

## Caratteri idrogeologici ed idrogeochimici del settore meridionale dei Monti della Maddalena (Appennino Meridionale)

Salvatore Grimaldi<sup>1</sup>, Gianpietro Summa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata all'Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, – Campus Macchia Romana, Viale dell'Ateneo, 10. 85100 POTENZA – Fax 0971/205070. sgrimaldi@unibas.it.

<sup>2</sup>Dottore di Ricerca in Geologia Applicata ed Ambientale. Libero Professionista, idrogeo@infinito.it.

*Hydrogeological and hydrogeochemical features of the southern sector of the Maddalena Mounts (Southern Apennines)*

**ABSTRACT:** The study area is located in the central-southern sector of the Maddalena Mounts and is part of a complex geological-structural framework generated by the tectonic overthrusting of the Limestone-Platform Unit onto the Lagonegrese Unit. The terrains outcropping in this area belong to five distinct stratigraphical-structural Units, which are, from bottom to top: Lagonegrese Unit, Limestone-Platform Unit, Liguride Unit and Miocene Flysch Unit. The Maddalena Mounts ridge is an important and complex carbonate hydrostructure of the Marzano Mount-Maddalena Mounts stratigraphical-structural Unit. The study area is bounded, both westward and eastward, by huge tectonic discontinuities along which the Diano valley and the Meandro and Agri valleys have developed, respectively, and, northward and southward, by the alignments of Brienza-Atena Lucana and Casalbuono-Grumento Nova, respectively. The hydrogeological surveys have been carried out in order to define the pattern of groundwater circulation in the aquifer, which is extremely complex and fractionated. For this purpose, hydrogeochemical surveys have been also carried out of the basal water springs and some springs (nearly 30) located at middle-high elevation, by measuring *in situ* pH, electric conductivity and temperature, and by collecting water samples to determine, in laboratory, the main chemical constituents. Hydrogeochemical data, which have been interpreted also in the light of the geological-structural and hydrogeological frameworks, and the *evaluation of the average unit yield* for each groundwater basin, have allowed us to suggest reliable hypothesis about the fractioning of the groundwater circulation and, consequently, to define the groundwater basins which feed the main springs of the area.

*Key terms:* subterrain basin; Maddalena Mounts; hydrochemistry; carbonate rocks.

*Termini chiave:* bacino sotterraneo; Monti della Maddalena; idrogeochimica; rocce carbonatiche.

### Riassunto

L'area oggetto di studio è costituita dal settore centro-meridionale dei Monti della Maddalena. Questa porzione dell'Appennino Meridionale ha caratteri di notevole complessità geologico-strutturale legati principalmente all'effetto della tettonica traslativa che ha portato le formazioni carbonatiche di piattaforma a sovrascorrere sulle unità lagonegresi. Sinteticamente in quest'area è possibile riconoscere diverse tipologie di terreni riferibili a cinque differenti Unità stratigrafico-strutturali. Dal basso verso l'alto sono riconoscibili in affioramento: le Unità Lagonegresi, le Unità Carbonatiche della Piattaforma, le Unità Liguridi e le Unità flyschoidi mioceniche.

La dorsale dei Monti della Maddalena, appartenente all'unità stratigrafico-strutturali di Monte Marzano-Monti della Maddalena, rappresenta una complessa e importante idrostruttura carbonatica.

L'area è delimitata, ad ovest e ad est, dalle importanti discontinuità tettoniche sulle quali si sono impostate rispettivamente il Vallo di Diano e le Valli del Meandro e

dell'Agri e risulta compresa tra le direttrici di Brienza – Atena Lucana (a nord) e Casalbuono – Grumento Nova (a sud).

Le indagini idrogeologiche condotte sono state finalizzate alla ricostruzione dello schema di circolazione idrica sotterranea dell'acquifero che è risultato estremamente complesso e frazionato. A tal fine sono state anche eseguite indagini idrogeochimiche sulle emergenze basali e su alcune sorgenti poste a quota medio-alta (circa 30 in totale), determinando *in situ* pH, conducibilità elettrica e temperatura, e acquisendo campioni d'acqua per la determinazione, in laboratorio, dei costituenti chimici principali.

I dati idrogeochimici, interpretati anche alla luce dell'assetto geologico-strutturale ed idrogeologico, e la *valutazione dei rendimenti unitari medi* dei singoli bacini sotterranei hanno permesso di avanzare plausibili ipotesi sul frazionamento della circolazione idrica sotterranea, individuando i bacini sotterranei responsabili dell'alimentazione delle principali sorgenti dell'area.

### 1. Premessa ed inquadramento geologico strutturale

I Monti della Maddalena costituiscono una stretta e complessa dorsale carbonatica allungata in direzione NNW-SSE, situata a cavallo tra le regioni Campania e Basilicata. Essa è delimitata da importanti discontinuità tettoniche sulle quali si sono impostate, a nord, la valle del Melandro, ad est l'Alta Valle dell'Agri, ad ovest il Vallo di Diano, mentre il limite meridionale è geologicamente marcato dal sovrascorrimento delle Unità carbonatiche della piattaforma campano-lucana sulle Unità lagonegresi.

I Monti della Maddalena rappresentano una successione mesozoica che presenta facies di margine di piattaforma carbonatica. Depositi silicoclastici di avanfossa distale vi trasgrediscono nel Tortoniano superiore e depositi di "wildflysch" la ricoprono in discordanza nel Tortoniano alto-Messiniano inferiore (Ascione et alii, 1992). Durante questo intervallo l'Unità dei Monti Alburni era già tettonicamente accavallata su quella dei Monti della Maddalena. Entrambe le Unità erano sovrascorse su quelle

bacinali lagonegresi (Scandone & Bonardi, 1968) affioranti nelle finestre tettoniche di Passo Croce di Marsico e di Madrano.

L'area in studio (Fig.1) rappresenta la porzione meridionale dei Monti della Maddalena; essa risulta delimitata a nord dalla faglia ad andamento antiappenninico che separa le dolomie della Unità carbonatica dai calcari della stessa (direttrice Brienza – Atena Lucana); ad ovest dal Vallo di Diano; ad est dall'Alta Valle dell'Agri ed a sud dal contatto con le Unità lagonegresi.

Il Vallo di Diano è un ampio bacino intramontano che si allunga per circa 37 km, in senso NNW-SSE, con un'ampiezza massima di 6-7 km e con fondo quasi piatto posto ad una quota media di circa 450 metri s.l.m.

L'Alta Valle dell'Agri è un'importante depressione tettonica allungata prevalentemente in senso appenninico e situata al confine occidentale della regione Basilicata. Il suo disegno planoaltimetrico risulta piuttosto articolato. In particolare alcuni rilievi disposti trasversalmente determinano una parziale separazione del settore centro-settentrionale da quello meridionale (Di Niro et alii, 1992).

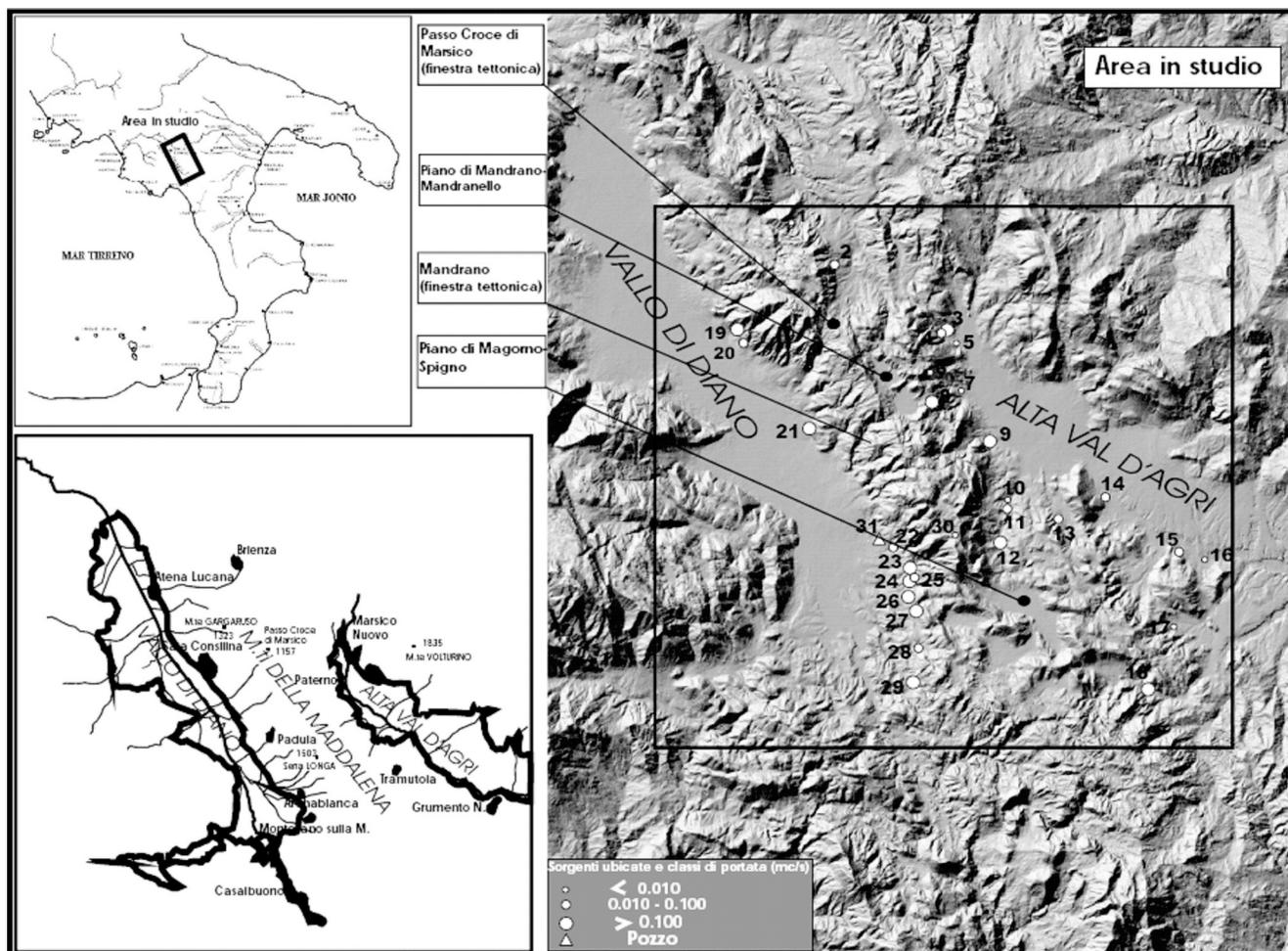


Fig. 1 - Ubicazione dell'area studiata. DTM (ombreggiato) e ubicazioni delle sorgenti. Location of the study area. DTM (shaded) and location of the springs.

I Monti della Maddalena si presentano come una morfostruttura, ad asse centrale NNW-SSE con quote comprese tra 850 e 1482 metri s.l.m., degradante “a gradinata” ad ovest e ad est. Essa è dominata da versanti di faglia con orientazioni comprese tra N140° e N160° come quelli di Monte Sarcone-Serra Intranita, Serra la Rapanza (Ascione et alii, 1992). I versanti occidentali, mediamente orientati N150°, hanno un andamento “a segmenti” dovuto all’intersezione di lineamenti strutturali N150° con altri orientati N120° (Ascione et alii, 1992). La morfostruttura è dominata da paesaggi carsici. Le zone più interessate dal fenomeno dissolutivo gravitano intorno alle conche tettono-carsiche di Mandrano e Mandranello, Magorno, Perillo e Spigno (Nicotera & de Riso, 1969).

L’assetto geologico-strutturale dell’area appena descritto, risulta essere complesso ed a tutt’oggi non ancora completamente chiarito. Esso determina una struttura idrogeologica altrettanto complicata e una circolazione idrica sotterranea di non semplice interpretazione.

## 2. Caratteri idrogeologici ed indagini

Lo schema di circolazione idrica sotterranea è stato ricostruito alla luce dell’assetto geologico-strutturale del territorio ed in base alle risultanze delle indagini idrogeologiche condotte.

### 2.1. Inquadramento idrogeologico

L’area d’interesse, in passato, è stata oggetto di diversi studi a carattere idrogeologico. Le ricerche pregresse hanno, solo in parte, compreso l’intera area (Nicotera & de Riso, 1969; Celico et alii, 1979; 1991; Aa.Vv., 2003; Cotecchia et alii, 1982). Principalmente, questi studi, hanno riguardato le caratteristiche idrogeologiche e/o idrogeochimiche delle maggiori scaturigini ubicate, rispettivamente, in Alta Val d’Agri (Basilicata) e nel Vallo di Diano (Campania). La presente nota riporta i risultati preliminari di una campagna di indagini e di studi idrogeologici e idrochimici condotti sull’intero settore centro-meridionale della dorsale dei Monti della Maddalena (Fig. 1).

L’area in studio costituisce una interessante idrostruttura delimitata, a nord, dalla faglia ad andamento antiappenninico che separa i calcari della piattaforma carbonatica dalle dolomie. La discontinuità è interpretata come uno spartiacque idrogeologico chiuso (Celico et alii, 1979). Il limite meridionale della idrostruttura è marcato dal contatto tettonico dei terreni della piattaforma carbonatica con le Unità lagonegresi che costituiscono un impermeabile relativo per l’acquifero carbonatico. I limiti idrogeologici, occidentale ed orientale, sono dati dal contatto con i sedimenti alluvionali quaternari, rispettivamente del Vallo di Diano e dell’Alta Val d’Agri.

### 2.2. Manifestazioni sorgentizie dell’idrostruttura carbonatica dei Monti della Maddalena

Nell’area studiata sono presenti numerose scaturigini (qualche decina) alcune, le più importanti, registrano portate

cospicue (Tab. 1). Parte sono poste a quote medio-alta (circa 1000 metri s.l.m. con portate di circa 0,001 m<sup>3</sup>/s), ma le principali, certamente riconducibili ad una circolazione basale, sono ubicate, a quote comprese tra i 985 metri s.l.m. ed i 455 metri s.l.m. con portate comprese tra 0,010 e 0,927 m<sup>3</sup>/s, su i due versanti in corrispondenza del Vallo di Diano e dell’Alta Val d’Agri (Fig. 1 e Tab. 1). Nel settore orientale dell’idrostruttura, nei pressi dell’abitato di Tramutola a quota 620 metri s.l.m., è ubicata una emergenza (Acqua Zolfresca) che contiene idrocarburi.

Tab. 1 - Elenco delle sorgenti campionate. I dati di portata, ricavati in letteratura, sono riferiti al periodo 1977-87.

*List of the sampled springs. Data of water discharge, got out of published papers, are referred to the period 1977-87.*

n°	Denominazione sorgente	Quota (metri s.l.m.)	Q x 10-3 (m3/s)	Bacino Sotterraneo
1	Santa Domenica	850	2	-
2	Navarro	985	50	2
3	Monaco Santino	690	139	2
4	Peschiera Santino	690	47	2
5	Pagliarelle Santino	650	8,9	2
6	Scuro Amoruso	930	48	3
7	Acqua Panzone	650	12	4
8	Gruppo Oscuriello	920	90	3
9	Aggia	605	306	5
10	Acqua Zolfresca	620	2,5	-
11	Caranna	640	10	-
12	Capo Cavolo	720	927	8
13	Capo d'Acqua	650	49	6
14	Santo Stefano	565	50	6
15	Fontana dei Salici	545	97	7
16	Carpineta	550	72	7
17	Fosso Fabbricata	720	11	-
18	Lupara	720	196	-
19	Taverna Conca Grande	455	166	1
20	San Giovanni	460	30	1
21	San Giovanni in Fonte	480	410,7	12
22	Fego	655	34	11
23	Acquanova	695	181,7	10
24	Ternaturo	675	51,9	10
25	Valle	680	117,9	10
26	Cantari	650	442,9	10
27	Cappuccini	700	102	10
28	San Michele	720	43	10
29	Brignoccole-Mangarrone	670	87	-
30	Acqualonga	1150	0,5	-

La presenza di numerose sorgenti, quantitativamente e qualitativamente importanti, è indice di una circolazione idrica sotterranea, come già detto in premessa, molto complessa ed articolata. In questa fase e per la notevole

quantità di sorgenti censite si è dovuta operare una scelta nel campionare le acque da sottoporre ad analisi di tipo fisico-chimico. Tra le sorgenti censite sono state scelte e campionate tutte le sorgenti basali con portata superiore a 0,010 m<sup>3</sup>/s oltre ad alcune sorgenti poste a quota mediamente più alta e di ridotta portata, ma interessanti al fine di una migliore comprensione della circolazione idrica sotterranea. Tutte le sorgenti analizzate sono riportate in

Tab. 1.

Sulle sorgenti campionate sono state eseguite le determinazioni di temperatura, pH e conducibilità (in situ) e le determinazioni dei principali anioni e cationi e di alcuni elementi in traccia (in laboratorio). I risultati sono riportati in Tab. 2. I dati idrochimici ottenuti sono stati rappresentati in forma grafica nei diagrammi di Schoeller e di Piper (Figg. 2 e 3).

Tab. 2 - Risultati delle analisi chimiche (periodo agosto-settembre 2005) delle acque delle sorgenti e del pozzo Arenabianca (31). Per l'ubicazione dei punti d'acqua campionati si veda la Fig. 5.

*Results of the chemical analysis (period August-September 2005) of water samples from the springs and the Arenabianca well (31). For location of samplings, see Fig. 5.*

n°	Denominazione sorgente	T (°C)	pH	C.E. a 20 °C (µS/cm)	R.F. (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Durezza (°F)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Sr <sup>++</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	TDS (mg/l)
1	Santa Domenica							380	11.4	8.5	17.2	0.12	73.1	37.4	5.9	1.6				
2	Navarro							189	6.8	4.9	0.6	0.006	56.3	4.9	4.2	1				
3	Monaco Santino	10.4	7.7	300	184	5.5	17.6	231	6.9	3.7	1.8	0.08	57.6	7.7	3.8	1.4	0.005	0.017	0.04	314.04
4	Peschiera Santino	10	7.72	320	187	5.3	19	243	7.1	3.8	1.5	0.08	52.8	14.1	4	1.3	0.004	0.003	0.021	327.71
5	Pagliarelle Santino	10.9	7.6	350	207	5.2	20	243	7.3	4.2	2.3	0.1	56.8	14.1	4.1	1.2	0.003	0.009	0.016	333.13
6	Scuro Amoroso	10	7.72	340				226	7.1	4.4	2.6	0.019	47.9	17	4.9	1.4			0.111	
7	Acqua Panzone	16.5	7.46	450				261	8.3	12.6	2.2	0.5	47.7	17.1	22.7	2.5			0.046	
8	Gruppo Oscuriello	9.4	7.77	380	210	5.9	22	268	7.6	5.3	2.5	0.09	52	21.8	4.9	1.3	0.004	0.005	0.013	363.51
9	Aggia	9.9	8.03	290	128	4.5	16	195	6.1	4	2.9	0.09	47.2	10.2	3.2	1.2	0.004	0.001	0.012	269.91
10	Acqua Zolfresca	14.9	7.46	470	260	5.2	24	304	8.8	15.8	0.19	0.14	57.6	23.3	9.5	1.6	0.004	0.11	0.01	421.2
11	Caranna	11.8	7.62	380	201	4.4	21	280	6.9	5.1	1.66	0.08	56	17	3.9	1.1	0.003	0.009	0.014	371.77
12	Capo Cavolo	10.7	7.66	340	199	4.8	19.6	243	6.2	3.1	3.2	0.06	54.4	14.5	3.6	1.3	0.005	0.011	0.013	329.39
13	Capo d'Acqua	11.3	7.57	410				251	8.6	5.5	4.3		74.1	6.4	6.3	1.8				
14	Santo Stefano	13.4	7.46	460	260	7.5	25.8	365	9.2	8	6.5	0.19	76	16.5	7.2	1.9	0.004	0.12	0.016	490.63
15	Fontana dei Salici	12.9	7.46	430	247	6.5	23.4	316	7.5	4	3.6	0.09	76	10.7	4.3	1.5	0.004	0.036	0.015	423.74
16	Carpineta	13.7	7.23	510				312	10.4	8.4	12.8	0.08	82.4	14.3	9.5	3.9				
17	Fosso Fabbricata	11.9	8.03	530	330	6.5	28	353	13.8	13.4	9.7	0.09	92	12.1	7.6	2.7	0.004	0.019	0.019	504.43
18	Lupara	11	7.62	300	188	5.5	18	207	7.2	3.5	4.4	0.07	64	4.8	3.7	1.1	0.004	0.018	0.018	295.81
19	Taverna Conca Grande	11.3	7.69	420	208	3.1	23	304	9.4	5.9	0.86	0.2	55.2	22.3	6.2	1.12				405.18
20	San Giovanni							321	12.3	9.7	16.7	0.016	57.3	33	9	4.7				
21	San Giovanni in Fonte	12.9	7.47	430	139	2.8	18	243	7.2	4.5	0.83	0.14	49.6	13.6	3.8	0.8				323.47
22	Fego	12	7.94	420				272	7.5	4.9	0.6	0.035	56.8	22.1	4.3	0.6				
23	Acquanova	10.4	7.74	370	131	3.8	16	207	6.9	3.9	1.58	0.14	44.8	11.6	3.5	0.83				280.25
24	Ternaturo	11	7.65	350	218		20	219	8.4	3.9	5.3	0.07	58.4	13.1	4.3	1.1		0.01		313.58
25	Valle	11.1	7.82	290				203	6.4	3.1	4		45.6	14.5	3.6	1				
26	Cantari	11.5	7.8	360	268		21	243	6.4	3.1	7.3	0.06	60.8	14.4	3.5	1.9		0.01		340.47
27	Cappuccini	11.1	7.57	340				239	5.3	3.3	4.3	0.004	56	15.4	3.1	0.9				
28	San Michele	10.6	7.55	370				252	5.4	3.8	1.6		57.4	16.8	3.1	0.8				
29	Brignoccole - Mangarrone	12	7.42	440				300	6.6	4.2	0.6	0.071	73.3	16.8	3.8	0.5				
30	Acqualonga	10.2	7.42	380	238		21.4	243	7.8	4.9	1.34	0.06	80	3.4	4.8	1.1		0.01		346.41
31	Pozzo Arenabianca	14.5	7.40	520	156	4	18	207	6.5	6.8	1.13	0.2	50.4	13.1	3.3	0.91		0.09		

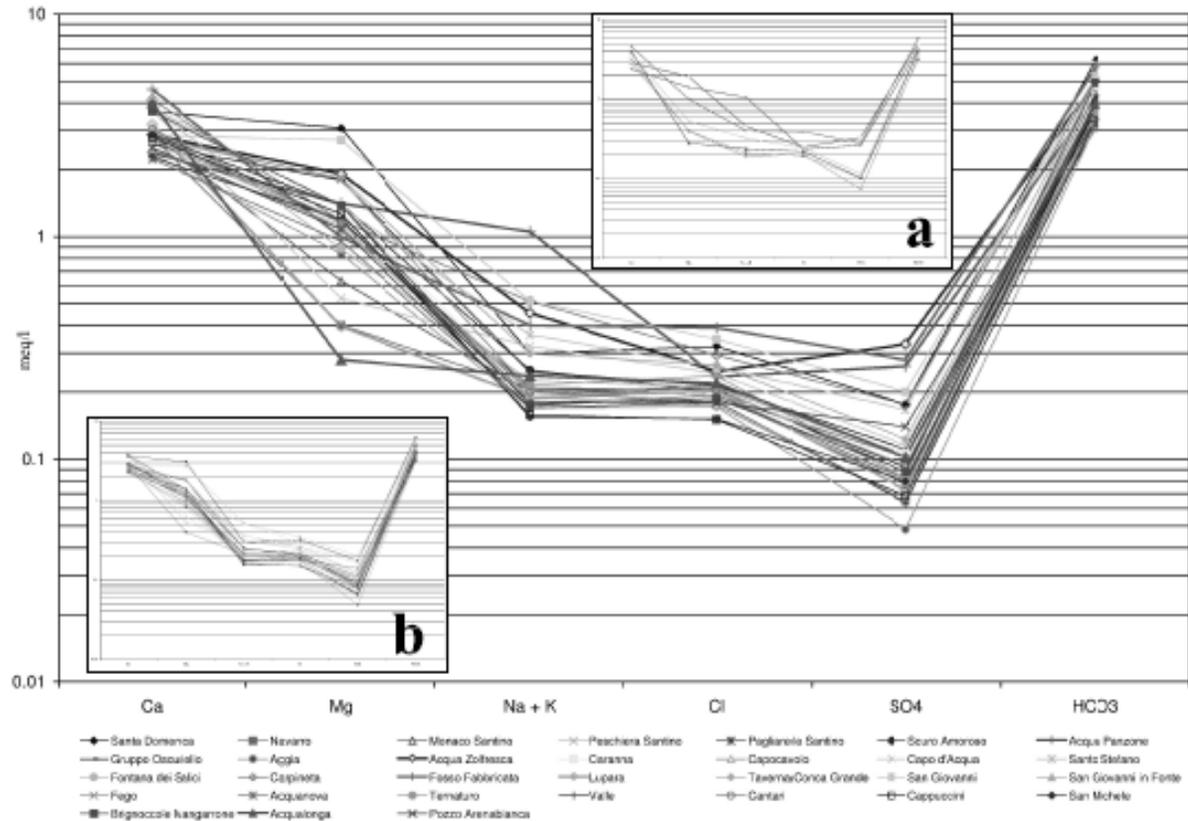


Fig. 2 – Rappresentazione grafica dei dati idrogeochimici – diagramma di Schoeller. a) Andamenti anomali; b) Andamento tipico delle acque dei Monti della Maddalena.

*Diagram of hydrogeochemical data – Schoeller diagram.*

L'analisi del diagramma di Schoeller consente di notare alcuni andamenti anomali delle seguenti sorgenti: Fosso Fabbricata, Lupara, Acqualonga, Acqua Zolfresca, Navarro, Capo d'Acqua ed Acqua Panzone; le altre hanno un andamento omogeneo. Acqua Zolfresca è la sorgente dei Monti della Maddalena con presenza di idrocarburi; Acqua Panzone ha la temperatura più alta (16,7 °C) tra le acque analizzate; le acque delle sorgenti Lupara, Fosso Fabbricata e Capo d'Acqua sembrano aver subito l'influenza di litologie diverse probabilmente appartenenti ai terreni basali delle Unità lagonegresi; Acqualonga e Santa Domenica sono sorgenti di alta quota (Tab. 1) con acque circolanti rispettivamente nei calcari e nelle dolomie. Le altre sorgenti presentano caratteri fisico-chimici correlabili alla circolazione basale all'interno dell'acquifero carbonatico dei Monti della Maddalena (Tab. 1).

Il diagramma di Piper (Fig. 3) indica, per tutte le acque analizzate, la facies idrochimica bicarbonato-alcalino-terrosa (BAT). Le uniche differenze mostrate, nel rapporto rMg/rCa, sono in accordo con quelle individuate dall'analisi del diagramma di Schoeller. In particolare, le sorgenti Acqualonga, Fosso Fabbricata, Santa Domenica, Capo d'Acqua e Lupara mostrano caratteri di non appartenenza

alla circolazione basale dell'acquifero carbonatico in studio. Le sorgenti Monaco Santino, Peschiera Santino, Aggia, Santo Stefano, Capo d'Acqua, Fontana dei Salici e Navarro presentano i valori più bassi del rapporto rMg/rCa (compresi tra 0,14 e 0,44); le acque delle sorgenti Taverna Conca Grande, Gruppo Oscuriello, Acqua Zolfresca, San Giovanni, Fego, Acqua Panzone e Scuro Amoroso presentano i valore più alti (0,58-0,95).

Bassi valori del rapporto caratteristico rMg/rCa sono generalmente da interpretare come una circolazione che si esplica principalmente nella parte calcarea dell'acquifero. Al contrario, le sorgenti Taverna Conca Grande, San Giovanni, Fego e Gruppo Oscuriello indicano una circolazione esclusiva all'interno dei termini dolomitici dell'acquifero carbonatico. Per la sorgente Acqua Zolfresca che, ricordiamo, registra la presenza di idrocarburi idroveicolati, l'alto valore del rapporto rMg/rCa (0,67) sembra probabilmente imputabile ad un apporto localizzato di acqua di fondo veicolato dalla risalita di fluidi ed idrocarburi attraverso l'incrocio di faglie profonde come mostrato in Fig. 4. Anche le anomalie osservate per Acqua Panzone potrebbero essere imputabili alla risalita di fluidi profondi.

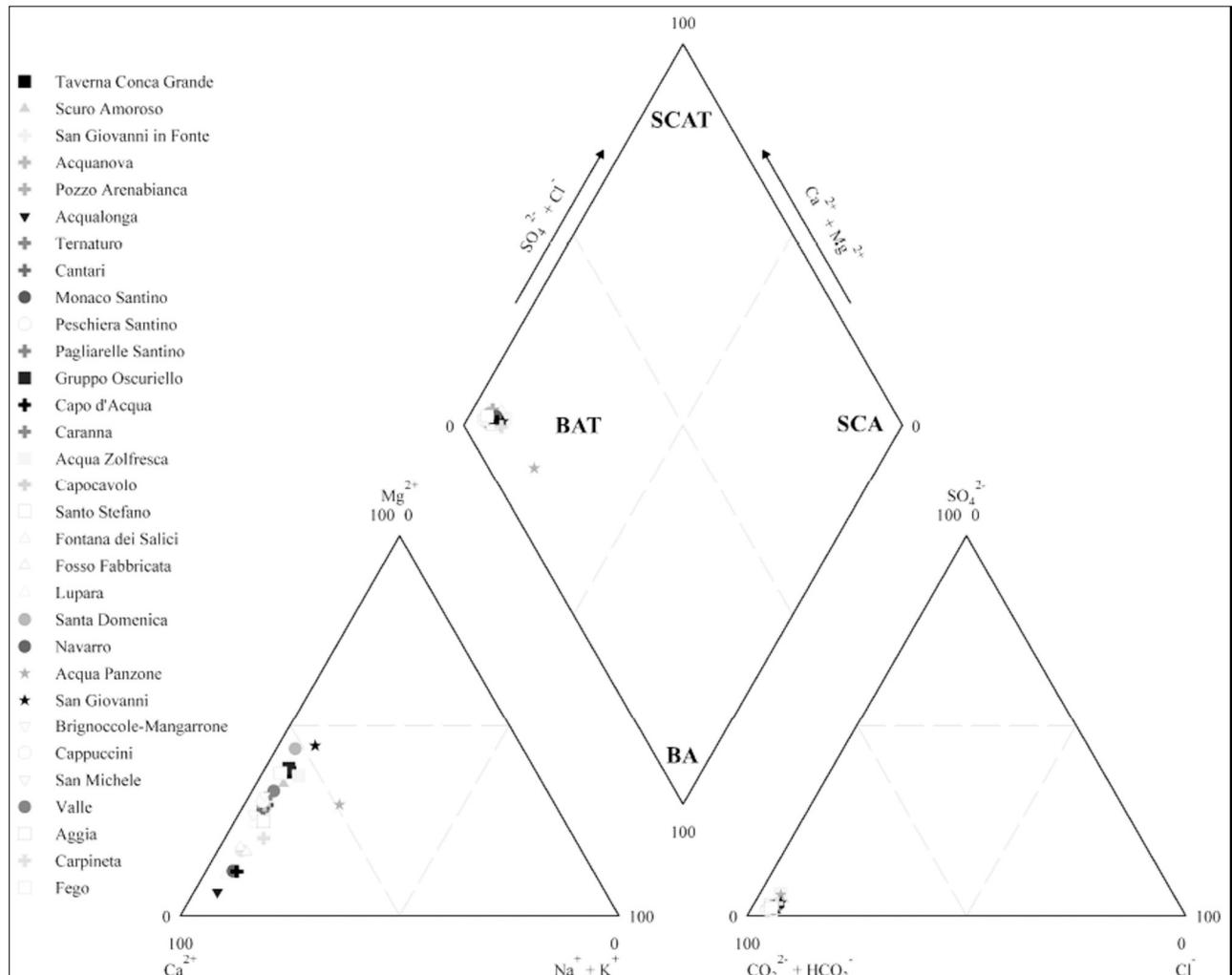


Fig. 3 – Rappresentazione grafica dei dati idrogeochimici – diagramma di Piper.  
Diagram of hydrogeochemical data – Piper diagram.

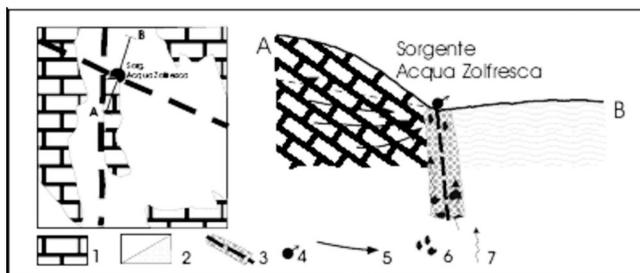


Fig. 4 – Rappresentazione schematica della emergenza di Acqua Zolfresca. Legenda: 1) Complesso calcareo interno; 2) Complesso “impermeabile” (Unità lagonegresi – flysch miocenico); 3) Faglia presunta e fascia cataclastica; 4) Sorgente; 5) Linee di flusso; 6) Idrocarburi; 7) Fluidi profondi.

Sketch-map of the Acqua Zolfresca spring. Legend 1) Limestone complex, inside the study area; 2) “Impermeable” complex (lagonegrese Unit – Miocene flysch); 3) Fault with cataclastic zone; 4) Spring; 5) Water flow lines; 6) Oil; 7) Deep fluid.

### 2.3. Circolazione sotterranea

La circolazione idrica sotterranea, molto articolata e frazionata, è il risultato di molteplici fattori che in diversa misura e modo la condizionano; tra i principali, nell’area studiata, sono da evidenziare:

- l’incrocio di faglie ad andamento appenninico ed antiappenninico e la loro duplice valenza idrogeologica;
- l’andamento plano-altimetrico della cintura impermeabile;
- gli ampi affioramenti di dolomie farinose a permeabilità relativa medio-bassa;
- l’andamento dell’impermeabile di fondo rappresentato dai membri stratigraficamente più alti (Formazioni degli Scisti Silicei e del Flysch Galestrino) delle Unità lagonegresi.

Proprio l’andamento delle sottostanti Unità lagonegresi sembra giocare il ruolo idrogeologico più importante. Gli affioramenti dei terreni lagonegresi sono localizzati

principalmente nelle finestre tettoniche di Passo Croce di Marsico e di Mandrano e probabilmente sono sepolte dai depositi lacustri nella piana di Magorno.

L'andamento del substrato impermeabile, ricostruito anche sulla base delle più recenti conoscenze stratigrafiche (Boenzi et alii, 2004), sembra essere quello di un'anticlinale con asse NNW-SSE grossomodo coincidente con lo spartiacque superficiale ampiamente interessato da importanti discontinuità strutturali ad andamento appenninico ed antiappenninico. Tutto ciò ha notevoli ricadute sulla circolazione idrica sotterranea che risulta, quindi, separata da uno spartiacque idrogeologico costituito dall'asse dell'anticlinale (variamente dislocato), con assi di deflusso a componente prevalente in direzione est-ovest, individuando quindi, anche per le acque sotterranee, un versante occidentale ed uno orientale.

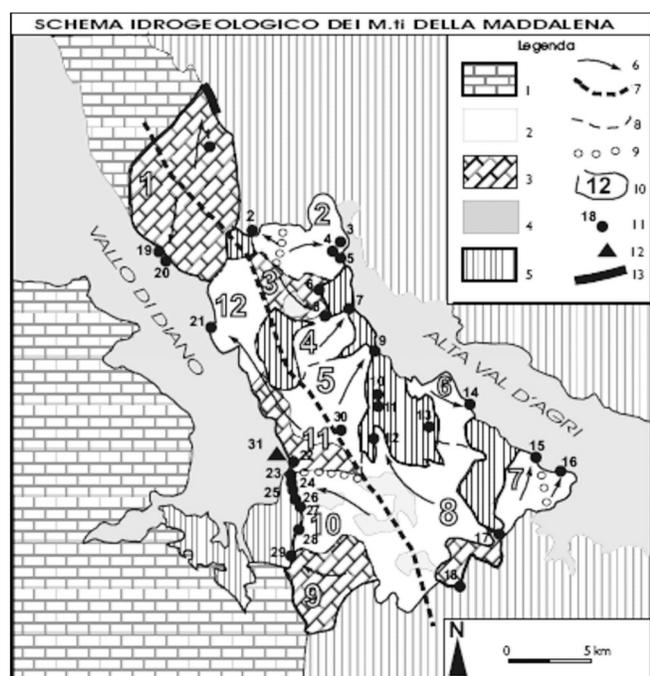


Fig. 5 – Schema idrogeologico. Legenda: 1) Complesso calcareo esterno all'area studiata; 2) Complesso calcareo interno all'area; 3) Complesso dolomitico interno; 4) Complesso detritico-alluvionale; 5) Complesso "impermeabile" (Unità lagonegresi – flysch miocenico); 6) Direzione principale di deflusso; 7) Spartiacque principale chiuso (asse "dorsale unità lagonegrese"); 8) Spartiacque chiuso; 9) Spartiacque aperto; 10) Limiti di bacino sotterraneo e relativa numerazione; 11) Sorgenti e numerazione; 12) Pozzo; 13) Incremento in alveo.

*Hydrogeological sketch. Legend:* 1) Limestone complex, outside the study area; 2) Limestone complex, inside the study area; 3) Internal dolomitic complex; 4) Debris-alluvial complex; 5) "Impermeable" complex (lagonegrese Unit – Miocene flysch); 6) Main flow direction; 7) Main close groundwater divide (axis of the "lagonegrese Unit range"); 8) Close groundwater divide; 9) Open groundwater divide; 10) Limits of groundwater basin and respective numbering; 11) Spring and numbering; 12) Well; 13) Increase in river bed.

Il complesso quadro geologico-strutturale caratterizzato da una grande frammentazione e dalla conseguente presenza di numerosi spartiacque idrogeologici di tipo fisso, tamponanti e/o parzialmente aperti, ha consentito il costituirsi di un acquifero "multisistema", di non semplice interpretazione, in cui è possibile riconoscere diversi bacini sotterranei a circolazione autonoma o parzialmente autonoma (Fig. 5), aventi come recapito principale le sorgenti più importate dell'area.

Da nord, in senso orario, abbiamo:

#### *Bacino sotterraneo 1*

Bacino sotterraneo costituito dalle dolomie di Monte Madonna di Silo Alto-Gargaruso con un'estensione di circa 54,8 km<sup>2</sup> ha recapito preferenziale nelle sorgenti del gruppo Taverna Conca Grande e San Giovanni. Gli interscambi con i sistemi adiacenti sono fortemente limitati per la presenza di spartiacque sotterranei chiusi. Un secondo recapito in direzione di Brienza è testimoniato dalla presenza di una importate incremento in alveo (Torrente Pergola) rinvenuto sul versante orientale. Il frazionamento della circolazione idrica sotterranea è da imputarsi al substrato impermeabile (Unità lagonegresi) che risale ripartendo il deflusso a nord-est verso Brienza e a sud-ovest verso le sorgenti Taverna Conca Grande e San Giovanni.

A partire dalla finestra tettonica di Passo Croce di Marsico fino al limite meridionale della struttura i sistemi idrogeologici sono pressoché indipendenti tra quelli orientali, con recapito preferenziale nell'Alta Val d'Agri e quelli occidentali con recapito nel Vallo di Diano.

#### *Bacino sotterraneo 2*

Tra i sistemi con recapito nell'Alta Val d'Agri, quello, costituito in affioramento dai calcari di Monte Fontanalunga, che alimenta le sorgenti Peschiera Santino, Monaco Santino, Pagliarelle Santino ed a nord-ovest Navarro. Esso presenta un'estensione areale di circa 17 km<sup>2</sup>, è pressoché autonomo e al suo interno ha alcuni spartiacque aperti responsabili del frazionamento della circolazione idrica sotterranea verso le sorgenti sopra citate.

#### *Bacino sotterraneo 3*

Il bacino sotterraneo 3, esteso per circa 8,8 km<sup>2</sup>, alimenta le sorgenti Gruppo Oscuriello e Scuro Amoroso è ritenuto sostanzialmente autonomo. È quasi esclusivamente costituito da dolomie ed ha come area di ricarica l'importante sistema tettono-carsico dei piani di Mandrano e Mandranello.

#### *Bacino sotterraneo 4*

Il bacino sotterraneo 4, costituito in affioramento da calcari e subordinatamente da dolomie, si estende per circa 8,2 km<sup>2</sup> e alimenta alcune sorgenti nei pressi dell'abitato di Paterno e la sorgente Acqua Panzone che ha la caratteristica di essere la più calda tra quelle studiate (16,7 °C).

Sembrano limitati gli interscambi con i bacini sotterranei adiacenti.

**Bacino sotterraneo 5**

La sorgente Aggia rappresenta il recapito preferenziale del bacino sotterraneo 5 che risulta essere autonomo e delimitato da spartiacque chiusi. Dal punto di vista litologico è costituito in affioramento da calcari e si estende su di una superficie di circa 13 km<sup>2</sup>.

**Bacino sotterraneo 6**

Il bacino sotterraneo 6 è costituito in affioramento da calcari e subordinatamente da dolomie, si estende su di una superficie di circa 7,5 km<sup>2</sup>. Risulta anch'esso autonomo con recapito preferenziale verso la sorgente Santo Stefano.

**Bacino sotterraneo 7**

Il bacino sotterraneo 7, costituito anch'esso da calcari e subordinatamente da dolomie, si estende su di una superficie di circa 11,8 km<sup>2</sup>. Risulta avere una circolazione autonoma ed un recapito preferenziale verso le sorgenti basali di Fontana dei Salici e Carpineta.

**Bacino sotterraneo 8**

Il bacino sotterraneo 8, invece, è individuato dal sovrascorrimento sulle Unità lagonegresi, che rappresenta uno spartiacque chiuso, e dalla metà dell'altopiano di Magorno, definita dall'ipotizzata risalita delle Unità lagonegresi, che determina il limite tamponante del sistema verso ovest. È costituito, in affioramento, prevalentemente da calcari e si estende su di una superficie di circa 28,2 km<sup>2</sup>. Il recapito di questo sistema è rappresentato dalla sorgente Capocavolo che è in collegamento idraulico al disotto della copertura impermeabile.

Per i bacini sotterranei con recapito nel Vallo di Diano, iniziando da sud, riconosciamo:

**Bacino sotterraneo 9**

Il bacino sotterraneo 9, rappresentato quasi esclusivamente da dolomie, si estende su di una superficie di circa 17,1 km<sup>2</sup>, mostra di avere circolazione indipendente con interscambi pressoché nulli con i sistemi adiacenti (Celico et alii, 1979). La sorgente Brignoccole-Mangarrone rappresenta uno dei recapiti della falda di base.

**Bacino sotterraneo 10**

Il bacino sotterraneo 10 riceve alimentazione dalla metà dell'altopiano di Magorno e Spigno ed ha recapito preferenziale nelle sorgenti di Montesano sulla Marcellana: Acquanova, Ternaturo, Cantari, Valle e San Michele. È costituito, in affioramento, quasi esclusivamente da calcari e si estende su di una superficie di circa 32,2 km<sup>2</sup>. La presenza di varie sorgenti è dovuta ad una serie di faglie che giocano il ruolo di spartiacque sotterranei aperti e frazionano la circolazione a varie quote. Il contatto tra il bacino sotterraneo 10 ed il bacino sotterraneo 11 è rappresentato da uno spartiacque ipotizzato come aperto.

**Bacino sotterraneo 11**

Il bacino sotterraneo 11 non ha sorgenti importanti, fatta eccezione per la sorgente Fego, ed il recapito verso il Vallo di Diano è impedito dal tamponamento quasi perfetto

operato dalle dolomie farinose che affiorano nei pressi di Arenabianca. Questo bacino è costituito in affioramento da calcari e dolomie e si estende su di una superficie di circa 18,2 km<sup>2</sup>. In quest'area è presente un pozzo posto alla quota di 530 metri s.l.m. (Pozzo Arenabianca) che presenta flusso artesiano. Il recapito preferenziale di questo sistema è, quindi, per cascata attraverso uno spartiacque aperto, il bacino sotterraneo 12.

**Bacino sotterraneo 12**

Il bacino sotterraneo 12, in fine, ha come recapito preferenziale la sorgente San Giovanni in Fonte. È costituito in affioramento da calcari e subordinatamente da dolomie; si estende su di una superficie di circa 14,8 km<sup>2</sup>. La sorgente ha una portata elevata non giustificabile con la sola estensione del bacino sotterraneo 12 (Celico et alii, 1979), riceve quindi alimentazione da sud (bacino sotterraneo 11). Inoltre, in quest'area è presente un'importante alimentazione, attraverso i detriti di versante, verso la piana del Vallo di Diano (Celico et alii, 1991).

**2.4 Valutazione del rendimento unitario medio**

Per avvalorare lo schema di circolazione idrica sotterranea appena descritto è stato stimato il rendimento unitario medio (Celico, 1988) dei singoli bacini sotterranei.

La portata delle sorgenti utilizzate sono quelle in Tab. 1; si tratta di valori molto eterogenei e spesso incompleti riscontrati in letteratura nel periodo 1977-87. Sono state calcolate le superfici dei singoli bacini sotterranei (Fig. 5) ed è così stato stimato il rendimento unitario medio come mostrato in Tab. 3.

Tab. 3 - Valutazione del Rendimento unitario medio dei bacini sotterranei individuati.

*Evaluation of Mean unit yield of the investigated groundwater basins.*

Bacino sotterraneo	Sorgenti (Tab. 1)	Q x 10-3 (m3/s)	Estensione (km2)	Rendimento unitario medio (10-3 m3/s/km2)
1	19,2	196	54,8	
2	2,3,4,5	244,9	17	14,4
3	6,8	138	8,8	15,7
4	7	12	8,2	
5	9	306	13	23,5
6	14	50	7,5	
7	15,16	169	11,8	14,3
8	12	927	28,2	32,9
9	29	43	17,1	
10	23,24,25, 26,27,28	939,4	32,2	29,2
11	22	34	18,2	
12	21	410,7	14,8	27,8

Per alcuni bacini sotterranei non è stato possibile effettuare il calcolo perché i dati di portata sono risultati incompleti.

Anche se si tratta di una valutazione molto approssimata, si può notare che i bacini sotterranei calcareo dolomitici non superano un rendimento unitario medio di  $16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ , fatta eccezione per il bacino sotterraneo 5 prevalentemente calcareo; mentre i bacini sotterranei 8 e 10, che sono costituiti da calcari dell'Unità stratigrafico-strutturale Alburno-Cervati-Pollino (Bonardi et alii, 1988), il rendimento unitario medio è di circa  $30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ .

I valori di resa unitaria media dei singoli sistemi sembrano essere compatibili con lo schema di circolazione descritto.

### 3. Conclusioni

Questa nota, frutto di un'attività preliminare di indagini, può contribuire a delineare con più chiarezza un modello idrogeologico, sia pure schematico, ma comunque "globale" dell'intero settore meridionale della dorsale carbonatica dei Monti della Maddalena.

I dati riportati sono, quindi, parte di una campagna di indagini idrogeologiche ancora in corso, ma che hanno comunque permesso, attraverso le prospezioni idrogeochimiche ed i rilievi idrogeologici, di avanzare ipotesi sulla circolazione idrica sotterranea di questa

complessa struttura che è la parte centro meridionale dei Monti della Maddalena.

La circolazione è risultata molto frazionata ed articolata con la presenza di bacini sotterranei autonomi ed altri interconnessi.

Il motivo idrogeologico principale è rappresentato dalle sottostanti Unità lagonegresi che affiorano nelle finestre tettoniche di Passo Croce di Marsico e di Mandrano e che separano la circolazione idrica sotterranea tra il versante orientale e quello occidentale della struttura. All'interno dei due versanti le complicazioni strutturali definiscono una serie di spartiacque aperti e chiusi che permettono di riconoscere diversi bacini sotterranei (Fig. 5).

Il quadro descritto sembra essere compatibile con i dati idrogeochimici e con i rendimenti unitari medi stimati di ciascun bacino sotterraneo.

### Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il dott. Facciolongo Mauro ed il TdP Lapadula Donato per l'esecuzione delle analisi chimiche. Inoltre, si ringrazia il Sig. Salvatore Margiotta per il supporto nelle attività di campagna.

### Bibliografia

- Aa.Vv., 2003. Le risorse idriche sotterranee della Alta Val d'Agri. Collana editoriale di studi e ricerche, Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata, Potenza, 3, 1-495.
- Ascione A., Cinque A., Santangelo N. & Tozzi M., 1992 – Il bacino del Vallo di Diano e la tettonica trascorrente plio-quadernaria: nuovi vincoli cronologici e cinematici. Studi Geologici Cameriti, volume speciale (1992/1), 191-200.
- Boenzi F., Capolongo D., Cecaro G., D'Andrea E., Giano S.I., Lazzari M., & Schiattarella M., 2004. Bollettino della Società Geologica Italiana, 123, 357-372.
- Bonardi G., D'Argenio B., Di Nocera S., Marsella E., Pappone G., Perrone V., Pescatore T.S., Senatore M.R., Sgrosso I., Ciaranfi N., Pieri P., & Ricchetti G., 1988. Carta Geologica dell'Appennino Meridionale. Scala 1:250.000.
- 74° Congresso della Società Geologica Italiana, Sorrento 13-17 settembre 1988.
- Celico P. 1988. Prospezioni Idrogeologiche – vol. II. Liguori Editore, Napoli.
- Celico P., De Innocentis M. & Molinaro A., 1991. Circolazione idrica sotterranea nella piana del Vallo di Diano (SA). Atti 1° Convegno Nazionale dei giovani Ricercatori in Geologia Applicata, in "Ricerca Scientifica ed Educazione Permanente", Suppl., 93, 277-285.
- Celico P., Stanzione D., De Gennaro M., Ferreri M., Ghiara M.R. & Russo D., 1979. Idrogeochimica del Vallo di Diano (Salerno). Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli, 88, 1-26.
- Cotecchia V., Micheletti A., Monterisi L. & Salvemini A., 1982. Caratteristiche tecniche delle opere per l'incremento di portata della sorgente dell'Aggia (Alta Val d'Agri) in relazione alle sue condizioni idrogeologiche. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 17, 365-384.
- Di Niro A., Giano I. & Santangelo N., 1992. Primi dati sull'evoluzione geomorfologica e sedimentaria del bacino dell'Alta Val D'Agri (Basilicata). Studi Geologici Cameriti, volume speciale (1992/1), 257-263.
- Nicotera P. & de Riso R., 1969. Idrogeologia del Vallo di Diano. Memorie e Note dell'Istituto di Geologia Applicata, 11, 10-75.
- Scandone P. & Bonardi G., 1968. Sinsedimentary tectonic controlling of Mesozoic and Tertiary carbonate sequence of areas surrounding Vallo di Diano. Memorie della Società Geologica Italiana, 7, 1-10.