# Idrogeologia delle sorgenti del Ruzzo (Gran Sasso d'Italia)

# Riccardo Petaccia<sup>1</sup> & Sergio Rusi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Autore corrispondente Dottorato di ricerca Dipartimento di Geotecnologie per l'Ambiente ed il Territorio (DiGAT) – Università degli Studi "G. d'Annunzio", riccardopetaccia@hotmail.it

<sup>2</sup>Dipartimento di Geotecnologie per l'Ambiente ed il Territorio (DiGAT) – Università degli Studi "G. d'Annunzio", s.rusi@unich.it

# Hydrogeology of Ruzzo springs (Gran Sasso massif, Central Italy)

ABSTRACT: Ruzzo spring group is made by seven major springs: they represent an amount of drainage on hydrostructure of Gran Sasso (Central Apennines, Italy). This work concerned with study of hydrometeorologic parameters, discharge of spring intake structures, depletion curve analysis and physical-chemical data, from May 2003 to December 2004 at least. We can assert that Ruzzo springs have shallow circuit connected to basal groundwater because in their zone fractured calcareous litologies outcrop alternate with either others less/not fractured litologies or marly litologies. Ruzzo spring group has a shallow circulation characterizing their discharge regimen and it places itself above a basal component flux regulator. Work results, well-timely integrated, will lead to comprise either possible hydrodynamic effects after realization of Gran Sasso highway tunnel or presence of anomalous organic substances found in spring water.

*Key Terms:* Spring discharge and physical-chemical data, Water shallow portion, Water basal portion, Gran Sasso, Abruzzo, Italy

Termini chiave: Idrodinamica ed idrochimica delle sorgenti, Contributo superficiale, Contributo basale, Gran Sasso

#### Riassunto

Il gruppo delle sorgenti del Ruzzo rappresenta un'aliquota del drenaggio dell'idrostruttura del Gran Sasso ed è costituito da sette emergenze principali: Fossaceca I (1625 m s.l.m.), Fossaceca II (1350 m), Pescine (1150 m), Peschio (1296 m), Mescatore (925 m), Vaceliera alta (1015 m) e Vaceliera bassa (937 m).

Nel presente studio sono stati esaminati i parametri idrometeorologici di precipitazione e di temperatura dell'aria e le portate delle captazioni delle sorgenti (dati inediti). I dati ricavati dall'analisi delle curve di esaurimento hanno permesso una stima dei volumi idrici e dei parametri idrodinamici delle sorgenti.

Le analisi chimiche esaminate (anch'esse inedite) attestano per le acque delle sorgenti del Ruzzo una facies chimica bicarbonato-calcica in accordo con l'assetto geolitologico dell'idrostruttura.

Il confronto dei dati idrogeologici con quelli fisicochimici ha permesso di caratterizzare meglio la natura delle sorgenti. Per le sorgenti di quota più elevata del Vallone Fossaceca (Fossaceca I e II, Peschio e Pescine) la circolazione, di carattere superficiale, si svolge all'interno del complesso idrogeologico calcareo di età cretacicoeocenica. Al suo interno l'acqua trova la possibilità di venire a giorno al contatto tra livelli fratturati e litologie più marnose o più competenti. La sorgente Mescatore e le due sorgenti del Fosso Malepasso (Vaceliera alta e Vaceliera bassa), presentano una circolazione idrica di carattere superficiale che si sovrappone alla componente proveniente dalla circolazione nella falda basale emergente al contatto tettonico tra complesso calcareo meso-cenozoico e complesso terrigeno miocenico.

I dati idrodinamici, idrochimici ed il monitoraggio eseguito portano a riconoscere per le sorgenti del Ruzzo un circuito superficiale comunque relazionato e connesso alla falda in rete.

I risultati dello studio, opportunamente integrati, potranno essere utili alla comprensione degli eventuali effetti idrodinamici dell'esecuzione del traforo del Gran Sasso e dei ritrovamenti di taluni composti organici anomali nelle acque sorgive.

# 1. Premessa

Il presente studio riguarda le caratteristiche idrogeologiche, idrodinamiche ed idrochimiche delle sorgenti del Ruzzo (Figura 1). Con tale nome è individuato il gruppo sorgivo costituito dalle captazioni distribuite negli alti bacini idrografici del Fosso Malepasso e del Vallone Fossaceca tributari del torrente Ruzzo sul versante settentrionale del Gran Sasso d'Italia a ridosso del tratto di catena compreso tra il M. Prena ad est, il M. Brancastello ad ovest e l'inizio della fascia collinare del bacino della Laga a sud (Figure 1 e 2).

Il gruppo di sorgenti è costituito da sette emergenze principali (Figura 2): le sorgenti del Vallone Fossaceca ad est: Fossaceca I (1625 m s.l.m.), Fossaceca II (1350 m), Pescine (1150 m), Peschio (1296 m) e Mescatore (925 m); e quelle del Fosso Malepasso ad ovest: Vaceliera alta (1015 m) e Vaceliera bassa (937 m).

Le sorgenti costituiscono tuttora una porzione importante dell'approvvigionamento idropotabile della provincia di Teramo, mentre fino a pochi anni fa, in assenza dell'effetto drenante sull'idrostruttura del Gran Sasso delle gallerie del tunnel autostradale e delle sale dei laboratori INFN, ne costituivano l'approvvigionamento principale (Figura 1).



Figura 1. Sistema idrogeologico del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). 1, aquitard, depositi clastici continentali delle conche intramontane (Quaternario); 2, aquiclude, depositi terrigeni torbiditici di avanfossa (Miocene-Pliocene); 3, acquifero, successioni carbonatiche di piattaforma e transizione a bacino (Mesozoico-Cenozoico); 4, substrato dolomitico a bassa permeabilità (Triassico superiore); 5, sorgente principale; 6, sorgente lineare; 7, sovrascorrimento; 8, faglia distensiva; 9, drenaggio del tunnel autostradale (da Petitta & Tallini, 2002 modificato).

Figure 1. Hydrogeologic system of Gran Sasso d'Italia (Abruzzi, Italy). 1, aquitard, clastic continental deposits of intermontane troughs (Quaternary); 2, aquiclude, foredeep torbidite terrigenous deposits (Miocene-Pliocene); 3, aquifer, carbonate platform and deep ramp successions (Mesozoic-Cenozoic); 4, low permeability dolomite substratum (upper Triassic); 5, most important spring; 6, linear spring; 7, thrust; 8, normal fault; 9, drainage by highway tunnel (from Petitta & Tallini, 2002 modified).

Nel presente lavoro vengono approfonditi i caratteri, noti a scala di idrostruttura (Figura 1), geologici ed idrogeologici nell'ambito più ristretto delle sorgenti del Ruzzo (Figura 2), affiancando all'analisi di dati bibliografici un'integrazione delle conoscenze provenienti da rilievi specifici e da dati idrogeologici inediti. In particolare sono stati analizzati dati di portata delle captazioni che interessano le sorgenti in questione (Ruzzo Servizi, 2003-2004) assieme a parametri chimico-fisici quali temperatura dell'acqua, pH, conducibilità elettrica specifica e tenori degli ioni principali (Arta, 2003-2004). A tale proposito si precisa che i dati sono relativi a monitoraggi orientati alla gestione acquedottisticosanitaria e dunque non caratterizzati dalla necessaria continuità idrogeologica.

# 2. Inquadramento geologico-idrogeologico dell'idrostruttura del Gran Sasso

L'idrostruttura del Gran Sasso è identificabile (Petitta & Tallini, 2002) come un sistema idrogeologico calcareocarsico di circa 700 km<sup>2</sup> di estensione totale (Figura 1) con limiti di permeabilità costituiti a nord e ad est dal sovrascorrimento principale, a direzione E-W e poi N-S, immergente rispettivamente a sud e ad ovest, che realizza la sovrapposizione tettonica delle unità carbonatiche (acquifero) sulle unità terrigene (aquiclude regionale). A SW il limite è costituito dal contatto stratigrafico discordante, e localmente tettonico, delle unità quaternarie detritiche (aquitard) su quelle carbonatiche dell'acquifero. A SE la struttura viene a contatto con il sistema idrogeologico del M. Sirente, dando luogo a scambi idrici sotterranei (Petitta & Tallini, 2002).

L'acquifero è caratterizzato da unità meso-cenozoiche carbonatiche di ambiente di piattaforma laziale-abruzzese a cui si associano litologie silico-calcareo-marnose, della medesima età, riferibili ad ambienti bacinali e di transizione al bacino umbro-marchigiano (Accordi et al., 1988). Le sequenze di piattaforma sono costituite da alternanze di calcari fango- e granulo-sostenuti, calcari dolomitici e dolomie. Le sequenze bacinali invece sono rappresentate da litologie calcareo-marnose e marnose con selce a cui si intercalano livelli calcareo-detritici. L'assetto tettonico è caratterizzato da un edificio strutturale embricato, formatosi durante l'orogenesi appenninica del Miocene superiore-Pliocene inferiore (Vezzani & Ghisetti, 1998). Nel Pliocene superiore-Quaternario l'edificio è stato disarticolato da faglie distensive che lo hanno ribassato verso sud-ovest in relazione al contesto geodinamico estensionale legato all'apertura del Mar Tirreno (Cavinato et al., 1994; D'Agostino & Tozzi, 1997). Le faglie distensive sono responsabili anche della formazione di conche intramontane (Cavinato & De Celles, 1999), evolutesi a partire dal Pliocene superiore e riempite da depositi detritici di ambiente lacustre e fluviale (argille, limi, sabbie, brecce e conglomerati calcarei).

Le conche tettono-carsiche, come Campo Imperatore, sono ubicate in aree ad elevata piovosità ed hanno una morfologia endoreica che contribuisce a concentrare le



Figura 2. Carta e sezioni idrogeologiche dell'area delle sorgenti del Ruzzo. 1, complesso idrogeologico delle unità detritiche continentali recenti; 2, complesso delle unità terrigene marine; 3, complesso marnoso; 4a, complesso calcareo; 4b, livelli marnosi e/o competenti all'interno del complesso calcareo; 5, complesso dolomitico; 6, sorgente; 7, traccia di sezione; 8, asse di sinclinale; 9, asse di anticlinale rovesciata; 10, sovrascorrimento.

Figure 2. Hydrogeologic map and cross-sections of Ruzzo springs zone. 1, hydrogeologic complex of recent detrital continental units; 2, marine terrigenous units complex; 3, marly complex; 4a, calcareous complex; 4b, marly and/or competent levels inside calcareous complex; 5, dolomite complex; 6, spring; 7, cross-section; 8, syncline axis; 9, overturned anticline axis; 10, thrust.

acque piovane, determinandovi fenomeni di infiltrazione concentrata. La ricarica media dell'acquifero è superiore ai 700 mm a<sup>-1</sup> di infiltrazione efficace (Boni *et al.*, 1986).

Alcune faglie, sia compressive sia distensive rappresentano diaframmi a bassa conducibilità idraulica rispetto al deflusso delle acque sotterranee (Anas-Cogefar, 1980). L'acquifero così compartimentato (Celico, 1983) è sostenuto alla base da un'unità litologica dolomitica; in corrispondenza degli alti strutturali le dolomie, che presentano una conducibilità idraulica per fratturazione inferiore a quella dei calcari, possono costituire ostacolo al deflusso delle acque sotterranee.

La circolazione idrica sotterranea è inoltre caratterizzata dalla presenza di carsismo: i sondaggi effettuati per la realizzazione del traforo autostradale del Gran Sasso hanno evidenziato una fascia ricca di cavità da dissoluzione interpretata come paleo-epicarsismo; essa riveste un ruolo importante nell'ambito della circolazione sotterranea dell'area prossima al traforo (Anas-Cogefar, 1980).

Il sistema idrogeologico delineato è caratterizzato da un'unica falda di base di notevole estensione e potenzialità che presenta un gradiente idraulico dell'ordine del 5÷20‰ (Petitta & Tallini, 2002): essa alimenta alla periferia importanti sorgenti basali a bassa quota, sul lato meridionale e, in minore misura, a quote maggiori, sul lato settentrionale; inoltre, a quota medioalta sono presenti alcune decine di sorgenti minori a regime variabile, con portate di 0,001÷0,01 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, espressione di falde sospese di limitata estensione, connesse a fattori locali come la presenza di detriti di falda, livelli impermeabili nella sequenza litologica di transizione, discontinuità minori (Petitta & Tallini, 2002).

La portata complessiva erogata dal sistema idrogeologico è stata valutata da studi precedenti in circa  $15\div18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Celico, 1983), che giustificano la stima di 700 mm a<sup>-1</sup> dell'infiltrazione efficace (Boni *et al.*, 1986).

# 3. Le sorgenti del "Ruzzo"

#### 3.1. Inquadramento geologico-idrogeologico

La porzione meridionale dell'area delle sorgenti del Ruzzo è caratterizzata da litologie dolomitiche triassicoliassiche (Dolomia Principale) che occupano le quote più elevate: vengono ascritte al complesso idrogeologico dolomitico (Petitta *et al.*, 2000) permeabile per fratturazione (Figura 2).

Diminuendo di quota, a nord del thrust superiore del Gran Sasso (sezioni in Figura 2), sono presenti litologie prevalentemente calcaree riferibili al Lias-Oligocene che costituiscono il complesso idrogeologico calcareo: le formazioni che ne fanno parte sono la Corniola, le Calcareniti ad Entrochi, la Maiolica (con le sue intercalazioni di calcareniti) e la Scaglia rosata. Il complesso calcareo presenta una permeabilità soprattutto secondaria per fratturazione e carsismo costituendo l'area di ricarica delle sorgenti per via anche dell'elevata estensione in affioramento; all'interno del complesso sono presenti livelli marnosi e/o competenti che individuano, talora, falde sospese.

Ancora più a nord i litotipi che costituiscono il complesso idrogeologico calcareo, oltre a riportare l'evidenza di ambienti di sedimentazione cronologicamente più recenti, assumono caratteristiche più marnose favorendo così l'instaurarsi delle sorgenti di quota intermedia (Peschio, Pescine e Vaceliera alta) che possono essere il risultato di falde sospese di limitata estensione e potenzialità (sezioni in Figura 2).

Nella zona in cui è presente il complesso calcareo si riscontra un limitato affioramento del complesso idrogeologico marnoso rappresentato dal Verde Ammonitico (Lias superiore): il complesso marnoso ha bassissima permeabilità ed alla quota d'affioramento non permette emergenze perenni.

Ancora verso nord si incontrano litotipi prevalentemente marnosi (Eocene - Miocene superiore)



Figura 3. Dati mensili di precipitazioni e portata media a confronto con le temperature medie mensili di aria ed acqua per le sorgenti del Vallone Fossaceca (a sinistra) e quelle del Fosso Malepasso (a destra). Dati pluvio-termometrici da stazione Isola del Gran Sasso. *Figure 3. Monthly data of precipitation and mean discharge compared with air and water monthly mean temperatures of Vallone Fossaceca springs (on the left) and those of Fosso Malepasso (on the right). Precipitation and air temperature data from Isola del Gran Sasso station.* 

che appartengono anch'essi al complesso idrogeologico marnoso: ne fanno parte le formazioni della Scaglia cinerea e delle Marne a Pteropodi.

A ridosso della porzione meridionale più acclive del Vallone Fossaceca le due formazioni del complesso marnoso sono separate dalle Calcareniti glauconitiche (Miocene inferiore) che in base alle loro caratteristiche litologiche e di permeabilità rientrano nel complesso idrogeologico calcareo.

Appena a nord dell'affioramento delle Calcareniti glauconitiche si rileva una fascia di coltre detritica di limitatissima estensione e potenza che rientra nel complesso idrogeologico delle unità detritiche continentali recenti.

Superando infine la zona interessata dal thrust inferiore del Gran Sasso, tutta la porzione settentrionale dell'area delle sorgenti presenta litotipi prevalentemente arenaceo-pelitici (Miocene superiore-Pliocene inferiore) ascrivibili al complesso idrogeologico delle unità terrigene marine costituito in pratica dalla formazione del Flysch della Laga (Figura 2).

#### 3.2. Monitoraggio idrologico ed idrogeologico

I dati di precipitazione e di temperatura utilizzati (Servizio Idrografico, 2003-2004) si riferiscono alle stazioni pluvio-termometriche di Fano a Corno (699 m s.l.m.), Isola del Gran Sasso (415 m) e Castelli (497 m). L'andamento climatico qualitativo (biennio 2003-2004), dell'area prossima alle sorgenti, è stato ottenuto dall'analisi dei dati delle tre stazioni (sovrapponibili), mentre le correlazioni con i dati chimico-fisici e di portata sono state effettuate in base all'andamento pluvio-

termometrico della sola stazione di Isola del Gran Sasso (Figura 3).

L'analisi delle altezze mensili di precipitazione solide e liquide riferite al biennio 2003-2004 evidenzia un regime pluviometrico di tipo sub-litoraneo appenninico, caratterizzato infatti da due periodi di piogge più abbondanti e due di piogge più scarse con il massimo delle precipitazioni autunnale più accentuato di quello primaverile e con il minimo estivo più accentuato di quello invernale (meno evidente se non assente, probabilmente a causa delle precipitazioni nevose; Figura 3).

Per quanto riguarda il regime termico l'area prossima alle sorgenti del Ruzzo presenta un minimo in gennaio mentre il massimo si può individuare tra luglio ed agosto, preceduto dal periodo di scioglimento delle nevi tra marzo e giugno (Figura 3).

I valori di portata utilizzati (Ruzzo Servizi, 2003-2004) riguardano solo i dati di captazione. Ciò ha dato origine a due problematiche: la prima è che i dati non sono riferibili alle singole venute a giorno ma ai punti di riunione (Figura 4); la seconda è che in alcuni casi non è stato possibile valutare l'entità delle portate reali talora superiori di quelle captate.

I dati di portata scaturiscono da analisi su registrazioni eseguite in continuo con misuratori magnetici presso i punti di riunione: non si riferiscono a tutte le singole sorgenti infatti quelle che vengono a giorno a quote maggiori presso il Vallone Fossaceca (le sorgenti Fossaceca I e II, Peschio e Pescine) sono accorpate, insieme all'omonima sorgente, nella dizione "Mescatore



Figura 4. Schema idrico, su planimetria catastale, delle opere di captazione delle sorgenti del Ruzzo. 1, galleria o condotta di captazione; 2, condotta di distribuzione dell'acquedotto teramano; 3, limite di foglio catastale (comune di Isola del Gran Sasso); 4, manufatto o edificio di riunione; 5, sorgente.

Figure 4. Water scheme, on land register map, of Ruzzo springs' intake constructions. 1, intake tunnel or pipeline; 2, distribution pipeline of Teramo aqueduct; 3, boundary of land register plan (Isola del Gran Sasso territory); 4, gathering structures; 5, spring.

Tabella 1. Parametri idrologici, indici e fattori idrogeologici (Civita, 2005), parametri idrochimici. Indici e fattori idrogeologici:  $\alpha$ , coefficiente di esaurimento;  $t_n$ , durata del periodo di esaurimento; W, immagazzinamento dinamico;  $W_r$ , riserve regolatrici;  $W_d$ , risorse dinamiche;  $T_R$ , tasso di rinnovamento;  $t_m$ , tempo minimo di rinnovamento (Celico, 1988). Quota isotopica di ricarica da Anas-Cogefar, 1980.

Table 1. Hydrologic parameters, hydrogeologic indexes and factors (Civita, 2005), hydrochemical parameters. Hydrogeologic indexes and factors:  $\alpha$ , depletion coefficient;  $t_n$ , depletion time; W, emptying capacity;  $W_r$ , pondage;  $W_d$ , dynamic resource;  $T_R$ , turnover time;  $t_m$ , residence time (Celico, 1988). Recharge isotope elevation from Anas-Cogefar, 1980.

	PARAMETRI IDROLOGICI						
	Quota	Complesso	$Q_{ m med}$	Quota isotopica ricarica	<b>P</b> <sub>annua</sub>		
	(m)		(l/s)	(m)	(mm)		
Fossaceca I	1625	calcareo					
Fossaceca II	1350	calcareo					
Peschio	1296	calcareo	305	1600			
Pescine	1150	calcareo		÷	1700		
Mescatore	925	marnoso		2000			
Vaceliera alta	1015	calcareo	62	]			
Vaceliera bassa	937	calcareo	128				

	INDICI & FATTORI IDROGEOLOGICI						
	α	t <sub>n</sub>	W	W <sub>r</sub>	W <sub>d</sub>	T <sub>R</sub>	t <sub>m</sub>
	$(\times 10^{-4} \text{ g}^{-1})$	(g)		$(\times 10^6 \text{ m}^3)$		(%)	(a)
Fossaceca I							
Fossaceca II							
Peschio	67	100	5,28	2,75	2,53	48	2,1
Pescine							
Mescatore							
Vaceliera alta	56	116	1,35	0,70	0,65	49	2,1
Vaceliera bassa	56	116	2,66	1,38	1,28	48	2,1

	PARAMETRI IDROCHIMICI					
	T <sub>med</sub>	рН	X	Durezza media	Formula ionica	Classifi- cazione
	(°C)		$(\mu S/cm)$	(°dh)		
Fossaceca I	5 /	8 13	167	07	$\operatorname{Ia}^{+}_{+}$	to on llcio ATO-
Fossaceca II	3,4	0,15	107	21	1->S(	rrbona rose o o in ca RBON/ CHE)
Mescatore	5,5	8,11	178	101	O3^C +>Mg	que bica alino-ter chimenta UE BICA CALCIC
Vaceliera alta	5,6	8,14	190	112	HC Ca <sup>+</sup>	Ac alc: urric ACQ
Vaceliera bassa	5,6	8,07	186	109		a (/

totale" (Figura 4). In tale dizione rientrano anche contributi di altre venute di piccola o piccolissima entità che nel corso degli anni sono state captate dalla Ruzzo Servizi s.p.a. ed immesse nell'adduttrice principale del Vallone Fossaceca (edificio di riunione Mescatore, Figura 4).

Le captazioni delle sorgenti del Fosso Malepasso (Vaceliera alta e bassa) sono monitorate singolarmente (anche se all'interno di un unico edificio di riunione; Figura 4) e le portate massime sono interamente captate.

Il valore medio annuo di portata captata presso le sorgenti del Vallone Fossaceca (305 l/s) è decisamente

maggiore rispetto a quello nel Fosso Malepasso (somma delle portate medie delle due Vaceliera pari a 190 l/s). In quest'ultimo le sorgenti hanno un massimo di portata in maggio e presentano i valori minimi in due occasioni: a settembre ed a fine febbraio-inizio marzo; una ripresa della portata si osserva tra settembre e novembre, più modesta di quella che si verifica tra marzo e maggio (Figura 3).

Per le sorgenti del Vallone Fossaceca si ha un picco di portata in giugno e valori minimi che vengono raggiunti a febbraio con una ripresa della portata tra settembre e novembre (Figura 3). Dal confronto dei regimi di precipitazione e portata (Figura 3) si rileva innanzitutto tra febbraio e marzo un minimo di portata imputabile alla persistenza del manto nevoso, non ancora sciolto, che limita l'infiltrazione delle precipitazioni: questa situazione scaturisce dal decremento delle precipitazioni liquide osservabile tra dicembre e marzo, periodo durante il quale è presente anche la neve al suolo.

Nel periodo primaverile si osserva un incremento delle portate causato dall'infiltrazione dovuta allo scioglimento delle nevi accumulatesi nei mesi invernali: esso inizia tra marzo ed aprile e si sviluppa fino al picco di portata individuabile tra giugno e luglio per le sorgenti del Vallone Fossaceca ed in maggio per quelle del Fosso Malepasso (Figura 3).

Dall'analisi dei grafici (Figura 3) si nota un ritardo dell'ordine di un mese tra i massimi di precipitazione (settembre-ottobre) e quelli di portata (ottobre-novembre).

I due gruppi sorgivi presentano massimi di portata primaverili sfasati di circa un mese (giugno-luglio nel Vallone Fossaceca, maggio nel Fosso Malepasso). Tale fatto è stato imputato all'effetto dello scioglimento delle nevi. Infatti il dato del Vallone Fossaceca (Mescatore totale) raccoglie i contributi di sorgenti impostate a diverse quote (dai 925 m ai 1625 m s.l.m.) e lo scioglimento delle nevi, procedendo dalle meno alle più elevate si dilaziona nel tempo spostando così il picco di portata di circa un mese rispetto alle sorgenti del Fosso Malepasso: queste ultime, trovandosi a quote simili (937 e 1015 m s.l.m.), rispondono quasi simultaneamente allo scioglimento.

Tenendo conto delle limitazioni dovute alla tipologia dei dati disponibili (riferiti alla somma delle singole captazioni nel Vallone Fossaceca e alle sole quantità captate), sono stati comunque analizzati i periodi di esaurimento degli idrogrammi sorgivi – attraverso il metodo teorico di Maillet (1905) – dai quali sono stati stimati alcuni parametri idrodinamici e volumi idrici immagazzinati (Tabella 1).

#### 3.3. Monitoraggio chimico e chimico-fisico

Le analisi chimiche (Arta, 2003-2004) riguardano i valori medi mensili, dedotti da campionamenti circa quindicinali, di parametri quali: temperatura, pH, conducibilità elettrica specifica e concentrazione degli ioni principali (Figure 3, 5, 6 e Tabella 1).



Figura 5. Dati medi mensili di conducibilità elettrica specifica e concentrazione degli ioni principali delle sorgenti del Vallone Fossaceca.

Figure 5. Monthly specific conductivity and mass-volume ratio concentration of most important ions of Vallone Fossaceca springs.



Figura 6. Dati medi mensili di conducibilità elettrica specifica e concentrazione degli ioni principali delle sorgenti del Fosso Malepasso.

Figure 6. Monthly mean data of specific conductivity and mass-volume ratio concentration of most important ions of Fosso Malepasso springs.

Le acque delle sorgenti del Ruzzo risultano fredde, oligominerali e dal chimismo bicarbonato alcalino-terroso (con formula ionica  $CO_3^{--} > Cl^- > SO_4^{--} \div Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$ ). La facies chimica conferma l'interazione con rocceserbatoio calcaree e subordinatamente dolomitiche (Figura 7).

Il confronto tra i dati meteorici, idrodinamici e chimici a disposizione ha evidenziato quanto segue.

In generale la temperatura dell'acqua si mostra decisamente influenzata da quella dell'aria (Figura 3); solo in un intervallo, circa a metà del periodo di osservazione (dicembre 2003-aprile 2004), in mesi caratterizzati da minimo di portata dovuto alla copertura del manto nevoso, essa mostra un andamento contrario rispetto alla temperatura dell'aria.

La conducibilità elettrica mostra valori maggiori nel Fosso Malepasso (Figure 5 e 6). In tutti i casi comunque entrambi i gruppi sorgivi sono caratterizzati da valori decisamente esigui (160-200  $\mu$ S cm<sup>-1</sup>) a testimonianza della presenza di circolazione rapida dovuta a percorsi sotterranei perlopiù brevi: le oscillazioni stagionali sono limitate a 20-30  $\mu$ S cm<sup>-1</sup>.

I chemiogrammi degli ioni principali (calcio, bicarbonato e magnesio, Figure 5 e 6) risultano sovrapponibili nelle diverse sorgenti; unica eccezione si rileva per il tenore dello ione magnesio presso le sorgenti Mescatore: esso mostra valori più bassi rispetto alle Vaceliera e Fossaceca imputabili ad una minore interazione con il complesso dolomitico.

L'andamento del magnesio appare opposto a quello del calcio nella sorgente Fossaceca: in particolare, tra maggio e dicembre, la quantità di magnesio è maggiore a testimonianza di un più importante contributo di acque circolanti nel complesso dolomitico; nel periodo successivo, da gennaio a maggio, la quantità di magnesio diminuisce e corrispondentemente aumenta il contenuto in calcio indicando il prevalente contributo delle acque circolanti nel complesso calcareo prossimo alle sorgenti. Tale andamento pur essendo presente è meno visibile nelle altre sorgenti.

I valori bassi o bassissimi delle concentrazioni e le limitate oscillazioni stagionali di concentrazione non consentono di ricavare ulteriori informazioni sulla circolazione e sull'interazione acqua-roccia.

# 3.4. Sostanze anomale

Durante il periodo esaminato (maggio 2003-dicembre 2004) è stata riscontrata la presenza di due sostanze anomale: il 2-6 diisopropilnaftalene e l'1,2,4 trimetilbenzene (Arta, 2003-2004; Tabella 2).

Per le sorgenti Fossaceca sono stati documentati 19 episodi di ritrovamento per quanto riguarda il diisopropilnaftalene e nessun episodio per il trimetilbenzene. Alla sorgente Mescatore gli episodi documentati per il diisopropilnaftalene sono stati 25 e ugualmente nessuno per il trimetilbenzene. Per la Vaceliera alta si sono avuti 24 episodi di diisopropilnaftalene e 2 episodi di trimetilbenzene. Infine per la Vaceliera bassa il diisopropilnaftalene è stato riscontrato 22 volte mentre il trimetilbenzene solo in un caso (Figura 8).

La scheda tecnica dell'1,2,4-trimetilbenzene (o pseudocumene) è riportata in Tabella 2. Si tratta di un idrocarburo aromatico omologo superiore del benzene che si ottiene dal catrame di carbon fossile. Gli omologhi sono composti organici che differiscono gli uni dagli altri solo per contenuto di atomi di carbonio e idrogeno ma non per le funzioni: hanno perciò le stesse proprietà chimiche. Per il trimetilbenzene vengono rilevate particolari attenzioni per esposizioni sia a breve sia a lungo termine e precauzioni circa eventuali sversamenti dell'agente chimico nell'ambiente (IPCS, 1999).

Il 2,6-diisopropilnaftalene è un idrocarburo policiclico aromatico, omologo superiore del naftalene. Per esso non è stata ancora redatta alcuna scheda tecnica di sicurezza come nel caso del trimetilbenzene ma comunemente viene

 Tabella 2. Caratteristiche chimico-fisiche delle sostanze anomale.

 Tabella 2. Physical-chemical properties of anomalous substances.

utilizzato come biopesticida e fungicida (Tabella 2). Non ha livelli di tossicità elevati come il trimetilbenzene ma non vengono esclusi rischi per la salute umana derivanti da accumulo protratto nel tempo (EPA, 2000).



Figura 7. Diagramma di Piper relativo a febbraio 2004 (minimo di portata, Figura 3). Con riferimento alla Figura 4: 1, vasca di carico Fossaceca; 2, edificio riunione Mescatore; 3 e 4, Vaceliera alta e bassa (edificio riunione Vaceliera).

Figure 7. Piper's diagram of February 2004 (lowest discharge, Figura 3). Reader refers to Figura 4: 1, Fossaceca loading tank; 2, Mescatore gathering structure; 3 and 4, Vaceliera alta and bassa (Vaceliera gathering structure).





Figura 8. Concentrazioni del 2,6-diisopropilnaftalene. Per l'1,2,4-trimetilbenzene si sono avuti tre episodi: due presso la sorgente Vaceliera alta, il 24 settembre 2003 con 6,28  $\mu$ g/l ed il 19 maggio 2004 con 1,48  $\mu$ g/l; ed uno presso la sorgente Vaceliera bassa il 16 ottobre 2003 con 0,18  $\mu$ g/l.

Figura 8. Mass-volume ratio concentration of 2,6-diisopropylnphtalene. 1,2,4-trimethylbenzene has been detected three times: two times at Vaceliera alta spring,  $24^{th}$  September 2003 with 6,28 µg/l and  $19^{th}$  may 2004 with 1,48 µg/l; one time at Vaceliera bassa spring,  $16^{th}$  October 2003 with 0,18 µg/l.

I dati attualmente a disposizione non consentono di individuare univocamente l'origine delle due sostanze. I tre episodi inerenti il trimetilbenzene riscontrati durante il periodo di osservazione presso le sorgenti Vaceliera (Figura 8), vanno ricondotti a perdite accidentali verificatesi nella sala C dei laboratori INFN all'interno del massiccio nell'ambito del progetto Borexino. La documentazione ufficiale prodotta dalle istituzioni e dall'INFN comunque riferisce soltanto di un singolo sversamento avvenuto il 16 agosto 2002 (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2003a).

Per quanto concerne l'origine del diisopropilnaftalene, ammettendo l'assenza di problematiche di tipo analitico, considerate anche le esigue quantità presenti, allo stato attuale delle conoscenze e delle documentazioni ufficiali (ARTA, 2003-2004; INFN, 2007; Presidenza del Consiglio del Ministri, 2003b) è possibile formulare tre diverse ipotesi.

L'utilizzo del diisopropilnaftalene è riconosciuto

(Venso et al., 1992; Lightfoot et al., 2004) nella preparazione di liquidi scintillatori, elementi fondamentali nella pratica di esperimenti come quello sopra citato. Dall'esperimento Borexino, tuttavia l'uso e dunque la perdita di tale sostanza non è mai stata segnalata. Ulteriore perplessità a tale ipotesi sta nel fatto che la sostanza, più pesante dell'acqua e pochissimo solubile, è stata riscontrata nelle sorgenti Fossaceca (a 1350 m e 1625 m s.l.m.) ovvero fino ad oltre 600 m al di sopra del laboratori INFN. Più probabile sarebbe la percolazione verso i punti di prelievo meno elevati (Mescatore e le Vaceliera).

La seconda ipotesi esclude l'origine antropica del diisopropilnaftalene considerato il particolare assetto geologico-stratigrafico delle sorgenti nel cui areale di ricarica affiorano le dolomie bituminose (pendici settentrionali dei monti Prena e Brancastello: Figure 1 e 2, settore meridionale dell'area delle sorgenti del Ruzzo).

Il diisopropilnaftalene deriverebbe dunque dalla inte-

Tabella 3. Distribuzione della fluoresceina durante i lavori per il traforo del Gran Sasso (da Anas-Cogefar, 1980). Tabella 3. Fluorescein distribution during realization of Gran Sasso highway tunnel (from Anas-Cogefar, 1980).

DENOMINAZIONE DELLE SORGENTI	m	DISTRIBUZIONE DELLA FLUORESCEINA			
Rio Ruzzo	1100		-		
FORTEMENTE NETTAMENTE POSITIVO DEBOLM POSITIVO POSITIVO POSITIVO	ENTE )	1 5 10 15 23 29	1 5 10 15 20 25	GFMAMGLASOND	
		NOVEMBRE 1972	DICEMBRE 1972	1972	

razione acqua-roccia bituminosa. Tale contesto sarebbe presente e dunque analizzabile anche in altre aree appenniniche (Adamoli, 1990 e 2002; Adamoli et al., 1978 e 1981-'82; Bigi et al., 1991).Un'ultima ipotesi discenderebbe dalla possibile presenza del diisopropilnaftalene nei gas di scarico dei veicoli che concentrati all'interno del traforo autostradale sotto forma di fuliggine addossata alle pareti potrebbe essere presa in carico dall'aria prima forzata nel tunnel stesso, emessa all'esterno e poi ricaduta con le precipitazioni liquide (Kresic et al., 1978) sul versante teramano del Gran Sasso. Tale ipotesi tuttavia sarebbe da verificare in tutto il tunnel stradale ed in altri tunnel aprendo una problematica ambientale rilevante.

I monitoraggi della contaminazione in corso, lo studio di altre situazioni simili nell'Appennino e l'uso di ulteriori tecniche analitiche tra cui gli isotopi stabili (<sup>18</sup>O e <sup>2</sup>H nell'acqua) e gli isotopi instabili (<sup>14</sup>C negli inquinanti), contribuiranno all'ulteriore restringimento delle ipotesi sulla provenienza del diisopropilnaftalene.

## 4. Conclusioni

Gli elementi idrogeologici, idrologici, idrochimici ed antropici ad oggi raccolti per le sorgenti del Ruzzo riescono a descrivere solo parzialmente la circolazione delle acque che le alimentano anche perché parte dei dati utilizzati sono orientati alla gestione acquedottistica.

Alcuni elementi, come la variazione stagionale di portata e di temperatura dell'acqua, propendono per una circolazione a forte componente superficiale con circuiti rapidi. Altri elementi, come la sostanziale costanza del chimismo principale e la portata più elevata nelle emergenze altimetricamente più basse (Mescatore e Vaceliera bassa) propendono per una circolazione a componente basale. Quest'ultima già dimostrata dall'uso del tracciante fluoresceina durante le esplorazioni pretraforo (Tabella 3; Anas-Cogefar, 1980), è stata confermata dagli esiti dell'incidente con perdita di trimetilbenzene all'interno dei laboratori INFN e ritrovamento nelle sorgenti Mescatore e Vaceliera.

In prima approssimazione e soprattutto sulla scorta dell'assetto geologico-stratigrafico, e subordinatamente dal segnale termico stagionale, dai bassi valori della conducibilità elettrica specifica e durezza (Tabella 1) e degli andamenti opposti del calcio e del magnesio, è possibile individuare per le sorgenti di quota più elevata del Vallone Fossaceca una circolazione a carattere superficiale all'interno del complesso idrogeologico calcareo di età cretacico-eocenica. In esso l'acqua viene a giorno per la sovrapposizione dei livelli fratturati sulle litologie più marnose o più competenti presenti all'interno del complesso stesso.

Per la sorgente Mescatore e le due sorgenti del Fosso Malepasso (Vaceliera alta e bassa), sulla scorta dell'assetto geologico-stratigrafico, dei valori relativamente alti di portata e di flusso di base (Figura 3), dei maggiori valori di conducibilità elettrica e di durezza, è possibile individuare una circolazione idrica nella quale il carattere superficiale, riscontrato nelle altre sorgenti, si sovrappone al deflusso proveniente dalla circolazione nella falda basale che viene a giorno al contatto tettonico tra il complesso idrogeologico calcareo cretacicoeocenico e quello marnoso miocenico.

Alla luce di quanto emerso dal presente lavoro l'ipotesi di connessione con la falda basale può ritenersi quindi ancora valida almeno per le sorgenti di quota meno elevata (Mescatore e Vaceliera bassa) anche dopo la situazione instauratasi a seguito del drenaggio sull'idrostruttura effettuato dalle opere in sotterraneo.

Nello studio non è stato possibile caratterizzare in maniera puntuale l'influenza della realizzazione delle opere in sotterraneo sul drenaggio operato dalle sorgenti del Ruzzo, sia per la mancanza di dati di portata riferibili al periodo pre-traforo, sia per la realizzazione di successive captazioni con immissioni nella stessa adduttrice.

È stato invece evidenziato che il gruppo sorgivo, trattato in modo unitario nei precedenti studi anche a causa della presenza delle captazioni confluenti in un'unica adduttrice, è costituito da diverse sorgenti alimentate da circuiti separati di tipo superficiale e che questi talora si sommano alla circolazione basale.

## Ringraziamenti

Si ringrazia la Ruzzo Servizi s.p.a. per aver messo a disposizione i dati di monitoraggio delle portate e del chimismo delle acque captate e per la cortese disponibilità del proprio personale. Si ringrazia inoltre il prof. Marco Petitta per gli utili suggerimenti in fase di revisione del manoscritto.

#### **Bibliografia**

Accordi G., Carbone F., Civitelli G., Corda L., De Rita D., Esu D., Funicello R, Kotsakis T., Mariotti G. & Sposato A. (1988) – Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe con note illustrative. C.N.R., Quad. Ric. Scient., 114 (5), 1-223.

Adamoli L. (1990) – Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali. Geologia Tecnica, 3, 4-15.

Adamoli L. (2002) – Il Gigante di Pietra – La storia geologica del Gran Sasso d'Italia. CARSA Edizioni.

Adamoli L., Bertini T., Chiocchini M., Deiana G., Mancinelli A., Pieruccini U. & Romano A. (1978) – Ricerche geologiche sul Massiccio del Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). II. Evoluzione tettonico-sedimentaria dal Trias superiore al Cretaceo inferiore dell'area compresa tra il Corno Grande e S. Stefano Sessanio (F. 140 Teramo). Studi Geologici Camerti, VII, 7-17.

Adamoli L., Manganelli V., Pieruccini U. & Romano A. (1981-'82) – Ricerche geologiche sul Gran Sasso d'Italia (Abruzzo). VII. La zona tra Valle Fredda e Valle dell'Inferno (Provv. di L'Aquila e Teramo). Studi Geologici Camerti, VII, 105-113.

Anas-Cogefar (1980) – Gran Sasso, il traforo autostradale. Edizioni Grafiche Sefra, Milano.

ARTA-Abruzzo (2003-2004) – Rapporti di prova, Dipartimento provinciale di Teramo per conto di Ruzzo Servizi s.p.a.. Dati inediti.

Bigi S., Calamita F., Centamore E., Denna G., Ridolfi M. & Salvucci R. (1991) – Assetto strutturale e cronologia della deformazione della "zona d'incontro" tra le aree umbromarchigiana e laziale-abruzzese (Marche meridionali e Lazio-Abruzzo settentrionali). Studi Geologici Camerti, vol. spec. 1991 (2), CROP 11, 21-26.

Boni C., Bono P. & Capelli G. (1986) – Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012, con carte idrogeologiche a scala 1:500'000.

Cavinato G. P., Cosentino D., De Rita D., Funicello R. & Parotto M. (1994) – Tectonicsedimentary evolution of intrapenninic basin and correlation with the volcano-tectonic activity in Central Italy. Mem Desc. Carta Geol. D'It., 49, 63-76.

Cavinato G. P. & De Celles P. G. (1999) – Extensional basins in the tectonically bimodal central Apennines fold-thrust belt, Italy: Response to corner flow above a subducting slab in retrograde motion. Geology, 27 (10), 955-958.

Celico P. (1983) – Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale: Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno. Quad. Cassa Mezzog., 4 (2), 1-225.

Celico P. (1988) – Prospezioni Idrogeologiche. Volume secondo. Liguori Editore.

Civita M. (2005) – Idrogeologia applicata ed ambientale. Casa Editrice Ambrosiana.

D'Agostino N. & Tozzi M. (1997) – Rotazioni di blocchi su assi orizzontali al margine meridionale del Massiccio del Gran Sasso (Appennino Centrale). Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1995 (2), 183-189.

EPA (2000) – Issuance of Experimental Use Permits. Federal Register Online 65 (41), 11057-11058.

INFN (2007) – La fisica del Borexino. Pagina web divulgativa dell'esperimento all'indirizzo:

http://www.lngs.infn.it/lngs\_infn/index.htm?ma inRecord=http://www.lngs.infn.it/lngs\_infn/con tents/lngs\_en/public/educational/

ISCS (1999) – Scheda di sicurezza internazionale ISCS: 1433. http://www.cdc.gov/niosh/ ipcsnitl/nitl1433.html

Kresic N., Golubovic R. & Papic P. (1999) – Effects of air pollution. Karst Hydrogeology and Human Activities – Impacts, Consequences and Implications – ed. Drew D. & Hötzl. 20, 83-88. A. A. Balkema, Rotterdam.

Lightfoot P.K., Kudryavtsev V.A., Spooner N.J.C., Liubarsky I., Luscher R., Smith N.J.T. (2004) – Development of a gadolinium-loaded liquid scintillator for solar neutrino detection and neutron measurements. Nuclear Instru-

ments & Methods in Physics Research, 439-446.

Maillet (1905) – Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Libr. Scient. Hermann, Paris.

Petitta M., Ranalli D. & Tallini M. (2000) – Schema Idrogeologico del Massiccio del Gran Sasso (Italia Centrale). Boll. Soc. Geol. It., 121 (2002), tav. ft.

Petitta M. & Tallini M. (2002) – Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche. Boll. Soc. Geol. It., 121, 343-363.

Presidenza del Consiglio dei Ministri (2003a) – Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 giugno 2003 riguardante la "Dichiarazione dello stato di emergenza socioeconomico-ambientale nel territorio delle Province di L'Aquila e Teramo interessato dagli interventi necessari alla messa in sicurezza del sistema Gran Sasso". Gazzetta Ufficiale 5 luglio 2003, 154.

Presidenza del Consiglio dei Ministri (2003b) – Ordinanza del 18 luglio 2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri riguardante le "Disposizioni urgenti di protezione civile per fronteggiare la grave situazione di emergenza socio-ambientale nel territorio delle Province di L'Aquila e Teramo interessato dagli interventi necessari alla messa in sicurezza del sistema Gran Sasso". Gazzetta Ufficiale 4 agosto 2003, 179.

Ruzzo Servizi (2003-2004) – Portate storiche delle sorgenti del Ruzzo. Dati inediti.

Servizio Idrografico (2003-2004) – Annali idrologici, Sezione di Pescara.

Venso E.A., Prichard H.M. & Dodson C.L. (1992) – Measurement of Isotopic Uranium in Texas Drinking Water Supplies by Liquid Scintillation with Alpha-Beta Discrimination. Liquid Scintillation Spectrometry – ed. Noakes J.E., Schönhofer F. and Polach H.A. Radiocarbon, 425-430.

Vezzani L. & Ghisetti F. (1998) – Carta geologica dell'Abruzzo, a scala 1:100'000. S.EL.CA., Firenze.