

# La Buca del Frate di Perolla

## una grotta “mozzafiato”

di Pietro Bartolini e Gianni Bernabini, Società Naturalistica Speleologica Maremmana

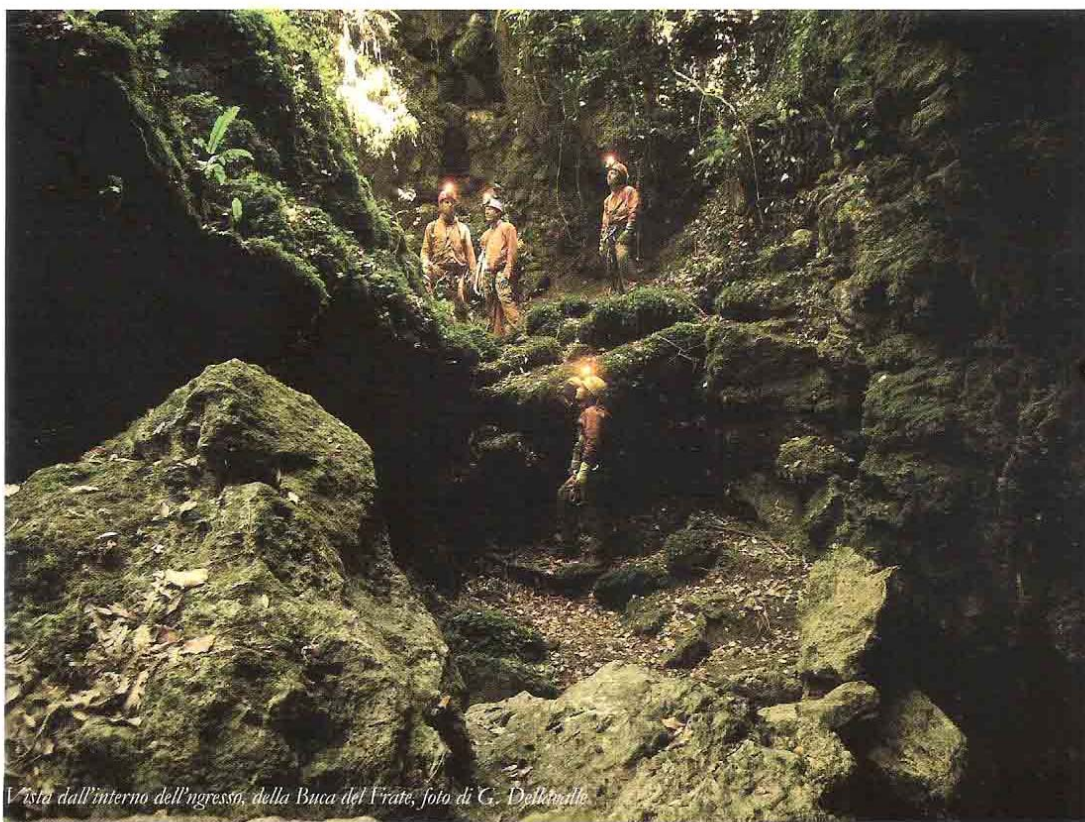
### Introduzione

La Grotta del Frate di Perolla si trova in Località Pianizzoli nei pressi di Massa Marittima, ed è conosciuta da sempre grazie all'imponente dolina dal cui fondo si può accedere alla grotta vera e propria.

Il pozzo di ingresso, che si apre appunto sul fondo della dolina, è profondo 13 metri e da accesso ad un enorme salone il cui pavimento è cosparso da massi di crollo.

Alla base della sala uno stretto passaggio immette in una saletta (sala di sabbia), da cui, tramite un sifone spesso ostruito da detrito sabbioso, si accede ad un altro salone di grandi dimensioni.

Da questo punto in poi la grotta assume un aspetto più angusto, dove una galleria in discesa, dopo un centinaio di metri, termina con un primo sifone che nei periodi di siccità può essere superato senza troppe difficoltà, ma, poco dopo, un altro sifone blocca la prosecuzione definitiva-



*Vista dall'interno dell'ingresso, della Buca del Frate, foto di G. Dell'Amato*

mente almeno ch  non ci si doti di attrezzature speleosubacquee.

Per chi non conosce la zona, ricordiamo che una particolarit  della grotta   il fatto che si apre all'interno di rocce carbonatiche di ambiente continentale, di cui sono presenti varie placche nelle zone circostanti Massa Marittima.

### Inquadramento geologico

L'area di Pianizzoli-Perolla   caratterizzata da due placche di rocce carbonatiche di origine continentale, di ambiente fluviale/palustre. Queste sono segnate sulle *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 306 Massa Marittima* come "Travertini di Massa Marittima" (Costantini et alii, 2002).

Prima di proseguire con l'inquadramento geologico necessita fare una precisazione.

Il termine "Travertino", nella letteratura italiana, ancora mantiene una molteplice valenza ambientale senza distinguere i carbonati associati a termalismo da quelli depositati in ambiente fluviale / palustre.

Nella terminologia anglosassone, invece, con il termine "Travertine" (Travertino) si fa riferimento ai sedimenti carbonatici prodotti nelle vicinanze di sorgenti idrotermali e con *fabric* primario cristallino (Ford & Pedley, 1996; Riding, 2002; E. Capezzuoli & A. Gandin 2004), mentre, per quanto riguarda i carbonati continentali non termali, derivati cio  da acque sia di origine fluvio-palustri, sia di sorgente carsica, si utilizza oggi principalmente il termine *Calcareous Tufa* o *Tufa* (Ford & Pedley, 1996; Pedley 1990; E. Capezzuoli & A. Gandin 2004).

Il Travertino, in senso stretto,   una roccia caratterizzata da facies laminari compatte, formate da cristalli di calcite anche molto sviluppati e, in minor quantit , da lamine microcristalline, organogene e granulari o fangose, generalmente pi  porose (E. Capezzuoli & A. Gandin 2004). Possono essere presenti delle "bolle" effetto della degassazione durante la deposizione. Scarsa   la presenza di organismi vegetali superiori a causa

delle acque calde di origine termale.

I *Calcareous Tufa* sono caratterizzati invece da una porosit  maggiore e sono scarsamente stratificati. Ci    dovuto soprattutto al fatto che la deposizione avviene dove circolano acque ricche di carbonato di calcio "fredde", quindi favorevoli alla vita. Senza star ad elencare qui tutte le varie facies, si riconoscono nei *Calcareous Tufa* strutture vegetali ancora in posizione di crescita con incrostazioni di tipo tubiformi verticali od oblique (Fig.1), o, pi  frequentemente, parti di piante incrostate disposte caoticamente perch  rimosse dalla loro posizione originaria. Si possono spesso osservare impronte di foglie, steli e rami. Talvolta si trovano grandi vuoti dovuti a tronchi d'albero. I corpi carbonatici di Pianizzoli - Perolla, appartengono a questa seconda categoria.

Attualmente, anche in Italia, si sta iniziando ad utilizzare questa duplice terminologia per la descrizione delle rocce derivanti dai due diversi

Fig. 1. Calcareous Tufa, particolare dove si possono apprezzare incrostazioni tubiformi verticali, foto di P. Bartolini.



ambienti deposizionali.

La placca carbonatica più settentrionale, in zona Pianizzoli, poggia prevalentemente sulle Argille a Palombini costituite da argilliti e siltiti di colore grigio a cui si intercalano calcari silicei grigio "piombo" a grana fine (talvolta invece si intercalano arenarie), e in minor parte su Gabbri e Basalti, formazioni dell'Unità ofiolitifera delle Argille a Palombini (Cretacico inferiore); solo limitatamente entrano in contatto con i Conglomerati rossi di Collacchia (Tortoniano superiore) e le Arenarie di Perolla (Pliocene inferiore). A nord i *Calcareous Tufa* sono in eteropia con le Sabbie argillose e ciottolami della Ghirlanda (che vengono riferite probabilmente al Pleistocene inferiore-medio) (Fig. 2).

La placca meridionale del Castello di Perolla poggia sia sulle Argille a Palombini, sia sui Conglomerati rossi di Collacchia, sia sulle formazioni plioceniche.

Lo spessore massimo delle placche è intorno

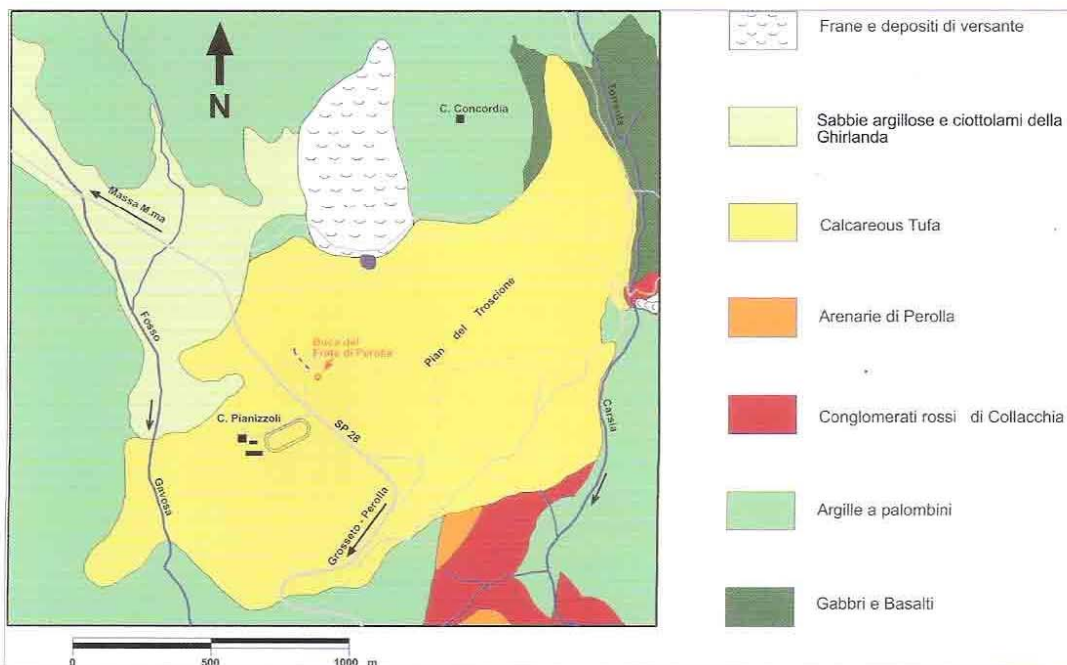
ai 70 metri (Costantini et alii, 2002).

I *Calcareous Tufa* (Travertini di Massa Marittima nelle *Note illustrative della carta geologica d'Italia*) vengono collocati, in base ai reperti vegetali trovati, nel Villafranchiano inferiore (Brandi et alii, 1968).

L'area di Pianizzoli, morfologicamente parlando, rappresenta una paleovalle ove si è avuta la deposizione di questi corpi carbonatici. Quello dei Pianizzoli in particolare mantiene ancora la forma di barrage (sbarramento) dietro al quale si sono depositati sedimenti di tipo terrigeno (Sabbie argillose e ciottolami della Ghirlanda).

Il drenaggio superficiale attuale è rappresentato dal Fosso Gavosa, che incide parzialmente l'estremità occidentale delle due placche, e dal Torrente Carsia, che delimita i corpi carbonatici ad est. Nella Buca del Frate di Perolla e nella Grotta Prato 2, posta a valle della prima, si possono osservare piccoli corsi d'acqua che costituiscono il principale drenaggio ipogeo.

Fig. 2. Carta geologica schematica dell'area di Pianizzoli. Dalla carta geologica delle "Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 306 Massa Marittima" con modifica.



Queste acque ipogee vengono alla luce nella risorgenza della Prato 2, costituendo un tributario del Torrente Carsia.

L'area di Pianizzoli rappresenta, in definitiva, racchiuso in un ristretto areale, un ottimo esempio di paesaggio carsico dove si hanno doline da dissoluzione, piccoli canyon, una valle cieca con relativo inghiottitoio (uno dei due rami della Buca del Frate di Perolla) ed alcune doline di crollo con tanto di ingresso grotta.

Per quanto riguarda la grotta, la morfologia della sua sezione è suscettibile a forti cambiamenti che seguono le variazioni meteorologiche esterne. Importanti e repentini flussi d'acqua lasciano traccia alternando momenti di abbondante apporto detritico di ogni tipo, terrigeno, vegetale ed (ahimè) antropico (pneumatici, pezzi di grossi elettrodomestici, pezzame di plastica va-

rio, ecc....), a momenti in cui l'acqua opera forti incisioni nei vari accumuli di detrito. La forte energia dell'acqua spesso sposta anche massi di notevoli dimensioni.

L'obiettivo delle escursioni recenti è stato quello di dare una caratterizzazione dei fenomeni attuali descrivendo una delle variazioni che ci ha colpito maggiormente: la variazione della qualità dell'aria, anche perché potenzialmente pericolosa e meno visibile di una piena.

### Antefatto

Nell'ottobre del 2002, durante una escursione della S.N.S.M., trovammo il "Sifone di sabbia" (tra punti 2 e 3 sul rilievo) (Fig. 3) completamente ostruito da sabbia. Scavammo e passammo oltre.

*Fig. 3. Il "Sifone di sabbia". La foto è stata scattata ad Agosto 2009 mentre il sifone veniva scavato a mano (e piedi) per liberarlo dal detrito sabbioso, foto di P. Bartolini.*

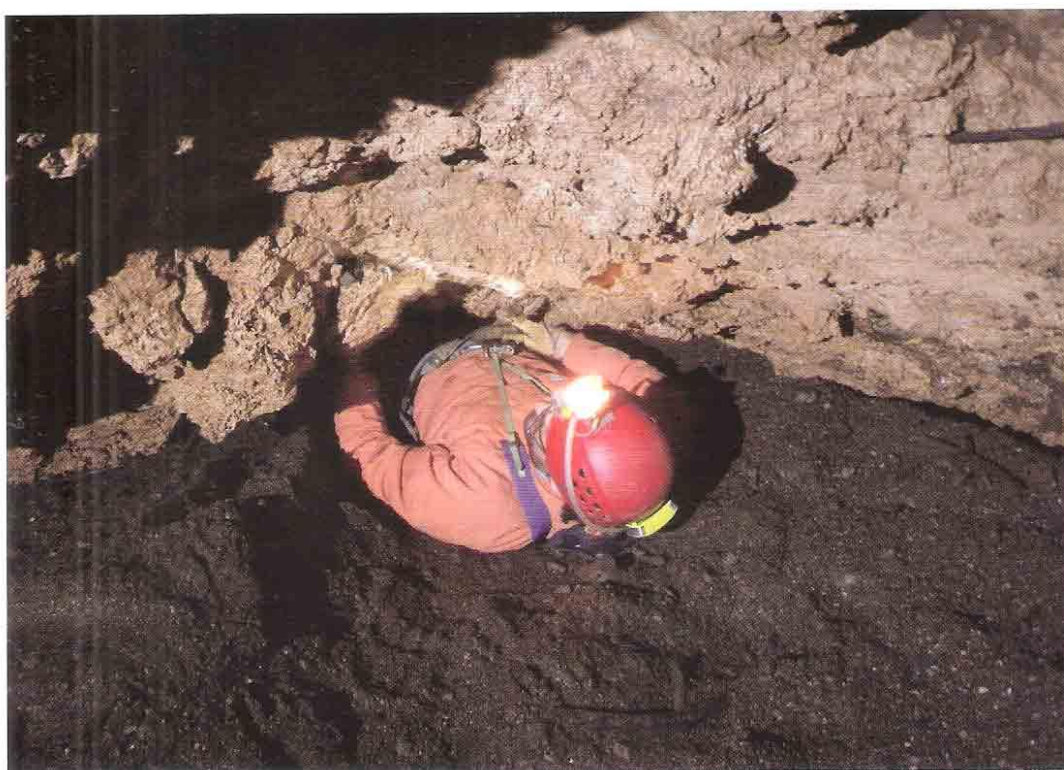




Fig. 4. La seconda strettoia di sabbia anch'essa scavata a mano. Appena superata è stato ritenuto opportuno tornare indietro per il mancato recupero e per la persistente sensazione di affanno, foto di P. Bartolini.

Superato anche il secondo salone ci incamminammo veloci diretti verso il fondo.

In prossimità dell'ultima saletta (punto 9) però, ci trovammo stranamente in affanno per una grotta che non presenta difficoltà di progressione; il tempo di rendersi conto che la cosa non migliorava affatto e decidemmo di invertire la rotta e guadagnare nuovamente l'uscita.

Come capita spesso nella speleologia, l'episodio cadde nel dimenticatoio, aiutato dal fatto che le uscite successive nella grotta non crearono nessun problema.

Nel Luglio 2006, speleologi di vari gruppi della Toscana, frequentarono la cavità con l'intento di trovare la congiunzione con la adiacente Grotta Prato 2, ma anche in quella occasione non fu riscontrato niente di simile, anche se il Frate di Perolla si presentò molto ricco di detrito sabbioso tanto da dover in più punti scavare per dare allo speleosub, che avrebbe dovuto immergersi nel sifone finale, la possibilità di passare

con tutta l'attrezzatura, (per la cronaca: solo i "bip-bip" degli ARVA riuscirono a completare la giunzione).

Passano ancora tre anni e nell'Agosto del 2009 si torna al Frate con geologi dell'Università di Siena, ma, giunti al "Sifone di sabbia", eccolo di nuovo ostruito; scaviamo, passiamo oltre, arriviamo ad una seconda strettoia, anch'essa chiusa da sabbia (punto 6 - Fig. 4), e dopo alcuni scambi di idee prevale quella di scavare ancora.

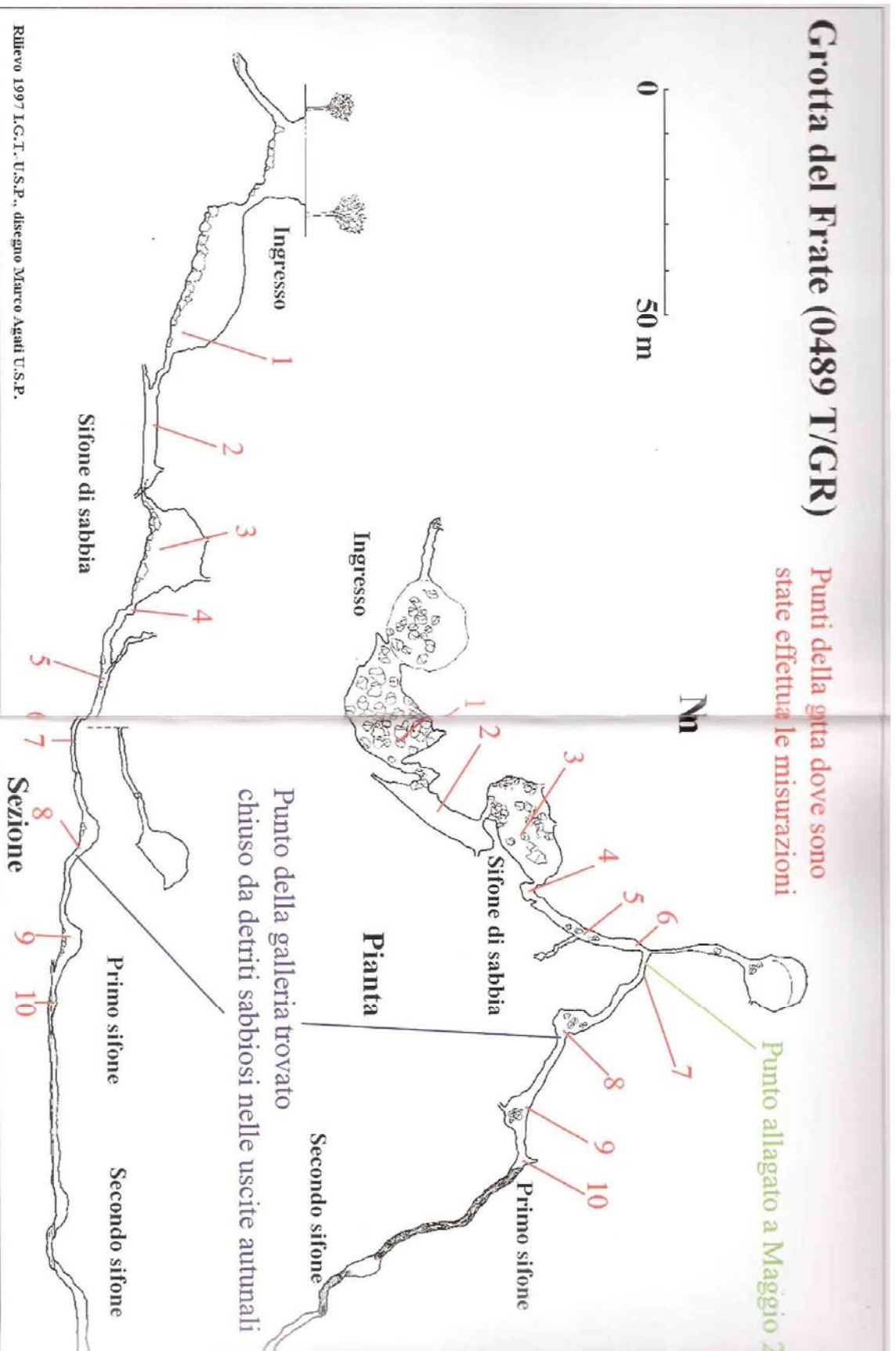
Finalmente sembra che riuscire a percorrere la via che porta al fondo della cavità sia oramai questione di minuti, ma improvvisamente il battito accelera, la respirazione si fa pesante e la fatica fa da padrona; ancora scambio di idee fra gli sguardi allibiti degli "ospiti", qualche istante e decidiamo di tornare a casa ognuno con la propria emicrania.

Torniamo a Settembre nella speranza che in un mese la situazione sia migliorata, invece, appena scesi nella galleria dopo il secondo grande salo-

# Grotta del Frate (0489 T/GR)

Punti della gita dove sono state effettuate le misurazioni

Punto allagato a Maggio 2



Rilievo 1997 I.G.T. U.S.P., disegno Marco Agati U.S.P.

ne, il respiro si fa subito pesante. Ci giriamo e torniamo subito verso l'uscita.

Finalmente decidiamo di cercare di capire qual è il problema e magari trovarne anche le cause.

### Cosa si è fatto

Abbiamo intrapreso una serie di escursioni, finalizzate a controllare la qualità dell'aria presente nella cavità.

Nella prima verifica abbiamo percorso senza problemi i grandi saloni senza notare nessun dato di rilievo, ma giunti all'inizio della galleria al termine dell'ultima sala (punto 4), lo strumento di rilevamento ha iniziato il suo fastidioso suono di allarme per mancanza di ossigeno sceso inizialmente a 18,9%, per poi stabilizzarsi al

16,9%, poco dopo il rilevatore segnalava anche una presenza di 8 parti per milione (ppm) di monossido di carbonio.

*Sono sufficienti 50 ppm di Monossido di Carbonio per rimanere definitivamente all'interno della grotta, ossia 50 litri di gas in mille metri cubi di aria.*

La progressione si interrompeva in corrispondenza di una strettoia-sifone della galleria (punto 6), dove la strumentazione segnalava, con il secondo allarme ancora più fastidioso del primo, una presenza di ossigeno del 13,1% e una presenza di anidride carbonica superiore al 5%.

Ritenevamo quell'aria poco salubre per i nostri polmoni e decidevamo di tornare più attrezzati, nella speranza che l'aria ben ossigenata dell'esterno ci portasse consiglio.

Altre volte siamo tornati fino alla strettoia-si-

Fig. 5. Durante le misurazioni nel secondo grande salone, foto di L. Cioni.





Fig. 6. I letture strumentali nella parte bassa della cavità. La progressione è resa possibile grazie all'utilizzo di respiratori. Sullo sfondo a destra il detrito sabbioso contenente materiale vegetale, presente in abbondanza in tutte le gallerie, foto di G. Bernabini.

fone solo al fine di verificare la stabilità nel tempo di quella atmosfera e, a parte la scomparsa del monossido di carbonio (cosa non da poco), le percentuali di ossigeno e anidride carbonica si attestavano sui valori delle volte precedenti.

Passano un paio di settimane e siamo nuovamente all'inizio della galleria, questa volta decisi a percorrerla tutta, ma con le dovute precauzioni: siamo dotati infatti di respiratori ad aria alimentati da bombole da 9 litri pressurizzate a 300 atmosfere, che dovrebbero fornirci un'autonomia di oltre un'ora (Fig. 6).

Dopo aver effettuato i preparativi e controlli del caso ci infiliamo nel cunicolo spingendo avanti le bombole e senza non poche fatiche sbuchiamo dopo una quindicina di metri in una delle salette che precedono il sifone.

Mentre i rilevatori di gas "gridano" per insufficienza di ossigeno, ci accingiamo ad imboccare il secondo cunicolo che dovrebbe portarci al sifone finale ma una voce, resa lugubre dalla maschera facciale, grida "CHIUDE!".

I detriti sabbiosi che abbondano nella cavità, hanno chiuso il passaggio rendendo impossibile la prosecuzione e, ritenendo inopportuno mettersi a scavare in quelle condizioni, cominciamo la ritirata effettuando di tanto in tanto letture dell'ossigeno, del monossido di carbonio, di anidride carbonica e scattando alcune foto.

Le letture strumentali hanno evidenziato la mancanza del monossido di carbonio che alla fine dei fatti è stato presente una sola volta, una percentuale minima di ossigeno che si aggirava intorno al 13,1% e una presenza di anidride car-

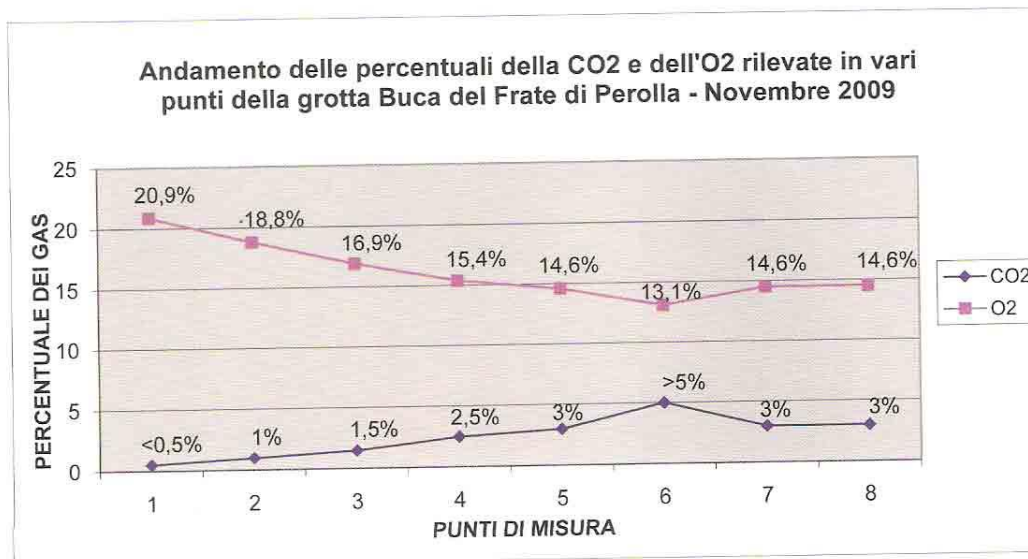


Fig. 7. Grafico delle misure eseguite in grotta.

bonica oltre il 5% (vedi grafico fig. 7).

Purtroppo non è stato possibile fornire il picco massimo della CO<sub>2</sub> perché le fiale colorimetriche utilizzate per il rilievo di questo gas hanno un limite del 5% (Fig. 9).

Arriva l'inverno e con esso un gran freddo e soprattutto tanta pioggia; a marzo siamo di nuovo di fronte alla dolina, questa volta dotati di un nuovo rilevatore di anidride carbonica.

Notiamo immediatamente che la cavità è stata percorsa da tanta acqua e, arrivati al primo sifone, ci rendiamo conto che questa ha creato una "voragine" che ci permette di passare senza nemmeno strisciare.

Attraversiamo l'ultimo salone e, giunti all'inizio della galleria, l'aria è perfetta senza che lo strumento segnali una benché minima variazione.

Percorriamo la galleria e, giunti nella strettoria dove mesi prima avevamo rilevato le minime percentuali di ossigeno, lo strumento ci segnala un'anomalia: l'ossigeno è sceso al 18,1% e la CO<sub>2</sub> è salita a 1,46%.

Raggiungiamo rapidamente il punto in cui ci eravamo fermati definitivamente lo scorso

autunno e stupiti ci accorgiamo che l'acqua ha liberato il passaggio permettendoci, strisciando, di raggiungere la saletta (punto 9) ed il sifone finale (punto 10) che ovviamente risulta completamente allagato.

I valori alterati dell'ossigeno e della CO<sub>2</sub> rimangono stabili per tutta la parte finale della grotta.

Uscendo non perdiamo l'occasione di perlustrare arrivi d'acqua che compaiono un po' dappertutto, dimostrandoci che la grotta è in grado di cambiare morfologia in tempi relativamente brevi e dimostrando che la nostra attività alla Grotta del Frate probabilmente non finisce qui.

## Considerazioni

Durante periodi particolarmente piovosi la grotta viene percorsa da un torrente che, viste le dimensioni dei detriti trasportati, assume portate considerevoli.

Il risultato è che, per tutto lo sviluppo della cavità, si trova un grande accumulo di sabbia e vegetali che in alcuni punti supera abbondantemente il metro di spessore (Fig. 8).



Fig. 8. Nella galleria dopo il secondo grande salone (ormai ribattezzata drammaticamente "galleria della morte") si può notare uno degli accumuli di terra e detrito organico che dopo la seconda strettoia diventano quasi ininterrotti, foto di P. Bartolini.

La decomposizione dei vegetali produce monossido di carbonio, anidride carbonica, biogas e, se nella cavità la ventilazione risulta scarsa o assente, è possibile che le percentuali di gas prodotti risultino estremamente elevate.

La presenza del monossido di carbonio, pur essendo un prodotto della decomposizione, è molto strana, infatti questo gas è facilmente ossidabile trasformandosi rapidamente nella più innocua anidride carbonica che a sua volta si sostituisce all'ossigeno abbassandone la percentuale. Essendo però stato rilevato soltanto una volta, e per di più in una zona della grotta molto angusta, è probabile che lo strumento abbia aspirato, anche per un solo istante, il monossido di carbonio non ancora ossidato.

Il biogas effettivamente è stato rilevato, ma

anch'esso una sola volta e in bassissime concentrazioni, nella fattispecie sono state rilevate bassissime percentuali di metano che si aggiravano al di sotto dello 0,3%, che insieme alla anidride carbonica è uno dei maggiori componenti del biogas.

È probabile che anche nelle parti alte della grotta sia in corso una produzione di gas scaturiti dalla decomposizione, ma la vicinanza con l'esterno e le grandi dimensioni degli ambienti potrebbero mitigarne gli effetti, invece, nelle parti basse e ristrette della cavità, che risultano anche ostruite dal materiale sabbioso, la  $CO_2$  potrebbe ristagnare aiutata anche dal suo peso specifico, 1,5 volte quello dell'aria.

Durante l'inverno probabilmente l'atmosfera è stata in parte "bonificata" a causa dello scam-

bio termico interno – esterno, che ha creato l'inevitabile moto convettivo di aria in uscita, e dalla grande quantità di acqua che ha percorso la grotta, che ha inoltre creato movimento di masse d'aria degli ambienti favorendone il ricambio.

È quindi lecito pensare che la qualità dell'aria sia strettamente legata alle condizioni meteo esterne che, come abbiamo visto, in alcune circostanze creano situazioni non molto distanti dall'essere pericolose, infatti il 12% di ossigeno ( $O_2$ ) nell'aria è il limite minimo al di sotto del quale l'emoglobina non riesce a legarsi bloccando di fatto l'ossigenazione del sangue.

### L'anidride carbonica ( $CO_2$ )

Per meglio capire i dati descritti precedentemente, è utile fare un accenno su come la  $CO_2$  può formarsi e quali sono le percentuali che mettono in crisi il funzionamento del nostro organismo.

L'anidride carbonica detta anche biossido di carbonio è il risultato della doppia ossidazione del carbonio.

I processi di ossidazione di materiale organico generano fra tutto anche la  $CO_2$ ; quest'ultima si forma creando prima il monossido di carbonio

(CO) e poi ossidando nuovamente la  $CO_2$ .

Questa produzione di gas avviene sia a reazione lenta (decomposizione) sia a reazione veloce (combustione).

La  $CO_2$  ha una densità una volta e mezza quella dell'aria; se si forma molto lentamente in ambienti privi di movimento d'aria tende a concentrarsi vicino a dove è stata prodotta.

Si tratta di un gas con cui conviviamo regolarmente, infatti, è uno dei prodotti più copiosi della nostra respirazione: ne ispiriamo circa lo 0,04% e ne espiriamo il 4%.

È un forte stimolatore della respirazione e se la sua concentrazione nel sangue cresce, ad esempio per affanno da lavoro fisico, essa induce un aumento della ventilazione sino a che i valori non rientrano nella normalità.

Se però nell'aria che respiriamo è presente una percentuale maggiore di questo gas, cominciano ad apparire effetti tossici (Tabella 1).

Una nota positiva, se veniamo estratti ancora vivi da questa atmosfera, è che nel giro di pochi minuti ci possiamo riprendere completamente, beneficio che purtroppo non concede il monossido di carbonio (CO), il quale, entrando in contatto con l'emoglobina del sangue all'interno degli alveoli polmonari, la trasforma in carbos-

Tabella 1. Effetti fisiologici in proporzione alla percentuale di  $CO_2$  presente nell'aria.  
(1) il  $CO_2$  a contatto con la saliva produce acido carbonico creando il caratteristico sapore acido.

< 5%	Respiro e battito cardiaco rapidi, sapore acidulo in bocca <sup>1</sup>
5% - 10%	Riconoscimento dell'odore pungente, respiro e battito ancora più rapido, immediata stanchezza, emicrania, offuscamento della vista dopo alcuni minuti di esposizione.
25% - 30%	Perdita di coscienza in modo rapido, convulsioni
> 50%	Coma, collasso circolatorio e insufficienza respiratoria.

siemoglobina, il cui trattamento farmacologico risulta spesso inefficace.

### Strumenti e attrezzature utilizzate

Per verificare e confermare meglio i dati abbiamo utilizzato due rilevatori multigas identici come caratteristiche ma di marche differenti.

- Rilevatore multigas MSA mod. "Orion"
- Rilevatore multigas DRAGER mod. "Mini-Warn".

Tutti gli strumenti funzionano con sensore ex-catalitico per la rilevazione dei gas infiammabili, mentre per la rilevazione dei gas tossici e carenza di ossigeno utilizzano sensori elettrolitici.

Gli strumenti da noi utilizzati sono in grado di rilevare: Gas infiammabili in genere, idrogeno Solforato o acido solfidrico ( $H_2S$ ), monossido di carbonio (CO), ossigeno ( $O_2$ ).

Per rilevare l'anidride carbonica sono state utilizzate le fiale colorimetriche MSA, consistenti in ampole di vetro, che prima dell'uso vengono opportunamente rotte all'estremità, in cui successivamente viene fatta circolare all'in-

terno dell'aria tramite una pompetta a mano, la fiala cambierà colore proporzionalmente alla concentrazione di gas presente (Fig. 9).

Purtroppo tale metodo non fornisce un dato estremamente preciso, con una lettura che viene arrotondata più o meno ad uno 0,5%.

Per le misurazioni dell'inverno ci siamo dotati anche di un rilevatore di  $CO_2$  MSA mod. "Al-tair" con una precisione dello 0,01%.

Per la protezione delle vie respiratorie sono stati utilizzati autorespiratori marca Drager con bombole in materiale composito da 9 litri pressurizzate a 300 atmosfere per un totale di 2700 litri di aria disponibile.

Le bombole in composito sono molto più delicate di quelle classiche in acciaio ma sono estremamente più leggere ed hanno la possibilità di essere pressurizzate a 300 atm anziché 200 atm, con il beneficio di una maggiore autonomia.

### Ultime notizie

A Maggio 2010, dopo un ulteriore intenso periodo di piogge primaverili, entriamo in grotta

Fig. 9. Fiale colorimetriche MSA per la rilevazione della  $CO_2$ , foto di G. Bernabini.

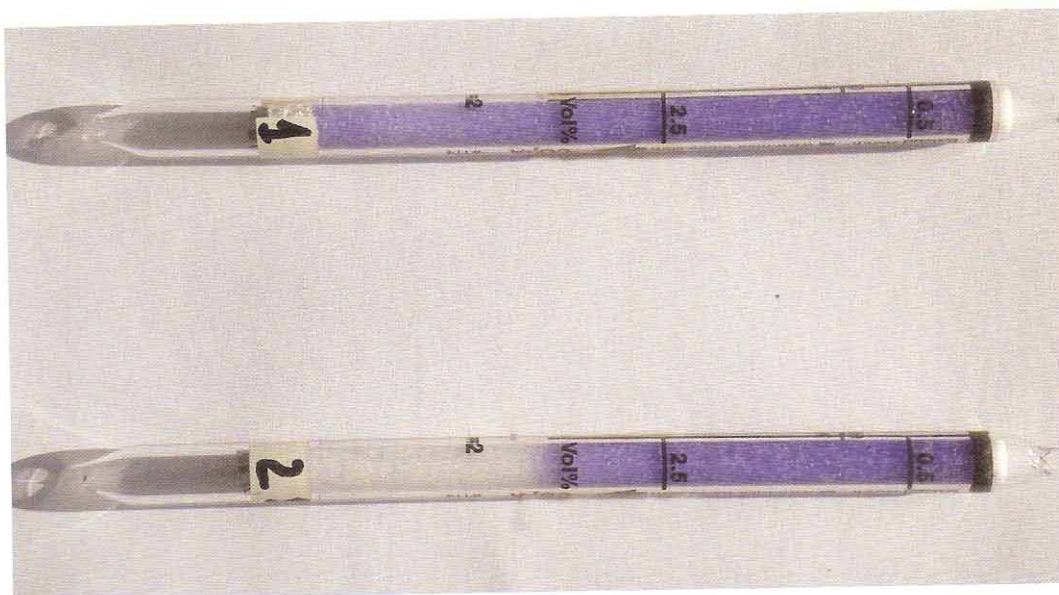




Fig. 10. La strettoia "stappata" alla fine della condotta. Si notano ancora sullo sfondo accumuli di foglie e rametti in putrefazione non portati via dall'acqua, foto di V. Scotto.

per andare a vedere cosa è successo. La nostra escursione si conclude alla fine della condotta dopo il secondo salone (punto 6) a causa del completo allagamento della sezione della cavità.

Eravamo senza strumenti, ma non abbiamo avuto nessun problema legato all'aria.

A Luglio 2010 andiamo per una ricognizione ai fini di una successiva uscita di studio geologico. Ormai convinti che la situazione "aria" si fosse normalizzata, percorriamo la grotta per andare a vedere il punto che a Maggio risultava allagato.

Ci affacciamo e vediamo che l'acqua è praticamente scomparsa a parte un po' di ruscellamento residuo, ma la cosa allarmante è che ricompaiono i sintomi di affanno e difficoltà respiratoria.

Conseguentemente a questo ultimo evento, in accordo con la Federazione Speleologica Toscana, abbiamo deciso di porre un cartello di avviso di "Pericolo di Asfissia" all'ingresso della Grotta (ne verrà posto a breve uno anche all'interno).

Infine, dopo una verifica di metà settembre 2010 la grotta risulta invasa completamente dall'anidride carbonica.

Infatti anche i saloni iniziali dove da sempre l'atmosfera rilevata risultava priva di "contaminazioni" (punti 1, 2, 3), l'anidride carbonica è presente intorno al 1,3% a scapito dell'ossigeno che ovviamente è sceso a circa 19%; all'inizio della galleria (punto 4), l'ossigeno risulta nuovamente "crollato" a valori intorno al 14%.

Non è stato possibile effettuare letture più accurate e metodiche in quanto le ultime escursioni avevano un'altro fine. Comunque questi ultimi dati, anche se molto parziali, danno un'idea di quanto siano mutevoli le condizioni della cavità; sarà quindi interessante riuscire a recarsi nei luoghi dove a suo tempo erano stati registrati i livelli più alti di anidride carbonica, che, visto i dati delle parti iniziali della grotta, è lecito pensare abbiano raggiunto le massime percentuali.

## Ringraziamenti

A Luca Cioni per l'aiuto sul campo e a G. Badino per i preziosi suggerimenti.

### Bibliografia

Antonini G., Badino G. (1997) "Grotte e Forre"

Brandi G.P., Dallan L., Lazzarotto A., Mazzanti R., Squarci P., Taffi L. & Trevisan I. (1968) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:100.000: Foglio 119 Massa Marittima*. Servizio Geologico d'Italia Roma: 70 pp.

Capezzuoli E., Gandin A. (2004) - I "Travertini" in Italia: proposta di una nuova nomenclatura basata sui caratteri genetici. *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 17 (2/1) 273-284.

Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R. & Salvatorini G.F. (2002) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Foglio 306 Massa Marittima*. Servizio Geologico d'Italia, Organo cartografico dello stato.

Ford T.D. & Pedley H.M. (1966) - *A review of tufa and travertine deposits of the world*. *Earth Sci. Rev.*, 41, 117-175.

Marchionne E. (1990), "Pronuario delle sostanze pericolose".

Pedley H.M. (1990) - *Classification and environmental models of cool freshwater tufas*. *Sedim. Geol.*, 68, 143-154.

Riding R. (2002) - *Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concept and categories*. *Earth-Science Reviews*, 58, 163-231.

Scarcella C. (1994), "Primo soccorso e trasporto sanitario" ed. Confederazione Nazionale Misericordie d'Italia.

*Risalita nel pozzo che immette nel primo salone della grotta, foto di G. Dellavalle.*

