

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**

L'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 1996 NELLA GROTTA DI BOSSEA

Guido Peano^{1,2}, Bartolomeo Vigna^{1,3}, Ezechiele Villavecchia¹

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 ascribed to hydrological imbalances primed by a incorrect management of live-stock 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.

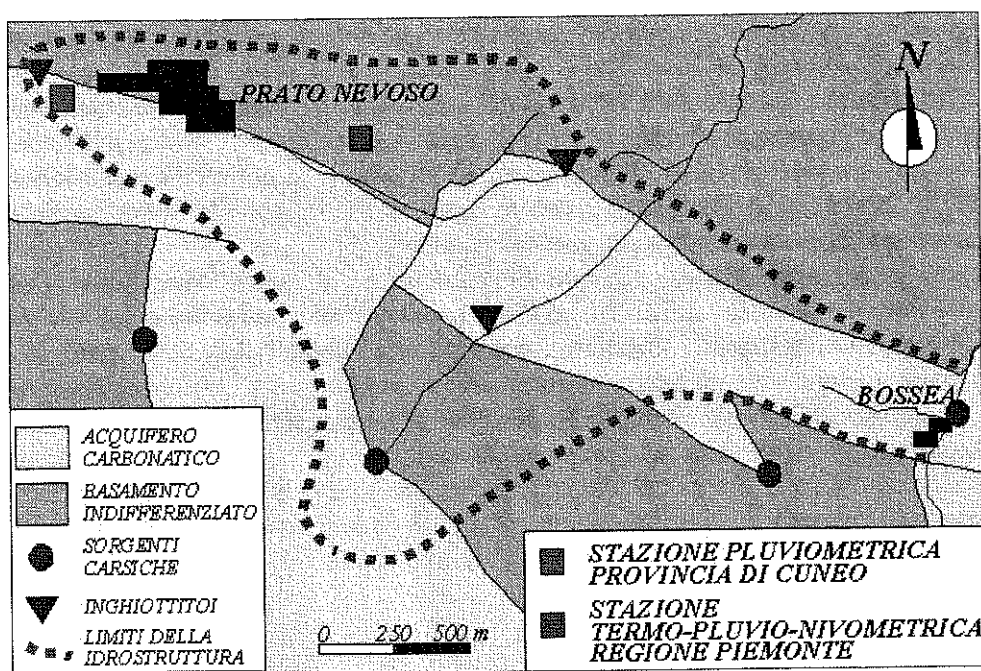


Fig. 1 - La struttura idrogeologica alimentante le sorgenti di Bossea.

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 Brianzone 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 pluriennale 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, CO₂, 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 m³/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 m³/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 m³/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 m³/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.

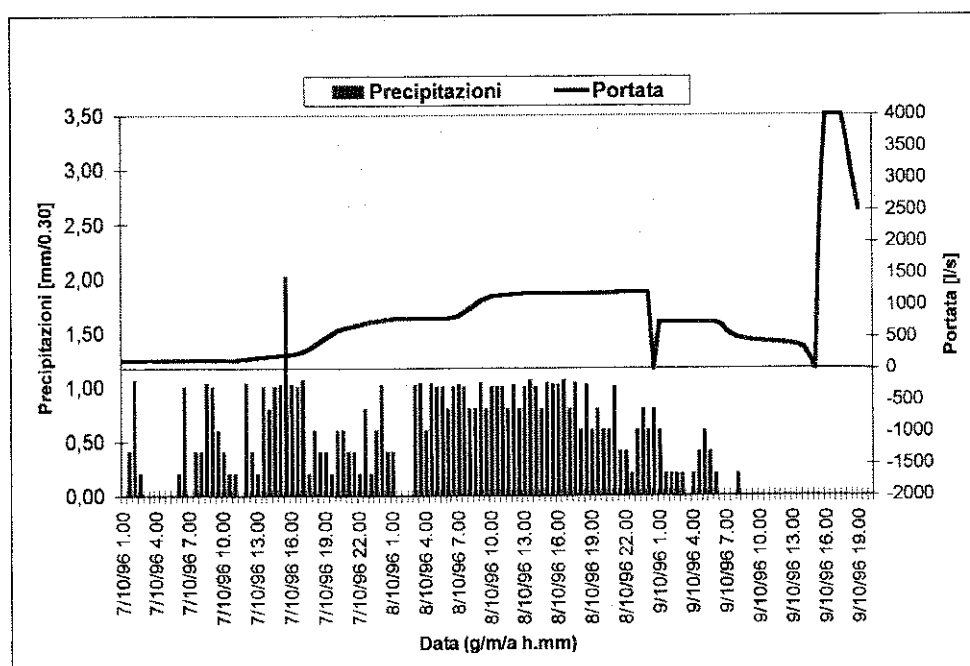


Fig. 2 - Andamento della portata e delle precipitazioni relative all'evento alluvionale.

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 verificata 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 bean-ti 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, espulsi 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.

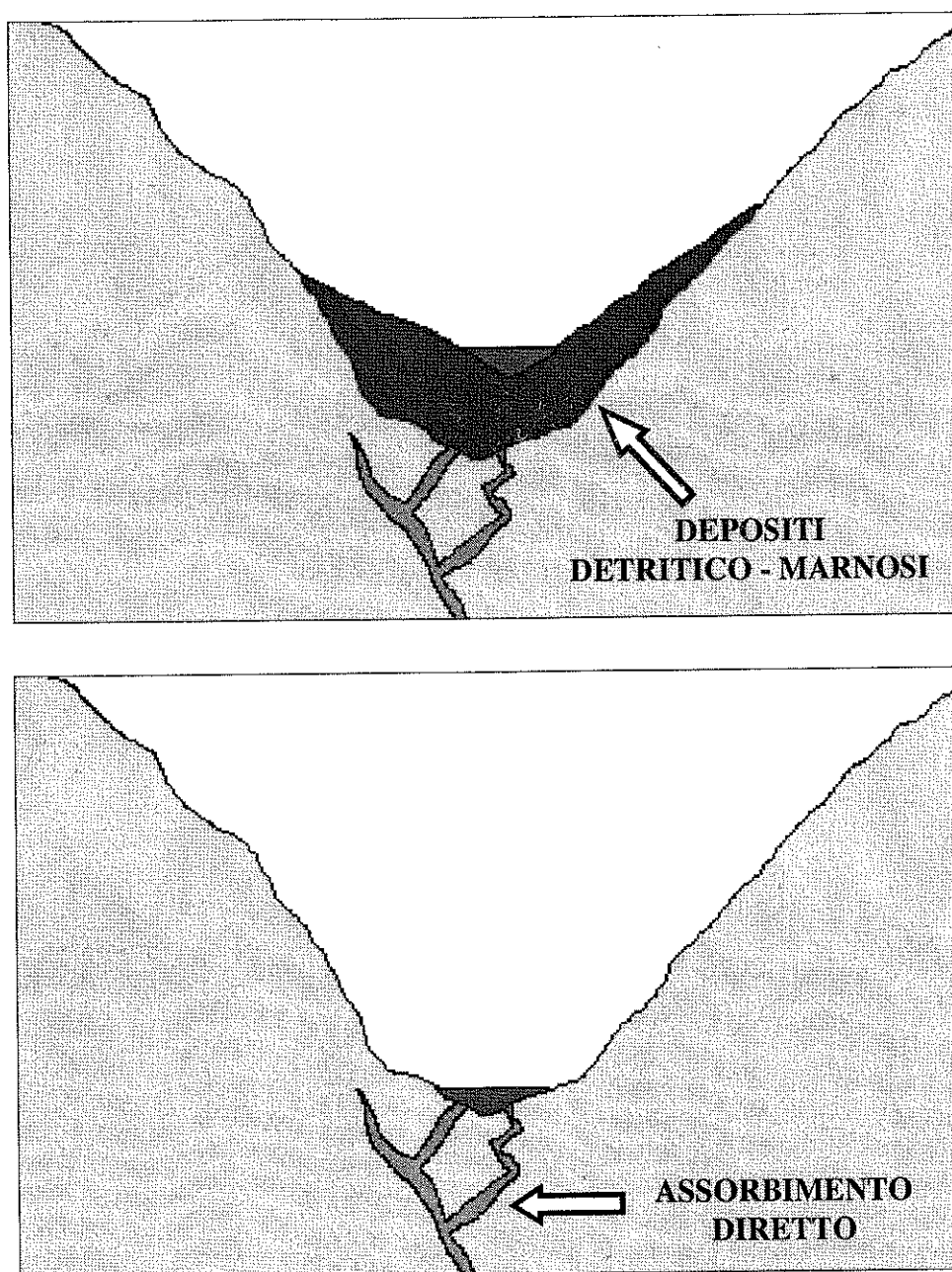


Fig. 3 - Situazione del vallone assorbente del Rio di Roccia Bianca prima e dopo l'evento alluvionale del 1995.

GROTTA DI BOSSEA

S2 (100 m, -54 M)

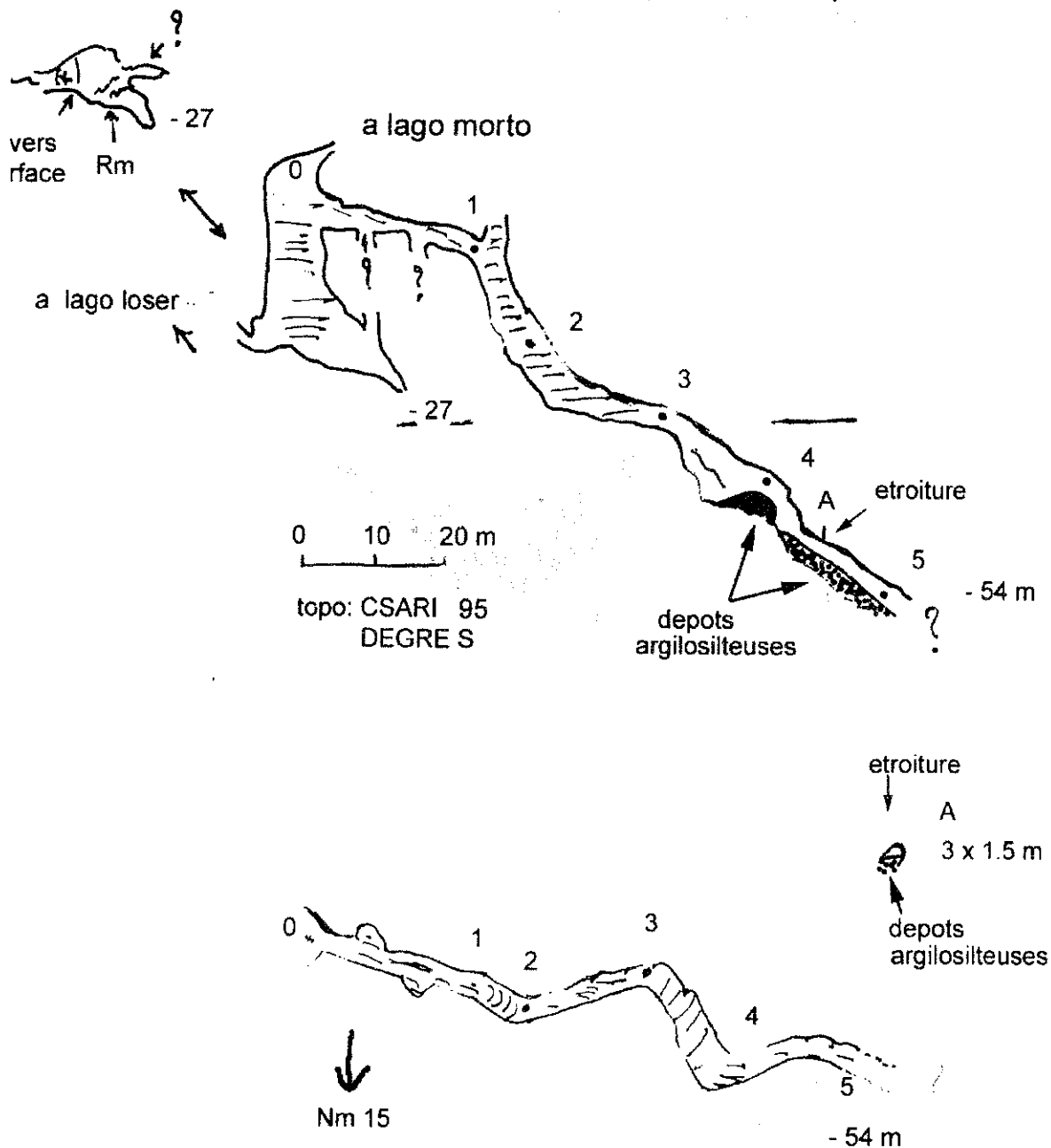


Fig. 4 - Sifone principale di Bossea: la parte più profonda della sua zona esplorata può essere soggetta a restringimenti, o in determinati casi ad occlusioni, ad opera dei depositi di limo mobilizzati dalle acque (topografia e disegno CSARI Bruxelles 1995, modificati). Nell'ultima immersione effettuata (1997) i subacquei belgi si sono dovuti arrestare a monte della strettola, forse interessata nel 1996 da un'occlusione totale concausa della successiva ondata di piena.

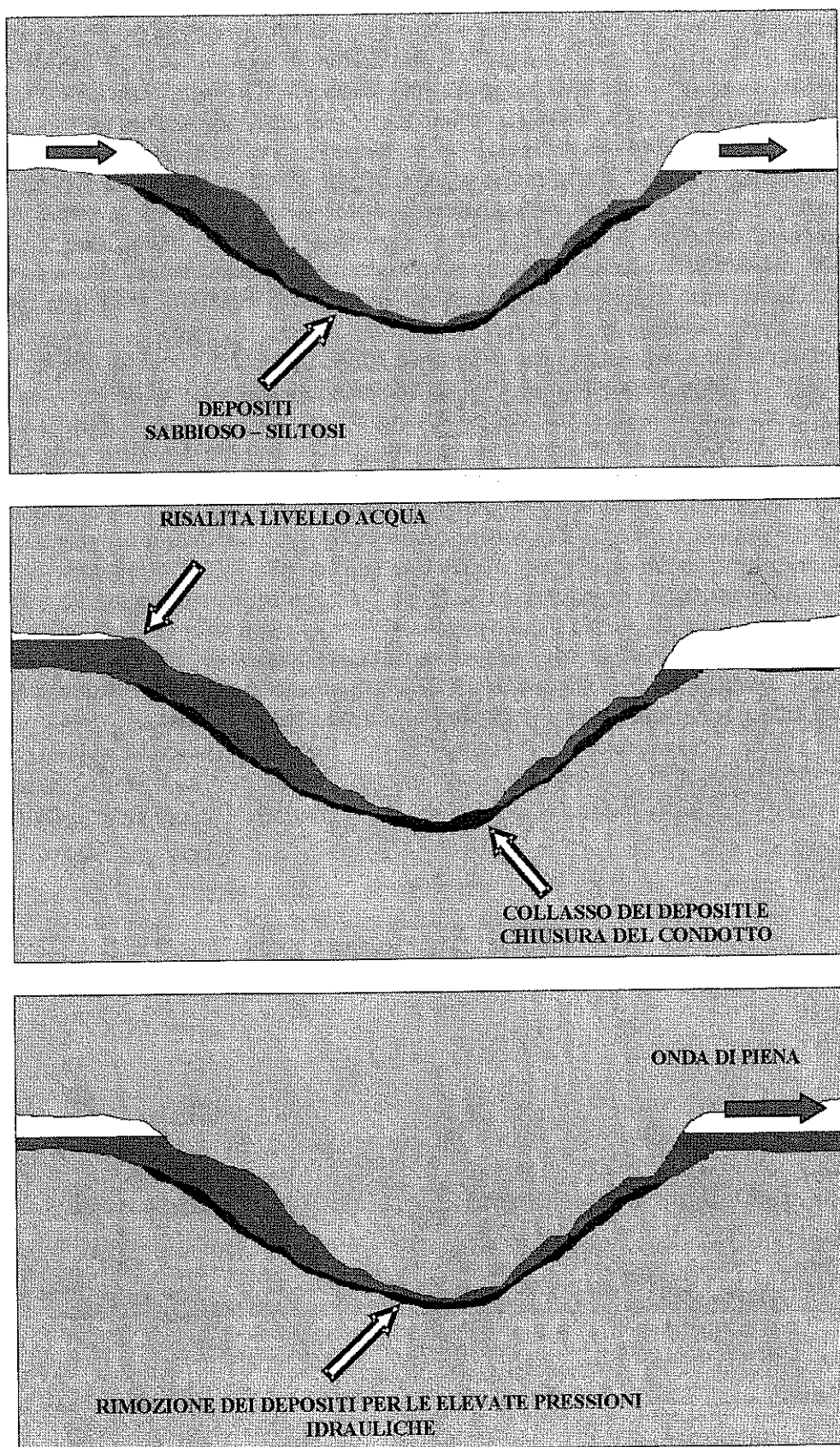


Fig. 5 - Successive fasi relative all'evento alluvionale (rappresentazione schematica).

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.

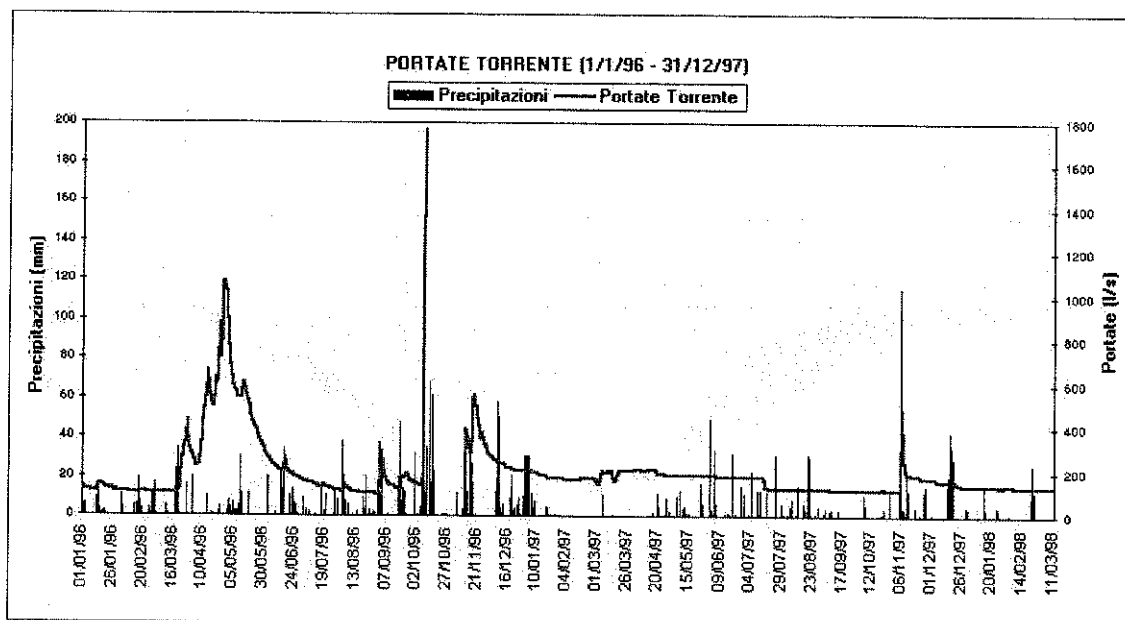


Fig. 6 - Andamento della portata del collettore di Bossea prima e dopo l'evento alluvionale.

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 idrogeologica 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 un 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 fluite 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.

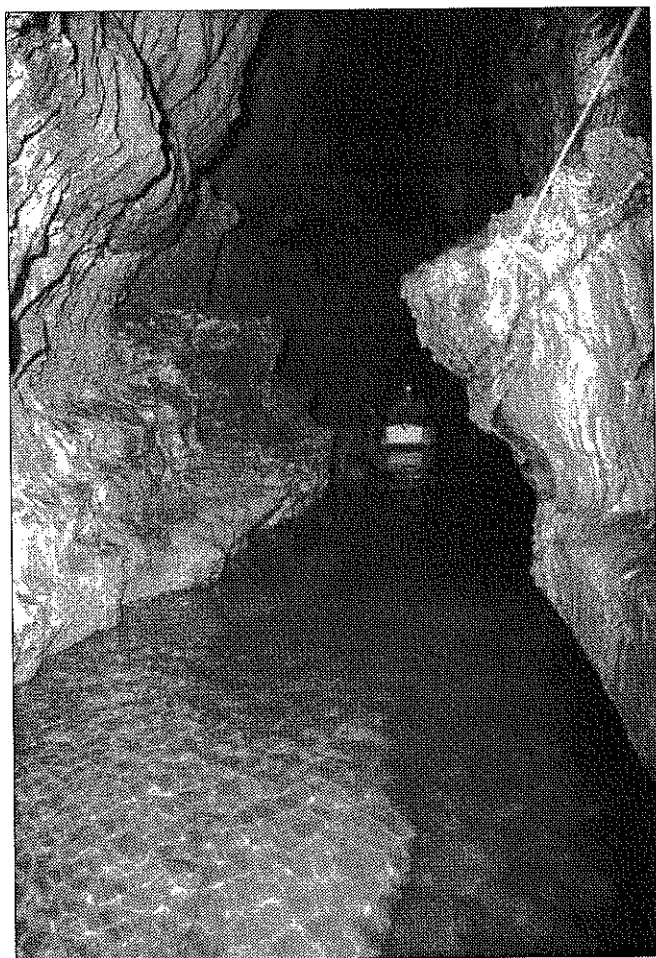
Rientrano fra questi provvedimenti il rilevamento in continuo della portata del torrente all'uscita dal sifone principale e la trasmissione dei dati in tempo reale ad un computer esterno ai fini del controllo del flusso sotterraneo e del preavviso di un possibile arrivo di piene anomale; il controllo 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 cortica 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.

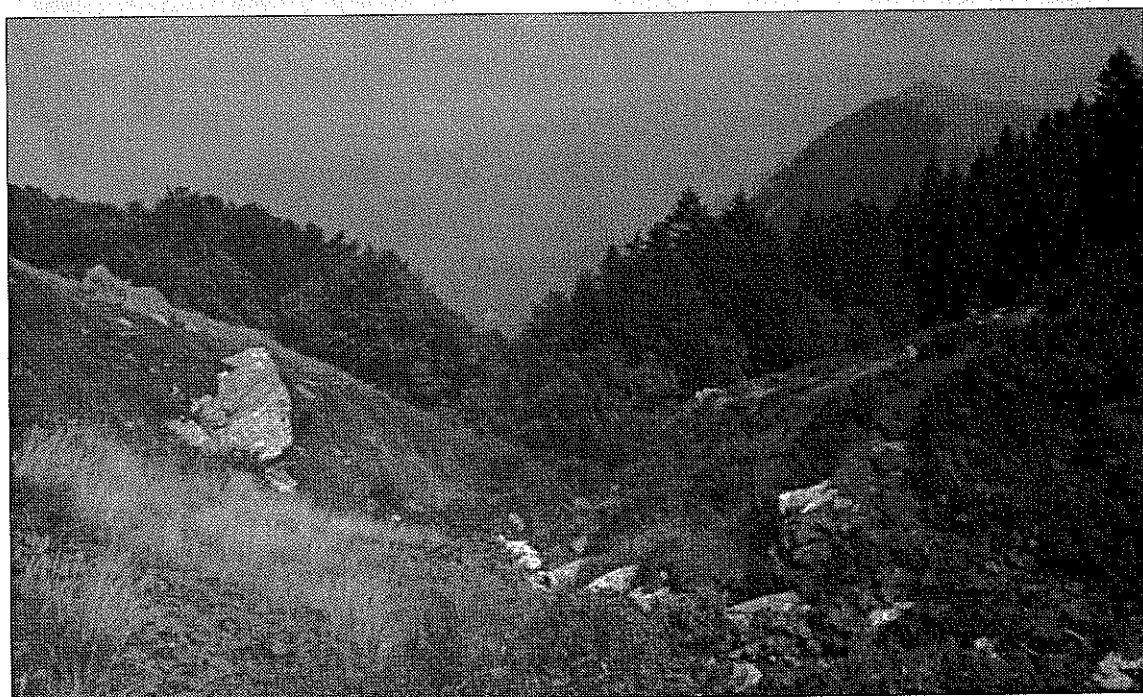
BIBLIOGRAFIA

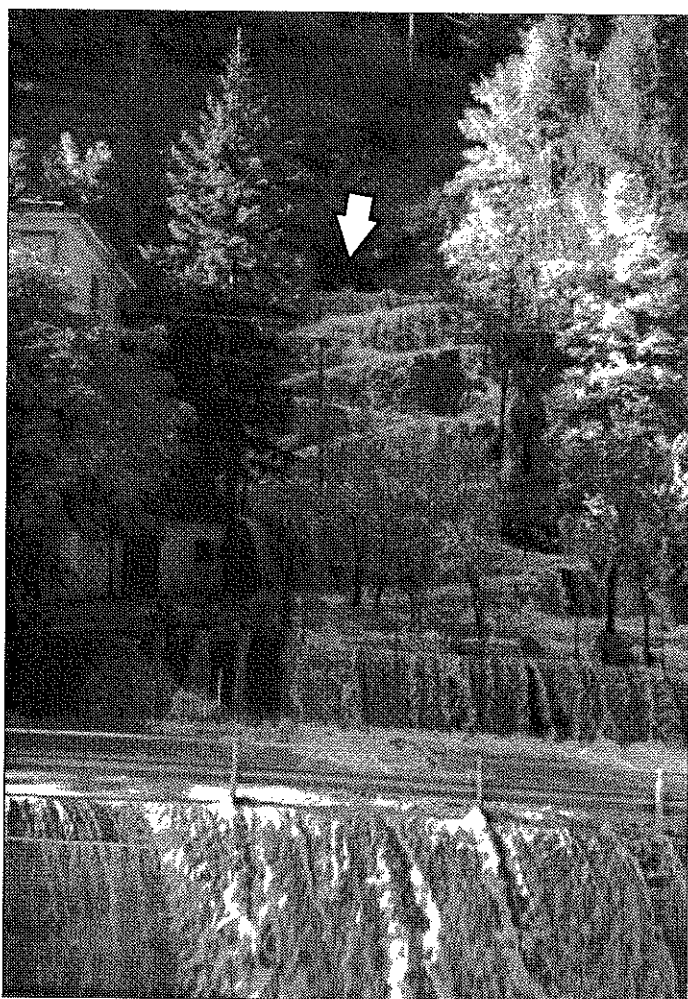
- CIVITA M., PEANO G., VIGNA B. (1984) - *La stazione sperimentale della Grotta di Bossea nel quadro delle ricerche idrogeologiche sui sistemi carsici del Monregalese*. Mem. Soc. Geol. It., 29, pp. 187-207.
- CIVITA M., VIGNA B. (1986) - *Analysis of Bossea Cave hydrogeological system (Maritime Alps, 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 différents systèmes karstiques des Alpes Liguriennes (Italie)*. Quatr. Colloque d'Hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré, Besancon, 2, pp. 381-388.
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E., VITTONI 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.



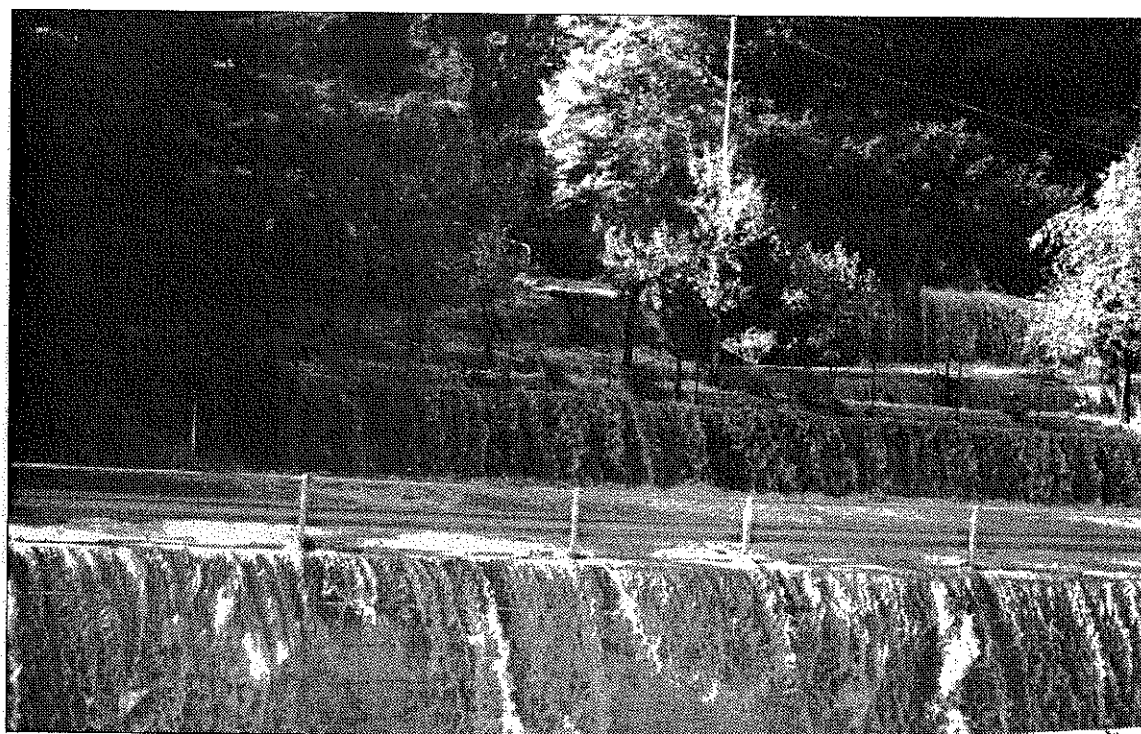


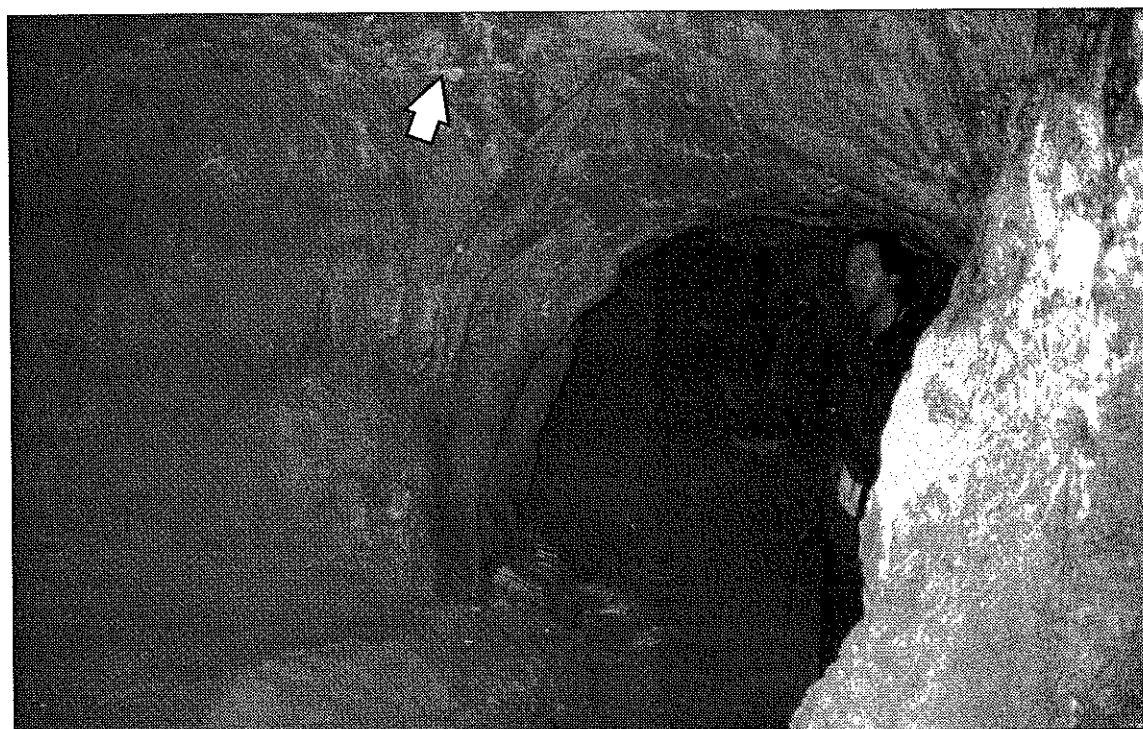
◀ Foto 3

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 interessata.





▲ 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

