

BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea
22-23 giugno 2013

ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

Monitoraggio idrodinamico di un sistema carsico: risultati preliminari di un anno d'indagini alla sorgente Pollaccia (Alpi Apuane - Toscana)

LEONARDO PICCINI (*), ELENA GIANNINI (**,***), VALENTINA MALCAPI (**,***),
EMILIO POGGETTI (**,****), BRUNO STEINBERG (***)

RIASSUNTO

Da diversi anni la Federazione Speleologica Toscana sta portando avanti, in collaborazione con l'Università di Firenze, una indagine idrogeologica dei principali sistemi carsici della Toscana attraverso la realizzazione di prove di tracciamento e il monitoraggio delle sorgenti.

La sorgente della Pollaccia, presso Isola Santa (Lucca), è la maggiore sorgente carsica del versante interno delle Apuane. Si tratta di una sorgente di tipo valclusiano in cui l'acqua esce da una cavità discendente percorsa da speleosub sino a oltre 120 m di profondità per uno sviluppo complessivo di oltre 500 m. La portata è molto variabile: in occasione delle piene più violente si registrano portate valutate in oltre 15 m³/s; la portata media è invece ritenuta tra 800 e 900 l/s. L'area di alimentazione comprende zone appartenenti a strutture geologiche diverse. Le colorazioni eseguite permettono di attribuire a questa sorgente l'area del M. dei Ronchi e parte dei versanti settentrionali della Pania della Croce, il M. Freddone, la parte alta del canale delle Verghe e forse una parte del massiccio del M. Sumbra.

La Pollaccia è stata oggetto di un monitoraggio dei principali parametri chimico-fisici (livello idrico, conducibilità elettrica e temperatura) e di alcune prove di tracciamento. Il monitoraggio ha permesso di avere una registrazione in continuo dal novembre del 2011 al dicembre del 2012. Nel periodo invernale la conducibilità mostra un aumento sino alla fine di gennaio, a indicare un progressivo svuotamento delle riserve stoccate nelle fessure a rilascio più lento, seguito da una diminuzione non legata all'arrivo di acque di precipitazione. La temperatura invece tocca il minimo all'inizio di marzo, per il progressivo arrivo di acque fredde di fusione. Le variazioni di temperatura e conducibilità registrate in occasione delle piene maggiori indicano la presenza di rapide vie di drenaggio.

Nello stesso periodo è stata eseguita una prova di tracciamento immettendo il colorante nella Tana dell'Uomo Selvatico (Monte Corchia), la cui appartenenza all'area di alimentazione della Pollaccia era già stata dimostrata in precedenza. La curva di restituzione del colorante, ottenuta con l'impiego di un fluorimetro portatile, ha dimostrato una rapida connessione tra grotta e sorgente, con un percorso che per un lungo tratto deve avvenire in gallerie con flusso a pelo libero.

KEY WORDS: *idrogeologia carsica, monitoraggio idrogeochimico, sistema carsico, sorgenti valclusiane, tracciamento, Alpi Apuane.*

INTRODUZIONE

Nelle Alpi Apuane sono presenti numerose sorgenti alimentate da acquiferi carbonatici la cui rete di drenaggio sotterraneo è quasi completamente svincolata da quella superficiale e legata principalmente all'andamento dei sistemi carsici. La complessa orografia, caratterizzata da molte e profonde incisioni vallive, comporta però una frammentazione delle idrostrutture carbonatiche in numerosi sistemi idrogeologici (PICCINI *et alii*, 1999), ognuno dei quali presenta uno o più punti d'emergenza. Ciò fa sì che la maggior parte delle sorgenti carsiche abbia portate medie comprese tra qualche decina e qualche centinaio di l/s, mentre solo tre, la Sorgente di Forno, la Pollaccia e il gruppo delle sorgenti di Equi, superano i 500 l/s (PICCINI, 2002). In queste condizioni, la determinazione delle aree di alimentazione delle sorgenti maggiori è piuttosto complessa e definibile solo attraverso l'esecuzione di prove di tracciamento.

Sin dalla sua costituzione, la Federazione Speleologica Toscana si è dedicata allo studio degli acquiferi carsici e alla verifica delle connessioni tra principali grotte e sorgenti maggiori attraverso una serie di colorazioni realizzate con la collaborazione di vari gruppi toscani e non (RONCIONI, 2002).

Se le aree di alimentazione delle maggiori sorgenti cominciano a essere delineate con buona approssimazione, l'idrodinamica è sostanzialmente ancora sconosciuta o comunque basata su ipotesi non fondate su dati quantitativi. L'unica sorgente che è stata oggetto di un monitoraggio in continuo è quella di Forno (FORTI *et alii*, 1993), pur limitato a pochi mesi a causa di problemi tecnici.

La moderna tecnologia mette oggi a disposizione sonde in grado di monitorare contemporaneamente alcuni parametri chimico-fisici in modo pressoché continuo, cioè con intervalli di campionamento molto brevi, e a costi contenuti. Le sonde di uso più comune sono dotate di sensori di pressione, che misurano l'altezza della colonna d'acqua che grava sullo strumento, la temperatura e la conducibilità.

Anche per le prove di tracciamento, esistono oggi sonde portatili in grado di misurare direttamente in acqua la concentrazione dei traccianti più comunemente usati (fluoresceina, rodamina e tinopal) e di registrare i dati con autonomia di diversi mesi.

*) Dipartimento di Scienze della Terra, Via G. La Pira, 4 - 50121 Firenze.
Società Speleologica Italiana. E-mail: leonardo.piccini@unifi.it

**) Commissione Scientifica - Federazione Speleologica Toscana

***) Gruppo Speleologico Fiorentino

****) Gruppo Speleologico Archeologico Livornese

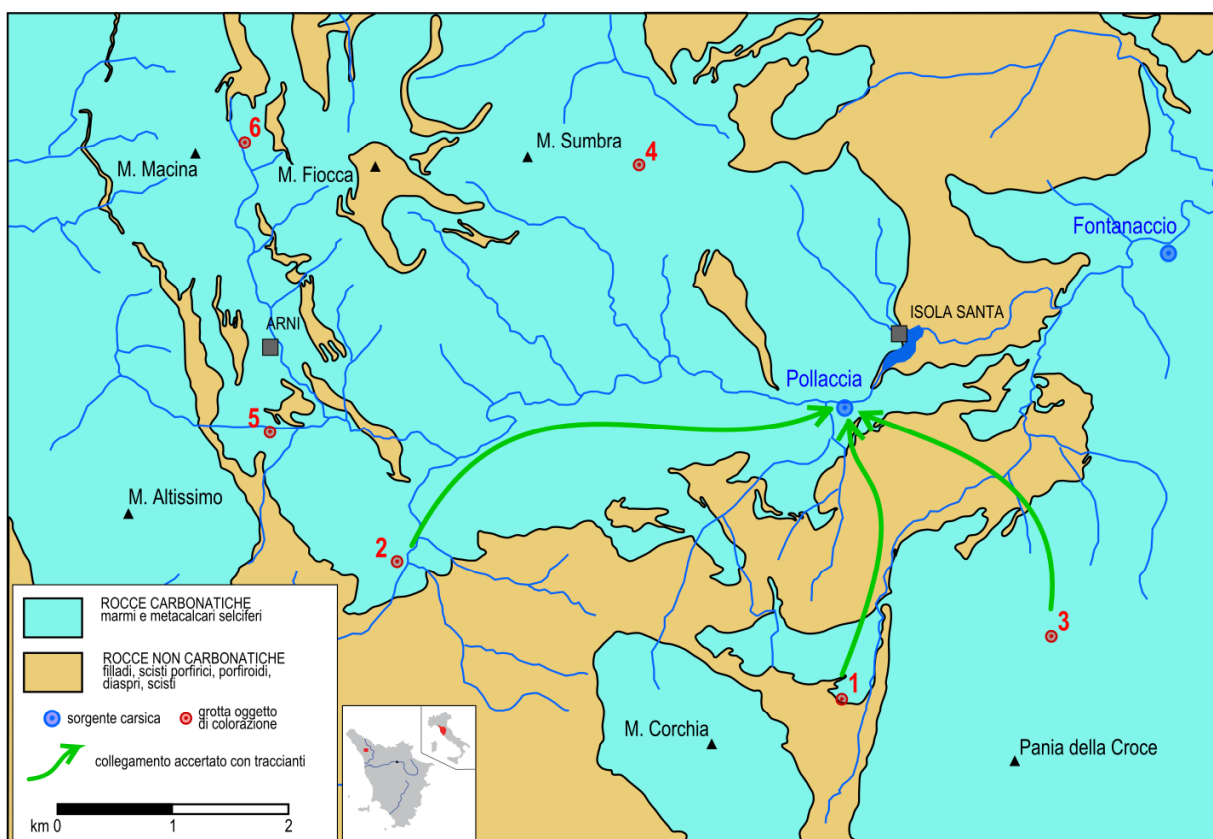


Fig. 1 – Carta idrogeologica schematica del sistema della Pollaccia, con indicate le posizioni delle sorgenti carsiche e delle grotte oggetto di prove di tracciamento. 1) Tana dell’Uomo Selvatico (T/LU 54), 2) Abisso F. Milazzo (T/LU 1001), 3) Abisso F. Orsoni (T/LU 1012), 4) Abisso del Piloro (T/LU 667), 5) Abisso Tripitaka (T/LU 1024), 6) Buca del Collettino (T/LU 826). Le colorazioni alle grotte indicate con i numeri 4, 5 e 6 non hanno dato esiti certi.

La Federazione Speleologica Toscana si è dotata dal 2011 di una di queste sonde multiparametriche e di un fluorimetro portatile che permette di monitorare il passaggio di un tracciante alla sorgente. La prima sorgente a essere monitorata è stata quella della Pollaccia, per un periodo di prova che va dal novembre 2011 a dicembre 2012. Questa breve nota riporta un’analisi preliminare dei risultati ottenuti.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO DEL BACINO DELLA POLLACCIA

La sorgente della Pollaccia si trova nella porzione mediana del bacino della Turrice Secca, poco a monte del punto in cui il torrente passa dalle formazioni metamorfiche del nucleo apuano, a quelle non metamorfiche della Falda Toscana (Fig. 1). Sulla sezione della Pollaccia, cioè all’altezza della diga di Isola Santa, il bacino è racchiuso da una corona di cime che vanno dal gruppo delle Panie, a sud, sino al Monte Sumbra a nord, passando per M. Corchia, M. Altissimo, M. Pelato, M. Macina, Alto di Sella e M. Fiocca.

In tutta l’area affiorano esclusivamente rocce appartenenti al “Complesso Metamorfico Apuano”, cioè a quell’insieme di rocce a metamorfismo di basso grado appartenenti alla Successione Toscana Metamorfica e affioranti nella finestra tettonica delle Alpi Apuane (CARMIGNANI *et alii*, 1987, 2000).

Tale complesso è suddiviso in più unità, con successione stratigrafica simile, separate da importanti dislocazioni

tettoniche. Nell’area considerata affiorano rocce appartenenti all’unità Apuana e alla sub-unità delle Panie.

La successione stratigrafica dell’unità Apuana (“Autoctono”), comprende un basamento scistoso-filladico ercinico e una serie prevalentemente carbonatica chiusa da formazioni terrigene (Scisti Sericitici e Pseudomacigno) che arrivano all’Oligocene Superiore. Limitatamente alla serie carbonatica affiorante nell’area di nostro interesse, dal basso verso l’alto, troviamo le seguenti formazioni.

Grezzoni (Norico - Retico) - Dolomie e calcari dolomitici a stratificazione grossolana, più o meno ricristallizzati, di colore grigio chiaro o rosato. Nella parte superiore la stratificazione si fa più evidente e compaiono filladi cloritiche lungo i giunti di strato. Spessore: da poche decine di metri fino agli oltre 200 del Monte Corchia.

Marmi a Megalodonti (Retico) - Marmi saccaroidi, massicci o poco stratificati, alternati a livelli dolomitici giallastri, con clorite e muscovite lungo i giunti di strato. Spessore: poche decine di metri.

Brecce di Seravezza e Scisti a Cloritoide (Retico - Lias Inferiore) - Brecce a elementi marmorei e dolomitici immersi in un cemento scistoso-arenaceo con cloritoide; filladi a cloritoide. Spessore: 30 metri al massimo.

Marmi Dolomitici e Marmi s.s. (Lias inferiore- medio?) - Marmi più o meno dolomitici alternati a strati di dolomie, che passano a marmi saccaroidi per progressiva diminuzione dei livelli dolomitici, localmente includono brecce a elementi

marmorei. Spessore: tra 100 e 300 m.

Calcarei Selciferi (Lias medio - superiore) - Metacalcari grigi ben stratificati, con liste e noduli di quarzite bianca, e rari livelli calcarenitici. Sono frequenti strati di calcescisti e di filladi carbonatiche con tracce di pirite. Spessore: poche decine di metri.

Calcescisti (Lias superiore - Dogger) - Calcescisti con intercalazioni di filladi carbonatiche. Spessore: poche decine di metri.

L'unità delle Panie ("Parautoctono") è invece costituita prevalentemente da una sequenza di breccie metamorfiche dolomitiche, dolomie cristalline, marmi dolomitici e marmi, spessa circa 800 m, che costituisce il corpo del massiccio montuoso. Nella zona superiore affiorano i Calcarei Selciferi e sottili livelli di Diaspri.

L'assetto strutturale dell'unità apuana è geometricamente molto complesso a causa delle diverse fasi deformative che si sono succedute nel tempo. La conseguenza è che le successioni si trovano a tratti rovesciate e solitamente molto inclinate, con le formazioni carbonatiche che si spingono molto al di sotto delle quote del livello di base. La sub-unità delle Panie ha invece un assetto più semplice e stratificazione poco inclinata.

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico generale, la prevalenza di formazioni carbonatiche interessate da intensi fenomeni carsici superficiali e in particolare sotterranei fa sì che i coefficienti medi di infiltrazione siano molto elevati e la circolazione prevalentemente sotterranea (PICCINI, 2007).

Le rocce carbonatiche si approfondiscono ben al di sotto delle quote del livello di base locale e la circolazione non è vincolata verticalmente da rocce a bassa permeabilità, se non localmente, che invece delimitano lateralmente i sistemi idro-carsici. La struttura è quindi tale da consentire lo sviluppo di estesi reticoli freatici anche ben al di sotto delle quote dell'emergenza.



Fig. 2 – La sorgente Pollaccia, con l'asta idrometrica in cui trova alloggiamento la sonda multiparametrica. Lo stramazzo ha una larghezza di circa 5,4 metri.

LA SORGENTE POLLACCIA

La Pollaccia (T/LU 109) è una delle più note sorgenti delle Alpi Apuane e già descritta da diversi autori che si sono occupati dell'idrogeologia di questa zona (DE STEFANI, 1895; MASINI, 1956, PICCINI, 2002). Si tratta della seconda sorgente per portata delle Apuane e la maggiore del bacino del Serchio. Situata lungo la valle della Turrite Secca a quota 540 m, la Pollaccia rappresenta la principale fonte di alimentazione del bacino idroelettrico di Isola Santa, situato poco a valle (Fig. 2).

Il primo a studiare questa sorgente è stato CARLO DE STEFANI (1895), nell'ambito di un progetto decisamente ambizioso che prevedeva di portare l'acqua sino alla città di Firenze, con un acquedotto lungo oltre 100 km, per sopperire ai problemi di inquinamento delle falde acquifere della pianura alluvionale dell'Arno.

Lo studio di DE STEFANI, oltre a fornire molte misure di portata, descrive alcune prove di tracciamento, forse le prime mai eseguite nelle Apuane, che misero in evidenza la connessione tra questa sorgente e le acque superficiali che scorrono nel canale di Arni; cosa questa che determinò l'abbandono del progetto di usare queste acque a scopo idropotabile data la presenza di inquinamento di origine umana e animale.

Le misure di DE STEFANI (1895), poi quelle del PERRONE (1902) e successivamente di MASINI (1956), mettono in evidenza la notevole variabilità della portata, che in periodo di magra scende a poche decine di litri il secondo, mentre in piena supera abbondantemente i 10 m³/s.

L'acqua esce da una lunga cavità carsica discendente, percorsa da speleosub sino a 120 m di profondità per un percorso complessivo di oltre 500 m (CARLETTI, 2001; CASATI L., com. pers.). In occasione di lunghi periodi privi di precipitazioni l'acqua non arriva a tracimare dalla bocca principale, mettendo in evidenza l'esistenza di emergenze minori lungo l'alveo della Turrite, poco a valle, che in condizioni normali passano inosservate.

Riguardo alla portata media, le misure reperibili in letteratura si riferiscono principalmente al periodo estivo, e quindi non sono rappresentative del regime annuale. CAZZANTE *et alii* (1988) riportano un valore medio di 500 l/s, PICCINI *et alii* (1999) e PICCINI (2002) danno invece un valore medio di 800 l/s. Dalle misure effettuate nel corso degli studi di RAMPI (1988) si ottiene una portata media di 870 l/s per gli anni 1987 e 1988.

AREA DI ALIMENTAZIONE

L'area di alimentazione di questa sorgente non è di facile delimitazione poiché comprende zone appartenenti a strutture geologiche diverse. Le colorazioni eseguite in zona permettono di attribuire a questa sorgente il M. dei Ronchi (PANICHI, 2005; PICCINI, 2011), la parte alta del Canale delle Verghe (MARTELLINI *et alii*, 2011) e buona parte dei versanti settentrionali della Pania della Croce (PICCINI, 1989). Con buona probabilità a queste aree va aggiunto il M. Freddone, ma al momento non vi sono colorazioni che attestino

l'appartenenza di quest'area al bacino di alimentazione della Pollaccia.

Sino a qualche anno fa si considerava buona parte del massiccio del M. Fiocca – M. Sumbra come parte del sistema della Pollaccia (PICCINI *et alii*, 1999), ma le recenti colorazioni eseguite in cavità carsiche in quest'area indicano per questo settore l'appartenenza all'area di alimentazione della sorgente di Forno (bacino del Frigido) (BELLONI & NEVIANI, 2011). Altrettanto difficile è stabilire uno spartiacque tra l'area di alimentazione di questa sorgente e la vicina sorgente del Fontanaccio, la cui portata media si aggira sui 30 l/s, che prende probabilmente acqua dal M. Rovaio e da parte della Pania Secca.

METODI E RISULTATI DEL MONITORAGGIO IDROGEOCHIMICO

Tra tutte le sorgenti delle Alpi Apuane, la Pollaccia è l'unica a essere dotata di uno stramazzo che, sebbene non in perfetto stato di conservazione e con qualche perdita, permette di ottenere valori di portata sufficientemente attendibili misurando l'altezza dell'acqua sulla soglia di trabocco.

Lo stramazzo misura 5,37 m di larghezza e il muro ha uno spessore di circa 30 cm. Si può perciò applicare una delle formule valide per stramazzi proposte in vari manuali di idraulica. Per la Pollaccia la formula utilizzata è la seguente:

$$Q = 0,41 H L (2gH)^{-1/2}$$

dove **0,41** è una costante indicata come coefficiente di efflusso, **H** è l'altezza dell'acqua sullo stramazzo, **L** è la larghezza della soglia (5,37 m) e **g** l'accelerazione di gravità (formula Bazin-Cipolletti).

Ai valori ottenuti andrebbe aggiunta la portata delle varie perdite, che in magra sono valutabili nell'ordine dei 20 l/s mentre in piena potrebbero essere decisamente superiori. Purtroppo al momento non c'è modo di stimare con sufficiente precisione l'entità delle perdite, il che rende le misure inficiate da un errore significativo quando la portata scende sotto i 100 l/s.

Nel 2011 la sorgente è stata attrezzata dalla Federazione Speleologica Toscana con un'asta idrometrica. L'asta ha lo zero idrometrico 100,5 cm sotto la quota di trabocco, valore che va tolto dalle misure lette sull'asta per ottenere l'altezza dell'acqua da utilizzare nella formula. Il posizionamento

dell'asta non è però del tutto corretto, per l'eccessiva vicinanza allo stramazzo, il che comporta una lettura inferiore alla altezza dell'acqua reale quando si supera una certa portata.

Nel novembre 2011 la Commissione Scientifica della F.S.T. ha installato una sonda multiparametrica Selumberger-CTD DIVER dotata di sensori di pressione, temperatura e conducibilità elettrica.

I due sensori di pressione misurano: uno la pressione dell'acqua della sonda immersa e l'altro la pressione atmosferica, permettendo quindi in fase di elaborazione la compensazione dei due valori. La risoluzione dei pressometri è pari a 2 mm con accuratezza di 5 mm. La temperatura è misurata da un sensore con risoluzione di 0,01 °C e accuratezza di $\pm 0,5$ °C. La conducibilità elettrica è misurata con risoluzione di 0,1 % e accuratezza di 1 % della lettura, il che significa di circa 2-3 $\mu\text{S/cm}$.

La sonda ha operato dal 5/11/2011 al 12/12/2012 con periodo di acquisizione di 15 minuti. Nella stagione estiva vi sono stati alcuni periodi privi di dati dovuti al fatto che lo strumento è rimasto a secco a causa dello svuotamento della vasca di raccolta dello stramazzo.

La figura 3 mostra il grafico delle portate ottenute applicando la formula di cui sopra ai valori di altezza misurati dalla sonda, insieme alle misure di precipitazioni alla stazione di Campagrina (Arni), che si trova a 900 m di quota nella parte occidentale del bacino della Turrite Secca. Il valore 0 indica che il livello dell'acqua è sceso sotto la soglia di trabocco e che l'acqua esce dalle perdite della vasca e dalle emergenze inferiori.

Il livello idrico oscilla tra valori pari a zero sino a un massimo di 127 cm, che corrisponde ad una portata di picco pari a 13,94 m³/s (Figura 3). Tenuto conto delle perdite e delle

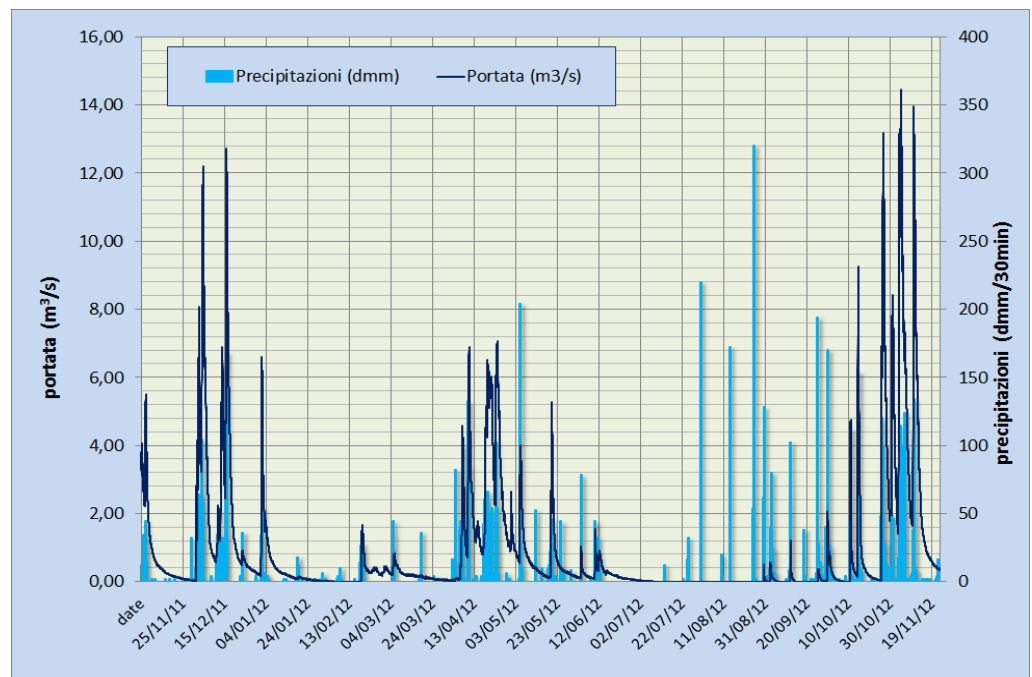


Fig. 3 – Grafico delle portate della sorgente Pollaccia nel periodo di registrazione, confrontato con le precipitazioni misurate alla stazione di Campagrina.

emergenze alveari a valle della bocca principale, l'intervallo di variazione delle portate per il periodo considerato è probabilmente tra un minimo di 0,02 e un massimo di 15 m³/s.

La portata media ottenuta nel periodo del monitoraggio è pari a circa 870 l/s.

Vale la pena sottolineare che la portata media normalizzata a un anno calcolata nel periodo 6/11/11-5/11/12 è pari a 806 l/s, mentre quella calcolata sul periodo 24/11/11-23/11/12 è di 908 l/s. Tale differenza è dovuta a una singola piena verificatasi a metà novembre del 2012, in pratica è transitato più del 10% della portata annua in pochi giorni. Questo dimostra che in sorgenti carsiche a deflusso rapido solo un monitoraggio continuo e prolungato può dare indicazioni significative sulla portata media.

Dei due valori, il secondo si riferisce a un periodo in cui le precipitazioni hanno totalizzato valori molto vicini a quelli medi. Ad esempio, nel periodo 23/11/11-24/11/12 la stazione meteo di Fornovolasco, che si trova poco a sud dell'area in esame, ha totalizzato una precipitazione di 2450 mm contro una media pluridecadale di 2405 mm (PICCINI *et al.*, 1999).

Purtroppo nello stesso periodo la stazione meteo di Campagrina, che è quella che meglio rappresenta il bacino di alimentazione della Pollaccia, ha subito varie interruzioni nella registrazione e quindi non consente un calcolo attendibile delle piogge cadute nell'anno.

Ci sono comunque validi motivi per ritenere il periodo considerato come abbastanza rappresentativo delle condizioni di precipitazioni medie di questa zona delle Alpi Apuane, sebbene distribuite in modo anomalo, per cui si può ritenere che la portata media di questa sorgente sia nell'ordine dei 900 l/s. A questo valore andrebbe aggiunta la quantità d'acqua che non viene raccolta dallo stramazzo o che esce da piccole emergenze a valle della principale e che può essere valutata intorno a 20-30 l/s in media.

La risposta della sorgente alle precipitazioni è piuttosto rapida, nell'arco di poche ore, ma mostra un andamento complesso legato probabilmente ai diversi tempi di ricarica nei diversi settori.

La temperatura mostra variazioni consistenti durante l'anno. Escludendo i periodi durante l'estate in cui la sonda è rimasta sommersa da pochi centimetri di acqua quasi ferma, che risultano con temperature superiori a 9 °C, nella maggior parte dell'anno le temperature oscillano tra 8,0 e 8,6 °C.

Le temperature minime (7,8 °C) si hanno in primavera per l'apporto di acque di

fusione fredde, mentre in pieno inverno, in mancanza di precipitazioni e di fusione, la temperatura si assesta intorno a 8 °C. La temperatura media è di 8,4 °C.

La conducibilità elettrica, che come noto è una misura del contenuto salino delle acque, oscilla tra 140 e 230 micro Siemens per centimetro. Si tratta cioè di acque poco salinizzate, che altre analisi (RAMPI, 1988) ci dicono essere acque carbonato-calceiche, con pochi solfati e cloruri. La conducibilità media è di circa 190 µS/cm, ma i valori sono soggetti a rapide variazioni in occasione delle piene maggiori.

In generale a un aumento della portata si ha una corrispettiva diminuzione della temperatura e della conducibilità, ma ci sono casi in cui avviene il contrario. Questo suggerisce una tipica configurazione a "dreno dominante" (VIGNA, 2002) con condotti di alimentazione a flusso prevalentemente a pelo libero. Questo sembra contrastare con le conoscenze dirette della sorgente ottenute dalle esplorazioni subacquee, che mostrano una cavità di tipo valclusiano con un tratto sommerso esplorato per oltre 500 m e 120 m di profondità, il che farebbe pensare che il tratto sommerso sia limitato alla parte del sistema più prossima alla sorgente e che nelle zone di alimentazione manchi invece un reticolo freatico particolarmente sviluppato, ma probabilmente le cose sono più complesse di quello che appare dal grafico generale.

Un aspetto assai interessante è l'aumento di conducibilità che si osserva durante l'inverno (in particolare da metà dicembre 2011 a fine gennaio 2012), in cui si passa da 150 a 230 µS/cm circa in un periodo di regolare diminuzione della portata (fatto salvo per una breve e piccola piena) dovuto ad assenza di piogge o di fusione di eventuali precipitazioni nevose (Figura 4). Tale aumento di conducibilità è

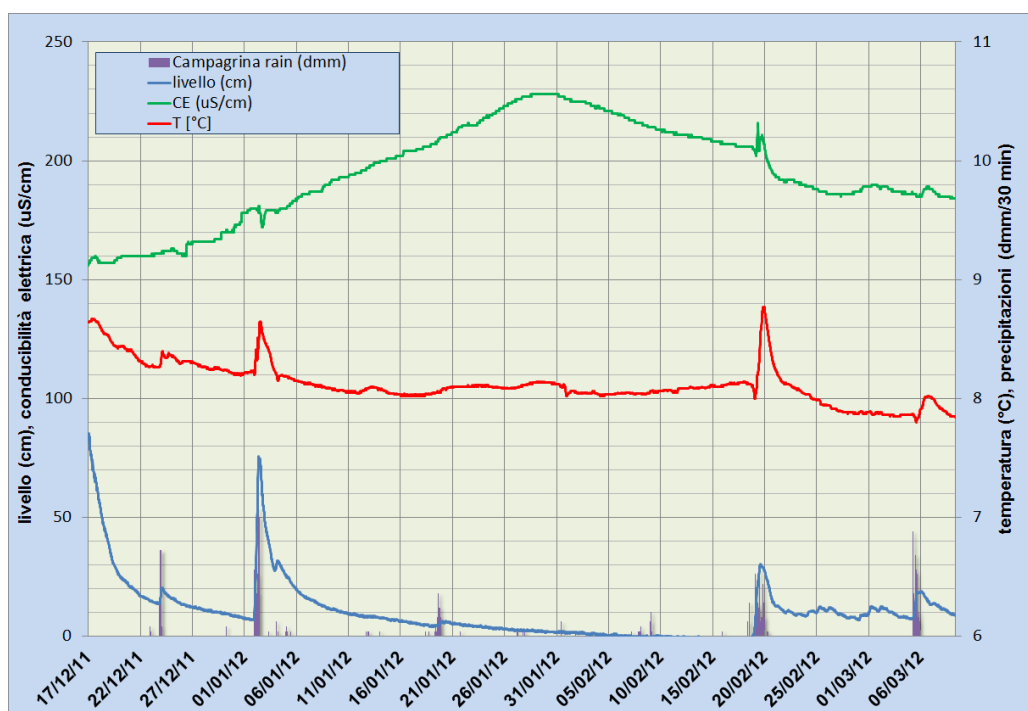


Fig. 4 – Variazioni di livello idrico, temperatura e conducibilità elettrica nel periodo invernale alla sorgente Pollaccia, precipitazioni alla stazione di Campagrina.

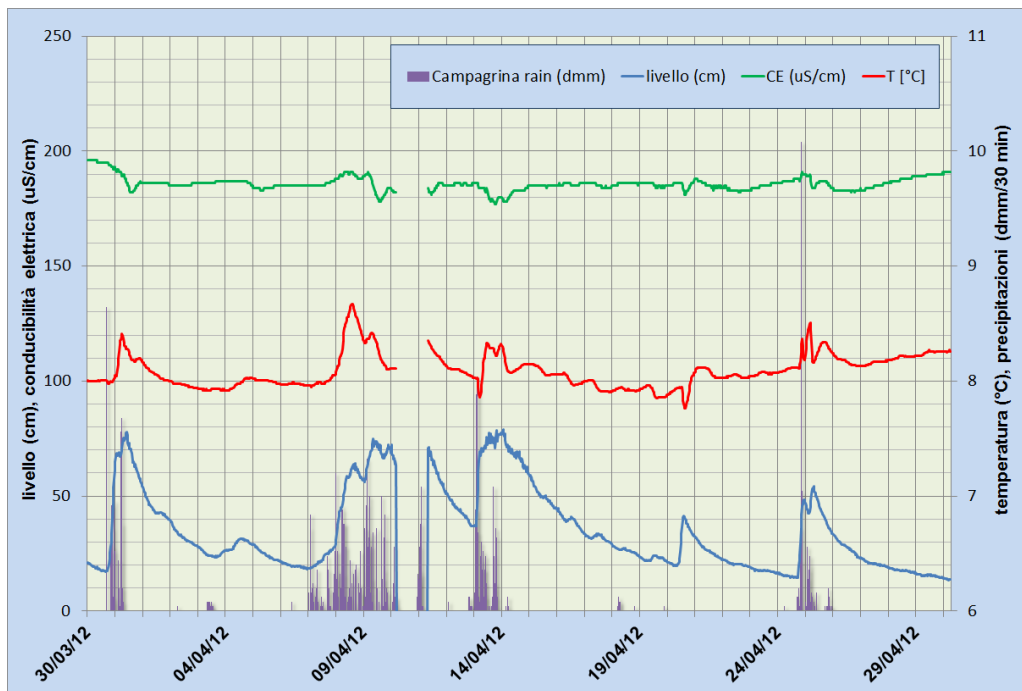


Fig. 5 – Variazioni di livello idrico, temperatura e conducibilità elettrica nel periodo primaverile della sorgente Pollaccia, precipitazioni alla stazione di Campagrina.

accompagnato da una diminuzione della temperatura.

A partire dal 28/01/2012 la conducibilità torna a diminuire con regolarità, senza che vi siano stati eventi particolari, come piene o variazioni di portata, e senza che vi siano variazioni di temperatura o evidenze di apporti di acque di fusione, che in genere si manifestano con variazioni di portata con ciclo giornaliero.

Tale comportamento è piuttosto anomalo e non ha ancora una spiegazione. Acque a maggior salinità sono solitamente attribuite a risorse stoccate nei sistemi di fratture a lento rilascio, e il fatto che la conducibilità da un certo punto in poi torni a diminuire senza variazioni degli altri parametri sembra suggerire l'esistenza di un sistema periferico di alimentazione (forse una falda sospesa) di consistenza limitata e che poi esaurisce il proprio contributo. Da notare, infine, che durante questo periodo, in occasione di due modesti aumenti di portata si ha un aumento della temperatura e della conducibilità, tipico dell'effetto "pistone" dei sistemi a circolazione freatica.

e tutte due di segno negativo, con una configurazione tipica della circolazione a dreno dominante (Vigna, 2002).

L'analisi in dettaglio di eventi di piena primaverili e autunnali, mostra nel complesso andamenti diversi.

In primavera (Figura 5), in occasione delle piene maggiori, al rapido aumento delle portate, che si realizza a poche ore di distanza dall'inizio delle piogge, si ha una lieve diminuzione della conducibilità che poi torna, passato il picco di piena, a valori simili a quelli precedenti nell'arco di pochi giorni. La temperatura, invece, aumenta visibilmente e rapidamente, per ritornare al valore precedente alla piena con il ritorno della conducibilità al valore iniziale.

In autunno (Figura 6) il comportamento è diverso. Le variazioni di conducibilità e temperatura sono più marcate

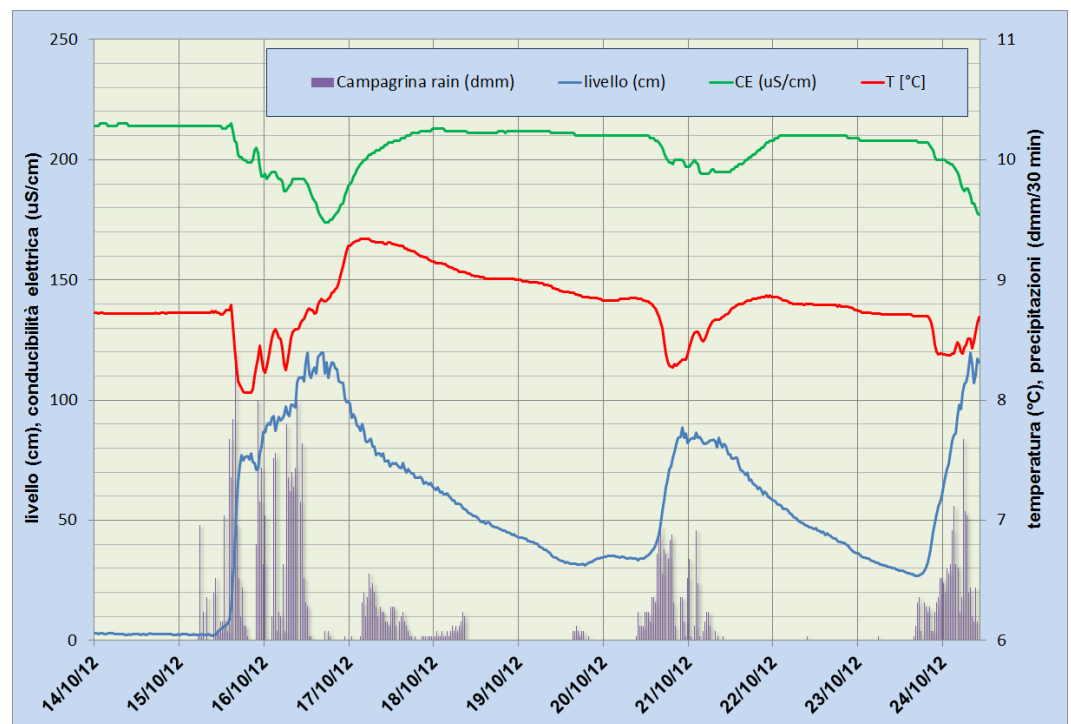


Fig. 6 – Variazioni di livello idrico, temperatura e conducibilità elettrica nel periodo autunnale della sorgente Pollaccia, precipitazioni alla stazione di Campagrina.

METODI E RISULTATI DELLA PROVA DI COLORAZIONE

Nell'aprile del 2012 sono stati immessi 2,5 kg di fluoresceina nell'inghiottitoio della Tana dell'Uomo Selvatico (54 T/LU), importante grotta situata sul versante nord orientale del Monte Corchia ma non connessa con il più famoso e vasto complesso carsico. Contemporaneamente, alla sorgente della Pollaccia è stata piazzata una sonda fluorimetrica dotata di sensori in grado di rilevare la concentrazione della fluoresceina e di altri traccianti (tra cui il tinopal), oltre che la temperatura e la torbidità. Il monitoraggio di questa prova di tracciamento ha fornito altri e utili dati sulla idrodinamica di questo sistema, seppur limitatamente alla connessione con la grotta dell'Uomo Selvatico.

Il colorante è stato immesso il giorno 25/04/2012 alle ore 12:00 ed è stato rilevato alla sorgente alle ore 14:00 circa del giorno 26/04/2012, cioè dopo sole 26 ore dalla immissione. Si tratta di un tempo molto breve, in considerazione della distanza lineare tra punto di immissione e sorgente, pari a 2,3 km. La velocità di flusso media è quindi di 88 m/h, ipotizzando un flusso rettilineo.

Quel che colpisce è però soprattutto l'andamento della curva di restituzione, che mostra un picco nettissimo e una successiva rapida diminuzione, il che significa che il colorante ha subito poca diluizione e che è stato trasportato sin in prossimità della sorgente da un sistema privo di diversioni, quale solo un flusso a pelo libero può consentire.

Tutto questo sembra indicare che per almeno il settore alimentato da questa grotta la zona satura è poco sviluppata.

CONCLUSIONI

Il monitoraggio della sorgente della Pollaccia, sebbene limitato a un solo anno, è già in grado di dare importanti informazioni sulla idrodinamica di questo sistema, anche grazie al particolare andamento climatico dell'anno 2012, caratterizzato da una lunga e anomala "siccità" invernale.

Quel che è evidente è che il sistema di drenaggio non è uniforme ma costituito da sottosistemi con caratteristiche idrodinamiche diverse. Sicuramente esiste un sistema di drenaggio rapido, alimentato anche da perdite in alveo lungo la Turrite Secca e i suoi affluenti. Parte di questo sistema a rapido drenaggio è stato recentemente esplorato nella Buca alle Comarelle (T/LU 1795) (CARLETTI, 2010), una cavità che si sviluppa sotto l'alveo della Turrite e che durante le piene maggiori viene completamente allagata.

Altrettanto rapido sembra essere il drenaggio dai versanti nord-orientali del M. Corchia (parte alta del Canal delle Verghe), come dimostra l'esito della prova di tracciamento alla Tana dell'Uomo Selvatico.

E' invece possibile che i settori settentrionali delle Panie, poiché appartenenti a una unità tettonica diversa e separata da quella apuana da una superficie di sovrascorrimento caratterizzata dalla presenza di brecce tettoniche, abbia una connessione meno diretta e che alimenti il sistema con il travaso da zone sature (eventualmente sospese) e quindi con modo e tempi ben diversi dagli altri settori del sistema.

In conclusione, la sorgente ha una risposta rapida alle precipitazioni con arrivo di acque che probabilmente s'infiltrano in vicinanza della emergenza, lungo l'alveo della Turrite Secca o di suoi affluenti, come il vicino Canale delle Frede. Dopo qualche ora iniziano ad arrivare anche acque

provenienti dai settori più lontani e da zone sature, che riportano la conducibilità ai livelli normali e fanno salire la temperatura sino a 0,5-0,6 °C sopra la temperatura precedente.

Nella maggior parte dei casi non si registra un aumento importante della conducibilità elettrica a seguito delle piene, escludendo quindi casi significativi di "effetto pistone". In realtà, in particolari condizioni si hanno lievi aumenti della conducibilità (vedi Figura 5) e in particolare della temperatura, che sono probabilmente da imputare al "pistonaggio" di sistemi periferici a circolazione di tipo freatico.

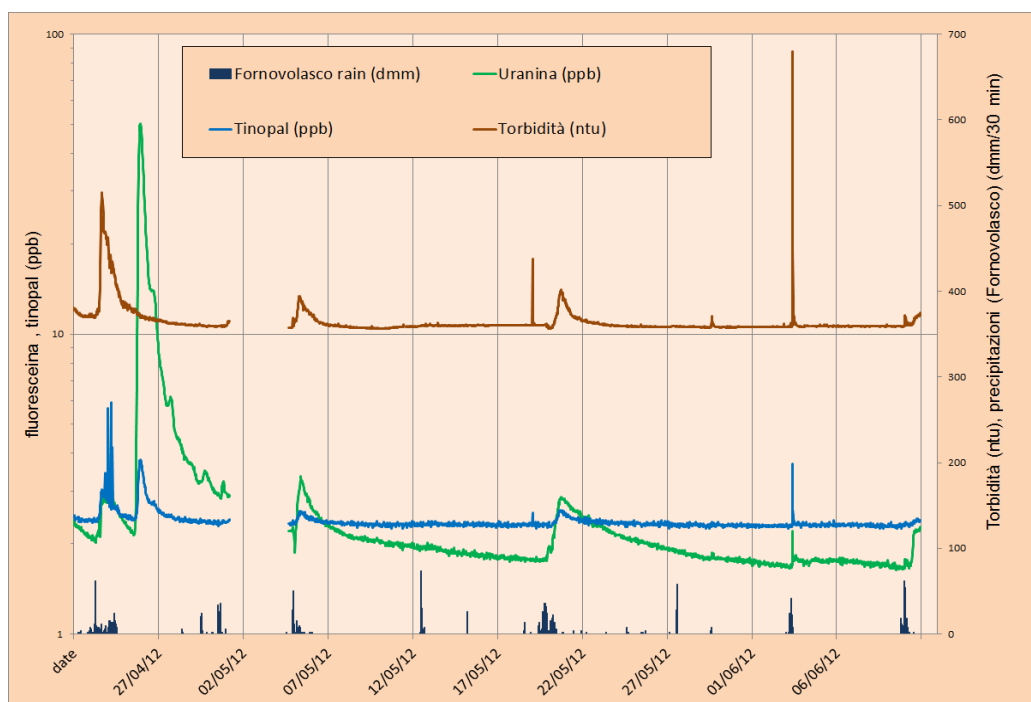


Fig. 7 – Grafico delle concentrazioni di fluoresceina, tinopal e torbidità alla sorgente della pollaccia nei giorni immediatamente seguenti alla prova di tracciamento, precipitazioni alla stazione di Campagrina.

Ulteriori studi di carattere idrodinamico e idrogeochimico e, si spera, ulteriori esplorazioni speleologiche, aiuteranno a svelare i segreti di questo affascinante sistema carsico.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano: la Federazione Speleologica Toscana per l'acquisto degli strumenti utilizzati per il monitoraggio della sorgente Pollaccia, la Regione Toscana, per il finanziamento regionale sulla speleologia che ha permesso la realizzazione dello studio, e l'Autorità di Bacino del Fiume Serchio per aver messo a disposizione i dati di precipitazione delle stazioni meteorologiche.

OPERE CITATE

- BELLONI O. & NEVIANI M., 2011 - *La colorazione alla Buca Go Fredo*. Talp, Rivista della Federazione Speleologica Toscana, 42: 37-43.
- CARLETTI C., 2001 - *Esplorazione di alcune risorgenze della Toscana*. Atti VII° Congr. Federazione Speleologica Toscana: 3-7.
- CARLETTI C., 2010 - *Grotta della Turrîte*. Talp, Rivista della Federazione Speleologica Toscana, 40: 4-13.
- CARMIGNANI L., CONTI P., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., GIGLIA G. & MECCHERI M., 2000 - *Carta geologica del Parco delle Alpi Apuane*. 1:50.000, Se.l.ca, Firenze.
- CARMIGNANI L., GATTIGLIO M., KALIN O., MECCHER, M., DI PISA A., FRANCESCHELLI M., ... & VIETTI N., 1987 - *Guida all'escursione sul complesso metamorfico delle Alpi Apuane*. CNR-Università di Siena, Summer School "Geologia e petrologia dei basamenti cristallini", Tipogr. Ed. Pisana, Pisa.
- CAZZANTE S., FORTI P., MICHELI L., PICCINI L. & PRANZINI G., 1988 - *Carta delle grotte e delle sorgenti delle Alpi Apuane*. C. N. R., Gr. Naz. Dif. Catastrofi Idrogeologiche, u. o. 4.9, pubbl. n. 105, L.A.C., Firenze.
- FORTI P., PICCINI L. & PRANZINI G., 1993 - *Le risorse idriche di emergenza delle Alpi Apuane (Toscana - Italia)*. Atti 2° Conv. Intern. di Geoidrologia, Firenze, Novembre 1993: 303-318.
- MARTELLINI D., BALDI B. & DELLA CAPANNA R., 2011 - *La colorazione alla Tana dell'Uomo Selvatico*. Talp, Rivista della Federazione Speleologica Toscana, 42: 52-57.
- MASINI R., 1956 - *Studi geoidrologici sulle acque fredde e calde (Alpi Apuane, Bacino del Serchio)*. Boll. Serv. Geol. d'Ital., 78: 709-788.
- PANICHI S., 2005 - *Lo studio idrogeologico dell'abisso Milazzo*. Talp 31: 57-59.
- PERRONE E., 1912 - *Carta Idrografica d'Italia. Corsi d'acqua del litorale toscano a N del Serchio e della Riviera Ligure*. Min. Agr. Ind e Comm., Roma.
- PICCINI L., 1989 - *Sui risultati della prova di colorazione all'Abisso F. Orsoni - Vetricia (Apuane)*. Talp, 1, Fed. Spel. Tosc.: 48-50.
- PICCINI L., 2002 - *Acquiferi carbonatici e sorgenti carsiche delle Alpi Apuane*. Atti Conv. "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo", Forno di Massa, Giugno 2002: 41-76.
- PICCINI L., 2007 - *Le sorgenti carsiche delle Alpi Apuane*. In: Comitato Alpi Apuane 2007, "Apuane e dintorni - Guida incompleta al fenomeno carsico", Tip. Amaducci, Borgo a Mozzano, Lucca: 47-68.
- PICCINI L., 2011 - *La colorazione dell'Abisso franco Milazzo*. Talp, Rivista della Federazione Speleologica Toscana, 42: 46-51.
- PICCINI L., PRANZINI G., TEDICI L. & FORTI P., 1999 - *Le risorse idriche dei complessi carbonatici del comprensorio apuo-versiliese*. Quad. Geol. Appl., 6 - 1: 61-78.
- RAMPI G., 1988 - *Indagine idrogeologica e geochimica ai fini della ricostruzione dei bacini di alimentazione di alcune sorgenti di una parte delle Alpi Apuane*. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Univ. degli Studi di Firenze, pp. 160.
- RONCIONI A., 2002 - *La Federazione Speleologica Toscana e le ricerche idrogeologiche nelle cavità carsiche delle Alpi Apuane*. Atti Conv. "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo" Forno di Massa, Giugno 2002: 77-104.
- VIGNA B., 2002) - *Monitoraggio e valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi carsici*. Atti Conv. "Le risorse idriche sotterranee delle Alpi Apuane: conoscenze attuali e prospettive di utilizzo" Forno di Massa, Giugno 2002: 23-35.

