

IL MONITORAGGIO AMBIENTALE NELLA GROTTA DI BOSSEA: PROBLEMI TECNICI E SOLUZIONI ADOTTATE

Guido Peano

Riassunto

Il monitoraggio ambientale nella Grotta di Bossea, iniziato a fini di studio oltre 30 anni fa e sempre condotto da operatori volontari, ha dovuto superare molte difficoltà tecnologiche ed ambientali, conseguendo un progressivo miglioramento della sua funzionalità e precisione, dalla prima sommaria strumentazione a quella assai più sofisticata dei nostri giorni. Vengono presentati nel lavoro l'impostazione e le finalità del monitoraggio nelle diverse fasi di attuazione e i problemi via via affrontati e risolti. Vengono inoltre illustrati l'evoluzione degli apparecchi in un trentennio molto fecondo di innovazioni e progressi, la strumentazione attuale ed il recente impianto di monitoraggio in tempo reale.

PAROLE CHIAVE: monitoraggio, ricerca, rilevamento dati, difficoltà ambientali, strumentazione

Abstract

ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE BOSSEA CAVE: TECHNICAL PROBLEMS AND CHOSED SOLUTIONS

The environmental monitoring of the Bossea cave, which started for study purposes more than 30 years ago and was always performed by voluntary workers, successfully overcame many technological and logistic difficulties, obtaining a progressive improvement in accuracy and functionality from the first scanty instrumentation of the beginning to the today's much more advanced one.

The setting and the aim of the monitoring, the problems faced and their solutions, the development of the instruments during 30 years rich in progress and innovation and the new equipment for a real time monitoring are here presented according to the different phases of their evolution.

KEY WORDS: environmental monitoring, research, data survey, environmental difficulties, instruments.

L'ambiente operativo

La Grotta di Bossea si apre in località omonima (in Comune di Frabosa Soprana), sul versante Ovest della Val Corsaglia (Alpi Liguri). E' ubicata nel settore Nord-Est di una vasta area carbonatica

estesa fra i torrenti Maudagna e Corsaglia, comprendente altri importanti sistemi carsici come quelli di Stalla Burch (Abissi Bacardi e Artesinera) e del Mondolé (Balma Ghiacciata, Abisso Dolly, ecc.).

Il sistema carsico di Bossea si estende dalla Conca di Prato Nevoso (ubicata sul versante Maudagna) fino all'alveo del Corsaglia, interessando un'area estesa longitudinalmente per oltre 6 km. La cavità omonima ne costituisce il settore terminale, retrostante la risorgenza (Fig. 1).

La lunghezza della grotta, per quanto oggi noto, è di circa 3 km, con un dislivello altitudinale di quasi 200 m. La cavità è molto articolata e complessa e presenta una grande varietà di ambienti, dai giganteschi saloni della zona inferiore alle profonde fore del torrente e alle gallerie fossili della zona superiore. E' interamente percorsa dal dreno principale del sistema, caratterizzato da grande dinamismo delle acque e da portate spesso ingenti. Presenta grande interesse sotto gli aspetti idrogeologico, meteorologico e biologico, che sono stati e sono tuttora oggetto di ricerche sperimentali approfondite. La grotta accoglie infatti, dal 1969, i laboratori della Stazione Scientifica di Bossea.

La zona inferiore della cavità è attrezzata turisticamente dal 1874.

Excursus storico

Il monitoraggio ambientale nella Grotta di Bossea ha avuto inizio nell'anno 1969, con l'installazione delle prime embrionali attrezzature della Stazione Scientifica del CAI di Cuneo, la periodica rilevazione di alcuni parametri fisico-chimici e l'avvio di una approfondita prospezione biologica della cavità.

Furono oggetto di studio, in questa prima fase, il collettore del sistema carsico, un'importante scaturigine denominata Polla delle Anatre ed alcuni aspetti del microclima della cavità, con il rilevamento 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. Qualche anno più tardi tali dati poterono essere correlati con i valori delle precipitazioni nel bacino di alimentazione, grazie ad una collaborazione con il Consorzio del Tanaro (Provincia di Cuneo) che portò all'installazione di un pluviografo nella Conca di Prato Nevoso.

Ad eccezione della portata del torrente, misurata in modo continuativo tramite un idrometrografo già a partire dal 1972, il rilevamento degli altri parametri nell'ambiente ipogeo, misurati manualmente in loco o tramite prelievo di campioni, ebbe luogo per diversi anni solo con cadenza periodica, legata alla presenza in grotta degli operatori volontari della Stazione Scientifica. In particolare l'acquisizione dei parametri chimici delle acque, legata all'indispensabile collaborazione del Laboratorio Chimico Provinciale di Cuneo (predecessore dell'attuale laboratorio A.R.P.A. del Piemonte) ebbe in questo periodo cadenze alquanto distanziate.

Questo primo monitoraggio della cavità, pur nei

limiti testé evidenziati, fu dunque effettuato in un periodo antecedente al recepimento di tale esigenza nelle più importanti grotte turistiche italiane. Per diversi anni fu tuttavia finalizzato alle ricerche in atto più che alla conservazione del sito ipogeo e alla sicurezza dei visitatori non essendo ancora pienamente avvertita la necessità di una tutela globale degli ecosistemi ipogei e del controllo continuativo delle loro condizioni ambientali.

Ciò consentì, comunque, 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 ed atmosferici e le variazioni della frequentazione turistica della cavità.

All'inizio degli anni '80 la progettazione della ristrutturazione turistica della grotta (realizzata poi gradualmente nei tre lustri seguenti) e i consistenti contributi per questo ricevuti da alcune pubbliche amministrazioni consentirono alla Stazione Scientifica un importante progresso nelle attrezzature di base e nella strumentazione (PEANO, 1981).

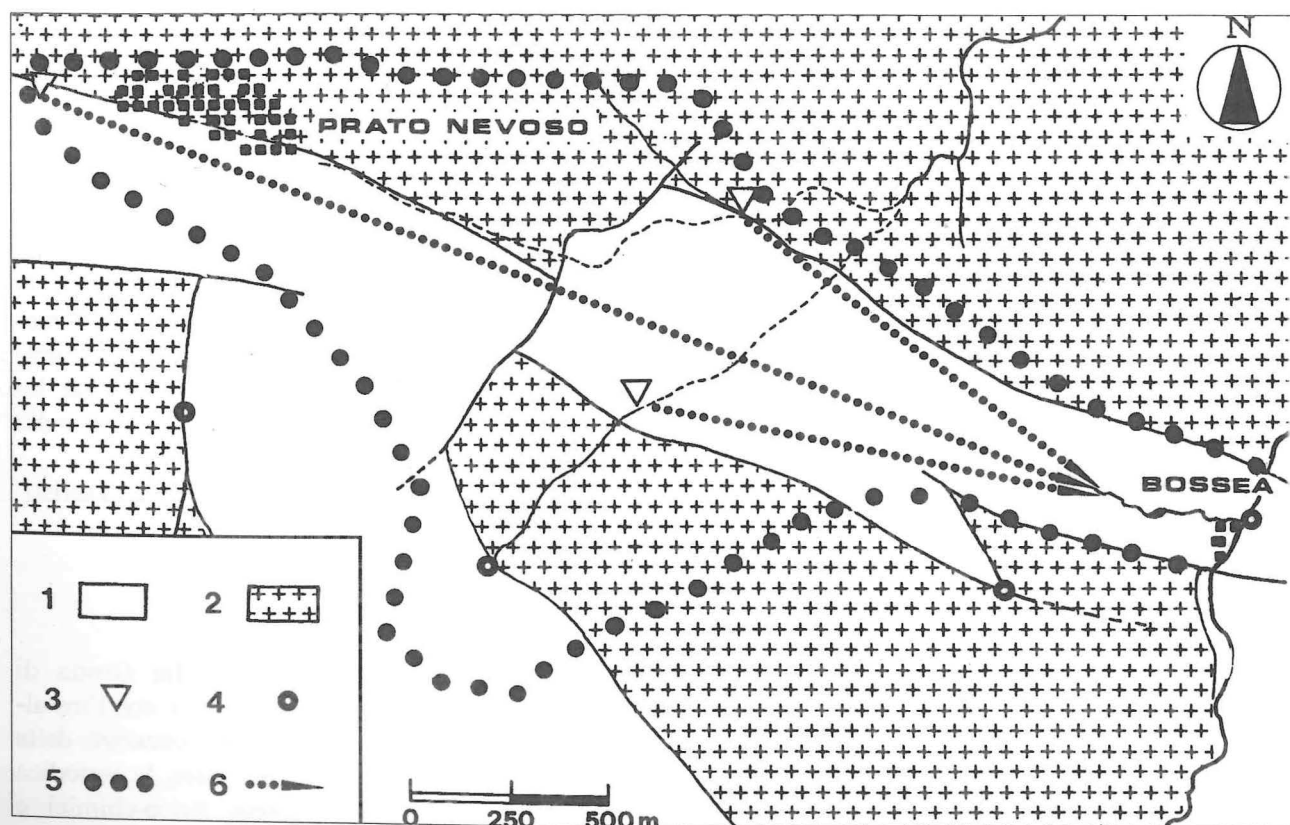


Fig. 1 - Schema idrogeologico del sistema di Bossea. 1) acquifero carbonatico; 2) basamento indifferenziato; 3) inghiottitoi attivi; 4) sorgenti carsiche; 5) limiti dell'idrostruttura; 6) collegamenti accertati con traccianti. (OLIVERO G. & VIGNA B., 1990)

Fu pertanto installato 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 temperature) e strumentazione per la realizzazione in loco di varie 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 (CIVITA *et al.*, 1984; 1991; PEANO & FISANOTTI, 1994). Anche in questo decennio il monitoraggio dei dati fu finalizzato primariamente alla conduzione degli studi intrapresi. Tuttavia si ottennero, nel contempo, ulteriori informazioni sulle condizioni ambientali della cavità, utilizzabili per il riconoscimento di eventuali alterazioni dell'ecosistema e nella prospettiva di possibili interventi di conservazione e tutela.

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 di ricerca ed un marcato incremento delle ricerche e dei parametri fisico-chimici rilevati.

In questa favorevole situazione la piena avvertenza delle esigenze di tutela e prevenzione dei danni ambientali, ormai diffusa in tutte le grotte turistiche italiane, 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 una fattiva collaborazione, tuttora in atto, con il Politecnico di Torino (Dipartimento Georisorse e Territorio) nel settore idrogeologico. A ciò seguì negli anni '90 la collaborazione con le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale del Piemonte (Dipartimento di Cuneo) e 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, fu così in grado di presentare diversi lavori, realizzati in collaborazione

con i citati enti di ricerca, concernenti gli studi effettuati su diverse tipologie di circolazioni carsiche, sulla distribuzione del diossido di carbonio e sulla diffusione e concentrazione del gas radon nell'atmosfera e nelle acque della Grotta di Bossea (AGNESOD & PEANO, 1996; CAGLIERO *et al.*, 1996; PEANO, 1996 a; PEANO & VIGNA, 1996).

Oggi proseguono con vigore, con ulteriore progresso delle tecnologie di acquisizione ed elaborazione dei dati, l'attività di studio ed il monitoraggio cautelativo della cavità (CIVITA *et al.*, 1999). Questo fervore di attività trova il suo principale fattore limitante nella inadeguatezza delle risorse finanziarie disponibili, cui non sempre può sopperire il generoso impegno dei ricercatori volontari della Stazione Scientifica.

Problemi tecnici e difficoltà ambientali

Le installazioni di base

Il monitoraggio dei dati ambientali nella Grotta di Bossea ha posto molti problemi correlati sia all'ampio respiro delle ricerche, al gran numero dei parametri rilevati ed alla quantità dei siti e dei recapiti idrici controllati, sia alla complessità topografica e morfologica della cavità, alle sue caratteristiche geologiche, alla situazione idrografica ed idrodinamica ed alle condizioni climatiche interne.

L'impostazione delle ricerche ha comportato lo svolgimento delle osservazioni scientifiche e del rilevamento dei dati nell'intera estensione della cavità, interessandone a pieno titolo anche la parte superiore ed alcuni dei suoi siti più remoti (Fig 2). In questa zona, articolata nel canyon del torrente e nei diversi livelli di gallerie fossili, le condizioni di accesso e permanenza degli operatori e di installazione, gestione e protezione degli strumenti si presentavano particolarmente difficoltose, a causa delle frequenti piene del torrente, degli abbondanti e diffusi stillicidi, dell'elevatissimo tenore di umidità e della scoscesa morfologia ambientale (Foto 1).

Il laboratorio superiore

La progressiva collocazione degli apparecchi dovette perciò essere preceduta o accompagnata dalla creazione di adeguate strutture di base quali spazi operativi protetti, ponteggi, scale, corrimano (Foto 2). Fu inoltre necessario installare condotti idrici e linee elettriche di alimentazione e di conduzione segnali, per una lunghezza complessiva di alcune migliaia di metri. In assenza di superfici orizzontali naturali furono realizzate nel canyon del torrente, ad opportuna distanza dalle acque, tre piattaforme coperte atte ad accogliere la strumentazione,

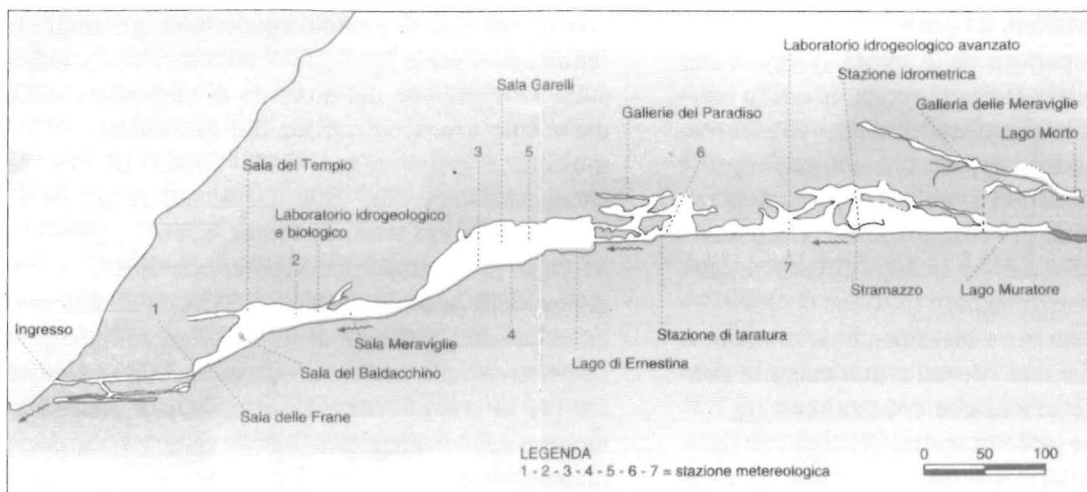


Fig. 2
Localizzazione dei
laboratori di ricerca e delle
installazioni permanenti per il
monitoraggio ambientale nella
Grotta di Bossea.

dotate di corrente elettrica.

L'altissimo livello dell'umidità relativa (98-100%) ha reso necessaria la protezione degli apparecchi tramite contenitori riscaldati elettricamente. Tale sistema di salvaguardia ha funzionato in modo soddisfacente, abbattendo l'umidità a livelli idonei, e si è rivelato in seguito efficace, se adeguatamente



Foto 1 - Il grande dinamismo delle acque del dreno principale e le ingenti variazioni di portata rendono molto interessante e non poco difficoltoso il monitoraggio idrogeologico della Grotta di Bossea.. (foto B.Vigna)

calibrato, anche per la tutela dei computer installati nel laboratorio principale.

La misurazione della portata del torrente, fondamentale termine di riferimento per l'interpretazione di tutti gli altri parametri allo studio, ha richiesto un complesso apparato, realizzato tramite un impegnativo lavoro. L'installazione è articolata in uno stramazzo in parete spessa, costruito in muratura massiccia nell'alveo del torrente (probabilmente l'unica struttura atta a resistere alle ingenti piene del torrente ed in particolare alla micidiale alluvione del '96) e da una stazione di misura sistemata un po' più a valle a cavallo del torrente. Quest'ultima accoglie l'idrometrografo e il cilindro in acciaio del galleggiante, in cui un condotto saldamente ancorato alla roccia riporta il livello delle acque nel lago retrostante allo stramazzo (Lago Loser) (Foto 3).

L'ubicazione dell'apparato di misura in questa zona di disagiata accesso è stata imposta dalla situazione geotettonica della parte inferiore della grotta, ove la frequente presenza di fratture di contatto fra litotipi diversi e di substrati permeabili presenta forti rischi di scorrimenti subalveari e scarse probabilità di convogliare l'intero flusso torrentizio nella bocca dello stramazzo.

Per una migliore comprensione delle difficoltà operative nella parte superiore della cavità, si consideri che le passerelle che consentono possibilità di accesso ai punti di misura, i condotti idrici adducanti le acque ai recapiti di analisi o al laboratorio della zona inferiore ed alcuni tratti più esposti dell'impianto elettrico, sono stati in gran parte travolti dall'alluvione del '96. In tale occasione venne pure distrutta la stazione di taratura dei termometri, al Lago delle Anatre.

Il laboratorio inferiore

Minori difficoltà si sono incontrate nella parte inferiore della cavità (attrezzata turisticamente), dove tuttavia si è dovuto svolgere un lungo lavoro per

l'installazione ed il mascheramento dei condotti idrici del laboratorio principale e della rete di alimentazione e di conduzione segnali.

La costruzione del nuovo laboratorio, decisa ai fini di svolgere le crescenti attività di ricerca in spazi adeguati e in condizioni più funzionali, ha costituito comunque il maggior impegno nella parte inferiore della cavità. Il lavoro, complessivamente ingente, è stato però distribuito in un notevole numero di anni. Installato in zona laterale alla Sala del Tempio e attiguo alla preesistente stazione biologica, il laboratorio è separato da barriere naturali rispetto a quel gigantesco ambiente (Fig.2).

La struttura non ha a tutt'oggi raggiunto il suo completamento ma è perennemente in fase di ampliamento orizzontale e verticale, per tenere il passo con il progressivo incremento della strumentazione. Lo sgombero del terreno dai grandi macigni che lo occupavano, il successivo spianamento, la pavimentazione con tavole di legno trattato e lamiere d'acciaio, la costruzione del tetto in ondolux, la suddivisione dello spazio in più settori e l'installazione di tutte le strutture di base necessarie ad una buona funzionalità hanno costituito le fasi successive della sua costruzione.

Nell'installazione, divenuta ben presto il laboratorio principale della grotta, sono state concentrate, nel limite del possibile, le attività di rilevamento dati, anche con adduzione di flussi idrici dalla zona superiore e da altre scaturigini.

Sono stati fra l'altro realizzati tre impianti di distribuzione delle acque ai diversi punti di analisi e di campionamento e due impianti elettrici alimentati da linee diverse, destinati al funzionamento degli

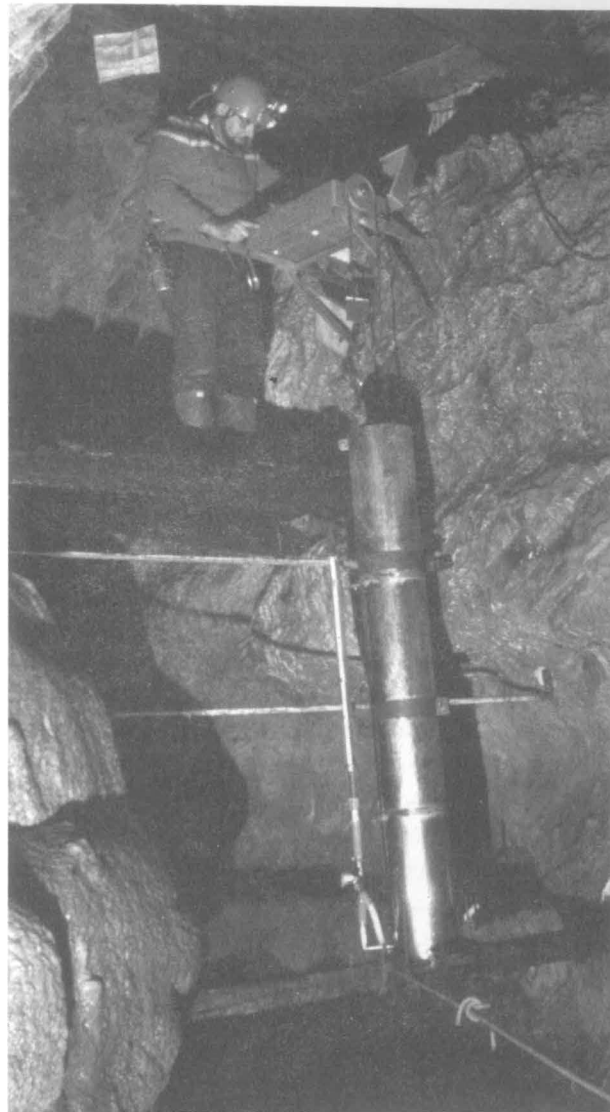


Foto 3 - La diga dello stramazzo sul Torrente Mora (dreno principale). (foto G.Viola)



Foto 2 - Il primo laboratorio idrogeologico fisso, oggi divenuto il Laboratorio Fisico-Chimico Avanzato, realizzato nel Canyon del Torrente nei primi ann'80. (foto G.Viola)

apparecchi, dei computers e degli utensili elettrici utilizzati nel corso dei lavori, nonché all'illuminazione del laboratorio.

L'alimentazione elettrica

Il problema tecnico più complesso incontrato nel monitoraggio di Bossea, pienamente risolto solo recentemente, concernente l'esigenza primaria di un'alimentazione elettrica continuativa, caratterizzata da stabilità di tensione. La rete elettrica della vallata soggetta a frequenti interruzioni di corrente e forti sbalzi di voltaggio (fenomeni legati in particolare ad eventi meteorologici quali temporali e nevicate), non ha finora garantito queste due condizioni essenziali. Ciò ha causato in passato ripetuti e prolungati arresti del funzionamento degli apparecchi ed alti picchi di tensione sulle linee interne, causati dalle scariche elettriche temporalesche od anche dal semplice ritorno dell'alimentazione in rete, con notevoli danni, a volte irreversibili, per la strumentazione.

Dopo gli insoddisfacenti esiti di precedenti tentativi e a seguito di consultazioni con tecnici ed operatori del settore, è stato adottato un complesso di provvedimenti, assemblati in modo un po' empirico, che hanno però prodotto buoni risultati. Tali interventi potranno essere esposti solo sinteticamente in questa sede: la stazione scientifica potrà tuttavia fornire ogni dettaglio a chi si trovasse in presenza di problemi consimili.

L'alimentazione elettrica del laboratorio è fornita da alcuni anni da due linee diverse che hanno origine da differenti siti. La prima, installata all'inizio degli anni '80, proviene dalla cabina esterna della grotta e si estende fino al laboratorio superiore, raggiungendo la piattaforma dell'idrometrografo. Ha sopperito fino alla metà degli anni 90 all'alimentazione di tutti gli apparecchi e punti luce in ambedue i laboratori. La seconda, installata negli anni 1993-1994, ha origine dal gruppo di continuità impiegato per l'alimentazione di emergenza del percorso turistico e raggiunge la piattaforma principale del laboratorio superiore. Era deputata in origine al rifornimento energetico del nuovo sistema di monitoraggio in tempo reale ai fini di garantire anche in caso di blackout della rete esterna la continuità dell'acquisizione e della visualizzazione dei dati. Vi sono state aggiunte in seguito varie diramazioni, installando così una sorta di impianto parallelo a quello primario, che permette di alimentare, in caso di necessità, diversi apparecchi del laboratorio inferiore e di quello avanzato, consentendo in tal modo una parziale tutela nei confronti di prolungate mancan-

ze di corrente sulla linea principale.

Ai terminali della linea primaria, nei laboratori, sono stati collocati alcuni gruppi di continuità da 1000 W destinati esclusivamente all'alimentazione di emergenza ed alla protezione dai picchi di tensione di differenti gruppi di apparecchi. Il basso consumo di quasi tutti gli strumenti consente in tal modo autonomia di funzionamento per almeno un'ora, periodo sufficiente a superare la maggioranza dei blackout. Per le interruzioni di corrente di maggior durata in assenza di operatori, fortunatamente rare, non abbiamo finora trovato rimedio. L'essenziale problema del riavvio del differenziale nella cabina esterna, dopo i frequenti distacchi correlati all'interruzione della corrente (causati da scariche elettriche o sovratensioni) è stato risolto con l'installazione di un meccanismo di riarmo automatico dell'interruttore azionato dal ritorno della corrente, mentre il riallacciamento del circuito viene ritardato per alcuni minuti da un timer, ai fini di impedire il trasferimento sulla linea del laboratorio dei picchi di tensione conseguenti al ritorno dell'alimentazione sulla linea esterna. Ciò ha permesso di evitare prolungati blocchi degli apparecchi, in precedenza risolvibili solo con l'arrivo in loco degli operatori.

La seconda linea, alimentata dal potente gruppo di continuità della grotta, pur garantendo un flusso di corrente continuativo, presentava invece un'estrema vulnerabilità alle scariche elettriche esterne che la colpivano (e la colpiscono tuttora) nel breve tratto che separa la cabina dall'ingresso della grotta e possono talora danneggiare gravemente lo stesso gruppo di continuità, come si è verificato non più di due anni or sono. Tali eventi hanno provocato ripetutamente gravi danni alle unità periferiche del sistema di monitoraggio ed alle sonde di livello.

La protezione è stata installata sulla linea, nel corridoio d'ingresso della grotta. Il sistema, di concezione artigianale e basato su consigli pratici e ragionamenti di elementare buon senso, è costituito dalla sequenza sottoesposta: 2 scaricatori di tensione ed un trasformatore di isolamento collegati da grossi cavi conduttori ad un vicinissimo picchetto di terra, profondamente infisso ed installato a regola d'arte; un differenziale a valle del precedente complesso, destinato a proteggere gli strumenti da eventuali corti circuiti sulla linea interna. Una protezione ulteriore è fornita, su questa linea, da stabilizzatori di tensione immediatamente precedenti ciascuna delle unità periferiche del sistema di monitoraggio centralizzato.

I provvedimenti adottati hanno evitato, da quasi due anni, ogni ulteriore danno agli apparecchi.

L'evoluzione strumentale

Come suaccennato la strumentazione impiegata per il monitoraggio dei diversi parametri ha annoverato, in più di tre decenni di attività del laboratorio, successive fasi di evoluzione legate a vari fattori: progressi tecnologici e offerta del mercato, disponibilità finanziarie, modalità del rilevamento, problemi incontrati ed esperienze acquisite.

Anni '70

Nel primo decennio non vi furono grandi possibilità di scelta: lo svolgimento delle attività del laboratorio si dovette necessariamente basare su pochi strumenti meccanici, quali l'idrometrografo ed il pluviografo esterno installato nel bacino di alimentazione del sistema carsico e diversi strumenti manuali. Fra questi vi erano termometri, igrometri, evaporimetri e vetreria chimica per le prime analisi titrimetriche in loco. Il laboratorio biologico, iniziato nel 1969, fu attrezzato in quel periodo di tutte le opportune strutture di base, utilizzate del resto fino ai nostri giorni: banchi di lavoro, terrari e acquari di varie tipologie e dimensioni, impianto idrico ed impianto elettrico. Fin d'allora i due flussi idrici più importanti della zona superiore della cavità, torrente e Polla delle Anatre, furono convogliati al laboratorio biologico ed agli acquari d'allevamento tramite minicondotti in seguito sostituiti con tubi di maggiore capacità. Su tale supporto la prospezione biologica della cavità fu in quel decennio attivissima, con alto incremento della conoscenza sistematica ed ecologica del popolamento faunistico dell'ecosistema.

Anni '80

Nel secondo decennio di attività ebbe luogo un'importante innovazione nel monitoraggio dei dati con l'installazione, sulla piattaforma centrale del laboratorio superiore, dei primi apparecchi elettrometrici automatizzati per la misurazione continuativa della conducibilità e del pH delle acque del torrente e di varie temperature di acqua ed aria. A ciò si accompagnò la collocazione, su di una piattaforma creata sul Lago delle Anatre, di un campionatore automatico delle acque per analisi differite, azionato da un meccanismo a molla con riduttore incorporato, autocostruito ed atto a raccogliere e conservare in appositi contenitori 24 prelievi effettuabili ad intervalli variabili (a seconda del motore usato) nel periodo minimo di un giorno o massimo di una settimana. Tale apparecchio nonostante i suoi limiti di autonomia e le avverse condizioni ambientali (stillicidio intensissimo e vaporizzazione diretta di acqua dalla cascata) consentì per oltre un decennio di ottenere una

grande quantità di dati idrochimici, fornendo altresì un indispensabile supporto alle varie colorazioni effettuate nel bacino di alimentazione del torrente. Lo strumento, oggi annoverato nell'archeologia del laboratorio, è ancora perfettamente funzionante. Sulla stessa piattaforma, sempre usufruendo della captazione dell'acqua in condotta forzata permessa dal dislivello della cascata, fu creata la stazione di taratura dei termometri. Gli strumenti campione qui impiegati hanno divisione di $1/10^{\circ}\text{C}$ o di $1/100^{\circ}\text{C}$. La definizione più elevata è richiesta per il monitoraggio delle escursioni termiche ridottissime ma assai significative di alcuni flussi idrici.

Gli apparecchi elettrometrici

Gli apparecchi elettrometrici, alimentati dalla rete del laboratorio, amplificavano i segnali inviati via cavo dalle sonde, visualizzando i dati su quadranti ad ago mobile e trasmettendoli tramite uscite analogiche a stampanti ad inchiostro che li traducevano in grafici continui su rotoli di carta millimetrata. Ancora assai arretrati rispetto agli attuali strumenti, con notevoli limiti intrinseci e parti meccaniche soggette a guasti ed usure, nonostante le protezioni e cautele adottate si rivelarono spesso impari ad un funzionamento continuativo, non controllato frequentemente, nelle condizioni estreme del canyon del torrente.

Gli apparecchi protetti in box riscaldati, non furono danneggiati da fattori ambientali, ma si constatò una notevole vulnerabilità delle sonde e dei cavi di collegamento che subirono danni dalle piene del collettore e dagli altissimi livelli di umidità.

Non giovò, fra l'altro, alla funzionalità degli strumenti l'immersione diretta delle sonde, pur protette da tubi rigidi traforati, nelle acque del torrente, con la loro esposizione continuativa all'impatto della corrente e dei materiali da essa trasportati. Tuttavia la piattaforma e lo sviluppo orizzontale del canyon non consentivano la creazione di una condotta forzata per condurre le acque in recipienti a ricambio in cui effettuare la misura.

La misura della conducibilità fu sicuramente la più precisa e continuativa (nei limiti concessi dalle citate mancanze di corrente elettrica). Risultati meno buoni si ebbero con il rilevamento del pH dove risultò assai difficile il controllo delle derive della catena di misura (elettrodo-cavo-amplificatore) che avrebbe richiesto frequentissime tarature spesso impossibili da effettuarsi: si riuscì pertanto ad ottenere serie di dati sufficientemente complete solo in qualche anno.

Il termografo a cinque canali fu collegato a sonde costituite da termoresistenze a semiconduttore,

ubicata in aria ed acqua fino a 200 metri di distanza dall'apparecchio. Il suo funzionamento fu penalizzato dall'insufficiente isolamento dei cavi di collegamento e da un'usura piuttosto rapida del tipo di sonde adottato. Qui risultò ancor più difficile la correzione delle derive, data la lontananza e la scarsa accessibilità dei punti di misura rispetto allo strumento, e non si riuscì mai ad evitare una fastidiosa e continua oscillazione dei valori inviati dalle diverse sonde, ben visibile sui tracciati, legata probabilmente a disturbi della misura e della conduzione del segnale. Pertanto, dai rilevamenti termici si poterono ottenere piuttosto valori puntuali ed indicazioni di tendenza e di evoluzione annuale delle temperature nei diversi siti monitorati, che non serie continuative di dati precisi, traducibili in grafici e tabelle.

Alle carenze del rilevamento automatizzato si sopperò in quegli anni con un intensissimo impegno degli operatori che riuscirono a prelevare manualmente una grande quantità di dati, utili ad integrare i vuoti esistenti. Nel complesso si ottennero dati ed informazioni che permisero un sostanziale progresso nel monitoraggio e nelle ricerche ed il conseguimento di importanti acquisizioni che portarono nel 1990 alla pubblicazione di un primo volume di Atti della Stazione Scientifica di Bossea, in collaborazione con il Politecnico di Torino che si era associato da alcuni anni alle ricerche.

Anni '90

All'inizio degli anni '90 erano disponibili sul mercato nuove generazioni di apparecchi automatizzati, con caratteristiche e campi d'applicazione differenziati, i cui requisiti, già assai validi, sono stati ulteriormente migliorati nel corso dell'ultimo decennio. Fu così possibile operare delle scelte fra le diverse tipologie di strumenti disponibili, in base alle esigenze della ricerca e del monitoraggio ed alle differenti situazioni operative riscontrate nelle diverse zone della cavità.

Tali apparecchi, caratterizzati da un forte avanzamento delle applicazioni dell'elettronica, presentavano aspetti nettamente innovativi quali l'uscita e la visualizzazione su display di dati digitali, l'interfaccia di comunicazione bidirezionale con p.c., la possibilità di trasferimento dei valori acquisiti in memorie elettroniche interne od esterne, l'ampia programmabilità delle modalità e degli intervalli di acquisizione, le elevate caratteristiche di risoluzione e di precisione delle misure, la riduzione delle derive, l'eliminazione o la riduzione ai minimi livelli delle parti meccaniche e delle relative usure.

In questo ambito fu effettuata una differenziazione fra la strumentazione destinata prevalentemente

alla ricerca e quella destinata primariamente al monitoraggio ambientale in tempo reale.

Nella prima categoria fu operata una prima scelta fra due tipologie di apparecchi: strumenti da laboratorio alimentati dalla rete elettrica e strumenti da campo con alimentazione autonoma e memoria incorporata. La prima tipologia, in base alla nostra esperienza, offre soprattutto i seguenti vantaggi: possibilità di comunicazione continuativa con personal computer, con trasferimento dei dati nella memoria dell'elaboratore e loro visualizzazione in tabelle e diagrammi; maggior risoluzione e precisione; maggior facilità di programmazione e taratura; minore incidenza di guasti e maggior economicità di gestione. Presenta tuttavia più facile vulnerabilità agli agenti ambientali (stillicidi ed umidità atmosferica) e maggiori problemi d'installazione: stesura delle linee di alimentazione e conduzione segnali, allestimento di contenitori riscaldati, ecc. L'arresto dell'acquisizione ad ogni interruzione di corrente, in assenza di opportuni accorgimenti, comporta periodi anche prolungati di perdita dei dati: in questo caso il problema riguarda in particolare il computer che, salvo la disponibilità di software appositi, non si riavvia come l'apparecchio con il ritorno dell'alimentazione in rete, venendo così a mancare fino all'arrivo dell'operatore la memorizzazione dei valori dei parametri allo studio.

Gli apparecchi da campo presentano il vantaggio di un'alimentazione ininterrotta, nei limiti concessi dalla durata degli accumulatori (intorno ai 6 mesi o più), la praticità del datalogger interno, generalmente dotato di grande autonomia (5-6 mesi almeno), la conservazione dei dati in memoria a tempo indefinito, la forte protezione dagli agenti ambientali (alcuni tipi sono anche totalmente sommergibili), le ridotte dimensioni, la totale mobilità che consente spostamenti in posizioni più idonee o trasferimenti in diversi punti di rilevamento. Le prime generazioni sono tuttavia più soggette a derive, necessitando di frequenti tarature, e ad arresti per guasti improvvisi. E' richiesta una notevole puntualità nella sostituzione delle batterie e nello scarico dei dati tramite pc (pena l'arresto dell'acquisizione), non sempre facile da rispettarsi quando il numero degli strumenti diviene elevato e le loro localizzazioni sono difficilmente accessibili. Salvo eccezioni non possono trasferire i dati a computer in tempo reale e non possono essere inseriti in reti telematiche. Nei modelli privi di display diviene più difficile la verifica del funzionamento effettivo, dell'eventuale presenza di derive e relativa necessità di correzione. Ogni intervento di programmazione e taratura richiede comunque la disponibilità di un p.c., ciò che spesso complica un po' le cose.

Fanno parziale eccezione a quanto suddetto le ultimissime generazioni di questa tipologia di strumenti che, in alcuni casi, possono essere sia alimentati dalla rete che autoalimentati e possono, a scelta, registrare i dati in una memoria interna più ridotta o trasferirli in tempo reale ad un computer.

A seconda del parametro misurato gli apparecchi da campo possono interporre fra sonda e strumento cavi di lunghezza compresa fra 20 e 50 metri, ciò che facilita la loro gestione in luoghi di difficile accesso.

La strumentazione attuale

Sezione idrogeologica

Nella Sezione Idrogeologica sono oggi in atto il controllo costante dei dati idrodinamici ed idrochimici del dreno principale ed una campagna di studio, molto analitica ed approfondita, sulle circolazioni idriche nei dreni minori (piccoli condotti e reticoli di fratture). Ciò comporta il monitoraggio continuativo di almeno 15 recapiti idrici, relativamente a più parametri, ed il monitoraggio periodico di diversi altri tramite prelievi manuali di acque e successive analisi in laboratorio.

Tale ricerca ha richiesto la disponibilità di un numero assai elevato di apparecchi, suddivisi fra le due tipologie indicate a seconda della localizzazione e delle situazioni ambientali.

Gli apparecchi rientranti nella prima tipologia (collegati alla rete) sono stati installati soprattutto nei due laboratori, ove possono fra l'altro fruire dei sistemi di protezione ed alimentazione di emergenza precedentemente descritti.

La sezione idrogeologica annovera diversi conduttimetri, pHmetri e termografi di questo tipo, in relazione all'alto numero dei flussi idrici monitorati.

Nel laboratorio principale sono inoltre in funzione 2 campionatori periodici delle acque. Il primo, di tipo elettromeccanico, è stato autocostruito nei primi anni '90 (Foto 4); qui il distributore girevole è azionato da un motorino elettrico con demoltiplicatore incorporato ed il flusso idrico è regolato da un'elettrovalvola: ambedue i congegni sono comandati da un timer elettronico.

L'apparecchio può riempire fino ad un massimo di 62 bottiglie, con intervalli compresi fra 20 minuti e 24 ore ed autonomia variabile fra 1 e 62 giorni. Il secondo apparecchio, di produzione industriale, è assai più avanzato, consentendo tramite un microprocessore interno l'impostazione di una gamma assai vasta di modalità ed intervalli di campionamento; può inoltre esserne programmato l'avviamento o l'arresto, al raggiungimento di determinate soglie

d'avviso, tramite i segnali ricevuti da altri strumenti di misura, quali conduttimetri, ossimetri, pHmetri, ionometri, ecc. Una batteria incorporata ne consente il funzionamento autonomo. Il suo unico limite è costituito dalla capacità di campionamento: solo 24 bottiglie per ogni cestello girevole, ciò che potrebbe richiedere, in un monitoraggio ad alta frequenza, ricambi giornalieri dei contenitori.

Nel laboratorio superiore è stato ultimamente installato un ossimetro da campo dell'ultima generazione, autoalimentato con lunga autonomia; visualizza i dati su display. Il datalogger interno consente solo un massimo di 20 giorni di memorizzazione dei dati, ma lo strumento può trasmettere i valori acquisiti ad un registratore esterno o ad un pc, a tempo indefinito. La catena sonda-cavo-apparecchio è a tenuta totalmente stagna e lo strumento può essere occasionalmente sommerso.

Gli apparecchi da campo sono dislocati in genere nelle zone più remote della cavità o comunque lontane dalle linee elettriche. In alcuni casi sono stati collocati in passato anche nei due laboratori, ai fini di assicurare quella continuità di dati allora non garantita dagli strumenti in rete; qui sono tuttora in esercizio, talora abbinati agli apparecchi da laboratorio ai fini di una maggiore sicurezza della continuità dei dati.

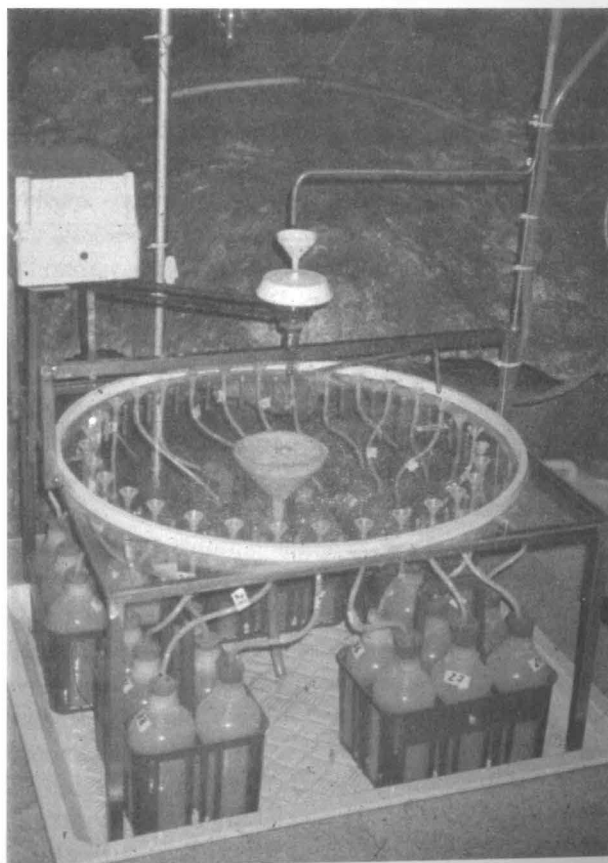


Foto 4 - Campionatore elettromeccanico delle acque, autocostruito, nel laboratorio principale. (foto G. Peano)

La tipologia in questione comprende conduttimetri, ossimetri, termografi e misuratori di livello (e quindi di portata),

Numerosi apparecchi di questo tipo sono stati collocati in siti distanti dai laboratori dal Politecnico di Torino, insieme con pluviografi tradizionali o dotati di memoria elettronica, nell'ambito della comune ricerca sulle circolazioni idriche nei dreni minori.

Sezione meteorologica

Nella sezione meteorologica, oggi concentrata prevalentemente nella zona turistica della cavità, accanto agli apparecchi automatizzati sono tuttora in uso diversi strumenti manuali, in particolare termometri a mercurio fissi e portatili ed evaporimetri in stazione fissa.

I primi sono impiegati per misure puntuali in siti disparati e per la taratura delle sonde del sistema di monitoraggio in tempo reale; i secondi consentono una misura molto precisa dell'evapocondensazione in siti diversi della cavità, relativa al periodo intercorrente fra due successivi rilevamenti.

La temperatura atmosferica viene misurata in modo automatizzato, prevalentemente tramite apparecchi da campo a lunga autonomia, dotati di sonde con sensibilità 1/10 °C.

L'umidità relativa viene rilevata in diversi punti della grotta, tramite misure puntuali effettuate mediante psicometro portatile, e, in stazione fissa tramite apparecchi da campo, di caratteristiche analoghe a quelle dei termografi, con sensibilità di 0,1% RH.

Il movimento dell'aria viene misurato tramite apparecchi da campo atti alla misura di velocità anche bassissime (fino a pochi mm/s) che possono lavorare sia in collegamento alla rete che tramite alimentazione autonoma e possono memorizzare nel datalogger interno un gran numero di dati (o trasmetterli al computer). Gli apparecchi da noi usati devono essere protetti tramite adatte custodie dallo stillicidio e dalla nebulizzazione dell'acqua in prossimità delle cascate.

Il monitoraggio dei due parametri atmosferici attualmente rilevati (CO_2 e ^{222}Rn) viene realizzato in modo continuativo tramite strumentazione da laboratorio in installazione fissa. Nel primo caso si tratta di apparecchi alimentabili solo alla rete, privi di memoria interna, che devono necessariamente trasferire i dati ad un computer. Nel secondo caso si è impiegato fino a ieri un apparecchio AlphaGUARD di alta precisione dotato di una capace memoria interna ed in grado di misurare contemporaneamente altri parametri correlabili alla concentrazione del Radon, quali temperatura, umi-

dità relativa, pressione atmosferica, velocità del vento. Tale apparecchio non è tuttavia di proprietà del laboratorio ma appartenente ad un ente pubblico con cui è in corso da anni una fattiva collaborazione in questo settore. Ha dovuto, da qualche tempo, essere ritirato dalla cavità e viene attualmente rimpiazzato da uno strumento di prestazioni più modeste. Il laboratorio di Bossea è ora in attesa di ottenere un strumento analogo da una pubblica amministrazione di area piemontese, nell'ambito di un progetto di ricerca da questa patrocinato.

Le attuali misurazioni in stazione fissa dei due aeriformi sono state precedute, attorno alla metà degli anni '90, da serie di misurazioni puntuali ripetute periodicamente in dodici diversi siti della grotta ai fini di ottenere una mappa della loro concentrazione nelle diverse zone della cavità e delle variazioni che vi si verificano nell'arco dell'anno.

In concomitanza con le misurazioni in atmosfera sono state effettuate serie di rilevamenti della concentrazione del Radon in quattro diversi flussi idrici, in differenti situazioni di portata. Si è usato il sistema a degassazione in loco di un volume noto di acqua, raccolta del gas disciolto in cella di Lucas e successivo conteggio con tubo fotomoltiplicatore.

Negli Atti del Simposio Internazionale "Grotte Turistiche e Monitoraggio Ambientale" (1996) è stata presentata una parte delle acquisizioni ottenute tramite le suddette ricerche.

Il monitoraggio in tempo reale

Nella seconda metà degli anni '90 fu installato a fini primari di tutela del sito ipogeo e dei visitatori un sistema di monitoraggio in tempo reale dei parametri ambientali esteso a quasi tutta la cavità, articolato in cinque stazioni periferiche che ricevono i segnali dalle diverse sonde, elaborandoli e conferendo i dati, via cavo, ad un computer centrale che li visualizza e li organizza in tabelle e diagrammi (Fig.3).

L'impianto è in grado di gestire complessivamente 50 sonde deputate al rilevamento di più parametri, essendo le unità periferiche in grado di ricevere ed elaborare segnali in corrente compresi nel range 4 - 20 mA.

Le disponibilità economiche non hanno consentito, in quel periodo (ed anche negli anni seguenti) di installare più di 12 sonde, che sono state destinate al rilevamento di temperature aria ed acqua in varie zone della cavità e dei livelli (traducibili in portate) del torrente e della Polla delle Anatre.

La grande importanza del monitoraggio in tempo

reale della portata del collettore fu ben evidenziata dalla repentina alluvione dell'ottobre '96, seguita alle intensissime precipitazioni dei giorni precedenti (PEANO, 1996b). In tale occasione lo sfondamento di un "tappo" di limo ostruente una strettoia del

sifone causò nello spazio di 12 minuti la risalita della portata da 4 l/s a circa 4000 l/s (o addirittura 6000 secondo altre interpretazioni dei dati) (Fig. 4). Si è così riversata nella grotta un'autentica valanga d'acqua con allagamento delle zone più

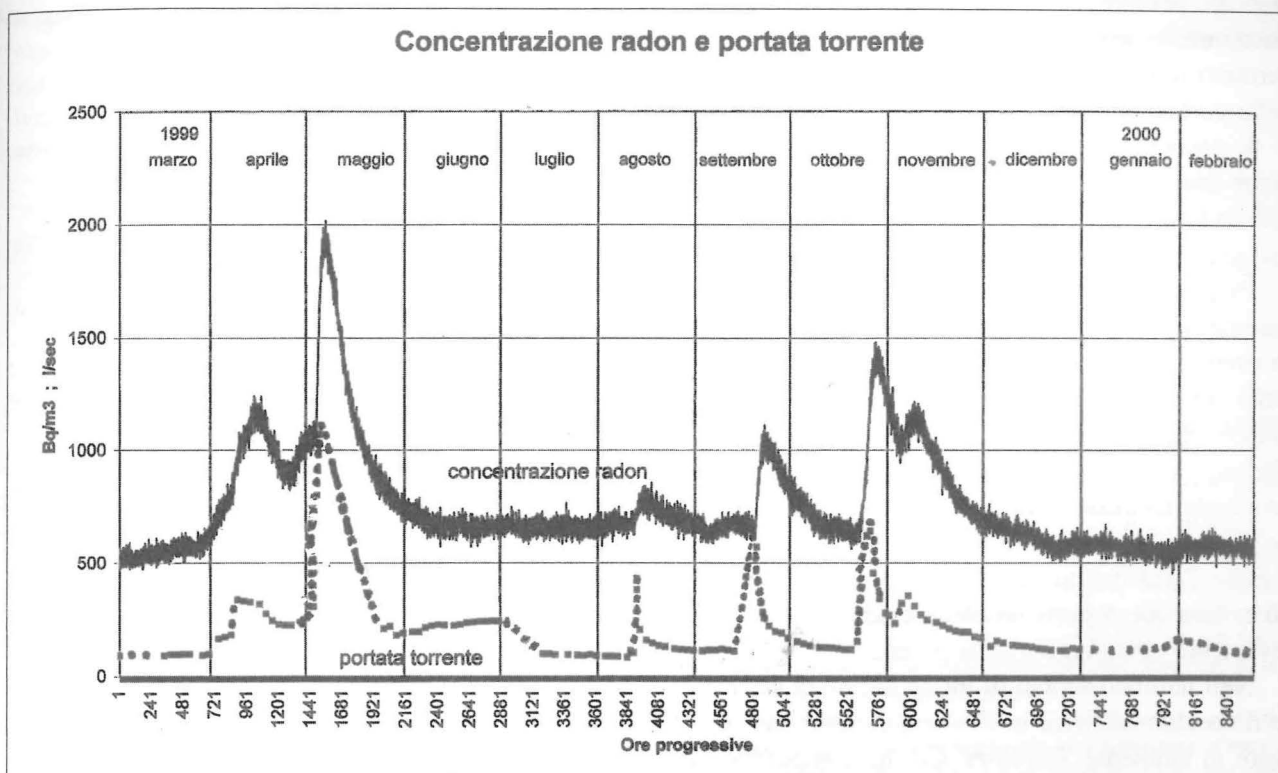


Fig. 3 - Monitoraggio continuativo della concentrazione del Radon atmosferico, in stazione fissa, nella Grotta di Bossea, negli anni 1999-2000 (Agnosod G., Peano G. & Villavecchia E., 2001).

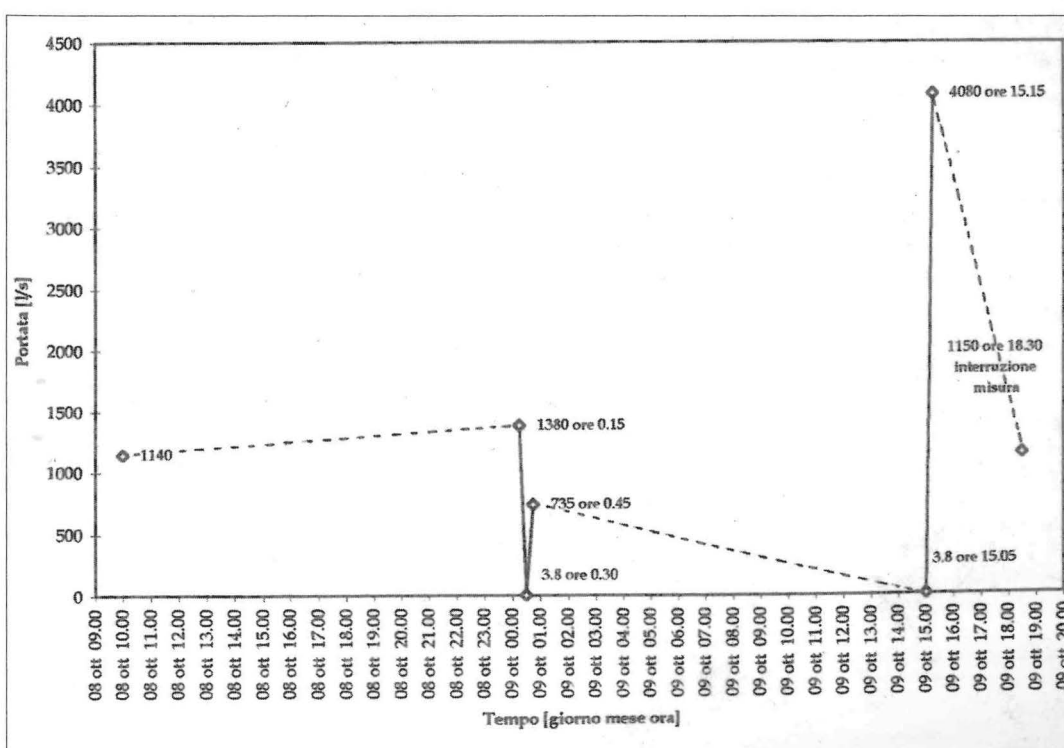


Fig. 4 - Alluvione del 9/10/1996. La portata massima reale raggiunta in occasione dell'eccezionale evento in oggetto, è stata in seguito ipotizzata da esperti del settore in misura superiore di almeno 1/3 a quella dedotta dal livello dell'acqua registrato dall'idrometrografo. Ciò in ragione della fortissima velocità e turbolenza delle acque anche a monte dello stramazzone, in tale circostanza, in luogo della situazione di flusso lento e regolare richiesta per la validità della formula di conversione livello-portata.

basse e produzione di notevoli danni. Il corridoio d'ingresso fu così trasformato per oltre tre ore in una condotta forzata e fuoriuscirono complessivamente dalla grotta, in quel periodo di tempo, dai 40.000 ai 50.000 mc di acqua.

Tale evento avrebbe potuto, salvo guai peggiori, bloccare per almeno 12 ore eventuali visitatori, fortunatamente assenti in quell'occasione. Acquisì pertanto importanza prioritaria lo stretto controllo della portata del torrente all'uscita dal sifone, ai fini di ottenere un preavviso dell'arrivo di eventuali piene anomale, sufficiente a bloccare l'introduzione dei visitatori ed a provvedere allo sgombero o alla messa in sicurezza di quelli presenti nella cavità.

Proprio il monitoraggio continuativo di questo parametro si rivelò assai difficile da realizzarsi, causa ripetuti danni alle sonde di livello ed alla relativa unità periferica. Ciò fu provocato dalle predette sovratensioni derivanti da scariche elettriche esterne, che raggiungevano la sonda immersa nel lago, con probabile chiusura di un circuito linea-acqua-terreno. Solo con l'adozione dei già descritti provvedimenti e l'isolamento della sonda dall'acqua si riuscì ad evitare questi gravi problemi e ad ottenere un rilevamento continuativo della portata.

Nell'autunno scorso fu infine deciso di sostituire il vecchio software in Dos con un moderno software in ambiente Windows. Ciò ha comportato lo smontaggio completo dell'impianto per apportarvi un complesso di modifiche e di aggiornamenti. E' stata aggiunta, in questa occasione, una dozzina di nuove sonde di temperatura e di livello e sono stati già predisposti i collegamenti per sensori di misura di altri parametri idrogeologici o meteorologici, quali conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, umidità relativa, velocità del vento, concentrazione del biossido di carbonio, ecc. Tali parametri verranno integrati nel sistema quando consentito dalle disponibilità finanziarie.

A seguito degli interventi effettuati l'impianto di monitoraggio ha acquisito maggior precisione ed efficienza, con netto miglioramento della facilità di gestione.

Bibliografia

- 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) – *Variatione 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.
- CIVITA M., GREGORETTI F., MORISI A., OLIVERO G., PEANO G., VIGNA B., VILLAVECCHIA E. & VITTONI 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.
- CIVITA M., PEANO G. & VIGNA B. (1984) – *La stazione sperimentale della Grotta di Bossea*. Memorie della Società Geologica Italiana, 29, 187 – 207.
- 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 – 1379.
- PEANO G. (1981) – *La ristrutturazione turistica della grotta di Bossea*. Atti del "Convegno Internazionale sulle Grotte Turistiche" di Borgo Verezzi (SV), 221 – 225.
- PEANO G. (1996a) – *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.
- PEANO G. (1996b) – *L'alluvione nella Grotta di Bossea*. Alpidoc, periodico Associazione Sez. CAI Prov. di Cuneo "Le Alpi del Sole" n.20, 14 – 15.
- PEANO G. & FISANOTTI G. (1994) – *Valorisation et développement touristique de la Grotta di Bossea*. Proceedings of the 1st Congress of the international show Caves Association, Genga (Italy) 1990. International Journal of Speleology 23 (1 – 2), 37 – 50.
- PEANO G. & VIGNA B. (1996) – *Le cavità 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 (Ed. Stazione Scientifica di Bossea), 333 – 356.