argomento.
Dopo oltre 5 anni di funzionamento continuo è possibile operare alcune considerazioni relative alla funzionalità del sistema di monitoraggio. Il sistema comprende dieci stazioni, alle quali sono collegati 40 sensori per la misura di temperatura di aria ed acqua, umidità relativa, intensità e direzione delle correnti d'aria, pressione atmosferica, conducibilità, concentrazione della CO_2 (Fig. 1). Ogni stazione è dotata di una centralina di comando propria costituita da un modulo di acquisizione e condizionamento dei segnali provenienti dai sensori, da moduli di elaborazione, registrazione e trasmissione dati. Tutte le dieci stazioni sono connesse ad un elaboratore denominato "concentratore" attraverso il quale è possibile gestire ciascuna stazione di misura. A sua volta il "concentratore" è connesso ad un computer che permette di controllare l'intero sistema (Fig. 2).
Larga parte delle stazioni ha operato con sufficiente regolarità e i problemi maggiori sono stati causati da eventi accidentali, in grado talvolta di interrompere la funzionalità stessa dell'intera rete. Alcuni esempi sono stati la mancanza totale di alimentazione elettrica, la rottura accidentale dei cavi di trasmissione dati, manovre errate dell'operatore sulle singole stazioni con perdita dati.
Il funzionamento dei sensori è risultato differenziato. I sensori di temperatura, umidità relativa e flusso dell'aria non hanno creato significativi problemi, garantendo un funzionamento regolare e fornendo dati sostanzialmente affidabili. I sensori per la CO_2 hanno invece evidenziato la necessità di frequenti tarature (almeno ogni tre mesi), mentre i sensori per la conducibilità dell'acqua non hanno fornito dati attendibili per periodi significativi. Le cause di queste anomalie non sono del tutto chiare anche perché insite nelle caratteristiche costruttive delle apparecchiature stesse. Va anche osservato che le stazioni ed i sensori che hanno evidenziato la minore affidabilità (in particolare la conducibilità nelle acque freatiche e la stazione ingresso naturale) sono collocati in zone di difficile accessibilità, dove il solo raggiungimento da parte dei tecnici richiede percorrenze impegnative di tipo strettamente speleologico, ostacolando di fatto la possibilità degli interventi.
Il funzionamento complessivo della rete è soddisfacente per il monitoraggio delle condizioni microclimatiche della grotta al fini della prevenzione di eventuali alterazioni indotte dal flusso turistico.

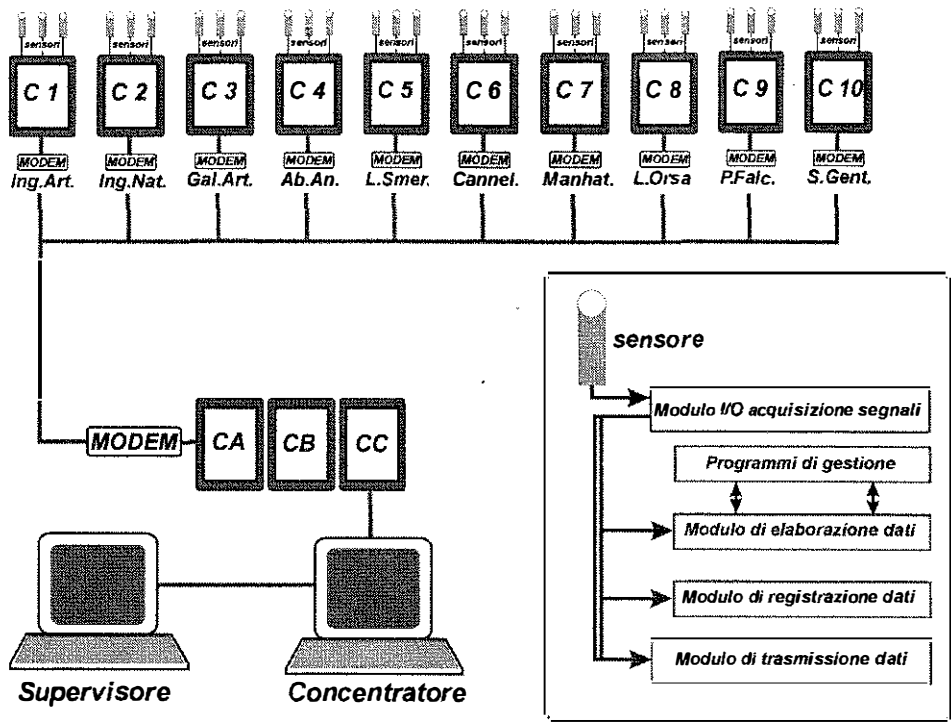


Fig 2 - Schema generale della rete di monitoraggio in funzione nella parte turistica della Grotta Grande del Vento. Nel riquadro schema a blocchi di una centralina di acquisizione.

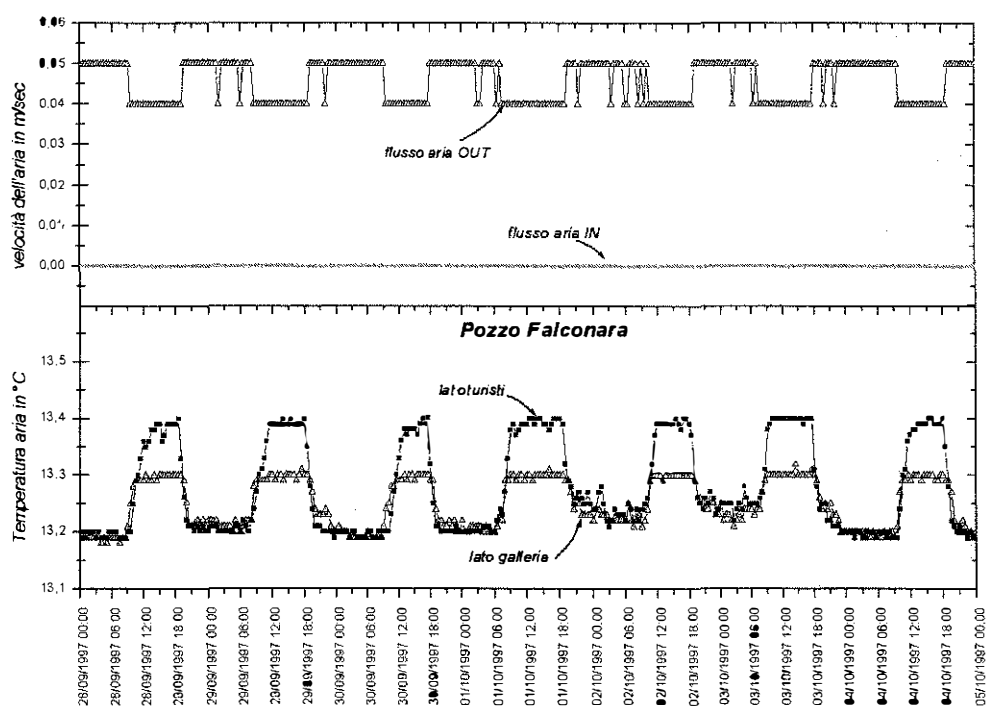


Fig. 3 - Pozzo Falconara - Variazioni della temperatura e del flusso dell'aria tra il 28 settembre e il 5 ottobre 1997. La direzione IN corrisponde a flussi verso l'interno, la direzione OUT a flussi verso l'ingresso artificiale.

Tuttavia, dal punto di vista di una utilizzazione dei dati ai fini più strettamente scientifici, l'attuale sistema di controllo e manutenzione non garantisce una continua supervisione, e pertanto la validazione dei dati acquisiti è risultata possibile solo per brevi intervalli di tempo. I fenomeni di deriva strumentale ed il discontinuo funzionamento di alcuni sensori e stazioni hanno fatto pertanto preferire l'impiego dei dati ambientali come valori relativi, non assoluti.
Tutto questo rende complessa l'utilizzazione completa delle serie temporali attualmente disponibili, mentre più semplice ed affidabile risulta l'analisi delle condizioni del microclima sotterraneo su brevi e selezionati intervalli temporali.

LE NUOVE INDICAZIONI SULLE CONDIZIONI AMBIENTALI

La collocazione dei sensori della nuova rete di monitoraggio è stata preceduta da campagne preliminari di acquisizione e dall'analisi di una parte significativa dei dati già raccolti per mezzo dei pre-esistenti sistemi di monitoraggio.
Ciò ha reso possibile una migliore collocazione delle stazioni di acquisizione, favorendo la comprensione delle relazioni complesse esistenti tra la parte di grotta accessibile al pubblico, l'ambiente esterno e le altre parti del sistema carsico non interessate dalla frequentazione turistica (Galdenzi & Menichetti, 2002). Vengono di seguito elencate alcune delle conclusioni più significative per la definizione del microclima sotterraneo e delle influenze prodotte dal flusso turistico.

- La variazione della temperatura esterna è il fattore naturale che maggiormente incide sul microclima sotterraneo, con interferenze complesse e diversificate sulla circolazione nelle diverse parti del complesso carsico ipogeo.
- Per quanto gli ingressi naturale ed artificiale dell'Abisso Ancona rappresentino i più diretti collegamenti con l'esterno, la grotta turistica risulta in diretta connessione anche con gli ingressi naturali della Grotta del Fiume attraverso un articolato reticolo carsico.
- Il sistema carsico, nel suo complesso, riesce ad assorbire le perturbazioni termiche indotte dal flusso turistico, anche quando queste raggiungono valori di entità significativa, ma soprattutto è in grado di ripristinare le condizioni originarie, almeno nel breve periodo.
- Gli apporti termici dovuti ai flussi turistici vengono smaltiti, oltre che per mezzo di scambi all'interfaccia aria/roccia, anche grazie alla favorevole circolazione d'aria che dalle zone più interne affluisce verso la parte della grotta turistica (Fig. 3). La costante ricezione di aria attraverso gallerie carsiche collegate con regioni interne del sistema rappresenta così una condizione che consente di mitigare gli impatti sul microclima in ampia parte della zona turistica. E' altresì evidente come l'esistenza di una significativa circolazione d'aria possa trasferire le perturbazioni in altre zone del complesso carsico non aperte al pubblico, non pienamente identificabili sulla base dei dati oggi disponibili.
- Le variazioni rilevate nei contenuti di CO_2 appaiono dipendere da numerose variabili, comprendenti sia probabili apporti di origine interna dalle zone sulfuree, soggetti a rilevanti variazioni stagionali, sia scambi con l'esterno condizionati dall'evoluzione dei flussi d'aria. Le variazioni indotte dall'apertura al pubblico sono di ordine di grandezza inferiore a quelle registrate per cause naturali e sono rapidamente smaltite nelle ore notturne. Possono essere riconosciuti due tipi di interferenze, con effetti opposti: le emissioni dovute alla presenza di visitatori e gli afflussi di aria esterna a minor tenore di CO_2 durante l'apertura delle porte stagne (Fig. 4). L'importanza relativa dei due effetti varia certamente nelle diverse parti della grotta, ed allo stato attuale non è quantificabile.
- E' risultato evidente quanto la collocazione dei sensori possa influenzare il tipo di informazioni ottenute e la stessa interpretazione delle condizioni ambientali. Lo spostamento di poche decine di metri di un sensore per la CO_2 ha infatti rivelato l'esistenza dei consistenti impulsi di aria esterna, a basso tenore di CO_2, non rilevati in precedenza, responsabili del calo di concentrazione della CO_2 nelle ore diurne nell'Abisso Ancona, in vicinanza dell'ingresso artificiale.

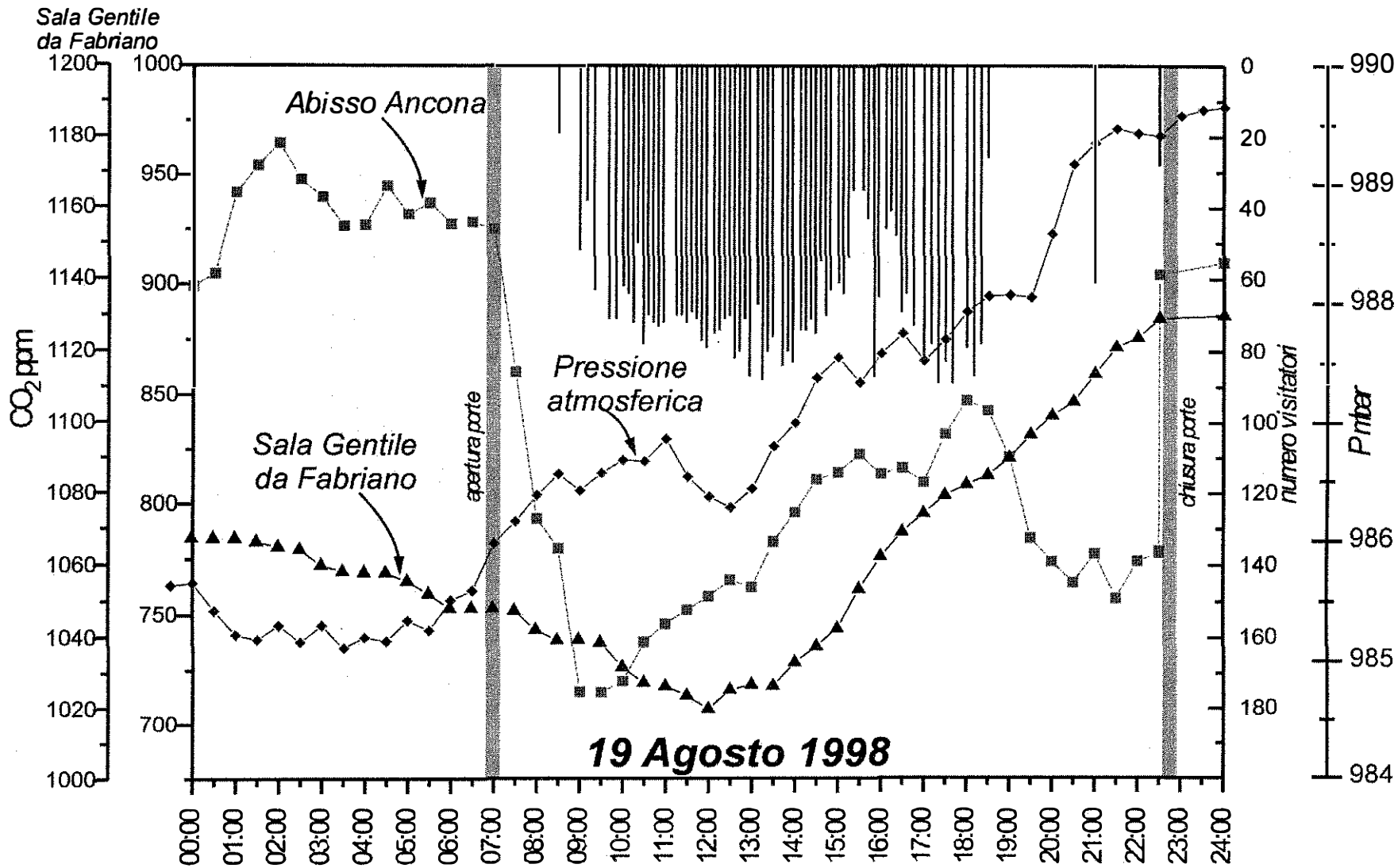


Fig. 4 - Variazione della concentrazione di CO_2 in funzione del flusso turistico, dell'apertura delle porte e della pressione atmosferica nella Gola di Frasassi, alla Sala Gentile da Fabriano e all'Abisso Ancona il 19 Agosto 1998.

CHIMISMO DELLE ACQUE DEL COMPLESSO IPOGEO DI FRASASSI: ACQUE DI STILLICIDIO ED ACQUE SULFUREE.

La comprensione della circolazione idrica e del chimismo delle acque all'interno del complesso ipogeo di Frasassi costituiscono acquisizioni fondamentali per una corretta interpretazione della genesi e dell'evoluzione del complesso carsico. Anche una corretta gestione del prezioso patrimonio naturale non può prescindere da tali conoscenze onde prevenire fenomeni di inquinamento che potrebbero irreparabilmente danneggiare il delicato equilibrio dell'ecosistema sotterraneo nonché compromettere l'utilizzo delle acque sulfuree che a valle vengono captate per cure termali.
In questa ottica è stato affrontato dal Dipartimento di Scienze Igienistiche e Sanitarie-Ambientali dell'Università di Camerino uno studio sistematico del chimismo delle acque con particolare riferimento a quelle sulfuree e di stillicidio. I campionamenti, condotti con cadenza mensile, sono stati effettuati nel periodo novembre 2000-dicembre 2001. Contemporaneamente è stato monitorato anche il fiume Sentino che lambisce il complesso ipogeo al fine di evidenziare possibili intrusioni delle sue acque all'interno delle grotte.
Per quanto concerne le *acque di stillicidio* sono stati identificate tre postazioni di campionamento nei seguenti punti: "Sala Abisso Ancona" , "Lago Smeraldo", "Sala Pagliai". Per le *acque sulfuree* i campionamenti sono stati effettuati nei punti definiti "Sorgente sulfurea Pozzetto", "Sorgente sulfurea Libera" , "Lago Verde Sulfurea, "Ramo sulfureo". Prelievi estemporanei sono stati effettuati anche sul "Lago Lucia" e "Lago dell'Orsa" al fine di una preliminare tipizzazione delle loro acque. Sui campioni prelevati sono stati determinati i seguenti parametri: Temperatura dell'acqua, pH, Conducibilità elettrica, Durezza totale, Calcio, Magnesio Ossigeno Disciolto, Percentuale di saturazione, BOD_5, Cloruri, Solfati, Solfuri, Bicarbonati, CO_2 libera, Sodio e Potassio. Molte ed interessanti le acquisizioni emerse. Si sottolineano in questa sede quelle di maggior rilievo:

- Le acque di stillicidio dell' "Abisso Ancona" e del "Lago Smeraldo" presentano residuo salino (250 mg/L) ed andamento stagionale praticamente sovrapponibili (Fig. 5). Analizzando però l'assetto ionico emerge una differente composizione: lo stillicidio dell' "Abisso Ancona" risulta significativamente più ricco in sodio, potassio, cloruri, solfati mentre quelle del "Lago Smeraldo" in calcio e bicarbonati. Tali variazioni si compensano e fanno sì che i due campioni alla fine presentino valori di conducibilità elettrica pressoché equivalenti.
- Le acque di stillicidio della "Sala Pagliai" mostra una conducibilità ed una composizione ionica più modesta per tutti gli elementi. L'andamento temporale della salinità ricalca quello evidenziato nei due stillicidi precedenti, ma limitatamente al periodo novembre 2000-luglio 2001. Nel mese di agosto si assiste infatti ad una evidente flessione per poi risalire e riallinearsi nei successivi mesi di ottobre e novembre.
- L'anidride carbonica libera presenta, in tutte le acque di stillicidio, due picchi rispettivamente nei mesi di aprile e di agosto. (Da ricondurre forse al maggior afflusso turistico del periodo pasquale e del periodo feriale). I valori più elevati si registrano negli stillicidi di "Lago Smeraldo" e "Sala Pagliai".
- Per quanto concerne le acque sulfuree è emersa una sostanziale similitudine, come residuo salino, come composizione ionica e come andamento temporale dei vari parametri, tra "Sulfurea Pozzetto" e "Sulfurea Lago Verde" (Fig. 6). I valori medi di conducibilità coincidono (2360 μS/cm) e l'assetto ionico nel corso dell'anno è praticamente sovrapponibile.
- Anche le altre due acque "Sorgente sulfurea Libera" "Ramo sulfureo", pur presentando una salinità alquanto inferiore rispetto alle precedenti, mostrano evidenti analogie sia in composizione che come andamento dei vari parametri nell'arco dell'anno.
- I prelievi estemporanei effettuati sul "Lago Lucia" e sul "Lago dell'Orsa" non permettono una analisi critica temporale. Sono evidenti tuttavia la minore mineralizzazione delle acque del "Lago Lucia" rispetto a tutte le altre e la presenza di stratificazione nel "Lago dell'Orsa" dove si rilevano in profondità acque con valori di salinità e composizione ionica ricollegabili a quelle del "Ramo sulfureo" ed in superficie acque simili a quelle dello stillicidio.

I risultati emersi dal presente studio, integrati ed interfacciati con quelli relativi ai livelli idrici, potranno fornire ulteriori interessanti acquisizioni anche sulla possibile influenza del Fiume Sentino nel chimismo delle acque all'interno del complesso ipogeo.

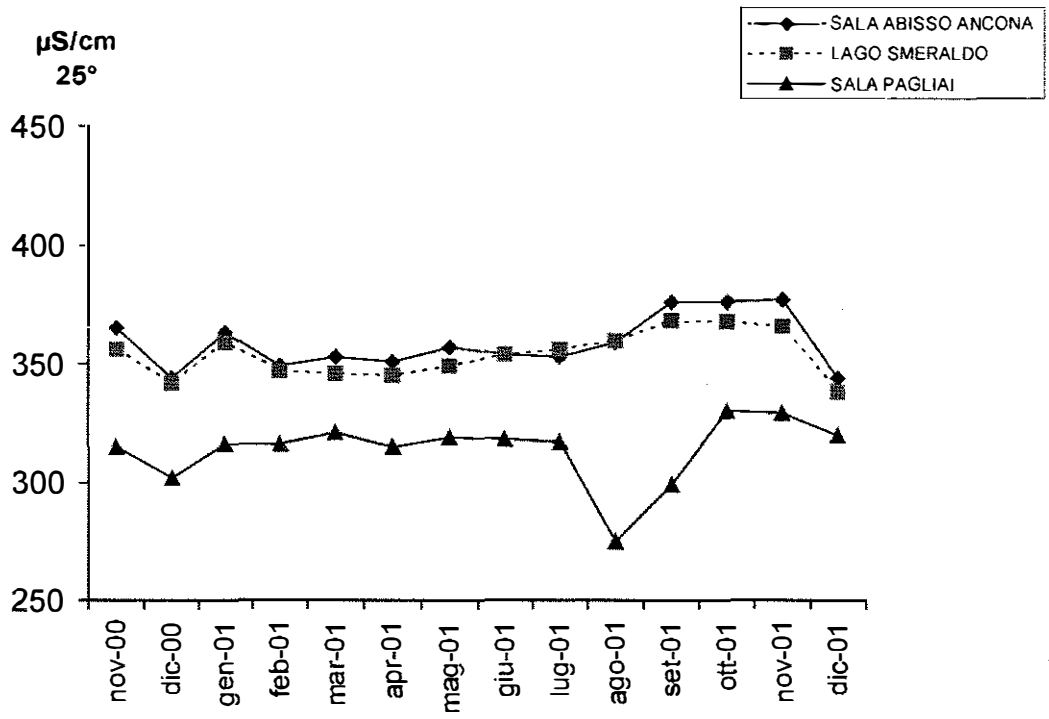


Fig. 5 - Andamento temporale della conducibilità elettrica nelle acque di stillicidio.

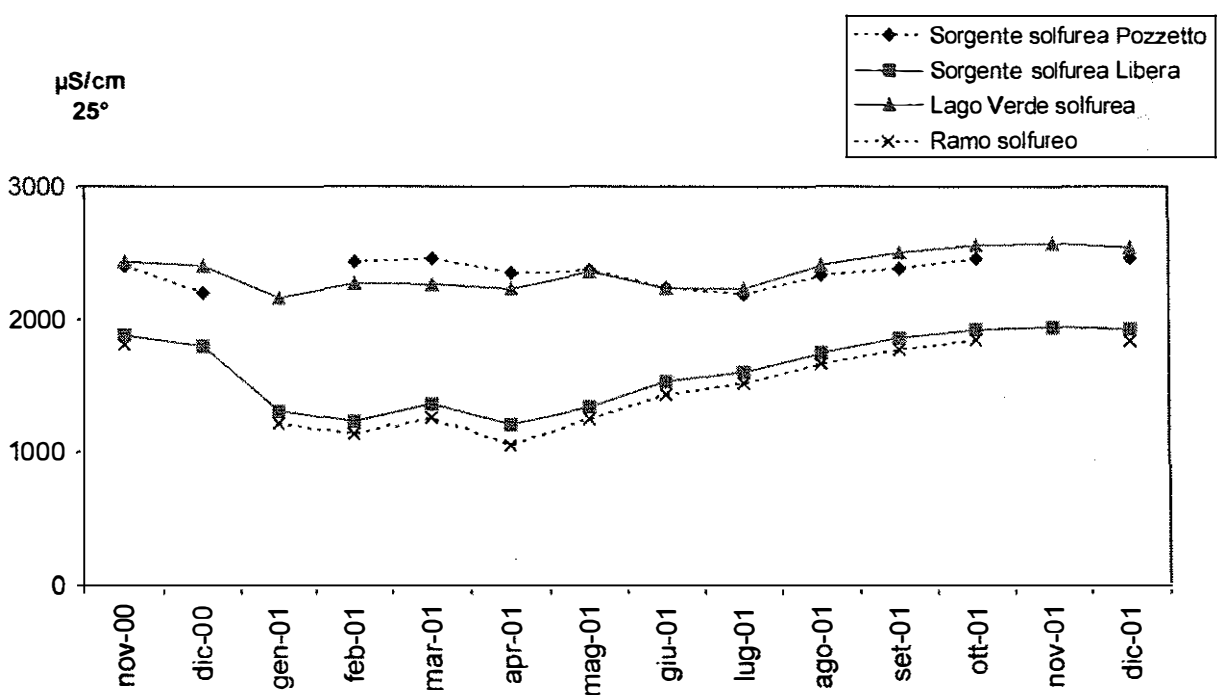


Fig. 6 - Andamento temporale della conducibilità elettrica nelle acque sulfuree.

NUOVO APPROCCIO PER IL CONTROLLO DELLA CRESCITA ALGALE

I progetti di ricerca che negli ultimi anni sono stati compiuti sulle alghe delle Grotte di Frasassi hanno permesso di accumulare una massa critica di informazioni che consente lo sviluppo di una strategia innovativa per il controllo della flora algale nelle grotte turistiche (Giordano et al., 2000; Montechiaro, 2003).
La novità dell'approccio adottato risiede nell'utilizzo delle cognizioni acquisite mediante studi fisiologici per lo sviluppo di un ciclo virtuoso che culmini nel controllo della proliferazione algale con un minimo impiego di risorse umane, un ridotto o nullo impatto sulle formazioni calcaree e un moderato investimento iniziale. I dati fisiologici ottenuti, infatti, mostrano come la scelta dei corpi illuminanti e del regime di illuminazione sia fondamentale per la riduzione della crescita algale (vedi tabella)

	Tasso di crescita specifico (giorni^{-1})		**Tempo di duplicazione (giorni)**	
Regime di illuminazione	Proteine	Clorofilla *a*	Proteine	Clorofilla *a*
A	0.445 (0.043)	0.220 (0.020)	1.56 (0.156)	3.15 (0.315)
B	0.387 (0.041)	0.164 (0.072)	1.80 (0.130)	3.57 (1.320)
C	0.237 (0.046)	0.178 (0.040)	2.92 (0.556)	3.89 (0.857)

Legenda - Tassi di crescita specifici espressi in termini di variazione del contenuto di proteine e di clorofilla a, in colture esposte a tre regimi di illuminazione. A: lampade di attualmente in uso nelle Grotte di Frasassi (Philips PAR 38 EC Flood, 120W); B: lampade di nuova concezione (Philips Capsuleline Pro, 50W); C lampade di nuova concezione con filtro dicroico (vedi figura 1 per lo spettro di trasmittanza). In parentesi sono riportati gli errori standard (n = 4).

La sottrazione di radiazioni di lunghezze d'onda raccolte dall'antenna del fotosistema 2 si è dimostrata particolarmente utile per limitare la capacità fotosintetica delle alghe azzurre, che sono spesso la principale componente autotrofa degli ecosistemi di grotta.
L'attenuazione di componenti specifiche dello spettro elettromagnetico è realizzabile mediante l'uso di filtri cromatici che consentano di intercettare le lunghezze d'onda che più stimolano l'attività fotosintetica degli organismi di cui si intenda inibire la crescita (Fig. 7). E' infatti la fotosintesi a fornire le materie prime per la riproduzione e l'incremento di biomassa (es.: Lawlor, 2001).
Limitando quindi l'attività fotosintetica e conseguentemente il potenziale riproduttivo delle alghe è possibile esercitare un controllo a priori sulla loro proliferazione, risparmiando così alle formazioni calcaree e all'ecosistema gli aggressivi trattamenti chimici solitamente utilizzati (Grobbelaar, 2000). Peraltro, la eliminazione a posteriori della alghe in grotta di solito produce effetti esteticamente non ottimali, in quanto la degradazione per ossidazione della sostanza organica lascia inevitabilmente sul substrato calcareo residui visibili ad occhio nudo.
Gli esperimenti condotti hanno inoltre evidenziato il fatto che i periodi di buio normalmente imposti alle grotte (un mese circa) non sono sufficienti a determinare la perdita di vitalità nelle alghe. Ciò è dovuto alla capacità di tali organismi di mantenere livelli metabolici sufficienti alla sopravvivenza (Figg. 8 e 9) anche in condizioni prolungate di assenza di luce.
Il controllo della proliferazione algale potrebbe essere effettuato mediante periodi di oscuramento delle grotte estremamente prolungati (oltre i due mesi). Tuttavia, ragioni economiche rendono questa opzione poco praticabile.

BIBLIOGRAFIA

- Comitato Tecnico Scientifico (2000) - Researches and monitoring activities in the Grotta Grande del Vento, show cave at Frasassi (Ancona , Italy).Proc. III Congr. ISCA "Where, How Why", santadi, 19-25 oct. 1998, 159-163.
- Galdenzi S. & Menichetti M. (2002) - Il monitoraggio ambientale nelle Grotte di Frasassi: struttura della rete di acquisizione e nuove indicazioni sul microclima. Le Grotte d'Italia, s. V, 3, 75-86.
- Giordano M., Mobili F., Pezzoni V., Hein MK., Davis JS. (2000). Photosynthesis in the caves of Frasassi (Italy). Phycologia 39 (5): 384-389.
- Grobbelaar JU (2000). Lithophytic algae: major threat to the karst formation of show caves. Journal of Applied Phycology 12, 309-315.
- Lawlor DW (2001). Photosynthesis. Springer Verlag; 3a ed., 386 pp.
- Montechiaro F (2003). Nuova strategia per il controllo della crescita algale nelle grotte turistiche: risposte fisiologiche di *Phormidium autumnale* a condizioni ipofotiche e afotiche. Tesi di Laurea, Università Politecnica delle Marche, Ancona, pp. 150.

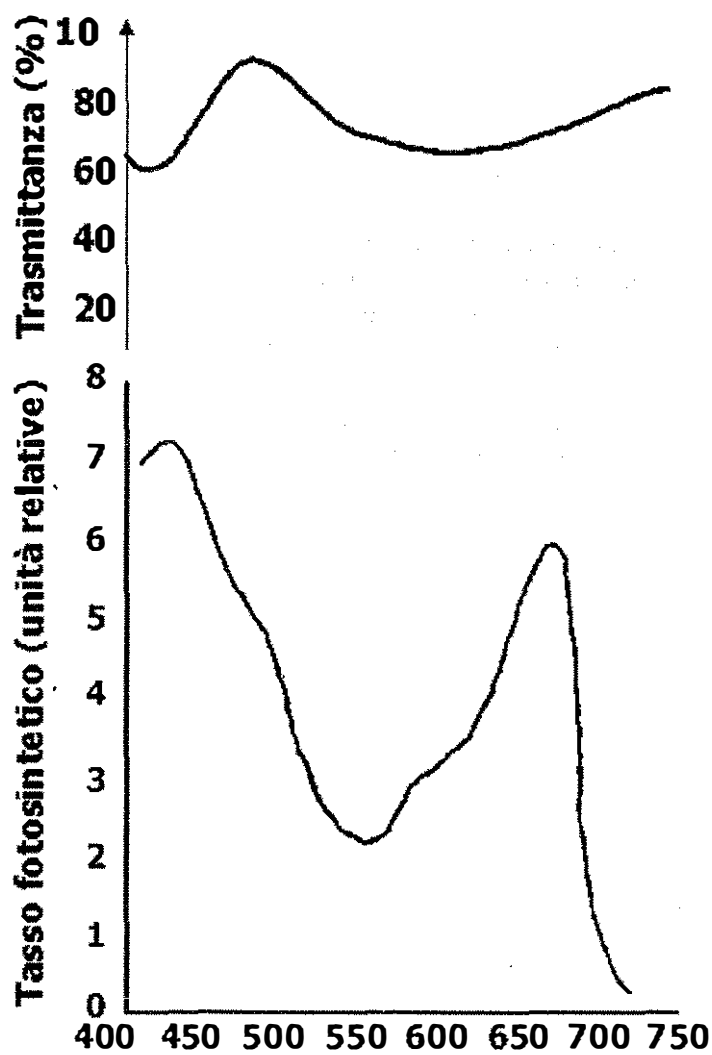


Fig. 7 - Effetto di attenuazione dei filtri cromatici sullo spettro di emissione delle lampade di nuova concezione (in alto) e spettro di azione di cianobatteri (in basso)

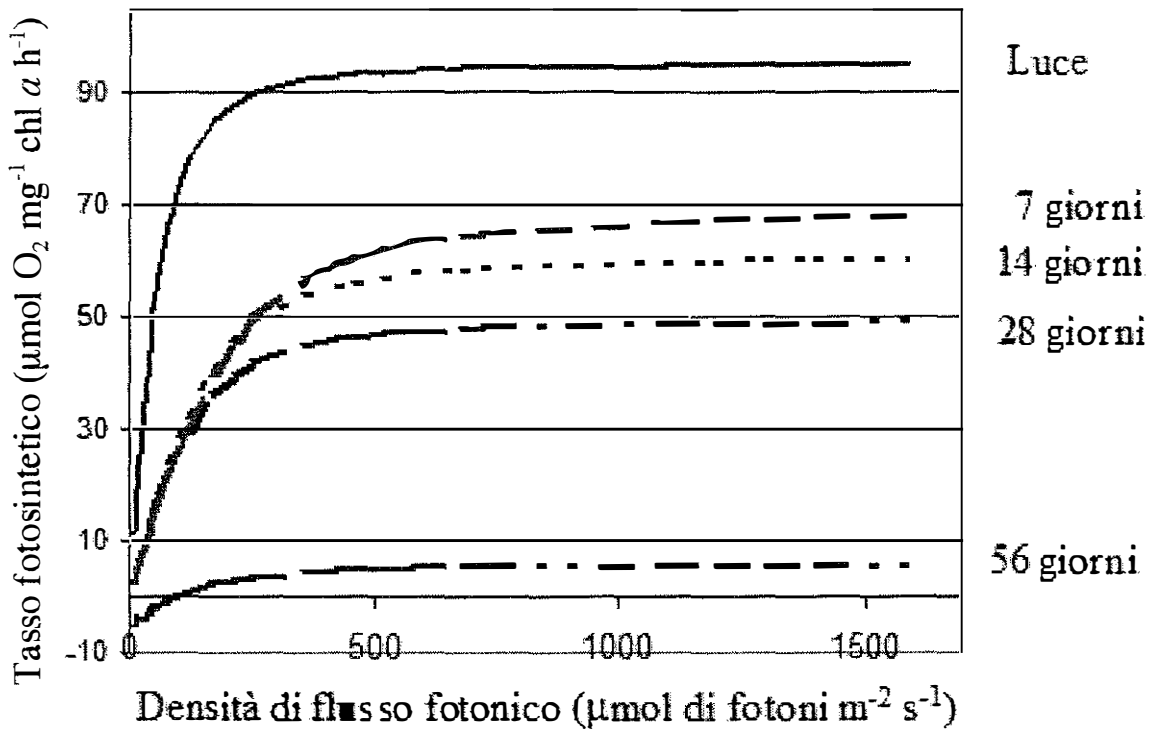


Fig. 8 - Risposta fotosintetica alla densità di flusso fotonico di cellule incubate al buio,in grotta, per periodi diversi (n = 4; r2 > 0.95).

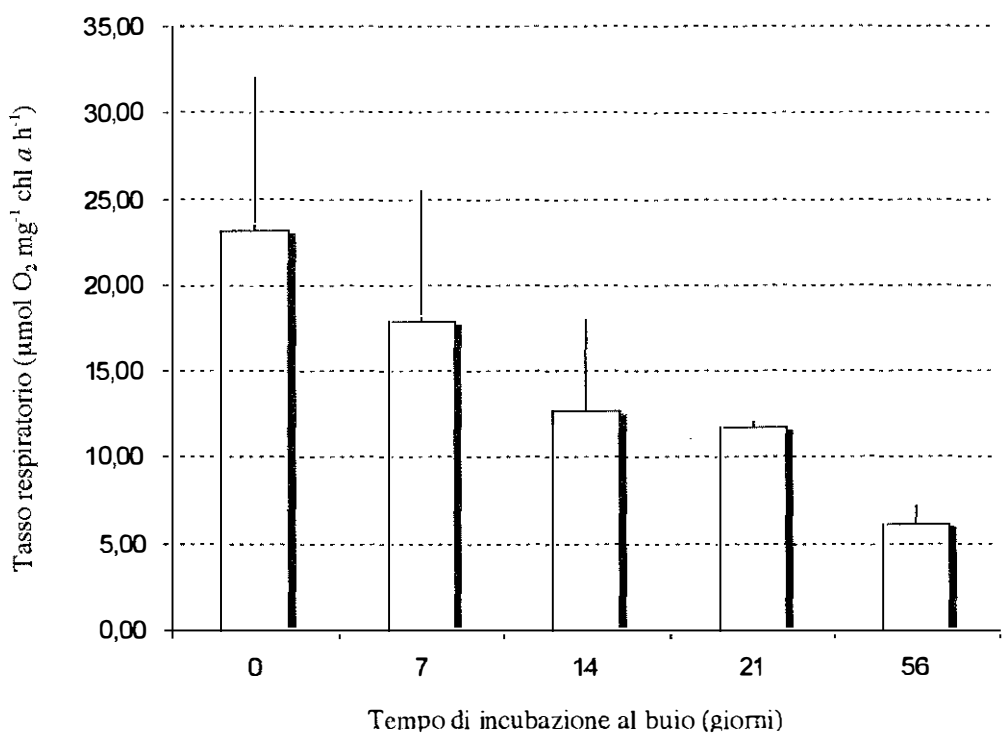


Fig. 9 - Tassi respiratori in funzione del tempo di incubazione al buio (n = 4).

LE MINERALIZZAZIONI DELLA GROTTA DI SANTA LUCIA INFERIORE (TOIRANO, SV) E LA LORO INTERPRETAZIONE NEL QUADRO DELL'EVOLUZIONE PALEOAMBIENTALE DELL'IPOGEO

Sergio G. Martini

G.E.A. Geology-Environment-Archaeology Snc - La Cerreta di Pian d'Ordià, Varese Ligure (Sp)
Laboratori per la Liguria Occidentale - Corso Nizza, 107 - 18039 Latte di Ventimiglia (Im)
Gruppo Speleologico C.A.I. Genova Bolzaneto - Via C. Reta, 16100 Genova

RIASSUNTO

Vengono di seguito presentate le risultanze degli studi mineralogici ottenutisi sulla base di rilevamenti diretti compiuti nella grotta "Santa Lucia Inferiore" (Li-59SV) a Toirano (Sv) e dell'attività di laboratorio finalizzata a caratterizzare i campioni prelevati in specifiche aree della stessa; scopo principale delle indagini, svolte su incarico della Soprintendenza Archeologica della Liguria, è stato quello di esplorare la possibilità di valutare gli effetti dovuti all'impatto antropico sulla stabilità dei cristalli di aragonite presenti nell'ipogeo, ovvero se detta fase minerale (per natura metastabile) sia soggetta a forme di deterioramento riconducibili a mutate condizioni ambientali.
Da quanto di seguito descritto si può apprezzare come la mappatura degli speleotemi nella grotta in questione abbia permesso di individuarne la stratigrafia morfogenetica minerale e da questa inferire dati paleoambientali utili a comprendere come la dinamica circolatoria della cavità sia mutata nel corso del tempo e, almeno in un segmento della cavità, risulti invertita. E' stato inoltre possibile identificare due specie minerali magnesiache di importante significato ambientale: l'huntite e la magnesite.
Si è ribadito come la trasformazione delle forme cristalline da fase aragonite a fase calcite sia del tutto naturale e non possa essere accelerata dal flusso dei visitatori; si è sottolineato infine come la formazione di mondmilch *huntitico-magnesiaco sia compatibile con un ambiente caratterizzato da un'elevata pressione parziale della CO_2 in seno all'atmosfera ipogea, da un aumento della temperatura interna e da una forte evaporazione delle acque endocarsiche, fattori che contribuiscono in diversa misura a condurre a valori del rapporto Mg/Ca sempre più elevati.*

METODOLOGIA DI INDAGINE

L'indagine di laboratorio è stata preceduta da un'attività preliminare di campagna volta al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1 - Mappatura generale degli speleotemi della grotta, necessaria all'identificazione esaustiva delle mineralogie caratterizzanti e alla loro differenziazione morfologica (fattori rispondenti alle condizioni ambientali della cavità e quindi alla sua evoluzione).
2 - Mappatura morfoscopica: numerosi accrescimenti cristallini risultano spiccatamente isorientatie questo costituisce una traccia di estrema importanza nella ricostruzione della paleocircolazione dell'aria nella cavità.
3 - In base ai dati ricavati dalle prime due fasi, definizione delle aree-campione su cui eseguire i controlli ed i prelevamenti minerali.
4 - Campionamento delle forme minerali.

Si provvedeva quindi all'esecuzione dell'attività di analisi, ovvero:

5 - Determinazione delle fasi minerali campionate.
6 - Analisi della stabilità delle fasi alle condizioni ambientali attualmente rilevate.
7 - Estrapolazione a condizioni ambientali originarie.
8 - Analisi del condizionamento ambientale sulle forme minerali.

La determinazione dei minerali e la differenziazione tra aragonite e calcite è stata eseguita sia in posto (aree-campione) che in laboratorio (sui campioni prelevati dalle stesse aree) con metodi ottici, osservazione agli UV, metodi chimici (reazione all'acido cloridrico, determinazione del peso specifico relativo rispetto al bromoformio e reazione al rosso congo) e difrattogrammetria-X (presso i laboratori della Sezione di Petrografia e Mineralogia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Genova).

MAPPATURA GENERALE DEGLI SPELEOTEMI

La mappatura è stata realizzata mediante la compilazione di una scheda dedicata per ogni ambiente della grotta: dai dati ricavati si può concludere come le manifestazioni minerali più interessanti ed abbondanti di "Santa Lucia Inferiore" (a prescindere dai classici *dripstone* e *flowstone*) siano le *coralloidi popcorn* e *globularitiche* seguite dalle *anthoditi frostwork*, dal *mondmilch* e dalle *helictiti eccentriche*. Vi sono comunque altri speleotemi molto importanti ed utilizzabili come "stretti" indicatori paleoambientali: tra questi i *bordi* e le concrezioni tipo *shelfstone*.

Descrizione degli speleotemi

La grotta di "Santa Lucia Inferiore" è stata ideahnente suddivisa in cinque zone corrispondenti ai suoi ambienti principali: "Cristalli I", "Cristalli II", "Pozzo dell'Ade", "Pantheon", "Capitelli" e "Tanone". In tutte le aree sono presenti speleotemi e le tipologie più frequenti sono ovviamente quelle standard, ovvero *coperture, croste, stalattiti, stalagmiti, colonne, flowstone e drappeggi*: queste sono comuni a tutti gli ambienti descritti con l'eccezione del "Tanone" (tratto terminale) che, a parte pochi residui di stalattiti e stalagmiti fossili e quasi completamente erose, ne risulta completamente depauperato.
I "Cristalli I" & "II", il "Pozzo dell'Ade" ed il "Pantheon" sono gli ambienti maggiormente caratterizzati dalla presenza di *anthoditi e coralloidi*, sia a tipologia calcitica che aragonitica: predominano le anthoditi di tipo frostwork che si generano a partire da un substrato costituito da *coralloidi* tipo *popcorn* e *globularitico*; queste, a loro volta, emergono sempre da *coperture* e *croste primarie* o, a loro volta, ricoprenti *flowstone, stalattiti e stalagmiti*. Diversamente, le *anthoditi* tipo *flos ferri* (minoritarie rispetto al *frostwork*) emergono direttamente da coperture parietali e *flowstone*.

Cristalli I

E' l'area maggiormente caratterizzata dalla presenza di anthoditi tipo *frostwork* (foto 2) e, secondariamente, di tipo *flos ferri* : il primo è essenzialmente aragonitico, mentre il secondo, pure a prevalenza aragonitica, presenta anche la fase calcite. Le "efflorescenze" aciculari tipiche del *frostwork* aragonitico risultano sempre insediate su sporgenze e spigoli caratterizzati da precedenti speleotemi e, in particolare, da stalattiti e stalagmiti a loro volta colonizzate da *coralloidi* dei tipi *popcorn, globulariti e grappoli* (foto 3); la sequenza genetica degli speleotemi appare quindi essere: 1) *copertura* (e/o *crosta*); 2) *stalattite* (e *stalagmite*); 3) *popcorn* (e/o *globularite*, e/o *grappolo*); 4) *frostwork*.
Vi sono eccezioni e variazioni locali, quali l'emergere diretto di *flos ferri* (e/o di *helictiti* tipo *eccentrica*) dalle *coperture* carbonatiche (e/o dalle *croste*).
Le *stalattiti* risultano quasi del tutto eclissate dagli speleotemi che su di esse si sono insediati: quelle che maggiormente risaltano, quindi, sono le più recenti, ovvero la tipologia *cannula*, presente sia nella forma normale (calcitica) che nel sottotipo *spatite* (aragonitica).
Le *stalattiti* facilmente identificabili sono raramente del tipo normale: più facilmente appartengono alle tipologia *bulbosa* ed a *salsiccia* e, per quanto appaiano normalmente costituite da carbonato di calcio in fase calcite, sono altresì spesso caratterizzate da una sottile *copertura* "recente" di aragonite.
Sono stati identificati numerosi basamenti di *stalattiti* rotte (non è chiaro se questo sia da attribuirsi ad eventi naturali o ad azione antropica) presentanti il canalicolo interno intasato da argille: queste estrudono dal basamento e costituiscono un parziale calco del canale stalattitico. Alcune *cannule* presenta-

no un completo riempimento di argille, altre ancora ne hanno assunto solo la colorazione sulla superficie esteriore e presentano all'estremità segni di continuazione nell'accrescimento cristallino; riteniamo che le argille siano il prodotto della rielaborazione del materiale derivato dall'erosione selettiva che ha originato numerosi *boxworks* parietali: questi presentano spesso deboli patine rosse e giallastre che, nel quadro di futuro approfondimento conoscitivo della grotta, al pari delle argille sarebbe importante e interessante caratterizzare mineralogicamente.
Le *stalagmiti*, ancor più delle *stalattiti*, risultano totalmente coperte da altri speleotemi e sono quasi sempre trasformate nella tipologia albero di natale; su di essi risultano infine insediate *anthoditi* tipo *frostwork*, presentanti localmente tracce di *mondmilch.* Rispetto agli altri speleotemi sono state individuate poche colonne, ma completamente ricoperte da *coralloidi* del tipo *popcorn* e *globularitico.*
Le *coperture pavimentali* (di tipo normale) risultano insediate da *coralloidi* dei tipi *popcorn* ed a *grappoli* e talvolta del tipo a *globulariti*; questi speleotemi, spesso caratterizzati da tappeti di cristalli di neoformazione, inglobano livelli di distruzione a *stalattiti* e *stalagmiti* abbattute, segno evidente del loro costituire la parte finale di un ciclo deposizionale successivo alla genesi, distruzione (naturale) ed occlusione di speleotemi precedenti.
Le *coralloidi* di tipo *globularitico* ed a *grappolo* sono spesso localizzate alla base delle *stalagmiti* di tipo *albero di natale* e costituiscono un continuum che va raccordandosi alla *copertura* pavimentale, ove prevalgono le tipologie globularitiche su cui si insediano, successivamente, quelle popcorn; viene quindi confermata la sequenza degli accrescimenti che, nel caso particolare, diviene: 1) *stalattite /stalagmite*; 2) *globularite* (e/o *grappolo*); 3) *popcorn*; 4) *frostwork*; 5) *mondmilch*. La fase a *frostwork* è marcatamente "*fototropica*".
Globulariti e *grappoli* sono costituiti da calcite: i *popcorn* sono prevalentemente calcitici, ma ne sono stati individuati anche di aragonitici.
Nel ramo dei "Cristalli I" sono presenti ingenti quantità di *mondmilch* di fase secca (dry) nella forma prevalente di *croste* piane e *croste* convolute anche di notevole spessore (fino a 20 cm) alternate a livelli argillosi, limo-argillosi e coperture carbonatiche. Appare nettamente minoritario (raro) il *mondmilch* nella fase umida (wet). Scaglie e blocchi di *mondmilch* secco e polverulento risultano caoticamente accatastati in tratti localizzati della superficie pavimentale, spesso lungo i bordi delle pareti: non è chiaro se questi depositi siano naturali o correlabili all'attività di esplorazione della grotta e, quindi, di allargamento dei rami non facilmente percorribili.

Cristalli II

La situazione rispecchia quella già definita nel precedente paragrafo, con l'aggiunta della presenza di speleotemi del tipo dighe (nella forma di microgours) in tratti della copertura pavimentale, *anthoditi* in forma non così estensiva e massiccia come ai "Cristalli I" e *mondmilch* sporadico in fase dry.
La presenza di *microgours* è rappresentativa di una fase paleoambientale caratterizzata dalla presenza di acque a flusso basso-laminare.

Pozzo dell'Ade

Corrisponde alla parte più bassa della grotta ed è prevalentemente caratterizzata dalla presenza di un tappeto anthoditico parietale tipo *frostwork*, più o meno omogeneo, con cristalli aciculari di dimensione nettamente inferiore (ca.1 cm) rispetto ai "Cristalli I" e "II"; nonostante l'abito cristallino, non tutti gli elementi di questo tipo si sono rivelati essere costituiti da carbonato di calcio in fase aragonite: la presenza di calcite induce a ritenere che siano in corso fenomeni di paramorfosi.
La colorazione tendente al giallastro ed al giallo-rugginoso di vasti lembi di tappeto cristallino può essere attribuita ad ossidi derivati da infiltrazioni limo-argillose ben individuabili nella parte sommitale della cavità e non è comunque un fenomeno sconosciuto nella mineralogia delle aragoniti (ancor meno per la calcite). L'opacità e la torbidità dei cristalli sembra invece caratterizzare le paramorfosi a calcite rispetto all'originale aragonite.

La "polverizzazione" cui alcune aree del tappeto cristallino sono soggette riguarda sia i termini calcitici che quelli aragonitici e non è quindi relazionabile (e non avrebbe senso lo fosse) a trasformazioni tra le due fasi, quanto invece alla genesi di nuove fasi minerali costituenti il *mondmilch*: l'huntite e la magnesite; il fenomeno è però di entità così lieve da non essere rilevabile come speleotema a sé stante (in quest'area non è presente *mondmilch*) e viene quindi avvertito erroneamente come diretto prodotto di un qualche fattore di deterioramento dei cristalli stessi.
I cristalli aragonitici e calcitici interessanti l'area pavimentale sono talora organizzati in piccole strutture stalagmitiche del tipo *albero di natale*, alte non più di 5 cm (quindi ben diverse da quelle interessanti il ramo dei "Cristalli I" che superano i 30 cm) e formanti eterogenei tappeti cristallini; quelli che caratterizzano quest'area sono identici agli analoghi rilevati nei "Rami Nuovi" (al di sotto del "Ramo del Fascio" nella "Grotta della Basura").
Non vi sono forme anthoditiche del tipo *flos ferri*; risaltano invece, per quantità, gli speleotemi coralloidi del tipo *corallo s.s.* e del sottotipo *knobstone*; sono comunque presenti, in forma minore, le *coralloidi* tipo *popcorn* e le *globulariti*.
Tutte queste manifestazioni minerali risultano essere costituite da calcite ed emergono da precedenti coperture carbonatiche, *croste* pavimentali, *stalattiti, stalagmiti* e *colonne*; non si rilevano, lungo il percorso turistico e negli immediati dintorni, *stalattiti* del tipo *cannula* o del tipo *spatite*.
Sono invece presenti *coperture* pluristratificate e *shelfstone* del tipo *coke table*.
Sullo strato esterno di alcune *stalattiti, stalagmiti* e *flowstone* si evidenzia desquamazione e polverizzazione: il fenomeno interessa incipientemente aree limitate degli speleotemi e non è quindi riconducibile alla genesi di nuove fasi minerali, quanto all'azione di processi decarbonatanti di origine non immediatamente identificabile ma, abbastanza verosimilmente, batterica.

Pantheon

E' un'area del percorso turistico fortemente caratterizzata dalla presenza di diverse morfologie e fasi cristalline, costituente quindi buon termine di paragone rispetto a quanto rilevato nel ramo non turistizzato dei "Cristalli I".
Stalattiti, stalagmiti e *colonne* sono presenti in tutto il settore e, con l'eccezione di quelle di dimensione "monumentale", risultano spesso eclissate dalle formazioni successive; il fenomeno è particolarmente apprezzabile contro parete, dove alcune "finestre" tra gli agglomerati minerali permettono di vedere come la parete stessa sia costituita da intreccio e sovrapposizione di speleotemi successivi. Tra questi sono evidenti *stalattiti* (s.s. e tipo *cannula*) parzialmente ricoperte da *flowstone* e *coperture*; sul pavimento sono presenti *croste* e ristrette zone a *microgours*.
Sono altresì presenti, nel tratto che conduce verso "I Capitelli", *shields* di tipo *dischi s.s.*
Stalattiti, stalagmiti, coperture, croste e *flowstone* risultano estensivamente ricoperte da *coralloidi* del tipo *popcorn* di svariate dimensioni (da millimetrici a decimetrici) oltreché da *coralloidi* del tipo *grappolo* e *globularitico*, sia a composizione calcitica che aragonitica. Alcuni *popcorn* presentano strutture riconducibili a *cave blisters* ma non è chiaro se si tratti propriamente di questo speleotema o di successivi fenomeni di erosione selettiva (peraltro difficilmente inquadrabile) sugli stessi. Alla fase di concrezionamento coralloide ha fatto seguito la genesi di *anthoditi* aragonitiche e calcitiche, nella forma di *frostwork s.s.* e *di frostwork parietale*: quest'ultimo appare spesso di formazione recente e si può notare come i cristalli aciculari inizino la struttura anthoditica solo ed esclusivamente sulle sommità dei bulbi dei *popcorn*. Sembra esistere una correlazione tra fase minerale e substrato: le *anthoditi* aragonitiche tendono a formarsi sui *popcorn* aragonitici e non su quelli calcitici; ulteriori dati elaborati su base statistica potranno confermare il fenomeno che, su basi cristallografiche, appare molto credibile.
Le *anthoditi* tipo *frostwork s.s.*, similmente a quanto rilevato ai "Cristalli I" e "Cristalli II", prediligono spigoli e propaggini parietali; quindi, ricoprono spesso le *stalattiti* più esterne e le *stalagmiti*, che assumono conseguentemente una tipologia *ad albero di natale*: gli accrescimenti cristallini, però, manifestano morfologie e dimensioni tipiche del *frostwork parietale* e non raggiungono mai le dimensioni, la lucentezza e la bellezza delle tipologie rilevate nei rami non turistici.

Non sono presenti anthoditi tipo *flos ferri*; sono state invece rinvenute alcune *helictiti*, sia del tipo *eccentrica* che del tipo *beaded*; si tratta comunque di termini minoritari e l'unico elemento campionato ha rivelato composizione aragonitica.
Lo speleotema che più caratterizza il "Pantheon" è sicuramente il *mondmilch* in fase umida (wet); questi è presente talvolta nella forma di patine e colature che scendono per gravita giù dalle coperture parietali in densi rigagnoli, ma più generalmente nella forma di addensamenti plastici tra i cristalli aciculari delle aragoniti, in posizioni che comportano necessariamente un accrescimento diretto(foto 4).
La quasi totalità del *mondmilch* rinvenuto è del tipo wet, ma ne sono comunque presenti, sul pavimento costeggiante i bordi delle pareti,frammenti del tipo dry con morfologie superficiali da essiccamento *a crosta di pane*(foto 5).
Le aree in cui sono presenti i maggiori addensamenti di *mondmilch* corrispondono alla parte basale delle pareti dell'anfiteatro del "Pantheon", in direzione del "Pozzo dell'Ade", per un'altezza di non più di un metro (foto 1); in questa zona la morfologia parietale sembra indicare come gli speleotemi abbiano eclissato uno *shelfstone* del tipo *bordo s.s.* (indicatore della passata presenza di un lago).
L'analisi difrattogrammetrica del *mondmilch* ha indicato questi essere costituito da una miscela di carbonati di calcio e magnesio, in particolare da huntite (prevalente) e magnesite (minoritaria); non sono presenti nè calcite nè aragonite (fig. 1).

I Capitelli

L'area dei "Capitelli" presenta speleotemi e morfologie di notevole importanza nel quadro della comprensione del paleoambiente ipogeo e delle sue modificazioni.
Si rilevano *coperture* varicolori e *croste* pavimentali; la parte basale delle pareti è però caratterizzata da mantellature di tipo *mammellonare*, rappresentative di ambienti deposizionali sommersi.
Shelfstone del tipo *bordi* (su due livelli prossimali separati da *coralloidi* del tipo *popcorn*) sono presenti nel corridoio di accesso ai Capitelli dove, oltre ad un altro *bordo s.s.* (molto alto sulla parete) si rinviene (in prossimità del pavimento attuale) la tipologia *coke table*, presentante al suo interno depositi argillo-limosi dal potenziale non esplorato.
Lo speleotema *shelfstone* maggiormente caratterizzante l'area dei "Capitelli" è quello che, insieme alle stalattiti del tipo *lavabottiglie*, dà nome all'area stessa, ovvero la tipologia a *candeliere*; queste si sono generate a partire da strutture che, seppur spesso erroneamente definite "stalagmiti", sono in realtà *rafts* di tipo *coni*, ovvero speleotemi subacquei.
Le superfici dei *coni* e quelle degli *shelfstone* che risultavano sommerse sono coperte da *coralloidi* del tipo *clusteriti, botroidi* e *grapefruit*. Al di sopra di queste strutture, talvolta ulteriormente caratterizzate da *coperture* (tra le quali la tipologia *aerosol sinter*) e *croste*, si sono insediati *coralloidi* di ambiente subaereo quali *popcorn, grappoli, globulariti* e *coralli s.s.* Come precedentemente accennato, una copertura di *popcorn* è a tetto del livello più basso dello *shelfstone* tipo *bordo s.s.*, ma risulta immediatamente eclissata da un successivo *shelfstone* dello stesso tipo: questa piccola sequenza è rappresentativa di una fase concrezionante con acque a pelo libero seguita da una fase deposizionale secca, nuovamente eclissata da una successiva fase concrezionante con acque a pelo libero a livello leggermente superiore a quello precedente.
La sommità dei *coni* presenta talora *vaschette d'erosione* derivanti dallo stillicidio di acque "inacidite".
Una formazione lineare inclinata ed interessante una zona della parete apparentemente priva di discontinuità morfologiche può essere attribuita ad un *bordo s.s.* di genesi eolica ipogea (d.d.p.). Non vi è traccia alcuna di *mondmilch* e non sono evidenti speleotemi di altra tipologia.

Tanone

Il "Tanone" non presenta alcuno speleotema (neppure *coperture* e/o *croste*) fatta eccezione per pochissime *stalattiti* e *stalagmiti* quasi completamente consunte dalla presumibile azione corrosiva delle acque di condensa endocarsica.

MAPPATURA MORFOSCOPICA PER CARATTERIZZAZIONE PALEOAMBIENTALE ENDOGENA

In alcuni ambienti di "Santa Lucia Inferiore" sono presenti *anthoditi* e *coralloidi* isorientate accresciutesi su *coperture, croste, stalattiti, stalagmiti* e *colonne.* In ragione dei più recenti studi relativi alla genesi di questi elementi cristallini si è provveduto all'esecuzione di una mappatura della loro direzione di accrescimento preferenziale, essendo questa in stretta relazione con il paleosistema di circolazione d'aria della cavità (COLLIGNON, 1988).
Tra gli speleotemi il cui sviluppo è strettamente legato al trasporto dei germi di accrescimento in seno alle correnti d'aria abbiamo le *anthoditi* di tipo *frostwork*, le *coperture* di tipo *aerosol sinter* ed i *bordi s.s.* Per altri speleotemi la direzionalità è invece semplicemente influenzata dalle correnti d'aria: *stalattiti a pipa* e *coralloidi tipo popcorn, grappoli, globulariti* e *coralli* (in questi ultimi può esservi una sinergia tra accrescimento per acque di infiltrazione, pellicole superficiali, vettore vento e trasporto dei germi cristallini nella corrente d'aria). In particolare, lo sviluppo delle *anthoditi frostwork* aragonitiche, diversamente dalle eccentriche, è caratteristico delle gallerie fortemente aerate ed il loro modello genetico è stato ben esplicato, dal punto di vista chimico-fisico, per i domini dolomitici (ROQUES, 1965).
In "Santa Lucia Inferiore" risalta altresì la presenza di numerosi speleotemi caratteristici di ambienti di acque a pelo libero (*stalattiti* di tipo *lavabottiglie, shelfstone di tipo bordi s.s.* e/o *candeliere* e/o *coke table, dighe s.s.* o *di tipo microgours*) e di ambienti sommersi (*rafts* di tipo *coni, coralloidi* di tipo *coralli* sottotipo *knobstone* e/o di tipo *clusteriti, botroidi* e *grapefruit, coperture* e *croste* di tipo *mammellonare*) rappresentativi di quei paleoambienti in cui l'evaporazione delle soluzioni acquose dei laghi sotterranei conduceva alla formazione di salamoie essenziali alla genesi delle mineralogie rinvenute, in particolare delle aragoniti (ROQUES, 1965).

Morfoscopia degli speleotemi di Santa Lucia Inferiore

Cristalli I

Morfoscopia deglia speleotemi di Santa Lucia Inferiore: Cristalli I

Speleotema	Ambiente di formazione	direzionalità
Coperture s.s.	subaereo (pellicole idriche superficiali, p.w.s.)	assente
Croste s.s.	subaereo (disseccamento)	assente
Croste convolute	subaereo (gravita e disseccamento)	assente
Stalattiti cannula/spatite	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalattiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalattiti bulbose	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalattiti a salsiccia	subaereo (gocciolamento + p.w.s.)	caotica
Stalattiti a pipa	subaereo (gocciolamento deviato)	verso Pozzo dell'Ade
Stalagmiti albero di natale	subaereo	assente
Colonne s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Anthoditi frostwork s.s.	subaereo (condensa endogena + corr. d'aria)	caotica
Anthoditi frostwork orientato	subaereo (corrente d'aria)	verso Pozzo dell'Ade
Anthoditi flos ferri	subaereo (infiltrazione)	assente
Coralloidi popcorn s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi popcorn orientato	subaereo (p.w.s., corrente d'aria)	verso Pozzo dell'Ade
Corraloidi grappoli s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi globulariti s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Mondmilch	subaereo (condensa, p.w.s., correnti d'aria?)	assente
Cave blisters s.s.	subaereo (infiltrazione)	assente
Boxworks s.s.	subaereo (erosione selettiva)	assente

Da quanto descritto si può apprezzare come nel ramo dei "Cristalli I" siano unicamente presenti speleotemi di ambiente subaereo e come, tra questi, ve ne siano tre che costituiscono un chiaro indicatore della direzionalità di paleocorrenti d'aria: *stalattiti* deviate (*a pipa*), *anthoditi frostwork* e *coralloidi popcorn* orientati. Le *stalattiti a pipa* hanno il corpo principale con direzione concorde all'asse longitudinale del ramo ipogeo ed indicano un flusso d'aria "ad uscire" dal ramo, ovvero verso il "Pozzo dell'Ade". Considerando che il collegamento tra il ramo principale di "Santa Lucia Inferiore" ed i "Cristalli I" è stato prevalentemente scavato mediante la realizzazione di un tunnel intersecante ambienti di piccole dimensioni, si può ipotizzare che questa forte corrente d'aria fluisse non orizzontalmente, bensì, con una forte componente verticale, verso un ambiente soggiacente all'attuale ramo dei "Cristalli I", attraverso una diaclasi ora eclissata da coperture detritiche e da argille residuali. Le *anthoditi frostwork* presentano spiccata direzionalità, ma con verso contrastante; da un lato troviamo infatti delle formazioni con verso di accrescimento opposto a quello delle *stalattiti a pipa*, fenomeno che indica un consistente flusso di aria (trasportante un aerosol ricco di germi cristallini) "entrante nel" ramo dei "Cristalli I", ovvero proveniente dall'area dei bacini idrici interni alla grotta di "Santa Lucia Inferiore"; dall'altro lato troviamo *anthoditi* aragonitiche "recenti" sviluppatesi assecondando un flusso di aria fuoriuscente dal ramo dei "Cristalli I", quindi concordi allo sviluppo delle *stalattiti a pipa*; considerando che queste ultime formazioni sono completamente ricoperte da *coralloidi popcorn* ed *anthoditi frostwork*, si può anche ipotizzare che il loro corpo sia totalmente costituito da questi due speleotemi dalla spiccata direzionalità, ovvero che non si tratti, in realtà, di *stalattiti a pipa*: in questo caso il loro verso di accrescimento sarebbe concorde a quello dei *frostwork* più antichi e compatibile con una corrente d'aria fluente nel ramo dei "Cristalli I" dal corpo principale della cavità; non è possibile risolvere questo problema senza campionare (cioè distruggere) una *stalattite a pipa*, operazione che non risulta compatibile con la necessità di preservare questi importanti speleotemi. Per i *coralloidi* tipo *popcorn* (su cui si sono spesso accresciute le *anthoditi frostwork*) si notano concentrazioni rappresentative di flussi d'aria con direzionalità concorde a quella dei *frostwork* descritti. Ne consegue che sono documentate almeno due paleocorrenti d'aria e che in tempi relativamente recenti si è avuta l'inversione del flusso: la più antica fluiva "per" il ramo dei "Cristalli I" e la più recente fluiva "dal" ramo dei "Cristalli I"; quest'ultima è forse ancora latentemente attiva e può essere responsabile delle più recenti formazioni di *mondmilch* nel ramo dei "Cristalli I".

Cristalli II

Valgono le stesse considerazioni espresse nel precedente paragrafo, con l'unica variante dell'assenza delle *stalattiti a pipa*; la direzionalità delle *anthoditi* tipo *frostwork* e dei *coralloidi* tipo *popcorn* è compatibile con un flusso d'aria fuoriuscente dal ramo dei "Cristalli II", cioè fluente verso il corpo principale della grotta.

Pozzo dell'Ade

Morfoscopia deglia speleotemi: Pozzo dell'Ade

Speleotema	Ambiente di formazione	direzionalità
Coperture s.s.	subaereo (pellicole idriche superficiali = p.w.s.)	assente
Croste s.s.	subaereo (disseccamento)	assente
Stalattiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalagmiti albero di natale	subaereo	assente
Colonne s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Drappeggi s.s.	subaereo (gocciolamento e p.w.s.)	assente
Anthoditi frostwork parietali	subaereo (condensa endogena + corr. d'aria)	caotica
Coralloidi popcorn s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi grappoli s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi globulariti s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi coralli (knobstone?)	subacqueo?	assente
Shelfstone bordi coke table	subaereo (acque a pelo libero)	assente
Mondmilch?	subaereo (condensa, p.w.s., correnti d'aria?)	assente

La quasi totalità degli speleotemi rispecchia un paleoambiente subaereo, con l'eccezione dei *coralloidi* tipo *coralli* sottotipo *knobstone* che potrebbero testimoniare una condizione subacquea: la loro determinazione è in realtà problematica in quanto le variazioni tra i sottotipi *coralli s.s.* e *coralli knobstone* non sono sempre così chiare, anche in ragione della possibile sovrapposizione di fasi erosive dovute ad acque di condensa endocarsica.
Risultano assenti gli speleotemi indicatori di direzionalità delle paleocorrenti d'aria, per quanto le *anthoditi* generanti *frostwork* a tappeto cristallino rispecchino nella loro caoticità condizioni di flusso d'aria parietale turbolento. Si può quindi immaginare l'esistenza di una paleocorrente d'aria ricca di germi cristallini (proveniente quindi da zone caratterizzate dalla presenza di salamoie) che lambiva le pareti del "Pozzo dell'Ade": questi avrà funzionato come trappola fredda in estate e come trappola calda (o come area occlusa) in inverno; condizioni analoghe sono state rilevate sulle pareti dei "Rami Nuovi".

Pantheon

Morfoscopia deglia speleotemi: Pantheon

Speleotema	Ambiente di formazione	direzionalità
Coperture s.s.	subaereo (pellicole idriche superficiali = p.w.s.)	assente
Croste s.s.	subaereo (disseccamento)	assente
Dighe microgours	subaereo (p.w.s.)	assente
Flowstone sheeting s.s.	subaereo (p.w.s.)	assente
Stalattiti cannula	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalattiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalagmiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalagmiti albero di natale	subaereo	assente
Colonne s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Drappeggi s.s.	subaereo (gocciolamento e p.w.s.)	assente
Anthoditi frostwork s.s.	subaereo (condensa endogena + corr. d'aria)	caotica
Anthoditi frostwork parietale	subaereo (condensa endogena + corr. d'aria)	parietale
Coralloidi popcorn s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi grappoli s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi globulariti s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Cave blisters s.s.	subaereo (infiltrazione)	assente
Helictiti eccentrica s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	caotica
Helictiti beaded s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	caotica
Shelfstone bordi s.s.	subaereo (acque a pelo libero)	assente
Mondmilch?	subaereo (condensa, p.w.s., correnti d'aria?)	assente

Il "Pantheon" rispecchia, per certi aspetti, condizioni comparabili a quelle dei "Cristalli I" e costituisce un buon termine di riferimento nel tentativo di determinare l'impatto antropico sugli speleotemi della grotta.
Anche nel "Pantheon" sono esclusivamente presenti formazioni di genesi subaerea ma, diversamente dai "Cristalli I", non sono spiccatamente evidenti condizioni di direzionalità nella paleocorrente d'aria, per quanto esistano *anthoditi* tipo *frostwork* abbastanza ben sviluppate (senza giungere però alle dimensioni rilevate nei "Cristalli I").
L'assenza di direzionalitè può essere imputata alla vastità dell'area e quindi alla mancanza delle condizioni (specifiche differenze di pressione) necessarie affinché il flusso preferenziale si verifichi. La situazione rispecchia quindi, almeno nelle linee generali, quella descritta nel precedente paragrafo: sono infatti evidenti le condizioni di flusso parietale turbolento (tappeto di cristalli caotico) che riconducono ad una paleocorrente d'aria proveniente dall'alto (specie in estate) e fluente poi verso il "Pozzo dell'Ade".
Il "Pantheon" avrà quindi funzionato da trappola fredda e questa situazione dà ora ragione della presenza del *mondmilch* proprio sulle pareti dell'anello basale del "Pantheon" stesso, cioè in corrispondenza degli accrescimenti aciculari delle *anthoditi* aragonitiche (già corrispondenti agli accrescimenti direzionali dei *popcorn* e delle altre *coralloidi*).

I Capitelli

Morfoscopia deglia speleotemi: Capitelli		
Speleotema	Ambiente di formazione	direzionalità
Coperture s.s.	subaereo (pellicole idriche superficiali = p.w.s.)	assente
Coperture sinter	subaereo (corrente d'aria)	dal Tanone
Coperture mammellonari	subacqueo (zona sommersa)	assente
Croste s.s.	subaereo (disseccamento)	assente
Bordi s.s.	subaereo (corrente d'aria laminare)	indeterminabile
Stalattiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalattiti lavabottiglie	subaereo (acque a pelo libero)	assente
Stalagmiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Colonne s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Rafts coni s.s.	subacqueo (deposizione in zona sommersa)	assente
Coralloidi popcorn s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi grappoli s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi globulariti s.s.	subaereo (condensa endogena, p.w.s.)	assente
Coralloidi coralli s.s.	subaereo (condensa endogena, aria)	caotica
Coralloidi clusteriti s.s.	subacqueo (infiltrazione in zona sommersa)	assente
Coralloidi botroidi s.s.	subacqueo (infiltrazione in zona sommersa)	assente
Coralloidi grapefruit s.s.	subacqueo (infiltrazione in zona sommersa)	assente
Shelfstone bordi s.s.	subaereo (acque a pelo libero)	assente
Shelfstone bordi candeliere	subaereo (acque a pelo libero)	assente
Shelfstone bordi coke table	subaereo (acque a pelo libero)	assente

L'area dei "Capitelli" presenta speleotemi spiccatamente caratterizzanti ambienti sommersi e di acque fluenti a pelo libero e di laghi sotterranei.
Sono altresì presenti indicatori di correnti d'aria, anche direzionali: al di sopra dei *rafts* tipo coni s.s. sono presenti accrescimenti asimmetrici di *coralloidi* tipo *popcorn* e di tipo *coralli s.s.*, chiari indicatori di un flusso d'aria fluente dal "Tanone" verso il "Pantheon".
A conferma di questo fatto si ritrovano sottili coperture asimmetriche tipo *aerosol sinter* sui *coni* stessi e sulle coperture mammellonari, nonché un *bordo s.s.* inclinato di 45^ sulla parete del corridoio di accesso al "Pantheon", rappresentativo della fascia di transizione tra flusso d'aria in regime laminare e regime turbolento.
Ne consegue che nell'area dei "Capitelli" è possibile individuare due paleoambienti nettamente differenziati: uno, a più cicli, riconducibile a condizioni vadose (zone sommerse, quindi acque correnti a pelo libero ed infine bacino chiuso) ed un altro, successivo al prosciugamento del lago sotterraneo, caratterizzato da corrente d'aria fluente verso il "Pantheon" e trasportante germi cristallini responsabili degli accrescimenti differenziati delle coralloidi e della deposizione di *bordi s.s.* e dell'*aerosol sinter*.
La stessa corrente d'aria, arricchitasi localmente dalle salamoie residue, è forse responsabile dell'accrescimento delle anthoditi del "Pantheon" e del "Pozzo dell'Ade".

Tanone

Morfoscopia deglia speleotemi: Tanone		
Speleotema	Ambiente di formazione	direzionalità
Stalattiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente
Stalagmiti s.s.	subaereo (gocciolamento)	assente

Il "Tanone" è completamente depauperato da qualsiasi speleotema e presenta direttamente le nude pareti dolomitiche interne, con rare *stalattiti* e *stalagmiti* residue.

In prossimità del pavimento, per un'altezza variabile tra i 5 ed i 25 cm, si ha spesso uno strato di inversione termica che può anche generare delle suggestive nebbie; nel caso in cui mancasse la porta "blindata" che dà accesso alla parte interna della grotta (a partire dall'ingresso alla zona dei "Capitelli"), quindi, una massa di aria fredda si riverserebbe al suo interno in estate, innescando le correnti precedentemente descritte (a prescindere dall'assenza di bacini acquiferi).

Ricostruzione della paleocircolazione dell'aria

Da quanto precedentemente descritto è possibile ricostruire indicativamente il sistema circolatorio dell'aria che ha interessato la cavità nel passato (fig. 3).
La morfologia degli speleotemi e le loro particolari forme-guida indicano come l'area dei "Capitelli" fosse inizialmente caratterizzata da un bacino idrico e successivamente soggetta ad un flusso di aria procedente verso l'interno, in direzione del "Pantheon"; questo flusso può essere stato innescato da una differenza di pressione generata dallo svuotamento delle acque del bacino, in ragione del naturale abbassamento del livello di falda e del ringiovanimento carsico.
Il flusso d'aria era abbastanza consistente da lambire le pareti in regime laminare, avere transizione a regime turbolento e fluire, in queste condizioni, giù per le pareti del "Pantheon" verso il "Pozzo dell'Ade": entrambe la aree sono quindi caratterizzate da tipici tappeti cristallini parietali.
La genesi delle aragoniti può quindi essere riconducibile, in queste condizioni, al trasporto di germi cristallini dalle salamoie dell'area dei "Capitelli", ove il rapporto Mg/Ca, a seguito della continua evaporazione favorita dalla corrente d'aria, raggiungeva livelli compatibili con la deposizione dell'aragonite al posto della calcite.
Il "Pozzo dell'Ade" corrisponde presumibilmente ad un punto di accesso ai livelli inferiori del sistema carsico, dalla cui occlusione risulta conseguentemente bloccata anche la circolazione atmosferica ipogea.
Dai "Cristalli II" l'aria fluiva verso il "Pozzo dell'Ade" e valgono quindi le stesse considerazioni già espresse per il ramo principale della grotta.
La situazione ai "Cristalli I" risulta invece più complessa in ragione dell'inversione della circolazione dell'aria; il "motore principale" di questa, evidentemente, era ancora il "Pozzo dell'Ade", ma la quantità di aragonite presente richiede di postulare l'esistenza di bacini idrici sotterranei (e quindi di salamoie) attualmente non conosciuti; la direzionalitè dei flussi d'aria, peraltro, richiede pure l'esistenza di un altro ingresso alla cavità, o quantomeno di un collegamento diretto di questa con "Santa Lucia Superiore".

STUDIO CHIMICO-FISICO, MINERALOGICO E PETROGRAFICO DEGLI SPELEOTEMI DELLA GROTTA DI "SANTA LUCIA INFERIORE", CON SPECIFICO RIFERIMENTO ALLA STABILITA' DELLE FASI "CALCITE - ARAGONITE" DELLE MINERALIZZAZIONI A CARBONATO DI CALCIO

In base ai dati dei monitoraggi preliminari della grotta (eseguiti nel 1993 e nel 1994) ed a valutazioni immediate di condizioni di presumibile deterioramento (sfarinamenti, ingiallimenti, desquamazioni), sono state definite tre aree da cui prelevare i campioni: il "Ramo dei Cristalli" (non turistico), il "Pozzo dell'Ade" (turistico - adiacente al percorso) ed il "Pantheon" (turistico - lontano dal percorso).
Si ritiene che questi punti, per ricchezza e varietà di esemplari, costituiscano le maggiori e più belle concentrazioni di *anthoditi* e *coralloidi* di tutta la grotta; le loro posizioni rispetto al passaggio dei turisti li rendevano idonei a confronti incrociati e valutazioni di impatto ambientale.

Campionamento delle forme minerali e risultati delle analisi

Seguendo un approccio di minimo impatto ambientale, finalizzato alla preservazione delle testimonianze naturali custodite nella grotta, sono stati prelevati un totale di 39 campioni di speleotemi, non impiegati ad esaurimento per le analisi; sono state infatti eseguite complessivamente 40 analisi chimi-

co-fisiche e mineralogiche su 32 campioni; i prelievi di codice TOIR94C01a, TOIR97A05b, TOIR97C02, TOIR98A14b e TOIR98C02 (*mondmilch* tipo wet), TOIR97C01, TOIR98A05a, TOIR98A06, TOIR98A07, TOIR98A08 e TOIR98A09 (*mondmilch* tipo dry), TOIR97B02b e TOIR98B02b (*mondmilch* tipo dust) riguardano la stessa tipologia, la cui caratterizzazione chimica è inadeguata e la cui determinazione per via ottica è impossibile; per questo motivo si è provveduto all'analisi per difrattogrammetria-X, che ha permesso di individuare le fasi minerali huntite (predominante) e magnesite (fig. 1).

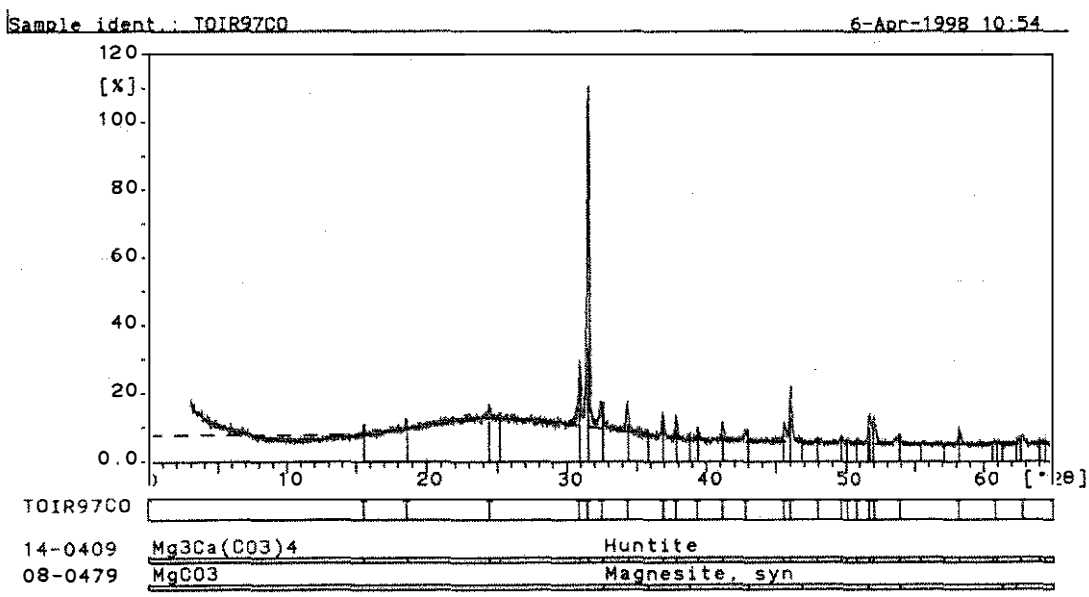


Fig. 1 - Fasi minerali costituenti il mondmilch della grotta di Santa Lucia Inferiore, Toirano (Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Università degli Studi di Genova).

SIGNIFICATIVITA' AMBIENTALE E PALEOAMBIENTALE DEGLI SPELEOTEMI E DELLE FASI MINERALI RILEVATE A SANTA LUCIA INFERIORE

Gli speleotemi ed i minerali individuati in "Santa Lucia Inferiore" sono interpretabili in relazione alla dinamica ambientale di questo dominio ipogeo ed alla sua evoluzione trascorsa.

E' ben noto come i meccanismi tramite il quale i minerali carbonati vengono dissolti, trasportati e depositati dalle acquee sotterranee siano compresi nell'evoluzione chimica delle acque carsiche, suddivisa negli stadi (HOLLAND, 1964): carbonatazione (del suolo); dissoluzione (del carbonato di calcio); equilibrio (con l'ambiente ipogeo). Viceversa, lo scambio di anidride carbonica è il meccanismo dominante della deposizione dei carbonati nella maggior parte degli ipogei.

Anche l'evaporazione delle soluzioni acquose sotterranee può causare supersaturazione e deposizione del soluto: dato che nelle grotte l'umidità è molto alta (approssimandosi al 100 %) si tratta in genere di un meccanismo di importanza minore rispetto al rilascio di CO_2; fanno eccezione le grotte in climi freddi e aridi.

Nelle grotte alpine (per esempio alla "Castelguard Cave") l'evaporazione può essere alta nelle zone in cui l'input di acque vadose non è sufficiente a compensare l'asciugamento prodotto dall'aria fredda entrante nel sistema: questo modello può essere significativo anche per "Santa Lucia Inferiore", specie a seguito dell'approfondimento della falda conseguente, da un lato, all'evoluzione naturale del sistema e, dall'altro lato, all'attività di esplorazione finalizzata alla turistizzazione della grotta (svuotamento del bacino dell' "Antro di Cibele").

I polimorfi del carbonato di calcio e le aragoniti di "Santa Lucia Inferiore": considerazioni

Tra i polimorfi del carbonato di calcio (calcite, aragonite e vaterite) mentre la presenza in grotta della calcite non ha mai destato particolari domande (essendo caratterizzata da condizioni termodinamiche perfettamente compatibili con gli ambienti relativi alla superficie terrestre), l'occorrenza dell'aragonite è stata per molto tempo un puzzle e certi suoi aspetti sembrano non essere ancora del tutto chiari.
L'aragonite delle grotte cristallizza tipicamente in abito aciculare e la calcite nelle forme romboedriche o a "dente di cane". E' ben noto che l'aragonite, essendo una struttura di più alta energia rispetto alla calcite, è metastabile e, con il passare del tempo tende a riorganizzarsi nella forma di minima energia, cambiando quindi la sua struttura cristallina in quella della calcite stessa: la velocità di trasformazione è estremamente bassa e si velocizza solo alla temperatura di circa 550K-600K, termini ovviamente non interessanti gli ambienti carsici.
La trasformazione, inoltre, avviene di norma mantenendo l'abito aciculare dell'aragonite, assecondando così un tipico fenomeno naturale noto come *paramorfosi*.
La temperatura e la pressione tipiche degli ambienti ipogei cadono completamente al di fuori dal campo di stabilità dell'aragonite e ben all'interno, invece, del campo di stabilità della calcite.
Inoltre, l'aragonite è del 16 % più solubile della calcite (alla temperatura ed alla pressione ambiente) quindi teoricamente la calcite dovrebbe precipitare sempre prima dell'aragonite, ma i fatti contraddicono questi dati: l'aragonite si forma frequentemente nelle grotte, anche in quelle di alta quota, dove la temperatura dell'atmosfera ipogea può raggiunge lo zero.
La letteratura sull'argomento è molto consistente e si rilevano le seguenti costanti nella presenza delle aragoniti in grotta:

- quando è presente, lo è prevalentemente nelle cavità di origine più recente;
- quando è presente in cavità di origine antica, è quasi sempre il prodotto di processi minerogenetici esplicatisi in fasi piuttosto recenti dell' evoluzione della cavità stessa;
- vi sono stalattiti con nucleo aragonitico e shell esterno calcitico;
- vi sono fenomeni di paramorfosi (calcite ad abito aragonitico).

Da quanto espresso sembrerebbe di poter concludere che nelle cavità più antiche l'aragonite si dovrebbe essere trasformata tutta (o quasi tutta) in calcite e che questa sia la progressione naturale del fenomeno.
La formazione di aragonite anziché di calcite primaria per precipitazione diretta da una soluzione incrostante e concrezionante di carbonato di calcio in acqua è un problema molto dibattuto e viene considerato come il prodotto di diversi fattori influenzanti la stabilità e l'equilibrio delle due fasi polimorfe.
La presenza di cationi bivalenti Mg^{2+} (magnesio) nella soluzione è generalmente accettato come il primo fattore influenzante la deposizione dell'aragonite in preferenza a quella della calcite: la loro presenza in una soluzione soprassatura rispetto alle soglie di soprassaturazione della calcite e dell'aragonite favoriscono la precipitazione della fase aragonite. Questo è stato dimostrato da molti ricercatori in grotte dell'Australia, dell'Austria, della Francia, del Giappone, del Sud Africa e degli Stati Uniti e riveste quindi notevole interesse relativamente alla "Grotta di Santa Lucia Inferiore" e di tutte le altre grotte che si aprono nella formazione delle "Dolomie di San Pietro ai Monti", ovvero in un *carbonato doppio di calcio e magnesio*; ciò non spiegherebbe l'assenza di mineralizzazioni aragonitiche in altre grotte aprentisi nel medesimo litotipo.
Ne consegue che la carsificazione delle dolomie può essere condizione necessaria ma non sufficiente alla genesi di manifestazioni aragonitiche nelle grotte.
Quando il rapporto Mg/Ca (ioni magnesio/ioni calcio) giunge circa a 2.9, l'aragonite è il principale minerale carbonato di calcio che precipita e, quando il rapporto giunge a 4.4, l'aragonite è l'unico minerale carbonato di calcio che si forma. L'evaporazione (più che il rilascio di anidride carbonica) ha un grande effetto su questo fattore; con l'evaporazione, infatti, c'è un forte e rapido aumento nel rapporto Mg/Ca e questo incremento causa la precipitazione sequenziale di calcite, calcite-magnesiaca, aragonite e quindi dei minerali carbonati magnesiaci, quali l'huntite e l'idromagnesite.
Ne consegue che un elevato valore del rapporto ionico Mg/Ca nella soluzione acquosa è condizione necessaria e sufficiente alla genesi di manifestazioni aragonitiche nelle grotte.

E' stato a lungo un enigma la comprensione di come lo ione magnesio, che è escluso dalla struttura cristallina dell'aragonite, possa agire per promuovere l'accrescimento dell'aragonite stessa: un ipotesi è che lo ione magnesio inquini ed impedisca l'accrescimento cristallino della calcite, permettendo al livello di supersaturazione della soluzione di crescere fino al punto in cui l'aragonite può precipitare direttamente. Se l'accrescimento della calcite è inibito, l'aragonite può nucleare e crescere abbastanza facilmente allorché viene raggiunto il necessario livello di supersaturazione.
Il grado di supersaturazione della soluzione e la rapidità del rilascio dell'anidride carbonica, dopo il magnesio, è il fattore probabilmente più influenzante la precipitazione dell'aragonite e la velocità di precipitazione: essendo l'aragonite più solubile della calcite, si può pensare che da una soluzione che ha raggiunto la soglia della soprassaturazione della calcite deve precipitare carbonato di calcio e cristallizzare (prima) la calcite; allorché si raggiunge un valore di soprassaturazione coincidente con la soglia di precipitazione della aragonite, smette di cristallizzare la calcite; precipita carbonato di calcio ma cristallizza aragonite. In realtà accade che condizioni secche promuovono rapidi rilasci dell'anidride carbonica e supersaturazione: questi fattori possono influenzare fortemente la cinetica della nucleazione e l'abito dei cristalli in accrescimento; condizioni secche causano anche un aumento nella velocità di evaporazione e quindi incrementano il rapporto Mg/Ca promuovendo la precipitazione dell'aragonite.
La temperatura è un fattore particolarmente discusso e diversamente considerato: in base a studi effettuati su depositi naturali si è spesso ritenuto che la formazione dell'aragonite sia favorita (o quantomeno condizionata) da temperature relativamente più elevate; siccome l'aragonite è un polimorfo d'alta temperatura del carbonato di calcio (l'altro è la vaterite) nel 1956 Moore propose che la sua presenza in grotte attualmente fredde fosse indicatore di passati climi caldi in quelle regioni, e quindi che l'aragonite fosse un indicatore paleoclimatico molto preciso. Sulla base di questa idea e sulla distribuzione delle grotte con aragonite negli Stati Uniti centrali ed occidentali fu anche costruita un'isoterma relativa alla temperatura al suolo di 15.6 è C, a Nord della quale dovrebbe essere stabile la calcite ed a Sud della quale dovrebbe essere stabile l'aragonite. Quest'ipotesi è stata probabilmente superata dai dati raccolti negli ultimi 42 anni, dai quali si è ottenuto una migliore descrizione della distribuzione dell'aragonite nelle grotte. L'aragonite è stata trovata in accrescimento in grotte molto fredde quali la "Groaning Cave" e la "Timpanagos Cave" degli Stati Uniti, nonché nella grotta "Erzberg" in Austria. Inoltre, non sembra esserci quella grande abbondanza di aragonite che invece ci si aspetterebbe nelle grotte tropicali, quali quelle Giamaicane, dello Yucatan o del Messico; al contrario, calcite massiva e travertino sembrano la norma per le grotte in climi caldi. Se ne può concludere che la temperatura non è un fattore di controllo nella precipitazione dell'aragonite; questo ha importanti conseguenze anche per la grotta di "Santa Lucia Inferiore", dove alcuni ricercatori avrebbero voluto vedere nella genesi dei *frostwork* aragonitici l'imprinting di climi tropicali o di condizioni endogene di alta temperatura (dovute a cosa?).
In uno studio petrografico degli speleotemi di grotte del Missouri è stato dimostrato (HILL-FORTI, 1986) come l'accrescimento degli strati aragonitici sia facilitato dalla presenza di particelle clastiche e superfici di corrosione negli speleotemi.
La composizione del substrato, infine, è un importante fattore di controllo sulla deposizione dell'aragonite o della calcite (MURRAY, 1954) e questo ha importanti conseguenze anche a "Santa Lucia Inferiore", ove (specie ai "Cristalli I") il definitivo passaggio tra deposizioni carbonatiche calcitiche ed aragonitiche è sottolineato da consistenti livelli detritici e da argille residuali.

Occorrenza e significato di altri minerali carbonati

I carbonati di magnesio ed i carbonati di calcio e magnesio, dolomite, huntite, idromagnesite e magnesite, si presentano in grotta nella forma di polvere biancastra a granulometria estremamente fine.
Questi minerali sono derivati dalla dissoluzione delle rocce dolomitiche e la loro deposizione è influenzata sia dall'evaporazione che dal rilascio dell'anidride carbonica.

Il campo di stabilità della dolomite vede le specie minerali incrementarsi assecondando il rilascio di anidride carbonica ed il tasso di evaporazione: questo è in perfetto accordo con quanto si è potuto rilevare a "Santa Lucia Inferiore", sia per gli aspetti termodinamici caratterizzanti attualmente l'ipogeo, sia per quanto è relativo alle "stratigrafie morfologiche" degli speleotemi ed alle sequanze minerali.
Allorché le acque di percolazione entrano nell'ambiente ipogeo, rilasciano CO_2 e dalla soluzione viene a precipitare calcite; ne consegue che gli ioni magnesio si incrementano relativamente agli ioni calcio. Con ciò comincia a precipitare anche calcite con alta concentrazione di magnesio (calcite magnesiaca, o Mg-calcite), quindi aragonite, poi huntite ed infine idromagnesite e magnesite, divenendo gli ioni magnesio via e via più concentrati nella soluzione residua allorché la precipitazione prosegue (si è formata una "salamoia"). Quando il rapporto Mg/Ca della salamoia raggiunge il valore di 2.9, l'aragonite è il principale minerale carbonato di calcio a precipitare; quando il rapporto Mg/Ca raggiunge il valore di 4.4 l'aragonite è l'unica fase minerale a precipitare (FISCHBECK, 1971).
Ad Eibengrotte (Germania) la sequenza deposizionale riportata è: calcite, Mg-calcite, aragonite, monoidrocalcite, idromagnesite e nesquehonite (HILL-FORTI, 1986).
A Pestera Fagului (Romania) la sequenza è: calcite, aragonite, huntite e idromagnesite (DIACONU, 1977).
Nelle grotte della Guadalupe Mountains (New Mexico) la sequenza è: calcite, aragonite, idromagnesite (HILL-FORTI, 1986).
Anche piccole variazioni nell'entità dell'evaporazione possono causare trasformazioni nella mineralogia: per esempio, il calore prodotto da una lampadina nelle Grotte di Castellana (Bari) è stato sufficiente affinché nelle vicinanze si depositasse aragonite invece che calcite (FORTI, 1980).
E' opinione diffusa e confermata dai dati di "Santa Lucia Inferiore" che l'huntite può depositarsi (non come minerale di sostituzione) in un ambiente in cui l'evaporazione ha favorito la formazione di salamoie caratterizzate da un elevato rapporto Mg/Ca (KINSMAN, 1967); l'idromagnesite e la magnesite, poi, sono i prodotti finali dell'evaporazione in una sequenza minerale ricca di magnesio.
Alla temperatura di una grotta tipica (tra i 10^C ed i 15^C) l'idromagnesite è la fase minerale stabile per alti valori del rapporto Mg/Ca finché, per una qualsiasi ragione, la pressione parziale di CO_2 è molto alta, dopodiché diviene stabile la nesquehonite; si è speculato che siano necessari rapporti Mg/Ca maggiori di 16 prima che l'idromagnesite possa precipitare.

Sequenza deposizionale e matrix degli accrescimenti

Da quanto descritto nei precedenti paragrafi è possibile desumere una precisa sequenza stratigrafica nell'accrescimento e nella deposizione degli speleotemi, sia per quanto riguarda la loro tipologia morfologica che per la loro mineralogia; la validità della prima è estensibile a tutta la grotta, mentre la seconda si differenzia a seconda che si abbia a che fare con gli ambienti più interni e profondi di "Santa Lucia Inferiore" ("Cristalli" e "Pozzo dell'Ade") o quelli più esterni ("Capitelli" e "Tanone").
Sulla dolomia costituente le pareti originarie della cavità troviamo *coperture* carbonatiche e *croste* seguite da *dripstones* tipo *cannule, stalattiti, stalagmiti, drappeggi e flowstones*; su questi ultimi speleotemi troviamo le *coralloidi* tipo *popcorn* e sui *popcorn* le *anthoditi* tipo *frostwork*; le *anthoditi* tipo *flos ferri,* le *helictiti* e le coralloidi tipo *corallo s.s.* e *knobstone* emergono sempre e solo da coperture e *flowstones*, mai da altri speleotemi.
Shelftone, dighe, coperture mammellonari e *rafts* non risultano mai essere sede di ulteriori mineralizzazioni. Il *mondmilch* wet segue sempre e solo le *anthoditi frostwork*, quello dry risulta presente (spesso come deposito non primario) in aree ad alta concentrazione di anthoditi (e talvolta le ingloba); il *mondmilch dust* è moderatamente presente sui coralloidi.
La stratigrafia morfologica qui individuata corrisponde ad una stratigrafia minerale che segue la sequenza: calcite —> aragonite —> huntite —> magnesite. Il mondmilch (huntite + magnesite) è infatti presente solo sull'aragonite e mai nelle aree a copertura calcitica.
L'aragonite *frostwork* si accresce a partire da speleotemi già aragonitici (preferenzialmente) o calcitici, mai direttamente dal substrato roccioso o da speleotemi caratterizzati dalla presenza di ossidi o croste non carbonatiche.

I *coralloidi* o altri speleotemi calcitici non seguono mai a concrezioni aragonitiche. Le zone indicanti permanenza di bacini idrici non presentano mineralizzazioni che vadano oltre la calcite.
Da quanto sommariamente descritto (e discusso nel paragrafo seguente) si può definire il matrix degli accrescimenti (fig.2).

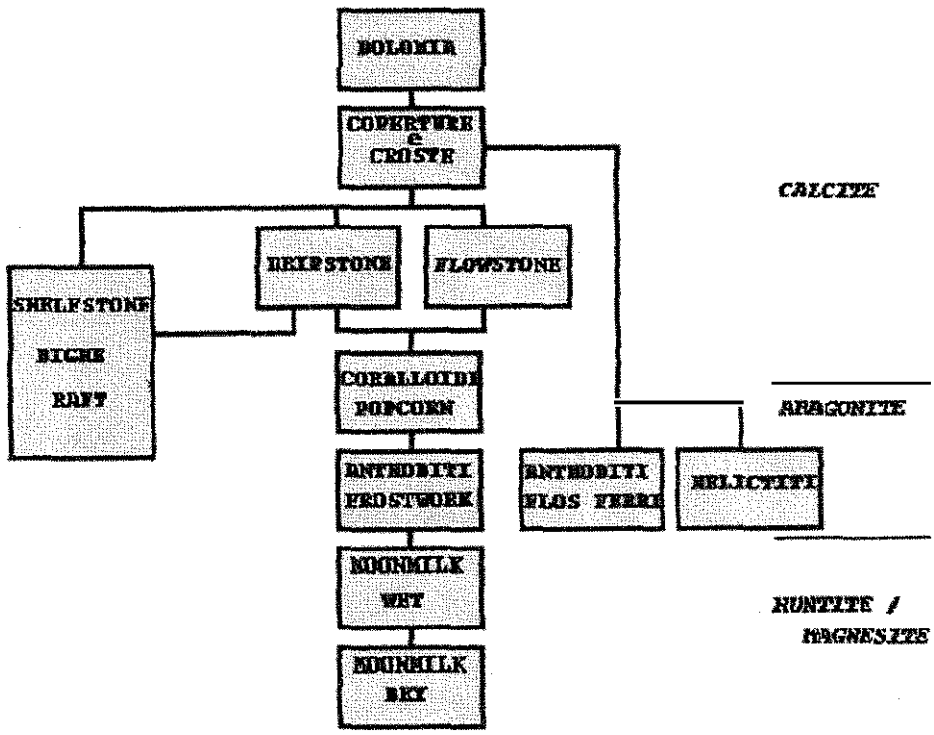


Fig. 2 - Matrix degli accrescimenti minerali di Santa Lucia Inferiore (Gea806DRW).

L'evoluzione paleoambientale della grotta di Santa Lucia Inferiore

L'analisi degli speleotemi e delle mineralogie degli ambienti precedentemente descritti ne caratterizza la storia evolutiva differenziandoli leggermente gli uni dagli altri: da queste variazioni locali è possibile desumere, nelle linee generali, l'evoluzione paleoambientale della cavità (fig. 3).
L'area a mineralizzazione aragonitica interessa solo i "Cristalli I" & "II", il "Pozzo dell'Ade" ed il "Pantheon"; immediatamente al di sopra del *Pantheon* termina il dominio aragonitico e si ha solo carbonato di calcio in fase calcite.
Il *frostwork* aragonitico ben sviluppato interessa solo i "Cristalli" (e poco il "Pantheon") mentre i tappeti cristallini parietali sono caratteristica del "Pozzo dell'Ade" e del "Pantheon" stesso.
Il *mondmilch* dry (secco) è presente solo ai "Cristalli I" (moderatamente al "Pantheon") e quello wet (umido) solo al "Pantheon" (moderatamente ai "Cristalli I"): sono quindi da considerarsi due fasi distinte, una "antica" (Cristalli I) ed una attuale (Pantheon).
Chiari indicatori di ambienti sommersi e di laghi sotterranei (*drafts, shelfstones, coperture mammellonari, grapefruits*) sono presenti solo ai Capitelli.
Indicatori di flussi d'aria esistono dappertutto nella grotta, ma condizioni di turbolenza parietale sono indicate solo al "Pozzo dell'Ade" ed al "Panthon", transizione da regime laminare a turbolento solo tra il "Pantheon" ed i "Capitelli" e forte direzionalitè solo ai "Cristalli" ed ai "Capitelli".
Dripstones e *flowstones* sono presenti ovunque e segnano diverse fasi di concrezionamento; chiare indicazioni di blocco dei drenaggi per argille residuali (*stalattiti bulbose, concrezioni-calco, vaschette erosive stalagmitico-sommitali*) e quindi di manifestazioni dissolutive, sono nuovamente presenti ovunque, ma specie ai "Cristalli I" (dove sembrano indicare il punto di svolta tra deposizione calcitica ed aragonitica) e tra il "Pozzo dell'Ade" ed il "Pantheon".

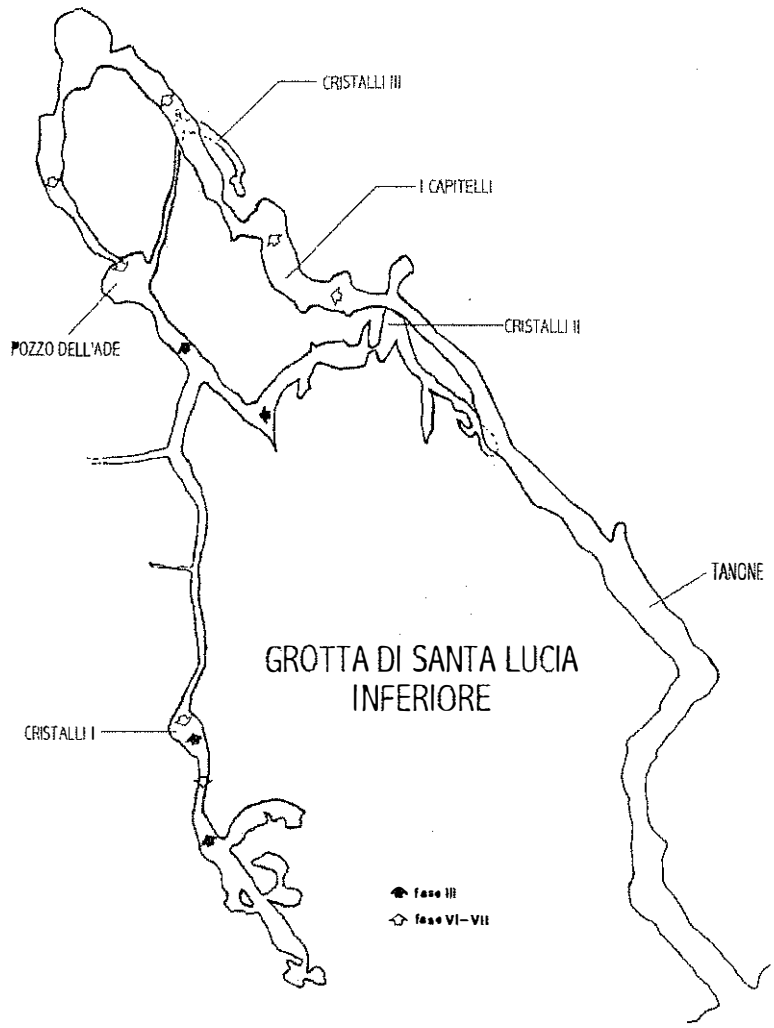


Fig. 3 - Ipotesi di ricostruzione della paleocircolazione dell'aria in Santa Lucia Inferiore (Gea807DRW) da originale del Gruppo Speleologico Cycnus di Toirano).

Speleotemi dovuti ad acque di infiltrazione sotto pressione (*coralloidi* tipo *flos ferri* ed *eccentriche*) sono presenti in percentuali significative unicamente ai "Cristalli I" e, minoritariamente, al "Pozzo dell'Ade".

Da quanto descritto, quindi, è possibile immaginare una Fase I di deposizioni carbonatiche parietali e pavimentali (*coperture*) interessanti il substrato dolomitico sovrapposta e seguita da una Fase II di "concrezionamenti I" segnata da deposizioni carbonatiche tipo *dripstones (cannule, stalattiti, stalagmiti e colonne)* e *flowstones (drappeggi e organi)* a fase calcitica interessanti la parte più alta del sistema carsico (Fase IIa), e da *anthoditi* tipo *flos ferri* a fase aragonitica (in ragione dell'aumento del rapporto Mg/Ca delle acque via via depauperate di Ca^{++} nel loro fluire e depositare) nelle parti più profonde del sistema carsico (Fase IIb), caratterizzato dall'aumento della pressione delle acque di infiltrazione trattenute sotto alle coperture parietali. L'approfondimento del sistema carsico ("Pozzo dell'Ade", " Rami Nuovi" e lineazione tettonica che interessa i "Cristalli I") e la migrazione delle acque verso il basso con conseguente diminuzione della pressione della "seeping water" portava anche ai "Cristalli I & II" ed al "Pozzo dell'Ade" una Fase IIc di "concrezionamenti II" aragonitico-calcitici, sovrapposta all'isocrona Fase IId a dominanza calcitica che, in cicli successivi e con varie stasi e manifestazioni erosive, interessava comunque tutta la grotta nelle sue varie sub-unità, caratterizzate anche da tratti vadosi ed ambienti freatici (i "Capitelli"): il settore ormai fossile del sistema carsico era costituito dai rami sommitali, quali "Santa Lucia Superiore" e la "Grotta del Colombo"; variazioni di livel-

lo delle acque nell'area dei "Capitelli" hanno lasciato testimonianza nelle varie morfologie *shelfstones*, ascrivibili anch'esse a vari episodi intercorrenti tra i "concrezionamenti I & II" della "Fase II". Il ramo dei "Cristalli I" era in continuità con il settore superiore del sistema carsico e quindi con un'apertura esterna; l'aria fluiva per i "Cristalli I" transitando per salamoie calcio-magnesiache, con direzione "Pozzo dell'Ade": il collegamento tra questi settori non coincide necessariamente con i tratti attualmente realizzati per diretta escavazione, ma è ad essi direttamente concorde per direzione e verso; è possibile che risultasse connesso con livelli inferiori dell'ipogeo (pari al "Pozzo dell'Ade") attualmente eclissati da coperture detritiche.
In questo modo si sono depositati (Fase III) nei "Cristalli I" mineralogie coralloidi e *anthoditi frostwork* a fase aragonitica.
L'evoluzione del sistema ai "Cristalli I" ha visto quindi la diminuzione ed il parziale blocco della circolazione dell'aria nel sistema (forse per occlusione carbonatica) e la trasformazione del ramo in "trappola ad anidride carbonica": l'aumento della pressione parziale della CO_2 e l'aumento conseguente della temperatura hanno condotto alla successiva deposizione (Fase IV) di *mondmilch* costituito dalle fasi minerali huntite e magnesite (preceduta presumibilmente da Mg-calcite e comprensiva di idromagnesite); a questa fase è ascrivibile anche l'azione di dissoluzione operata dalle acque di infiltrazione, inacidite dalla CO_2, che in altri settori della grotta ha portato alla genesi delle forme di erosione selettiva già descritte.
Il depauperamento delle salamoie calcio-magnesiache ha condotto a termine le formazioni a *mondmilch* e la loro trasformazione in fase "secca" costituente croste pavimentali e detriti eterogenei e caotici (Fase Va).
Nel frattempo la dissoluzione delle rocce carbonatiche relative alle coperture sommitali ed ai rami superiori della grotta ha condotto alle deposizioni di argille residuali ed al parziale blocco di molti speleotemi con formazioni tipo *stalattiti bulbose* e *stalattiti calco*.
Queste argille residuali si sono parzialmente alternate alle deposizioni a *mondmilch* (Fase Vb).
La diminuzione del livello di base ha condotto allo sblocco (Fase VI) dei sifoni nell'area dei "Capitelli" e la differenza di pressione che si è conseguentemente generata nel sistema carsico ha innescato una nuova circolazione ipogea dell'aria: questa fluiva dai "Capitelli" verso il "Pozzo dell'Ade" (aria fredda, più densa) ed attraverso i "Cristalli I", tramite diaclasi e fessure, verso la parte alta della grotta, se non verso un'uscita od un'interconnessione con "Santa Lucia Superiore" (aria calda, più leggera).
Il flusso d'aria induceva la deposizione orientata dei *coralloidi popcorn* calcitici e delle coperture *aerosol sinter* nei "Capitelli", quindi la sua transizione da regime laminare a turbolento veniva segnata dalla deposizione del *bordo s.s.* tra i "Capitelli" ed il corridoio di accesso alla zona sommitale al "Pantheon"; infine il flusso parietale turbolento scendeva per il pozzo del "Pantheon" e per quello dell' "Ade", arricchito di germi cristallini dalle salamoie della zona dei "Capitelli", e vi depositava tappeti cristallini aragonitici e speleotemi aragonitici orientati (Fase VII); il rapporto Mg/Ca era massimo nel ramo dei "Cristalli I", ove la corrente d'aria in risalita originava *anthoditi frostwork* spiccatamente orientate, ma con verso opposto rispetto a quelle della Fase III.
L'ulteriore evoluzione del dominio ipogeo e la chiusura di alcuni settori chiave in ragione di colate stalattitiche *(flowstone)* conduceva nuovamente al blocco del sistema circolatorio ed alla genesi di formazioni *dripstone, flowstone* e da acque di infiltrazione (Fase VIII): ma il rapporto Mg/Ca comunque alto favoriva l'accrescimento di speleotemi aragonitici *(cannule spatitiche, coralloidi ed helictiti)* specie dove il substrato era già aragonitico ("Cristalli", "Pozzo dell'Ade" e "Pantheon").
La scoperta delle "Grotte di Toirano" portava alla loro turistizzazione e quindi a modificazioni di corto periodo dell'ambiente ipogeo ed in particolare del sistema circolatorio dell'aria (Fase IX), fino alla posa delle "porte blindate" che avrebbero dovuto ripristinare una situazione come "da natura", senza tenere però in debito conto della complessa evoluzione del sistema carsico e del fatto che un "sistema chiuso" non è più in equilibrio se al suo interno vi si pone una "sorgente" di energia (i turisti); l'aumento della pressione parziale di anidride carbonica nel sistema, presumibile conseguenza della turistizzazione, ed il suo ristagno nei punti di minimo topografico dell'ipogeo, hanno portato nuovamente alla genesi di *mondmilch* huntitico-magnesiaco (Fase X).

Analisi della stabilità delle fasi minerali alle condizioni ambientali attuali

L'aragonite cristallizza in una struttura di maggior energia (e quindi di disordine) rispetto alla calcite e tende a riordinarsi naturalmente nel suo polimorfo di minor energia, appunto la calcite: la trasformazione, che può avvenire in tempi variabili da 10^3 a 10^6 anni, è improcrastinabile ed irreversibile, perlappunto "naturale".
Tutte le aragoniti, comprese quelle delle "Grotte di Toirano", quindi, sono destinate a trasformarsi in calcite e questo avverrà presumibilmente mantenendo l'abito aciculare tipico dell'aragonite stessa (paramorfosi); è chiaro però che il fenomeno, essendo caratterizzato da tempi "geologici", non può certo destare motivo di preoccupazione per la gestione delle grotte: in questo senso l'aragonite delle "Grotte di Toirano" è stabile, rispetto ai tempi umani.
Il discorso cambia per quello che riguarda l'impatto della turistizzazione sull'ambiente ipogeo, in quanto la velocità delle manifestazioni umane è certo in grado di produrre effetti a breve termine sull'ambiente stesso.
La possibilità che l'inquinamento antropico possa indurre "decadimento" del carbonato di calcio dalla fase aragonite alla fase calcite può venire escluso da semplici considerazioni termodinamiche: perché ciò accada è necessario sottrarre energia al sistema, mentre la frequentazione umana non fa che aumentare l'energia del sistema (cessione di CO_2 ed incremento della temperatura - che abbiano o non abbiano effetti sul sistema generale delle grotte).
L'inquinamento antropico può invece manifestarsi in effetti primari e secondari che, a loro volta, sono evidenziabili come deterioramento fisico delle strutture minerali e, in questo caso, costituiscono danneggiamento irreversibile degli speleotemi più "massicci" *(stalattiti, stalagmiti, colonne, coperture e flowstones)* e polverizzano le forme cristallini più delicate *(anthoditi ed helictiti)*: sono effetti primari quelli prodotti dall'azione diretta dei turisti che, toccando le concrezioni, le "ingrassano" impedendone l'ulteriore accrescimento (il carbonato di calcio non si deposita più su questi speleotemi, "scivolando" sulla pellicola organica); sono effetti secondari (ma ancora peggiori) quelli indotti dalla dissoluzione degli speleotemi causata dalle acque di condensa endocarsica rese aggressive dall'elevata pressione parziale di anidride carbonica immessa nel sistema dalla respirazione dei turisti e quelli causati dall'azione della flora batterica introdotta nella grotta, ancora una volta, dai visitatori.
Tutto questo sembra verificarsi nei tratti intercomunicanti tra il "Pozzo dell'Ade" ed il "Pantheon" e tra il "Pantheon" ed i "Capitelli", specie nella parte sommitale del "Pantheon". Qui le concrezioni *dripstone* manifestano desquamazioni superficiali e polverizzazioni che sembrerebbero proprio quelle tipiche dell'effetto devastante di flore batteriche; sottoterra, infatti, qualora i microrganismi eterotrofi vengano a contatto con delle concrezioni, provocheranno una fermentazione con conseguente corrosione (JASINSKI, 1966). Il ruolo sostenuto dai batteri nitrificanti, in questo complesso meccanismo, è assai importante.
Il controllo del pH delle acque di stillicidio, infatti, non ha permesso di rilevare attualmente livelli di attività degli ioni idrogeno tali da indurre fenomeni di dissoluzione sugli speleotemi.
Il fattore più interessante e significativo individuato nel corso dei lavori a "Santa Lucia Inferiore" si è rivelato essere la miscela minerale costituente il *mondmilch* di neoformazione al "Pantheon", ovvero l'huntite e la magnesite.
Questo fatto, a livello generale, è risultato estremamente importante in quanto ha permesso di confermare chiaramente la genesi di almeno un tipo di *mondmilch*, speleotema alquanto enigmatico, fornendone altresì una chiave interpretativa molto forte in relazione alle condizioni ambientali della grotta e, presumibilmente, di relazionarla con l'impatto antropico.
Come già visto, infatti, calcite e magnesite possono considerarsi come gli end-members di una sequenza di minerali carbonati la cui deposizione è strettamente dipendente dal progressivo aumento del rapporto ionico Mg/Ca (dovuto alla continua evaporazione di bacini idrici sotterranei ed alla loro trasformazione in salamoie magnesiache) e dal progressivo aumento della pressione parziale di anidride carbonica nell'atmosfera ipogea.
La sequenza inizia con la deposizione di calcite, quindi di Mg-calcite, poi di aragonite, di huntite ed infine di magnesite: a seconda della condizioni ambientali possono depositarsi anche nesquehonite ed hydromagnesite.

La formazione di huntite significa che la pressione parziale della CO_2 nell'atmosfera della grotta è compatibile con la deposizione di questa fase minerale; mantendosi queste condizioni ambientali, continuerà a depositarsi huntite; la formazione di magnesite può essere indicatrice del fatto che, almeno stagionalmente, l'evaporazione delle soluzioni acquose (presenti nella cavità sotto forma di condensa endocarsica) porta il rapporto Mg/Ca a livelli così elevati da condurre alla precipitazione della sola magnesite.
La magnesite, infine, può essere prodotto di alterazione della stessa huntite, minerale raro e dalle condizioni di stabilità termodinamiche molto limitate (costituisce in effetti un termoigrometro minerale ideale).

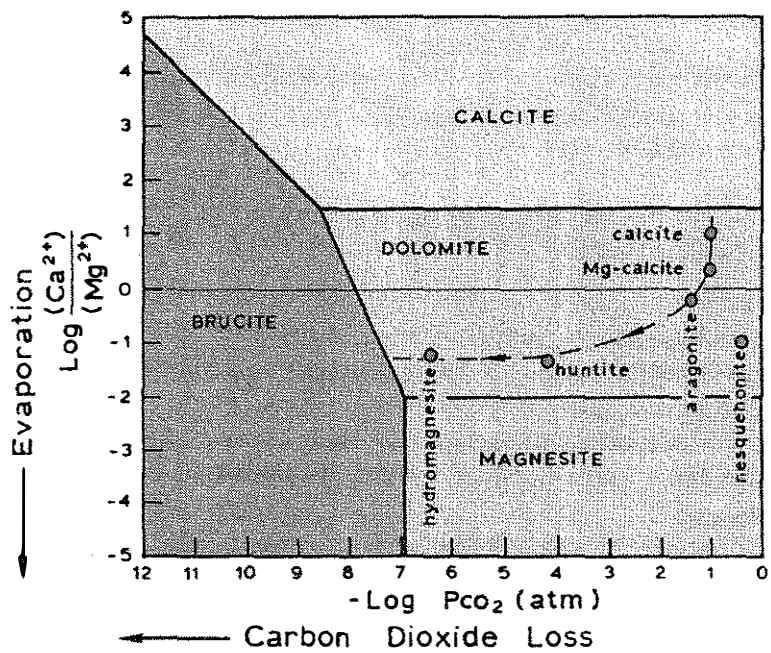


Fig. 4 - Deposizione delle varie fasi minerali di carbonato di calcio e magnesio al variare della pressione parziale della CO_2 e del rapporto ionico Mg/Ca (HILL - FORTI, 1986).

Considerazioni sulla posizione del *mondmilch* di neoformazione in "S. Lucia Inferiore"

Il *mondmilch* wet (di neoformazione) è stato rinvenuto prevalentemente (si potrebbe dire "unicamente") alla base dell'anfiteatro naturale del "Pantheon", già caratterizzato da *anthoditi frostwork* tipo "tappeto cristallino parietale" e da modeste *anthoditi frostwork* orientate.
La posizione assunta da questo speleotema è caratteristica, trovandosi prevalentemente insediato tra i cristalli aciculari delle *anthoditi frostwork*, fino al momento in cui l'agglomerato plastico non raggiunge dimensioni (e massa) tali da provocarne, per gravità, lo sgocciolamento e/o la caduta diretta sul pavimento; alcune colature di *mondmilch* rigagnolano sulla copertura parietale fuoriuscendo da sue piccole fessure, ma si tratta di manifestazione nettamente minoritaria rispetto agli insediamenti intercristallini.
L'altezza sulla parete fino alla quale sono presenti questi speleotemi plastici non supera i 2.5 metri ed entro un'altezza di circa 1 - 1.5 metri (segnata da una specie di "cordone" di *mondmilch*) è presente la sua massima concentrazione.
Questa disposizione e morfologia è compatibile con l'esistenza di una leggera corrente d'aria parietale che continua a depositare germi cristallini dove già si sono accresciute le aragoniti (ragione per cui il *mondmilch* si forma tra gli aghi delle *anthoditi*) e la sua stretta correlazione con la pressione parziale della CO_2 è indicata proprio dal livello basale in corrispondenza del quale il *mondmilch* si deposita: l'anidride carbonica, più pesante dell'aria, tende a raccogliersi nei minimi topografici, per esempio alla base del "Pantheon".

Da quanto espresso si può concludere che l'huntite e la magnesite si depositano in ragione dell'elevata pressione parziale di anidride carbonica presente in determinate zone della grotta e dell'elevata evaporazione cui l'ambiente è soggetto (con conseguente aumento del rapporto Mg/Ca), non mediata da nuovi input di acqua che ripristinino quella persa per l'evaporazione stessa. E' altamente verosimile, ma non scontato, che la sorgente a cui imputare l'aumento nella concentrazione dell'anidride carbonica sia costituita dai turisti frequentanti l'ipogeo.
Anche nell'area dei "Cristalli I" sono stati verificati modesti accrescimenti di *mondmilch* wet tra le *anthoditi frostwork*, ma si tratta di entità puntiformi ed assolutamente trascurabili rispetto a quanto rilevabile al "Pantheon"; è presumibile che queste formazioni non siano state rilevate al "Pozzo dell'Ade" in ragione del fatto che l'anidride carbonica, precipitando per gravità, scenderà il pozzo accumulandosi verso il suo fondo.
Infine, è importante sottolineare come la quantità di *mondmilch* wet rilevato nel corso dei campionamenti del 1998 risulti visivamente superiore rispetto a quanto non fosse stato rilevato nel 1994, segno che la formazione si sta accrescendo.

Similitudini con altri sistemi ipogei

Esistono delle similitudini tra la grotta di "Santa Lucia Inferiore" ed altre cavità della Liguria, sia per quanto riguarda la morfologia degli speleotemi che per le mineralizzazioni aragonitiche che le caratterizzano: nonostante questi ipogei non siano stati oggetto di studi mineralogici e petrografici approfonditi, anche solo da attività ricognitive è possibile trarre qualche informazione utile a sottolineare la sostanziale correttezza delle conclusioni dedotte per "Santa Lucia Inferiore".
Le grotte di cui si parla, similmente a quelle di Toirano, si aprono tutte nella formazione delle Dolomie di San Pietro ai Monti.
La Grotta degli Scogli Neri (Giustenice, SV) è l'ipogeo più esteso della Liguria e le sue formazioni aragonitiche sono (cioè erano - prima di venire devastate da vandali e pseudocollezionisti di minerali -) tra le più belle in Europa: queste aragoniti sono attive e ciò sembra strettamente legato all'interazione tra la dinamica atmosferica endogena e la circolazione delle acque nel sistema: gli alti tassi di evaporazione sono reintegrati da massive quantità di acque centrate su di un bacino profondo interessante l'area detta "Grande Voragine".
La Grotta del Treno (Bergeggi, SV) fu scoperta nel corso della realizzazione della linea ferroviaria: l'intercettazione dell'ipogeo innescò nel sistema una forte corrente d'aria che causò, negli anni a venire, la completa evaporazione del lago che era originariamente presente al suo interno; come conseguenza, le aragoniti che caratterizzano le sue pareti, originariamente "traslucide e vive", risultano ora coperte e localmente eclissate da materiale polverulento e dall'aspetto gessoso, probabilmente mondmilch dry costituito dai carbonati di calcio e magnesio tipo huntite e magnesite che abbiamo incontrato a "Santa Lucia Inferiore".

OSSERVAZIONI E CONCLUSIONI

Osservazioni

1 - La mappatura degli speleotemi nella "Grotta di Santa Lucia Inferiore" ha permesso di individuarne la stratigrafia ed il significato paleoambientale, consentendo di ricostruire la paleocircolazione dell'aria nella cavità e indicando come questa sia stata, nel passato, notevolmente intensa e di fondamentale importanza nella genesi degli speleotemi tipo *coralloidi* e *anthoditi*, in qualità di mezzo di trasporto dei germi cristallini.

1.1 - La dinamica circolatoria della cavità è mutata nel tempo ed in almeno un tratto si è invertita: questo può essere messo in relazione solo ed esclusivamente con lo svuotamento di sifoni interni e con l'esistenza di collegamenti con l'esterno o con altre parti del sistema ipogeo in numero maggiore dei due attualmente noti ("Santa Lucia Inferiore" e "Grotta della Basura").

2 - La formazioni delle aragoniti è legata al rapporto Mg/Ca delle acque sotterranee ed in particolare all'inibizione della precipitazione della fase calcite dovuta all'incompatibilità del suo reticolo cristallino con gli ioni Mg++, fino al raggiungimento delle condizioni di supersaturazione compatibili con la precipitazione diretta della fase aragonite.

2.1 - Gli accrescimenti degli speleotemi tipo *anthoditi frostwork* orientate e/o a tappeto cristallino parietale, entrambi a fase aragonitica, sono legati alla presenza di una corrente d'aria che favorisce l'evaporazione delle acque endocarsiche (aumentando via via il rapporto Mg/Ca) trasportando la "soluzione nutritiva" ed i germi cristallini nella forma di aerosol: mancando questa corrente d'aria si interrompe la crescita di questi speleotemi.

2.1.1 - Attualmente, la presenza delle porte di separazione tra i vari settori dell'ipogeo non impedisce un modesto flusso locale di aria prevalentemente parietale (osservazione deducibile dalla presenza del *mondmilch* huntitico-magnesiaco tra i cristalli aciculari delle aragoniti), ma ne impedisce la circolazione generale e quindi la direzionalità.

2.2 - L'input di acqua della grotta non è sufficiente a rimpiazzare quella persa per evaporazione, per cui il rapporto Mg/Ca tende ad essere sempre più elevato.

3 - L'osservazione microscopica del *mondmilch* ha permesso di individuare, nella fase acquosa, la presenza di batteri; è ipotizzabile, ma non certo, che questi abbiano un qualche ruolo (non determinante) nella deposizione del *mondmilch* stesso.

3.1 - E' invece altamente probabile che solo alla flora batterica sia imputabile il deterioramento tipo desquamazione e polverizzazione di *dripstone* e *flowstone.*

Conclusioni

1 - Le osservazioni 1 ed 1.1 portano a ritenere che il ramo dei "Cristalli" fosse direttamente connesso con l'esterno e che il fondo del "Pozzo dell'Ade" presentasse una prosecuzione della cavità verso i livelli inferiori (presumibilmente semiattivi) della grotta.

2 - La trasformazione delle mineralogie del carbonato di calcio a fase aragonitica in quella a fase calcitica è naturale, avviene in tempi talmente lunghi da non risultare problematica per la gestione turistica delle grotte e non è (e non può essere) accelerata dal flusso di visitatori.

3 - La formazione del *mondmilch* huntitico-magnesiaco del Pantheon è compatibile con un ambiente caratterizzato da un'elevata pressione parziale della CO_2 in seno all'atmosfera, da un aumento della temperatura e da una forte evaporazione delle acque endocarsiche (non rimpiazzate da equivalenti input) che conduce a valori del rapporto Mg/Ca sempre più elevati.

3.1 - Nel passato geologico della grotta di "Santa Lucia Inferiore" si è già verificata una condizione simile a quella descritta al punto precedente, ma limitatamente al ramo dei "Cristalli I" e attribuibile all'evoluzione naturale del sistema stesso.

3.1.1 - Le condizioni attualmente rilevate sono invece riconducibili all'unica sorgente di energia, di anidride carbonica e di fauna batterica nota nell'ipogeo, ovvero alla frequentazione turistica; dati gli obiettivi del presente studio, però, non può risultare definibile alcuna correlazione diretta tra "visitatori" e "CO_2" e questa può essere quindi individuabile solo attraverso monitoraggi dedicati.

3.2 - Se la pressione parziale della CO_2 nell'atmosfera ipogea diminuisse e se gli input idrici esterni controbilanciassero la forte evaporazione endocarsica, proseguirebbe l'accrescimento delle aragoniti a detrimento della deposizione di *mondmilch.*

3.2.1 - Perdurando queste condizioni proseguirà la deposizione del *mondmilch* che tenderà ad inglobare i cristalli di aragonite e, consolidandosi, li obliterà.

4 - Il ripristino di una pressione parziale della CO_2 compatibile con un ritorno alla precipitazione dell'aragonite rispetto agli altri carbonati di calcio e/o calcio-magnesiaci (huntite, magnesite, idromagnesite, nesquehonite) è legato a) all'eliminazione della sorgente di CO_2 o, b) al ripristino di una corrente d'aria che ne impedisca la concentrazione in punti critici (quali il "Pantheon").

6 - L'esecuzione di ulteriori studi sulle mineralizzazioni non carbonatiche (patine, croste, argille, riempimenti) e su quelle carbonatiche di speleotemi massivi tipo *flowstone* e *dripstone* potrà essere molto utile nell'effettuazione di una ricostruzione paleoambientale della cavità e dei suoi cicli; ciò, come corollario, consentirebbe (date le condizioni isoterme degli ipogei) di ricostruire le curve delle paleotemperature esterne all'ipogeo e sarebbe quindi anche di rilievo nell'effettuazione di studi paleoclimatici più generali.

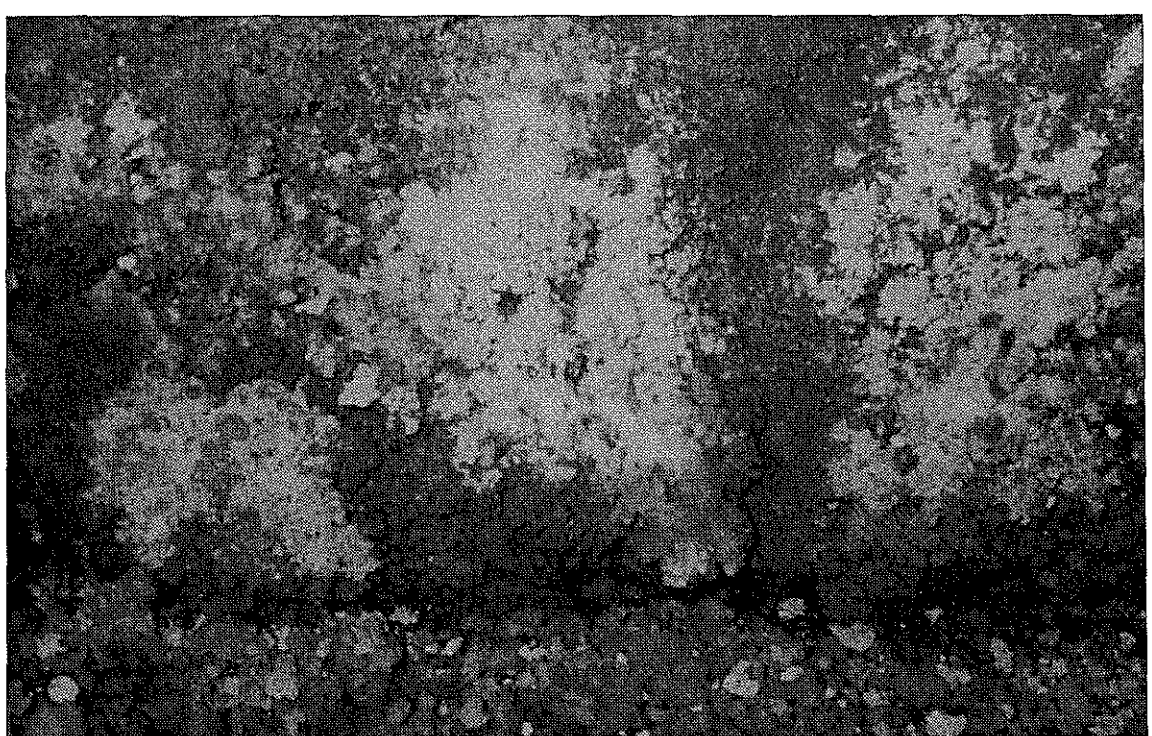
RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università degli Studi di Genova, nella persona del prof. Luciano Cortesogno, per la preziosa assistenza tecnica e scientifica.
Si ringrazia inoltre, il dott. Furio Bazzan, della G.E.A.Snc, per la gentile collaborazione prestata nella lettura critica del manoscritto.

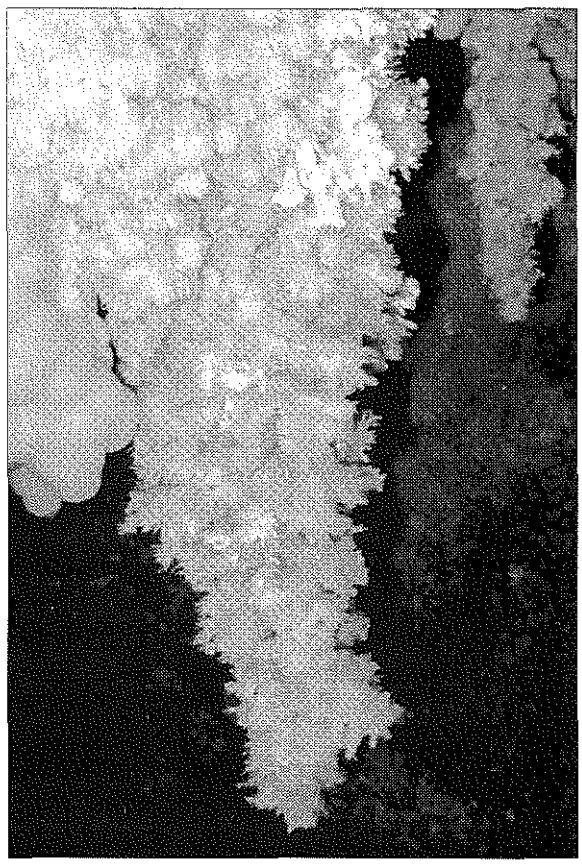
BIBLIOGRAFIA

- BERNASCONI, 1961: R.Bernasconi, *L'èvolution physico-chimique du mondmilch*, Atti del Simposio Internazionale di Speleologia, Varenna, Rassegna Speleologica Italiana, Memorie, Vol.2, n.5, pp.75-100.
- BOSELLINI, 1989: A.Bosellini, E.Mutti, F.Ricci Lucchi, *Rocce e successioni sedimentarie*, UTET, Torino.
- CAUMARTIN, 1958: V.Caumartin & P.Renault, *La corrosion biochimique dans un rèseau karstique et la gènèse du mondmilch*, Notes Biospèlèologiques, Vol.13, n.2, pp.87-109.
- CIPRIANI, 1987: C.Cipriani, C.Garavelli, *Carobbi, Mineralogia 2: cristallografia chimica e mineralogia speciale*, USES Edizioni Scientifiche, Firenze 1987.
- COLIGNON, 1988: B.Colignon, *Spèlèologie: approaches scientifiques*, Edisud, Aix-en-Provence, 1988.
- DIACONU, 1977: G.Diaconu, A.Medesan, I.Viehmann, *Une nouvelle paragenèse minèralogique dans la grotte "Pestera Fagului", Dèpartment de Bihor (huntite, hydromagnesite, aragonite, calcite)*, Traveaux de l'Institut Spèleologique "E.Racovitza", Vol.16, 1977, pp.203-216.
- FISCHBECK, 1971: R.Fischbeck & G.Muller, *Monohydrocalcite, hydromagnesite, nesquehonite, dolomite, aragonite and calcite in speleothems of the Frankische Schweiz, Western Germany*, Contr. of Miner. Petr., Vol.33, 1971, pp.87-92.
- FORTI, 1980: P.Forti, *Formazione di aragonite nella Grotta di Castellana: un esempio di modificazione indotta dalla turistizzazione*, Grotte d'Italia, Serie 4, n.8, pp.5-9.
- HILL-FORTI, 1986: C.A.Hill, P.Forti, *Cave minerals of the world*, National Speleological Society, Huntsville, Alabama, U.S.A.
- HOLLAND, 1964: H.D.Holland, T.W.Kirsipu, J.S.Huebner, U.M.Oxburgh, *On some aspects of the chemical evolution of cave waters*, Journal of Geology, Vol.72, 1964, pp.36-67.
- HSU, 1989: K.J.Hsu, *Physical principles of sedimentology*, Springer-Verlag, Berlino, 1989.
- JASINSKI, 1966: M.Jasinski, *Speleologie*, Western Publishing International, Genève
- KENDALL, 1977: A.C.Kendall & P.L.Broughton, *Discussion: Calcite and Aragonite fabrics, Carlsbad Caverns, by R.L.Folks & R.Assereto, (Jour. Sed. Petrol., Vol.46, p.486-496)*, Journal of Sedimentary Petrology, Vol.47, n.3, 1977, pp.1397-1400.
- KINSMANN, 1964: D.J.J.Kinsmann, *Huntite from a carbonate-evaporite environment*, American Mineralogist, Vol.52, pp.1332-1340.
- MARTINI, 1994: S.Martini & C.Ottomano, *Rilevamenti ambientali nelle grotte turistiche della Basura e di Santa Lucia Inferiore: analisi e discussione dei risultati preliminari*, relazione per la Soprintendenza Archeologica della Liguria.

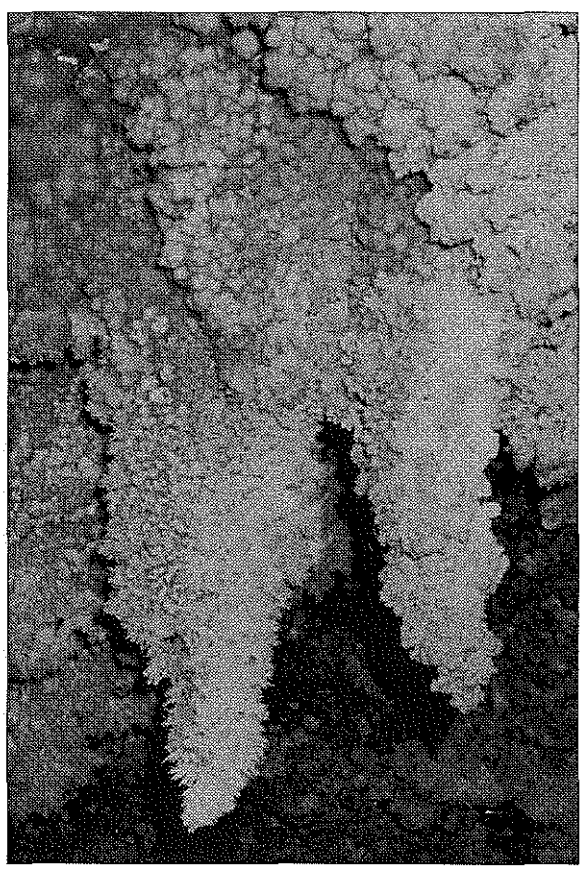
- MARTINI, 1995: S.Martini, *Grotte turistiche di Toirano (Sv) e monitoraggio ambientale: rilevabilità degli effetti dell'impatto antropico e complessità naturale*, in: Bossea MCMXCV, Atti del Simposio Internazionale: Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale, Frabosa Soprana (CN), 1995, "Tipografia Saviglionese", 1996, pp.73-86.
- MELEGARI, 1984: G.E.Melegari, *Speleologia scientifica e esplorativa*, Calderini, Bologna.
- MOORE, 1961: G.W.Moore, *Dolomite speleothems*, National Speleological Society News, Vol.19, p.82.
- MOORE, 1964: G.W.Moore & N.G.Sullivan, *Speleology, the study of caves*, Heath & Co., 1964, Boston D.C., U.S.A.
- MURRAY, 1954: J.W.Murray, *The deposition of calcite and aragonite in caves*, Journal of Geology, Vol.62, 1954, pp.481-482.
- PALACHE, 1951: C.Palache, H.Berman, C.Frondel, *Dana's system of mineralogy*, John Wiley, New York, 1951.
- RICCI LUCCHI, 1980: F.Ricci Lucchi, *Sedimentologia, Parte III: ambienti sedimentari e facies*, CLUEB, Bologna.
- ROQUES, 1965: H.Roques, *Sur la gènèse des formations aragonitiques naturelles*, Annales de Spèleologie, XX, 1, pp.47-53.
- SUH, 1978: M.S.Suh & N.Kashima, *Preliminary study on some secondary cave minerals in Korea*, Journal of Applied Geography, Vol.4, pp.27-31.
- S.S.I., 1987: Società Speleologica Italiana, *Le nostre grotte: guida speleologica ligure*, SAGEP Editrice, Genova 1987.
- THRAILKILL, 1953: J.V.Thrailkill, *Manhole Cave, New Mexico*, Colorado Grotto News Notes, Vol.2, n.11, pp.13-15.
- THRAILKILL, 1968: J.V.Thrailkill, *Dolomite cave deposits from Carlsbad Caverns*, Journal of Sedimentary Petrology, Vol.38, n.1, 1969, pp.141-145.
- THRAILKILL, 1971: J.V.Thrailkill, *Carbonate deposition in Carlsbad Caverns*, Journal of Geology, Vol.79, pp.683-695.
- TIETZ, 1981: G.F.Tietz, *Recent formations of carbonate minerals association in dolomite caves, Franconia, West Germany*, VIII Int. Congr. Speleol. Proc., Bowling Green, pp.364-365
- TROMBE, 1952: F. Trombe, *Traitè de Spèlèologie*, Payot, Parigi, 1952.



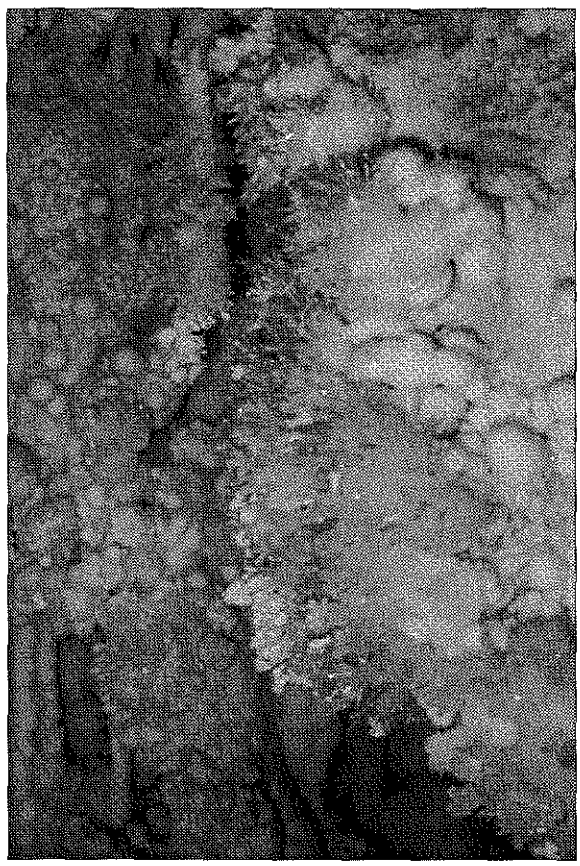
▲ Foto 1
accrescimenti e colate di mondmilch wet nel primo metro di altezza delle pareti del Pantheon (Gea0134P).



◀ Foto 2
Anthoditi frostwork e coralloidi globulariti-ci su stalattiti nei Cristalli I (Gea0136P)



◀ Foto 3
Stalattiti colonizzate da coralloidi del tipo popcorn, globulariti, e anthoditi frostwork nei Cristalli I (Gea0260P).



◀ Foto 4
Accrescimenti di mondmilch wet tra gli aghi di anthoditi frostwork in posizione sottosquadro nel Pantheon (Gea0144P).

◀ Foto 5
Accrescimenti e colate di mondmilch wet sulla parete e frammenti secchi al suolo con morfologie superficiali da essiccamento, a crosta di pane, nel Pantheon (Gea0138P).

IL MONITORAGGIO DEL BIOSSIDO DI CARBONIO NELLA GROTTA DI BOSSEA: CORRELAZIONI DELLA CONCENTRAZIONE DEL CO_2 ATMOSFERICO CON LA FREQUENTAZIONE TURISTICA DELLA CAVITA' ED IL REGIME DEL TORRENTE INTERNO

Silvio Cagliero[1], Marco Dutto[1], Guido Peano[2-3], Ezechiele Villavecchia[2]

[1]ARPA Piemonte, Dipartimento di Cuneo - [2]Stazione Scientifica di Bossea - [3]Comitato Scientifico Centrale del CAI

PREMESSA

Nel biennio 1997-1999 e più recentemente negli anni 2000-2002 sono state effettuate due campagne di misurazioni continuative del biossido di carbonio atmosferico nella Grotta di Bossea: la prima ai fini dello studio, nel dettaglio, degli stretti rapporti intercorrenti fra la concentrazione del gas in oggetto e l'afflusso dei visitatori; la seconda particolarmente finalizzata ad individuare possibili correlazioni fra gli incrementi di portata del torrente e l'aumento della presenza di CO_2 nell'aria della cavità, estrapolando dal contesto generale le variazioni naturali, mascherate nella gran maggioranza dei casi dalle variazioni ben più consistenti indotte dalla frequentazione turistica.

Il monitoraggio contestuale della portata del torrente e della concentrazione del CO_2, effettuato anche in fasi di scarso o modesto afflusso di visitatori, ha permesso di individuare in alcuni periodi dell'anno un rapporto di dipendenza fra le variazioni dei due parametri.

Tale correlazione potrebbe derivare sia dalla forte movimentazione dell'aria conseguente a grandi aumenti di portata del torrente interno, con diffusione in tutta la grotta del CO_2 ristagnante nei suoi siti più profondi, sia ad un maggior trasporto da parte delle acque di piena di biossido di carbonio disciolto poi ceduto all'atmosfera.

La ricerca presentata in questo lavoro rientra nell'ambito di una collaborazione oggi in atto (anno 2003), da circa un decennio, fra la Stazione Scientifica di Bossea (CAI di Cuneo) ed il Dipartimento di Cuneo dell'ARPA del Piemonte, indirizzata allo studio degli aspetti meteorologici dell'ambiente carsico ipogeo.

Lo studio è condotto principalmente nell'ambito del Laboratorio Sotterraneo di Bossea, tramite una dotazione strumentale che consente il rilevamento e la correlazione di molti parametri ai fini di una conoscenza più approfondita delle caratteristiche chimico-fisiche della cavità. Tali conoscenze vengono utilizzate a fini di studio ma anche di tutela dell'ambiente ipogeo e dei suoi frequentatori.

PREAMBLE

Two non-stop measuring campaigns of athmospheric CO_2 were carried out in the Bossea cave during the years from 1997 to 2002; initially the aim of the research was pointed to correlate the CO_2 concentration with the influx of tourists, then to detect a possible correlation with the flow of the subterranean stream. Such a correlation was proved and explained as follows: a strong air moving and suction of air enriched in CO_2 from the deepest part of the cave is joined with a inhanced transfer of dissolved CO_2 that go together with the rising flow: the dissolved CO_2 is then removed to the air according to mechanisms of physico-chemical balance.

The research was carried out within the cooperation between the Stazione Scientifica di Bossea and the Department of Cuneo of the Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) of Piedmont.

RELAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA

Il lavoro che viene presentato in questa occasione riprende e consegue a quanto illustrato a suo tempo, sempre a Bossea, in occasione del convegno internazionale del 1995; in quella occasione, con una relazione dal titolo"Monitoraggio del biossido di carbonio nelle grotte di Bossea" venivano discussi i risultati raccolti nel quadro di una prima collaborazione tra il Dipartimento di Cuneo dell' Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Piemonte e la Stazione Scientifica di Bossea del Club Alpino Italiano (cfr. Atti del Simposio Internazionale "Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale" anno 1996, pag. 323-332)..

Nell'estate del 1997, dopo prove di calibrazione e validazione della metodica effettuate in laboratorio, si era proceduto all'installazione, presso il laboratorio della Stazione Scientifica situato nella grotta, di un sistema di acquisizione dei dati rilevati dagli analizzatori di Biossido di carbonio (CO_2) prodotti dalla Edinburgh Sensor.

In realtà non si trattava delle prime operazioni di misura della CO_2 nella grotta di Bossea, in quanto già in precedenza erano state condotte delle prime indagini con prelievo di campioni dell'atmosfera interna della grotta, a cura della Stazione Scientifica, in "sample bags" artigianali e successivo trasporto per le analisi del caso nei laboratori di Cuneo della struttura ora dell'Agenzia ed allora denominata Laboratorio di Sanità Pubblica.

Nel 1997 l'acquisto di questi analizzatori automatici ha consentito l'effettuazione di una prima campagna in loco ed i dati forniti erano stati memorizzati per le elaborazioni complessive che avevano evidenziato, come si può rilevare dalle figure da 1 a 4 una chiara correlazione tra frequentazione turistica e concentrazione di CO_2.

Successivamente la Stazione Scientifica di Bossea ha provveduto a sostituire i sensori acquisendo dei prodotti della Vaisala e nel contempo a dotarsi di un sistema autonomo di archiviazione dei dati su personal computer.

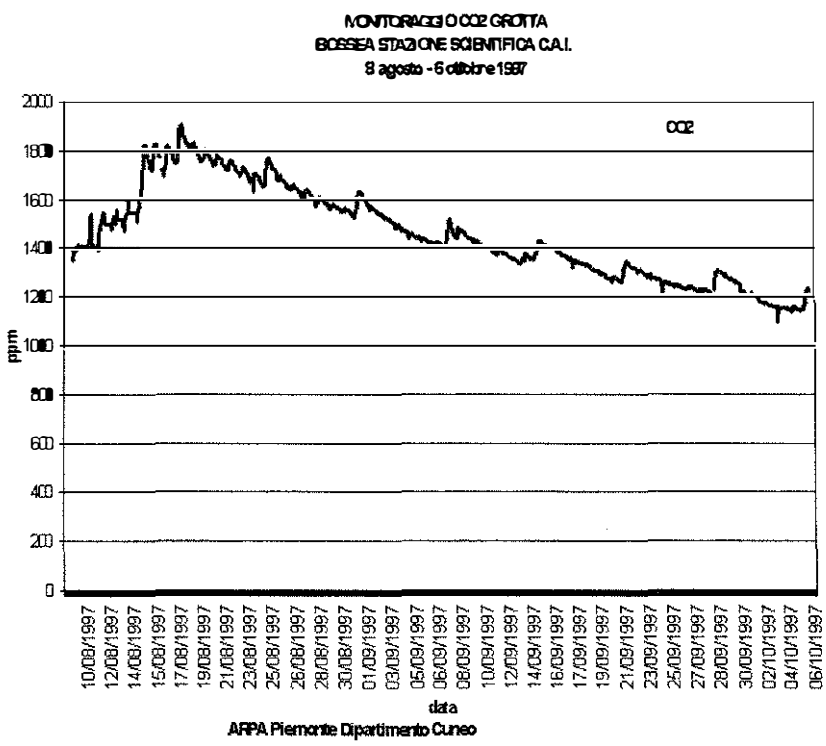


Fig.1 - Andamento della concentrazione media oraria nel periodo 8 agosto - 6 ottobre 1997.

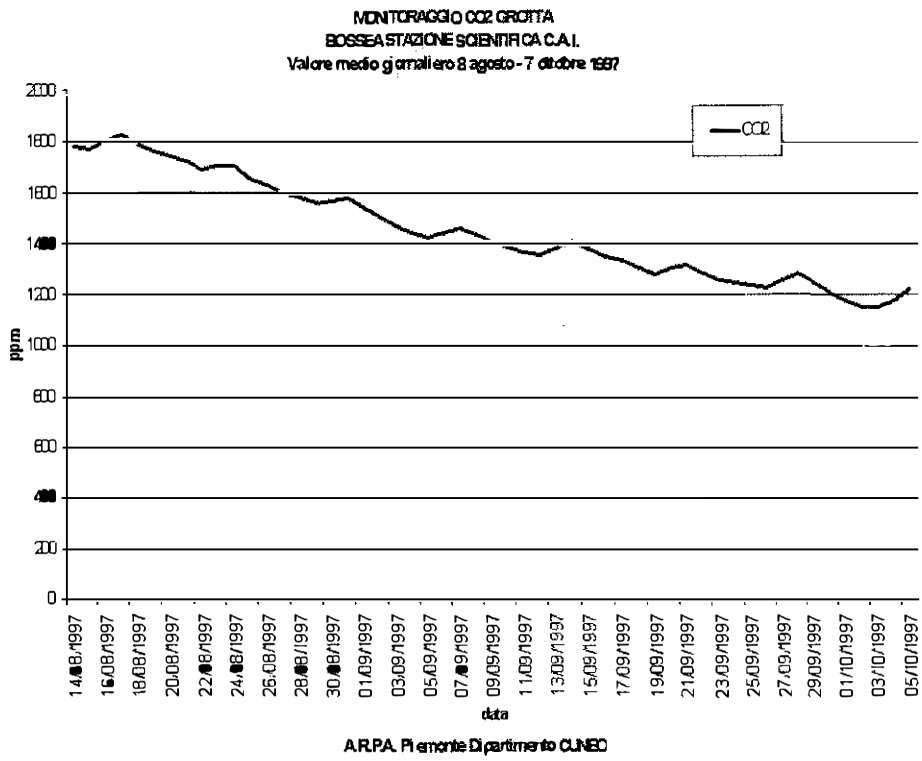


Fig.2 - Andamento della concentrazione media giornaliera nel periodo 8 agosto - 7 ottobre 1997.

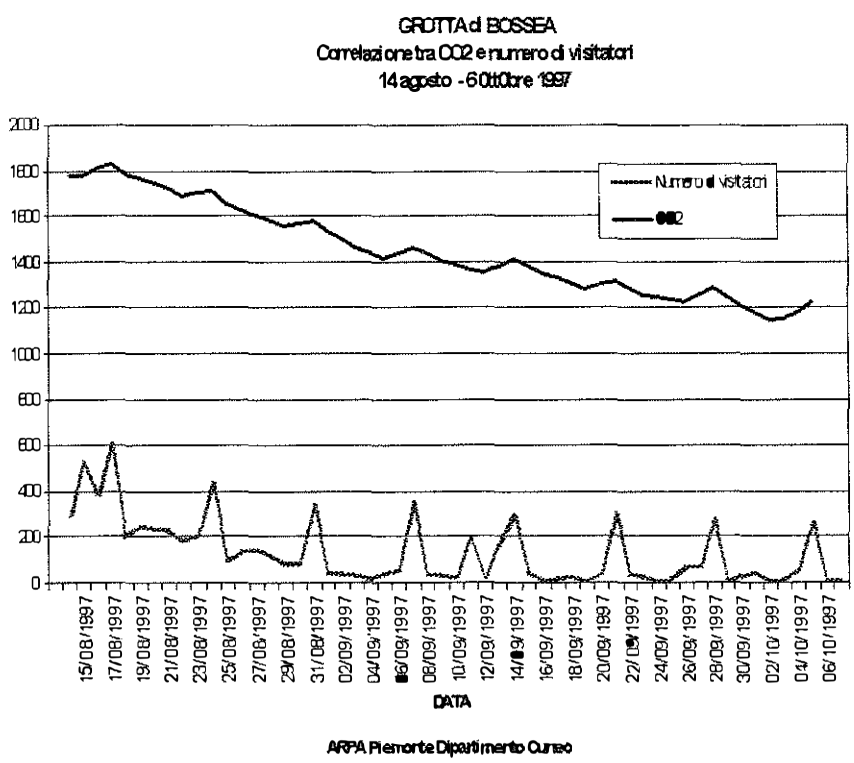


Fig.3 - Confronto tra della concentrazione media oraria (ppm) e numero visitatori nel periodo 14 agosto-6 ottobre 1997.

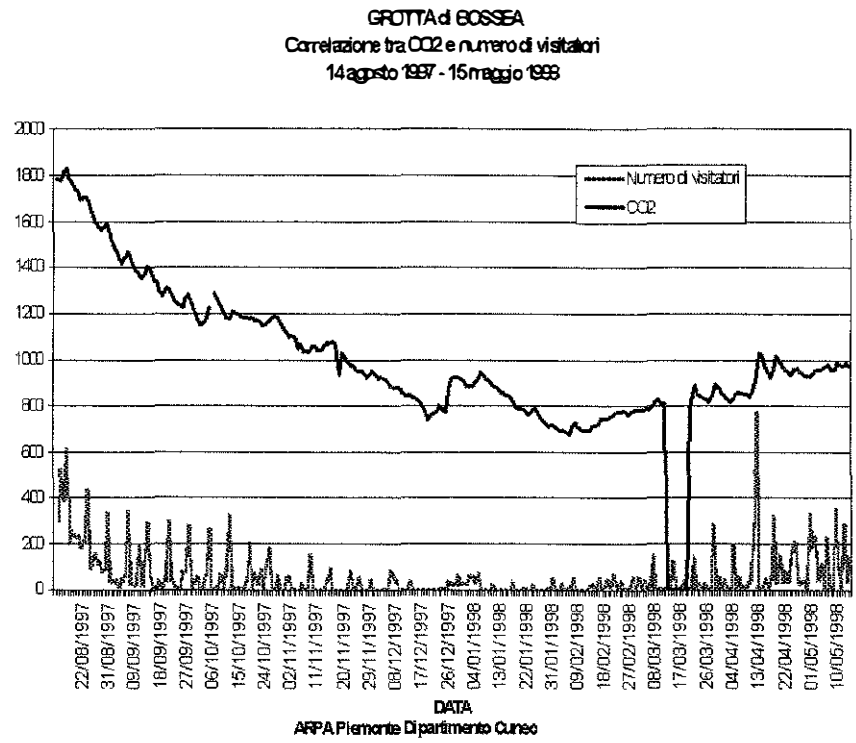


Fig.4 - Confronto tra della concentrazione media oraria (ppm) e numero visitatori nel periodo 14/08/97- 15/05/98.

L'ambiente estremo in cui devono operare i pc ha rappresentato un limite per quel che riguarda la continuità della disponibilità delle informazioni, ma quanto raccolto a partire dall'anno 2000 ha confermato quanto rilevato negli anni precedenti introducendo una chiara conferma di una ipotesi a suo tempo prospettata.

Il lavoro del 1998 si concludeva infatti così:

"Infine si reputa opportuno evidenziare che dal punto di vista teorico può sussistere una correlazione tra concentrazione ambientale di CO_2 e processi di scambio con il torrente ipogeo nelle sue varie condizioni di regime; questo fenomeno però non può essere valutato in quanto fortemente mascherato dalle prevalenti emissioni di biossido di carbonio dovute all'afflusso antropico turistico."

Come si può rilevare dalla successiva figura 5, che illustra le correlazioni tra concentrazioni di CO_2, la frequentazione antropica e la portata del torrente nel corso del 2000, nel mese di ottobre, in concomitanza di un evento di piena di rilevante importanza, la concentrazione di CO_2 all'interno della grotta si è impennata in modo più che evidente ed ovviamente nel periodo era scarsa o nulla la frequentazione turistica.

Quindi anche per la CO_2 si prospetta un comportamento analogo a quello rilevato per il Radon con lo studio specifico condotto all'interno della stessa cavità.

Nel corso dei successivi anni 2001 e 2002 sia i problemi prima illustrati sulla disponibilità completa della serie di dati che la minor rilevanza dei fenomeni di piena non hanno consentito di evidenziare in modo così chiaro la correlazione tra le varie componenti, comunque tutti i dati a disposizione non portano a conclusioni contrastanti, anzi in più di una occasione si possono osservare aumenti di concentrazione di CO_2 (seppur relativamente limitati) contemporanei ad incrementi di portata del torrente.

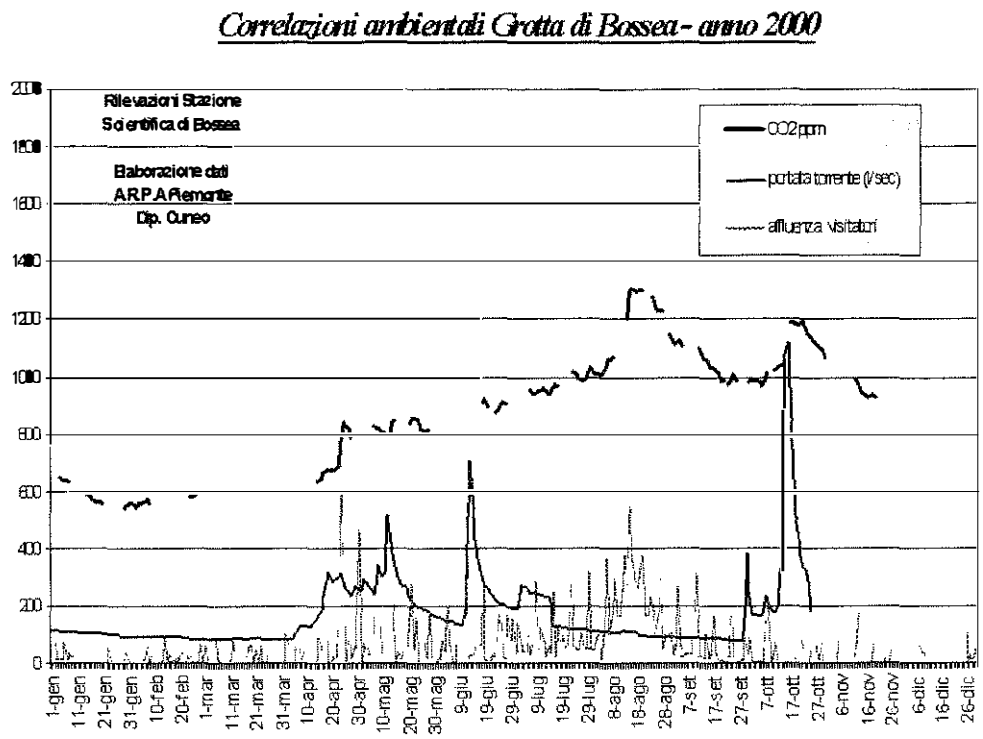


Fig.5 - Correlazioni tra concentrazioni di CO_2, frequentazione antropica e portata del torrente nel corso del 2000.

Quanto riportato nelle figure 6 e 7, riferite rispettivamente al 2001 e al 2002, giustifica quindi quanto sintetizzato nel sommario e cioè che il monitoraggio contestuale della portata del torrente e della concentrazione del CO_2, effettuato anche in fasi di scarso o modesto afflusso di visitatori, ha permesso di individuare in alcuni periodi dell'anno un rapporto di dipendenza fra le variazioni dei due parametri.
Tale correlazione potrebbe essere ascrivibile contemporaneamente a due cause diverse:
la forte movimentazione dell'aria conseguente ad ingenti aumenti del volume e della velocità delle acque correnti, con conseguenti fenomeni di pistonaggio ed aspirazione dell'atmosfera delle zone più profonde della cavità, notevolmente più ricca in CO_2, e successivo miscelamento con quella delle zone più elevate e abitualmente più ventilate; un maggior trasporto da parte delle acque di piena di CO_2 disciolto, successivamente ceduto all'aria della grotta nell'ambito di un processo di riequilibrio con quello atmosferico.
Questa seconda ipotesi non ha finora potuto essere approfondita per la mancanza di rilevamenti recenti del biossido di carbonio disciolto nelle acque. Misurazioni effettuate negli anni 1984-1987, quando non veniva ancora rilevato il CO_2 atmosferico, indicavano effettivamente un rilevante aumento della presenza di questo gas nelle acque in corrispondenza dei periodi di piena (cfr. Atti della Stazione Scientifica della Grotta di Bossea, 1990, pag. 66-71).
Tuttavia solo rilevamenti isocroni di lungo periodo, non influenzati dall'afflusso dei visitatori, potranno consentire una esauriente verifica dell'ipotesi in oggetto.

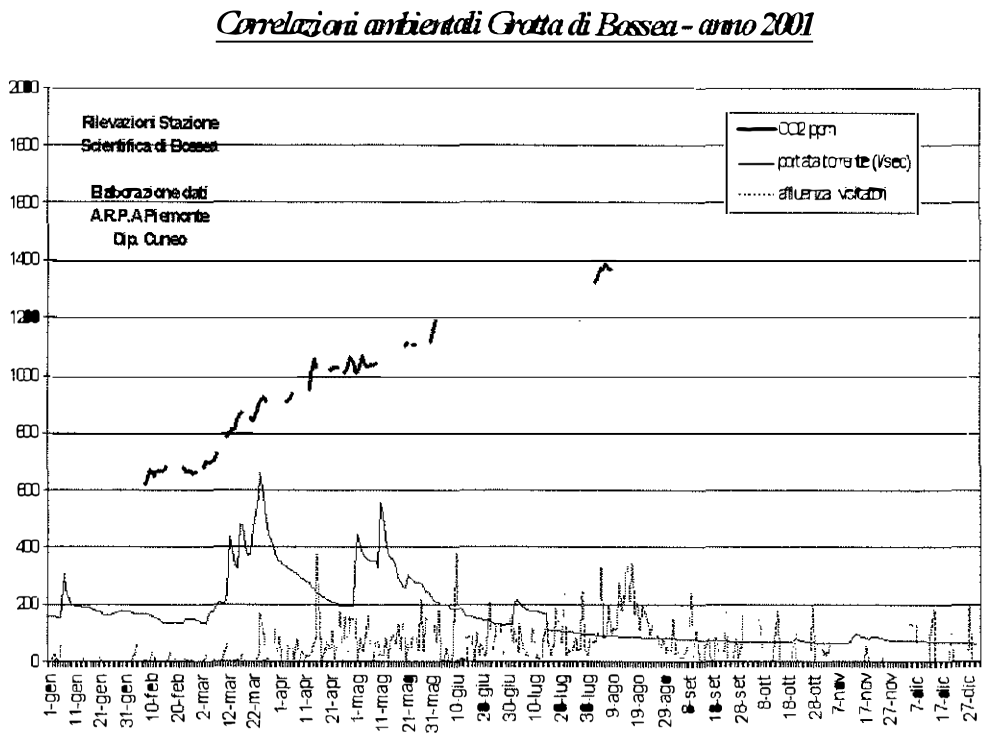


Fig.6 - Correlazioni tra concentrazioni di CO_2, frequentazione antropica e portata del torrente nel corso del 2001.

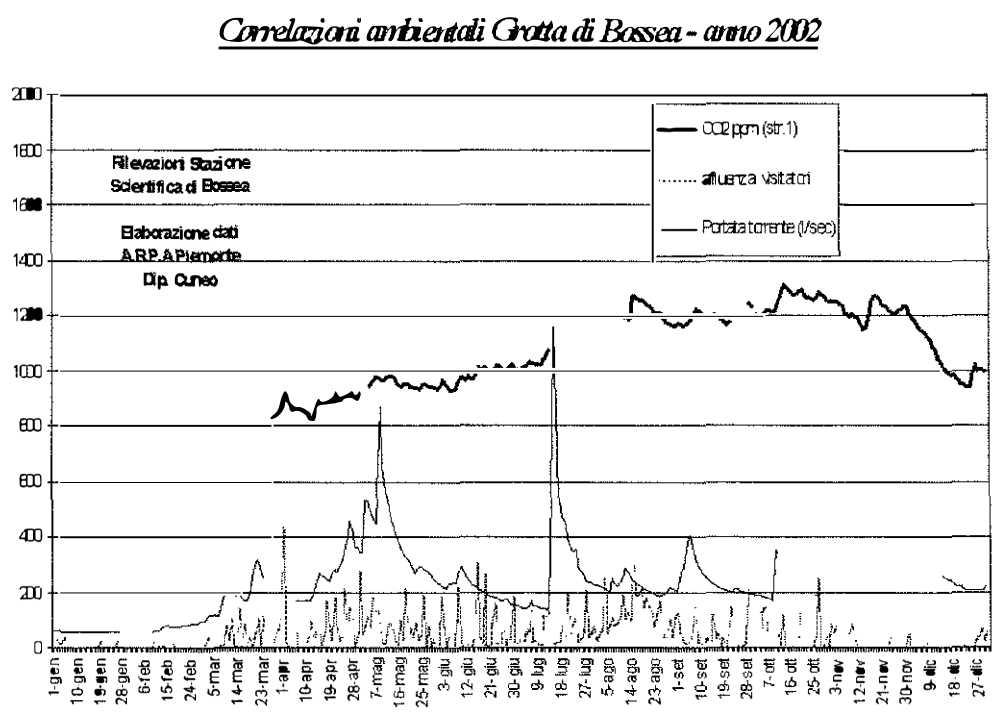


Fig.7 - Correlazioni tra concentrazioni di CO_2, frequentazione antropica e portata del torrente nel corso del 2002.

area tematica F

L'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1996 NELLA GROTTA DI BOSSEA

Guido Peano[1-2], Bartolomeo Vigna [1-3], Ezechiele Villavecchia [1]

[1] *Stazione Scientifica di Bossea*
[2] *Comitato Scientifico Centrale del C.A.I.*
[3] *Dipartimento Georisorse e Territorio del Politecnico di Torino*

RIASSUNTO

Nel 1996 si è verificata nella grotta di Bossea una piena eccezionale del collettore ipogeo, con danni assai rilevanti entro la cavità e successivamente nell'ambiente esterno.
Nel lavoro, in base ai dati strumentali, alle osservazioni sul territorio ed alla documentazione degli spelosub, vengono ricostruite la dinamica degli eventi e la cause prime dell'evento alluvionale.
Queste ultime risultano riferibili agli squilibri idrogeologici indotti nell'acquifero di Bossea dalla concomitanza di una gestione dell'alpeggio non compatibile con la vulnerabilità di questo sistema carsico, nel suo bacino di alimentazione, e di due straordinari eventi di piena dei torrenti esterni tributari del collettore sotterraneo.Tali squilibri e gli inquinamenti biologici ad essi associati hanno prodotto nella grotta anche alcuni danni ecologici permanenti, mentre una situazione ancora instabile nella zona sommersa non permette di escludere, ove si reiterassero i citati eventi, il pericolo di nuove alluvioni. Oggi si profilano inoltre nuovi rischi di inquinamento delle acque. Nello studio vengono pertanto indicati i provvedimenti da adottarsi ai fini della eliminazione o almeno della riduzione dei rischi e dei danni.

ABSTRACT

In the year 1996 a remarkable flood of the subterranean river of Bossea occurred, causing relevant damage inside and outside the cave. On the basis of instrumental data, environmental observations and surveys of underwater speleologists, the dynamics and the causes of the event are reconstructed.
These causes can be abscribed to hydrological imbalances primed by a incorrect management of livestock activities in the catchment basin of the cave and by two simultaneous remarkable flood events occurred in the superficial streams tributary to the Bossea's cave system. Such an imbalance determined permanent damages to the cave ecology while a risk of new floods due to the unstable situation of the sediments in the submerged zone exists.
In addition, new water pollution risks emerge; the study suggests the actions needed to exclude or minimize risks and damages.

PREMESSA

Il 9 ottobre 1996, a seguito delle intense precipitazioni avvenute nell'area nei due giorni precedenti, si è verificato nella Grotta di Bossea uno straordinario evento idrogeologico di cui non esisteva precedente memoria in Val Corsaglia: una immane e repentina ondata di piena del collettore ipogeo si è riversata nella cavità, allagandola e sommergendone la parte iniziale; le acque si sono quindi rovesciate nell'ambiente esterno, dopo aver saturato le usuali vie di deflusso della zona di risorgenza, tramite una serie di nuove polle apertesi nel versante in corrispondenza di una serie di fratture preesistenti, e in particolare tramite il corridoio d'ingresso della grotta, ritenuto ormai inattivo da millenni. In superficie l'ingente flusso idrico ha allagato un'area rilevante, arrecando notevoli danni e determinando la chiusura della strada provinciale per oltre 24 ore.

In grotta le acque, fuoriuscendo dal sifone principale, hanno inondato il canyon del torrente, nella zona superiore e più interna, con una crescita di livello prossima ai 4 metri. Nella profonda forra l'ingente portata e la velocità delle acque hanno travolto piattaforme e passerelle, captazioni e condotte idriche del laboratorio e la stazione di taratura dei termometri. Si è tuttavia salvata la strumentazione scientifica più sofisticata e più costosa, talora sfiorata ma non raggiunta dalla piena.
Nella zona inferiore della grotta le acque, fuoriuscendo dall'alveo torrentizio, si sono espanse nei giganteschi saloni, danneggiando gli itinerari turistici e l'impianto elettrico ed hanno infine sommerso la zona più bassa della cavità (Gallerie dell'Inferno e gran parte della Sale delle Frane): qui, non potendo essere smaltite dai consueti esutori, hanno raggiunto ed allagato, con rapidissimo aumento di livello (oltre 20 metri in poco più di mezz'ora) il corridoio d' accesso, mentre numerose polle e fontanili si aprivano nel vicino versante esterno, sotto l'ingresso della grotta, per effetto della pressione idrostatica in continuo aumento nella cavità e nelle fratture comunicanti con la superficie.
Il corridoio d'ingresso veniva quindi inondato e in alcune zone completamente sommerso, le acque si riversavano poi massivamente all'esterno, precipitando sulle rampe d'accesso, sulle cabine elettriche, sui locali magazzino, sull'albergo della Grotta e sulla sottostante strada provinciale; raggiungevano infine l'alveo del Corsaglia dopo aver prodotto danni rilevanti.
La portata massima del corridoio d'ingresso è stata valutata in circa 1800 l/s, mentre la portata complessiva delle acque in uscita dalla cavità tramite tutte le vie di deflusso, nel periodo di massima piena, è stata valutata, in modo approssimativo, di entità mediamente compresa fra i 4 ed 5 mc/s.
Tale valore si manteneva per circa 3 ore, raggiungendo in questo periodo un volume complessivo prossimo ai 50.000 metri cubi. Cessato il gettito dall'ingresso principale, il flusso continuava ancora a lungo in corrispondenza delle varie emergenze del versante, e solo alle 24 del giorno 10 il transito delle acque era rientrato nell'ambito delle usuali vie di drenaggio.

IL SISTEMA CARSICO DI BOSSEA

Il bacino carsico di Bossea è stato studiato sin dall'inizio degli anni '70 attraverso l'installazione di un laboratorio scientifico all'interno della cavità, progressivamente attrezzato con una serie di strumentazioni specificatamente realizzate per il monitoraggio dei principali parametri idrodinamici e idrogeochimici del sistema. Il laboratorio è gestito dalla Stazione Scientifica del CAI di Cuneo e dal Politecnico di Torino, con la collaborazione di altre organizzazioni (Dipartimento ARPA di Cuneo e ARPA Valle d' Aosta).
Il bacino carsico di Bossea è ubicato nel settore del Piemonte meridionale, nelle Alpi Liguri, ad una quota compresa tra gli 800 e i 1700 m s.l.m.. L'area di assorbimento è localizzata tra la Valle Corsaglia e la Valle Maudagna ed è caratterizzata da un carso mediamente coperto da depositi eluvio-colluviali, con una serie di valloni assorbenti (Rio di Roccia Bianca e Rio Bertino) caratterizzati da portate piuttosto modeste e variabili a seconda delle condizioni meteorologiche.
Le emergenze principali sono localizzate in prossimità dell'alveo del Torrente Corsaglia, in corrispondenza dell'abitato di Bossea, ad una quota di 800 m s.l.m.. La cavità di Bossea è percorsa da un corso d'acqua direttamente collegato con tali sorgenti e che costituisce il collettore principale del sistema in oggetto.
La grotta si sviluppa in direzione E-O, nella prima parte, direttamente sul contatto tra il basamento impermeabile e la copertura carbonatica con una serie di ampi saloni di crollo, da quota 826 m a quota circa 940 m s.l.m.. In seguito la cavità prosegue con un'ampia forra orizzontale impostata lungo una serie di discontinuità dell'ammasso roccioso, allineate anch'esse in direzione E-O (foto 1). La cavità termina in corrispondenza di una serie di gallerie a pieno carico, esplorate fino a -57 m dal pelo libero, a circa 1500 m dall'ingresso. Il collettore principale riceve una serie di apporti secondari localizzati lungo tutto lo sviluppo della grotta. La prima parte della cavità è attrezzata per la visita turistica con una serie di percorsi appositamente realizzati.

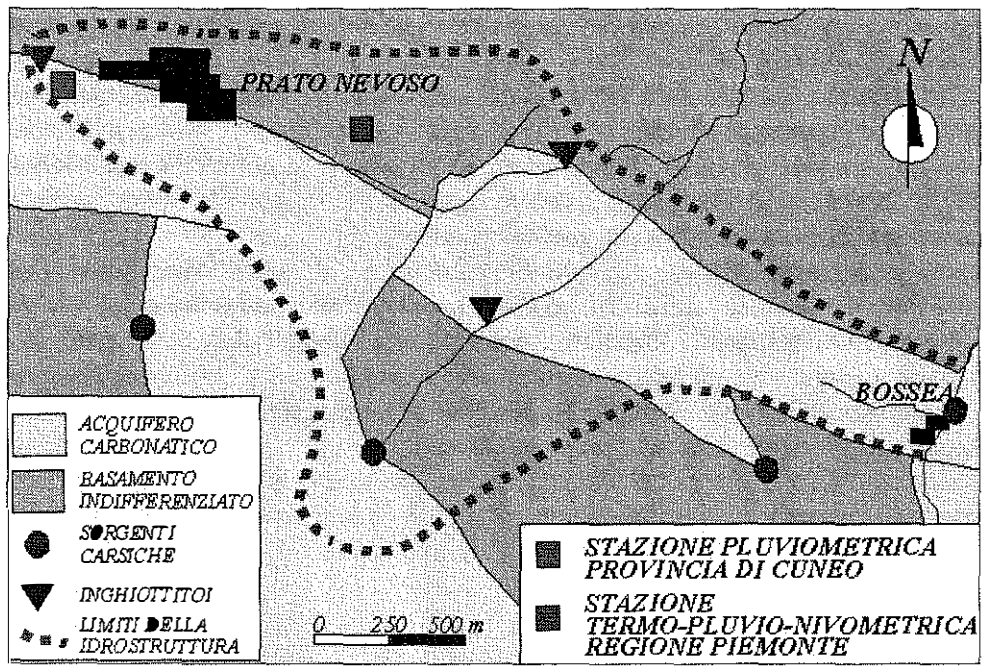


Fig. 1 - La struttura idrogeologica alimentante le sorgenti di Bossea.

Assetto geologico ed idrogeologico

Il bacino sotterraneo di Bossea raggiunge una dimensione di 2,8 km² ed è costituito da una stretta fascia di calcari e calcari dolomitici riferibili alla successione del Brianzonese Ligure datata dal Trias medio al Cretaceo. La struttura carbonatica (fig. 1) è limitata dalle rocce pretriassiche del basamento metamorfico (quarziti e porfiroidi) attraverso una serie di contatti tettonici sub-verticali, con orientazione E-O. Il limite occidentale della struttura è individuabile in corrispondenza di un'importante depressione tettonico-carsica in prossimità della stazione sciistica di Prato Nevoso, in alta Val Maudagna. Tale struttura è caratterizzata da una serie di deformazioni plastiche e rigide, con conseguente elevato stato di fratturazione delle diverse litologie presenti nel bacino. I sedimenti carbonatici sono interessati da un notevole carsismo superficiale e profondo, con conseguente elevata permeabilità dell'ammasso roccioso.
L'area di ricarica del sistema comprende, inoltre, una serie di piccoli valloni impostati sulle rocce del basamento, caratterizzate da ridotta permeabilità, che verso valle, in corrispondenza del contatto con le rocce carbonatiche, presentano una serie di perdite del flusso superficiale.
L'alimentazione dell'intero sistema di conseguenza è pertanto fornita, oltre che dagli apporti diretti pluvio-nivali, anche dalle infiltrazioni in subalveo del Rio di Roccia Bianca e del Rio Bertino. I limiti del bacino idrogeologico sono stati definiti sulla base di una serie di test con traccianti artificiali e verificati comparando il bilancio medio pluriannuale delle precipitazioni con la portata media delle sorgenti.

Il laboratorio sotterraneo

Il laboratorio sotterraneo è installato dal 1969 all'interno della cavità ed a partire dagli anni '80 si è progressivamente ampliato con l'aggiunta di nuove strumentazioni. Nella prima fase dello studio è stato costruito uno stramazzo lungo il collettore principale dotato di un misuratore di livelli idrici per il monitoraggio della portata del corso d'acqua principale e sono stati installati i primi misuratori automatici della conducibilità elettrica e della temperatura delle acque.

In seguito sono state aggiunte strumentazioni sempre più precise e affidabili ampliando il numero dei parametri monitorati (pH, ossigeno disciolto, CO_2, Radon, ecc.) rilevati nel laboratorio principale, nel laboratorio avanzato (Canyon del torrente) e nelle numerose stazioni di misura periferiche, dislocate lungo tutto lo sviluppo della cavità.
In particolare sono stati progressivamente attrezzati gli apporti secondari e i principali stillicidi con la finalità di studiare il comportamento del settore non saturo sovrastante la cavità, sia dal punto di vista della caratterizzazione quantitativa che qualitativa delle acque.
Per tale studio sono stati utilizzati differenti sistemi di misura adattati alle particolari condizioni di studio. Per le portate più basse (stillicidi) sono stati impiegati dei pluviografi e dei contenitori forellati dotati di acquisitori automatici di livello, temperatura e conducibilità delle acque, mentre per gli apporti maggiori sono state realizzate piccole bocche a stramazzo, anch'esse equipaggiate con sonde multiparametriche. I punti monitorati dalla stazione scientifica riguardanti lo studio delle acque sotterranee, oltre al collettore principale, sono attualmente 16.
I dati relativi alle precipitazioni ed alle temperature dell'aria nell'area di alimentazione del sistema sono forniti da una serie di stazioni di misura gestite dalla Provincia di Cuneo (Stazione di Prato Nevoso), dalla Regione Piemonte (Stazioni di Borello e Monte Malanotte) e direttamente dalla stazione scientifica (Stazione di Bossea).

Idrodinamica del sistema

I dati raccolti sul collettore principale coprono un arco di tempo di oltre 20 anni, con alcune interruzioni dovute a mal funzionamento e guasti della strumentazione. Le misure relative agli apporti secondari partono dal 1985 con i primi strumenti installati presso la Polla delle Anatre e lo Stillicidio dell'Orso.
L'andamento annuale delle portate del collettore principale, pur con qualche variazione in anni diversi, rileva un andamento generale facilmente identificabile. Nei mesi invernali la portata presenta una progressiva diminuzione raggiungendo i valori minimi annuali, pari a circa 0,04 - 0,05 m^3/s, intorno all'ultima decade di febbraio, legati alle basse temperature esterne e dalla conseguente assenza di apporti infiltrativi.
Segue un'importante piena primaverile, caratterizzata da portate che subiscono forti variazioni legate alla concomitanza di episodi piovosi prolungati con il massimo dello scioglimento nivale in quota e valori di colmo che superano 1 m^3/s, rilevati in genere nel mese di maggio. In seguito si osserva una progressiva diminuzione del flusso, sostenuto dalle riserve regolatrici del sistema, in grado di mantenere la portata su valori piuttosto elevati per lunghi periodi, in assenza di apporti diretti.
Nel periodo estivo ed autunnale intense e prolungate precipitazioni possono provocare notevoli aumenti di portata originando picchi secondari che si esauriscono in alcune settimane. In tali mesi, anche in assenza di precipitazioni, la portata si mantiene su valori superiori agli 0,05 - 0,06 m^3/s.
Il ritardo della risposta idrodinamica del sistema alle precipitazioni è condizionato dallo stato di saturazione della rete non satura.
In seguito a lunghi periodi siccitosi occorrono anche oltre 24 ore dall'inizio della precipitazione per rilevare un aumento dei deflussi, mentre nella situazione in cui la rete di drenaggio si trova in condizioni di relativa saturazione, la risposta idrodinamica è pressoché immediata, evidenziando fenomeni di pistonaggio con messa in carico della rete di deflusso principale da parte delle acque di neoinfiltrazione e relativa trasmissione delle pressioni idrauliche all'interno dell'ammasso roccioso.
I test con traccianti hanno evidenziato tempi di circolazione all'interno della rete di deflusso piuttosto lunghi, compresi tra 3 e 15 giorni, a seconda delle condizioni idrodinamiche del sistema, quindi molto differenti rispetto ai tempi di risposta idrodinamica, che evidenziano l'importanza della trasmissione delle pressioni idrauliche all'interno di una rete carsica a pieno carico.
Nel 1994, in seguito all'evento alluvionale che ha interessato l'intero settore del Piemonte meridionale, il picco di piena ha raggiunto un valore di 1,5 m^3/s, poco superiore ai valori massimi registrati durante le piene ordinarie, evidenziando come il sistema carsico in seguito a precipitazioni molto intense non riesca ad assorbire l'ingente volume degli apporti, a causa della forte acclività dei versanti e della relativa copertura del carso che facilitano il ruscellamento superficiale.

LA DINAMICA DELL'EVENTO

Nella mattina del giorno 9 le guide constatano come la portata del torrente, che la sera precedente aveva raggiunto i maggiori livelli di piena (oltre 1300 l/s), sia scesa improvvisamente nel corso della notte a livelli esigui, mentre le acque precedentemente caratterizzate da un notevole trasporto solido, appaiono limpide e trasparenti. Allertate da questa situazione le guide decidono di evitare nella giornata ogni ingresso turistico ed operano, tramite frequenti sopralluoghi, un controllo continuativo all'interno della cavità. Alle 15,30 dal terrazzino sovrastante la Sala delle Frane le guide osservano un improvviso ed ingente aumento della portata caratterizzato da un elevatissimo trasporto di sedimenti fini e si ritirano all'esterno. Poco dopo le acque invadono il corridoio d'ingresso, saturandolo, in più zone, fino alla volta (foto 5). Intorno alle 16 viene raggiunto il massimo deflusso. In un tratto di oltre 100 m di larghezza, compreso tra il vecchio albergo della grotta e la nuova struttura di ricezione, si attivano, attraverso fratture ed esigui condotti, decine di emergenze che tramite una serie di impressionanti cascate si riversano nel torrente Corsaglia (foto 2). Si attiva inoltre una cospicua venuta a monte della vecchia struttura alberghiera che allaga le sale del secondo piano e si riversa in strada dal balcone originando una grossa cascata (foto 3). In base al tracciato dell'idrometrografo (fig. 2), alle osservazioni delle guide e di uno degli autori del presente lavoro, è stato possibile ricostruire la sequenza degli eventi e la dinamica della violenta alluvione. In seguito alle intense precipitazioni verificatesi a partire dalle ore 2 del giorno 7/10, la portata del collettore di Bossea incomincia ad aumentare sensibilmente ad iniziare dalle ore 11, raggiungendo un valore di oltre 1330 l/s verso le 14 del giorno 8. La portata subisce poi ancora un blando incremento di alcune decine di l/s ma alle ore 0.15 del giorno 9 subisce una istantanea diminuzione raggiungendo un valore intorno ai 3 l/s nell'arco di 15 minuti.

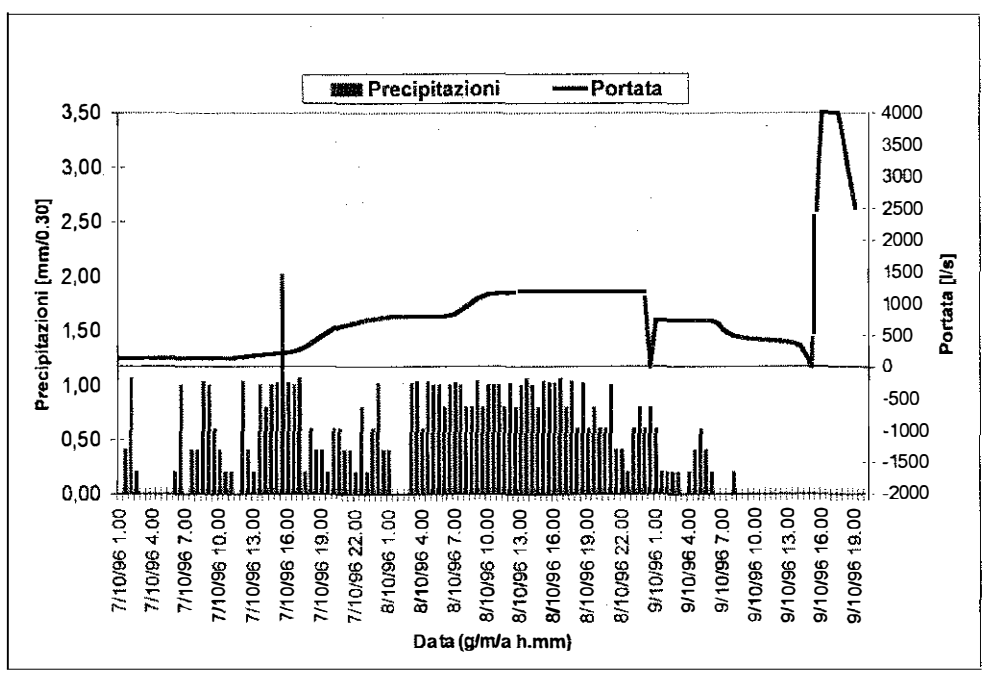


Fig. 2 - Andamento della portata e delle precipitazioni relative all'evento alluvionale.

Alle ore 0,30 si verifica un improvviso aumento del flusso che raggiunge i 734 l/s, valore che si mantiene invariato per oltre 5 ore. Verso le 6 del medesimo giorno l'idrogramma mostra una evidente diminuzione della portata che a partire dalle 14 subisce una drastica riduzione raggiungendo di nuovo un minimo di circa 3 l/s (ore 15.05). A tale temporanea interruzione del flusso segue poi una improvvisa e violenta ondata di piena che nell'arco di 10 minuti raggiunge un valore di colmo stimato superiore ai 4.000 l/s (ore 15.15).

L'apparato di misura dell'idrometrografo a registrazione in continuo (galleggiante e relativo contrappeso), viene espulso dalla tubazione di contenimento a causa dell'incredibile aumento dei livelli idrici e quindi i valori massimi registrati non sono stati ritenuti attendibili. La portata mantiene valori sempre molto elevati per almeno 3 ore poi inizia a scendere lentamente raggiungendo i livelli di piena ordinaria dopo circa 24 ore.
In oltre 20 anni di misure effettuate a Bossea, la portata massima registrata era stata quella verificatasi in occasione della piena del novembre '94, dove il picco di piena aveva raggiunto 1.500 l/s.

LE CAUSE DELL'EVENTO

Sulla base delle informazioni ottenute dalla strumentazione di monitoraggio, dalle testimonianze delle guide, dalle osservazioni effettuate sia nella zona dei sifoni terminali della cavità da parte degli speleosub, sia nella zona assorbente principale, è stato possibile formulare alcune ipotesi sulla causa di tale straordinario evento.
Nell'area di alimentazione del sistema carsico di Bossea, come già precedentemente descritto, sono presenti alcuni valloni assorbenti che raccolgono le acque di ruscellamento superficiale provenienti da vaste zone poco permeabili che limitano lateralmente la struttura carbonatica. Il più importante, denominato vallone del Rio di Roccia Bianca (foto 4), è ubicato a circa 1.5 Km di distanza dalla cavità, e presenta in prossimità della testata, una vasta area caratterizzata da una potente copertura eluvio-colluviale sulla quale è cresciuta nella zona più orientale una rigogliosa foresta a conifere, mentre sui versanti sud-occidentali sono presenti vaste aree prative.
Nell'area suddetta è stata realizzata, in passato, una strada di collegamento tra il centro sciistico di Prato Nevoso e la Val Corsaglia mentre da oltre 10 anni sono iniziati i lavori per la costruzione, alla testata del vallone, di una grande stalla (con annessa abitazione dei pastori) in grado di accogliere, insieme con il ripiano artificiale antistante (foto 6), qualche centinaio di bovini.
Tali lavori hanno comportato movimenti di terra assai rilevanti, protrattisi per fasi successive fino al 2004 con la creazione di un piazzale di stazionamento per gli animali, della captazione delle acque di alcune sorgenti, della sistemazione delle relative condotte e degli abbeveratoi e del tracciamento ed ampliamento di strade sterrate, atte a raggiungere con mezzi motorizzati la stalla e gli impianti complementari.
Tutti questi interventi hanno, per anni, favorito l'erosione ed il dilavamento dei depositi della copertura da parte delle acque di ruscellamento superficiale che hanno trasportato tali sedimenti verso l'alveo torrentizio immediatamente sottostante. I depositi rimobilizzati, in particolare durante le piene più importanti, sono stati progressivamente fluitati nel sistema carsico attraverso una serie di fratture beanti e di diversi inghiottitoi (foto 7), presenti in un lungo tratto altamente assorbente ubicato a circa un chilometro a valle della stalla, oltre il contatto tra le quarziti del Monte Merdenzone ed i calcari della Costa di Roccia Bianca. Tali sedimenti, unitamente a quelli trasportati da migliaia di anni dalle acque di ruscellamento, sono stati progressivamente accumulati nelle parti più depresse o di minore dinamismo dell'acquifero ed in particolare lungo le condotte inclinate dei profondi sifoni di Bossea, espolrati dagli speleosub a partire dagli anni '70 fino al 1997.
Il trasporto solido all'interno della cavità è stato notevolmente incrementato in occasione delle ingenti e violentissime precipitazioni del novembre '94 che causarono la ben nota alluvione del Piemonte meridionale. Questo eccezionale evento di piena ha rimosso negli alvei di quasi tutti i corsi d'acqua secondari, confluenti nella rete di drenaggio principale, i sedimenti che nel tempo si erano accumulati, mettendo a nudo l'ammasso roccioso sottostante (fig. 3).
Le acque di ruscellamento superficiale che alimentavano il sistema carsico attraverso gli inghiottitoi di sub-alveo, venivano filtrate dal materasso alluvionale presente in corrispondenza di questi rii. Dopo l'evento del '94, mancando questo filtro naturale, a Bossea hanno iniziato a manifestarsi fenomeni di intorbidimento delle acque, in seguito ad intense precipitazioni. Tale fenomeno è stato rilevato anche in numerose sorgenti carsiche, captate ad uso idropotabile, presenti in questo settore, causando notevoli problemi relativi alla qualità della risorsa prelevata.

Le ingenti precipitazioni con valori prossimi a quelli relativi all'evento del '94 e la relativa piena dell'ottobre '96, hanno introdotto nel sistema carsico nuovi ingenti volumi di depositi fini che, sulla base dei dati idrometrici, sembrano essere collassati in più momenti, in corrispondenza delle gallerie a pieno carico caratterizzate da notevoli inclinazioni, causando l'ostruzione parziale ed in alcuni momenti anche totale delle vie di drenaggio principali.
Tale ipotesi è stata anche confermata dalle esplorazioni degli speleosub del CSARI di Bruxelles che nel 1997 nel corso di un'immersione nel sifone terminale (fig. 4), non sono più riusciti a raggiungere la profondità conseguita precedentemente nel '95 (-54 m), essendosi dovuti arrestare, una decina di metri più in alto, davanti ad un restringimento della galleria discendente, causato dall'accumulo di limi che avevano ridotto fortemente le dimensioni del passaggio.

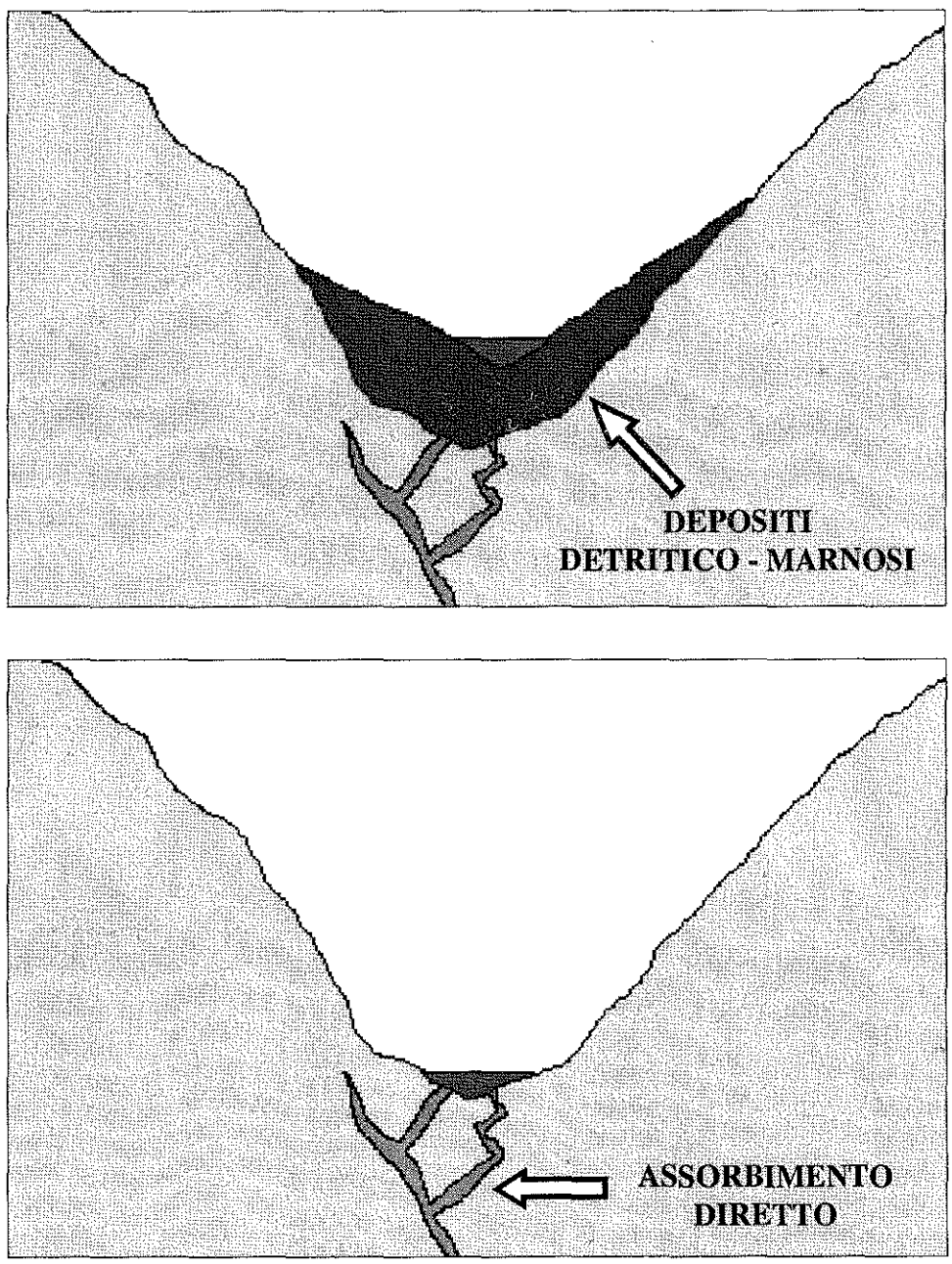


Fig. 3 - Situazione del vallone assorbente del Rio di Roccia Bianca prima e dopo l'evento alluvionale del 1995.

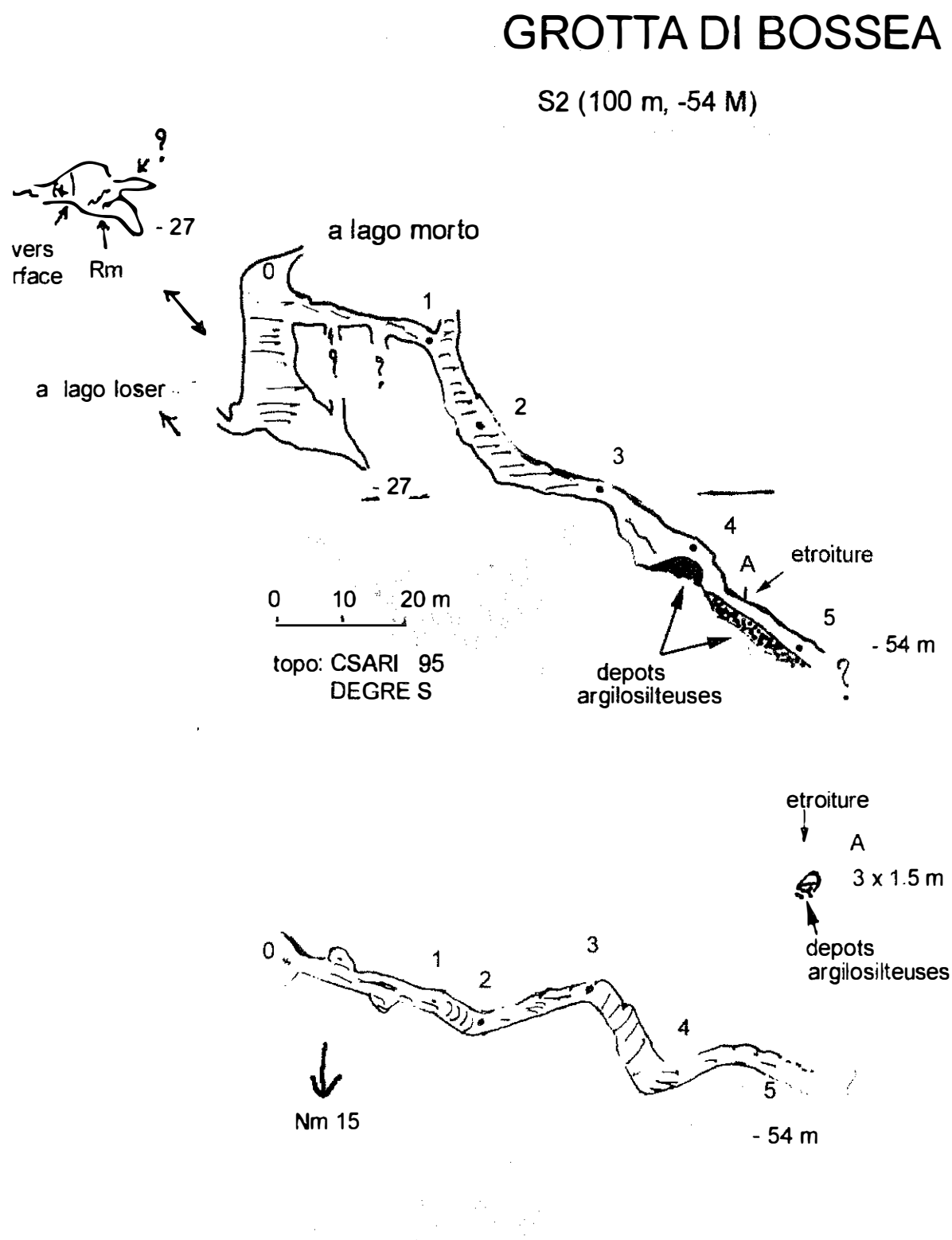


Fig. 4 - Sifone principale di Bossea: la parte più profonda della sua zona esplorata può essere soggetta a restringimenti, o in determinati casi ad occluzioni, ad opera dei depositi di limo mobilizzati dalle acque (topografia e disegno CSARI Bruxelles 1995, modificati). Nell'ultima immersione effettuata (1997) i subacquei belgi si sono dovuti arrestare a monte della strettoia, forse interessata nel 1996 da un occluzione totale concausa della successiva ondata di piena.

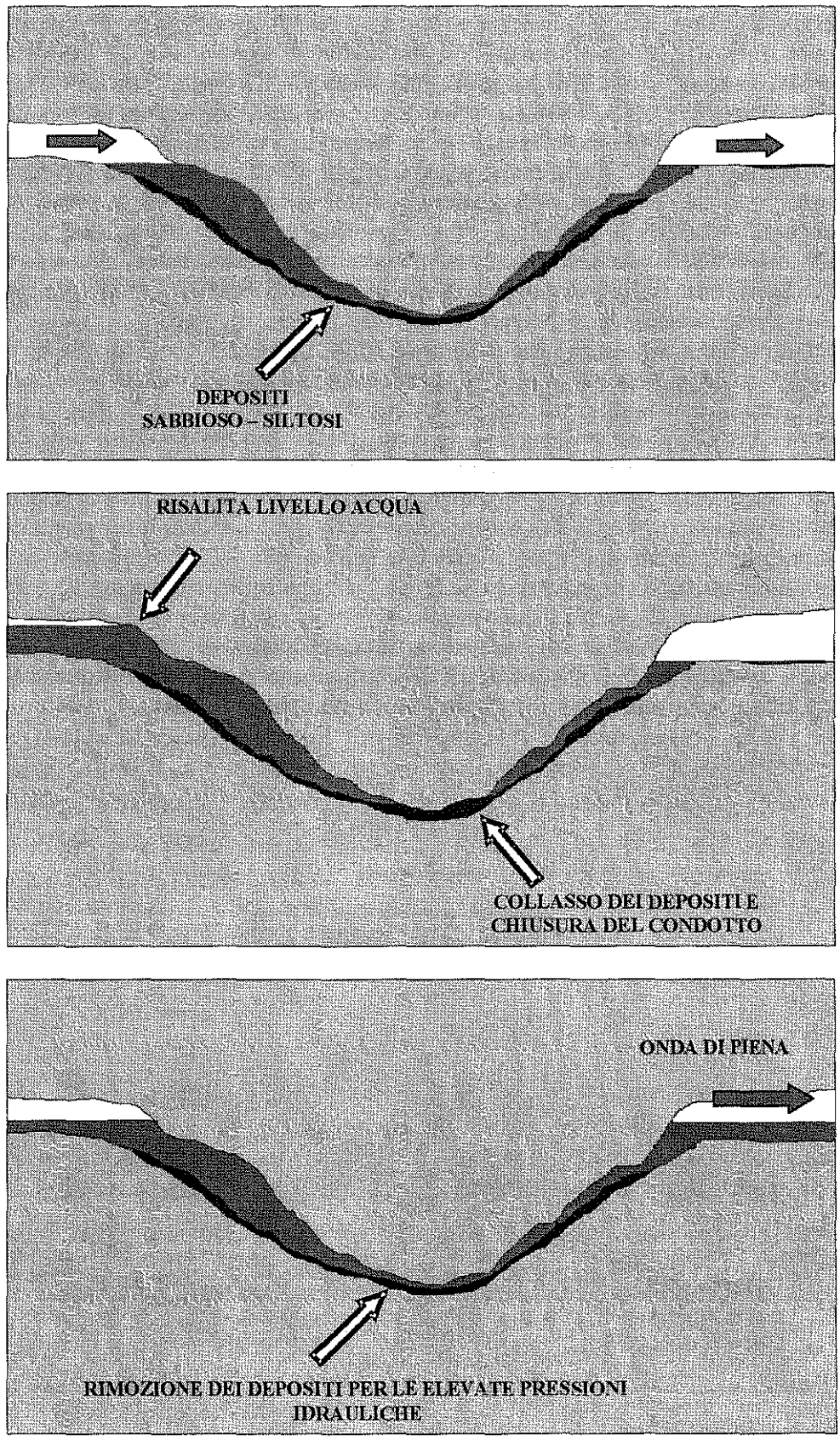


Fig. 5 - Successive fasi relative all'evento alluvionale (rappresentazione schematica).

Altre masse fangose in equilibrio instabile poggianti sul pavimento inclinato del condotto, pochi metri al di sopra della strettoia, hanno scoraggiato ogni tentativo di prosecuzione, per l'evidente pericolo di una sua occlusione per la caduta del materiale smosso durante il passaggio dei subacquei.
Le occlusioni, totali e parziali del condotto, durate circa 15 ore hanno causato nel tratto a monte della cavità l'accumulo di un volume idrico che è stato stimato intorno ai 50.000 m³, fino a quando la pressione idrostatica è riuscita a liberare il passaggio causando l'eccezionale ondata di piena (Fig. 5).
Durante la prima fase dell'evento è stata osservata una elevatissima quantità di sabbia fine e limo trasportata dal flusso idrico che conferiva alle acque una particolare colorazione giallo-paglierina. L'ingente trasporto solido ha caratterizzato le prime 3 ore della piena, per poi ridursi progressivamente nel successivo periodo. Tali sedimenti sono stati depositati in moltissimi tratti della cavità, raggiungendo spessori anche superiori ai 50 cm.
Particolarmente interessanti sono i dati di portata relativi al periodo successivo all'evento che evidenziano come l'acquifero carbonatico sia stato pesantemente condizionato dal fenomeno alluvionale.
Riparata l'apparecchiatura di misura dei livelli idrici dopo circa 15 giorni, lo strumento ha ripreso il suo regolare funzionamento mostrando nei mesi successivi un trend del flusso sotterraneo del tutto diverso rispetto all'andamento generale osservato in oltre 20 anni di misure (fig. 6).
La portata del collettore principale si è infatti mantenuta molto regolare per oltre un anno, con un valore piuttosto elevato, superiore ai 100 l/s, senza mostrare le variazioni di carattere stagionale tipiche del sistema, descritte nei primi capitoli, con minimi invernali ed estivi ed una importante piena primaverile.
Tale anomalo comportamento potrebbe essere legato ancora dalla rimobilizzazione dei materiali fini nei condotti a pieno carico che hanno causato importanti restringimenti delle vie di deflusso principali.
Queste riduzioni hanno causato una regolazione del flusso sotterraneo, generando nelle zone a monte estesi bacini di compenso che venivano ricaricati in occasione degli apporti più importanti cedendo poi la riserva accumulata piuttosto lentamente attraverso queste vie di deflusso.

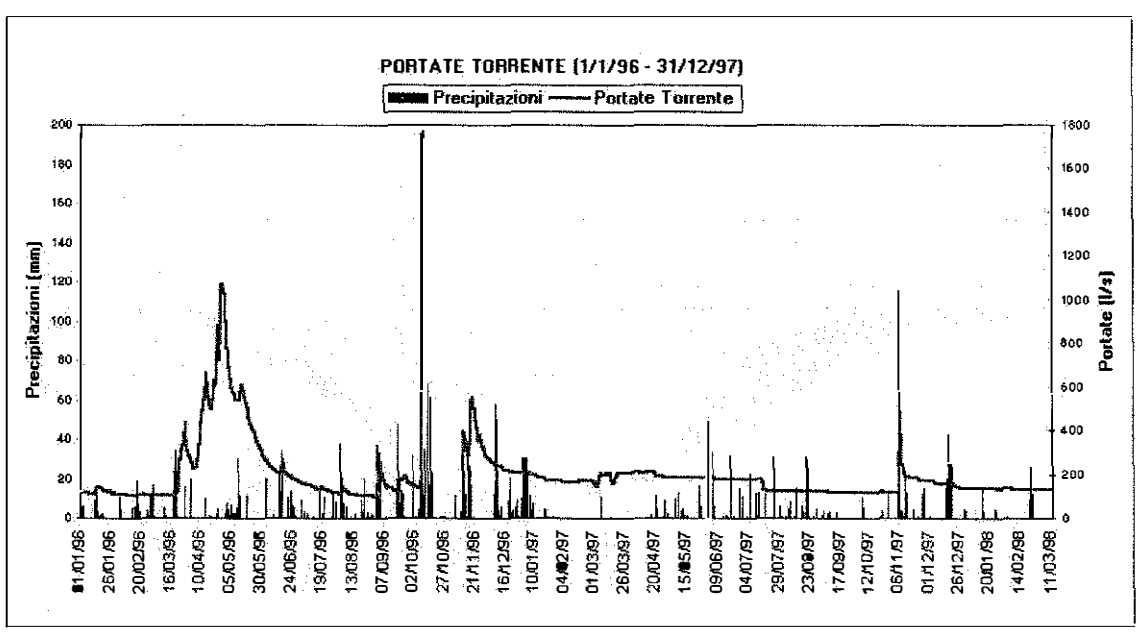


Fig. 6 - Andamento della portata del collettore di Bossea prima e dopo l'evento alluvionale.

Nel tempo poi, i sedimenti accumulati lungo questi restringimenti vengono poco per volta fluitati verso la sorgente e, allargandosi quindi il passaggio, la circolazione idrica sta ritornando progressivamente alla situazione precedente l'evento.
Tuttavia nuove ingenti precipitazioni e conseguenti piene dei torrenti esterni, associate ad ulteriori movimenti di terra nel vallone del Rio di Roccia Bianca, immettendo altre masse fangose nel sistema carsico, potrebbero invertire il processo comportando nuovi rischi di alluvione nella grotta.

LA SITUAZIONE ATTUALE

Ancora nel 2004 si osservano a Bossea, in occasione di intensi apporti o in seguito alla realizzazione di lavori nell'area assorbente del Rio di Roccia Bianca, intorbidamenti delle acque legate al fenomeno del trasporto solido ed ad una situazione idrogeolgica non ancora del tutto stabilizzata.
Il massivo apporto nel sistema carsico di fanghi e di acque di qualità scadente (legate alle stalle ed al stazionamento di persone ed animali) ha provocato nella grotta di Bossea due conseguenze gravi e durature: il frequente intorbidamento anche molto marcato delle acque del torrente, precedentemente ben note per la loro limpidezza anche in condizioni di notevole portata, con evidente danno dell'immagine turistica della cavità e un rilevante inquinamento delle stesse acque in precedenza prive di carica batterica e perfettamente potabili, constatato tramite una campagna di campionamenti e di analisi periodiche effettuate negli anni 2002-2003 in collaborazione con il Dipartimento di Cuneo dell'ARPA del Piemonte, come riferito in altro lavoro dei presenti atti.
Questi gravi inconvenienti hanno causato la probabile scomparsa dalle acque del torrente o almeno la fortissima rarefazione di una rara specie di Niphargus, crostaceo endemico della Grotta di Bossea di grande importanza scientifica.
Negli anni 2002-2003 sono stati effettuati altri lavori presso la testata del vallone del Rio di Roccia Bianca, sia nei pressi della predetta stalla sia più in basso, (poco a monte dell'intersezione del torrente con la strada Fontane-Colle del Prel), con importanti movimenti di terreno e costruzione di in nuovo edificio che potrebbe essere parzialmente destinato ad attività casearie (foto 8).
Oggi i lavori sembrano essere non ancora terminati; sono state realizzate captazioni delle acque sorgive e tracciato un tratto di una nuova strada sterrata probabilmente destinata al collegamento dell'edificio con la stalla sovrastante.
Tutti questi movimenti di terra sono stati realizzati in vicinanza dell'alveo torrentizio ed i materiali smossi e le deiezioni animali sono inevitabilmente destinate ad essere dilavate e fluitate verso le sorgenti di Bossea.
Questa zona è ubicata a breve distanza dalle perdite sub-alveari del Rio di Roccia Bianca, in cui tutte le sostanze nocive, insieme ai depositi fini possono infiltrarsi e giungere nel sistema con grande rapidità: l'eventuale entrata in esercizio di un'attività casearia nel predetto edificio, potrebbe poi causare un'ulteriore alterazione della qualità delle acque sotterranee ed un più grave danno biologico a carico delle residue specie faunistiche acquatiche.

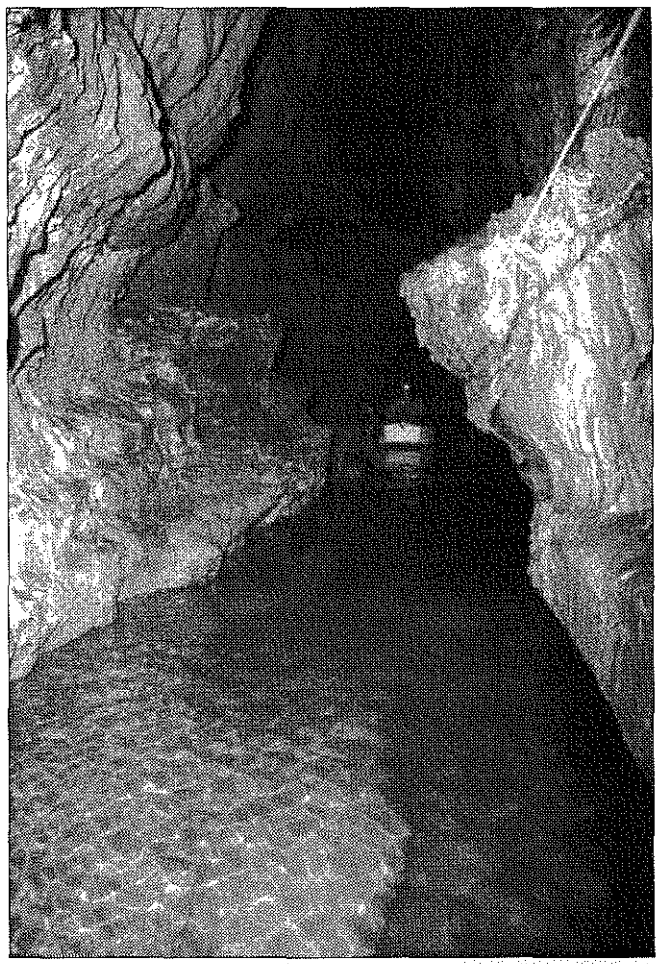
I POSSIBILI PROVVEDIMENTI

Ai fini di una riduzione del grave impatto antropico causato nella principale area assorbente del sistema carsico e dei rischi per i visitatori della grotta, in seguito ad un evento straordinario come quello del '96, vengono indicati alcuni provvedimenti cautelativi da adottarsi sia in cavità che nell'ambiente esterno.
Gli accorgimenti che possono essere eseguiti a Bossea, già in parte adottati, rientrano nelle competenze della Stazione Scientifica e consistono prevalentemente nel monitoraggio, in tempo reale, di alcuni parametri fisici, chimici e biologici delle acque sotterranee, le cui variazioni possono costituire un importante preavviso di situazioni di pericolo per l'ambiente sotterraneo o per i suoi frequentatori.

Rientrano fra questi provvedimenti il rilevamento in continuo della portata del torrente all'uscita dal sifone principale e la trasmissione dei dati in tempo reale ad un computer esterno ai fini del controllo del flusso sotterraneo e del preavviso di un possibile arrivo di piene anomale; il controllo dei principali parametri chimico-fisici delle acque per segnalare l'eventuale arrivo di sostanze inquinanti e nocive per la sopravvivenza della fauna acquatica; il controllo del trasporto solido delle acque tramite l'impiego di torbidimetri; il controllo batteriologico delle acque tramite periodici campionamenti ed analisi di laboratorio; il monitoraggio biologico delle acque tramite periodiche osservazioni delle specie faunistiche presenti.
I provvedimenti adottabili nell'area assorbente principale (bacino del Rio Roccia Bianca), di competenza delle pubbliche amministrazioni, dovrebbero comportare interventi legati all'interruzione dei movimenti di terra, all'inerbimento delle zone dove sono stati eseguiti lavori con rimozione della cotica erbosa, alla proibizione di attività casearie nocive, alla riduzione dell'immissione delle deiezioni e dei liquami nelle acque superficiali, tramite opere di contenimento e la loro successiva raccolta ed allontanamento o trattamento.
Tali provvedimenti sono di fondamentale importanza per la salvaguardia della grotta e per la protezione dell'importante risorsa idrica presente nel sistema carsico di Bossea.

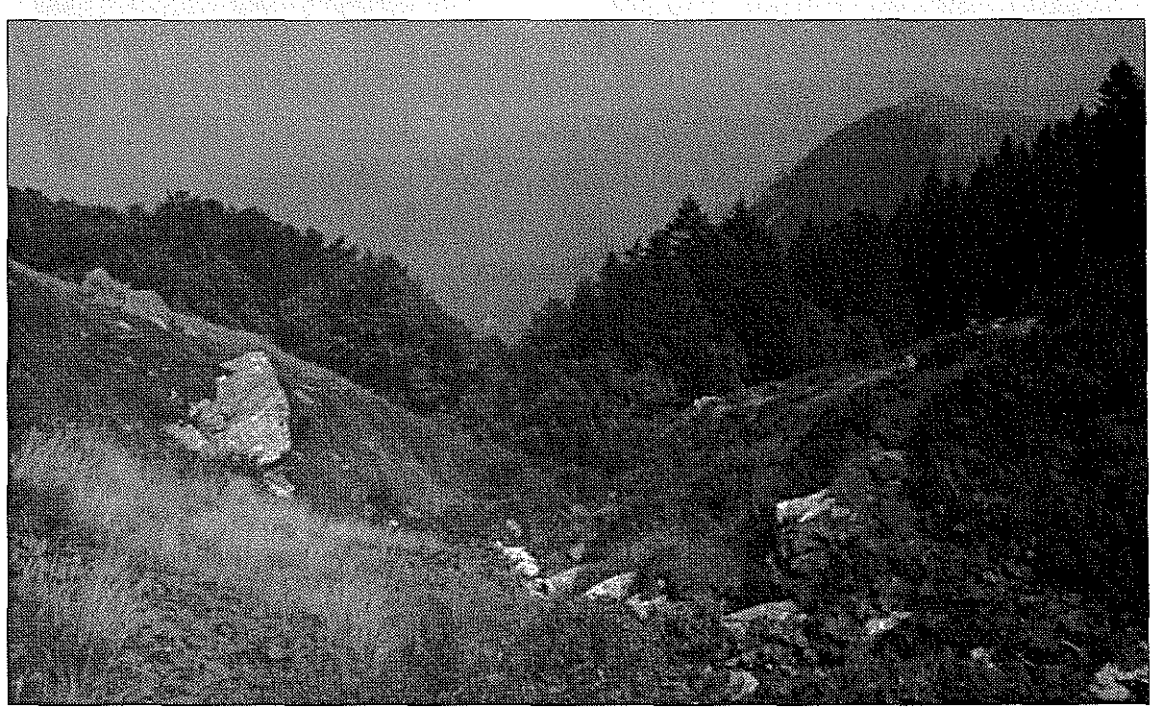
BIBLIOGRAFIA

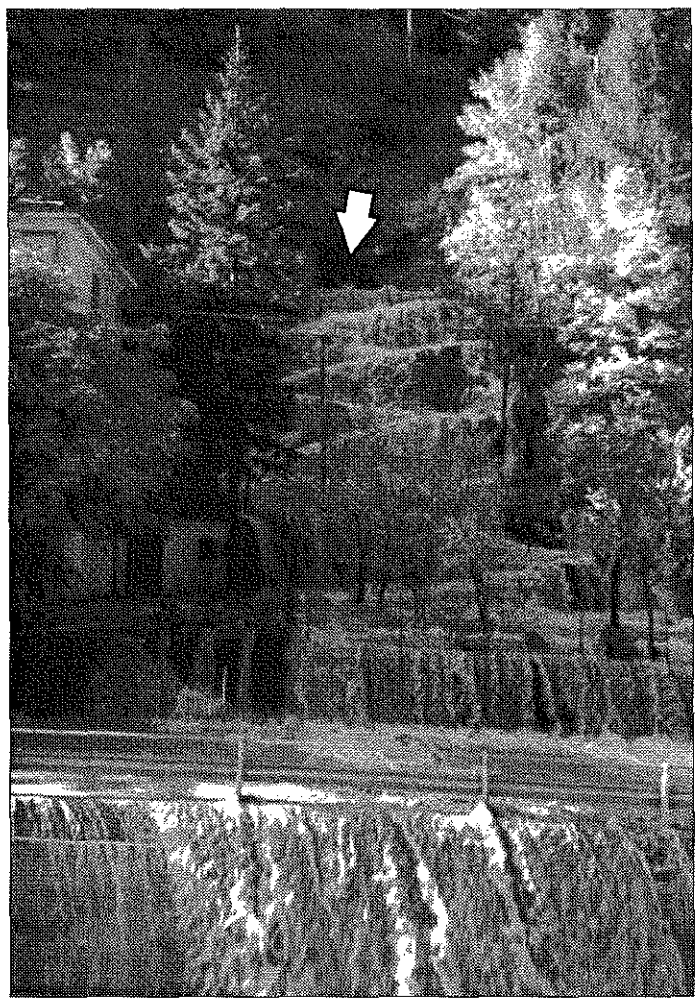
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B. (1984) - *La stazione sperimentale della Grotta di Bossea nel quadro delle ricerche idrogeologiche sui sistemi carsici del Monregalese.* Mem. Soc. Geol. It., 29, pp. 187-207.
- CIVITA M., VIGNA B. (1986) - *Analysis of Bossea Cave hydrogeological system (Maritime Alps, Italy).* I.A.H.S. Karst Water Res. Symp., Antalia-Ankara, pp.101-113.
- CIVITA M., OLIVERO G., VIGNA B. (1987) - *Analysis of recharge time dependent factors of Bossea Karstic System.* I.A.H. 21nd Congr. Proc., Guilin City (China), pp. 339-344.
- CIVITA M., OLIVERO G., VIGNA B. (1988) - *Analyse et comparaison des variations temporelles des paramètres physico- chimiques de trois différent systèmes karstiques des Alpes Liguriennes (Italie).* Quatr. Colloque d'Hydrologie en pays calcaire et en milieu fissurè, Besancon, 2, pp. 381-388.
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E., VITTONE F. (1990) - *Atti della Stazione Scientifica della Grotta di Bossea. Monography,* L'Artistica Savigliano, Savigliano, pp. 136.
- PEANO G., VIGNA B. (1995) - *Le cavità naturali come via privilegiata per lo studio delle acque sotterranee: i rilevamenti effettuati nella stazione scientifica della grotta di Bossea.* Atti del simposio internazionale "Grotte turistiche e monitoraggio ambientale", Frabosa Sopra, (Cn), 24-26 marzo 1995 .
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B. (1999) - *Primi risultati dello studio dell'insaturo carbonatico nel sistema di Bossea (Alpi Liguri - Piemonte Meridionale).* Atti "3° Conv. Naz. sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio", Parma 13-15/10/1999.
- PEANO G. (2002) - *Il monitoraggio ambientale nella Grotta di Bossea: problemi tecnici e soluzioni adottate.* Le Grotte d'Italia, serie V n.3: Atti del Convegno sul Monitoraggio Ambientale nelle Grotte Turistiche, L'Aquila, dicembre 2000



◀ Foto 1
Grotta di Bossea: la forra del torrente.

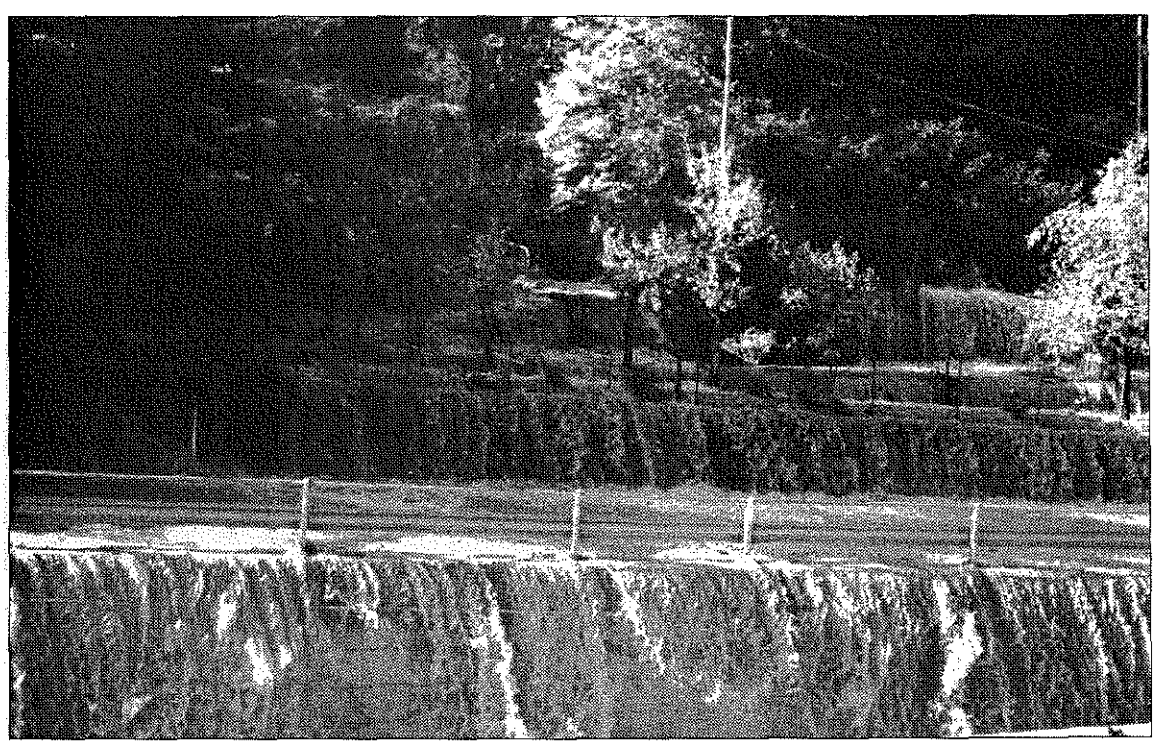
▼ Foto 2
Il vallone del Rio di Roccia Bianca.

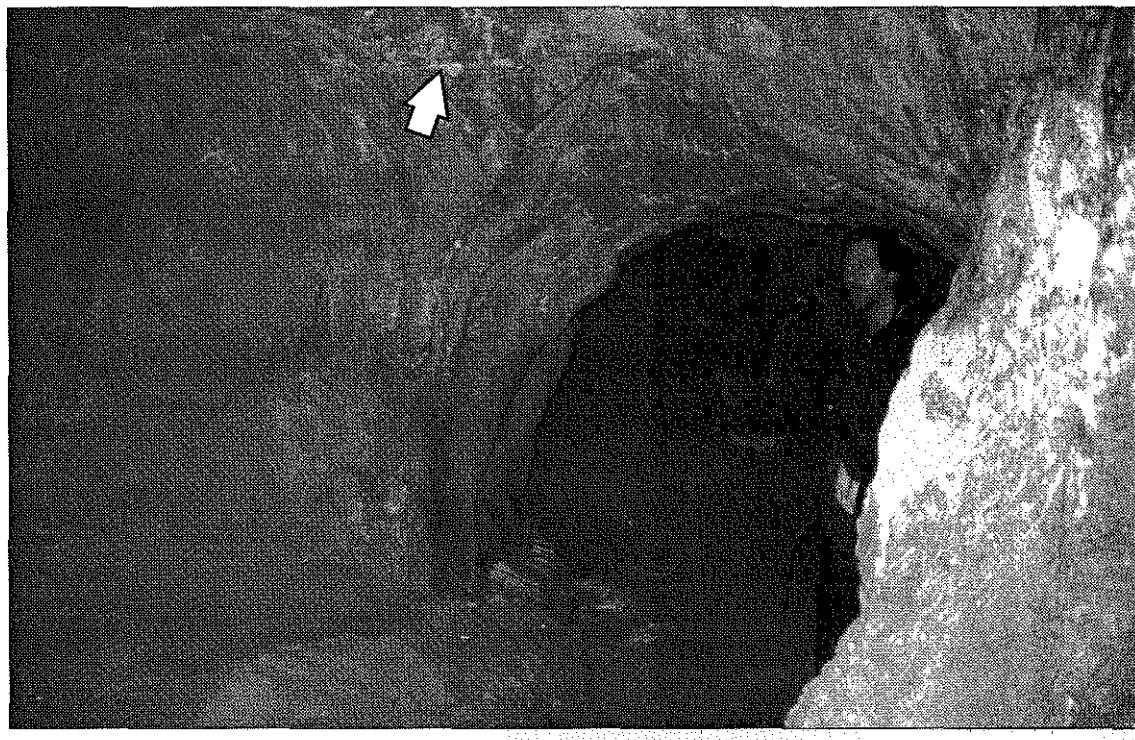




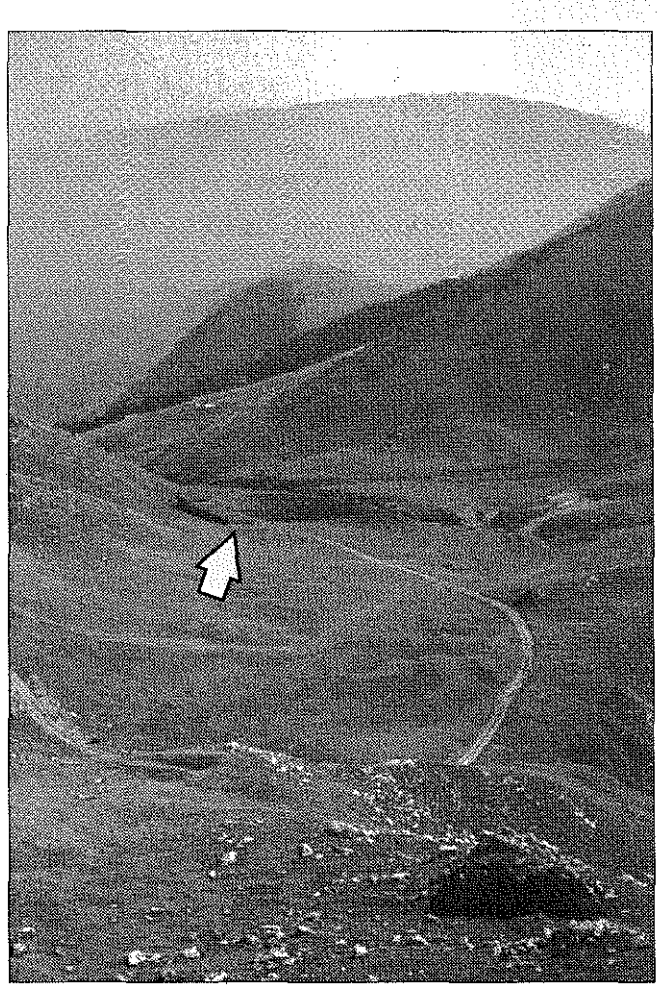
◀ Foto 3
L'ingente flusso idrico scaturito per circa tre ore dal corridoio d'ingresso della grotta e da molti esutori temporanei sottostanti, in occasione dell'alluvione dell'ottobre '96. Dopo aver allagato due piani dell'Albero della grotta (a sinistra nella foto) ed arrecato altri notevoli danni, le acque si sono infine riversate nell'alveo del Corsaglia.

▼ Foto 4
Un'altra immagine dell'alluvione esterna, che testimonia la rilevante estensione dell'area interressata.





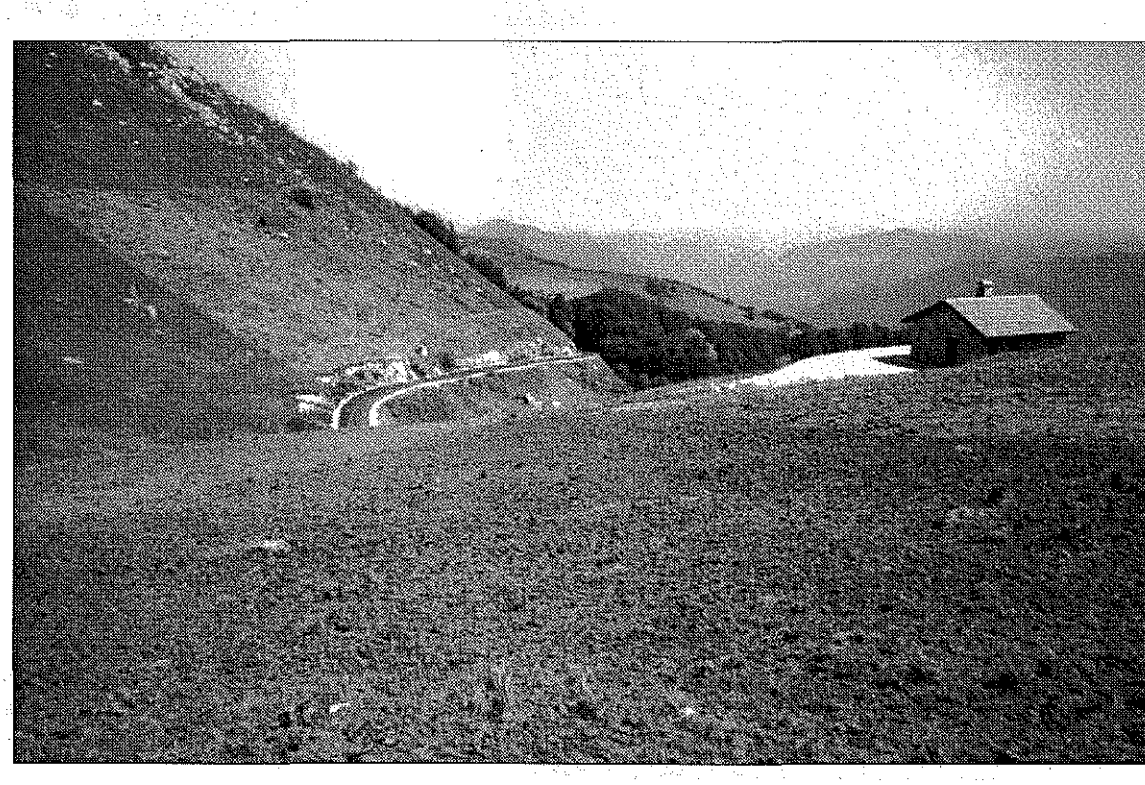
▲ Foto 5
Il corridoio d'ingresso della Grotta di Bossea, dopo l'alluvione del 1996: sono visibili a sinistra in basso, l'accumulo di limo e, a sinistra in alto, la traccia orizzontale di argilla indice del livello raggiunto dalle acque: Queste hanno pertanto riempito l'intera sezione del tratto più interno della galleria.



◀ Foto 6
La testata del vallone di Rio Bianca: sono visibili, nella parte centrale della foto, il lungo edificio della stalla, l'area di stazionamento del bestiame e gli abbeveratoi, situati a cavallo del solco torrentizio.

◀ Foto 7
L'inghiottitoio principale del Rio di Roccia Bianca, in condizioni di minima portata.

▼ Foto 8
Il nuovo edificio, forse destinato a caseificio, presso l'intersezione della strada Fontane-Colle del Prel con il Rio Roccia Bianca. In primo piano un altro esteso spazio di stazionamento dei bovini, immediatamente sovrastante il torrente, con presenza di abbondanti deiezioni



TUTELA ANTROPICA NELL' AMBIENTE IPOGEO: L'USO DI ESPLOSIVO NELL'AMBITO DI OPERAZIONI DI SOCCORSO PER INCIDENTI IN GROTTA

1 - METODOLOGIE ED IMPATTO AMBIENTALE DELLA DISOSTRUZIONE IN GROTTA

F. Cuccu, Gruppo Lavoro Disostruzione (GLD)
Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico del Club Alpino Italiano"- CNSAS - 1° Gruppo

2 - VALUTAZIONI MEDICHE SULL'ATTIVITA' DEL GRUPPO LAVORO DISOSTRUZIONE DEL SOCCORSO ALPINO E SPELEOLOGICO

V. Calleris*, G.Coletta, G.Comara (Anestesia e Rianimazione - Azienda Ospedaliera S.Croce e Carle - Cuneo)
G. Giovine* (Ospedale S.Camillo - Torino) - L.Lanzillotta (ORL -Azienda Ospedaliera S.Croce e Carle - Cuneo)
* Medici del "Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico del Club Alpino Italiano" - 1° Gruppo

1 - METODOLOGIE ED IMPATTO AMBIENTALE DELLA DISOSTRUZIONE IN GROTTA

PRESENTAZIONE

La storia in poche righe

Il Corpo Nazionale Soccorso Alpino (CNSA) nasce su delibera del Consiglio Centrale del Club Alpino Italiano nel 1954 con lo scopo di portare aiuto e recuperare infortunati o caduti sul territorio montano italiano. Sulla spinta di alcuni interventi compiuti in Piemonte ed in Sardegna per il recupero di infortunati in cavità carsiche, nel 1965 nasce il Soccorso Speleologico per dare risposte adeguate alle esigenze del soccorso in grotta, di canalizzare queste capacità in una struttura efficiente ed organizzata. L'iniziativa parte da singoli e da gruppi. Il Soccorso Speleologico confluisce poi nel Soccorso Alpino del CAI e successivamente diventa Sezione Speleologica del Corpo Nazionale Soccorso Alpino.
Evoluzione tecnica, messa a punto di materiali dedicati e di una organizzazione specializzata fanno prendere sempre più consistenza al Soccorso Speleologico all'interno del CNSA.
La necessità di proporre una struttura unica per fornire un servizio completo di soccorso in ambiente montano ed ipogeo e' evidenziata dal nome attuale dell'organizzazione: Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico: una relazione più stretta fra volume e superficie, fra mondo ipogeo ed epigeo.

La struttura del CNSAS e del Soccorso Speleologico

Sono componenti del CNSAS 27 Delegazioni di Soccorso Alpino e 14 Delegazioni di Soccorso Speleologico (tradizionalmente chiamate Gruppi) che coprono l'intero territorio nazionale con un organico di circa 7.000 Volontari, 300 dei quali Medici. La legislazione attuale riconosce ampiamente il ruolo del CNSAS come soggetto, anche se non esclusivo, deputato al soccorso in montagna ed in grotta.
Le 14 delegazioni speleologiche, divise in squadre, che sono le unità operative locali, costituiscono il Soccorso Speleologico del CNSAS, che ha una propria direzione e che opera come una unica struttura nazionale. Il soccorso speleologico del CNSAS ha un organico di circa 750 volontari (40 dei quali Medici), speleologi che dedicano molta della loro attività alla formazione specifica ed al soccorso.
All'interno del Soccorso Speleologico sono attive alcune Commissioni che centrano il loro lavoro su temi specifici: Tecnica, Medica, Speleosub, Forre e Gruppo Lavoro Disostruzione.
La lunga durata dell'intervento è il fattore determinante che ha condizionato e condiziona tutt'ora l'organizzazione del soccorso speleologico; questo fatto ha portato ad una ulteriore, precisa scelta operati-

va: invece che trasportare il ferito all'esterno (impossibile in tempo brevi) si è scelto di far giungere l'equipe medica oltre a quella tecnica sull'incidentato nel più breve tempo possibile in modo da condizionare il ferito sul posto per migliorarne le condizioni prima di affrontare il trasporto. Questo aspetto identifica e distingue tutto il CNSAS: fornire un servizio di soccorso medicalizzato; la reattività all'emergenza è quindi pianificata con modalità operative che garantiscono tempestività e supporto medico, con la possibilità di far convergere su un incidente risorse tecniche e specialistiche da ogni punto del territorio. Il soccorso in grotta viene svolto in via pressoché esclusiva dal Soccorso speleologico CNSAS. Ne è dimostrazione anche la progressiva risoluzione dei problemi con altri Enti dello Stato con i quali sempre di più, intervento dopo intervento, si cerca la strada dell'utilizzo delle reciproche specializzazioni.

I riferimenti legislativi

Il Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico assolve come Sezione Particolare del Club Alpino Italiano al compito a questi demandato tramite la Legge 24 Dicembre 1985 n° 776 di *"provvedere all'organizzazione di idonee iniziative tecniche per la vigilanza e la prevenzione degli infortuni nell'esercizio delle attività alpinistiche, escursionistiche e speleologiche, per il soccorso degli infortunati o dei pericolanti e per il recupero dei caduti"*.
La legge 24 Febbraio 1992 n° 225 ha istituito il Servizio Nazionale di Protezione Civile, comprendendo esplicitamente il CNSAS fra le strutture operative del Servizio (art. 11 lettera l).
L'opera dei Volontari del CNSAS è tutelata dalla Legge 18 febbraio 1992 n° 162 *"Provvedimenti per i Volontari del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico e per l'agevolazione delle relative operazioni di soccorso"*.

C.N.S.A.S. -GRUPPO LAVORO DISOSTRUZIONE

L'USO DI ESPLOSIVI NELLA PROTEZIONE CIVILE

Utilizzazione delle microcariche da disostruzione Disostrex in operazioni di soccorso speleologico

Il Gruppo Lavoro Disostruzione (G.L.D.) viene costituito nel 1992 con lo scopo di studiare e unificare le tecniche di disostruzione in grotta durante interventi di soccorso speleologico diventando una delle commissioni di studio del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico.
All'inizio dell'attività il GLD si trova ad affrontare problemi di diversa natura:
- le caratteristiche che ha un intervento di disostruzione in grotta;
- i materiali e le tecniche esistenti;
- la normativa vigente;

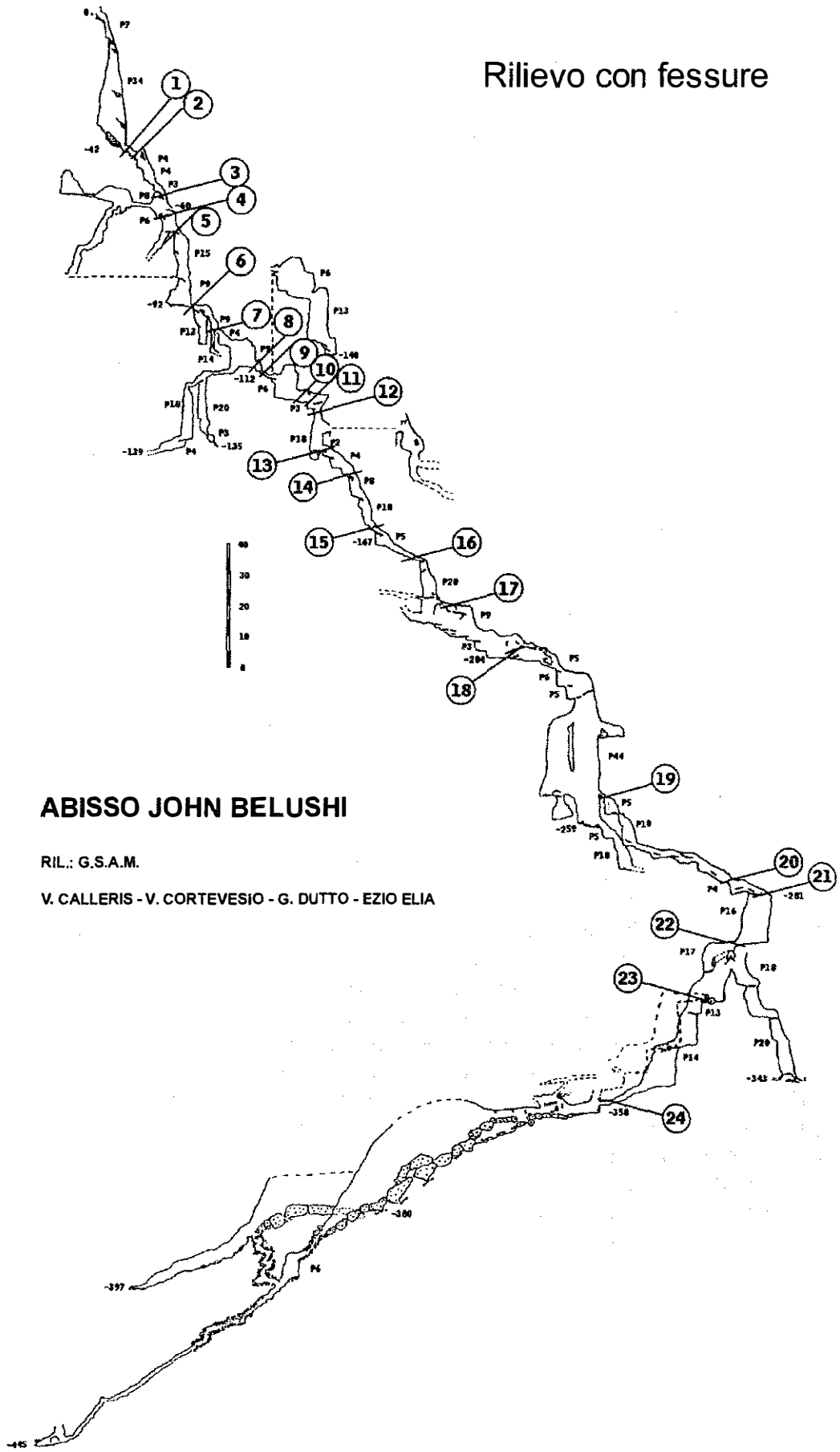
INTERVENTO DI DISOSTRUZIONE IN GROTTA

Un intervento di disostruzione in grotta è vincolato dalle seguenti caratteristiche:
- velocità dell'intervento;
- efficacia;
- luogo delle operazioni di difficile accesso, 100% di umidità, temperatura variabile dai 2 ai 10 gradi centigradi, spazi angusti che possono rendere difficoltose anche le operazioni più semplici;
- utilizzo di strumenti di facile trasporto, ad esempio perforatori a batterie, che però impongono di economizzare al massimo l'energia di foratura (per questo si praticano fori di piccolo diametro - 8 mm);
- presenza del ferito, dei medici CNSAS, e di altre squadre di volontari nella zona di operazione. Per questo si deve minimizzare al massimo la produzione di fumi nocivi.

MATERIALI E TECNICHE ESISTENTI

Ai fini dell'attività di disostruzione non è possibile l'utilizzo di demolitori ad aria compressa o demolitori elettrici in quanto le operazioni si svolgono a circa 300-400 metri di profondità, 4-5 ore dall'ingresso della grotta, e lontani da strade.

Il G.L.D. si trova ad affrontare quindi il problema relativo all'uso di esplosivi di seconda e terza categoria: l'utilizzo di questi, è vincolato, anche nell'ambito delle esercitazioni di soccorso, al T.U.L.P.S. Per questo motivo i volontari del GLD presentano domanda alla Prefettura per l'abilitazione al mestiere di fochino. Ottenuta nel 1995 l'abilitazione, vengono effettuate le prime esercitazioni in cava utilizzando esplosivi di seconda e terza categoria.
La prima richiesta di acquisto ed uso di esplosivi di seconda e terza categoria da parte del CNSAS fu respinta dalle Autorità di P.S. in quanto non riconosceva il soggetto richiedente come idoneo e titolato.
Il G.L.D., per potersi esercitare e verificare l'efficacia dei diversi tipi di esplosivi ai fini dell'utilizzo in fori di piccolo diametro, fu costretto perciò a fare richiesta al proprietario di una cava - titolare di abilitazione al mestiere di fochino - perché acquistasse il materiale necessario e ne consentisse l'uso in cava.
Durante queste prove è stato accertato che, nonostante l'efficacia, la miccia detonante non può essere utilizzata in quanto i fumi rilasciati sono nocivi, mentre l'utilizzo di Scurries non è possibile perché in grotta verrebbe utilizzato in fori di diametro di 8mm e dalle prove effettuate è risultato che la detonazione in alcuni casi non avviene. A fronte delle prove fatte il GLD ha iniziato lo studio di una "microcarica" da disostruzione che rispondesse pienamente alle esigenze speleologiche e, viste le difficoltà incontrate, da poter usare svincolata dalle norme del TULPS.
Il risultato di questa ricerca ha portato alla realizzazione del DISOSTREX.
Il "DISOSTREX" è costituito da un tubetto di ottone di diametro esterno di 7,85 mm. e di diametro interno di 7,82 mm.; ha una lunghezza di ca. 10/12 cm. con un tappo auto-occludente caricato con 3 grammi di polvere da caccia ed innescato con accenditore elettrico. La microcarica viene inserita in un foro da 8 mm., profondo ca. 25/30 cm. Dopo avere posizionato la carica l'operatore si apposta in posizione di sicurezza a circa 10 m e innesca la carica con idonea sorgente di energia elettrica.
L'esplosione della microcarica può determinare un abbattimento di circa 40/50 cm di lunghezza per ca. 20/30 cm di larghezza in roccia calcarea ed in presenza di superficie libera.
Le dimensioni di abbattimento della microcarica, sono sufficienti ad allargare una strettoia per consentire il transito della barella che trasporta il ferito. L'uso delle microcariche consente inoltre un abbattimento controllato che riduce in modo sensibile l'impatto ambientale all'interno della grotta. Lo sfumo della microcarica in presenza di corrente d'aria, che si trova in tutte le strettoie, è molto veloce e l'impatto sull'operatore è praticamente nullo vista la composizione della polvere da caccia utilizzata.
Al fine dell'accertamento di ciò, contemporaneamente alle prove tecniche il GLD ha richiesto alla Commissione medica del CNSAS di effettuare test e analisi sui volontari nel corso di un' esercitazione in grotta nella quale venivano utilizzate le microcariche. Durante l'esercitazione sono stati utilizzati complessivamente: BALISTITE, 291 grammi, GELATINA 1, 392 grammi, PENTRITE, 144 grammi.
I medici del CNSAS in collaborazione con l'Azienda Ospedaliera S. Croce e Carle di Cuneo hanno monitorato le condizioni fisiche dei volontari mediante test e prelievi prima e dopo l'utilizzo delle microcariche. I risultati degli esami hanno dimostrato l'assenza di conseguenze tossiche o di altro tipo sui volontari e sul ferito come precisato nelle "Valutazioni Mediche" allegate alla presente relazione.
L'uso delle microcariche consente di operare contemporaneamente a più squadre in grotta visto che la proiezione di detrito è minima. Il collegamento tra le squadre avviene attraverso un telefono via cavo facente capo al responsabile delle operazioni di disostruzione che si trova all'esterno della grotta il quale coordina e autorizza lo sparo. Oltre che in esercitazione queste microcariche sono già state usate in più incidenti. In uno di questi la squadra di disostruzione ha operato ad una distanza dal ferito (adeguatamente condizionato dal medico) di circa 6/7 metri senza alcuna conseguenza per il ferito e per gli operatori.
Durante un intervento di soccorso vengono usate mediamente 150/200 microcariche e la quantità di strettoia allargata può essere di circa 15/20 metri.
L'intervento più impegnativo effettuato fino ad oggi ha impegnato quattro squadre composte di tre volontari ciascuna dotate di trapano elettrico ad una profondità di 320 metri dall'ingresso della grotta.
Il limite del DISOSTREX è che se utilizzato su rocce non compatte il risultato è quasi nullo.
Dalle prove effettuate questo problema potrebbe essere superato sostituendo la polvere da caccia con gelatina uno innescata con detonatore elettrico. Qui sorge il problema della normativa sull'uso della seconda e terza categoria che vincola il soccorso alle stesse regole per l'uso civile.


Rilievo con fessure
ABISSO JOHN BELUSHI
RIL.: G.S.A.M.
V. CALLERIS - V. CORTEVESIO - G. DUTTO - EZIO ELIA

LA NORMATIVA VIGENTE

La normativa vigente infatti ritarda di parecchio il tempo di intervento in quanto è necessario ottenere l'autorizzazione dalla Prefettura, trovare il deposito di esplosivi che abbia a disposizione il materiale da noi richiesto, farlo trasportare sul posto da personale autorizzato. Tutto questo in presenza di un ferito che deve essere fatto uscire dalla grotta nel minor tempo possibile.

PROPOSTE DI MODIFICA

E' chiaro che queste norme dovrebbero essere modificate per quanto riguarda l'uso di esplosivo in protezione civile mediante una semplificazione delle procedure in modo da consentire al personale CNSAS in possesso di abilitazione al mestiere di fochino di poter detenere delle riservette con quantità minime di esplosivo, considerato che l'uso in caso di incidente od in esercitazione è di ca. 2 Kg di esplosivo e di ca. 100 detonatori.
A nostro avviso sarebbe utile la previsione di un percorso formativo diverso da quello necessario a chi usa l'esplosivo per motivi di lavoro. Precisiamo che per percorso diverso non intendiamo una formazione facilitata quanto una formazione certamente seria e approfondita che risponda però alle particolari esigenze presenti in un intervento di soccorso.
Potrebbe essere previsto per i tecnici di protezione civile un patentino diverso da quello usato per lavoro e nel contempo sarebbe auspicabile una semplificazione delle richieste di esplosivo pur nel rispetto delle normative di sicurezza e contemperando le esigenze di controllo da parte dell'autorità di Pubblica Sicurezza.

2 - VALUTAZIONI MEDICHE SULL'ATTIVITA' DEL GRUPPO LAVORO DISOSTRUZIONE DEL SOCCORSO ALPINO E SPELEOLOGICO

PREMESSA

In questi ultimi anni il modo di operare del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico (CNSAS) del Club Alpino Italiano (CAI) è cambiato radicalmente: l'atteggiamento è passato dalla filosofia dello scappar fuori dalla grotta con l'infortunato il più rapidamente possibile ad una procedura che prevede di ottimizzare le condizioni del ferito e della grotta prima di iniziare un recupero, questo al fine di ridurre il danno secondario ad un trasporto inappropriato.
Trattandosi, in genere, di operazioni di più giorni, la medicalizzazione dell'intervento ha richiesto la messa a punto di metodiche per superare i problemi ambientali, (umidità prossima al 100 % con temperature di pochi gradi...) e l'incremento del livello dei supporti medici disponibili.
Parallelamente è nata e cresciuta un apposita sezione del CNSAS, il Gruppo Lavoro Disostruzione, (GLD), guidato da fuochini patentati, il cui ruolo è cruciale nel disostruire passaggi altrimenti insuperabili per la barella: uno dei principali problemi posti dal recupero di un infortunato in ambiente ipogeo è dato infatti dal passaggio di fessure e meandri, ambienti a volte difficili da superare per uno speleologo in piena forma ma che possono diventare vere "trappole" per un traumatizzato. E' così necessario allargare questi passaggi; spesso sono sufficienti poche decine di centimetri per poter passare con una barella là dove già si passava senza, ma la situazione cambia radicalmente per un ferito e può essere salvavita, a fronte, peraltro, di un impatto ambientale minimo: nel Febbraio '99, una ragazza con lesioni toracopolmonari ed al bacino ha così potuto essere recuperata senza i danni aggiuntivi potenzialmente mortali che potevano derivare da un trasporto inadeguato con urti e compressioni contro la roccia.

SCOPI DELLA RICERCA

Era nata così l'esigenza di un'esercitazione nazionale del GLD del CNSAS a cui abbinare una ricerca sui risvolti medici ed ambientali delle disostruzioni in grotta: questo si è realizzato nei giorni 14-16 Luglio 2000 presso la "Capanna Morgantini "(2237 m), Conca delle Carsene - Marguareis, Briga Alta, Cuneo.

L'abisso "John Belushi 6-C", sempre in Conca delle Carsene, è stato scelto per la severità dell'ambiente alpino e per l'elevato numero di strettoie e meandri, su un dislivello dei primi 200 metri di profondità, che consentivano l'utilizzo contemporaneo delle diverse squadre GLD operative a livello nazionale, per poterne valutare l'attività simultanea in diverse zone della grotta con i problemi aggiuntivi di logistica e comunicazione tra di loro, con il campo all'estemo grotta e la base operativa in Capanna Morgantini.
Gli scopi erano:

1) poter allenare e verificare l'operatività di medici e disostruttori del CNSAS in una situazione impegnativa.
2) valutare l'impatto della disostruzione sulle persone impiegate nelle operazioni di soccorso e sull'ambiente che le circonda.
3) validare l'uso di dispositivi di derivazione antinfortunistica nelle specifiche condizioni di impiego.
4) validare l'attrezzatura di primo intervento per la stabilizzazione dell'infortunato durante il prolungato periodo d'attesa del lavoro dei disostruttori.

MATERIALI E METODI

La grotta è caratterizzata dall'essere un ambiente relativamente confinato, in quanto, a differenza di un ipogeo artificiale tipo miniera, è percorso da forti correnti d'aria generate dalle diverse temperature dell'aria nelle varie zone di un complesso carsico che può svilupparsi per decine di chilometri su centinaia di metri di dislivello all'interno delle montagne calcaree: una corrente d'aria di 1 m al sec su una sezione di 1 m^2 corrisponde ad un flusso di 3600 m^3 all'ora, garantendo un ottimo ricambio d'aria.
Gli esplosivi: vengono utilizzati "Scurries" a base di nitroglicerina, attivata dagli usuali detonatori a base di pentrite, e "Balistite", ancora una miscela di nitroglicerina e di nitrocellulosa, la normale polvere da sparo, in microcariche di circa 3 grammi ognuna. Le esplosioni producono Monossido di Carbonio, Protossido d'Azoto, Ossido Nitrico, Tetrossido d'Azoto ed Aldeidi in quantità modiche, date le modalità d'impiego, ma i cui effetti non sono mai stati valutati nelle particolari condizioni ambientali. Durante l'esercitazione sono stati utilizzate circa 250 microcariche, equivalenti a 291 grammi di Balistite, 392 grammi di Gelatina-1, 144 grammi di Pentrite. Le esplosioni producono Monossido di Carbonio, Protossido d'Azoto, Ossido Nitrico, Tetrossido d'Azoto ed Aldeidi in quantità non grandissime, date le modalità d'impiego, ma i cui effetti non erano mai stati indagati nelle particolari condizioni ambientali ipogee.
Logistica medica: Tempo 0, Venerdì 14-7: i 12 speleologi volontari, nella funzione di disostruttori ed esposti passivi (soccorritori e finti feriti), provenienti dalle varie regioni d'Italia sono stati convocati presso il laboratorio del reparto di Otorinolaringoiatria (ORL) dell'Ospedale S. Croce, dove è stata eseguita l'audiometria basale. Raggiunta la Capanna Morgantini sono poi stati sottoposti a visita medica (anamnesi ed esame obbiettivo finalizzati ad evidenziare diatesi allergica e malattie cardio-respiratorie) da parte dell'équipe di Anestesisti Rianimatori presenti in loco ed inoltre a spirometria, misurazioni di pressione arteriosa, frequenza cardiaca e Saturazione periferica di Ossigeno, prelievi ematici per il dosaggio di Carbossiemoglobina e Metemoglobina:i prelievi sono stati immediatamente inviati al laboratorio della Rianimazione del S. Croce per essere analizzati.
In seguito è iniziata l'operazione, nel corso della quale sono stati utilizzati mezzi di protezione respiratoria (maschere), acustica (cuffie e/o tappi),visiva (occhiali) e cutanea (guanti).
L'entrata in grotta dei volontari è stata scaglionata fra le ore 9 e le 14 del 15-7: l'équipe medica si è allora portata all'ingresso grotta dove ha allestito una tenda-laboratorio.
Le stesse analisi sono poi state ripetute al termine dell'esposizione. L'uscita dei volontari dalla grotta è avvenuta tra le ore 20.30 del 15/7 e le ore 01.20 del 16/7 (Tempo 1).
Durante la permanenza dei volontari in grotta venivano anche misurate l'intensità del suono e delle vibrazioni sviluppate dalle esplosioni ed il formarsi di gas tossici. Prima, durante e dopo l'operazione è stato anche valutato il variare delle correnti d'aria, della temperatura e della CO_2 nell'ambiente.
Nella mattinata di domenica 16/7 i volontari sono ritornati al laboratorio ORL dell'Ospedale S. Croce di Cuneo per effettuare l'esame audiometrico finale.

RISULTATI

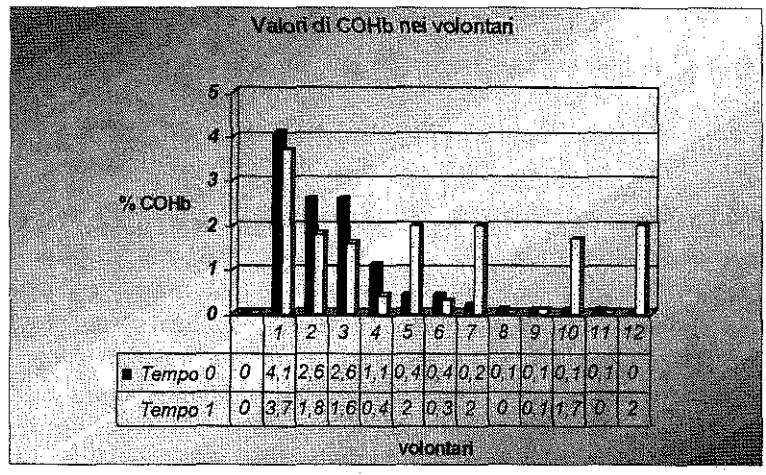
I dati raccolti sono esposti nei grafici riportati alle pagine seguenti

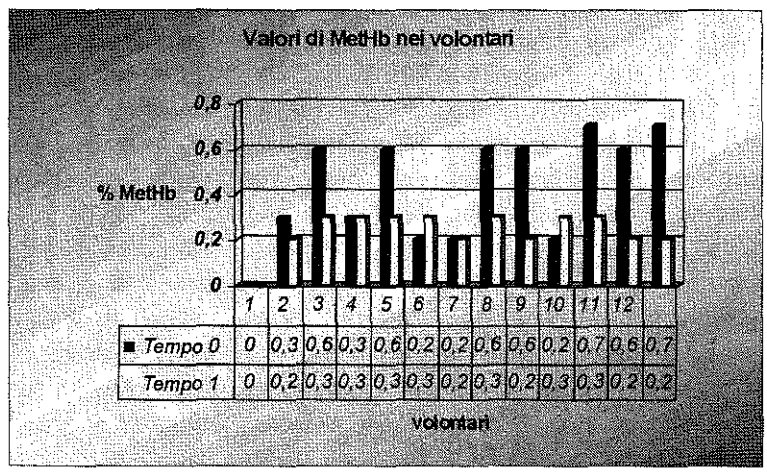
DISCUSSIONE

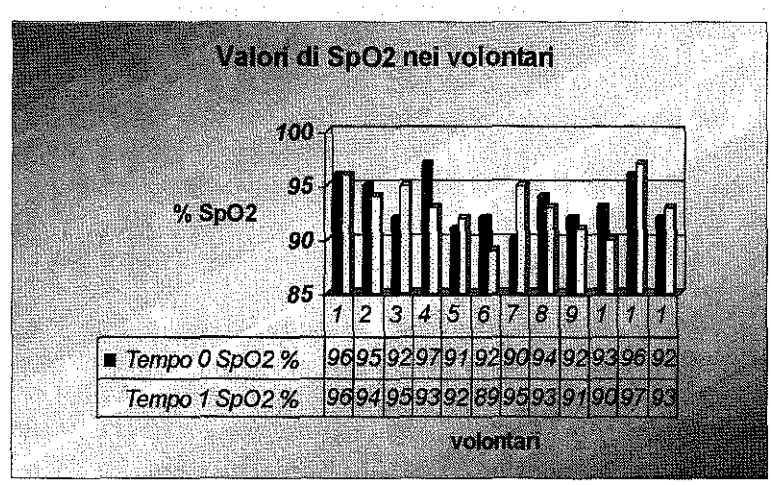
Il Monossido di Carbonio presenta un'affinità per l'Emoglobina 220 volte superiore a quella dell'Ossigeno, costituendo la ***Carbossiemoglobina***, (COHb). Questa è un'Emoglobina patologica, inadatta al trasporto di Ossigeno: il valore normale è inferiore al 4% dell'emoglobina totale, ma soggetti fumatori possono presentare, senza accusare alcuna sintomatologia, valori attorno al 5-6%. La sintomatologia dell'intossicazione, (cefalea, palpitazioni, angor cardiaco), inizia a comparire per valori compresi tra il 10 ed il 30%, per aggravarsi con valori superiori, sino al coma oltre il 50% di COHb. Il tempo di dimezzamento della COHb in aria ambiente è di 320 minuti; nei volontari in esame il valore più alto non ha superato, dopo l'esposizione, il 3.7%: addirittura nei volontari fumatori assistiamo ad una riduzione dei valori di COHb, verosimihnente legata ad una ridotta esposizione a fumo di sigaretta durante l'esercitazione.
La ***Metemoglobina***, (MetHb), è un'Emoglobina patologica, inadatta al trasporto di Ossigeno, che si forma per esposizione ad agenti ossidanti: il valore normale è inferiore all' 1,5% dell'emoglobina totale. Tutti i volontari dimostrano una riduzione della fisiologica quota di MetHb circolante, compatibile con l'allontanamento da ambienti inquinati (ambiente urbano); quindi, pur essendo esposti a gas con attività ossidante sul Ferro emoglobinico, sia per la presenza di correnti aeree che per l'esiguità delle cariche utilizzate, dimostrano addirittura una riduzione della MetHb.
Conforta il fatto che l'uso di tali esplosivi in grotta, nelle quantità utilizzate, in ambiente normalmente ventilato, oltre a non esporre operatori e soggetti passivi ad intossicazione acuta non altera l'ambiente ipogeo: il ***rilevamento ambientale*** ha segnalato punte massime di 50 parti per milione (ppm) di CO, mentre nell'abitacolo di un veicolo in moto nel traffico intenso possono essere rilevate sino a 115 ppm; questo dato, peraltro, può essere addirittura sovrastimato, in quanto il reattivo aveva sensibilità crociata per l'acetilene impiegato per l'illuminazione. Non sono state rilevate aldeidi nell'aria campionata con aspirazione continua di sei ore.
L'esposizione a fattori esogeni quali le sostanze ottenute dalle esplosioni in oggetto, avrebbe potuto causare od aggravare ***broncospasmo***, (asma bronchiale). Il microclima realizzato in grotta, (presenza di sostanze irritanti), avrebbe potuto causare in soggetti con sistema bronchiale ipereattivo od anche normale, l'insorgenza, l'aggravamento, o la riacutizzazione di una malattia asmatica.
La valutazione dello stato di latenza o di evidenza della sintomatologia è stata effettuata eseguendo prima e dopo l'esposizione, una valutazione clinica con anamnesi mirata alla preesistenza di fattori di rischio, esame obiettivo e Prove di Funzionalità Respiratoria, (PFR).
Al confronto tra i dati, (basali e seguenti l'esposizione), non sono state riscontrate differenze tali da far sospettare quadri clinici anche latenti.
Per quanto riguarda la ***valutazione audiometrica***, i dati post-esposizione sono sovrapponibili ai dati basali: a tal proposito, la ***misurazione dell'intensità del rumore***, effettuata con fonometro elettronico, ha evidenziato soglie superiori ai 100 Db nel momento di esplosione; valori superiori ai 150 Db sono stati registrati in modo pressoché costante, fino ad otto metri di distanza: non è stata riferita sintomatologia degna di nota (ronzii, vertigini, otalgia, attenuazione dell'udito).
Non sono stati riferiti episodi di **cefalea**, conseguente all'assorbimento transdermico della nitroglicerina.
Non sono stati segnalati ***problemi oculari*** (bruciore, traumi, lacrimazione, alterazioni della vista).

CONCLUSIONI

Sono stati raggiunti gli obbiettivi prefissati: alla ben nota efficienza logistica ed all'efficacia operativa del GLD, si aggiunge ora anche la validazione della sicurezza delle tecniche disostruttive e dei mezzi di protezione individuale impiegati, sia per gli operatori che per gli esposti passivi e l' ambiente. Si raccomanda cautela nell'utilizzo di esplosivi in ambienti poco ventilati, dov'è possibile accumulo di gas.

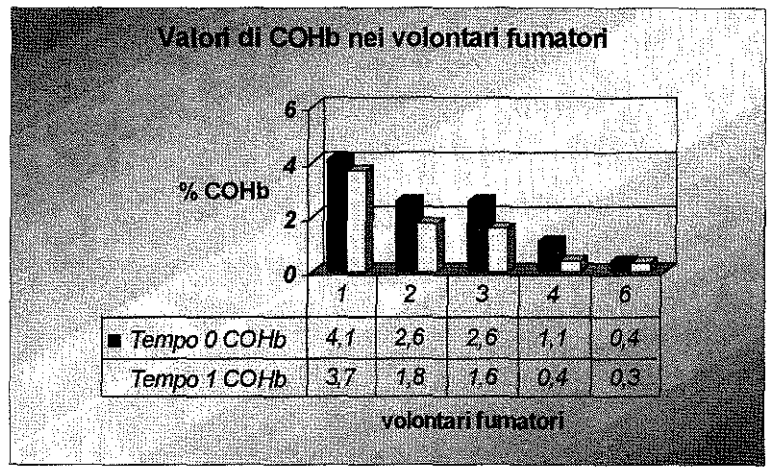


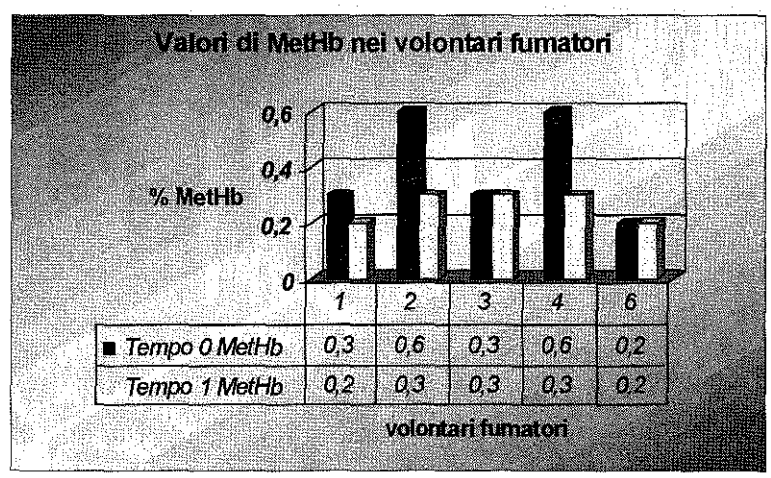


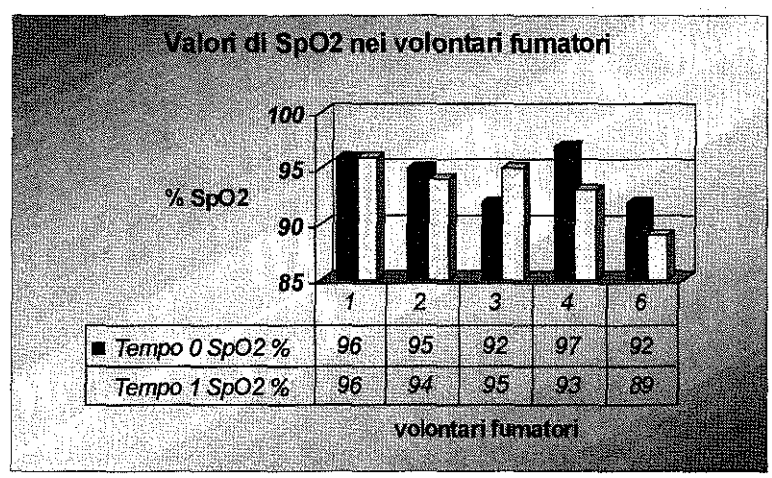


Grafici riferiti all'intero gruppo di volontari

Il 58% dei volontari, (sette su dodici) presentano una riduzione di Carbossiemoglobina dopo esposizione, (tempo1). Per quanto riguarda la MetHb si assiste ad una riduzione della stessa nel 66% dei volontari, (8 su 12). La Saturazione periferica in Ossigeno mostra molta variabilità nei dati desunti dal gruppo intero dei volontari, (risente di una serie di variabili non indifferenti: quantità di O2 presente nell'inspirato, concentrazione emoglobinica, gittata cardiaca, vasocostrizione periferica per la permanenza in grotta...). In ogni caso la variazione dei dati, in termini assoluti, si è sempre mantenuta in un range di sicurezza rispetto ai valori basali.

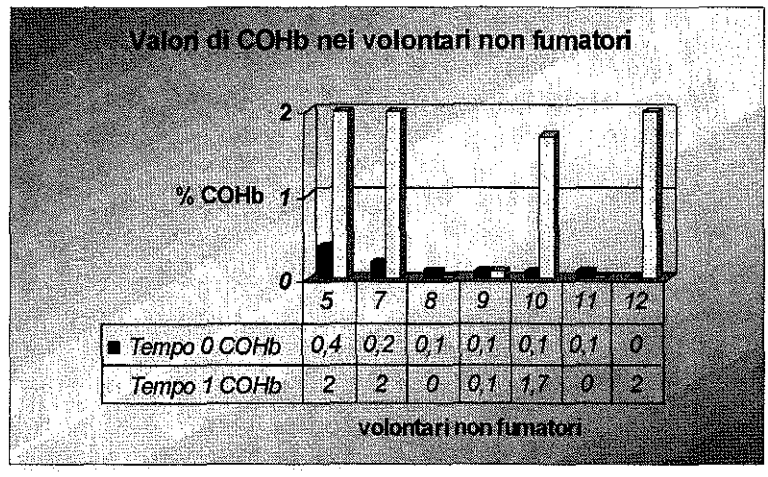


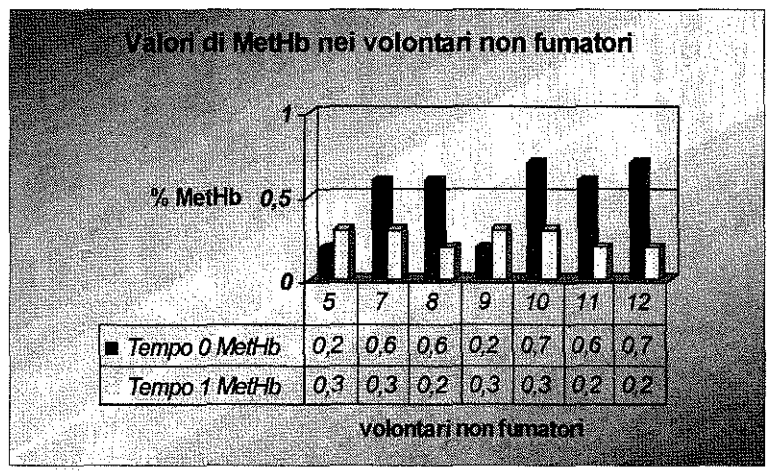


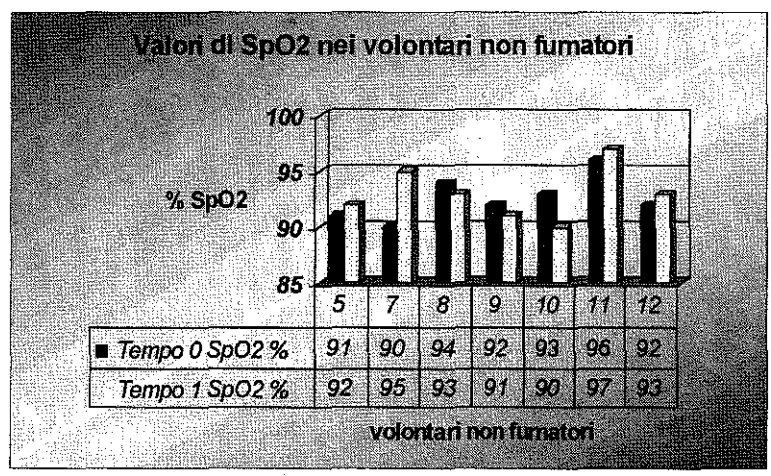


Grafici riferiti ai volontari fumatori

Questo dato riguardante i volontari fumatori dimostra sostanzialmente come l'allontanamento dal fumo di tabacco per il periodo di permanenza in grotta abbia determinato una riduzione del valore di COHb nel 100%. L'ambiente ipogeo presentava delle correnti d'aria tali da consentire il ricambio d'aria e la quantità di fumi e gas ottenuti dalla combustione dell'esplosivo non è sufficiente, nei volontari fumatori, a determinare l'aumento dei valori di COHb.

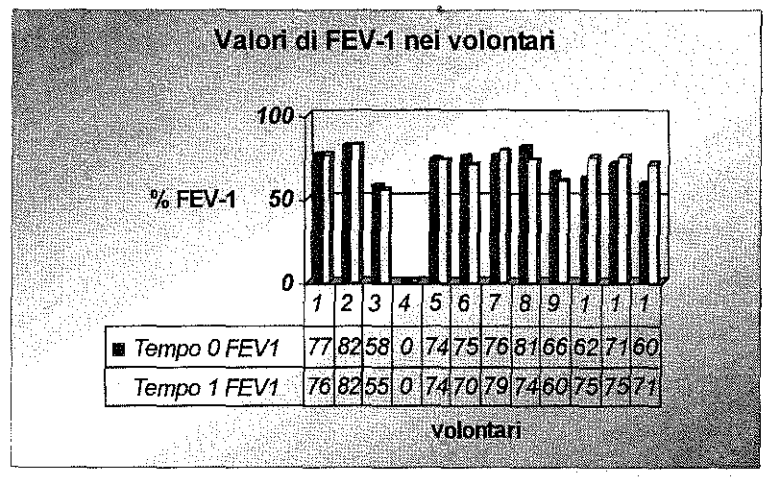


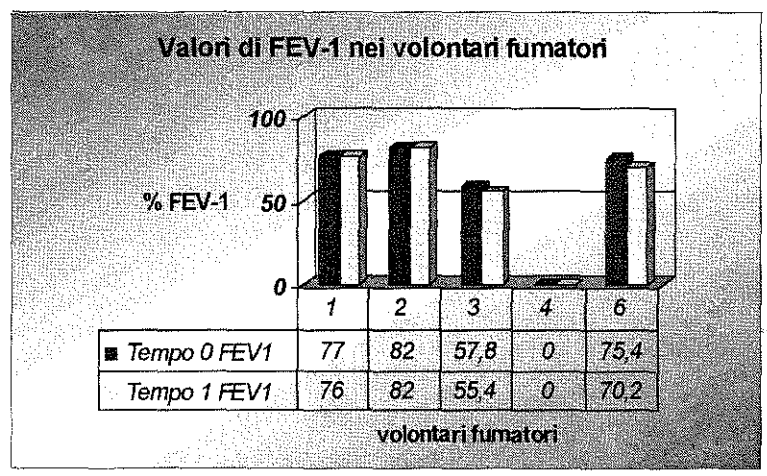


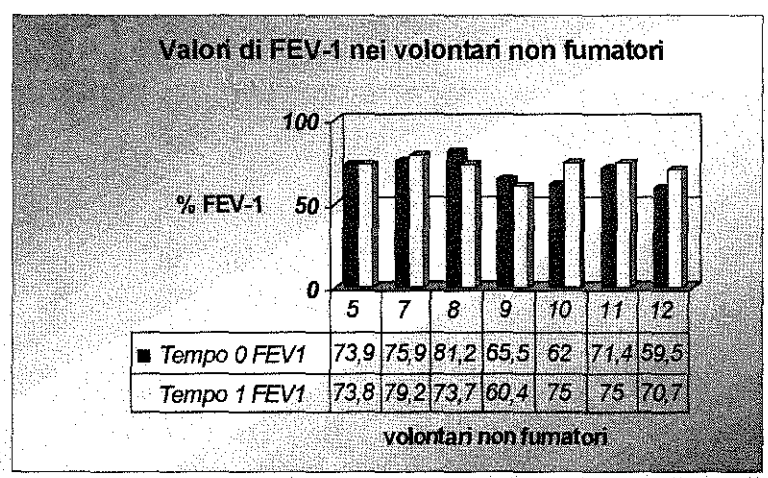


Grafici riferiti ai volontari non fumatori

I volontari non fumatori sembrano essere i più esposti ai fumi delle esplosioni: il 71% presenta aumento della COHb, ma con valori assoluti modesti e senza ripercussioni sull'ossigenazione del sangue; la Methb presenta una riduzione nel 71% dei volontari non fumatori esposti

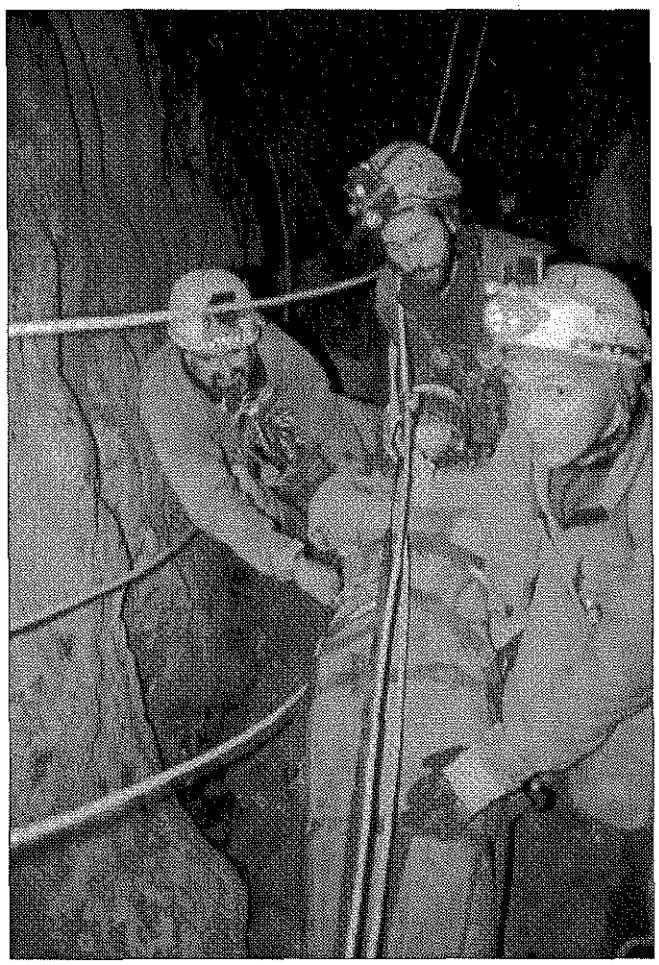






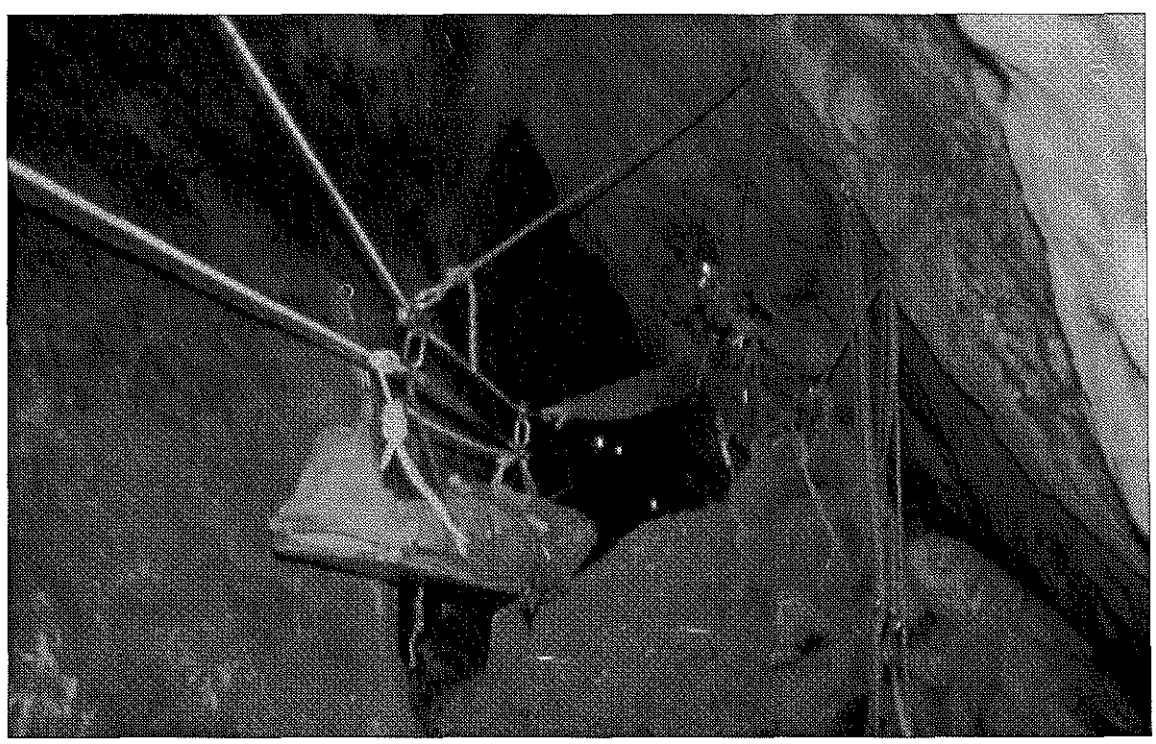
Grafici riferiti al FEV- 1, (Forced Expiratory Volume 1° sec)

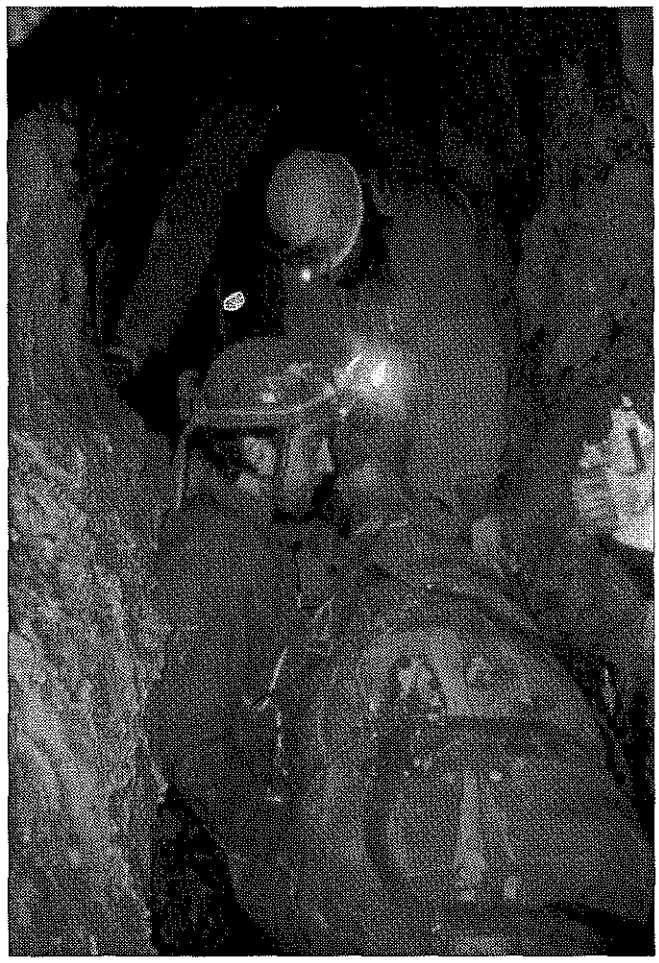
Misura il volume massimo che è possibile espellere nel primo secondo di un'espirazione forzata, rispetto al totale: il valore normale è dell' 80% ed è indice sensibile di uno stato di broncospasmo; va però correlato al dato clinico, (anche sotto sforzo può ridursi...). Non variazioni pericolose rispetto al basale.



◀ Foto 1
Sistemazione del ferito in barella

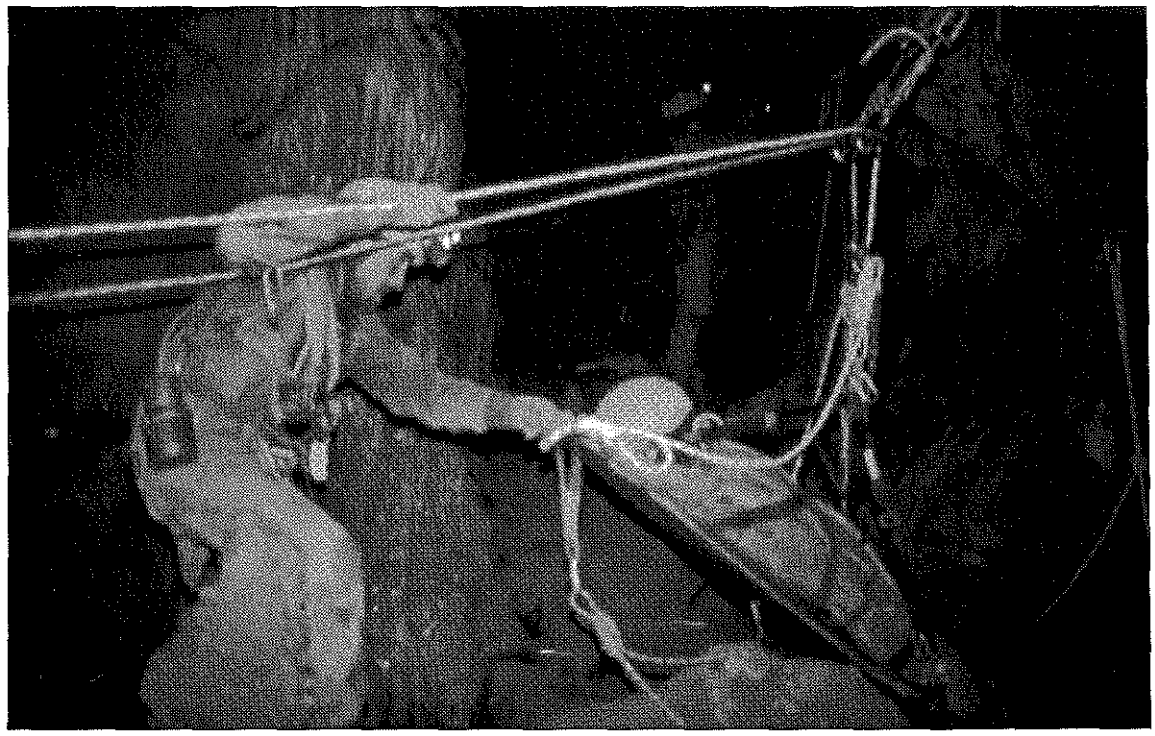
▼ Foto 2
Trasferimento del ferito in barella
a mezzo di teleferica





◀ Foto 3
Trasporto del ferito in barella in una forra

▼ Foto 4
Uscita della barella da un pozzo



area tematica G

LE GROTTE DEI BALZI ROSSI: TUTELA E CONSERVAZIONE DI 600.000 ANNI DI STORIA UMANA E NATURALE

Cecilia Barsanti[1] - Angiolo Del Lucchese[2] - Sergio G. Martini[1/3]

[1] *G.E.A. Geology-Environment-Archaeology Snc - La Cerreta di Pian d'Ordià, Varese Ligure (Sp)*
Laboratori per la Liguria Occidentale - Corso Nizza, 107 - 18039 Latte di Ventimiglia (Im)

[2] *Museo Preistorico dei Balzi Rossi, Soprintendenza Archeologica della Liguria - Via Balbi, 10 - 16100 Genova*

[3] *Gruppo Speleologico C.A.I. Bolzaneto - Via C.Reta, 6/3 - 16162 Genova Bolzaneto*

RIASSUNTO

Le caratteristiche falesie calcaree dai colori rosati in cui si apre il sito preistorico dei Balzi Rossi risalgono al Giurassico, ma la prima evidente traccia dell'evoluzione paleoambientale che di quelle rocce farà una località morfologicamente riconducibile al maestoso paesaggio che oggi possiamo apprezzare si ha nel terrazzo marino che forma la base della grotta Voronoff, a 100 m di altezza, e riconducibile alla trasgressione calabriana di 600.000 anni fa; a partire dal 1995 sono state riprese, da parte della Soprintendenza Archeologica della Liguria, le ricerche nel deposito pluristratificato del Riparo Mochi ai Balzi Rossi.

La scoperta del deposito risale al 1938: furono Luigi Cardini, Gian Alberto e Alberto Carlo Blanc a identificarlo, durante una campagna di scavo dell'Istituto Italiano di Paleontologia Umana alla Barma Grande. Seguirono una serie di campagne di scavo dirette da A.C.Blanc e da L.Cardini, dal 1938 al 1959, che indagarono il riempimento per una profondità di circa 10 metri, senza tuttavia raggiungerne il fondo. Questi lavori permisero di evidenziare importanti livelli di occupazione umana riferibili al Paleolitico medio e superiore, dal Musteriano all'Epigravettiano finale.

L'attività delle prime sei campagne di scavo (1995-2000) è stata finalizzata all'arretramento di ca. 50 cm della sezione Est degli scavi Blanc-Cardini e allo scavo, su una superficie di circa 9 metri quadrati, dei livelli più alti del deposito contenente manufatti musteriani.

La pulitura della sezione ha rimesso in luce l'intera stratigrafia ed ha permesso di collegarsi agli strati stabiliti dal Cardini; nelle unità F e G, riferibili rispettivamente all'Aurignaziano classico e all'Aurignaziano a lamelle Dufour, sono stati identificati tre focolari, fatti oggetto di calco.

Il primo, con una superficie di circa 100x50 cm, venne individuato nel 1995 nello strato F ed immediatamente riprodotto con materiale elastomerico autolivellante; il secondo, con una superficie di ca. 100x60 cm, venne individuato nello strato G e fu riprodotto e scavato nel 1997; il terzo, con una superficie di circa 140x50 cm, è stato individuato alla base dello strato G nel 1998 e successivamente riprodotto e scavato.

Del focolare intermedio è stata ottenuta, presso l'Università di Roma, una data radiocarbonica di 37400+-1300 B.P., che costituisce una delle datazioni più antiche per l'Aurignaziano europeo, indizio di un precoce arrivo dell'uomo anatomicamente moderno nella zona dei Balzi Rossi.

L'esecuzione dei calchi non ha ovviamente arrecato alcun danno al substrato originale, che ha potuto essere normalmente indagato; nel caso del focolare inferiore veniva messa in evidenza, nel corso dello scavo, una struttura preparatoria di pietre all'interno di una fossa di alloggiamento (cuvette).

L'importanza del rinvenimento suggeriva un tentativo di recupero totale della struttura, che veniva realizzato mediante lo strappo di una superficie di 98x50 cm, eseguita grazie al preventivo inglobamento delle pietre e di alcuni centimetri di suolo in una colata di elastomero siliconico RTV, opportunamente dosato per ottenere un tempo di reticolazione maggiore e permettere una più completa penetrazione ed un più efficace assorbimento del prodotto. I positivi sono stati messi a punto tra il settembre 1997 ed il novembre 1999 con l'impiego di resina epossidica Epoval e vetroresina (resina poliestere e fibra di vetro).

Per esporre i calchi e lo strappo sopra descritti è stato realizzato un apposito contenitore metallico a più ripiani, dotato di illuminazione interna e di un dispositivo a motore elettrico atto a traslarli verticalmente, in modo da permetterne la visione singola e in successione secondo la sequenza stratigrafica, offrendo così al visitatore la diretta percezione dello sviluppo diacronico del deposito paleolitico.
Questo è solo uno dei vari aspetti del vasto programma di studio, documentazione e tutela di uno dei siti preistorici in ambiente carsico di maggior valenza mondiale, significativamente descritto nella presente pubblicazione dedicata in particolare alle problematiche di conservazione ambientale e fruizione pubblica.

LE CAVERNE DEI BALZI ROSSI

Le caverne dei Balzi Rossi si aprono ai piedi di una parete rocciosa di calcare dolomitico giurassico alta circa 100 metri (foto 1), che costituisce la linea di costa tra la frazione Grimaldi di Ventimiglia (IM) e la frontiera francese; il nome della località è dovuto all'arrossamento superficiale delle rocce (nel dialetto di Mentone "*Baussi Russi*" significa *"rocce rosse"*).
La linea ferroviaria Nizza-Ventimiglia, che transita a ridosso delle caverne, le divide in due gruppi, uno situato sul lato Nord e l'altro sul lato Sud (fig. 1); da occidente ad oriente questi comprendono: la grotta del Conte Costantini, la grotta dei Fanciulli, il riparo Lorenzi, la grotta di Florestano, il riparo Mochi, il riparo Blanc-Cardini, la grotta del Caviglione, il riparo Bombrini, la *"Barma Grande"*, la *"Barma du Bauso da Ture"* e la grotta del Principe. Nelle caverne e al di fuori di esse, tra la spiaggia e la falesia, nel corso dei millenni si sono accumulati grandi depositi ricchi di resti faunistici e di industrie litiche, testimonianze dell'uomo preistorico che frequentò e abitò la zona nel corso del Paleolitico.
Dalla metà del secolo scorso sono numerosi gli scavi condotti in questi siti, sia per scopi puramente collezionistici che per intenti di carattere scientifico: la conseguenza è stata comunque un impoverimento dei depositi e la sottrazione all'area archeologica di una moltitudine di reperti che in tutto il mondo hanno arricchito musei e, spesso, raccolte private.
Risale ai lavori di cava intrapresi dai vecchi proprietari terrieri, la famiglia Abbo, la casuale scoperta di reperti archeologici preistorici di grandissimo rilievo nella grotta della Barma Grande, la famosa *"triplice sepoltura"*: solamente a seguito di questo rinvenimento il mecenate inglese Sir Thomas Hanbury volle far costruire, nel 1898, il Museo dei Balzi Rossi, in modo da poter accogliere i reperti ed esporli, almeno parzialmente, nello stesso luogo del ritrovamento. Il Museo Preistorico dei Balzi Rossi, pensato quindi come semplice completamento del percorso di visita alla *"Barma Grande"*, all'interno della quale erano conservate in posto due sepolture paleolitiche e resti di *Elefante antico*, rimase per lunghi anni così come era stato originariamente concepito, finchè la gestione privata della *Società Anonima Balzi Rossi* non lo inserì in un complesso turistico polifunzionale comprendente ristorante, residence, stabilimento balneare e Casinò, consentendone una indiscutibile valorizzazione.
Nel corso del secondo conflitto mondiale, immediatamente a seguito della dichiarazione di guerra dell'Italia alla Francia, il tunnel adiacente alla grotta della *"Barma Grande"* venne impiegato come ricovero per artiglieria ferroviaria: intensi furono gli scambi a fuoco tra le due coste nemiche e nel corso di uno di questi la linea italiana venne colpita; nell'evolversi degli eventi bellici, negli anni a seguire, vennero anche fatte brillare delle mine nel tunnel per ostruirlo e le esplosioni danneggiarono irreparabilmente i reperti paleolitici e le strutture espositive della grotta; solo nel 1955 il Museo Preistorico dei Balzi Rossi, divenuto Museo Nazionale, fu riaperto con un nuovo allestimento limitato però ad una sola sala dedicata alla *"Barma Grande"*.
La Soprintendenza Archeologica della Liguria curò aggiornamenti espositivi nel 1972, nel 1976 e nel 1982, ma bisognerà attendere i più recenti interventi del 1989-1994 per giungere all'ottenimento di una completa presentazione di questo importante complesso di giacimenti paleolitici e delle ricerche ivi compiute fino ad oggi: l'allestimento odierno si sviluppa in un percorso integrato di visita "Museo-Zona Archeologica" che dalla grande sala del *nuovo edificio museale*, in cui è illustrata la storia delle ricerche ai Balzi Rossi, procede alla visita delle grotte del Caviglione, di Florestano e del riparo Mochi e quindi alla presentazione delle risultanze degli scavi e degli studi più recenti, in esposizione sui due piani del *vecchio edificio museale*.

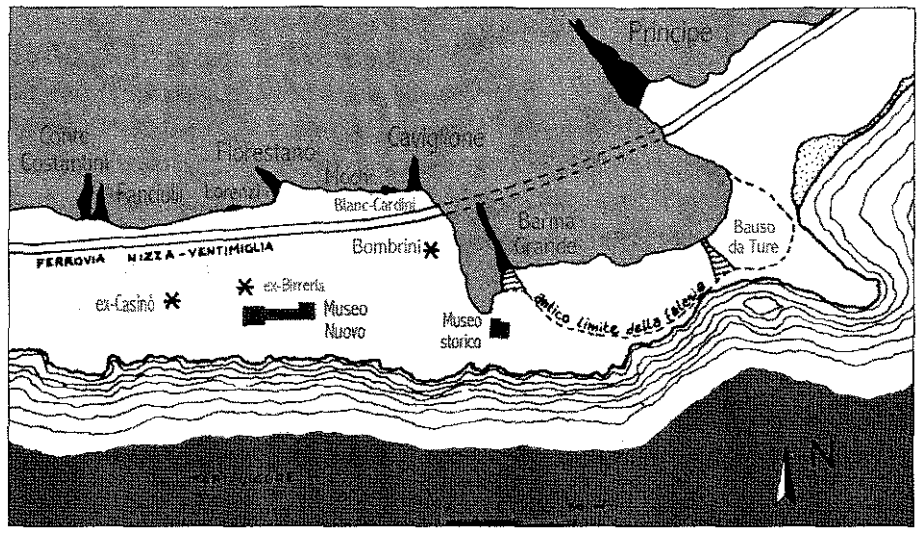


Fig.1 - Il complesso delle Grotte dei Balzi Rossi trarrà molto beneficio dallo spostamento a monte della linea ferroviaria (Gea808, rielaborato da DEL LUCCHESE, 1996).

L'ambiente naturale dei Balzi Rossi ha quindi subito, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, alterazioni importanti, quasi sempre traumatiche: la costruzione della linea ferroviaria Genova-Nizza che tagliò in due l'area archeologica, l'insediamento di una cava di pietrame che asportò una porzione della falesia distruggendo completamente una delle grotte (la *"Barma du Bauso da Ture"*), la costruzione negli anni venti del complesso del Casinò e, durante la seconda guerra mondiale, l'installazione di postazioni mobili per artiglieria e di bunker costieri con relative gallerie sotterranee;
infine, nell'ultimo dopoguerra si perse l'occasione di ripristinare l'ambiente naturale del sito nel momento in cui si consentì la costruzione, sull'area occupata dai ruderi del vecchio Casinò, di un voluminoso e antiestetico edificio destinato a "residence di lusso".

IL MUSEO COME "STRUTTURA APERTA"

Nel corso degli anni 80 la Soprintendenza Archeologica della Liguria promuoveva l'esproprio delle aree circostanti il Museo e le grotte, finalizzando l'insieme ad un progetto di sistemazione dell'area che avrebbe visto l'adeguamento della struttura museale alle moderne esigenze espositive ed il recupero ambientale del sito stesso: oltre alla realizzazione di un nuovo edificio museale architettonicamente adeguato e di minimo impatto naturale si è provveduto alla ristrutturazione del vecchio edificio museale e di un altro locale, in area "riparo Bombrini", ora adibito a magazzino dei reperti; si è quindi provveduto alla sistemazione dell'itinerario di visita alle grotte con la realizzazione di opportuni percorsi pedonali e, seguendo un progetto botanico redatto da specialisti, alla messa a dimora nelle aree verdi di essenze, al fine di recuperare il più possibile l'originario aspetto naturale del luogo.

La continuazione degli studi in corso

Dal 1995 la Soprintendenza Archeologica della Liguria ha ripreso le attività di ricerca ai Balzi Rossi, in collaborazione con l'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma; questi sono stati incentrati sul riparo Mochi e sul riparo Lorenzi che resta al di fuori dal percorso turistico.
L'attività delle prime sei campagne di scavo (1995-2000) al Riparo Mochi (foto 2) è stata finalizzata all'arretramento di ca. 50 cm della sezione Est degli scavi Blanc-Cardini e allo scavo, su una superficie di circa 9 metri quadrati, dei livelli più alti del deposito contenente manufatti musteriani.
Il deposito archeologico del lato Est del Riparo Mochi è caratterizzato da un'alternanza di strati di origine naturale, anche sterili, e di strati di frequentazione antropica (foto 3), all'interno dei quali sono emerse numerose testimonianze dell'uomo del Paleolitico superiore (40.000 - 12.000 anni fa circa).

La pulitura della sezione ha rimesso in luce l'intera stratigrafia ed ha permesso di collegarsi agli strati stabiliti dal Cardini; nelle unità F e G, riferibili rispettivamente all'Aurignaziano classico e all'Aurignaziano a *"lamelle Dufour"*, particolare importanza era rivestita da alcuni orizzonti di sedimento nero-grigio ricchi di cenere e carboni, talvolta alternati a lenti di terreno parzialmente arrossato dal calore e interpretabili come residui di antichi focolari: testimonianze, quindi, di grandissimo rilievo, trattandosi di fuochi che furono accesi dai più antichi uomini anatomicamente moderni che popolarono l'Europa (Homo Sapiens sapiens).
Il primo focolare proviene da una profondità di 2.50 m, al tetto dello strato F, insieme a manufatti riferibili a una fase finale dell'Aurignaziano: costituito da un'area centrale ricoperta di pietrisco, è circondato da un anello carbonioso e si osservano al suo interno ossa bruciate e industria litica in selce e diaspro.
Il secondo focolare, venuto in luce a una profondità di 3.80 m, nello strato G, è associato a reperti dell'Aurignaziano antico ed è stato datato, utilizzando il metodo del C14, a oltre 36.000 anni fa (37.400 +-1.300 anni da oggi); questa data è una delle più antiche d'Italia e d'Europa e testimonia la presenza assai precoce dell'uomo moderno in Liguria.
Al centro della struttura si notano pietre, ceneri e carboni riferibili all'area di combustione, ricca per altro di manufatti in selce, conchiglie e ossa bruciate; tutto attorno, una corona di terreno ghiaioso delimita una piccola fossa, o "cuvette", che costituiva il "fornello" primario del focolare. Dal tetto dello strato H, ad una profondità di -4.15 m, proviene un altro focolare dell'Aurignaziano antico, di maggiori dimensioni e meglio conservato degli altri: come il precedente è strutturato all'interno di una fossa contenente terreno ghiaioso, carboni e cenere; in associazione sono presenti diversi manufatti in pietra, nonchè frammenti di ossa. La base del deposito presenta arrossamenti dovuti all'azione diretta del fuoco; l'alternanza di sottili livelli di ceneri e di carboni testimonia l'utilizzo ripetuto nel tempo della stessa struttura di combustione.

Documentazione, preservazione, tutela e fruizione pubblica

Il "problema" primario dell'archeologica scientifica deriva direttamente dalle modalità operative secondo le quali obbligatoriamente si esplica e che non consentono di caratterizzarla come disciplina sperimentale: *lo scavo è un'esperimento irripetibile*; tutto ciò che non viene documentato nel corso dei lavori è irrimediabilmente perduto. E' quindi naturale che nel tempo siano state adottate tecniche documentative atte a preservare il più possibile l'informazione; tra queste sono da annoverarsi i calchi, ben

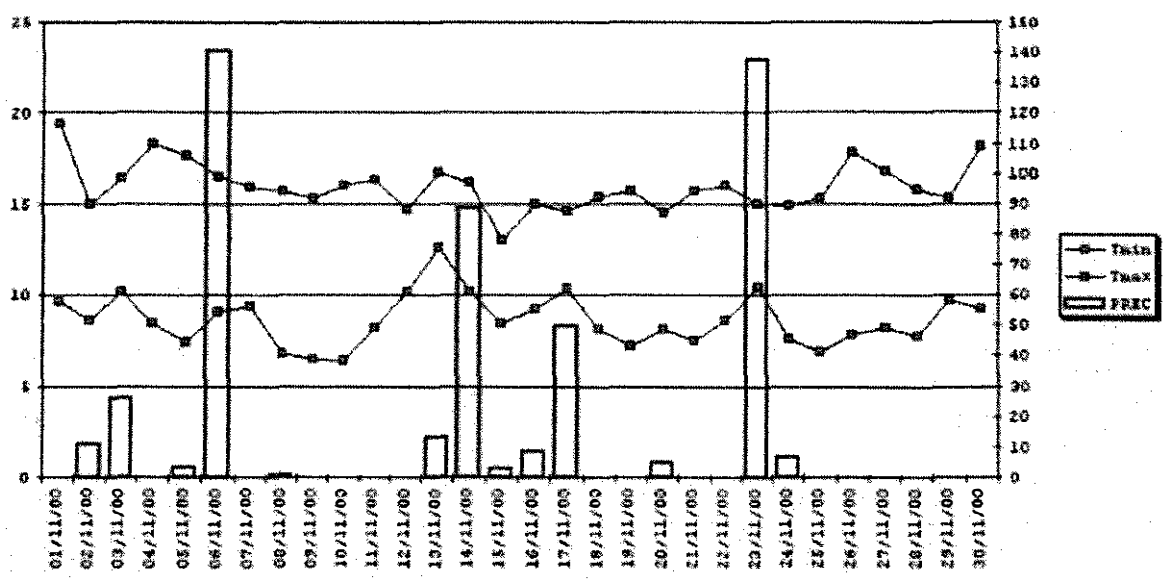


Fig. 2 - Andamento della temperatura e delle precipitazioni nel mese di novembre del 2000 (S.A.P. 2003).

noti al grande pubblico nella loro forma più semplice, quella delle colate in gesso (si pensi ai "positivi" di Pompei); è altresì ben noto come la tecnologia dei materiali abbia offerto da tempo nuove metodologie per la realizzazione di questo tipo di documentazione.
Si tratta di tecniche prevalentemente incentrate sull'uso di materiali elastomerici (gomme siliconiche) per i negativi (masters) e di resine epossidiche ad alta definizione per i positivi (le "copie"); in questo modo è possibile ottenere repliche di qualsiasi oggetto, paleosuperfice e struttura con una precisione tale da permettere l'esecuzione di studi di qualità (anche in microscopia) sulla copia invece che sull'originale.

I calchi dei focolari Aurignaziani del Riparo Mochi

Data la grande valenza scientifica dei tre focolari individuati nei livelli Aurignaziani del riparo Mochi la Soprintendenza Archeologica della Liguria decise di documentarli mediante l'esecuzione di calchi e di uno strappo integrale; i prodotti finali di questa operazione sono costituiti da una copia indistinguibile dell'oggetto originale e, nel caso dello strappo, dall'originale stesso.
Il primo focolare, individuato nel 1995 nello strato F e presentante una superficie di circa 100x50 cm, è stato riprodotto con materiale elastomerico autolivellante; il secondo, con una superficie di ca. 100x60 cm e individuato nello strato G, è stato riprodotto con elastomero a stucco nel 1997; il terzo, con una superficie di circa 140x50 cm e individuato alla base dello strato G nel 1998, è stato riprodotto anch'esso con elastomero a stucco (utilissimo per i sottosquadri) e scavato nello stesso anno.
L'esecuzione dei calchi non ha ovviamente arrecato alcun danno al substrato originale che ha potuto essere normalmente indagato e, nel caso del focolare inferiore, ha permesso di mettere così in evidenza l'esistenza di una struttura preparatoria in pietre all'interno di una fossa di alloggiamento (cuvette); l'importanza del rinvenimento suggeriva un tentativo di recupero totale del manufatto, che veniva realizzato mediante lo strappo di una superficie di 98x50 cm, eseguita grazie al preventivo inglobamento delle pietre e di alcuni centimetri di suolo in una colata di elastomero siliconico RTV opportunamente dosato per ottenere un tempo di reticolazione maggiore e permettere una più completa penetrazione ed un più efficace assorbimento del prodotto.
I positivi dei calchi (foto 4) sono poi stati messi a punto tra il settembre 1997 ed il novembre 1999 con l'impiego di resina epossidica Epoval e vetroresina (resina poliestere e fibra di vetro) di rinforzo strutturale.
Per esporre i calchi e lo strappo sopra descritti è stato realizzato un apposito contenitore metallico a più ripiani, dotato di illuminazione interna e di un dispositivo a motore elettrico atto a traslarli verticalmente, in modo da permetterne la visione singola e in successione secondo la sequenza stratigrafica, offrendo così al visitatore la diretta percezione dello sviluppo diacronico del deposito paleolitico; l'alloggiamento fisso inferiore, contenente lo strappo, è corredato da uno specchio inclinato sottostante, in modo da rendere visibili ambedue le superfici della struttura del focolare: la base dello strappo, visibile riflessa nello specchio, permette di osservare la struttura interna in pietre della cuvette.

Il caso dell'alluvione del 2000

Nei mesi di ottobre e di novembre dell'anno 2000, mentre il cantiere archeologico al riparo Mochi era aperto, un evento alluvionale di grande intensità investiva l'Italia del Nord-Ovest: i rovesci atmosferici si annunciavano verso la fine della prima metà di ottobre e, in particolare, l'11-10-00 con 117.7 mm di pioggia caduti a Latte di Ventimiglia (Im) in quasi tre ore.
Il mese di novembre (fig. 2) fu caratterizzato da non più di 13 giorni di pioggia, ma quattro eventi si rivelarono di grande intensità e, in particolare, il 6-11-00 si registrarono sulla medesima stazione 140.4 mm di pioggia: per l'estremo ponente ligure era alluvione (fig. 3). Il 23-11-00 si ebbe una replica con 137.7 mm di pioggia totale: il terreno era completamente imbibinato d'acqua e anche la locale stazione meteo venne precauzionalmente abbandonata per il pericolo di frane; nel corso della notte, infatti, se ne verificarono 4 nel raggio di 200 metri dalla stazione, producendo il taglio della linea telefonica e dell'acquedotto [S.A.P. 2003].
Ai Balzi Rossi la situazione si aggravò ancor più a seguito di una fortissima mareggiata che condusse al completo collasso della strada a mare: tutta la zona rimase isolata e inagibile.

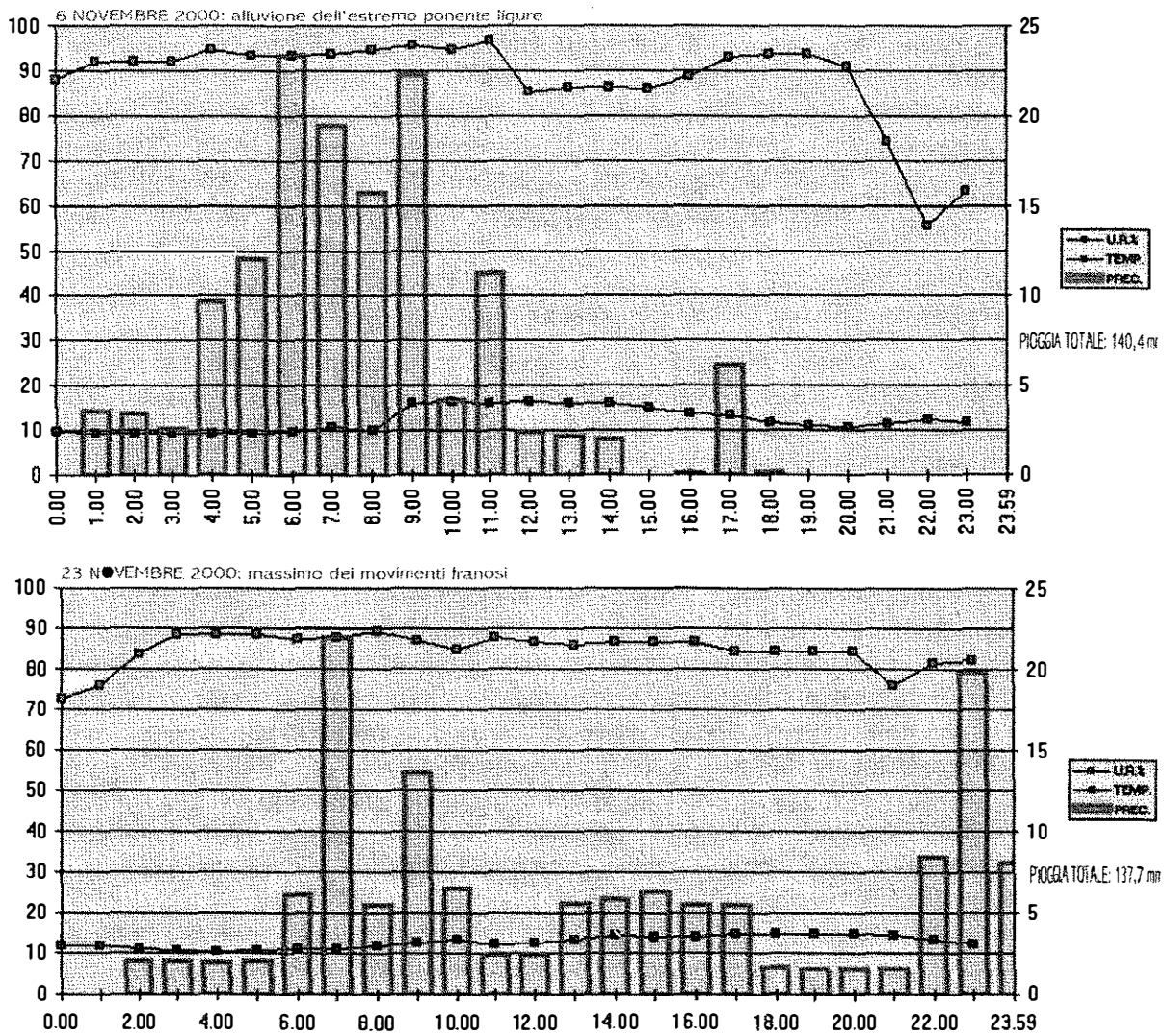


Fig. 3 - andamento dell'umidità relativa, della temperatura e delle precipitazioni nei giorni 6 novembre e 23 novembre 2000 (Gea810 da originale della Stazione Agrometeorologica di Piemattone, Latte di Ventimiglia).

L'eccezionalità dell'evento atmosferico induceva ad attendersi danni di gravissima entità alla passeggiata archeologica e questi, puntualmente, non si fecero attendere: la falesia calcarea, pur continuando ad offrire parziale riparo, rilasciava acqua da fratture e diaclasi e i termini più incoerenti della sezione stratigrafica del Riparo Mochi crollarono; sparivano così quelle parti originali dei focolari Aurignaziani ancora custodite all'interno della sezione e una grande lacuna a metà della sequenza metteva a grave rischio la stabilità dell'intera colonna sedimentaria (foto 5).

LA PROSECUZIONE DELLE ATTIVITÀ

A seguito degli eventi alluvionali del 2000 le attività sono state ovviamente finalizzate alla messa in sicurezza dell'area di scavo e al recupero e alla conservazione delle sezioni stratigrafiche in vista; quella principale, sviluppantesi per un'altezza di circa 4 metri, è stata arretrata di altro mezzo metro per "tagliare" i sottosquadri generati dai crolli; questa operazione ha nuovamente comportato lo scavo di ampie fasce del deposito, attività che ha necessitato l'utilizzo di tecniche speleo: si è infatti provveduto a lavorare in corda fissa per eseguire uno scavo "aereo" in modo da non incidere con il corpo dell'operatore sull'esigua superficie in corso di scavo o sulle instabili pareti verticali delle sezioni (foto 6).

Il lavoro, proficuamente svolto tra il 2002 e il 2003, ha peraltro permesso il nuovo campionamento dell'intera sezione, a cui seguirà l'analisi sedimentologica e stratigrafica. Nel contempo, visto che il "riparo Mochi", forse a conseguenza delle mutate condizioni climatiche, non si comporta più come un "riparo sottoroccia", si è provveduto alla progettazione e all'installazione di un'estesa copertura in tecnica mista (legno, metallo e vetro) finalizzata alla sua protezione e a quella degli operatori di scavo; nei prossimi anni l'impianto di scavo potrà essere adeguato anche alle esigenze del pubblico e una piattaforma componibile contigua all'area in corso di scavo, asservita da una nuova scala di accesso, potrà permettere ai visitatori di osservare i lavori archeologici "in corso" direttamente all'interno del "riparo Mochi".
L'approfondimento continuo degli scavi e il ragguardevole potenziale di materiale incoerente che resta in vista a lato dello stesso (mentre il riparo in roccia tende a scendere sempre più verso l'interno permettendo già di apprezzare l'originale conformazione a "grottone" costiero) impone (e imporrà inderogabilmente nell'immediato futuro) la risoluzione dei conseguenti problemi di stabilità, sicurezza e conservazione.
Se il gradinamento si pone obbligatorio ma non costituisce soluzione alla disgregazione di pareti costituite da materiale prevalentemente incoerente o in debole stato di aggregazione, si è anche già verificato negli anni 2001 e 2002 come il consolidamento della sezione con prodotti standard quali etilsilicato, Primal e Paraloid costituisca non solo una debole panacea ma, in determinati casi, promuova dinamicamente il distacco del fronte delle sezioni in ragione del loro consolidamento differenziale: la crosta più esterna, acquisendo maggiore densità, manca di aderenza rispetto alle parti più interne del deposito (da meno coerenti a incoerenti), crollando rovinosamente.
L'unica modalità di consolidamento ipotizzabile in queste situazioni vede la percolazione del prodotto mediante iniezioni e infiltrazioni in soluzione variabile nel tempo e in un lunghissimo tempo e non è comunque priva di rischi; su potenziali incoerenti di tale entità si tratta di cosa mai realizzata, specificando che lo scopo è "consolidare per conservare in modo tale che il prodotto finale sia fruibile alla vista in modo riconoscibile", e non cementificare. Un approccio più razionale potrebbe essere quello di promuovere un leggero consolidamento "preventivo" non invasivo, e realizzare, con "guanti di velluto" e nuovamente con tecnica "aerea", un calco/strappo superficiale dell'intera sezione, allo scopo di musealizzarla temporaneamente e ricollocarla al suo posto, nel riparo Mochi, quando l'originale, nel trascorrere del tempo, risulterà irreparabilmente danneggiato dal degrado naturale: si tratterà, anche in questo caso, del "calco" in incoerente più grande mai realizzato.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

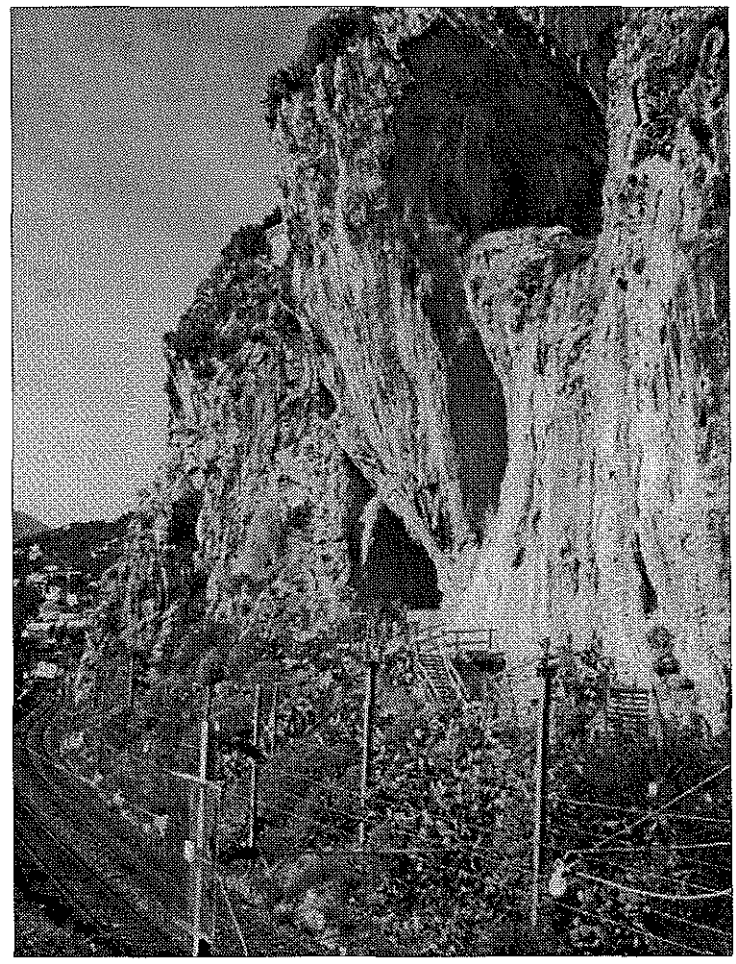
Da strumento documentativo finalizzato a coadiuvare le modalità operative dell'archeologia (*"...lo scavo non è un'esperimento ripetibile"*) l'esecuzione di copie "perfette" degli originali di scavo è divenuto strumento di preservazione del *segnale archeologico* in aree dinamicamente attive, specie a seguito di operazioni che, per loro caratterizzazione fisica, inducono variazioni nell'equilibrio statico dei siti.
Questo strumento di tutela va ovviamente affiancato a tutta una serie di interventi atti a promuovere lo studio e la conservazione del territorio, ma senza nutrirsi di inutili e fuorvianti illusioni; le antiche strutture antropiche eventualmente portatate alla luce nel corso di qualsivogliasi lavoro, compresi quelli strettamente dedicati (di tipo "archeologico") sono, chi più e chi meno, in condizioni di non equilibrio con l'ambiente e nel tempo tenderanno anche loro, comunque e sempre, all'equilibrio termodinamico: ovvero, il segnale archeologico è destinato ad estinguersi.
La stessa attività di ricerca sul campo, imponendo la frequentazione dei siti per periodi di tempo variabili e occasionalmente molto lunghi (specie se combinata con strutture di fruizione pubblica: musei e/o "open sites" con attrattive tipo "work-in-progress") induce non solo variazioni fisiche sul sito, ma anche su come il sito viene percepito, e quindi su come viene studiato: la connessione tra il dominio *"sito (archeologico/naturalistico)"* e il codominio *"storie della frequentazione del sito"* è un'applicazione *"fruizione (per lo studio delle frequentazioni)"* che sullo stesso dominio induce un feedback con un codominio *"storie della frequentazione per lo studio delle frequentazioni"* secondo la stessa applicazione.
Questa funzione ricorsiva (in senso lato) è peculiare perchè caratterizza in generale i siti archeologici ma, ancora più in particolare, quelli di alta valenza naturalistica, di elevata fragilità ambientale e, nel contempo, in continuità e stretta contiguità con l'antroposfera: come sono le aree carsiche.

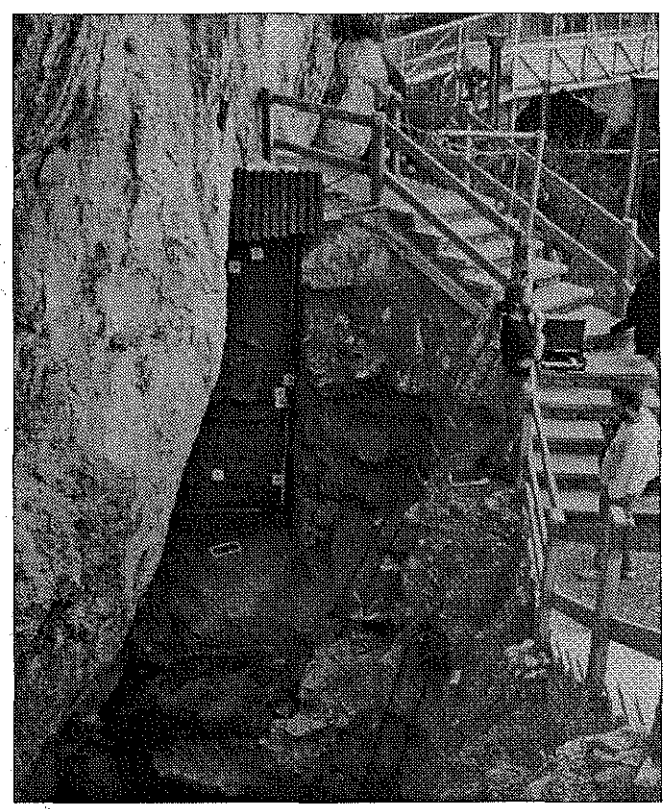
BIBLIOGRAFIA

- BARSANTI, 2003: C.Barsanti & S.Martini, *Pannelli esplicativi per l'espositore dei calchi dei focolari aurignaziani del Riparo Mochi, Balzi Rossi* (Im), GEA TRP3-03, Ventimiglia, 2003
- DEL LUCCHESE, 1996: A.Del Lucchese, *Museo Preistorico dei Balzi Rossi, Ventimiglia*, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma 1996
- DE LUMLEY, 1976: H.De Lumley & L. Barrals (eds.), *Sites paléolithiques de la région de Nice et grottes de Grimaldi*, IX Congr. U.I.S.P.P., Livret-guide de l'excursion B1, Nizza 1976
- FERMI,1972 : E.Fermi, *Termodinamica*, Boringhieri, 1972
- GRAZIOSI, 1976: P.Graziosi, *I Balzi Rossi, guida delle caverne preistoriche di Grimaldi presso Ventimiglia*, V.a edizione, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Bordighera (Im) 1976
- PRIGOGINE, 1954: I.Prigogine, *Introduzione alla termodinamica dei processi irreversibili*, Sansoni
- S.A.P., 2003: Stazione Agrometeorologica di Piemattone, *Informazioni Agrometeorologiche: cronache meteo, http://web.rosenet.it/eugenia/page6.htm*, Latte di Ventimiglia (Im)

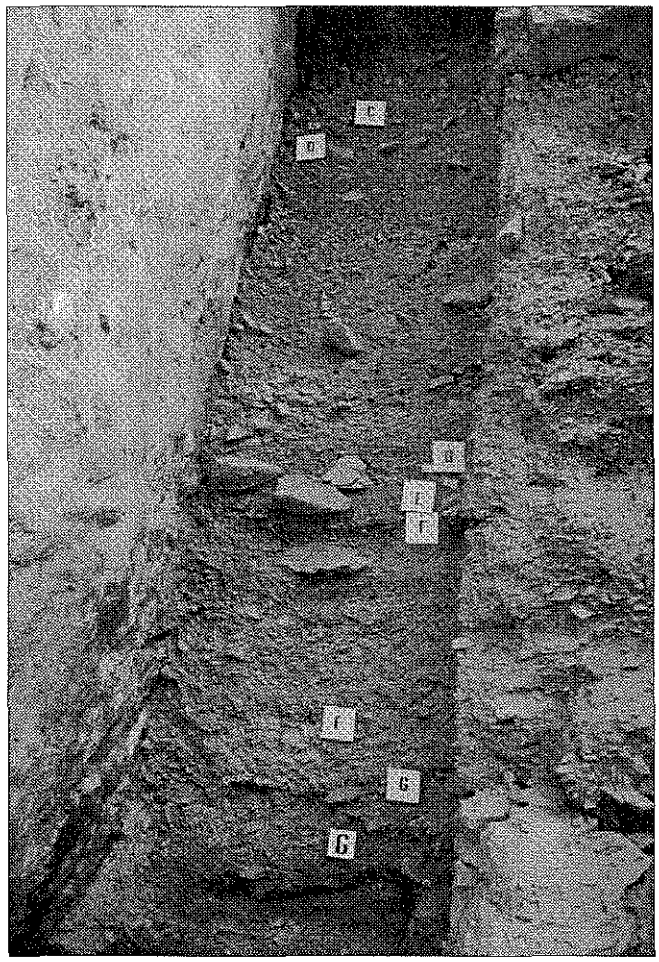
Si ringrazia il dott. Furio Bazzan della G.E.A.Snc per la gentile collaborazione prestata nella lettura critica del manoscritto.

Foto 1 ▶
L'alta falesia di calcari giurassici in cui si aprono le grotte e i ripari dei Balzi Rossi (Gea1426).



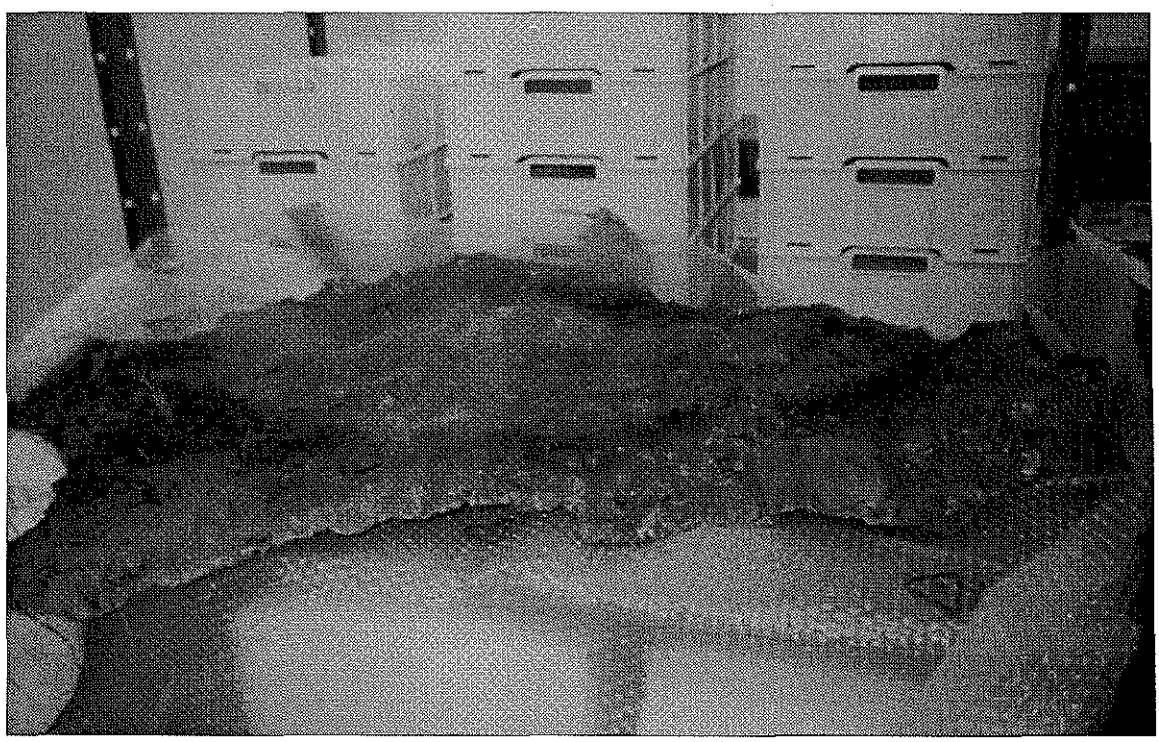


◀ Foto 2
Il Riparo Mochi nel corso degli scavi del 1999, ancora con la copertura di fortuna della sezione stratigrafica Est (Gea1427).



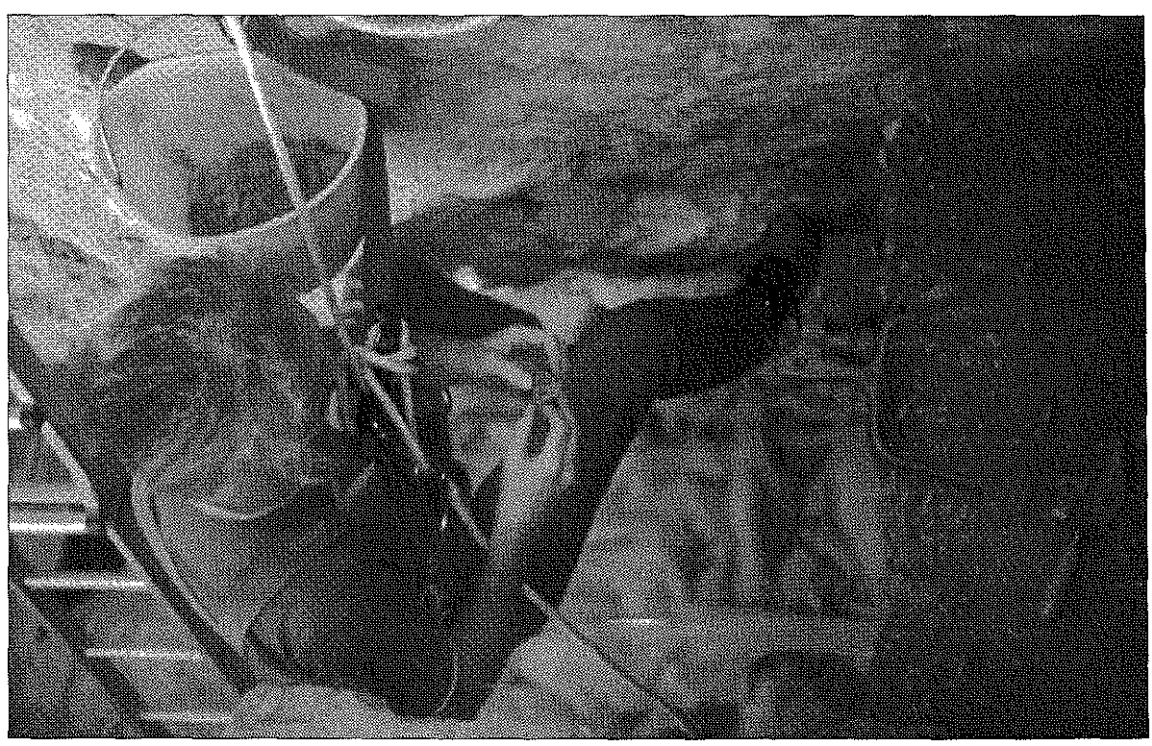
◀ Foto 3
La sezione stratigrafica Est del riparo Mochi rifilata (prima dell'alluvione del 2000), con gli indici di correlazione relativi alla stratigrafia "storica" cardini: si notano gli orizzonti grigi dei focolari Aurignaziani negli strati F e G (Gea1209).

▼ Foto 4
Il positivo del calco del focolare Aurignaziano n. 1 in corso di lavorazione (Gea1428).



◀ Foto 5
Conseguenze degli eventi del 2000 sulla sezione Est del Riparo Mochi (Gea1429).

▼ Foto 6
Rifilatura e scavo "aereo" della sezione Est del Riparo Mochi (Gea1430).



PROPOSTA DI UN INDICE DI QUALITÀ-QUANTITÀ PER LE SORGENTI CAPTATE AD USO ACQUEDOTTISTICO IN UN TERRITORIO A CARATTERISTICHE CARSICHE

Domenico Grazioli - Igino Parissenti

Dipartimento di Prevenzione ULSS n° 2 del Veneto (Feltre)

RIASSUNTO

Il territorio dell'ULSS n° 2 di Feltre, ha una rete acquedottistica molto frammentata e con frequenti problemi microbiologici. Dal punto di vista geologico l'area è rappresentata da formazioni triassiche calcareo dolomitiche carsificate, che conferiscono agli acquiferi, scarsa filtrazione,alta velocità di scorrimento e comunicazione idrologica diretta con la superficie topografica e quindi con le acque di corrivazione superficiale. In vista della riorganizzazione e della razionalizzazione del sistema acquedottistico previsto dalla legge Galli, è stato elaborato un indice di qualità-quantità di tutte le sorgenti captate ad uso acquedottistico.

ASPETTI GEOLOGICI GENERALI DELL'AREA DOLOMITICA

La geologia del Feltrino è per molti aspetti comune a quella della Regione Dolomitica, alla quale appartiene. Per comprenderne gli aspetti particolari e la geologia di dettaglio, è necessario riassumere l'evoluzione geologica di tutta l'area dolomitica che è geograficamente compresa tra i fiumi Isarco ed Adige ad ovest, il Piave ad est, la Valsugana ed il Vallone Bellunese a sud, la Val Pusteria a nord.
La storia geologica delle Dolomiti va dall'era Paleozoica fino al periodo Cretaceo: dura quindi circa 200 milioni di anni. Nell'era Mesozoica (Triassico e Giurassico) le rocce dolomitiche si formano come scogliere in mari tropicali e solo nell'era Terziaria, durante l'orogenesi alpina, vengono a giorno per essere infine modellate, nell'era Quaternaria, dai ghiacci che per migliaia di anni le hanno coperte conferendogli le particolari forme che oggi possiamo vedere. Alla base della successione stratigrafica delle Dolomiti, come in quella di tutte le Alpi Venete, c'è il basamento metamorfico, detto anche scistoso cristallino, costituito da filladi, micascisti, paragneiss e metabasiti. La loro età, che va dal Cambriano al Carbonifero, è compresa tra 500 e 300 milioni di anni circa. Si tratta di metapeliti originate dal metamorfismo di arenarie ed argille durante l'Orogenesi Ercinica che interessò varie zone d'Europa alla fine del Carbonifero. Alla fine dell'Orogenesi Ercinica, che aveva deformato, metamorfosato e sollevato le antiche rocce paleozoiche, i rilievi montuosi ercinici vengono erosi dalle acque superficiali e dagli atmosferili che li riducono ad una superficie debolmente ondulata, quà e là incisa dai torrenti. I detriti così prodotti vengono trasportati ed accumulati nelle depressioni di questo paesaggio collinare praticamente spoglio di vegetazione, formando così il Conglomerato Basale chiamato anche Verrucano oppure oggi Conglomerato di Ponte Gardena dall'omonima località in Val Gardena. Questo conglomerato poligenico verdastro, compatto e tenace, non è continuo in tutta la regione ma affiora solo in certe zone in forma di lenti o come riempimento di aree depresse del basamento con spessori che vanno da zero ad alcuni metri.
Successivamente, nella parte più occidentale delle Dolomiti ed anche più oltre, iniziò un'intensissima attività vulcanica che coprì la regione con enormi quantità di lave eruttate da vulcani di tipo fissurale e di ignimbriti messe in posto come colate piroclastiche tramite il fenomeno delle nubi ardenti cioè fenomeni vulcanici altamente distruttivi consistenti nel veloce movimento verso valle di cenere, lapilli e blocchi di lava miscelati con denso materiale gassoso che agendo da lubrificante, impartisce a tutta al massa notevole fluidità. Queste rocce costituiscono oggi la Piattaforma Porfirica Atesina che, nella parte centrale, raggiunge il suo massimo spessore prossimo ai duemila metri.

Verso la fine del periodo delle eruzioni, la regione dolomitica era solcata da torrenti e fiumi che erodevano e trasportavano detriti di varia litologia e granulometria depositandoli nelle zone più basse come depositi fluviali di vario spessore. Gli apporti terrigeni provenivano oltre che dall'erosione della Piattaforma Porfirica e del Basamento, anche dalla zone del Comasco, Varesotto e Luganese che costituivano un'area montagnosa dalla quale si originavano i fiumi che, scorrendo verso oriente, depositavano il materiale nell'area dolomitica che in quel periodo geologico era una pianura alluvionale simile alle attuali zone costiere del Como d'Africa.
Questi depositi, successivamente diagenizzati, costituiscono le Arenarie della Val Gardena, di colore generalmente rossastro, con spessore variabile da zero a cinquecento metri, presenti un po' in tutta la regione. In seguito al successivo approfondimento del mare durante la prima trasgressione marina, si depositano sedimenti che in seguito danno luogo a due tipi di rocce differenti. Si tratta di evaporiti e calcari scuri ricchi di sostanza organica (Formazione a Bellerophon).Nel Permiano superiore, 245-250 M.a., il mare occupò per la prima volta la regione dolomitica, trasgredendo da oriente (regione balcanica) verso occidente, formando una vasta zona di lagune e bassi fondali costieri. Il clima era caldo ed arido ed in queste lagune spesso soggette ad alterne inondazioni delle maree, si verificava una diffusa precipitazione di cloruri, solfati e carbonati, soprattutto gesso, anidrite e calcari ricchi di sostanza organica. Viste le estreme condizioni di vita caratteristiche di questi ambienti, i fossili in queste rocce sono rari. Queste aree costiere ipersaline, soggette al va e vieni delle maree, sono oggi chiamate sabkha e sono tipiche della costa araba del Golfo Persico. I depositi evaporitici si trovano ora direttamente sovrapposti alle Arenarie di Val Gardena con una potenza massima di 400m nella parte orientale, che diminuisce fino a zero nella parte occidentale (Val d'Adige).
Verso la fine del Permiano, il mare inondò decisamente tutta la zona, si formò un vasto golfo con acque poco profonde e quiete dove si accumulavano fanghi ricchi di sostanza organica. Le acque erano popolate da una gran quantità di vegetali ed animali erbivori come il gasteropode bellerophon che da appunto il nome alla formazione. All'inizio dell'Era Mesozoica (250 M.a.), il mare avanzò ulteriormente ed in modo deciso verso occidente, occupando larga parte dell'Europa centro-meridionale. Nelle Dolomiti si instaurarono condizioni di mare basso e costiero simili all'attuale Adriatico, ma, data la minore latitudine, con clima più caldo e arido, dove si depositarono sabbie, argille e calcari che oggi costituiscono la Formazione di Werfen. In questo periodo si verificarono almeno quattro trasgressioni e regressioni dovute in parte a variazioni eustatiche ed in parte a movimenti tettonici e subsidenza. In queste rocce si trovano molte strutture sedimentarie tipiche di questo ambiente come i ripple marks, impronte di carico ecc. Anche il contenuto fossilifero è abbondante, (in numero ma non in specie) soprattutto di lamellibranchi come la Claraia Clarai e gli Ofiuroidi (stelle marine). La formazione affiora in tutte la Dolomiti , tranne in alcuni punti dove è stata erosa durante l'Anisico, giace sopra i calcari della Formazione a Bellerophon e nella zona più occidentale sopra le evaporiti della stessa formazione. Lo spessore varia da 200m a 400m circa, è divisa in una decina di membri diversi per litologia e contenuto fossilifero.
Tra la fine dello Scitico e l'inizio dell'Anisico, alcune zone delle Dolomiti si sollevano ed emergono dalle acque, vengono erose ed i detriti trasportati ed accumulati lungo le linee di costa, formando degli accumuli ciottolosi che in seguito ai processi diagenetici si sono trasformati in un tenace conglomerato rossastro chiamato di Richtofen. Si tratta di un conglomerato poligenico ciottoloso alternato ad arenarie rossastre, lo spessore è variabile con valore massimo di 20m. Alla base di questa formazione c'è una lacuna stratigrafica dovuta all'erosione dei terreni sottostanti.Verso la metà dell'Anisico, inizia un graduale e diffuso sprofondamento di tutta la regione, maggiore nella zona orientale dove si instaurano condizioni di mare profondo o di bacino, minori nella parte occidentale dove troviamo invece condizioni di piattaforma. E' qui che si depositano i calcari della Formazione di Contrin, ben stratificati, dall'aspetto nodulare e ricchi di sostanza organica, con uno spessore massimo di 200m. Affiorano ovviamente solo nella parte occidentale delle Dolomiti. Nelle zone orientali di bacino si ha la deposizione di calcari, marne ed argille che prendono il nome collettivo di Gruppo di Braies e che rappresentano appunto i corrispondenti eteropici alla Formazione di Contrin.

Dopo i sollevamenti anisici, inizia una forte subsidenza che nell'arco di circa quattro milioni di anni porterà ad uno sprofondamento generale di quasi mille metri. La piattaforma sulla quale si stava depositando la formazione di Contrin, si frattura in blocchi che in parte sprofondano ed in parte si sollevano, talora emergendo dalle acque. Sulla superficie dei blocchi rialzati, attecchiscono numerose comunità organogene che edificano così delle primitive scogliere coralline simili a quelle che si possono trovare oggi nel sud Pacifico. Le ideali condizioni climatiche ed ambientali permettono una grande proliferazione di organismi biocostruttori con una conseguente notevole produzione di materiale carbonatico. In questo periodo la forte subsidenza permette non solo l'aggradazione delle scogliere ma anche la progradazione sull' antistante Formazione di Livinallongo. Quasi la totalità delle Dolomiti è costituita da questi strati inclinati (clinostratificazioni) sui quali franavano, rotolavano e si accumulavano detriti e blocchi che contribuivano all'espansione laterale delle scogliere. Le rocce carbonatiche così formate in questo periodo, prendono il nome di Dolomia dello Sciliar, mentre quelle che per motivi non ancora ben chiariti, sono sfuggite al processo postgenetico di dolomitizzazione, sono il Calcare della Marmolada ed il Calcare del Latemar.
Lo spessore di queste formazioni può arrivare al migliaio di metri. Nelle zone adiacenti le scogliere si andavano accumulando depositi di mare profondo come calcari e selci con intercalazioni di livelli di arenarie e tufi cineritici (Pietra verde di Livinallongo) che nel loro insieme prendono il nome di Formazione di Livinallongo, la quale ha uno spessore variabile di 150-200m. Spesso queste rocce si trovano soggiacenti la Dolomia dello Sciliar, fatto questo che testimonia il processo della progradazione corallina. I fossili ritrovati nei vari membri di questa formazione testimonianio ambiente di mare profondo (bacino).
Mentre nelle Dolomiti occidentali e nord orientali terminavano di accrescersi i grandi sistemi carbonatici tropicali, nella parte meridionale di quell'ampio golfo erano in atto movimenti orogenetici che provocavano un generale innalzamento di tutto quel settore, con conseguente instaurarsi di processi erosionali aerei, subaerei e sottomarini. Il materiale prodotto da questi eventi, principalmente sabbie e ghiaie poligeniche, si andava accumulando nella zona centrale delle Dolomiti, trasportato e depositato per onda torbida che gli conferiva il caratteristico aspetto gradato per differenziazione gravitativa (arenarie di Zoppè).
Verso la fine del periodo Ladinico in Dolomiti terminò la forte subsidenza iniziata nell'Anisico e si ebbe una notevole attività vulcanica, si può dire infatti, che queste zone rappresentavano il maggiore distretto vulcanico d'Europa. Si crearono numerose faglie dalle quali risalivano le lave, e si formarono inoltre numerose scarpate con conseguente distacco di materiale dalle formazioni ladiniche, anisiche e scitiche che franando si mescolava al materiale vulcanico che veniva eruttato.
Contestualmente all'inizio dell'attività magmatica si manifestò pure un'intensa attività sismica legata sia ai fenomeni vulcanici sia tettonici, che procurò franamenti e crolli del materiale caotico che si andava accumulando ai margini dei centri e fessure eruttive. Il materiale caotico così accumulato costituisce la formazione detta Caotico Eterogeneo, che in molti settori rappresenta la base della successione vulcanica medio triassica, in altri invece si trova in relazione eteropica con altro materiale vulcanico nel frattempo eruttato. Petrograficamente il Caotico Eterogeneo rappresenta una breccia poligenica costituita da varie frazioni granulometriche, contenente clasti anche enormi; il suo spessore è variabile, fino a centinaia di metri, ed affiora soprattutto nella parte orientale. Tutto questo materiale vulcanico proveniva da due grossi apparati vulcanici, uno in Val di Fiemme (Predazzo) e l'altro in Val di Fassa (Monti Monzoni), dai quali si dipartivano molte faglie radiali lungo le quali salivano notevoli quantità di lave, che al contatto con l'acqua marina assumevano la tipica struttura a pillow. Oggi queste lave si possono vedere in molte zone delle Dolomiti, con uno spessore che va da poche decine di metri a circa 300-400m. Intercalate alle lave a pillow, si possono notare lave con altre strutture tipo "colonnare" o "scoriacea": Le Ialoclastiti: queste rocce sono delle sabbie vulcaniche generate dalla polverizzazione esplosiva di lava in condizioni subacquee a causa della subitanea trasformazione in vapore dell'acqua penetrata nel magma. Si trovano intercalate agli altri prodotti vulcanci o al tetto di tutta la successione soprattutto nelle zone occidentali. Hanno uno spessore che arriva fino a 300m e sono associate a frammenti di pillow ed a brecce ialoclastiche. Talora si trovano in rapporto di "on lap" con i pendii strutturali delle barriere ladiniche.

Durante il Carnico, termina il parossismo vulcanico ed anche l'attività tettonica, così gli edifici vulcanici principali ed anche le strutture minori ad essi collegate, vengono smantellati assieme alle parti più elevate delle scogliere ladiniche. I prodotti di tale erosione si riversano in mare, spargendosi radialmente e coprendo un'area subcircolare con centro in Marmolada e raggio di una ventina di chilometri. Questi detriti in prevalenza lavici e carbonatici di varie frazioni granulometriche, costituiscono il Conglomerato della Marmolada, il cui spessore massimo di circa 1300m si ha nella zona a nord delle Pale di San Lucano.
Nelle zone più distali del bacino dove i pesanti detriti del conglomerato della Marmolada non potevano arrivare, si depositavano, come torbiditi, i sedimenti più fini che costituiscono gli Strati di La valle. Si tratta di arenarie, marne ed argille gradate e stratificate frammiste ad altro materiale vulcanico fine. Il fossile tipico di questi sedimenti è la Daonella lomelli, ma si rinvengono pure fossili di ammoniti, frustoli, foglie e frammenti di piante terrestri. Lo spessore è di un centinaio di metri.
Gli Strati di La Valle giacciono al tetto delle formazioni vulcaniche ladiniche, "appoggiandosi" sulle dolomie e calcari delle scogliere ed ammantellando un po' tutta la regione centrale.
Al passaggio Ladinico-Carnico, si verifica un abbassamento eustatico di qualche decina di metri, che porta all'emersione delle strutture coralline che vengono così erose assieme alle rocce vulcaniche che qua e la emergono. I prodotti dell'erosione (tutte le frazioni granulometriche) vennero trasportati e depositati in tutta la zona centrale delle Dolomiti dove nel frattempo si depositavano anche sedimenti bacinali come argille e marne. Queste rocce nel loro insieme prendono il nome di Formazione di San Cassiano. La stessa contiene moltissimi fossili ben conservati di bivalvi, gasteropodi, cefalopodi, brachiopodi ed echinodermi per lo più descritti dal naturalista Zardini negli atlanti pubblicati dal 1973 al 1985. La Formazione di San Cassiano si differenzia dalla sottostante Formazione di La Valle poiché le rocce della prima sono di colore più chiaro e per la presenza di calcari giallastri intercalati ad arenarie ed argilliti.
Dalle associazioni fossilifere è possibile dedurre le variazioni della profondità del mare che in questo periodo subì un lento ma continuo abbassamento dovuto al riempimento del bacino da parte delle neoscogliere cassiane e dai depositi della Formazione di San Cassiano. Mentre si andavano depositando gli ultimi più fini prodotti dell'erosione subaerea dei terreni ladinici, nascevano nuove scogliere sia sulla sommità di quelle ladiniche che su relitti vulcanici o alti strutturali di tipo tettonico.
Non essendovi però subsidenza, queste nuove barriere non aggradavano ma progradavano sulla sottostante Formazione di San Cassiano e, a differenza di quelle ladiniche queste erano costituite da maggior quantità di coralli. Verso la fine del Carnico, il mare si abbassa di nuovo e l'evoluzione delle scogliere carniche si interrompe. Nella parte orientale tuttavia, rimasero alcuni bacini poco profondi ed isolati che furono colmati da fanghi carbonatici che accumulandosi verticalmente, strato dopo strato, originarono una nuova successione sedimentaria. Questa nuova dolomia detta Dolomia di Durrenstein, si adagiò sui fianchi delle scogliere cassiane riempiendo le ultime depressioni rimaste ed in alcune zone si depositò sulle stesse piattaforme dove provocò una certa subsidenza. Questa dolomia, come si può vedere prima e dopo la galleria del Passo Falzarego, è costituita da strati metrici in cui sono presenti fossili di gasteropodi, bivalvi e coralli. Alla fine del Carnico, dopo quasi venti milioni di anni dalla fine dello Scitico, la regione dolomitica diventò una piatta area costiera sulla quale si depositò la Formazione di Raibl. Trattasi di calcari, marne, argille e conglomerati con qualche livello di dolomia e gessi, con colore rosso, giallo, bianco e verdastro. Inoltre è ben identificabile per i differenti effetti pedogenetici e vegetazionali rispetto alle dolomie sopra e sottostanti. All'inizio del Norico, una trasgressione marina interessa tutta la regione, l'inondazione è però periodica perché il mare è soggetto a fluttuazioni eustatiche che durano per tutto il periodo. L'ambiente era quello delle odierne piane tidali che si possono vedere nell'isola di Andros (Bahamas), Golfo Persico, Mont S. Michel (Francia).
Durante i periodi di sommersione in queste acque si depositava materiale carbonatico, mentre nei periodi di emersione la sedimentazione si interrompeva, così da questo alternarsi di cicli si generò la caratteristica stratificazione che caratterizza questa dolomia. Questo ambiente dura per svariati milioni di anni, e la subsidenza permette l'accumulo di migliaia di metri di sedimenti in quasi tutta la regione, da cui il meritato nome di Dolomia Principale. In certe aree la deposizione della Dolomia Principale continua anche nel Retico inferiore.

Verso la fine del periodo Triassico, la grande piattaforma norica si rompe in blocchi e sprofonda. Da una vastissima serie di pianure tidali, stagni, e bassi fondali, si passa ad un bacino tropicale, poco profondo ma completamente sommerso dove non si depositano più dolomie ed evaporiti, ma calcari come il Calcare di Dachstein (Retico) con spessore da 100 a 1000m, ed i Calcari Grigi (inizio Giurassico). Poi, con il rapido evolversi degli eventi geologici, nel Giurassico medio, anche questo bacino tropicale sprofonda ulteriormente diventando un plateau oceanico su cui si depositano i calcari del Rosso Ammonitico, per poi arrivare, nel Cretacico, alle prime fasi dell'Orogenesi Alpina che determina un inquinamento delle acque oceaniche da parte di fini detriti argillosi e sabbiosi erosi sui primi rilievi che si andavano formando a nord nella regione austriaca. Questi sedimenti rappresentano ora la Formazione delle Marne del Puez. Il maggiore e definitivo sollevamento delle Dolomiti si ebbe negli ultimi 4-5 milioni di anni, con una velocità di circa un millimetro all'anno, impercettibile a scala umana, tuttavia sufficiente ad innescare una serie di processi morfogenetici legati agli agenti erosivi esogeni, che negli ultimi milioni di anni hanno asportato i terreni soprastanti mettendo a nudo e modellando le più tenaci dolomie triassiche. I detriti prodotti dai fenomeni erosionali, si sono accumulati sui fondovalle come depositi alluvionali, uniformandone la topografia con le loro forme piane e terrazzate.
Gli spessori di questi depositi sono molto variabili dai pochi metri alle decine di metri. La litologia può essere omogenea o eterogenea a seconda del luogo e periodo di formazione, ed anche il grado di cementazione e diagenesi è molto variabile, si passa infatti dalle sabbie e ghiaie ai conglomerati ed arenarie tenaci. Soprattutto dopo le glaciazioni grosse frane si sono verificate (e si verificano tuttora) un po' in tutta la regione, generando variazioni morfologiche e topografiche, più o meno rilevanti, sia nelle nicchie di distacco che nella zona di scorrimento ed accumulo producendo così nuove forme come i laghi di sbarramento, deviazioni fluviali, accumuli e conoidi detritici ecc. Uno degli elementi più caratteristici sono le falde detritiche, ovvero estese fasce di detriti che bordano alla base le pareti dolomitiche, dovute alla coalescenza dei conoidi di deiezione. Si rinvengono praticamente in tutti i gruppi e catene dolomitiche. I depositi glaciali: si tratta di morene, archi morenici, massi erratici circhi glaciali ecc. prodotti soprattutto durante il periodo Riss-Wurm (10-300K.a.) in seguito all'azione erosiva e di trasporto dei ghiacci. Altre forme molto interessanti legate all'azione dei ghiacci sono le "piramidi di terra" ed i rock glacier o ghiacciai di pietra o pietraie semoventi il più caratteristico dei quali si trova proprio in Valparola.
Con le formazioni quaternarie appena descritte termina la successione Dolomitica.

IL CARSISMO IN PROVINCIA DI BELLUNO

Tutta l'area feltrina, proprio per la sua particolare conformazione geologico strutturale è soggetta a fenomeni carsici in senso lato che certamente sono più efficaci laddove affiorano terreni calcarei o dolomitici e che sono la causa dell'alta vulnerabilità degli acquiferi ivi presenti. Riprendendo il concetto di fenomeno carsico, definiamo la stesso come un processo di soluzione delle rocce carbonatiche e delle evaporiti da parte delle acque naturali che circolano all'interno degli ammassi rocciosi.
Presupposti fondamentali perché si verifichi questo processo sono:
1) presenza di rocce solubili
2) abbondanza di precipitazioni

Le rocce che sono coinvolte nel processo carsico, sono principalmente di tipo evaporitico come il gesso, l'anidrite, i cloruri ecc. e di tipo carbonatico come i calcari, le dolomie e tutte le rocce intermedie. Per quanto il grado di solubilità delle dolomie nelle acque meteoriche sia minore di quello dei calcari (ca.10 mg/l a 20°C), in natura subentrano molti altri fattori ad aumentare l'aggressività delle acque, per questo le manifestazioni carsiche delle regioni dolomitiche non sono diverse da quelle delle regioni calcaree, per cui si può ritenere che anche il processo di carsificazione delle dolomie affioranti in Valparola si produca con le stesse modalità che nei terreni calcarei anche se con maggiore lentezza.
Si deve però considerare che, a parità di condizioni, la circolazione idrica nelle dolomie è meno sviluppata di quella nei calcari.

L'aggressività cioè la capacità solvente di un'acqua dipende dalla sua acidità (pH), la quale è direttamente proporzionale alla quantità di CO_2 disciolta, alla pressione ed al carico idraulico, mentre è inversamente proporzionale alla temperatura. Inoltre la quantità di CO_2 sciolta nell'acqua, è maggiore dove le rocce sono coperte da suolo organico che in quelle prive di suolo.
La formula chimica del processo carsico può essere riassunta come segue:
$2CO_2 + 2H_2O + CaMg(CO_3)_2 = Ca(HCO_3)_2 + Mg(HCO_3)_2$
In realtà la soluzione acquosa è di tipo ionico, perché in soluzione le varie specie chimiche sono presenti parzialmente dissociate in ioni: H^+, OH^-, HCO_3^-, CO_3^{--}, Ca^{++}, Mg^{++}, $CaOH^+$, $MgOH^+$.
Per citare alcuni valori, possiamo ricordare che le acque carsiche alla temperatura di 10°C ed alla pressione media di CO_2 nell'aria che è di 10^{-4} atm , possono sciogliere fino a 70 mg/l di $CaCO_3$ che è circa 5 volte il valore in assenza di CO_2. Questo valore può aumentare fino a 400 mg/l se la pressione di CO_2 arriva a 10^{-2} (questo caso si verifica in presenza di sostanza organica).
Per quanto riguarda le precipitazioni, nel Feltrino cadono annualmente, in media, 1.600 mm. di pioggia, risultando fra le zone più piovose d'Italia.
Quali sono le forme carsiche presenti sul territorio analizzato? (vedi foto in appendice)
Si tratta prevalentemente di inghiottitoi e crepacci carsici, ovverossia di forme minori del processo carsico (anche se non mancano macroforme classiche quali doline e grossi inghiottitoi) che comunque sono molto importanti per lo studio degli aspetti idrogeologici. I primi sono detti fori carsici e sono delle piccole cavità subcircolari con asse massimo di un decimetro o poco più, paragonabili a vere e proprie microcaverne. Si formano sia sotto coperture di suolo, sia all'interno di substrati dolomitici privi di tale copertura. I crepacci carsici (kluftkarren) invece sono solchi di larghezza variabile da alcuni centimetri ad alcuni decimetri, lunghi al massimo alcuni metri e di considerevole profondità. Sono impostati in corrispondenza di fratture preesistenti di origine tettonica o generate per quarrying, e verso il fondo possono terminare bruscamente su uno strato sottostante oppure assottigliarsi fino a chiudersi. Spesso sono riempiti di detrito e/o coperti da suolo. Sono messi in comunicazione idraulica attraverso cavità suborizzontali o inclinate, sviluppate sulle superfici di aggradazione e progradazione delle dolomie. Queste strutture carsiche interessano un po' tutti i terreni dolomitici, calcarei e calcareo-marnosi e si estinguono al contatto con le formazioni terrigene.
Dati sperimentali hanno dimostrato che in terreni dolomitici con presenza di microforme carsiche si hanno velocità di scorrimento delle acque profonde sull'ordine di alcuni cm/sec (4,5-14,9 cm/sec). Interessante osservare che sulle misurazioni condotte le alte velocità (superiori ai 10 cm/sec) sono prevalenti e questo rappresenta uno dei motivi dell'alta vulnerabilità degli acquiferi insistenti su formazioni carsificate.

L'AREA OGGETTO DI STUDIO

Il territorio dell'ULSS n° 2 di Feltre comprende una zona valliva fra Prealpi e Alpi Feltrine che comprende 18 comuni, con una popolazione residente di circa 84.000 abitanti, serviti da una rete acquedottistica pubblica che comprende circa 130 sorgenti captate per circa 120 acquedotti. Sono presenti inoltre qualche decina di acquedotti privati (che captano sorgenti o utilizzano acqua piovana o pozzi).
Si tratta quindi di una frammentazione della rete acquedottistica, i cui limiti sia in termini di quantità che, più spesso, di qualità, in particolare microbiologica, si sono evidenziati assai di frequente,in particolare nei mesi caldi, con notevoli disagi per i gestori e gli utenti.
Con l'entrata in vigore della L. 5 gennaio 1994 n° 36 detta legge Galli, si è avviato lentamente un processo che dovrebbe portare al riordino e alla razionalizzazione del "ciclo integrato dell'acqua", per un miglior utilizzo qualitativo e quantitativo di questa risorsa a disponibilità limitata.
Tale processo in loco è stato avviato, in primis, dalla Comunità Montana Feltrina, in collaborazione col nostro Servizio e col Centro di Meteorologia Alpina di Arabba portando ad un censimento sistematico delle sorgenti ed acquedotti pubblici.
Successivamente veniva nominata l'Autorità d'Ambito ed il Responsabile dell'A.A.T.O. che stanno, a loro volta, eseguendo il censimento e la schedatura degli acquedotti della Provincia in vista poi di una razionale ripartizione della risorsa nei diversi ambiti territoriali.

Nell'ambito del rapporto collaborativo con gli Enti gestori e con le Autorità Sanitarie Locali, fin dal 1992 il nostro Servizio ha sviluppato una serie di azioni ricognitive, conoscitive e di consulenza che si possono così sintetizzare:

- censimento, rilevazione, schedatura di tutte le sorgenti; campionatura, analisi chimica, microbiologica almeno tre volte di tutte le sorgenti; analisi fisica di buona parte.
- Relazione dettagliata agli Enti gestori ed alle Autorità Sanitarie Locali dello stato delle opere di captazione ed adduzione e indicazioni per il loro adeguamento alla normativa.
- Relazione dettagliata sulla qualità analitica chimica e microbiologica di tutte le sorgenti e di tutte le fontane pubbliche.

A tali azioni sono seguite da parte di un consistente numero di gestori, in particolare da parte della Comunità Montana Bellunese, una serie di importanti interventi di adeguamento alla normativa e modernizzazione del servizio acquedottistico le cui risultai sono evidenti dal trend in continua ascesa dell'indice di potabilità (I.P.= F/T) continuamente monitorato ed elaborato dal nostro Servizio.
Resta tuttavia irrisolto il nodo di un utilizzo razionale dell'esistente sulla base di un corretto rapporto costi/benefici a sua volta basato su priorità di utilizzo che non possono prescindere da un rapporto quantità/qualità dell'acqua.
Ci è sembrato pertanto utile elaborare un indice sintetico, "indice QQ" (quantità/qualità) rappresentato da un voto da 1 a 10 che riassuma tale rapporto.
Al lato pratico una sorgente avrà un punteggio basso se la quantità è molto scarsa e la qualità chimica e microbiologica sono pessime. Avrà un voto alto se la quantità è grande e la qualità chimica e microbiologica ottime.
In tal modo ogni attuale Ente gestore ed in prospettiva, l'Ente gestore unico, possono più semplicemente operare delle scelte sia in termini di utilizzo che di investimento (è ovvio che sorgenti con punteggio basso richiedono notevoli investimenti di potabilizzazione con una resa molto scarsa, al contrario quelli con alto punteggio).
Questa elaborazione è frutto di molti anni di lavoro in collaborazione con gli Enti gestori,e con altri Enti e Associazioni che desideriamo qui ringraziare: oltre alla Comunità Montana Feltrina e alla Comunità Montana Bellunese, i Comuni, il Corpo Forestale dello Stato, i Vigili del Fuoco, il CAI, i laboratori dell'ARPAV di Belluno.

PRINCIPALI TIPI DI SORGENTI RILEVATI

Il rilevamento idrogeologico condotto nella nostra zona ha portato ad identificare principalmente tre gruppi di sorgenti suddividibili in altri sottogruppi, che per comodità limitiamo ai seguenti, per un approfondimento sui quali si rimanda a testi specialistici.

gruppo	sottogruppo
Limite di permeabilità	Limite definito
	Limite indefinito
Soglia di permeabilità	Soglia sovrimposta
	Soglia sottoposta
Affioramento della piezometrica	Falda freatica
	Falda artesiana

In tutti i gruppi rilevati i fenomeni carsici condizionano e governano le caratteristiche chimico-fisiche delle acque, quindi ne condizionano l'utilizzo finale. Per ogni sottogruppo di sorgente, sulla base di dati idrogeochimici (Portata, Quota sorgente, pH, Conc. NO_3) e biologici (Indice di potabilità biologico relativi a tutte le sorgenti censite dall'ULSS 2 Feltre, si è ricavato un indice o valore numerico che esprime, in modo empirico, la "qualità" delle sorgenti in esame.

I dati raccolti possono essere sufficienti per una corretta ed obiettiva risposta, anche se le grandezze misurate per ogni sorgente, così come sono presentate, sono difficilmente relazionabili tra loro in quanto hanno significati diversi. I dati proposti possono, per maggior chiarezza, essere suddivisi in tre gruppi: dati idrogeologici, idrochimici, biologici.
Al primo appartengono la portata e la quota della sorgente, al secondo la concentrazione dei nitrati, al terzo l'indice di potabilità basato su criteri biologici (analisi dei laboratori ARPAV).
Di seguito verrà proposto una o più soluzioni per relazionare tra loro questi diversi dati considerando però che i risultati migliori per questo tipo di analisi si ottengono elaborando documenti analitici e cartografici tipo DRASTIC o SINTACS, tuttavia dovendo proporre un procedimento che porti ad un significativo risultato è necessario classificare e trattare i dati raccolti in modo da renderli disponibili e correlabili tra loro attraverso una semplice equazione lineare, che porti ad un risultato discreto ovverossia ad un numero intero e piccolo.

Esame dei dati raccolti
Nel presente elaborato sono considerati i seguenti gruppi di dati ai quali è dato un preciso significato:

1	Portata	Dati Idrogeologici
2	Quota	
3	pH	Dati Idrochimici
4	Nitrati	
5	Indice di potabilità	Dati biologici

Portata

E' la portata media della sorgente espressa in litri al secondo (l/sec).
Tale valore ha molta importanza ai fini gestionali, mentre in idrogeologia ha uno scarso significato poiché questa grandezza è funzione di molte variabili di tipo meteorologico e geologico che dovrebbero essere attentamente valutate e riportate assieme al valore della portata stessa.
Per poter utilizzare questo valore per una classificazione ed un giudizio di qualità è necessario dargli un significato ad hoc.
Infatti se consideriamo un bacino idrografico con un certo carico antropico C, relativo ad una sorgente con portata Q, esso avrà un potenziale di inquinamento delle falde direttamente proporzionale al valore C ed il potenziale inquinamento unitario della sorgente sarà proporzionale al rapporto C/Q, pertanto maggiore sarà Q tanto minore sarà l'inquinamento unitario dell'acqua della sorgente.
Inoltre le velocità di deflusso delle acque attraverso le opere idrauliche sono maggiori per sorgenti con elevate portate rispetto a quelle con modeste portate, di conseguenza si riducono i tempi di permanenza dell'acqua all'interno di dette opere, riducendo così il rischio di inquinamento legato al ristagno.
Infine non meno importante è il mero valore quantitativo che ha questo dato, infatti, a parità di qualità, è sempre vantaggiosa la captazione di una grossa sorgente che quella di una piccola (cioè rapporto costi-benefici positivo).
Sulla base di quanto considerato è possibile proporre la tabella 1 i cui valori verranno utilizzati nell'equazione finale per la valutazione dell'Indice di Qualità.

Quota

E' l'altezza sul livello del mare della sorgente, ed è espressa in metri sul livello mareografico di Genova (m s.l.m.). Anche questo valore prima di essere utilizzato in una formula dovrebbe essere trattato attraverso un attento esame geomorfico-quantitativo del bacino considerato. A questa grandezza, nel caso specifico, possiamo dare un significato antropico, cioè possiamo dire che le sorgenti che si trovano a quote elevate dove vi sono piccoli insediamenti abitativi sono meno vulnerabili di quelle a quote basse.

Dall'esame altimetrico su base topografica in scala 1:50.000, risulta evidente che nel territorio dell'ULSS n2 Feltre l'antropizzazione diminuisce con l'aumentare della quota altimetrica, in particolare è evidente che tutti i maggiori insediamenti abitativi si trovano a quota inferiore ai 500 metri s.l.m. che pertanto fisseremo come limite per la distinzione di due classi altimetriche alla prima delle quali appartengono i territori (e quindi le sorgenti) situati a quota superiore ai 500m, mentre alla seconda appartengono i territori situati a quota inferiore. Vedi tabella 2

Nitrati

I composti azotati di varia origine permanendo per un certo tempo all'interno di un acquifero vengono trasformati in nitriti che, per la loro origine spesso organica, sono da considerare composti indicatori di inquinamento organico. Se la permanenza dell'acqua inquinata da nitriti all'interno dell'acquifero è sufficientemente lunga, questi possono venire trasformati in nitrati. La loro presenza sta ad indicare che i batteri da cui si sono originati i nitriti sono stati tutti trasformati quindi l'acqua proviene da un acquifero sufficientemente lontano dalla sorgente ma che non è igienicamente protetto.
E' pertanto necessario valutare la zona di alimentazione della sorgente per proteggere, per quanto possibile, la stessa dall'inquinamento organico (e/o chimico) responsabile della presenza dei nitrati. Si tenga però presente che quando si creano condizioni anaerobiche, sono possibili le reazioni inverse. La presenza di nitrati è comunque consentita, entro certi limiti (v. DPR 236/88) nelle acque adibite ad uso umano. Volendo ora dare un giudizio di qualità e potabilità delle acque in base al loro contenuto in nitrati si propone la tabella 3 che riporta un coefficiente proporzionale alla loro concentrazione in mg/l.

Indice di potabilità

Nel presente lavoro, per la valutazione della qualità delle sorgenti censite, si è voluto introdurre anche un contributo medico-batteriologico basato sui risultati delle analisi biologiche di tipo C1/2/3, attraverso le quali viene ricercata la presenza di indici di inquinamento quali:

- Coli totali
- E.coli
- Salmonelle
- Coli fecali
- Streptoc. Fecali
- Carica batterica
- Coli fecali
- Spore di solfitorid.

In base ai risultati delle analisi mediche e dei limiti riportati nel DPR 236/88, è possibile dire se l'acqua è potabile oppure no, ed è possibile calcolarne l'indice di potabilità dato dal rapporto del numero di analisi (o campioni) favorevoli sul numero totale di analisi o campioni. Il risultato sarà utilizzato come coefficiente moltiplicativo assieme al coefficiente di portata e di pH. (tab. 4 e 5)

ELABORAZIONE DEI DATI

Portata

Le sorgenti sono divise in sei categorie in base alla loro portata e ad ogni categoria viene assegnato un coefficiente.

Tab.1 I valori asteriscati sono compresi nell'intervallo.

Categoria	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Portata sorgente (l/sec)	<1	1-5*	5-10*	10-25*	25-50*	> 50
Coefficiente di portata Q	5	6	7	8	9	10
Giudizio	Scarso	Sufficiente	Più che suff.	Discreto	Buono	Ottimo

Quota

Dall'esame cartografico si valuta la quota massima (valore medio) corrispondente al limite superiore delle zone più popolate. In questo caso tale limite si è individuato a 500m s.l.m.
Si individuano quindi due categorie: cat. A e cat. B.
Alla categoria A sono assegnate le sorgenti situate ad una quota superiore al limite fissato di 500m, mentre quelle situate ad una quota inferiore sono assegnate alla categoria B.
Le sorgenti di categoria A, trovandosi ad una quota superiore, sono meno vulnerabili di quelle di categoria B, a parità di altre condizioni.

Tab. 2

Categoria sorgente	A	B
Quota	≥500m	<500m
Simbolo	+	-

Nitrati

Le sorgenti sono suddivise in cinque classi in base al contenuto in nitrati dell'acqua.

Tab. 3

Classe sorgente	I°	II°	III°	IV°	V°
Conc. Nitrati	≤0,1	0,1-5	5*-25*	25-50	≥50
Coefficiente di protezione Pr	10	8	6	5	0

Indice potabilità biologico

Tab. 4

Campioni totali	Campioni favorevoli	Indice di potabilità
N	n	n/N

Tab. 5

Coefficiente di potabilità* Po	≤0,5	0,5-0,7*	0,7-0,85*	0,85-1
Classe sorgente	D	C	B	A

**Il coefficiente di potabilità corrisponde all'indice di potabilità della Tab. 4*

Formulazione matematica

Ipotesi 1: la valutazione dell'INDICE di QUALITA' delle sorgenti è possibile mediante la risoluzione di una semplice equazione di primo grado nella quale compaiono i coefficienti presentati nelle tabelle precedenti.

Eq. 1 $$IQ = [\sum(Q, Pr) / 2] \times Po$$

dove:
- IQ Indice di qualità
- Q Coefficiente di portata
- Pr Coefficiente di protezione
- Po Coefficiente di potabilità

L'IQ può variare da 0 a 10; se IQ = 0 si hanno le condizioni peggiori, l'acqua non è potabile, quindi la sorgente non sfruttabile per scopi idropotabili, se IQ = 10 si hanno le migliori condizioni, l'acqua è potabile ed abbondante.

All'IQ è poi aggiunta la categoria altimetrica A o B il cui significato è gia stato illustrato. A parità di IQ, la categoria A (con simbolo +) è da preferire alla B (con simbolo -) giacché la seconda è potenzialmente più vulnerabile. In questo caso il risultato finale sarà numerico, variabile da 0 a 10 al quale verrà associato il simbolo [+] o [-] con il significato precedentemente descritto (es. 7+).

Ipotesi 2: analogamente a quanto presentato nella prima ipotesi è possibile definire l'IQ attraverso un equazione che è del tutto simile alla prima equazione (Eq. 1) solo che non compare l'ultimo coefficiente moltiplicatore.

$$\text{Eq. 2} \qquad IQ = [\ \sum (A, C)\ ] / 2$$

In questa seconda ipotesi, il risultato finale sarà alfanumerico, cioè al numero con il simbolo [+] o [-], verrà associata una lettera che corrisponde al coefficiente Po come riportato in tabella 6 (es. A7+; D5-).

Vedi tabelle d'esempio in appendice

CONCLUSIONI

Da un primo esame dei dati raccolti risultano attualmente in esercizio cinque sorgenti con punteggio 0 e nove con punteggio inferiore a 3, quindi con coefficiente molto basso, la cui esclusione dalla rete acquedottistica non comporterebbe una grossa perdita.
Concludendo possiamo dire che circa la metà delle sorgenti hanno riportato un voto mediocre o insufficiente, mentre l'altra metà risultano buone e talora ottime.

BIBLIOGRAFIA

- Castany G. (1968), *"Prospection et exploitation des eaux souterraines"*. Dunod, Paris.
- Celico P. et Al. (1979), *"La composizione chimica e isotopica delle acque sotterranee della Valle del Sele in relazione all'idrodinamica delle falde"*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl.
- Chiesa G. (1981), *"Potenzialità idrica delle falde"*. ANIPA, Milano.
- Civita M. (1972), *"Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di captazione"*. Mem. Note Ist.. Geol. Appl., 12.
- Civita M. (1974), *"Proposte operative per la legenda delle carte Idrogeologiche"* Boll.Sco. Natur., 82.
- Civita M. (1975), *"Criteri di valutazione delle risorse idriche sotterranee in regioni carsiche"*. Atti II conv. Int. Acque Sott., I.A.H. Palermo.
- Decet F: (1993) *"Materiali per l'idrochimica delle sorgenti in area dolomitica"*. Boll. Chi. Lg. 44, 331
- Grazioli D. (1994) *"Le acque potabili della Provincia di Belluno, Le Dolomiti Bellunesi"* XVII, 32, 49-65.
- Grazioli D. (2000) *"Problemi igienico sanitari delle acque ad uso umano in una provincia dell'arco Alpino orientale"*. Atti Convegno CAI-LPV. Ceresole Reale (TO) 12-13/9/98.

CONTATTI

- Dr. Domenico Grazioli
  ULSS n ° 2 del Veneto - Sez. CAI Feltre - C/o Ospedale 32032 Feltre (BL)
  Tel. 0439/883722 - Fax. 0439/883721 - E-mail: spisal@ulssfeltre.veneto.it
- Dr. Igino Parissenti
  Tel. 348/301688 - Fax. 0437/67038 - E-mail. Igino Parissenti@libero.it

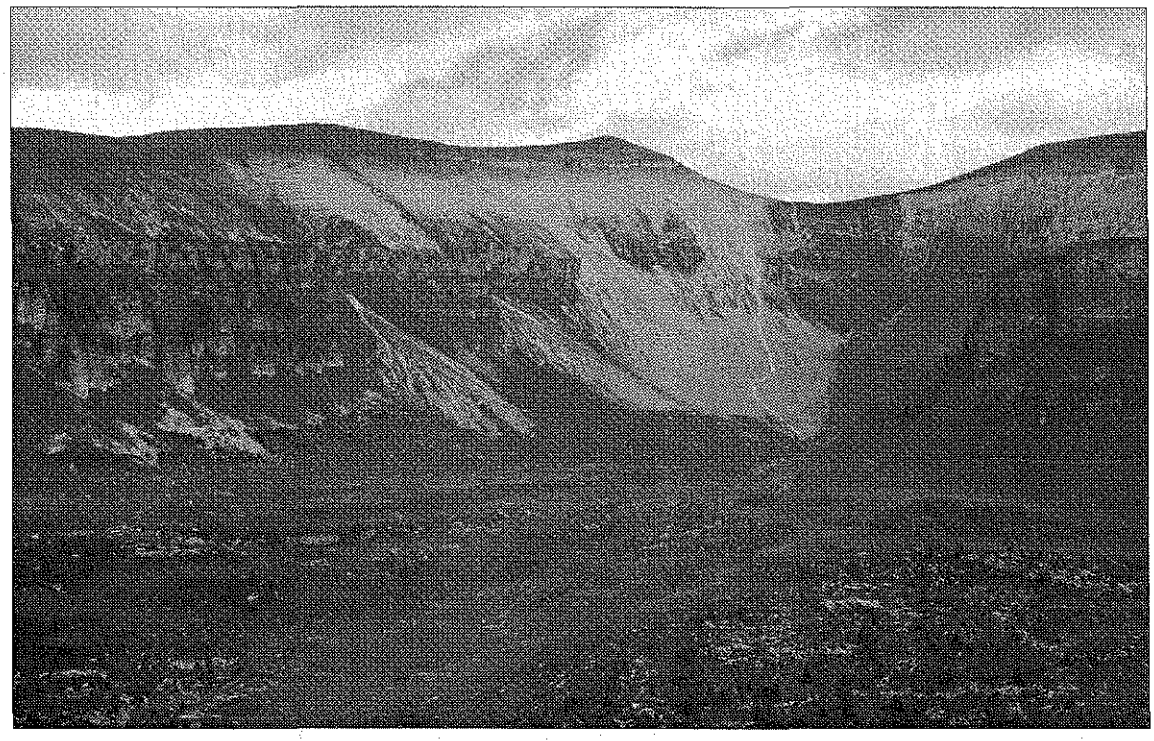
Tab. 6 - **Indice di qualità/quantità** - ULSS n° 2, FELTRE - Dipartimento di Prevenzione SIAN/Acque Potabili.

SORGENTE	N° Progressivo	COMUNE	Portata l/sec	Coeff. di portata Q	Quota m s.l.m.	Classe altimetrica	Simb. di quota quota	Nitrati mg/l	Coeff. di protezione Pr	Voto parziale	Ind.di potabilità Po	Voto finale
VOLPAT 2	1	ALANO DI PIAVE	6	7	370	II	-	2,7	8	7,5	0,5	4
PILA	2	ALANO DI PIAVE	8	7	460	II	-	4,6	8	7,5	0,67	5
MASER	3	ALANO DI PIAVE	6	7	460	II	-	3,4	8	7,5	0,67	5
VOLPAT 3	4	ALANO DI PIAVE	6	7	370	II	-	1,4	8	7,5	0,5	4
VOLPAT 1	5	ALANO DI PIAVE	6	7	370	II	-	2,7	8	7,5	0,5	4
VOLPERE ALTA	6	ALANO DI PIAVE	4	6	375	II	-	5,9	6	6	0,8	5
PONTE DELLA STUA	7	ALANO DI PIAVE	2,7	6	370	II	-	3,8	8	7	0,67	5
SALTON	8	ALANO DI PIAVE	2	6	475	II	-	3,3	8	7	0,67	5
VAL GRANDA	9	ARSIE'	15	8	400	II	-	3,3	8	8	0,4	3
POZZO AL LAG	10	ARSIE'	10	7	310	II	-	7	6	7	1	7
VAL DEI DENDRI	11	ARSIE'	5	6	520	I	+	17	6	6	0,75	4,5
VAL DEI MASNI (6 EMERGENZE)	12	ARSIE'	4,5	6	690	I	+	2,4	8	7	1	7
SAN CASSIANO	13	ARSIE'	4	6	385	II	-	3,8	8	7	1	7
VAL DE POLO	14	ARSIE'	2	6	610	I	+	4,5	8	7	0,6	4
SORGENTE ABIT. MELLAME	15	ARSIE'	1,5	6	450	II	-	1,3	8	7	1	7
SORG.VECCHIE MELLAME 1 e 2	16	ARSIE'	1	5	630	I	+	2,2	8	6,5	0,75	5
DELLE PEGOLE	17	ARSIE'	0,75	5	490	II	-	2,2	8	6,5	1	6,5
VAL DELLA LUGANEGA	18	ARSIE'	0,75	5	1074	I	+	3,4	8	6,5	0,67	4,5
COLOMBERA	19	ARSIE'	0,5	5	370	II	-	4,7	8	6,5	0,67	4,5
VAL DEI POMER	20	ARSIE'	0,5	5	420	II	-	0,89	8	6,5	1	6,5
VAL DELLA FIOR	21	ARSIE'	0,5	5	300	II	-	0,4	8	6,5	1	6,5
VAL DEL CANALET	22	ARSIE'	0,5	5	390	II	-	4,1	8	6,5	1	6,5
MORI	23	ARSIE'	0,5	5	370	II	-	2	8	6,5	1	6,5
LA STUA	24	CESIOMAGGIORE	92	10	645	I	+	2,1	8	9	1	9
DEL LAC	25	CESIOMAGGIORE	8,9	7	590	I	+	3,1	8	7,5	1	7,5
VAL NEVA	26	CESIOMAGGIORE	5	6	782	I	+	2,6	8	7	1	7
TORO	27	FELTRE	45	9	530	I	+	3,5	8	8,5	1	8,5
SANTO	28	FELTRE	40	9	619	I	+	4,5	8	8,5	1	8,5
FONTANE COLLESEI	29	FELTRE	22	8	230	II	-	1,5	8	8,0	0,4	3
COLMEDA	30	FELTRE	6	7	754	I	+	1,6	8	7,5	0,5	4

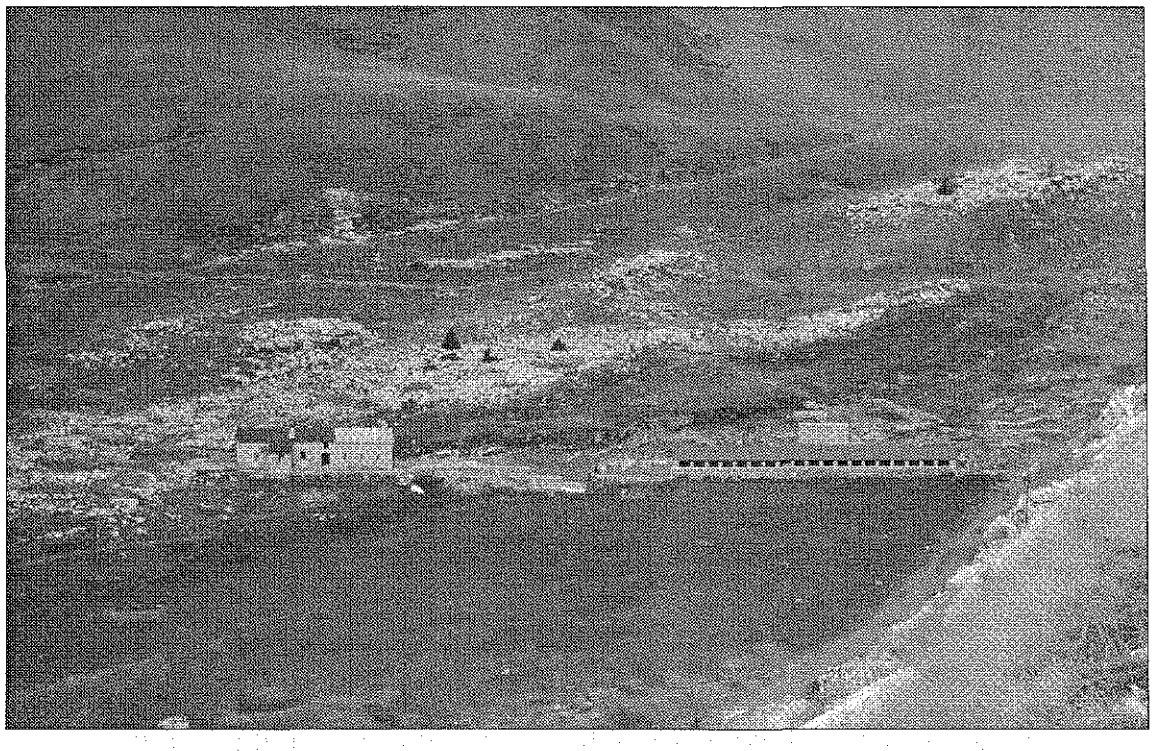
SORGENTE	N° Progressivo	COMUNE	Portata l/sec	Coeff. di portata Q	Quota m s.l.m.	Classe altimetrica	Simb. di quota quota	Nitrati mg/l	Coeff. di protezione Pr	Voto parziale	Ind. di potabilità Po	Voto finale
BIGLIARDE	31	FELTRE	5	6	420	II	-	2,6	8	7,0	0,25	**2**
SANZAN	32	FELTRE	2	6	208	II	-	1,7	8	7,0	1	**7**
LASEN ALTA	33	FELTRE	1,8	6	640	I	+	3,6	8	7,0	0,75	**5**
COSTA SOLANA	34	FELTRE	1,5	6	590	I	+	2,4	8	7,0	1	**7**
MENTAROLE	35	FELTRE	1	5	1200	I	+	1,6	8	6,5	0,75	**5**
SAN MAURO	36	FELTRE	0,8	5	1300	I	+	1,8		5,0	0,75	**4**
VALLE DI LASEN	37	FELTRE	0,5	5	1280	I	+	2,1	8	6,5	1	**6,5**
LASENBASSA	38	FELTRE	0,8	5	570	I	+	3	8	6,5	0,75	**5**
FONTANAZ GRANDE E PICC.	39	FONZASO	15	7	400	II	-	2,4	8	7,5	0,5	**4**
PEDESALTO	40	FONZASO	10	7	325	II	-	2,1	8	7,5	0,33	**2,5**
MOLINI	41	FONZASO	9,5	7	320	II	-	5,7	6	6,5	0,6	**4**
VAL SERANA 1	42	FONZASO	5	6	523	I	+	2,7	8	7,0	0,67	**5**
AI SANTI	43	FONZASO	2,5	6	350	II	-	0,66	8	7,0	1	**7**
TOSTE'	44	FONZASO	2	6	300	II	-	2,5	8	7,0	0,5	**3,5**
VAL SERANA 2	45	FONZASO	3	6	550	I	+	3,4	8	7,0	0,67	**5**
VALMAGGIORE	46	LAMON	1	5	1170	I	+	3,1	8	6,5	0,67	**4,5**
PIAN MASTEL	47	LAMON	8	7	750	I	+	1,7	8	7,5	0,75	**5,5**
SALINE	48	LAMON	7	7	1150	I	+	3,2	8	7,5	1	**7,5**
VALPORA	49	LAMON	2,05	6	564	I	+	1,6	8	7,0	1	**7**
ARLESA	50	LAMON	1,25	6	830	I	+	3,3	8	7,0	1	**7**
BORDA	51	LAMON	1,25	6	1150	I	+	2,9	8	7,0	1	**7**
BOAI VAL D'ARON 2	52	LAMON	0,83	5	900	I	+	0,87	8	6,5	1	**6,5**
BOAI VAL D'ARON 1	53	LAMON	0,83	5	900	I	+	2,2	8	6,5	1	**6,5**
ARON	54	LAMON	0,8	5	1000	I	+	1	8	6,5	0,67	**4,5**
VAL DA LANGA	55	LAMON	0,75	5	975	I	+	2,8	8	6,5	1	**6,5**
VAL DELL'EGUA	56	LAMON	0,7	5	520	I	+	1	8	6,5	0,67	**4,5**
BOAL DE SCIOSON	57	LAMON	0,5	5	681	I	+	7,8	6	5,5	1	**5,5**
VAL SALOPPA	58	LAMON	0,4	5	900	I	+	<0,1	10	7,5	1	**7,5**
MOLINA	59	LAMON	0,4	5	600	I	+	0,56	8	6,5	0	**0**
TARE	60	LAMON	0,4	5	500	II	-	37	5	5,0	1	**5**

SORGENTE	N° Progressivo	COMUNE	Portata l/sec	Coeff. di portata Q	Quota m s.l.m.	Classe altimetrica	Simb.di quota quota	Nitrati mg/l	Coeff. di protezione Pr	Voto parziale	Ind.di potabilità Po	Voto finale
NASTASIO	61	LAMON	0,4	5	546	I	+	33	5	5,0	1	5
FONTANE	62	LAMON	0,26	5	975	I	+	3,8	8	6,5	1	6,5
CEE	63	LAMON	0,85	5	1185	I	+	0,86	8	6,5	1	6,5
BOATVAL D'ARON	64	LAMON	0,83	5	900	I	+	1,1	8	6,5	1	6,5
LA VENA	65	LENTIAI	6	7	600	I	+	3,3	8	7,5	0,88	6,5
BARISEL	66	LENTIAI	0,33	5	600	I	+	1,3	8	6,5	1	6,5
POSTIA	67	MEL	5	6	330	II	-	17	6	6,0	1	6
NUOVA CORDELLON	68	MEL	2,5	6	600	I	+	2,7	8	7,0	1	7
CORDELLON	69	MEL	0,3	5	600	I	+	15	6	5,5	0	0
PORCILLA	70	PEDAVENA	15	8	436	II	-	4,8	8	8,0	0,75	6
MONTE OLIVETO	71	PEDAVENA	7	7	400	II	-	3,5	8	7,5	1	7,5
MARAGNO ALTA E BASSA	72	PEDAVENA	4,5	6	825	I	+	4,4	8	7,0	0,67	5
PRAMAURO	73	PEDAVENA	3	6	650	I	+	3,1	8	7,0	0,4	3
BOA	74	PEDAVENA	1,5	6	925	I	+	5	6	6,0	0,67	4
TEGORZO	75	QUERO	87,3	10	425	II	-	2,5	8	9,0	0,5	4,5
SCHIEVENIN ALTA	76	QUERO	15	8	355	II	-	2,8	8	8,0	0,67	5,5
PRADAALTA	77	QUERO	1,5	6	480	II	-	3,2	8	7,0	0,6	4
RIGOLA	78	QUERO	0,5	5	250	II	-	2,3	8	6,5	0	0
RONCOLE	79	S.GREGORIO N.ALPI	8	7	555	I	+	5,1	6	6,5	0,67	4,5
NESELLI 200-201	80	S.GREGORIO N.ALPI	4	6	601	I	+	6,3	6	6,0	0,75	4,5
MADONNA MORA OVEST	81	S.GREGORIO N.ALPI	4	6	425	II	-	8,1	6	6,0	0,1	1
ACQUE MORE	82	S.GREGORIO N.ALPI	8	7	501	I	+	3,7	8	7,5	1	7,5
NESELLI 203	83	S. GREGORIO N.ALPI	4	6	601	I	+	3,9	8	7,0	0,75	5
BRENTAZ BASSO	84	S.GREGORIO N.ALPI	4	6	675	I	+	4,6	8	7,0	0,75	5
NESELLI 202	85	S.GREGORIO N.ALPI	4	6	601	I	+	3,6	8	7,0	0,75	5
MADONNA MORA EST	86	S.GREGORIO N.ALPI	4	6	425	II	-	8,5	6	6,0	0,3	2
PALIA	87	S.GREGORIO N.ALPI	1,5	6	1357	I	+	2,7	8	7,0	1	7
BRENTAZ ALTO	88	S.GREGORIO N.ALPI	2	6	781	I	+	4,8	8	7,0	0,75	5
CAROIP ALTO	89	S.GREGORIO N.ALPI	0,4	5	560	I	+	6	6	5,5	0,5	3
ACQUE MORE	90	SANTA GIUSTINA	44,5	9	501	I	+	2,7	8	8,5	1	8,5

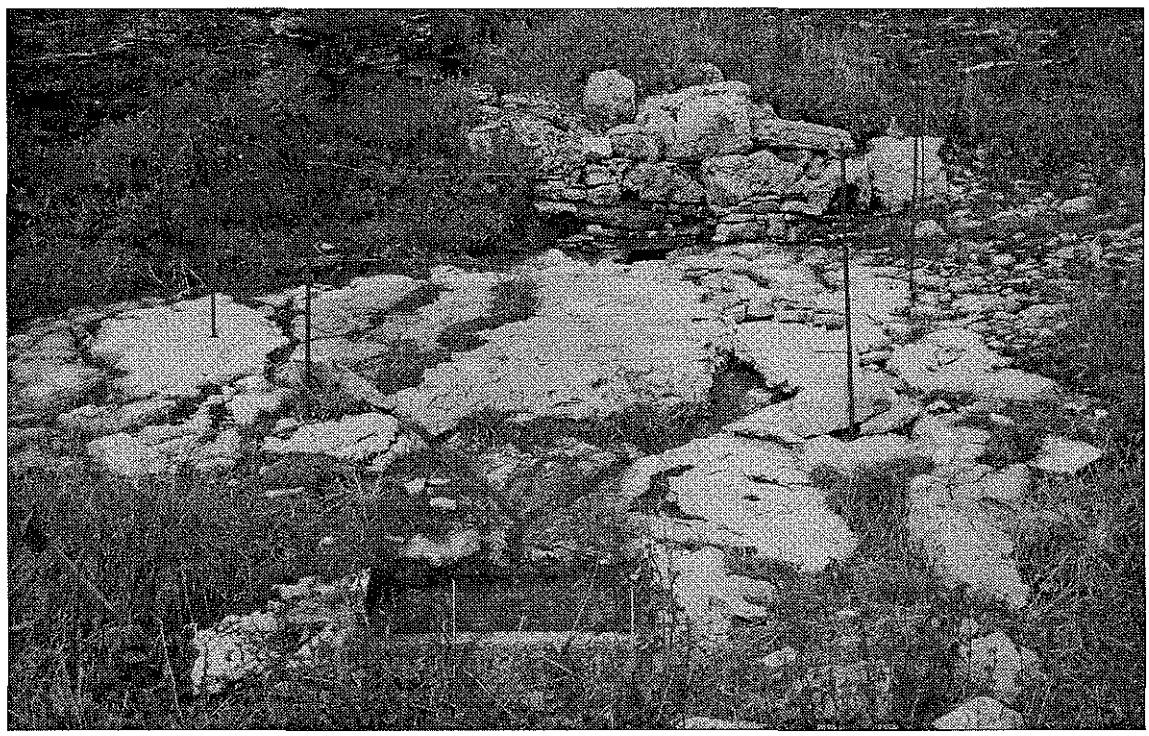
SORGENTE	N° Progressivo	COMUNE	Portata l/sec	Coeff. di portata Q	Quota m s.l.m.	Classe altimetrica	Simb. di quota quota	Nitrati mg/l	Coeff. di protezione Pr	Voto parziale	Ind. di potabilità Po	Voto finale
VAL GREVA	91	SEDICO	20	8	500	II	-	4,6	8	8,0	1	**8**
VALDI PIERO	92	SEDICO	50	9	830	I	+	3,8	8	8,5	1	**8,5**
VAL VESCOVA'	93	SEDICO	110	10	568	I	+	3,1	8	9,0	0,67	**6**
VAL FOGARE'	94	SEDICO	40	9	800	I	+	2,6	8	8,5	1	**8,5**
VAL CLUSA	95	SEDICO	250	10	688	I	+	1,5	8	9,0	0	**0**
GRASAL 2	96	SEDICO	3,5	6	380	II	-	4,3	8	7,0	1	**7**
LAVAZZE'	97	SEREN DEL GRAPPA	3,5	6	580	I	+	2,1	8	7,0	1	**7**
PISSAOR	98	SEREN DEL GRAPPA	6,11	7	650	I	+	4:01	8	7,5	0	**0**
COL DE MOSCON	99	SEREN DEL GRAPPA	0,66	5	720	I	+	5,7	6	5,5	0,67	**4**
VAL SCURA	100	SEREN DEL GRAPPA	1,75	6	650	I	+	5,4	6	6,0	0,75	**4,5**
VALLE DELL'ACQUA FONTANE	101	SEREN DEL GRAPPA	1,2	6	1042	I	+	2,4	8	7,0	1	**7**
SEGAT	102	SEREN DEL GRAPPA	1,1	6	800	I	+	2,6	8	7,0	1	**7**
VAL CAUCA	103	SEREN DEL GRAPPA	1	5	357	II	-	2,6	8	6,5	1	**6,5**
PEZZERICOLA	104	SOSPIROLO	15	8	675	I	+	3,3	8	8,0	1	**8**
ALDEGA	105	SOSPIROLO	8	7	812	I	+	3	8	7,5	1	**7,5**
ALBERA	106	SOVRAMONTE	0,08	5	905	I	+	0,18	8	6,5	0,67	**4,5**
PALU' 1-2	107	SOVRAMONTE	5	6	780	I	+	1,9	8	7,0	0,83	**6**
VALLANEGA	108	SOVRAMONTE	0,2	5	930	I	+	3,6	8	6,5	1	**6,5**
VALDELLE 1	109	SOVRAMONTE	8	7	770	I	+	2,3	8	7,5	0,67	**5**
VAL BURCIO	110	SOVRAMONTE	0,2	5	1350	I	+	4,4	8	6,5	1	**6,5**
RODA	111	SOVRAMONTE	5	6	750	I	+	1,7	8	7,0	0,67	**5**
POZZO N° 3	112	SOVRAMONTE	3,85	6	840	I	+	0,93	8	7,0	0,75	**5**
FONTANELLE 1	113	SOVRAMONTE	0,2	5	740	I	+	4,3	8	6,5	1	**6,5**
CLANTON	114	SOVRAMONTE	0,5	5	730	I	+	6,6	6	5,5	1	**5,5**
BOSCAIE	115	SOVRAMONTE	1:00	5	1120	I	+	4,9	8	6,5	0,67	**4,5**
FINESTRA 14	116	SOVRAMONTE	1	5	543	I	+	6	6	5,5	1	**5,5**
CAVAREN	117	SOVRAMONTE	2,75	6	1942	I	+	0,89	8	7,0	0,67	**5**
CESTA	118	SOVRAMONTE	0,75	5	1850	I	+	2,1	8	6,5	0,67	**4,5**
LINA	119	SOVRAMONTE	1	5	560	I	+	50	0	2,5	0,67	**2**
SOTFRONTAL	120	TRICHIANA	0,5	5	827	I	+	4,3	8	6,5	0,8	**5**
FONTANA LONGA	121	TRICHIANA	2,5	6	539	I	+	13	6	6,0	1	**6**
I TOF	122	TRICHIANA	0,2	5	747	I	+	5,3	6	5,5	1	**5,5**



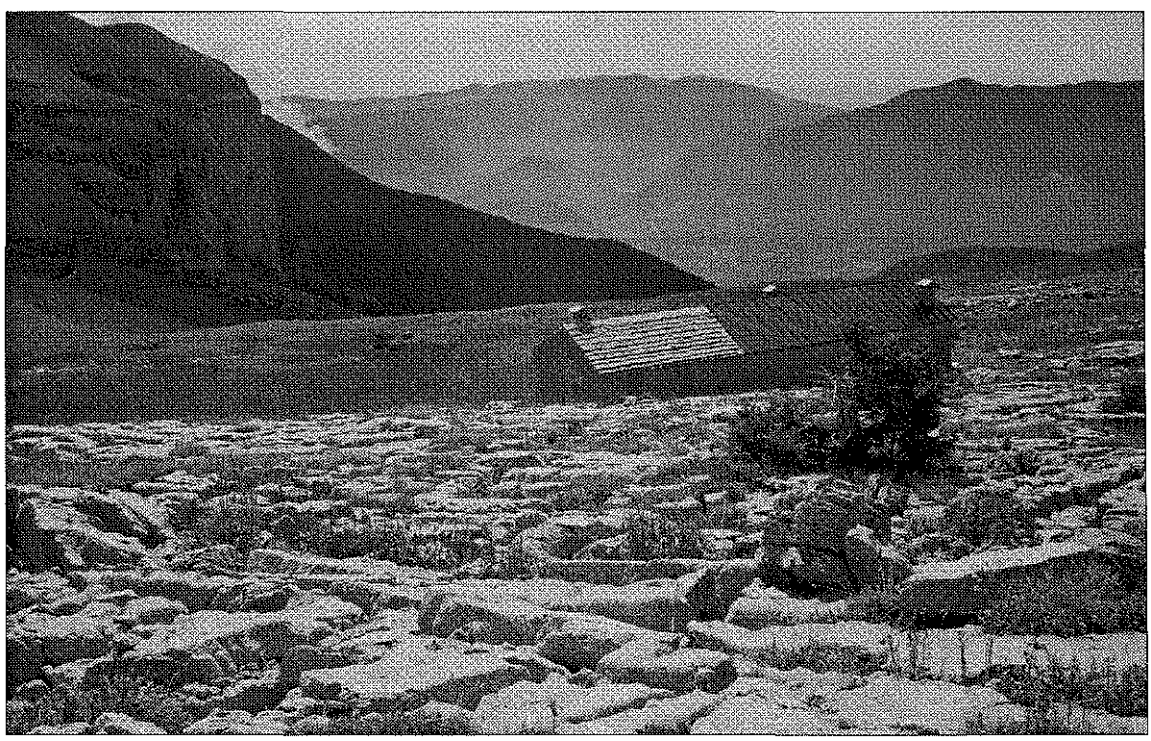
▲ Foto 1
Busa del Cavaret, sorgenti captate ad uso acquedottistico in area fortemente carsificata e tettonizzata.



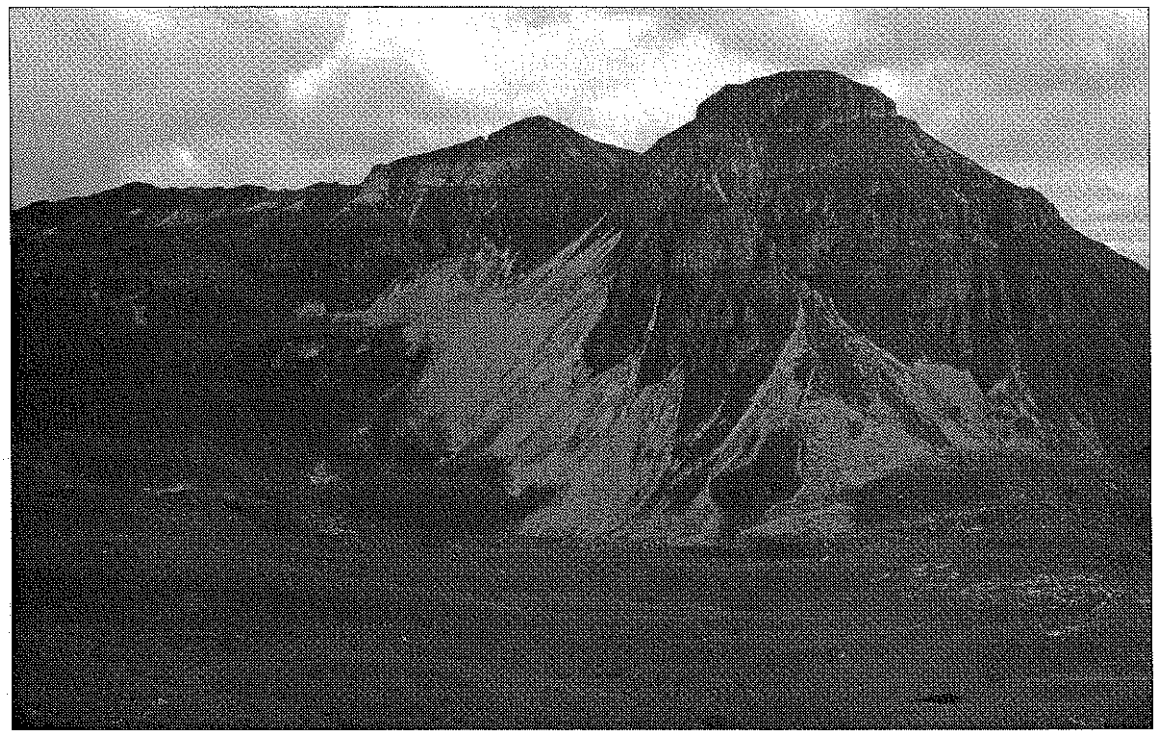
▲ Foto 2
Malga Monsampiano con carsificazione conseguente al quarring.



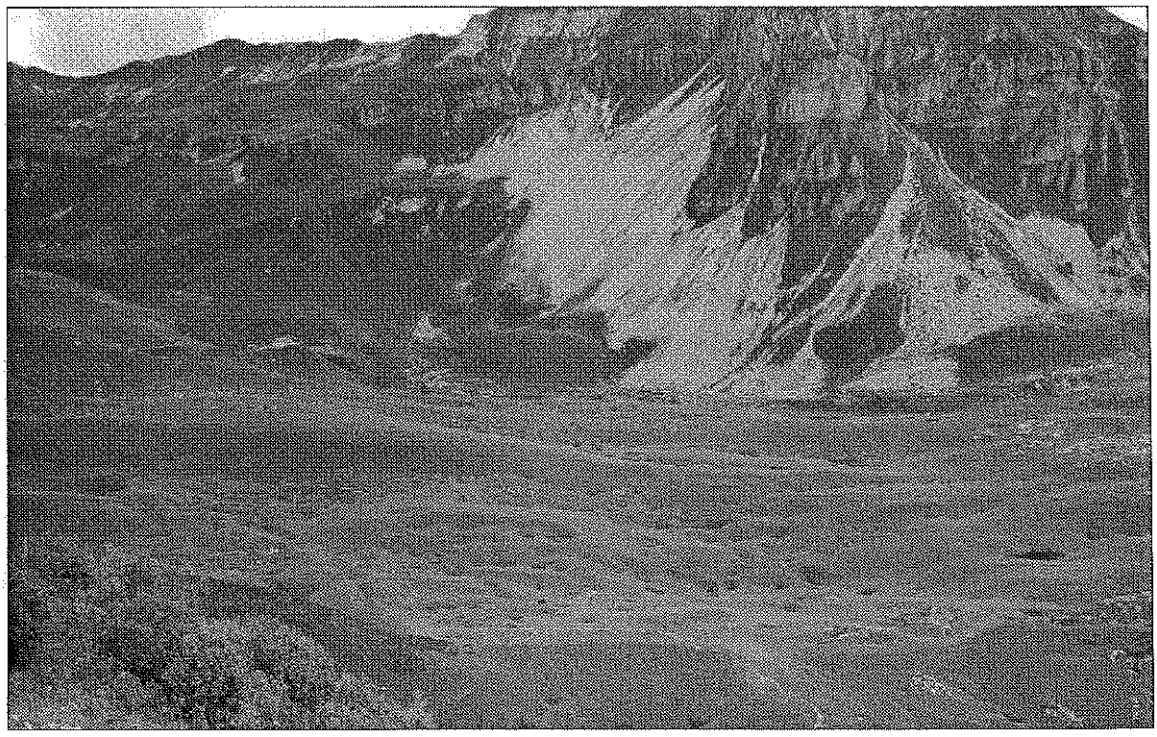
▲ Foto 3
Sorgente carsica Malga Monsampiano.



▲ Foto 4
Malga Monsampiano con Feltre sullo sfondo. Rocce carsificate in conseguenza a quarrjng.



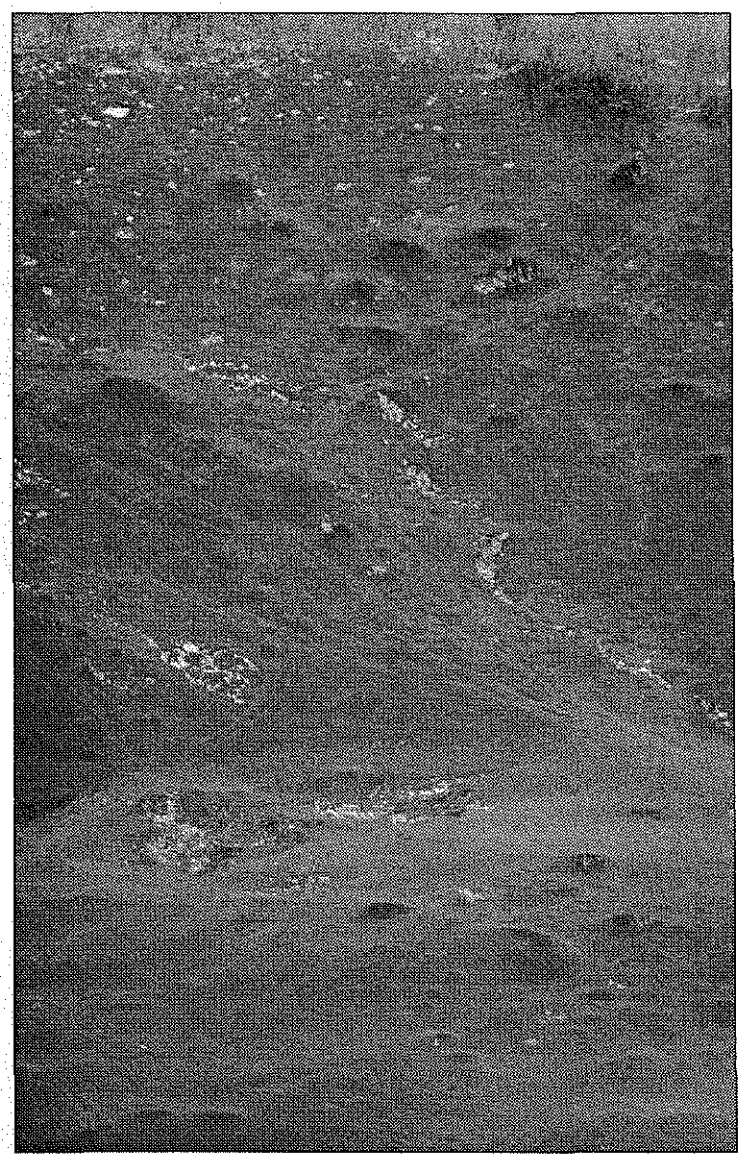
▲ Foto 5
Malga Vette Piccole e Monte Pavionet con sorgente da acquiferi in falde detritiche comunicanti con acquiferi.



▲ Foto 6
Busa delle Vette, verso Malga Vette Piccole.

▲ Foto 7
Busa delle Vette verso Malga Vette Grandi.

▲ Foto 8
Busa delle Vette, particolare.



▲ Foto 9
Busa delle Vette: particolare con fenomeni carsici macroscopici (doline).

appendice

ELENCO DEI RELATORI

Agati Marco - *Unione Speleologica Pratese, CAI Prato*

Agnesod Giovanni - *ARPA Valle d'Aosta, Sezione Radiazioni*

Aragno Marco - *ARPA Piemonte, Dipartimento di Cuneo*

Badino Vanni - *Politecnico di Torino, Dipartimento di Georisorse e Territorio*

Barsanti Cecilia - *G.E.A. Geology-Environment-Archaelogy S.n.c., Varese Ligure (SP)*

Burri Ezio - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Cagliero Silvio - *ARPA del Piemonte, Dipartimento di Cuneo*

Calleris Valter - *Azienda Ospedaliera S.Croce e Carle di Cuneo, Anestesia e Rianimazione - C.N.S.A.S. CAI*

Calligaris Ruggero - *Associazione EreRemote, Trieste*

Camaglio Claudio - *Associazione Culturale E KYE', Fontane di Frabosa Soprana*

Cappa Emanuele - *Società Speleologica Italiana*

Cappa Giulio - *Società Speleologica Italiana*

Casagrande Giacomo - *Università di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche*

Cigna Arrigo - *Società Speleologica Italiana - International Show Caves Association*

Collo Enrico - *Club Alpino Italiano, Sezione di Cuneo*

Cocchioni Mario - *Università di Camerino, Dipartimento di Scienze Igienistiche e Sanitarie-Ambientali*

Coletta G. - *Azienda Ospedaliera S.Croce e Carle di Cuneo, Anestesia e Rianimazione*

Corsara G. - *Azienda Ospedaliera S.Croce e Carle di Cuneo, Anestesia e Rianimazione*

Cucchi Franco - *Università di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche*

Cuccu F. - *Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico del CAI*

Del Bon Andrea - *Università dell'Aquila,Dipartimento di Scienze Ambientali*

Del Lucchese Angiolo - *Museo Preistorico dei Balzi Rossi (Im), Soprintendenza Archeologica della Liguria*

Della Ventura Giancarlo - *Università di Roma 3, Dipartimento di Scienze della Terra*

Di Sabatino Dora - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Dutto Marco - *ARPA del Piemonte, Dipartimento di Cuneo*

Felici Alberta - *Società Speleologica Italiana*

Ferrini Gianluca - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Forti Paolo - *Università di Bologna,Dipartimento di Scienze della Terra - Istituto Italiano di Speleologia*

Frattaroli Annarita - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Galdenzi Sandro - *Istituto Italiano di Speleologia, Sezione di Frasassi*

Gei Fiorenzo - *Unione Speleologica Pratese, CAI Prato*

Giachino Pier Mauro - Regione Piemonte, Settore Fitosanitario Regionale, Torino

Giordano Mario -*Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Scienze MM.FF.NN.*

Giovine G. - *Ospedale S.Camillo di Torino - C.N.S.A.S. CAI*

Grazioli Domenico - *ULSS n.2 del Veneto, Dipartimento di Prevenzione*

Gualtieri Alessia - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Lana Enrico - *Stazione Scientifica di Bossea, CAI Cuneo*

Lanzillotta Lorenzo - *Azienda Ospedaliera S. Croce e Carle di Cuneo, Otorinolaringoiatria*

Laureti Lamberto - *Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra*

Magrì Federico - *Gruppo Speleologico Valli Pinerolesi , CAI Pinerolo*

Mamino Lorenzo - *Politecnico di Torino, Facoltà di Architettura*

Marchetti Andrea - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Martini Enrico - *già Istituto Botanico dell'Università di Genova*

Martini Sergio G. - *G.E.A. Geology-Environment-Archaelogy S.n.c., Varese Ligure (SP)*

Menichetti Marco -*Università di Urbino, Istituto di Geodinamica e Sedimentologia*

Montechiaro Federico - *Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Scienze MM.FF.NN.*

Moretti Antonio - *Università dell'Aquila, Dipartimento di Scienze Ambientali*

Morisi Angelo - *ARPA del Piemonte, Dipartimento di Cuneo*

Negri Maurizio - *Unione Speleologica Pratese, CAI Prato*

Parissenti Gino - *ULSS n.2 del Veneto, Dipartimento di Prevenzione*

Peano Guido - *Stazione Scientifica di Bossea, CAI Cuneo - Comitato Scientifico Centrale del CAI*

Petitta Marco - *Università "La Sapienza", Roma, Dipartimento di Scienze della Terra*

Pint John e collaboratiori - *Saudi Geological Survey, Jeddah, Saudi Arabia*

Priolo Diego - *CAI, Sezione di Pinerolo*

Regis Federico - *ARPA del Piemonte, Dipartimento di Cuneo*

Ruffino Livia - *Associazione Culturale E KYE', Fontane di Frabosa Soprana*

Sanino Domenico - *Pro Natura Piemonte*

Tremul Antonella - *Associazione EreRemote Trieste*

Vailati Dante - *Museo Civico di Scienze Naturali , Brescia*

Verole Bozzello Vittorio - *Associazione Grotte Turistiche Italiane*

Vigna Bartolomeo - *Politecnico di Torino, Dipartimento di Georisorse e Territorio*

Villavecchia Ezechiele - *Stazione Scientifica di Bossea, CAI Cuneo*

Zini Luca - *Università di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche*

ELENCO DEI PARTECIPANTI

Agati Marco - *Prato*
Agnesod Giovanni - *Aosta*
Allario Elio - *Cuneo*
Amerio Valter - *Villanova D'asti (At)*
Aragno Franca - *Ceva (Cn)*
Aragno Mario - *Cuneo*
Arza' Cristiana - *La Spezia*
Badino Vanni - *Vicoforte (Cn)*
Baravalle Donato - *S. Michele Mondovi' (Cn)*
Barbera Estella - *Torino*
Belli Paolo - *Cuneo*
Benso Pierina - *Ceva (Cn)*
Bergonzo Andreina - *Frabosa Soprana (Cn)*
Bertuzzo Flavio - *Millesimo (Sv)*
Bisotto Marco - *Borgo S.Dalmazzo (Cn)*
Bo Franco - *Torino*
Bonelli Dario - *Rivalta (To)*
Bongioanni R.Amelia - *Cuneo*
Bonicco Vinai Angela - *Frabosa Soprana (Cn)*
Bottero Nella - *Frabosa Soprana (Cn)*
Botto Marco - *Mondovi' (Cn)*
Brusadin Luigi - *Pordenone*
Bussi Maria Enrica - *Alba (Cn)*
Cafissi Carla - *Prato*
Cagliero Silvio - *Cuneo*
Calleris Valter - *Cuneo*
Calligaris Ruggero - *Trieste*
Camaglio Claudio - *Frabosa Soprana (Cn)*
Camaglio Piera - *Villanova Mondovi' (Cn)*
Canepa Giacomo - *Chiavari (Ge)*
Cappa Emanuele - *Grottaferrata (Roma)*
Cappa Giulio - *Grottaferrata (Roma)*
Cappelli Mirco - *Lentate (Mi)*
Caramello Chiara - *Frabosa Soprana(Cn)*
Casagrande Giacomo - *Trieste*
Casanova Elena - *Carmagnola (To)*
Castelli Pier Maurizio - *Cagliari*
Cavedal Daniele - *Cuneo*
Cigna Arrigo - *Cocconato (At)*
Collo Enrico - *Dronero (Cn)*
Consoli Alessio - *Roma*
Corti Giuseppina - *Genova*
Cucchi Franco - *Trieste*
De Sio Francesco - *Fiesole (Fi)*
Dutto Marco - *Cuneo*
Elia Ezio - *Cuneo*
Felici Alberta - *Grottaferrata (Roma)*
Ferrini Gianluca - *L'aquila*
Gabbani Vittorio - *Novara*
Gambetta Remo Giorgio - *Robilante (Cn)*
Gaudio Alberto - *Torino*
Gaudio Antonio - *Torino*
Gei Fiorenzo - *Prato*
Genovese Dino - *Volpiano (To)*
Ghezzi Itala - *Gorle (Bg)*
Giacchino Piergiorgio - *Cuneo*
Giachino Piermauro - *S. Martino Canavese (To)*
Giannecchini Enzo - *Prato*
Gili Rosa Rita - *Cuneo*
Gorret Ottavio - *Chivasso (To)*
Grazioli Domenico - *Feltre (Bl)*
Grippi Clementina - *Roma*

Guerreschi Antonio - *Ferrara*

Lamberti Andrea - *Bastia Albenga (Sv)*

Lana Enrico - *Torino*

Laureti Lamberto - *Milano*

Lombardi Cinzia - *Campi Bisenzio (Fi)*

Maccari Serena - *Pinasca (To)*

Maffi Mario - *Cuneo*

Magri' Federico - *Pinerolo (To)*

Maifredi Pietro - *Genova*

Mamino Lorenzo - *Mondovi' (Cn)*

Manfredi Mauro - *Peveragno (Cn)*

Mantelli Francesco - *Empoli (Fi)*

Marolo Vera - *Alba (Cn)*

Martini Enrico - *Corsanigo (Lu)*

Marzetti Bruna - *Cuneo*

Moretti Antonio - *L'aquila*

Morisi Angelo - *Cuneo*

Morittu Paolo - *Torino*

Negri Maurizio - *Campi Bisenzio (Fi)*

Nesti Valter - *Borgio Verezzi (Sv)*

Oldano Pierluigi - *Mombercelli (At)*

Peano Guido - *Cuneo*

Peirano Aldo - *Frabosa Soprana (Cn)*

Piacenza Enrico - *Mondovi' (Cn)*

Picariello Maria Elena - *Prato*

Pirra Marilena - *Novello (Cn)*

Prelli Roberto - *Trieste*

Priolo Diego - *Pinerolo (To)*

Promio Sergio - *Alba (Cn)*

Puccinelli Magda - *Corsanico (Lu)*

Raimondi Massimo - *Busto Arsizio (Va)*

Ramello Daniela - *Villanova D'asti (At)*

Regis Federico - *Cuneo*

Resta Vincenzo - *Dronero (Cn)*

Roa' Gianfranco - *Mondovi' (Cn)*

Rolando Erik - *Chiusa Pesio (Cn)*

Rossotti Maria Stella - *Lesegno (Cn)*

Ruella Ida - *Alba (Cn)*

Ruffino Livia - *Monastero Vasco (Cn)*

Salsa Annibale - *Genova*

Sanino Domenico - *Cuneo*

Sarnataro Giuseppina - *Milano*

Savorelli Mauro - *Roma*

Scortegagna Ugo - *Mira (Ve)*

Semprevivo Maura - *Dogliani (Cn)*

Serrato Luciano - *Diano Marina (Im)*

Silvestro Maria Vittoria - *Borgo S.Dalmazzo (Cn)*

Spalla Rita - *Robilante (Cn)*

Tacchini Maria - *Bergamo*

Tremul Antonella - *Trieste*

Vernassa Dario - *Torino*

Verole Bozzello Mario - *Vergemoli (Lu)*

Verole Bozzello Vittorio - *Vergemoli (Lu)*

Vigna Bartolomeo - *Mondovi' (Cn)*

Villavecchia Ezechiele - *Savigliano (Cn)*

Volonte' Cristina - *Lentate (Mi)*

Zanoletti Enrico - *Varallo Sesia (Vc)*

Zavaroni Sandra - *Quiliano (Sv)*

Zini Luca - *Trieste*