

# Idrogeologia e monitoraggio delle sorgenti carsiche del Tavo (massiccio carbonatico del Gran Sasso) e loro implicazioni nella gestione dell'emergenza torbidità.

Loredana Ferracuti<sup>1</sup>, Gianluca Marinelli<sup>2</sup>, Sergio Rusi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra Università degli Studi "G. d'Annunzio", l.ferracuti@unich.it

<sup>2</sup>Dipartimento di Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi "G. d'Annunzio"

<sup>3</sup>Dipartimento di Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi "G. d'Annunzio", tel. 08713556158, fax 08713556146 s.rusi@unich.it Via dei Vestini, 66013 Chieti (autore corrispondente)

*Hydrogeology of the Tavo karstic springs (Gran Sasso carbonate massif, central Italy) and their implication in the management of turbidity emergency*

**ABSTRACT:** The study analyses the hydrogeology and the hydrodynamics of the karst systems responsible for the flooding and turbidity of the Tavo springs (central Apennines), consisting of the captated springs of Mortaio d'Angri and Vitella d'Oro. The flow and the chemico-physical parameters of the river and spring waters has been monitored for 14 months, whereas the hourly data concerning flow and turbidity has been analysed from 1978 to 2003. The two captations, fed by a single aquifer, also receive the contribution of a series of karst systems, responsible for the flooding that follows heavy rain. The most intense turbidity occurs at the Vitella d'Oro spring at the beginning of autumn, when the first flood cleans up the karst systems in which the clayey sediments accumulate. If the Vitella d'Oro captation tunnel is continued until it meets the limestone the problem of turbidity could be solved or lessened, however running the risk of depleting the Mortaio d'Angri springs located at higher levels.

*Key terms:* karstic springs, floods, turbidity, karst siphons, Apennines, Italy

*Termini chiave:* sorgenti carsiche, piene, torbidità, sifoni carsici, Appennino, Italia

## Riassunto

Vengono analizzate l'idrogeologia e l'idrodinamica dei circuiti carsici responsabili delle piene e della torbidità delle sorgenti del Tavo (Massiccio carbonatico del Gran Sasso), composte dalle emergenze captate di Mortaio d'Angri e Vitella d'Oro. Sono stati monitorati per 14 mesi la portata e i parametri chimico-fisici delle acque del fiume e delle sorgenti, e sono stati analizzati i dati orari di portata e di torbidità dal 1978 al 2003. Le due captazioni, alimentate da un unico acquifero, ricevono anche il contributo di alcuni circuiti carsici, responsabili delle piene che seguono le piogge più intense. Le torbidità più intense si verificano nella sorgente Vitella d'Oro all'inizio dell'autunno, quando la prima piena ripulisce i circuiti carsici in cui si accumulano i sedimenti argillosi. La comprensione delle cause dell'intorbidamento suggerisce la prosecuzione delle opere di captazione Vitello d'Oro sino all'interno della falda basale. Tale operazione però rischierebbe di depauperare le sorgenti Mortaio d'Angri poste a quote superiori e, come dimostrato dal monitoraggio, alimentate dal medesimo acquifero.

## 1. Introduzione

La ricerca riguarda l'acquedotto del Tavo (Manfredini,

1952-1980) che utilizza le acque delle sorgenti Vitella d'Oro (portata media 0,38 m<sup>3</sup>/s) e Mortaio d'Angri (portata media 0,28 m<sup>3</sup>/s), situate in prossimità del corso del fiume Tavo, sul fronte orientale del sovrascorrimento del Gran Sasso (Italia Centrale). Nel lavoro sono state analizzate l'idrogeologia e l'idrodinamica dei circuiti carsici superficiali responsabili delle piene e della torbidità che tuttora costringono l'acquedotto all'utilizzo di sedimentatori e filtri per garantire la potabilità delle acque in occasione degli eventi di torbidità più intensi. Questi si verificano solo nella captazione di Vitella d'Oro occasionalmente e dopo precipitazioni intense e durature che causano aumenti di portata. Il lavoro ha riguardato:

- i rapporti tra il fiume Tavo e le due captazioni;
- l'idrogeologia e l'idrodinamica dei differenti circuiti carsici superficiali responsabili delle piene e della torbidità;
- l'origine dei sedimenti in sospensione;
- le modalità di innesco del fenomeno della torbidità di Vitella d'Oro.

Allo scopo è stato effettuato il monitoraggio mensile delle portate e dei parametri fisico-chimici delle acque del fiume e delle sorgenti in 14 mesi (9/2002 - 10/2003) ed è stato eseguito il confronto con le precipitazioni e con

l'andamento della fusione delle nevi. Inoltre sono state analizzate e confrontate le serie storiche di registrazioni analogiche delle portate e della torbidità di Vitella d'Oro per un periodo di ventisei anni (1978 – 2003).

## 2. Inquadramento geologico e idrogeologico

Il massiccio carbonatico del Gran Sasso è parte di una catena a pieghe e sovrascorrimenti strutturatasi dal Messiniano al Pliocene sup., evolutasi nell'ambito del sistema catena-avanfossa migrante verso l'avampaese adriatico (Calamita et al., 2002 e relativa bibliografia). L'ubicazione delle sorgenti e la circolazione idrica sotterranea sono strettamente correlate all'assetto stratigrafico e strutturale (Celico, 1979 e 1983; Boni et al., 1986; Petitta & Tallini, 2002). Nell'area delle sorgenti (fig. 1) è possibile riconoscere i termini appartenenti a tre distinte unità stratigrafiche sovrapposte, con vergenza nord orientale, tramite i relativi sovrascorrimenti: l'Unità Gran Sasso (successione di scarpata carbonatica giurassico-eocenica), l'Unità Laga e l'Unità Cellino (derivanti dal progressivo riempimento delle avanfosse strutturatesi al fronte della catena nel miocene superiore). I "Conglomerati di Rigopiano", fagliati e piegati in una stretta sinclinale che fronteggia l'alta valle del fiume Tavo, si sono depositati in

un bacino satellite del Pliocene inferiore e suturano i principali fronti di sovrascorrimento. Il loro spessore, supera i cento metri. Queste unità possono essere raggruppate, in funzione della permeabilità, in quattro complessi idrogeologici (fig. 2): il complesso calcareo, permeabile per fratturazione e carsismo, sede della falda di base; quello dell'unità della Laga (aquicluda); il complesso marnoso delle Calcareniti di M. Fiore, impermeabile relativo (acquitard); quello dei Conglomerati di Rigopiano, permeabili per fratturazione e carsismo.

## 3. Studio delle sorgenti e dell'idrodinamica della sorgente Vitello d'Oro

Il monitoraggio delle portate e dei parametri chimico fisici delle acque del fiume Tavo e delle sorgenti Mortaio d'Angri, hanno permesso di individuare consistenti scambi idrici tra il complesso calcareo e quello dei conglomerati di Rigopiano che operano solo un parziale tamponamento dell'acquifero (fig. 2). Il fosso Rigopiano, e le altre zone con i conglomerati in affioramento sono aree di infiltrazione, come testimoniano la presenza di un inghiottitoio lungo il corso del torrente stesso e le infiltrazioni in alveo lungo il corso del fiume Tavo (fig. 3).

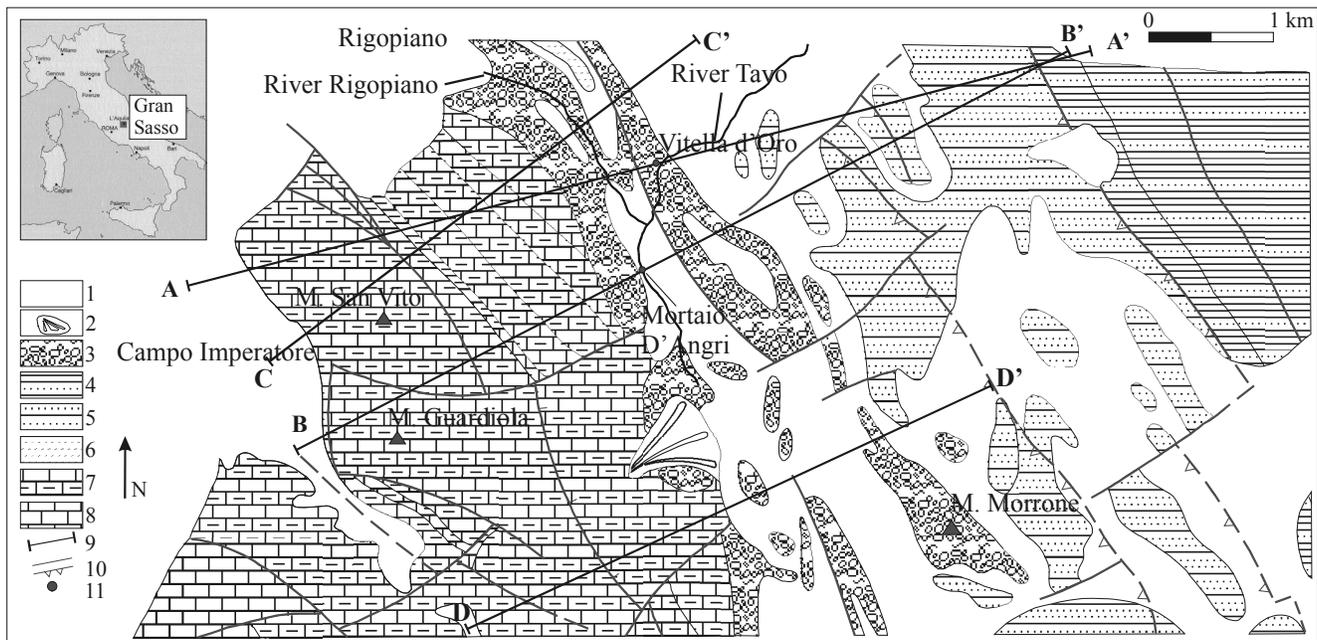


Figura 1 - Carta geologica dell'alta valle del fiume Tavo (BIGI et al. 1995, modificata) - 1) coperture; 2) conoidi alluvionali; 3) "Conglomerati di Rigopiano" (Pliocene inf.); 4) Unità arenaceo pelitica del Cellino, (Pliocene-Messiniano sup.); 5) Unità pelitico arenacea della Laga, (Messiniano sup.); 6) marne siltose delle "Calcareniti di M. Fiore", (Tortoniano-Messiniano); 7) successione carbonatica di scarpata del Gran Sasso (Cretacico sup.- Lias) 8) "Calcarea Massiccio", Lias inf.; 9) tracce sezioni; 10) faglie e sovrascorrimenti; 11) captazioni

*Geological scheme of Tavo high valley: 1) overburdens; 2) alluvial fan; 3) "Conglomerati di Rigopiano" unit (lower Pliocene); 4) "Cellino" arenaceous-pelitic unit, (Pliocene - upper Messinian); 5) "Laga" pelitic-arenaceous unit, (upper Messinian); 6) siltstone and marls of "Calcareniti di M. Fiore" unit, (Tortonian - Messinian); 7) slope carbonate sediments of Gran Sasso (upper Cretaceous - Lias) 8) "Calcarea Massiccio" limestone unit (lower Lias); 9) cross sections; 10) faults and overthrusts; 11) captures*

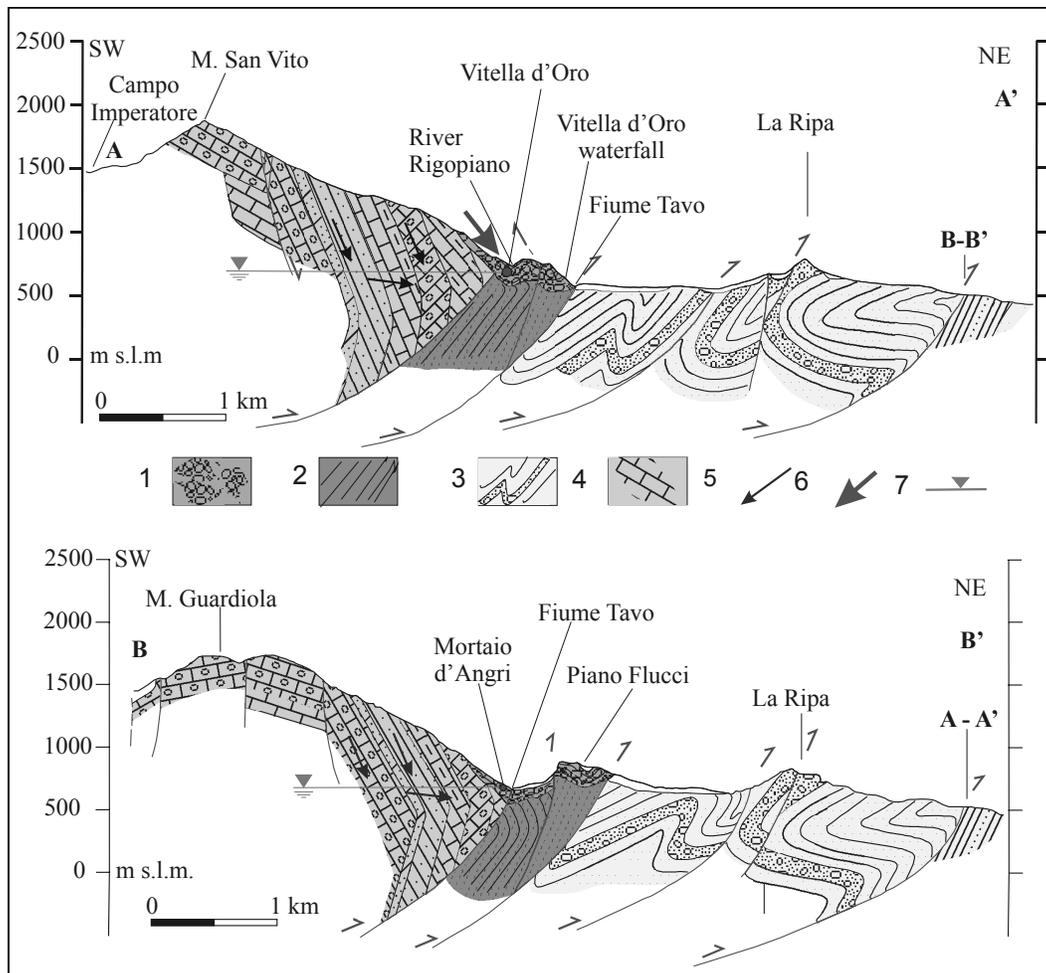


Figura 2 - Sezioni geologiche ed idrogeologiche. 1) complesso dei “Conglomerati di Rigopiano”, 2) complesso delle “Calcareniti di M.Fiore”, 3) complesso dell’Unità Laga, 4) Complesso calcareo, 5) Circuiti carsici responsabili delle piene e circolazione di base, 6) Circuiti carsici responsabili della torbidità 7) Quota sorgenti (661,4 m Vitella d’Oro - 675 m Mortaio d’Angri) e presunta sup. di falda  
*Geologic - hydrogeologic cross sections. 1) Conglomerati di Rigopiano complex, 2) Calcareniti di M.Fiore complex, 3) Laga and Cellino complex, 4) calcareous complex, 5) karstic conduits responsible of the floods, 6) karstic conduits responsible of turbidity, 7) Springs altitude (661,4 m Vitella d’Oro - 675 m Mortaio d’Angri)*

L’acqua circolante nei Conglomerati di Rigopiano, oltre ad alimentare il Tavo, viene veicolata attraverso circuiti carsici verso la captazione di Vitella d’Oro; in passato invece sgorgava direttamente dall’omonima cascata lungo il corso del fiume.

I due gruppi sorgivi Mortaio d’Angri e Vitella d’Oro, come confermato anche dalle quote di emergenza, dai parametri idrodinamici ( $\alpha$  Mortaio d’Angri = 0,004 g-1,  $\alpha$  Vitella d’Oro = 0,005 g-1), dal confronto tra temperatura e conducibilità elettrica, dalle analisi chimiche e dai rapporti caratteristici, traggono alimentazione dallo stesso acquifero, ovvero dalla falda di base del Gran Sasso.

L’analisi delle serie storiche delle portate e il confronto con le precipitazioni, nonché i dati del monitoraggio dei parametri fisico chimici delle acque, hanno evidenziato il carattere carsico delle sorgenti, e l’esistenza di alcuni circuiti carsici superficiali che si sovrappongono alla

circolazione di base.

Per lo studio dei circuiti carsici superficiali di Mortaio d’Angri si è ricorso al confronto tra le precipitazioni e gli idrogrammi giornalieri storici, da cui è emerso che le piogge più intense sono immediatamente seguite da un evento di piena direttamente proporzionale all’intensità e alla durata delle precipitazioni; i circuiti superficiali riescono a provocare delle variazioni apprezzabili di portata solo per piogge che durano più giorni consecutivi, in almeno uno dei quali cadono più di 20 mm d’acqua; negli altri casi gli aumenti di portata non sono apprezzabili. La captazione di Mortaio d’Angri non è interessata dalla torbidità.

### 3.1 Monitoraggio di torbidità e portata

Lo studio dei circuiti carsici che raggiungono la sorgente Vitella d’Oro è avvenuto mediante l’analisi e il confronto tra le serie orarie dei dati storici di torbidità e portata registrati. È stato così possibile constatare che tra le due

grandezze non esiste una relazione biunivoca; sebbene le torbidità siano sempre precedute da una piena, non tutti gli aumenti di portata innescano una torbidità. Si è visto inoltre che il trasporto solido segue le piene con un ritardo variabile tra le 0 e le 9 ore (moda pari a 3 ore). Lo studio eseguito ha inoltre documentato l'esistenza di più circuiti responsabili della torbidità che nell'ambito di un solo evento di piena può avere fino a quattro episodi torbidi successivi. La moda del ritardo tra l'inizio di una torbidità e il primo massimo ammonta a 3 ore; mentre tra il primo minimo relativo e il secondo massimo relativo di una torbidità intensa, passano tra le 6 e le 11 ore. Informazioni queste, importanti in funzione della gestione delle crisi di torbidità, perché permettono di fare previsioni sulla durata della crisi e programmare così il ripristino delle normali condizioni di erogazione dell'acqua, senza dover ricorrere ad un eccessivo sfruttamento di risorse integrative. Se ad esempio dopo 6-11 ore dal primo minimo relativo nella curva della torbidità, non è stata oltrepassata la soglia di allarme, la crisi è terminata, ed è possibile ripristinare l'erogazione dell'acqua senza dover attendere oltre (fig. 4).

**3.2 Monitoraggio di portata-torbidità-precipitazioni**

Ulteriori informazioni sono state dedotte dal confronto tra i dati storici di portata, torbidità e precipitazioni (fig. 5 e 6). A testimonianza dell'esistenza di una complessa circolazione superficiale si è osservato che in concomitanza o con un giorno di ritardo dal loro inizio, tutte le piogge provocano delle piene o degli aumenti di portata proporzionali alla loro intensità e durata. Si è visto inoltre che sono necessari 2 giorni di precipitazioni consecutive per causare una torbidità in grado di generare una crisi, e 3 per una di intensità inferiore. Come per le piene, anche l'intervallo temporale tra piogge e arrivo della sospensione è nullo, o ammonta al massimo ad un giorno per gli eventi

minori.

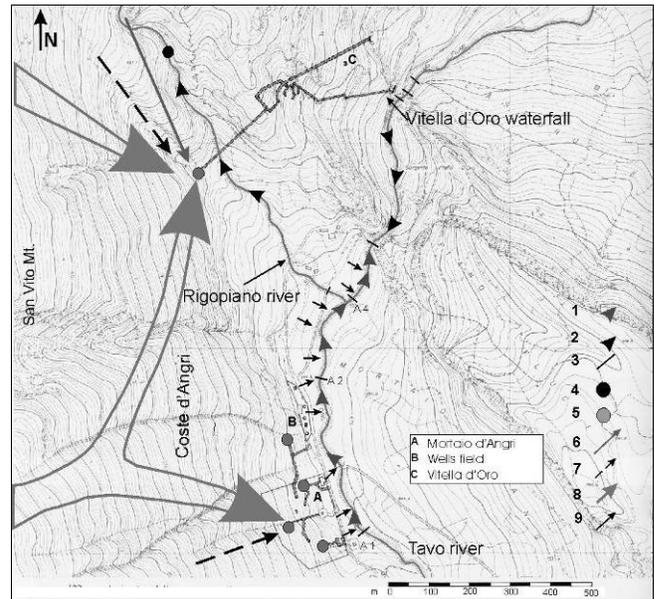


Figura 3 - Schema idrodinamico. 1) incrementi in alveo 2) decrementi in alveo 3) punto di misura 4) inghiottitoio 5) captazioni 6) circuito carsico responsabile della torbidità, proveniente dalla zona di Rigopiano, o dal Fosso Rigopiano 7) circuito carsico 8) circolazione legata alla falda di base 9) scambi idrici sotterranei tra il complesso carbonatico e quello dei conglomerati

**Hydrodynamic scheme.** 1) Linear springs, 2) decrease of discharge in river bed, 3) sections of discharge measurement, 4) insurgence, 5) captures, 6) karstic circuit responsible of turbidity from Rigopiano river or Rigopiano zone, 7) karstic circuit, 8) directions of the basal flow, 9) subterranean flow from calcareous complex to Conglomerati di Rigopiano complex

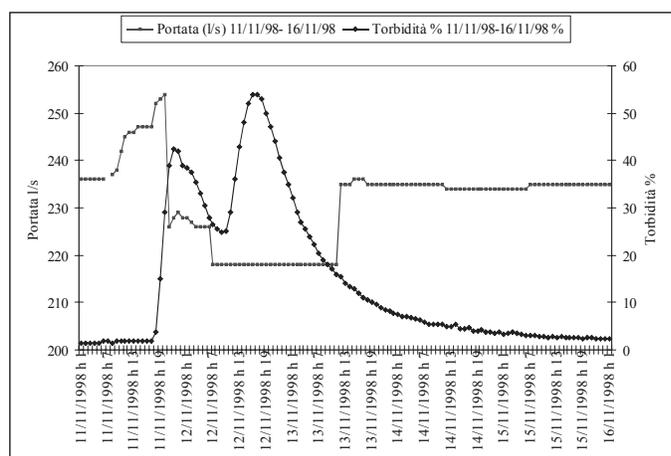
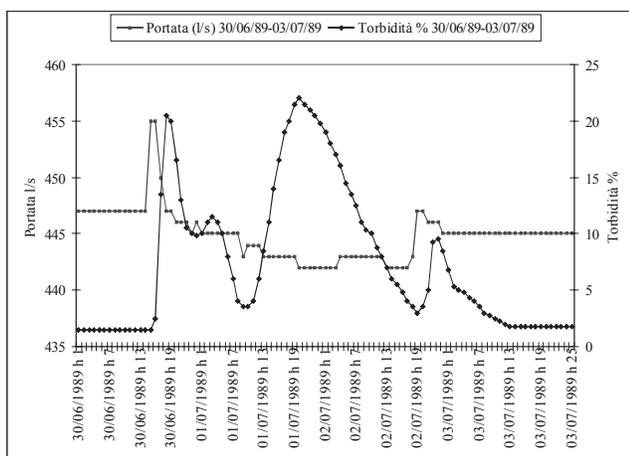


Figura 4 – Esempio di confronti tra dati orari di portata (l/s) e di torbidità (%)  
*Example of comparison between hourly data of discharge (l/s) and turbidity (%)*

Tuttavia non esiste una relazione biunivoca nemmeno tra precipitazioni e torbidità; mentre ogni torbidità è

preceduta dalle piogge, e di conseguenza dalle piene, non è vero che ogni volta che piove si verifica l'arrivo della

sospensione alla sorgente. Non esiste inoltre una relazione tra le precipitazioni massime annuali e le torbidità più intense, neanche quando queste sono inserite in un contesto di più giorni piovosi. Tuttavia statisticamente il maggior numero di torbidità in grado di generare una crisi si verifica ad ottobre e a novembre, alla fine del periodo di magra, e le precipitazioni più intense possono non coincidere con tali

torbidità. Dopo una di queste grandi torbidità inoltre, anche se a distanza di giorni o settimane si verificano precipitazioni elevate, queste non riescono a provocare una seconda torbidità di intensità pari o superiore alla prima. In genere bisogna attendere almeno un mese per un'altro evento che faccia scattare le condizioni di emergenza.

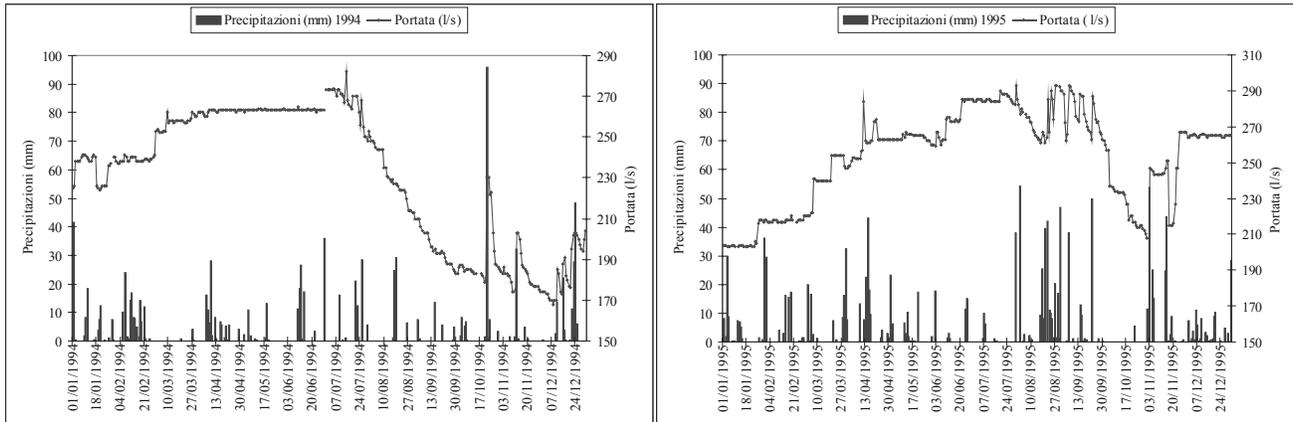


Figura 5 – Esempi di confronti tra dati giornalieri di precipitazioni (mm) e portata (l/s)  
*Example of comparison between daily data of precipitation (mm) and discharge (l/s)*

Le suddette osservazioni hanno permesso di comprendere le modalità con cui si esplica il fenomeno della torbidità e l'origine dei sedimenti in sospensione. Non essendoci infatti una relazione biunivoca tra piene e torbidità, è da escludere che la sospensione possa derivare dall'infiltrazione di acqua già carica di sedimenti, ed è invece probabile che questi vengano acquisiti nel tragitto sotterraneo. L'origine dei sedimenti in sospensione è da ricercarsi pertanto nei livelli argillosi, contenuti all'interno della formazione dei Conglomerati di Rigopiano che sono soggetti a vari cicli di imbibizione ed essiccamento. Il meccanismo con cui si esplica il fenomeno della torbidità sarebbe quindi una specie di pulizia dei condotti carsici nei conglomerati.

È probabile che i condotti carsici in cui si raccolgono i sedimenti fungano da sifone, o da serbatoi di decantazione, e che la pulizia dei circuiti carsici consista nello svuotamento improvviso di uno o di alcuni di essi. È possibile ipotizzare anche che il numero dei massimi di torbidità dipenda dall'esistenza di più circuiti sifonanti che si attivano in sequenza o da più serbatoi che si svuotano in sequenza. Queste ipotesi sono supportate dall'osservazione che il tempo trascorso tra l'inizio di un evento di torbida e il suo massimo è sempre lo stesso e dal fatto che c'è corrispondenza tra l'andamento dei grafici di portata e di torbidità. Il numero dei massimi va da uno a quattro, ma le fasi principali sono due.

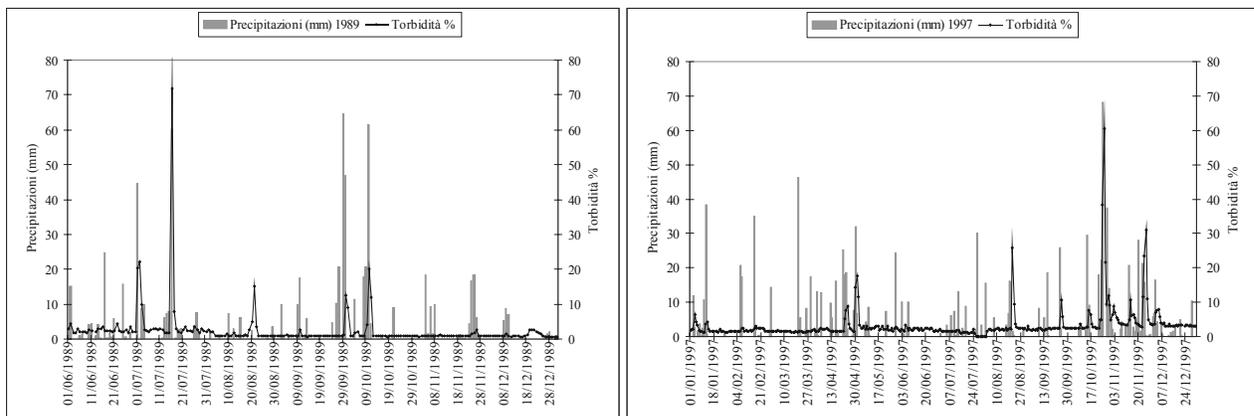


Figura 6 – Esempi di confronti tra dati giornalieri di precipitazioni (mm) e di torbidità (%)  
*Example of comparison between daily data of precipitation (mm) and turbidity (%)*

#### 4. Conclusioni

È stato possibile individuare i caratteri di una complessa circolazione superficiale i cui effetti si sovrappongono alla falda di base del Gran Sasso (fig. 3). Sono state riconosciute due tipologie di circuiti: quelli responsabili delle piene e i sifoni carsici responsabili della torbidità. La circolazione carsica che veicola le acque di infiltrazione verso le sorgenti Mortaio d'Angri avviene all'interno della dorsale carbonatica alle spalle delle sorgenti, mentre i circuiti che interessano Vitella d'Oro sono almeno in parte localizzati

all'interno dei Conglomerati di Rigopiano. I condotti carsici responsabili degli episodi annuali di torbidità dovrebbero essere contenuti integralmente all'interno della formazione dei Conglomerati di Rigopiano, e riunirsi alla circolazione principale solo in prossimità della captazione. Proseguendo la galleria di captazione di Vitella d'Oro fino ad incontrare i calcari si potrebbe risolvere o attenuare il problema della torbidità correndo però il rischio di depauperare le sorgenti Mortaio d'Angri ubicate a quote superiori.

#### Bibliografia

- Bigi S., Calamita F., Centamore E., 1995. Carta geologica strutturale dell'area compresa tra il Gran Sasso d'Italia e il F.Pescara, scala 1:50.000, "Tipografia S.G.S", Roma.
- Boni C., Bono P., Capelli G., 1986. Schema idrogeologico dell'Italia Centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012, Carte Idrogeologiche, Scala 1 : 500 000.
- Calamita F., Scisciani V., Adamoli L., Ben M'Barek M., Pelorosso M., 2002. Il sistema a thrust del Gran Sasso d'Italia (Appennino centrale). Studi geologici camerti, Nuova Serie 1/2002, 19-32.
- Celico P., 1979. Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale. Memorie e Note dell'Ist. di Geol. Appl., 14, 1-97.
- Celico P., 1983. Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle pianure quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale: Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno. Quad. Cassa Mezzog., 4/2, 1-225.
- Manfredini M., 1952 - 1980. Studi Geologici sulla sorgente della Vitella d'Oro (Pescara), inediti, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Petitta M., Tallini M., 2002. Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001), Boll. Soc. Geol. It., 121 (3), 343-363.