

**M. PROPOSITO, G. ARMIENTO, M. DE CASSAN  
M.R. MONTEREALI, E. NARDI, C. UBALDI, F. ZAZA**

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale  
Laboratorio Biogeochimica ambientale  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

**M. ANGELONE, S. CHIAVARINI**

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

# **MONITORAGGIO E CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI, SOTTERRANEE E DEI SEDIMENTI FLUVIALI DELL'AREA DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)**

RT/2016/14/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

M. PROPOSITO, G. ARMIENTO, M. DE CASSAN  
M.R. MONTEREALI, E. NARDI, C. UBALDI, F. ZAZA

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale  
Laboratorio Biogeochimica ambientale  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

M. ANGELONE, S. CHIAVARINI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali  
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale  
Centro Ricerche Casaccia, Roma

# MONITORAGGIO E CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI, SOTTERRANEE E DEI SEDIMENTI FLUVIALI DELL'AREA DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)

RT/2016/14/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

## **MONITORAGGIO E CARATTERIZZAZIONE GEOCHIMICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI, SOTTERRANEE E DEI SEDIMENTI FLUVIALI DELL'AREA DI SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB)**

M. Proposito, G. Armiento, M. De Cassan, M.R. Montereali, E. Nardi, C. Ubaldi, F. Zaza  
M. Angelone, S. Chiavarini

### **Riassunto**

Nel presente Rapporto sono riportati i risultati delle attività di "Monitoraggio e caratterizzazione geochimica delle acque superficiali, sotterranee e dei sedimenti", svolte dal laboratorio di Biogeochimica Ambientale (già UTPRA-GEOC ora SSPT-PROTER-BIOGEOC, C.R. ENEA-Casaccia) tra il 2012 e il 2014 nel territorio del Comune di San Giuliano di Puglia, in seguito alla Convenzione siglata tra ENEA e il Soggetto Attuatore per il completamento degli interventi di ricostruzione post-sisma. Le attività hanno riguardato 4 campagne di campionamento e misura, da parte di personale ENEA, con cadenza circa semestrale in corrispondenza del periodo di massimo e minimo stagionale di precipitazione. Come primo elemento emerso da questo studio, le campagne di campionamento e misura delle acque sotterranee effettuate nel territorio di San Giuliano di Puglia hanno evidenziato la presenza di un sistema di piccole falde all'interno di coperture detritiche caratterizzate da elevata capacità di rilascio in acqua per alcuni elementi. Le analisi chimiche indicano inoltre che queste acque sono di scarsa qualità essendo inadatte sia per un utilizzo potabile sia, in alcuni casi, a scopo irriguo. Queste considerazioni non si applicano, ovviamente, a eventuali falde più profonde, che non sono state interessate dal campionamento. Le differenti concentrazioni dei parametri analizzati nelle acque di uno stesso sito, in relazione al periodo in cui è stato effettuato il campionamento, sono ascrivibili sia a una diluizione delle acque dovuta all'infiltrazione di acqua piovana durante la stagione invernale sia agli effetti di prolungati periodi di scarsità di precipitazioni sul chimismo delle acque di falda. I livelli di concentrazione degli elementi maggiori e degli anioni analizzati nei campioni di acqua dei pozzi ricadono entro i valori ritenuti tipici per le acque circolanti nei substrati geologici dell'area di studio. Relativamente agli elementi in traccia, i parametri misurati mostrano concentrazioni quasi sempre inferiori ai limiti di legge: eccezioni sono rappresentate da Selenio, Ferro e Manganese in alcuni pozzi e in alcune campagne di campionamento: in ogni caso, i superamenti dei limiti sono sempre molto contenuti e sporadici. La qualità delle acque superficiali e i dati emersi dalle analisi dei sedimenti fluviali non evidenziano fenomeni di contaminazione delle acque, nel territorio indagato, dovuti all'attività antropica in quanto i livelli di concentrazione rilevati sono del tutto coerenti con le caratteristiche geolitologiche dell'area. Infine, l'attività di screening per i composti organici non ha evidenziato alcun tipo di apporto derivante da attività antropiche né nelle acque né nei sedimenti fluviali. Lo studio in oggetto porta a concludere che nell'area investigata non risultano evidenze significative di anomalie geochimiche né di fenomeni di contaminazione delle acque dovute all'attività antropica.

**Parole chiave:** acque, composti organici, sedimenti fluviali attivi, caratterizzazione geochimica.

## **GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND MONITORING OF GROUNDWATER, SURFACE WATER, AND STREAM SEDIMENTS IN THE SAN GIULIANO DI PUGLIA (CB) AREA**

### **Abstract**

The present work reports the results of the investigation carried out in the framework of a Technical Agreement between the ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development) and the local Authorities aimed to the geochemical characterization and monitoring of waters and stream sediments in the area of San Giuliano di Puglia municipality (central-southern Italy). Four sampling and measurement campaigns were performed by ENEA personnel with approximately semi-annual frequency, in correspondence of the maximum and minimum period of seasonal precipitations. The "in field" sampling of groundwater in the territory of San Giuliano di Puglia has pointed out the occurrence of a system of poor and locally overlapped aquifers into the shallow clayey deposits characterized by high capacity for releasing some chemical elements into the water. Chemical analyses have evidenced the poor quality of these groundwaters being unsuitable both for drinking use and, in some cases, for irrigation purposes. These considerations do not apply to deeper and regional aquifer, which was not investigated in this study. The different concentrations of the parameters measured in the waters of a same site can be explained considering both a probable dilution, due to the infiltration of rain during the winter season, and the effects of prolonged periods of scanty rainfalls. The concentration range of the major elements and of the anions in the analyzed groundwater samples fall within the values considered typical for the waters circulating in to geological substrates of the study area. With regard to the trace elements, the measured parameters show concentrations almost always below the limits of law, with the exceptions of selenium, iron and manganese in a few wells and in some sampling campaigns, though, the exceeding of limits is moderate and sporadic. The quality of surface water and the data resulting from the analysis of the stream sediments show no evidence of water contamination due to human activities, as the concentration levels found are consistent with the geolitical characteristics of the investigated area. Finally, the screening analysis of the organic compounds did not show any kind of contribution from human activities neither in the waters nor in the river sediments. This study leads to the conclusions that in the considered area there is no significant evidence of geochemical anomalies or phenomena of water contamination due to human activities.

**Keywords:** water, organic compounds, stream sediments, geochemical characterization.

# INDICE

Premessa	6
1. Lineamenti geologico-strutturali del territorio di San Giuliano di Puglia	7
2. Ubicazione dei punti di monitoraggio delle acque sotterranee e superficiali e di campionamento dei sedimenti fluviali	8
3. Campionamento e analisi delle acque sotterranee e superficiali e dei sedimenti fluviali	15
3.1 Campionamento	15
3.2 Determinazioni analitiche: parametri e metodi	22
3.3 Analisi delle acque: dati	28
3.3.1. Parametri misurati in situ	28
3.3.1.a. Livello statico della falda	28
PIEZOMETRI	28
POZZI	31
3.3.1.b. Parametri chimico-fisici	32
PIEZOMETRI	32
POZZI	33
ACQUE SUPERFICIALI	35
3.3.2. Parametri chimici	37
3.3.2.a. Elementi e composti inorganici	37
PIEZOMETRI	37
POZZI	39
ACQUE SUPERFICIALI	43
3.3.2.b. Composti organici	49
3.4 Analisi dei sedimenti fluviali attivi ( <i>stream sediments</i> )	50
4. Conclusioni	51
Bibliografia essenziale	53

## PREMESSA

Nel presente rapporto sono riportati i risultati delle attività di “Monitoraggio e caratterizzazione geochimica delle acque superficiali, sotterranee e dei sedimenti”, svolte dal laboratorio di Biogeochimica Ambientale (già UTPRA-GEOC ora SSPT-PROTER-BIOGEOC, C.R. ENEA-Casaccia) nel corso degli anni 2012-2014, in ottemperanza a quanto stabilito al paragrafo 3.1 della Convenzione siglata in data 08/06/2010 tra ENEA e il Soggetto Attuatore per il completamento degli interventi di ricostruzione post-sisma nel territorio del Comune di San Giuliano di Puglia (OPCM n. 3891/2010 del 04/08/2010).

Tali attività si sono articolate in 4 campagne di campionamento e misura, da parte di personale ENEA, con cadenza approssimativamente semestrale. Durante tali campagne è stato effettuato il prelievo e la misura dei parametri di campo di acque superficiali e sotterranee – campionando negli stessi siti in corrispondenza del periodo di massimo e minimo stagionale di precipitazione – e il campionamento di sedimenti fluviali nel territorio di San Giuliano di Puglia.

Scopo del campionamento è stata la caratterizzazione geochimica delle acque superficiali, sotterranee e dei sedimenti fluviali. La schedula di prelievo delle acque ha permesso di evidenziare le variazioni nella composizione chimica dei campioni prelevati negli stessi siti ma in condizioni climatiche opposte. Di conseguenza, la prima (luglio 2012) e la terza (ottobre 2013) campagna possono essere considerate rappresentative delle condizioni di minimo mentre la seconda (aprile 2013) e la quarta (maggio 2014) campagna di campionamento sono state condotte per ottenere informazioni rappresentative del periodo di massimo.

Contrariamente a quanto riportato nell'allegato tecnico, redatto sulla base degli elaborati cartografici del 2009 che dovevano servire come base per lo studio idrogeochimico, non è stato possibile campionare le acque in tutti gli 11 piezometri individuati a quella data in quanto alcuni di essi sono stati nel frattempo distrutti dalle opere di sbancamento e riporto dei materiali connesse alle attività di ricostruzione e sistemazione del territorio di San Giuliano di Puglia. A titolo di esempio, il numero di piezometri esistenti, accessibili e utilizzabili per lo studio si è ridotto da 5 (prima campagna) a 1 (quarta campagna). Per ovviare alla diminuzione di informazione conseguente alla riduzione del numero di siti di campionamento di acqua sotterranea, è stato deciso di includere nello studio un maggior numero di pozzi (10) – distribuiti quanto più possibile in modo uniforme sul territorio – rispetto a quanto stabilito in origine nell'allegato tecnico (6).

Anche il numero dei campioni di sedimento fluviale è stato ridotto (da 6 a 5), in quanto gli interventi di sistemazione idrica operati nell'area hanno completamente alterato il regime di sedimentazione dei torrenti rendendo pressoché impossibile la raccolta di campioni di sedimento realmente significativi.

## 1. LINEAMENTI GEOLOGICO-STRUTTURALI DEL TERRITORIO DI SAN GIULIANO DI PUGLIA

L'area in studio è contraddistinta da un complesso assetto geologico caratterizzato dalla presenza di unità alloctone e da depositi pliocenico-quadernari dell'avanfossa bradanica settentrionale in successione stratigrafica sul substrato carbonatico, messi a contatto da sovrascorrimenti a vergenza appenninica.

I sedimenti argilloso-marnosi appartengono alla porzione sommitale del Flysch di Faeto e/o alla formazione di Toppo Capuana mentre i sedimenti prevalentemente calcarei appartengono alle porzioni più basse del Flysch di Faeto. La loro distribuzione è il risultato di un assetto strutturale caratterizzato da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza appenninica e dalla presenza di scaglie tettoniche.

I dati della letteratura descrivono la formazione del Faeto come una sequenza di calcari marnosi e marne da bianche a rosate, dove sono presenti intercalazioni a spessore molto variabile di biocalcareni, calciruditi torbiditiche di età Serravalliano-Tortoniano. È una formazione molto diffusa nell'areale ed è possibile osservarla sia nelle sezioni naturali che in quelle stradali. Questa formazione è stratigraficamente sovrastata da una successione argilloso-marnosa conosciuta come Unità di Toppo Capuana, caratterizzata dalla presenza frequente di intercalazioni di arenarie. L'unità dal punto di vista stratigrafico è ascrivibile al Tortoniano-Messiniano.

Nel comune di San Giuliano di Puglia affiorano le seguenti formazioni, descritte in ordine cronologico:

Oligocene sup.:	depositi attuali costituiti da colluvi e coperture di carattere antropico
Pleistocene sup.-Oligocene:	depositi di versante, sabbie e arenarie
Messiniano-Pliocene inf.:	sabbie e arenarie (formazione di Tona)
Tortoniano sup.:	argille e marne (formazione di Toppo Capuana), marne e calcareniti del Flysch di Faeto
Serravalliano sup.:	calciruditi e calcareniti del Flysch di Faeto

Da un punto di vista geomorfologico gli affioramenti dell'Unità di Toppo Capuana coincidono con una diffusa reptazione e con movimenti di massa che si osservano anche sui versanti a debole pendenza. Sono a essa associati anche i numerosi fenomeni franosi come le colate rapide e i meccanismi di rototraslazione.

I depositi dell'Unità di Toppo Capuana sono ovunque ricoperti da una coltre detritica, con spessore variabile, costituita da materiali eterogenei (riporti, accumuli di frana e terreni colluviali).

L'intensa attività tettonica è inoltre responsabile delle brusche variazioni laterali di facies e di spessore, come testimoniato dalla presenza di mélanges complessi. La tettonica ha successivamente dislocato le strutture dando luogo a configurazioni a fiore, come quella che caratterizza San Giuliano di Puglia, che sembrano ereditate da antiche strutture mesozoiche polifasiche che hanno via via attivato sovrascorrimenti a vergenza ENE.

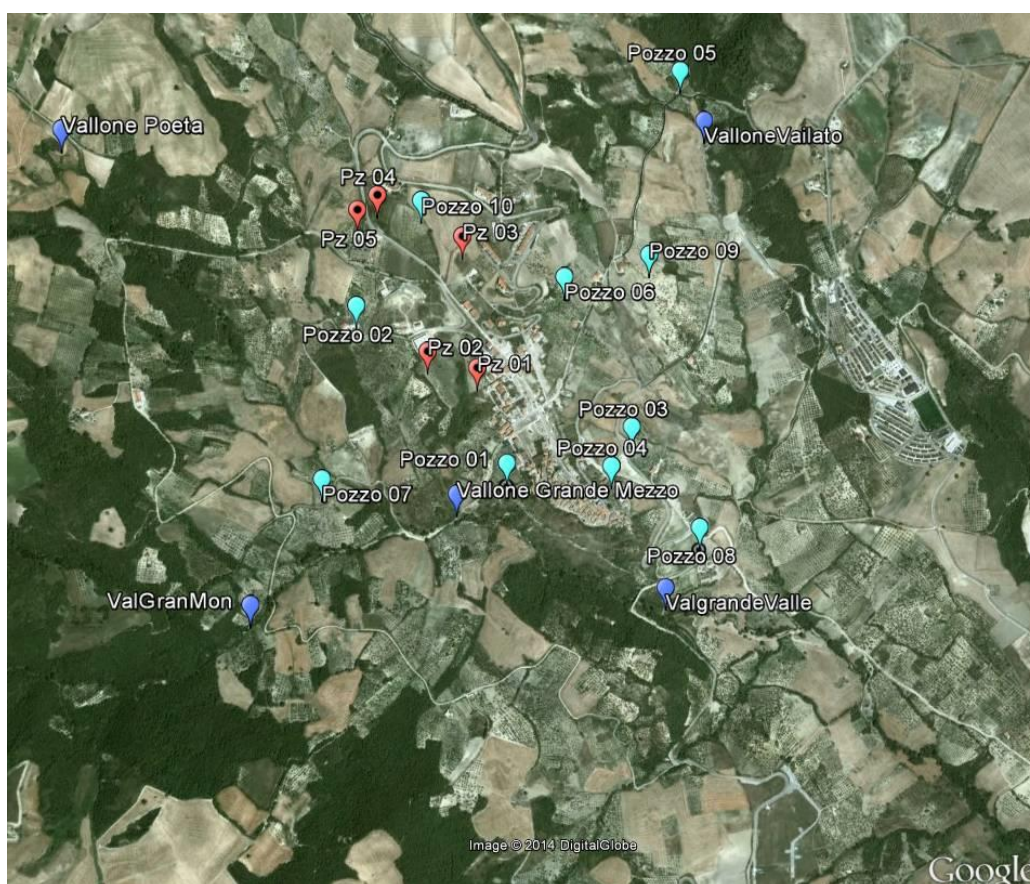
## 2. UBICAZIONE DEI PUNTI DI MONITORAGGIO DELLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI E DI CAMPIONAMENTO DEI SEDIMENTI FLUVIALI

L'area di studio è ubicata nel margine SE del Molise (cfr Foglio 394 della Carta Topografica d'Italia scala 1:50.000 edita dall'IGM, Tavoleta 155 III SO scala 1:25.000), a poca distanza dal confine con la Puglia.

Per le finalità di questo studio il monitoraggio delle acque di falda è stato condotto prendendo in considerazione siti di campionamento ubicati sia nell'abitato di San Giuliano di Puglia sia nelle immediate adiacenze. Nell'area investigata, con l'eccezione delle coltri di copertura detritico-colluviali, i depositi consistono prevalentemente di materiale a granulometria fine costituito da alternanze di marne, limi e argille in orizzonti stratificati e laminati. Di conseguenza, le velocità di scorrimento della falda risultano generalmente molto ridotte e i tempi di contatto tra acque sotterranee e sedimenti molto elevati.

Il campionamento delle acque superficiali e dei sedimenti fluviali è stato effettuato in corrispondenza dei valloni che delimitano l'abitato di San Giuliano di Puglia. Nel dettaglio, sono stati individuati tre siti (in un tratto a monte, intermedio e a valle) lungo l'asta torrentizia del Vallone Grande, uno nel Vallone Vailato e uno nel Vallone Poeta. A causa di interventi di sistemazione idraulica effettuati nel Vallone Ranci non è stato possibile prelevare campioni da questo sito.

Nell'ortofoto di **Figura 1** sono indicati tutti i siti di campionamento considerati nell'attività di monitoraggio effettuata. È da sottolineare che, per differenti ragioni che saranno espone nella sezione successiva, in alcuni siti non è stato possibile prelevare il campione in tutte e quattro le campagne. La **Tabella 1** riporta l'ubicazione dei suddetti siti di campionamento, espressa in coordinate metriche (UTM WGS84).

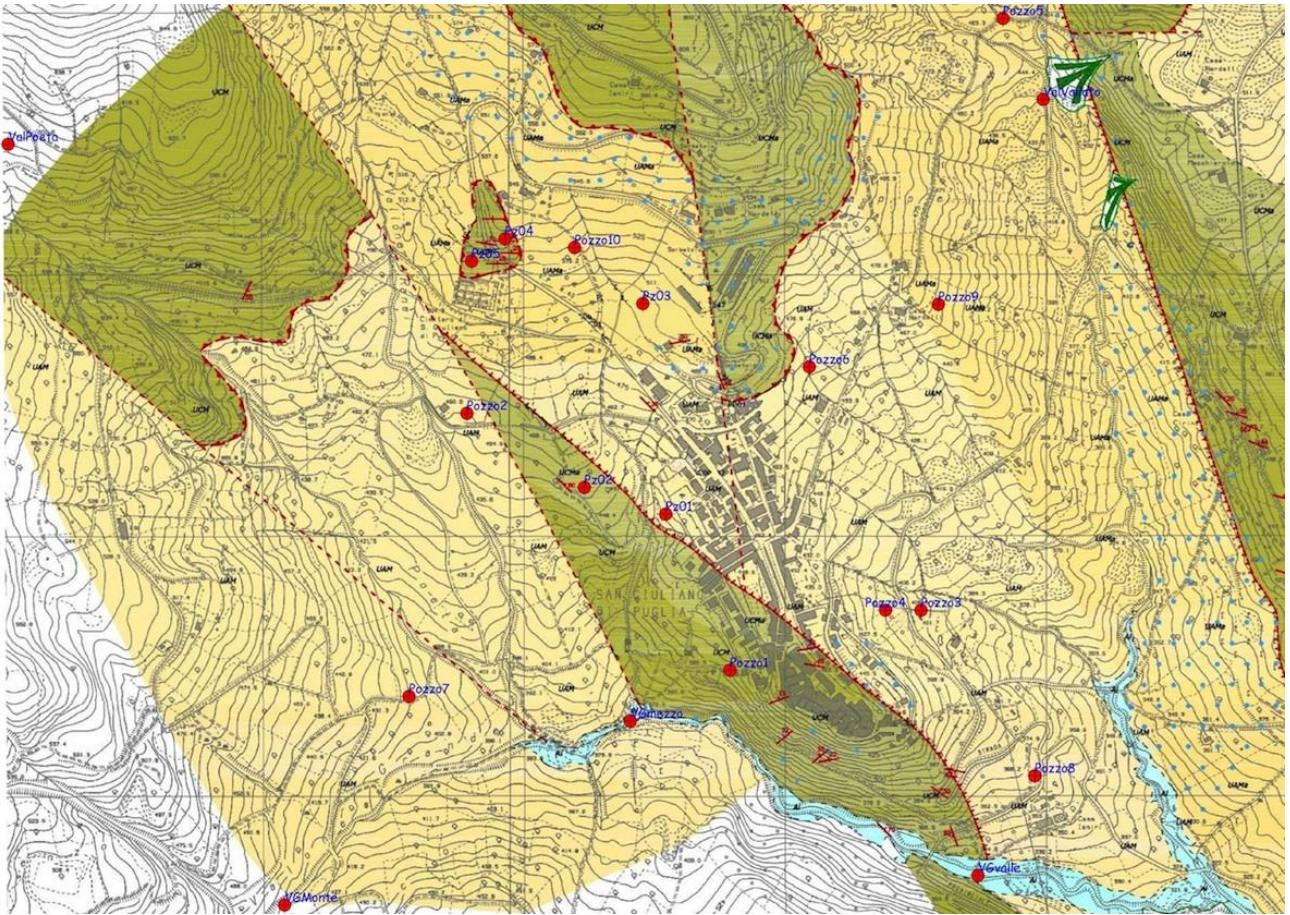


**Figura 1.** Ortofoto del territorio di San Giuliano di Puglia con l'indicazione dei siti di campionamento. Pz: piezometro.

<i>Tipo</i>	<i>Sigla campione</i>	<i>Coordinate UTM (WGS84)</i>
<i>Piezometro</i>	PZ01	33T 496762 4615034
	PZ02	33T 496606 4615085
	PZ03	33T 496718 4615437
	PZ04	33T 496454 4615561
	PZ05	33T 496390 4615518
<i>Pozzo</i>	Pozzo1	33T 496855 4614735
	Pozzo2	33T 496381 4615227
	Pozzo3	33T 497251 4614850
	Pozzo4	33T 497183 4614726
	Pozzo5	33T 497408 4615983
	Pozzo6	33T 497037 4615316
	Pozzo7	33T 496270 4614685
	Pozzo8	33T 497469 4614533
	Pozzo9	33T 497305 4615392
	Pozzo10	33T 496590 4615545
<i>Acqua superficiale e sedimento fluviale</i>	VGmonte	33T 496060 4614295
	VGmezzo	33T 496694 4614638
	VGvalle	33T 497360 4614342
	ValPoeta	33T 495502 4615742
	ValVailato	33T 497485 4615828

**Tabella 1.** Ubicazione di tutti i siti di campionamento considerati nelle attività di campagna. I dati sono espressi in coordinate metriche. PZ: piezometro; VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

Nell'ambito delle molteplici attività connesse al Piano di Ricostruzione è stata realizzata da Geoservizi una carta geologica di dettaglio, in scala 1:10.000, relativa al territorio comunale di San Giuliano di Puglia. In **Figura 2a** è mostrata la suddetta carta, con l'indicazione dei siti di campionamento considerati in questo lavoro, mentre la **Figura 2b** ne riporta la legenda.



**Figura 2a.** Carta geologica di dettaglio (scala 1:10.000) della zona di studio (cortesia Geoservizi). In rosso sono indicati i siti di campionamento considerati nel presente lavoro.

## LEGENDA

### QUATERNARIO



#### COLTRI DI COPERTURA DETRITICO-COLLUVIALI

I depositi schiettamente detritici si rinvengono al margine delle dorsali calcaree e sono rappresentati prevalentemente da clasti centimetrici di calcarenite, arenaria e marna, con matrice limoso-sabbiosa presente in percentuali variabili; la matrice prevale nettamente nelle aree più distanti dai versanti dove i detriti sfumano verso valle in depositi limoso-argillosi di genesi più francamente eluvio-colluviale costituiti da litotipi limosi e argilloso-sabbioso con diffusi inclusi litici, rappresentati da clasti di calcarenite, marna calcarea e arenaria, di dimensioni variabili da millimetriche a centimetriche e forma da angolare a subarrotondata. La colorazione, generalmente brunastra nel primo metro di spessore, negli orizzonti inferiori tende a riprendere il colore di fondo della parte alterata del substrato da cui deriva il colluvio stesso.



#### CONOIDE ALLUVIONALE



#### ALLUVIONI ATTUALI E RECENTI

Sabbie e limi grigio-giallastri con abbondanti clasti calcarei di forma variabile da subarrotondata a subangolare, di dimensioni variabili da pochi millimetri a circa 30-40 cm. Localmente si rinvengono alluvioni recenti terrazzate con due ordini distinguibili. Il secondo ordine posto tra 1.40 e 1.50 cm di altezza rispetto al corso d'acqua e il primo ordine posto a circa 2 metri di altezza. Sono composti da sabbie fini di colore grigio-marroncino, debolmente limose, con clasti calcarei di forma subarrotondati e dimensioni variabili da pochi millimetri ad alcuni centimetri.

### UNITÀ ARGILLOSO-MARNOSA



#### MEMBRO MARNOSO-SABBIOSO

Marne argilloso-sabbiose grigie, marne biancastre laminare, arenarie argillose grigie, arenarie fini grigio-chiare, arenarie fini bianche e gialle, argille limose-sabbiose, marne grigio-azzurre (talora in alternanza); lo spessore degli strati varia da pochi centimetri sino a 10-15 cm; è presente anche laminazione piano-parallela e ondulata. Le litologie mostrano ossidazioni giallo ocra. Alcune porzioni di questo membro presentano una netta alternanza di marne e arenarie grigie per spessori poco potenti. Limitatamente sono presenti livelli di microconglomerati grigi poco cementati. Il passaggio verso il sottostante membro argilloso-marnoso avviene attraverso una graduale diminuzione dei termini sabbiosi e un conseguente aumento della frazione argillosa.



#### MEMBRO ARGILLOSO-MARNOSO

Argille marnose, marne argillose e marne di colore grigio (talvolta in alternanza), a luoghi con toni verde scuro e/o azzurro, con fessure variamente orientate (talora riempite di argilla limosa grigia e/o calcite biancastra pulverulenta); sono presenti tracce di ossidazione di colore variabile dal giallo-ocra all'avana. La stratificazione varia da sub-orizzontale a sub-verticale con laminazioni pian-parallele, ondulate e convolute; alle volte le laminazioni si presentano alternate a livelletti di argilla verde, avana, biancastra-avana, siltiti e limi. La struttura è in prevalenza a blocchetti, costituita da elementi poliedrici e angolosi di piccole dimensioni; da inferiori al centimetro a max 2-3 centimetri, talora più evidente a luoghi meno evidente. Si evidenziano in alternanza livelli marnosi prevalentemente centimetrici e raramente di spessore maggiore (decimetrico) a struttura integra e accenni di frattura conoide; tali livelli sono più competenti. Raramente si intercalano strati sottili (circa 2 cm) di arenarie grigie. Sono presenti superfici di discontinuità con inclinazione compresa tra i 40 e i 70 gradi.

### UNITÀ CALCAREO-MARNOSA



#### MEMBRO MARNOSO-CALCAREO

Alternanze di marne, marne calcaree biancastre, marne argillose, argille marnose di colore avana, argille limose di colore verdastro e packstone avana; lo spessore degli strati vari a da 1 a 10 cm. Presenza di alterazioni in noduli e sfumature i cui colori variano dal nero-marrone all'ocra. Localmente si rinvengono intercalazioni poco potenti di arenarie avana, arenarie fini grigie e arenarie marnose grigie in strati spessi pochi centimetri. Il passaggio verso il sottostante membro calcareo-marnoso avviene attraverso una progressiva diminuzione della porzione argillosa e un relativo aumento di quella carbonatica.



#### MEMBRO CALCAREO-MARNOSO

Calcarei marnosi biancastri, marne calcaree biancastre, mudstone grigi, mudstone biancastri e packstone avana con ossidazioni nere (talvolta in alternanza), molto compatti con spessore degli strati variabile da 1 cm a 1 metro; limitatamente si rinvengono livelli centimetrici di marne limoso-sabbiose biancastre, argille marnose grigie, marne grigie laminare, marne argillose biancastre e grigie laminare e arenarie grigie ossidate. Una porzione calcarea è composta da rudstone e floatstone con clasti calcarei e bioclasti rappresentati da coralli, Briozoi e bivalvi del genere Pecten. Talora si rinvengono strati, di spessore variabile da pochi millimetri a 30 cm, di sabbie fini giallastre e biancastre ben cementate a cemento carbonatico; una porzione di tali sabbie risulta essere abbondantemente fossilifera (sia elementi interi che bioclasti) con gasteropodi e bivalvi appartenenti ai generi Pecten, Cardium e Dosinia.

### SIMBOLOGIA



Contatto stratigrafico presunto



Faglia presunta  
(i trattini indicano la parte ribassata)



Sovrascorrimento presunto  
(l'apice dei marks indica la parte sovrascorsa)



Anticlinale  
(traccia della linea di cresta)



Giacitura degli strati:  
a. orizzontali



b. inclinati



c. rovesciati  
(la freccia indica l'immersione, il numero indica il valore dell'inclinazione)

Figura 2b. Legenda della carta geologica di dettaglio in scala 1:10.000 (cortesia Geoservizi).

Sulla base delle stratigrafie dei sondaggi ubicati in prossimità dei punti di prelievo delle acque sotterranee (pozzi e piezometri) e della disposizione di questi ultimi sulla carta geologica di

dettaglio, il Dott. Geol. Aurelio Nardelli ha proposto la ricostruzione stratigrafica di seguito riportata.

### **Pozzo 1**

Nelle vicinanze del Pozzo 1 è stato effettuato il sondaggio denominato SC01094, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 2,5 m: argilla siltoso-sabbiosa rimaneggiata marrone e avana con chiazze grigio scuro e verdastro, con frequenti inclusi lapidei millimetrici ( $\varnothing$  max 1 cm) e residui vegetali. Consistenza soda;

da 2,5 a 7,7 m: argilla siltoso-sabbiosa grigia, da debolmente marnosa a marnosa, finemente laminata, con fitte e sottili intercalazioni siltose più chiare (veli) e sporadici livelli centimetrici di marne argillose relativamente più resistenti ma con facile rottura a blocchetti e/o scaglie. Consistenza da rigida a molto rigida.

### **Pozzo 3**

Nelle vicinanze del Pozzo 3 è stato effettuato il sondaggio denominato SC01098, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 4,6 m: argilla limosa debolmente marnosa di colore avano-verdastra a struttura laminata e stratificata, con sporadici elementi lapidei di natura calcarenitica. Presenza di patine di alterazione color ocra. Consistenza rigida;

da 4,6 a 30 m (fondo foro): argille marnose di colore grigio ed a luoghi verdastre a consistenza molto rigida, laminate e stratificate, e marne argillose a resistenza estremamente debole fessurate e con rottura a blocchetti poliedrici di dimensioni da millimetriche a centimetriche. Presenza sporadica di tracce di decalcificazione.

### **Pozzo 4**

Nelle vicinanze del Pozzo 4 è stato effettuato il sondaggio denominato SC01019, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 1,8 m: riporto, costituito da limo argilloso debolmente sabbioso di colore marrone bruno, con frequenti inclusi lapidei da millimetrici a centimetrici e piccoli frammenti di laterizi; presenza sporadica di residui vegetali. Consistenza da morbida a soda;

da 1,8 a 4,3 m: limo argilloso debolmente sabbioso di colore marrone con diffusi inclusi lapidei da millimetrici a centimetrici, più frequenti tra m 4,0 e m 4,2; nella parte alta, presenza diffusa di resti vegetali e di residui carboniosi. Gli inclusi sono rappresentati da clasti di arenaria giallastra a grana fine, e di marna arenacea o arenaria biancastra ossidata. Matrice a consistenza variabile tra morbida e soda (probabile riporto passante a suolo detritico-colluviale);

da 4,3 a 8,6 m: argilla limosa verdastra con sfumature e venature grigie e ocra, fessurata, intercalata da sporadici livelli centimetrici di argilla marnosa fessurata con rottura a blocchetti. A m 6,2 livello di ~ 10 cm con alcuni strati sottili di arenaria fine, ossidata. Da m 7,3 colorazione di fondo grigia e riduzione delle venature ocra. Consistenza variabile da rigida a molto rigida.

### **Pozzo 5**

Nelle vicinanze del Pozzo 5 è stato effettuato il sondaggio denominato SC01069, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 3,6 m: materiale alterato costituito da argille limose di colore avana destrutturate con inclusi litici, tracce di ossidazione ocra e di decalcificazione biancastre. Consistenza morbida, a luoghi soda. Tra m 1,6 e m 2,7 è presente limo argilloso di colore bruno con inclusi litici millimetrici e privo di struttura. Consistenza soda;

da 3,6 a 7 m: argille limose di colore avano-grigiastre a struttura laminata. Presenza diffusa di patine di decalcificazione biancastre. Consistenza da soda a rigida. Nel primo metro l'argilla ha una colorazione grigio-verdastra;

da 7 a 30 m (fondo foro): argille marnose e/o marne argillose debolmente resistenti, di colore grigio

variegata verdastre e azzurre, laminate e sottilmente stratificate, fessurate e con rottura a blocchetti poliedrici di dimensioni da millimetriche a centimetriche. A luoghi passaggi decimetrici di natura calcarenitica. Consistenza molto rigida.

### **Pozzo 6**

Nelle vicinanze del Pozzo 6 è stato effettuato il sondaggio denominato SC01084, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 2,7 m: limo argilloso debolmente sabbioso di colore avana privo di struttura. Diffuse tracce e/o patine di ossidazione color ocra e tracce di decalcificazione. Consistenza soda;

da 2,7 a 8 m: argilla limosa di colore avano-grigiastro, a struttura laminata o sottilmente stratificata. Presenza di patine di alterazione color ocra e patine e tracce di decalcificazione biancastre. Consistenza rigida;

da 8 a 10,2 m: argille marnose di colore grigio variegata verdastre, laminate o sottilmente stratificate. A luoghi tracce di decalcificazione. Consistenza molto rigida.

### **Pozzo 9**

Nelle vicinanze del Pozzo 9 è stato effettuato il sondaggio denominato GN-11, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 3 m: limo argilloso-sabbioso di colore avana, con inclusi clasti sub-arrotondati da millimetrici a centimetrici. Nella parte bassa è presente residuo vegetale. Riporto incoerente. Consistenza da morbida a soda;

da 3 a 5,7 m: materiale rimaneggiato costituito da argille limose prive di struttura, di colore avana, con patine diffuse di alterazione color ocra e noduli e/o patine nerastre di origine organica. A luoghi tracce di decalcificazione. Consistenza soda;

da 5,7 a 7,8 m: sabbie argilloso-limose di colore giallastro poco addensate, a granulometria fine, fortemente ossidate;

da 7,8 a 9,5 m: limo argilloso con sabbia di colore avana a debole struttura laminata e sottilmente stratificata, con diffusa presenza di patine di alterazione color ocra. Consistenza rigida;

da 9,5 a 30 m (fondo foro): argille marnose grigie e/o marne argillose di colore grigio scuro, laminate o sottilmente stratificate, fessurate e con rottura a blocchetti poliedrici di dimensioni da millimetrici a centimetrici. Consistenza molto rigida.

### **Pozzo 10**

Nelle vicinanze del Pozzo 10 è stato effettuato il sondaggio denominato PP-S3, e dall'analisi stratigrafica risulta che:

da 0 a 1,5 m: argilla sabbiosa avana chiaro, con abbondanti ossidazioni ocra e presenza diffusa di calcinelli, priva di struttura. Consistenza morbida;

da 1,5 a 4,3 m: orizzonte di natura argilloso-sabbiosa dilavato con la perforazione per la presenza di trovanti arenacei resistenti; recuperati n. 3 trovanti da 6 a 20 cm di spessore di arenaria avana e grigia. Alla base, orizzonte caotico di ~ 30 cm costituito da matrice limoso-argillosa avana a consistenza soda-rigida, con frammenti centimetrici di arenaria;

da 4,3 a 6,2 m: argilla limoso-sabbiosa avana con ossidazioni ocra e venature argillose grigio chiaro variamente orientate, talora verticali e intersecanti; struttura da scistosa a indistinta, fessurata, con rottura a blocchetti e scaglie minute. Verso il basso tendenza a divenire marnosa. Alla base livello di 10 cm di arenaria grigia resistente con strati di marna scura laminata. Consistenza rigida;

da 6,2 a 10,5 m: argilla marnosa limoso-sabbiosa di colore grigio azzurro e grigio con diffuse inclusioni argillose millimetriche (noduletti), intercalata da strati sottili più resistenti di marna argillosa dello stesso colore; la struttura è laminata con rottura a scaglie. Fino a 7,0 m tracce di ossidazione. Consistenza molto rigida.

### **Piezometro 3**

Nel sondaggio denominato PP-S4 è stato installato il Piezometro 3. Dall'analisi stratigrafica di tale

sondaggio risulta la seguente stratigrafia:

da 0 a 2,8 m: limo argilloso brunastro con venature grigiastre e ocra, con frequenti inclusi lapidei di natura arenacea e marnosa di dimensioni inferiori a 2 cm; presenza di resti vegetali. Alla base livello di 40 cm, chiaramente rimaneggiato, con venature nere ed inclusi arenacei centimetrici. Materiale plastico a consistenza morbida-soda;

da 2,8 a 4,3 m: argilla limoso-sabbiosa avana con venature grigiastre e biancastre, abbondanti ossidazioni ocra e diffuse punteggiature nere, a luoghi inclusi arenacei centimetrici e residui vegetali; struttura apparentemente rimaneggiata con tratti scistosi contorti. Consistenza generalmente soda con passaggi a consistenza rigida;

da 4,3 a 5 m: argilla limoso-sabbiosa come sopra, ma con colore di fondo grigiastro e con piccoli inclusi marnosi e arenacei relativamente più frequenti. A m 4,8 circa trovante arenaceo di 7 cm. Consistenza soda-rigida;

da 5 a 5,8 m: materiale di aspetto detritico costituito da argilla sabbiosa avana in cui si trovano impastati frammenti e trovanti centimetrici di marna e arenaria grigia o avana;

da 5 a 10 m: argilla limosa debolmente marnosa di colore grigio con strati e lamine più scure o verdastre, a struttura scistosa o scagliosa, intercalata da frequenti livelli litoidi centimetrici (max 3 cm) di marna limosa e arenaria grigia, da debole a resistente. A luoghi macchie ocra di ossidazione. Consistenza rigida.

#### **Piezometro 4**

Nel sondaggio denominato S2 è stato installato il Piezometro 4. Dall'analisi stratigrafica di tale sondaggio risulta la seguente stratigrafia:

da 0 a 2 m: limo sabbioso e argilla limosa avana e nocciola, priva di struttura, con evidenti tracce di ossidazione e decalcificazione, residui vegetali e inclusi calcarenitici e marnosi. Consistenza soda;

da 2 a 7,2 m: alternanza di marna argillosa, marna calcarea e argilla marnosa di colore avana-nocciola, con variegature ocra di alterazione, livelli di sabbia ocra ed evidenti tracce di ossidazione. Struttura scistosa nei livelli argillosi, presenza di evidenti superfici di discontinuità ad alto angolo, consistenza da rigida a molto rigida, resistenza da R0 a R1 per i livelli francamente marnosi;

da 7,2 a 9 m: argilla limosa, a luoghi debolmente marnosa, di colore grigio, con veli millimetrici sabbiosi e deboli tracce di ossidazione. Debole struttura scistosa, consistenza da rigida a molto rigida;

da 9 a 10,7 m: alternanza di livelli centimetrici di arenaria grigio chiaro, calcarenite e marna calcarea, con rari livelli di argilla limosa avana. Il materiale si presenta molto fratturato, con tracce di ossidazione, resistenza R0-R2;

da 10,7 a 28 m (fondo foro): argilla limosa, debolmente marnosa, di colore grigio e azzurro, con veli millimetrici di sabbia grigio chiaro (pulverulenta), e livelli centimetrici di arenaria e calcarenite grigia. Struttura scistosa, presenza di rari piani di discontinuità inclinati ( $\alpha = 45^\circ \div 60^\circ$ ), consistenza molto rigida.

La descrizione stratigrafica dei citati sondaggi è stata volutamente interrotta a quote prossime ai 10 m circa poiché i pozzi scelti per il campionamento delle acque sono stati tutti scavati a mano, e quindi si suppone che la massima profondità raggiunta nella realizzazione di tali pozzi sia attorno agli 8 m circa dal p.c.

Per quanto concerne i pozzi 2, 7 e 8, non sono presenti sondaggi realizzati nelle immediate vicinanze. Di conseguenza, si riporta di seguito una breve descrizione litologica dei termini affioranti in prossimità di tali punti di campionamento, tratta dalla legenda della carta geologica di dettaglio in scala 1:10.000 realizzata da Geoservizi (**Figura 2b**).

I pozzi 2, 7 e 8 ricadono tutti all'interno dell'Unità argilloso-marnosa, e in particolare del "membro argilloso-marnoso" costituito prevalentemente da: "Argille marnose, marne argillose e marne di colore grigio (talvolta in alternanza), a luoghi con toni verde scuro e/o azzurro, con fessure variamente orientate (talora riempite di argilla limosa grigia e/o calcite biancastra pulverulenta);

sono presenti tracce di ossidazione di colore variabile dal giallo-ocra all'avana. La stratificazione varia da sub-orizzontale a sub-verticale con laminazioni pian-parallele, ondulate e convolute; alle volte le laminazioni si presentano alternate a livelletti di argilla verde, avana, biancastra-avana, siltiti e limi. La struttura è in prevalenza a blocchetti, costituita da elementi poliedrici e angolosi di piccole dimensioni; da inferiori al centimetro a max 2-3 centimetri, talora più evidente a luoghi meno evidente. Si evidenziano in alternanza livelli marnosi prevalentemente centimetrici e raramente di spessore maggiore (decimetrico) a struttura integra e accenni di frattura concoide; tali livelli sono più competenti. Raramente si intercalano strati sottili (circa 2 cm) di arenarie grigie. Sono presenti superfici di discontinuità con inclinazione compresa tra i 40 e i 70 gradi”.

### 3. CAMPIONAMENTO E ANALISI DELLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI E DEI SEDIMENTI FLUVIALI

#### 3.1 Campionamento

Nel corso della prima campagna “estiva”, effettuata tra il 9 e il 12 luglio 2012, sono stati prelevati 17 campioni di acque (13 di acque sotterranee e 4 di acque superficiali) e 5 campioni di *stream sediments*, ovvero sedimenti fluviali attivi. Il principio fondamentale su cui si basa la teoria degli *stream sediments* è che tutto il materiale che si accumula nei letti fluviali è rappresentativo del bacino idrografico a monte del punto di campionamento e dà un’efficace indicazione sui valori normali (di fondo naturale) nel bacino degli elementi considerati.

Fra le acque sotterranee, 5 campioni provengono da altrettanti piezometri e 8 da pozzi utilizzati saltuariamente a fini irrigui. A causa della stagione secca è stato possibile campionare un numero limitato di acque superficiali. I 5 campioni di *stream sediments* sono stati prelevati lungo l’asta del Vallone Grande (3 campioni), nel Vallone Vailato (1 campione) e nel Vallone Poeta (1 campione), in corrispondenza del punto di prelievo delle acque superficiali, laddove presenti. Nella **Tabella 2** è riportato il numero di campioni prelevati in ogni campagna, distinti per tipologia (piezometri, pozzi, acque superficiali, *stream sediments*).

<i>Tipo di campione</i>	<i>Quantità dei siti utilizzati per il campionamento delle acque e degli stream sediments</i>			
	<i>I campagna (9-12/07/2012)</i>	<i>II campagna (9-12/04/2013)</i>	<i>III campagna (14-17/10/2013)</i>	<i>IV campagna (7-9/05/2014)</i>
Piezometro	5	2	2	1
Pozzo	8	10	10	10
Acqua superficiale	4	5	4	5
<b><i>Tot. campioni acqua</i></b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
<i>Stream sediments</i>	5	2	–	–

**Tabella 2.** Distribuzione, per quantità e tipologia, dei siti di campionamento acque e *stream sediments* considerati nelle quattro campagne di misura effettuate.

La seconda campagna di campionamento è stata condotta nella primavera (9-12 aprile) del 2013 per ottenere informazioni rappresentative del periodo invernale circa la composizione chimica delle

acque superficiali e sotterranee. Anche in questa seconda campagna sono stati considerati 17 siti di campionamento per le acque, ma con differente distribuzione per tipologia rispetto al primo campionamento (**Tabella 2**).

Riguardo ai piezometri si è deciso di escludere dal campionamento il punto PZ01, situato su una strada aperta al passaggio veicolare, poiché privo di tappo di chiusura e quindi esposto agli agenti esterni. Analogamente, non sono stati campionati i piezometri PZ02 e PZ05 perché, ricadendo in aree interessate – al momento del campionamento – da movimentazione di terreno per la realizzazione di un impianto sportivo (PZ02) e da attività di sbancamento per l'ampliamento del cimitero comunale (PZ05), erano stati distrutti. Di conseguenza, il campionamento è stato limitato ai piezometri PZ03 e PZ04, gli unici rimasti disponibili nel territorio comunale.

Per aumentare la rappresentatività del campionamento, a partire dalla seconda campagna sono stati aggiunti due ulteriori punti di misura (**Tabella 3**) – scelti tra i pozzi disponibili sul territorio – in modo da coprire aree precedentemente meno rappresentate. Con riguardo alle acque superficiali, in questa campagna “invernale” è stato possibile prelevare un campione anche dal Vallone Vailato essendo il letto del torrente non completamente asciutto come nel precedente campionamento.

Sempre nella seconda campagna è stata effettuata anche la determinazione dei composti organici su un numero ridotto ma rappresentativo di campioni, in accordo con quanto indicato nell'Allegato Tecnico alla Convenzione. In particolare, per la determinazione dei composti organici sono state campionate le acque sotterranee da 6 pozzi e dai 2 piezometri, oltre a 2 acque superficiali prelevate dai valloni. La **Tabella 4a-d** riporta in dettaglio le attività di campionamento e misura svolte per ogni sito in ognuna delle quattro campagne effettuate. In corrispondenza dei due punti di campionamento delle acque superficiali (VGmonte e VGvalle) sono stati prelevati anche altrettanti campioni di *stream sediments* (**Tabella 2**).

La terza campagna di campionamento è stata condotta all'inizio del periodo autunnale, tra il 14 e il 17 ottobre 2013, esattamente sei mesi dopo la precedente campagna “invernale”. Vista la scarsità di precipitazioni nell'area di studio durante l'estate e fino al momento in cui è stata effettuata la terza campagna, questo campionamento può essere considerato rappresentativo delle condizioni di minimo per quel che riguarda la composizione chimica delle acque superficiali e sotterranee.

Nella terza campagna il campionamento è stato effettuato negli stessi siti utilizzati per la seconda campagna. Tuttavia, in analogia con la prima campagna, anche in questo terzo campionamento non è stato possibile prelevare alcun campione dal Vallone Vailato (**Tabella 3**) in quanto il letto del torrente si presentava completamente asciutto. Nella terza campagna di misure non sono stati segnalati eventi anomali o degni di nota, tranne che per i Pozzi 3 e 9, nei quali – a differenza dei precedenti campionamenti – l'acqua presentava un marcato odore di zolfo.

Infine, anche se non espressamente indicato nell'Allegato Tecnico alla Convenzione, nel corso della terza campagna è stata effettuata anche un'attività di screening per i composti organici prelevando campioni dai Pozzi 4, 8 e 9 (**Tabella 4b**). I Pozzi 4 e 8 sono stati campionati perché nelle precedenti campagne avevano mostrato valori di selenio leggermente superiori ai limiti di legge. Il Pozzo 9 è stato campionato poiché all'atto del campionamento si riscontrava forte odore di zolfo e l'acqua presentava una marcata colorazione verdastra.

La quarta campagna di campionamento – l'ultima prevista nella Convenzione fra ENEA e il Soggetto Attuatore – è stata effettuata nei giorni 7-9 maggio 2014, al termine di un periodo interessato da continue e intense precipitazioni che hanno caratterizzato l'ultima fase della stagione “invernale”. Per rendere possibile il confronto dei dati, anche nella quarta campagna il campionamento è stato effettuato negli stessi siti utilizzati per la seconda e terza campagna. Tuttavia, rispetto alle precedenti, in questa non è stato possibile campionare dal sito PZ03 (**Tabella 3**): il piezometro è stato distrutto qualche settimana prima dell'ultimo campionamento essendo ubicato lungo il tracciato di una costruenda paratia di contenimento. Nel quarto campionamento non si segnalano eventi anomali o degni di nota. A parità di procedure di spurgo e campionamento con le campagne precedenti non è stato rilevato odore di zolfo in nessun campione, e l'acqua prelevata dai pozzi è apparsa trasparente e incolore in tutti i campioni.

Tipo	Sigla campione	Frequenza di campionamento			
		I campagna	II campagna	III campagna	IV campagna
Piezometro	PZ01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ03	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	PZ05	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pozzo	Pozzo1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Acqua superficiale	VGmonte	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	VGmezzo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	VGvalle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ValPoeta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ValVailato	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Tabella 3.** Frequenza di campionamento acque per ciascun sito in ognuna delle quattro campagne effettuate. PZ: piezometro; VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

Per le operazioni di spurgo dei piezometri – considerati i limitati volumi d’acqua all’interno dei piezometri, la scarsa permeabilità dei litotipi e la conseguente bassa trasmissività dell’acquifero superficiale –, dopo alcune prove preliminari è stato deciso di togliere da ogni piezometro un volume pari a 5 bailer d’acqua (volume di 1 bailer  $\approx$  250 mL) (**vedi anche sez. 3.3.1.a.**).

Per quanto riguarda i pozzi, in tutte le campagne di campionamento e misura lo spurgo è stato condotto in modalità *low-flow* (mediante pompa *ProActive®*) fino a costanza di misura dei valori di pH e di conducibilità. In media, questa condizione si è raggiunta dopo circa 15 minuti di pompaggio (**vedi anche sez. 3.3.1.a.**).

Per il prelievo e la conservazione dei campioni di acqua si è fatto riferimento al manuale “Metodi Analitici per le Acque”, CNR-IRSA - APAT, Rapporti 29/2003. I campioni di *stream sediments* sono stati prelevati e analizzati secondo le procedure dettate dal *Forum of the European Geological Survey*; per la successiva conservazione dei sedimenti si è fatto riferimento al D.M. 13 settembre 1999 “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo”, come previsto dalla normativa vigente.

Tipo	Sigla campione	Parametri misurati in situ												Parametri chimici																							
		Livello statico di falda			T			pH			EC			O <sub>2</sub>			Eh			Inorganici				Organici													
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV								
Piezometro	PZ01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ03	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	PZ04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	PZ05	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Tabella 4a.** Piezometri: sinottico delle attività di campionamento e misura svolte per ogni sito in ognuna delle quattro campagne effettuate. PZ: piezometro.

Tipo	Sigla campione	Parametri misurati in situ												Parametri chimici																											
		Livello statico di falda				T			pH			EC			O <sub>2</sub>			Eh			Inorganici				Organici																
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV												
Pozzo	Pozzo1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Pozzo10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

**Tabella 4b.** Pozzi: sinottico delle attività di campionamento e misura svolte per ogni sito in ognuna delle quattro campagne effettuate.

Tipo	Sigla campione	Parametri misurati in situ												Parametri chimici								
		T			pH			EC			O <sub>2</sub>			Eh			Inorganici			Organici		
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Acqua superficiale	VGmonte	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	VGmezzo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	VGvalle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	ValPoeta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	ValVailato	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sinottico delle attività di campionamento e misura delle acque superficiali (**Tabella 4c - sopra**) e degli *stream sediments* (**Tabella 4d - sotto**) svolte per ogni sito in ognuna delle quattro campagne effettuate. VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

Tipo	Sigla campione	Parametri chimici	
		Inorganici (I campagna)	Organici (II campagna)
Stream sediments	VGmonte	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	VGmezzo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	VGvalle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	ValPoeta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	ValVailato	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3.2 Determinazioni analitiche: parametri e metodi

Relativamente ai **parametri chimico-fisici** e agli **elementi e composti chimici inorganici** da determinare nelle **acque**, in base a quanto indicato nell'Allegato Tecnico ai paragrafi 3.1.1 e 3.1.2 sono stati presi in considerazione i seguenti (**Tabella 5**):

<i>Parametri chimico-fisici</i>	<i>Elementi e composti inorganici</i>		
	<i>Elementi maggiori</i>	<i>Anioni</i>	<i>Elementi in traccia</i>
Temperatura pH Conducibilità elettrica Potenziale redox Ossigeno disciolto	Sodio (Na)	Fluoruro (F) [1500 µg/L]	Arsenico (As) [10 µg/L]
			Cadmio (Cd) [5 µg/L]
	Potassio (K)	Cloruro (Cl)	Cromo (Cr) [50 µg/L]
			Ferro (Fe) [200 µg/L]
	Magnesio (Mg)	Nitrato (NO <sub>3</sub> )	Manganese (Mn) [50 µg/L]
			Mercurio (Hg) [1 µg/L]
	Calcio (Ca)	Solfato (SO <sub>4</sub> ) [250 mg/L]	Piombo (Pb) [10 µg/L]
			Rame (Cu) [1000 µg/L]
	Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )		Selenio (Se) [10 µg/L]
			Zinco (Zn) [3000 µg/L]

**Tabella 5.** Determinazioni analitiche (parametri chimico-fisici ed elementi e composti chimici inorganici) per le acque e [valori limite di legge (D.L. 152/06) laddove esistenti].

Gli **elementi chimici inorganici** da determinare negli *stream sediments* sono elencati in **Tabella 6**:

<i>Elementi maggiori</i>	<i>Elementi in traccia</i>
Sodio (Na)	
Potassio (K)	Ferro (Fe)
Magnesio (Mg)	Zinco (Zn)
Calcio (Ca)	Manganese (Mn)

**Tabella 6.** Determinazioni analitiche (elementi chimici inorganici) per gli *stream sediments*.

Per quanto riguarda i **composti organici**, da determinare sia nelle **acque** sia negli *stream sediments*, l'Allegato Tecnico al paragrafo 3.1.4 riporta testualmente:

“Per i sedimenti è prevista la caratterizzazione di alcuni composti organici che saranno determinati

su un numero ridotto ma rappresentativo di campioni. Sarà effettuata un'analisi di screening in GC-MS della frazione cromatografabile per l'individuazione di eventuali situazioni di contaminazione organica. Lo stesso screening sarà effettuato anche sui campioni di acque.”

L'Allegato Tecnico riporta quindi l'elenco dei composti da ricercare in fase di screening. Rispetto alle sostanze elencate in quel documento, l'attività di screening condotta dal laboratorio di chimica organica dell'ENEA si è spinta oltre, andando a determinare alcuni tra i pesticidi generalmente più utilizzati appartenenti alle classi degli insetticidi, dei fungicidi-acaricidi e degli erbicidi (**Tabella 7a-c**). Inoltre, per ogni campione è stata effettuata un'analisi di screening per evidenziare la presenza di eventuali altre contaminazioni di natura antropica, caratterizzando i Composti Organici Volatili (COV) mediante analisi con SPME (*Solid Phase Micro Extraction*) e determinazione per gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS): l'elenco dei COV ricercati nei campioni di acque e i relativi limiti di rivelabilità della tecnica adottata sono illustrati nella **Tabella 8**.

La determinazione dei pesticidi è stata effettuata con metodi gascromatografici previa estrazione con solvente, metodi elaborati nel citato laboratorio dell'ENEA.

<i>Pesticidi</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06</i>		<i>Pesticidi</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06</i>
<i>insetticidi</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>(µg/L)</i>		<i>insetticidi</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>(µg/L)</i>
aldrina	0,01	0,03		endosulfan	0,01	
buprofezin	0,01			endrina	0,01	0,1
carbaril	0,01			eptaclor	0,01	
clorfenvinfos	0,01			eptaclor epossido	0,01	
clorpirifos	0,01			fenitroton	0,01	
ddd	0,005	0,1		fention	0,01	
dde	0,005	0,1		lindano	0,01	0,1
ddt	0,005	0,1		paration	0,02	
dieldrina	0,01	0,03				

**Tabella 7a.** Elenco dei pesticidi (**insetticidi**) determinati nelle acque, limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate e valori limite di legge laddove esistenti.

<i>Pesticidi</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06</i>	<i>Pesticidi</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06</i>
<i>fungicidi- acaricidi</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>fungicidi- acaricidi</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>(µg/L)</i>
azoxystrobin	0,01		fludioxonil	0,01	
bromuconazolo	0,01		furalaxil	0,01	
ciproconazolo	0,01		metalaxil	0,02	
ciprodinil	0,005		miclobutanil	0,01	
clortalonil	0,01		penconazolo	0,01	
diclobutrazolo	0,015		pirazofos	0,02	
diclofluanid	0,01		pirimetanil	0,01	
dimetomorf	0,01		procimidone	0,01	
esaclorobenzene	0,01		tebufenpirad	0,015	
esaconazolo	0,01		vinclozolin	0,01	
fenazaquin	0,01				

**Tabella 7b.** Elenco dei pesticidi (**fungicidi-acaricidi**) determinati nelle acque, limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate e valori limite di legge laddove esistenti.

<i>Pesticidi</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06</i>
<i>erbicidi</i>	<i>(µg/L)</i>	<i>(µg/L)</i>
alaclor	0,01	0,1
atrazina	0,01	0,3
simazina	0,01	
trifluralin	0,01	

**Tabella 7c.** Elenco dei pesticidi (**erbicidi**) determinati nelle acque, limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate e valori limite di legge laddove esistenti.

<i>COV</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica (µg/L)</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06 (µg/L)</i>	<i>COV</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica (µg/L)</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06 (µg/L)</i>
<i>Vinyl chloride</i>	0,050	0,5	<i>Methane, bromodichloro-</i>	0,010	0,17
<i>Chloromethane</i>	0,050	1,5	<i>Ethane, 1-bromo-2-chloro-</i>	0,010	
<i>Bromomethane</i>	0,030		<i>1-Propene, 1,3-dichloro-, (Z)-</i>	0,010	
<i>Chloroethane</i>	0,050		<i>1-Propene, 1,3-dichloro-, (E)-</i>	0,010	
<i>Trichlorofluorometane (CFC11)</i>	0,002		<i>Ethane, 1,1,2-trichloro</i>	0,005	
<i>Ethene, 1,1-dichloro-</i>	0,002	0,05	<i>Toluene</i>	0,010	15
<i>Dichloromethane</i>	0,010	0,15	<i>1,3-Dichloropropane</i>	0,001	
<i>Ethene, 1,2-dichloro-, (E)-</i>	0,002	60	<i>Methane, dibromochloro-</i>	0,020	0,13
<i>MTBE (Propane, 2-methoxy-2-methyl-)</i>	0,010	10	<i>Ethane, 1,2-dibromo-</i>	0,001	0,001
<i>Ethane, 1,1-dichloro-</i>	0,002	810	<i>Tetrachloroethene</i>	0,002	1,1
<i>Ethene, 1,2-dichloro-, (Z)-</i>	0,002	60	<i>1,1,1,2-Tetrachloroethane</i>	0,010	0,05
<i>Methane, bromochloro-</i>	0,010		<i>Benzene, chloro-</i>	0,015	40
<i>Trichloromethane</i>	0,002	0,15	<i>Ethylbenzene</i>	0,020	50
<i>2,2-Dichloropropane</i>	0,005		<i>m + p-Xylene</i>	0,020	10
<i>1,2-Dichloroethane</i>	0,001	3	<i>Bromoform</i>	0,002	0,3
<i>Ethane, 1,1,1-trichloro-</i>	0,002	200	<i>Styrene</i>	0,025	25
<i>1-Propene, 1,1-dichloro-</i>	0,001		<i>Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-</i>	0,010	0,05
<i>Carbon tetrachloride</i>	0,001	0,15	<i>o-Xylene</i>	0,010	10
<i>Benzene</i>	0,020	1	<i>1,2,3-Trichloropropane</i>	0,001	0,001
<i>Methane, dibromo-</i>	0,010		<i>Benzene, (1-methylethyl)-(Cumene)</i>	0,001	
<i>Propane, 1,2-dichloro-</i>	0,010	0,15	<i>Bromobenzene</i>	0,005	
<i>Trichloroethene</i>	0,002	1,5	<i>n-Propylbenzene</i>	0,005	

**Tabella 8.** Elenco dei Composti Organici Volatili (COV) determinati nelle acque, limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate e valori limite di legge laddove esistenti. (*continua a pag. 26*)

<i>COV</i>	<i>Limite di rivelabilità della metodica (µg/L)</i>	<i>Valore limite D.L. 152/06 (µg/L)</i>
<i>2-Chlorotoluene</i>	0,005	40
<i>4-Chlorotoluene</i>	0,005	40
<i>1,2,4-Trimethylbenzene</i>	0,005	10
<i>tert-Butylbenzene</i>	0,005	
<i>1,3,5-Trimethylbenzene</i>	0,005	10
<i>sec-Butylbenzene</i>	0,005	
<i>1,3-Dichlorobenzene</i>	0,002	
<i>1,4-Dichlorobenzene</i>	0,002	0,5
<i>Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)- [p-cymene]</i>	0,005	
<i>1,2-Dichlorobenzene</i>	0,002	270
<i>n-Butylbenzene</i>	0,005	
<i>1,2,4-Trichlorobenzene</i>	0,005	190
<i>Naphtalene</i>	0,005	
<i>Hexachlorobutadiene</i>	0,005	0,15
<i>1,2,3-Trichlorobenzene</i>	0,005	

**Tabella 8.** Elenco dei Composti Organici Volatili (COV) determinati nelle acque, limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate e valori limite di legge laddove esistenti. (*segue da pag. 25*)

Per quanto riguarda le acque, le misure di pH in situ sono state eseguite con un pH-metro portatile (Orion 250A) equipaggiato con un elettrodo a vetro convenzionale (Orion 9106BNWP). Per la conducibilità elettrica è stato utilizzato un conduttimetro portatile (Hanna Instruments HI9835) con sonda di conducibilità (Hanna Instruments HI76309), per la misura del potenziale redox il pH-metro portatile Orion 250A equipaggiato con l'elettrodo dedicato per l'Eh (Orion 9179BNMD). L'ossigeno disciolto è stato misurato impiegando un ossimetro portatile (WTW, Oxi 340i/SET).

La **Tabella 9** illustra le tecniche analitiche utilizzate per la determinazione quantitativa degli elementi maggiori, di quelli in traccia e degli anioni analizzati nei campioni prelevati nel corso delle diverse campagne di campionamento. Le analisi chimiche sono state condotte impiegando uno spettrometro di massa (ICP-MS) Perkin Elmer (Elan 6100) e uno spettrometro ottico (ICP-OES) Perkin Elmer (Optima 2000 DV). Per l'analisi del mercurio è stato utilizzato un analizzatore di mercurio AMA 254; la determinazione degli anioni è stata effettuata in cromatografia ionica

(DIONEX DX-120). Infine, la concentrazione dei bicarbonati nei campioni d'acqua è stata eseguita per titolazione con HCl.

Nell'ultima colonna a destra di **Tabella 9** sono riportati i limiti di rivelabilità strumentale (IDL), espressi in µg/L. Le analisi sono state condotte con la tecnica analitica ritenuta più valida in termini di sensibilità e accuratezza. Per la preparazione e l'analisi dei campioni di acqua si è fatto riferimento al manuale "Metodi Analitici per le Acque", CNR-IRSA - APAT, Rapporti 29/2003.

<i>Elemento</i>	<i>Tecnica analitica</i>	<i>IDL (µg/L)</i>	<i>Elemento</i>	<i>Tecnica analitica</i>	<i>IDL (µg/L)</i>
As	ICP-MS	0,10	Na	ICP-OES	25
Cd	ICP-MS	0,01	K	ICP-OES	50
Cr	ICP-MS	10	Mg	ICP-OES	20
Fe	ICP-OES	25	Ca	ICP-OES	20
Mn	ICP-MS ICP-OES	0,50 (ICP-MS) 10 (ICP-OES)	F	IC	50
Hg	AMA	0,10	Cl	IC	100
Pb	ICP-MS	0,10	NO <sub>3</sub>	IC	100
Cu	ICP-MS	0,10	SO <sub>4</sub>	IC	100
Se	ICP-MS	0,05	HCO <sub>3</sub>	Titolazione	–
Zn	ICP-OES	1,0			

**Tabella 9.** Elementi analizzati, rispettive tecniche analitiche di rivelazione e limiti di rivelabilità strumentale (IDL). ICP-MS: spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente; ICP-OES: spettrometria ottica di emissione al plasma accoppiato induttivamente; AMA: analizzatore di mercurio; IC: cromatografia ionica.

### 3.3 Analisi delle acque: dati

#### 3.3.1. Parametri misurati in situ

##### 3.3.1.a. Livello statico della falda

#### PIEZOMETRI

Come già detto, soltanto nella prima campagna è stato possibile misurare il livello statico ed effettuare il campionamento di tutti i piezometri disponibili sul territorio comunale di San Giuliano di Puglia. Le operazioni di spurgo, tuttavia, non sono state agevoli a causa del ridotto diametro (1 pollice) scelto per la realizzazione di tali piezometri (**Figura 3**). Infatti, questi sono stati progettati per un utilizzo limitato al monitoraggio di eventuali variazioni del livello statico e non per il prelievo di campioni d'acqua. Da notare la totale assenza di copertura e protezione del piezometro 1 (PZ01), posto a bordo strada subito a ridosso del marciapiede, risultando così esposto a eventuali apporti provenienti dall'esterno (**Figura 3**).



**Figura 3.** Diametro dei piezometri. Nella foto è rappresentato il piezometro 1 (PZ01).

L'analisi della variazione del livello statico nei singoli piezometri [soggiacenza misurata all'arrivo, prima delle operazioni di spurgo ('iniziale'), e al termine del campionamento ('finale')], tenuto conto delle quote relative della superficie libera della falda e della litologia e giacitura dei terreni ospitanti (**Tabella 10**), ha consentito di ipotizzare la presenza di un sistema di falde sovrapposte, di potenza molto limitata, all'interno dei depositi di copertura.

Nel corso della prima campagna, per le operazioni di spurgo dei piezometri – considerati i limitati volumi d'acqua all'interno dei piezometri, la scarsa permeabilità dei litotipi e la conseguente bassa trasmissività dell'acquifero superficiale –, dopo alcune prove preliminari è stato deciso di togliere da ogni piezometro un volume pari a 5 bailer d'acqua (volume di 1 bailer  $\approx$  250 mL). Questa procedura ha comportato un abbassamento più pronunciato del livello piezometrico nei terreni più argillosi (PZ01 e PZ04, **Tabella 10**). Durante il campionamento, nei piezometri PZ01 e PZ03 è stato avvertito un intenso e sgradevole odore simile a quello prodotto dalla decomposizione di sostanza organica.

<i>Sigla campione</i>	<i>Sogg. iniziale (m dal rifer.)</i>	<i>Sogg. finale (m dal rifer.)</i>	<i>Riferimento in Carta geologica</i>	<i>Note</i>
PZ01	1,69	2,25	UAM (Membro argilloso-marnoso dell'Unità argilloso-marnosa)	Bordo strada ( <b>foto 1</b> )
PZ02	4,96	5,07	UCMa (Membro marnoso-calcareo dell'Unità calcareo-marnosa)	Pressi Palazzetto dello sport ( <b>foto 2</b> )
PZ03	3,06	3,06	UAMa (Membro marnoso-sabbioso dell'Unità argilloso-marnosa)	A quota inferiore rispetto alle vecchie case popolari ( <b>foto 3</b> )
PZ04	7,30	8,10	UCM (Membro calcareo-marnoso dell'Unità calcareo-marnosa)	A valle di casa Petti ( <b>foto 4</b> )
PZ05	11,00	11,17	UCM (Membro calcareo-marnoso dell'Unità calcareo-marnosa)	Pressi del cimitero ( <b>foto 5</b> )

**Tabella 10.** Dati di soggiacenza iniziale e finale riferita ai piezometri (PZ) campionati nel corso della prima campagna. Sono inoltre indicati i riferimenti alla litologia, così come indicata nella carta geologica di dettaglio realizzata da Geoservizi, e alla documentazione fotografica relativa alla campagna di monitoraggio.



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5

Nella seconda campagna è stato possibile misurare soltanto i piezometri PZ03 e PZ04. Nel piezometro PZ03 si è osservata una variazione di livello contenuta in pochissimi centimetri nel passare dalle condizioni statiche prima e dopo il campionamento (**Tabella 11**). Anche il recupero del livello al termine dello spurgo è avvenuto in tempi brevissimi. È da notare che il piezometro PZ03 è ubicato alla base di una collina costituita da depositi di copertura, al cui interno sono ospitate diverse falde sovrapposte seppur di potenza alquanto limitata. Queste falde presentano localmente valori anche elevati del gradiente idraulico, e valori variabili della trasmissività, in dipendenza delle caratteristiche litologiche dei terreni circostanti il sito. Nel piezometro PZ04, ubicato su un pianoro, lo spurgo ha determinato un consistente (1 m) abbassamento del livello.

Nella terza campagna di campionamento dei piezometri si nota un aumento della soggiacenza, rispetto ai precedenti campionamenti, dovuto alle condizioni climatiche locali particolarmente asciutte che hanno caratterizzato l'estate 2013. Al contrario, nella quarta campagna di campionamento si rileva, nell'unico piezometro misurato (PZ04), un innalzamento della falda rispetto alla campagna precedente ("estiva") (**Tabella 11**). Tale evidenza è da mettere in relazione alle continue e intense precipitazioni occorse nel territorio in esame nelle settimane immediatamente precedenti l'ultimo campionamento.

<i>Sigla campione</i>	<i>Soggiacenza (m dal punto di riferimento)</i>							
	<i>I campagna</i>		<i>II campagna</i>		<i>III campagna</i>		<i>IV campagna</i>	
	<i>iniziale</i>	<i>finale</i>	<i>iniziale</i>	<i>finale</i>	<i>iniziale</i>	<i>finale</i>	<i>iniziale</i>	<i>finale</i>
PZ01	1,69	2,25	–	–	–	–	–	–
PZ02	4,96	5,07	–	–	–	–	–	–
PZ03	3,06	3,06	2,33	2,35	3,46	3,68	–	–
PZ04	7,30	8,10	7,24	8,24	7,76	8,48	5,63	6,45
PZ05	11,00	11,17	–	–	–	–	–	–

**Tabella 11.** Dati di soggiacenza iniziale (prima dello spurgo) e finale (al termine del campionamento) misurata nei piezometri (PZ) campionati nelle quattro campagne.

## POZZI

A differenza dei piezometri, nel caso dei pozzi la misura del livello statico è stata effettuata in tutte le campagne con l'eccezione dei pozzi 9 e 10, per i quali sono disponibili i dati di livello – e di tutti gli altri parametri campionati – soltanto a partire dalla seconda campagna.

In tutte le campagne di campionamento e misura lo spurgo dei pozzi è stato condotto in modalità *low-flow* (mediante pompa *ProActive®*) fino a costanza di misura dei valori di pH e di conducibilità. In media, questa condizione è stata raggiunta dopo circa 15 minuti di pompaggio.

In tutti i campionamenti la variazione del livello di falda prima e dopo lo spurgo è rimasta spesso contenuta entro pochi centimetri (**Tabella 12**), un dato che in questo caso non è legato tanto ai parametri idrodinamici dell'acquifero (trasmissività, coefficiente di immagazzinamento, permeabilità, ecc.) quanto piuttosto alla modesta portata emunta e alle dimensioni dei pozzi campionati. Questi ultimi, infatti, sono stati tutti scavati a mano entro le coltri di ricopertura e presentano diametri, al boccapozzo, compresi tra 60 e 100 cm.

Sigla campione	Soggiacenza (m dal punto di riferimento)							
	I campagna		II campagna		III campagna		IV campagna	
	iniziale	finale	iniziale	finale	iniziale	finale	iniziale	finale
Pozzo1	0,45	0,53	0,77	0,81	0,80	0,89	0,77	0,90
Pozzo2	1,30	1,30	2,50	2,50	2,53	2,53	1,73	1,82
Pozzo3	1,74	1,74	2,02	2,11	2,88	2,93	2,01	2,10
Pozzo4	2,16	2,20	2,09	2,09	2,78	2,82	1,99	2,06
Pozzo5	1,08	1,08	1,35	1,35	2,29	2,30	1,32	1,41
Pozzo6	2,04	2,04	2,07	2,09	2,84	2,86	2,00	2,05
Pozzo7	2,22	2,22	1,00	1,00	1,40	1,43	1,06	1,11
Pozzo8	2,33	2,37	3,37	3,40	3,60	3,63	3,35	3,40
Pozzo9	–	–	4,37	4,39	4,92	4,97	4,06	4,11
Pozzo10	–	–	2,32	2,33	2,70	2,73	2,43	2,43

**Tabella 12.** Dati di soggiacenza iniziale (prima dello spurgo) e finale (al termine del campionamento) misurata nei pozzi campionati nelle quattro campagne.

Come già visto per i piezometri, nella terza e quarta campagna si registrano anche nei pozzi quelle variazioni del livello statico il cui andamento è da mettere in relazione alle condizioni climatiche che hanno interessato l'area di studio nelle settimane precedenti il campionamento.

### 3.3.1.b. Parametri chimico-fisici

#### PIEZOMETRI

La **Tabella 13** riporta i dati dei parametri chimico-fisici, relativi ai piezometri, misurati in campo nelle quattro campagne.

<i>Tipo</i>	<i>Sigla campione</i>	<i>Campagna di misura</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>pH</i>	<i>EC (μS/cm)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>Eh (mV)</i>
<b>Piezometro</b>	PZ01	<b>I</b>	19,8	7,5	2260	18,8	–
		<b>II</b>	–	–	–	–	–
		<b>III</b>	–	–	–	–	–
		<b>IV</b>	–	–	–	–	–
	PZ02	<b>I</b>	16,8	7,0	929	14,4	–
		<b>II</b>	–	–	–	–	–
		<b>III</b>	–	–	–	–	–
		<b>IV</b>	–	–	–	–	–
	PZ03	<b>I</b>	17,0	7,0	7760	8,5	–
		<b>II</b>	14,3	7,2	5820	27,0	–
		<b>III</b>	16,0	6,7	7350	22,1	- 40
		<b>IV</b>	–	–	–	–	–
	PZ04	<b>I</b>	16,0	7,0	4590	7,0	–
		<b>II</b>	16,0	6,7	5750	23,0	–
		<b>III</b>	15,0	6,8	6340	23,0	- 29
		<b>IV</b>	16,0	6,7	3480	22,5	- 138
PZ05	<b>I</b>	19,5	7,1	11980	16	–	
	<b>II</b>	–	–	–	–	–	
	<b>III</b>	–	–	–	–	–	
	<b>IV</b>	–	–	–	–	–	

**Tabella 13.** Dati relativi ai parametri chimico-fisici misurati in campo nei piezometri (PZ) campionati nelle quattro campagne.

Vista la scarsità di dati disponibili, riguardo sia al numero totale di piezometri campionati sia al numero di campionamenti eseguiti sullo stesso piezometro nelle diverse campagne, in questa sede si è deciso di riportare comunque i risultati di tutte le determinazioni (chimico-fisiche e chimiche) astenendosi tuttavia da ogni valutazione e analisi di questi ultimi.

**POZZI**

La **Tabella 14** riporta i dati dei parametri chimico-fisici, relativi ai pozzi, misurati in campo nelle quattro campagne.

<i>Tipo</i>	<i>Sigla campione</i>	<i>Campagna di misura</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>pH</i>	<i>EC (μS/cm)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>Eh (mV)</i>
<i>Pozzo</i>	Pozzo1	<i>I</i>	19,0	7,2	1606	12,8	–
		<i>II</i>	14,8	7,1	1500	38,7	–
		<i>III</i>	18,5	7,5	1600	20,6	- 63
		<i>IV</i>	15,0	7,3	1540	28,1	- 58
	Pozzo2	<i>I</i>	18,0	6,9	1408	16,9	–
		<i>II</i>	14,5	6,7	1408	10,1	–
		<i>III</i>	18,0	7,4	1390	43,7	- 20
		<i>IV</i>	15,5	6,8	1404	8,8	- 88
	Pozzo3	<i>I</i>	19,2	7,3	5400	5,0	–
		<i>II</i>	12,0	7,4	1497	57,3	–
		<i>III</i>	18,9	7,5	5900	14,5	- 108
		<i>IV</i>	13,8	7,3	2840	37,0	- 97
	Pozzo4	<i>I</i>	16,0	7,5	2520	6,1	–
		<i>II</i>	13,1	7,6	1560	11,7	–
		<i>III</i>	16,2	7,4	2390	17,8	- 39
		<i>IV</i>	13,0	7,3	1580	10,1	- 75
	Pozzo5	<i>I</i>	17,0	7,2	812	2,6	–
		<i>II</i>	13,0	7,3	496	7,0	–
		<i>III</i>	17,9	7,1	444	29,4	28
		<i>IV</i>	13,2	7,3	1127	31,8	- 6

**Tabella 14.** Dati relativi ai parametri chimico-fisici misurati in campo nei pozzi campionati: confronto fra le quattro campagne. (continua a pag. 34)

<i>Tipo</i>	<i>Sigla campione</i>	<i>Campagna di misura</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>pH</i>	<i>EC (μS/cm)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>Eh (mV)</i>
<i>Pozzo</i>	Pozzo6	<i>I</i>	16,0	7,1	2550	6,3	–
		<i>II</i>	12,8	7,2	1648	34,0	–
		<i>III</i>	18,0	7,1	2550	12,6	- 119
		<i>IV</i>	14,0	6,9	1370	41,5	- 1
	Pozzo7	<i>I</i>	15,9	7,6	1353	6,5	–
		<i>II</i>	11,5	7,6	1032	21,0	–
		<i>III</i>	18,0	7,4	1214	10,0	- 66
		<i>IV</i>	14,0	7,5	1200	18,9	- 12
	Pozzo8	<i>I</i>	15,8	7,7	4700	5,5	–
		<i>II</i>	13,0	7,6	4810	7,8	–
		<i>III</i>	17,8	7,6	5130	15,1	- 104
		<i>IV</i>	14,5	7,4	4880	16,2	- 126
	Pozzo9	<i>I</i>	–	–	–	–	–
		<i>II</i>	11,5	7,6	1063	50,6	–
		<i>III</i>	16,0	7,7	2790	9,8	- 194
		<i>IV</i>	13,0	7,7	651	79,2	- 46
	Pozzo10	<i>I</i>	–	–	–	–	–
		<i>II</i>	12,0	7,5	1664	48,2	–
		<i>III</i>	17,2	7,5	764	59,5	36
		<i>IV</i>	13,2	7,2	2140	33,5	- 106

**Tabella 14.** Dati relativi ai parametri chimico-fisici misurati in campo nei pozzi campionati: confronto fra le quattro campagne. (*segue da pag. 33*)

L'esame dei dati di temperatura e conducibilità riportati in **Tabella 14** consente di discriminare le campagne effettuate nei periodi "invernali" da quelle più propriamente "estive": relativamente alla conducibilità, nei pozzi 3, 4, 6 e 9 questa distinzione è più marcata. Infatti, confrontando i dati ottenuti nei diversi campionamenti, si nota innanzitutto una generale diminuzione della conducibilità nei campioni prelevati nella seconda e quarta campagna rispetto ai valori trovati nella prima e terza campagna. Questa diminuzione di conducibilità è legata alla diluizione delle acque per effetto delle abbondanti precipitazioni avvenute nel periodo invernale. Inoltre, come già esposto in precedenza, i pozzi studiati hanno profondità limitata (< 10 m dal p.c.) e sono stati tutti scavati entro le coltri di copertura detritiche superficiali. Per essi, i dati di soggiacenza rivelano distanze della falda più superficiale sempre prossime al piano campagna, raggiungibili dall'infiltrazione efficace delle precipitazioni meteoriche in funzione delle caratteristiche locali di permeabilità delle

coltri detritiche e dell'acclività dei versanti.

I dati dell'ossigeno disciolto si mostrano per lo più anticorrelati alle misure di temperatura (cfr pozzi 1, 3, 5, 6, 7, 8 e 9) e di salinità (cfr pozzi 1, 3, 6, 7 e 9), seguendo la stagionalità dei campionamenti. In linea generale, considerando i dati di pH misurati nelle acque dei pozzi, le basse concentrazioni di ossigeno disciolto e i valori quasi sempre negativi dell'Eh, è possibile collocare le acque in studio nella zona di transizione tra il campo aerobico e quello anaerobico.

#### ACQUE SUPERFICIALI

La **Tabella 15** riporta i dati dei parametri chimico-fisici misurati in campo nelle acque superficiali campionate nei valloni, nelle quattro campagne.

<i>Tipo</i>	<i>Sigla campione</i>	<i>Campagna di misura</i>	<i>Temp (°C)</i>	<i>pH</i>	<i>EC (µS/cm)</i>	<i>O<sub>2</sub> (%)</i>	<i>Eh (mV)</i>
<i>Acqua superficiale</i>	VGmonte	<i>I</i>	18,4	7,9	617	84,9	–
		<i>II</i>	11,5	8,1	520	95,5	–
		<i>III</i>	15,5	8,1	687	95,3	9
		<i>IV</i>	13,5	8,0	569	100,0	1
	VGmezzo	<i>I</i>	25,7	8,1	627	73,5	–
		<i>II</i>	14,5	8,0	626	100,0	–
		<i>III</i>	16,0	8,1	687	96,0	5
		<i>IV</i>	15,0	8,0	641	100,0	- 7
	VGvalle	<i>I</i>	24,0	8,0	820	77,4	–
		<i>II</i>	16,5	8,2	717	97,9	–
		<i>III</i>	16,5	8,1	912	87,5	- 8
		<i>IV</i>	15,5	7,9	703	98,0	- 7
	ValPoeta	<i>I</i>	18,6	7,6	625	–	–
		<i>II</i>	15,0	7,6	651	72,6	–
		<i>III</i>	15,0	7,4	660	56,9	13
		<i>IV</i>	14,5	6,8	619	54,8	- 43
	ValVailato	<i>I</i>	–	–	–	–	–
		<i>II</i>	15,5	8,1	696	100,0	–
		<i>III</i>	–	–	–	–	–
		<i>IV</i>	14,5	8,1	686	98,5	- 8

**Tabella 15.** Dati relativi ai parametri chimico-fisici misurati in campo nei valloni campionati: confronto fra le quattro campagne. VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

Per quanto riguarda le acque superficiali campionate nei valloni, le variazioni dei parametri chimico-fisici (**Tabella 15**) legate alla stagionalità sono molto più contenute (a parte, ovviamente, per la temperatura delle acque) rispetto a quanto riscontrato nelle acque sotterranee. In particolare, la diminuzione di conducibilità nei campioni invernali è più evidente nei siti del Vallone Grande (campioni VGmonte, VGmezzo, VGvalle) rispetto al punto considerato nel Vallone Poeta. Per il Vallone Vailato non ci sono elementi sufficienti per il confronto poiché nei mesi estivi tale corso d'acqua superficiale è stato trovato sempre asciutto.

Anche per le acque dei valloni i dati dell'ossigeno disciolto si mostrano per lo più anticorrelati alle misure di temperatura e di salinità, in base alla stagionalità dei campionamenti. Un dato sicuramente degno di attenzione in questo caso è il potenziale redox: infatti, valori leggermente positivi e/o negativi dell'Eh non sono assolutamente consueti in un ambiente ossidante, come nel caso delle acque superficiali, ma costituiscono un elemento distintivo delle acque circolanti su questi substrati.

### 3.3.2. Parametri chimici

#### 3.3.2.a. Elementi e composti inorganici

##### PIEZOMETRI

La **Tabella 16** riporta i risultati delle analisi degli elementi maggiori e degli anioni effettuate sui campioni d'acqua prelevati dai piezometri nelle quattro campagne di misura effettuate.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Na (mg/L)</i>	<i>K (mg/L)</i>	<i>Mg (mg/L)</i>	<i>Ca (mg/L)</i>	<i>F (mg/L)</i>	<i>Cl (mg/L)</i>	<i>NO<sub>3</sub> (mg/L)</i>	<i>SO<sub>4</sub> (mg/L)</i>	<i>HCO<sub>3</sub> (mg/L)</i>
PZ01	<i>I</i>	350	22	53	69	0,2	232	3,5	667	293
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ02	<i>I</i>	41	42	36	92	1,4	33	12	60	519
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ03	<i>I</i>	1276	37	132	483	< 0,05	1427	1,1	2506	549
	<i>II</i>	1115	34	76	199	< 0,05	883	< 0,10	1281	625
	<i>III</i>	1463	37	104	307	< 0,05	900	1,02	1951	683
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ04	<i>I</i>	707	33	129	229	< 0,05	593	10	1652	628
	<i>II</i>	701	28	128	221	< 0,05	476	9,8	1287	642
	<i>III</i>	1049	36	199	271	< 0,05	919	10	2019	622
	<i>IV</i>	457	17	85	190	< 0,05	289	4,5	702	366
PZ05	<i>I</i>	2354	63	482	189	< 0,05	2356	2,7	4105	793
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–

**Tabella 16.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nelle acque dei piezometri (PZ) campionati nelle quattro campagne di misura effettuate.

La **Tabella 17** mostra i risultati analitici relativi agli elementi in traccia contenuti nelle acque dei piezometri campionati nelle quattro campagne di misura.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Cr</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Zn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Se</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Mn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>As</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cd</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cu</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Hg</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Pb</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Fe</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
PZ01	<i>I</i>	< 10	13	5,3	207	2,9	< 0,01	4,0	< 0,10	0,40	57
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ02	<i>I</i>	< 10	10	6,0	3,6	1,0	< 0,01	1,7	< 0,10	0,33	< 25
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ03	<i>I</i>	< 10	22	44	878	10	< 0,01	10	< 0,10	0,55	< 25
	<i>II</i>	< 10	31	19	270	8,4	0,11	14	< 0,10	< 0,10	294
	<i>III</i>	< 10	42	17	469	11	0,08	12	< 0,10	0,30	309
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
PZ04	<i>I</i>	< 10	67	9,2	627	4,4	0,05	8,4	< 0,10	18	< 25
	<i>II</i>	< 10	53	15	342	4,8	0,13	12	< 0,10	4,0	< 25
	<i>III</i>	< 10	75	12	717	4,8	0,14	12	< 0,10	10,2	< 25
	<i>IV</i>	< 10	66	7,3	343	1,1	< 0,01	10	< 0,10	3,7	< 25
PZ05	<i>I</i>	< 10	51	36	244	10	0,03	20	< 0,10	0,60	< 25
	<i>II</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

**Tabella 17.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi in traccia nelle acque dei piezometri (PZ) campionati nelle quattro campagne di misura effettuate.

Come già detto nella sezione precedente, la scarsità di campionamenti effettuati dai piezometri non consente di operare valutazioni dei risultati ottenuti con le analisi chimiche e chimico-fisiche.

**POZZI**

La **Tabella 18** riporta i risultati delle analisi degli elementi maggiori e degli anioni effettuate sui campioni d'acqua prelevati dai pozzi nelle quattro campagne di misura effettuate.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Na</i> (mg/L)	<i>K</i> (mg/L)	<i>Mg</i> (mg/L)	<i>Ca</i> (mg/L)	<i>F</i> (mg/L)	<i>Cl</i> (mg/L)	<i>NO<sub>3</sub></i> (mg/L)	<i>SO<sub>4</sub></i> (mg/L)	<i>HCO<sub>3</sub></i> (mg/L)
Pozzo1	<b>I</b>	138	55	41	138	1,00	131	48	309	458
	<b>II</b>	118	50	39	134	1,49	91	41	237	470
	<b>III</b>	133	58	42	129	1,32	111	44	285	427
	<b>IV</b>	123	52	40	134	1,40	87	34	215	499
Pozzo2	<b>I</b>	93	3,8	48	144	0,74	103	77	203	476
	<b>II</b>	92	4,4	50	151	1,41	94	59	187	482
	<b>III</b>	95	6,3	49	143	1,01	92	53	194	458
	<b>IV</b>	95	4,8	49	155	1,07	83	68	172	505
Pozzo3	<b>I</b>	749	31	192	306	< 0,05	835	1,1	1886	421
	<b>II</b>	149	12	40	120	0,75	135	3,8	276	397
	<b>III</b>	885	35	220	314	< 0,05	900	1,0	1950	384
	<b>IV</b>	101	133	56	114	< 0,05	211	1,4	350	306
Pozzo4	<b>I</b>	201	174	101	142	0,41	194	< 0,10	804	398
	<b>II</b>	113	125	54	81	0,59	99	6,1	392	329
	<b>III</b>	210	168	100	141	0,35	181	0,20	795	397
	<b>IV</b>	97	130	55	111	< 0,05	104	6,3	385	371
Pozzo5	<b>I</b>	51	6,3	21	92	0,16	46	< 0,10	90	354
	<b>II</b>	25	4,7	12	60	0,22	20	1,8	27	268
	<b>III</b>	22	5,1	11	51	0,24	15	0,76	18	220
	<b>IV</b>	75	9,1	32	131	< 0,05	65	0,6	163	432

**Tabella 18.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nelle acque dei pozzi campionati nelle quattro campagne di misura effettuate. (*continua a pag. 40*)

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Na (mg/L)</i>	<i>K (mg/L)</i>	<i>Mg (mg/L)</i>	<i>Ca (mg/L)</i>	<i>F (mg/L)</i>	<i>Cl (mg/L)</i>	<i>NO<sub>3</sub> (mg/L)</i>	<i>SO<sub>4</sub> (mg/L)</i>	<i>HCO<sub>3</sub> (mg/L)</i>
Pozzo6	<b>I</b>	240	13	62	245	0,21	261	< 0,10	748	420
	<b>II</b>	131	6,5	34	198	0,38	127	2,4	363	470
	<b>III</b>	256	15	70	248	< 0,05	280	0,98	735	445
	<b>IV</b>	92	3,7	24	196	< 0,05	128	0,20	294	368
Pozzo7	<b>I</b>	183	10	33	74	0,60	170	< 0,10	189	384
	<b>II</b>	124	7,0	26	67	1,32	113	1,7	103	336
	<b>III</b>	154	11	30	68	1,25	129	1,0	131	366
	<b>IV</b>	156	9,1	29	68	1,65	130	0,30	116	375
Pozzo8	<b>I</b>	681	28	157	165	< 0,05	792	98	1185	317
	<b>II</b>	740	26	171	183	0,88	762	92	1175	365
	<b>III</b>	761	29	181	177	< 0,05	864	83	1279	329
	<b>IV</b>	747	27	171	177	< 0,05	784	99	1160	356
Pozzo9	<b>I</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<b>II</b>	66	22	37	106	0,69	37	3,5	392	195
	<b>III</b>	276	39	135	241	< 0,05	219	0,53	1246	296
	<b>IV</b>	38	18	22	66	0,66	19	3,0	159	195
Pozzo10	<b>I</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<b>II</b>	173	16	23	156	0,74	259	2,4	248	268
	<b>III</b>	69	6,8	11	65	0,73	66	18	78	232
	<b>IV</b>	224	13	29	179	< 0,05	353	1,6	283	290

**Tabella 18.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nelle acque dei pozzi campionati nelle quattro campagne di misura effettuate. (segue da pag. 39)

La **Tabella 19** mostra i risultati analitici relativi agli elementi in traccia contenuti nelle acque dei pozzi campionati nelle quattro campagne di misura.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Cr</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Zn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Se</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Mn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>As</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cd</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cu</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Hg</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Pb</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Fe</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
Pozzo1	<b>I</b>	< 10	11	11	16	1,3	< 0,01	2,2	< 0,10	0,28	< 25
	<b>II</b>	< 10	11	8,2	1,9	1,2	0,03	2,4	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	14	10	2,1	1,1	0,02	1,4	< 0,10	0,18	< 25
	<b>IV</b>	< 10	15	8,6	3,9	0,80	< 0,01	2,7	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo2	<b>I</b>	< 10	4,5	7,6	0,20	1,0	< 0,01	1,3	< 0,10	0,27	< 25
	<b>II</b>	< 10	8,2	7,3	3,0	1,2	0,02	1,6	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	8,2	6,6	1,0	1,1	0,01	1,3	< 0,10	0,23	< 25
	<b>IV</b>	< 10	10	8,4	7,8	0,90	< 0,01	1,8	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo3	<b>I</b>	< 10	20	17	1890	7,4	< 0,01	6,1	< 0,10	0,27	436
	<b>II</b>	< 10	87	3,7	1,6	1,9	0,03	4,2	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	76	15	2251	7,6	0,05	6,6	< 0,10	0,18	706
	<b>IV</b>	< 10	70	7,9	391	2,6	< 0,01	6,3	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo4	<b>I</b>	< 10	14	4,2	284	3,4	< 0,01	3,5	< 0,10	0,28	< 25
	<b>II</b>	< 10	12	14	2,0	3,4	0,06	9,1	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	24	2,4	242	3,5	0,05	1,9	< 0,10	0,25	93
	<b>IV</b>	< 10	18	7,5	11	3,2	< 0,01	7,7	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo5	<b>I</b>	< 10	5,5	1,3	334	1,1	< 0,01	1,6	< 0,10	0,27	37
	<b>II</b>	< 10	3,3	0,70	26	0,70	0,01	4,2	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	2,8	0,70	10	0,88	0,01	4,5	< 0,10	0,17	< 25
	<b>IV</b>	< 10	8,1	1,4	0,65	0,9	< 0,01	6,4	< 0,10	< 0,10	< 25

**Tabella 19.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi in traccia nelle acque dei pozzi campionati nelle quattro campagne di misura effettuate. (continua a pag. 42)

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Cr</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Zn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Se</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Mn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>As</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cd</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cu</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Hg</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Pb</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Fe</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
Pozzo6	<b>I</b>	< 10	12	7,2	1063	5,9	< 0,01	2,1	< 0,10	0,31	1893
	<b>II</b>	< 10	11	7,0	50	2,0	0,03	3,8	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	20	6,2	922	5,7	0,02	2,3	< 0,10	0,17	585
	<b>IV</b>	< 10	13	4,1	2,8	0,80	< 0,01	3,9	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo7	<b>I</b>	< 10	14	3,2	36	2,8	< 0,01	3,2	< 0,10	0,30	< 25
	<b>II</b>	< 10	11	3,4	0,30	2,2	0,02	7,1	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	24	3,2	205	3,9	0,03	3,9	< 0,10	0,23	< 25
	<b>IV</b>	< 10	23	3,2	128	2,9	< 0,01	3,9	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo8	<b>I</b>	< 10	19	14	9,9	7,7	< 0,01	9,2	< 0,10	0,24	< 25
	<b>II</b>	< 10	34	17	2,0	7,9	0,04	11	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	36	12	42	7,0	0,04	11	< 0,10	0,19	< 25
	<b>IV</b>	< 10	58	16	32	5,4	< 0,01	12	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo9	<b>I</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<b>II</b>	< 10	11	7,5	0,20	2,6	0,07	6,1	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	42	3,6	310	5,1	0,01	2,1	< 0,10	0,22	< 25
	<b>IV</b>	< 10	8,6	4,3	0,11	3,0	< 0,01	6,8	< 0,10	< 0,10	< 25
Pozzo10	<b>I</b>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<b>II</b>	< 10	12	7,0	0,04	2,4	0,02	5,7	< 0,10	< 0,10	< 25
	<b>III</b>	< 10	6,2	4,2	0,18	1,1	0,02	2,6	< 0,10	0,23	< 25
	<b>IV</b>	< 10	19	7,2	0,94	2,4	< 0,01	6,3	< 0,10	< 0,10	< 25

**Tabella 19.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi in traccia nelle acque dei pozzi campionati nelle quattro campagne di misura effettuate. (*segue da pag. 41*)

**ACQUE SUPERFICIALI**

La **Tabella 20** riporta i risultati delle analisi degli elementi maggiori e degli anioni effettuate sui campioni d'acqua superficiale prelevati dai valloni nelle quattro campagne di misura effettuate.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Na (mg/L)</i>	<i>K (mg/L)</i>	<i>Mg (mg/L)</i>	<i>Ca (mg/L)</i>	<i>F (mg/L)</i>	<i>Cl (mg/L)</i>	<i>NO<sub>3</sub> (mg/L)</i>	<i>SO<sub>4</sub> (mg/L)</i>	<i>HCO<sub>3</sub> (mg/L)</i>
VGmonte	<i>I</i>	38	7,6	21	65	0,25	23	5,4	52	299
	<i>II</i>	32	4,9	17	63	0,54	25	5,7	49	256
	<i>III</i>	50	8,2	25	64	0,53	27	6,1	55	320
	<i>IV</i>	33	5,1	18	69	0,58	18	4,8	54	277
VGmezzo	<i>I</i>	41	8,3	21	58	0,29	27	3,3	64	275
	<i>II</i>	38	5,1	19	68	0,52	29	4,4	72	256
	<i>III</i>	53	8,2	26	59	0,50	30	0,43	65	317
	<i>IV</i>	42	5,3	21	71	0,50	31	3,5	75	266
VGvalle	<i>I</i>	64	13	23	72	0,31	53	8,1	105	323
	<i>II</i>	47	6,9	21	74	0,52	36	4,1	97	287
	<i>III</i>	76	15	30	84	0,59	56	2,1	129	360
	<i>IV</i>	51	7,3	23	73	0,53	35	3,3	99	274
ValPoeta	<i>I</i>	15	3,5	13	101	0,28	13	12	37	326
	<i>II</i>	15	3,5	14	100	0,53	11	11	36	366
	<i>III</i>	18	3,3	16	107	0,45	11	6,1	33	384
	<i>IV</i>	15	2,7	14	100	0,53	10	10	30	365
ValVailato	<i>I</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>II</i>	45	4,6	20	75	0,62	43	9,4	75	265
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	51	5,1	21	74	0,60	45	7,3	74	277

**Tabella 20.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nelle acque superficiali campionate nelle quattro campagne di misura effettuate. VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

La **Tabella 21** mostra i risultati analitici relativi agli elementi in traccia contenuti nelle acque superficiali campionate dai valloni nelle quattro campagne di misura.

<i>Sigla campione</i>	<i>Camp.</i>	<i>Cr</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Zn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Se</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Mn</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>As</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cd</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Cu</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Hg</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Pb</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	<i>Fe</i> ( $\mu\text{g/L}$ )
VGmonte	<i>I</i>	< 10	4,6	2,6	0,88	1,2	< 0,01	0,98	< 0,10	0,27	< 25
	<i>II</i>	< 10	2,6	2,2	0,61	0,68	0,02	1,7	< 0,10	< 0,10	< 25
	<i>III</i>	< 10	3,2	1,9	1,4	1,0	0,01	0,65	< 0,10	0,16	< 25
	<i>IV</i>	< 10	2,8	2,2	0,84	0,79	< 0,01	1,0	< 0,10	< 0,10	< 25
VGmezzo	<i>I</i>	< 10	6,1	2,6	1,1	1,5	< 0,01	1,1	< 0,10	0,26	29
	<i>II</i>	< 10	3,1	2,4	0,73	0,65	0,02	1,6	< 0,10	< 0,10	< 25
	<i>III</i>	< 10	3,4	1,8	3,8	1,0	0,01	1,8	< 0,10	0,15	< 25
	<i>IV</i>	< 10	3,9	2,2	1,3	0,73	< 0,01	1,2	< 0,10	< 0,10	< 25
VGvalle	<i>I</i>	< 10	6,1	1,9	50	1,7	< 0,01	1,9	< 0,10	0,26	< 25
	<i>II</i>	< 10	4,6	2,5	8,8	0,81	0,02	2,2	< 0,10	< 0,10	< 25
	<i>III</i>	< 10	7,5	2,2	8,0	1,5	0,03	2,3	< 0,10	0,18	< 25
	<i>IV</i>	< 10	5,2	2,5	6,3	0,79	< 0,01	1,7	< 0,10	< 0,10	< 25
ValPoeta	<i>I</i>	< 10	4,7	2,3	0,56	0,38	< 0,01	0,73	< 0,10	0,26	< 25
	<i>II</i>	< 10	2,0	2,6	< 0,10	0,27	0,01	0,10	< 0,10	17	< 25
	<i>III</i>	< 10	2,8	2,8	< 0,10	0,35	0,01	0,91	< 0,10	0,16	< 25
	<i>IV</i>	< 10	1,6	3,1	0,14	0,20	< 0,01	0,27	< 0,10	< 0,10	< 25
ValVailato	<i>I</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>II</i>	< 10	3,1	3,1	0,78	0,70	0,02	2,2	< 0,10	< 0,10	< 25
	<i>III</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	<i>IV</i>	< 10	3,4	3,0	0,98	0,65	< 0,01	1,9	< 0,10	< 0,10	< 25

**Tabella 21.** Confronto fra le concentrazioni degli elementi in traccia nelle acque superficiali campionate nelle quattro campagne di misura effettuate. VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

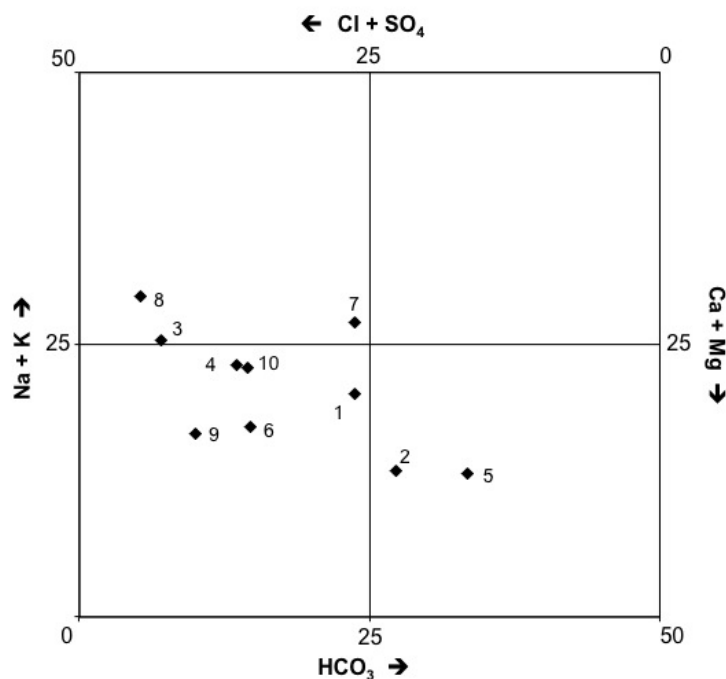
Come già visto per i dati di temperatura e conducibilità (**Tabella 14**), dall'andamento delle concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nelle acque dei pozzi – in uno stesso sito ma in differenti periodi di campionamento – è possibile discriminare le campagne effettuate nei periodi di massimo da quelle condotte in corrispondenza del minimo. In analogia con quanto osservato per i parametri chimico-fisici, anche per gli elementi maggiori e gli anioni tale evidenza è particolarmente marcata nei pozzi 3, 4, 6 e 9, con conseguente diluizione delle acque nella seconda

e quarta campagna a seguito delle abbondanti precipitazioni proprie del periodo invernale. Di contro, le maggiori concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni nei campioni d'acqua della prima e terza campagna testimoniano periodi di prolungata siccità estiva (**Tabella 18**).

Le variazioni stagionali di concentrazione degli elementi maggiori e degli anioni appena viste nelle acque dei pozzi non sono altrettanto evidenti nei campioni di acqua superficiale prelevata dai valloni. Unica eccezione è data dal sito VGvalle, dove la più elevata concentrazione delle acque consente di apprezzare le oscillazioni stagionali del chimismo (**Tabella 20**).

Dal punto di vista idrogeologico e idrogeochimico è da considerare che i campioni di acqua di falda provengono, come già detto, da pozzi poco profondi, scavati a mano nelle coltri di copertura detritiche superficiali in cui hanno sede più falde distinte. Nella maggior parte dei pozzi analizzati la superficie freatica si rinviene a poca distanza ( $\leq 2$  m) dal piano campagna. Il complesso idrogeologico ospitante può presentare potenza ridotta ma variazioni della permeabilità anche significative in funzione dei differenti substrati da cui le coltri stesse originano. Come conseguenza, non sempre i campioni di acqua appartengono alla stessa famiglia composizionale.

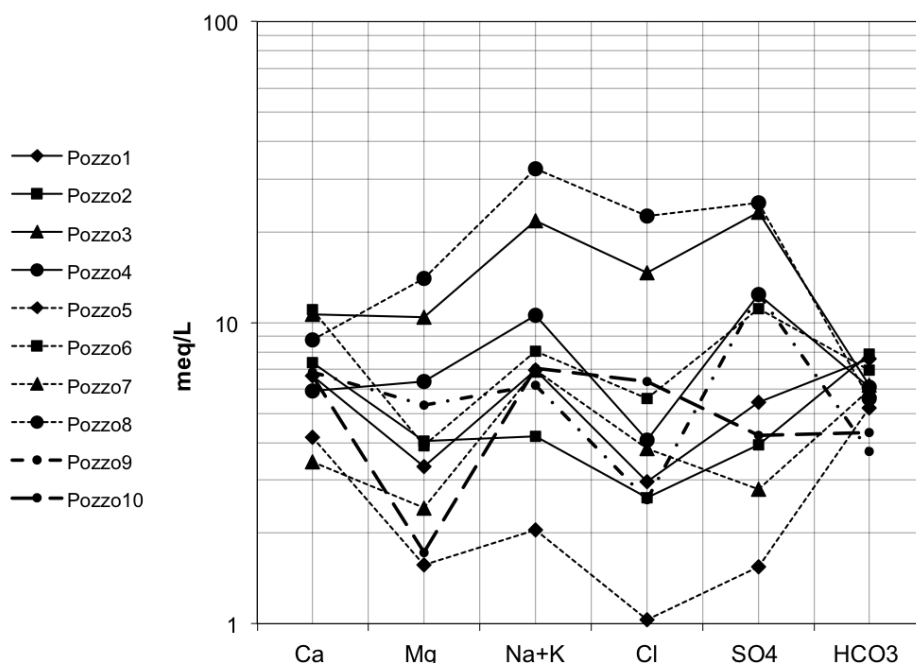
I dati di concentrazione delle acque di falda analizzate, mediati per le quattro campagne effettuate, sono stati proiettati nel diagramma quadrangolare classificativo di Chebotarev (**Figura 4**), che ha permesso di individuare le famiglie geochimiche di appartenenza. Dal diagramma si evince una differenziazione delle acque dei diversi pozzi. In particolare, le acque campionate da Pozzo5 e Pozzo2 possono essere considerate il capostipite delle acque che scorrono nei terreni più carbonatici. Presentano, infatti, un contenuto prevalente in ioni calcio e idrogenocarbonato, e così ricadono nel quadrante delle acque bicarbonato-alcalino-terrose. L'altro *end-member* è rappresentato dalle acque di Pozzo8 e Pozzo3, a maggiore concentrazione di ioni Na e Cl. Queste acque ricadono nel secondo quadrante del diagramma di Chebotarev e sono classificate come solfato-clorurato-alcaline. Le acque dei restanti pozzi campionati mostrano caratteristiche evolutive intermedie tra le acque di partenza bicarbonato-alcalino-terrose e quelle solfato-clorurato-alcaline.



**Figura 4.** Diagramma quadrangolare di Chebotarev relativo alle acque dei pozzi campionati. 1-10: campioni Pozzo1-Pozzo10.

Per studiare gli eventuali fenomeni di differenziazione e miscelazione delle acque si è costruito il diagramma di Schoeller-Berkaloff modificato (**Figura 5**). L'analisi dell'andamento delle spezzate

riferite alle medie relative ai singoli campioni ha evidenziato una generale similarità composizionale. In particolare, la maggior parte dei segmenti costituenti le linee distintive delle acque prelevate da Pozzo8 e Pozzo3 mostra un andamento quasi parallelo, rappresentando graficamente gli *end-member* di una facies idrochimica evolutasi in solfato-clorurato-alcalina come risultato dell'interazione dell'acqua di falda con le litologie argillose. All'opposto si colloca il campione Pozzo5, con un chimismo – a bicarbonato prevalente – che riflette abbastanza chiaramente la facies idrogeochimica di provenienza. I restanti campioni rappresentano i termini intermedi, dal punto di vista evolutivo, tra le due facies idrochimiche considerate. Tale risultato è in accordo con un modello concettuale di acqua meteorica che si infiltra entro i depositi di copertura detritica superficiale arricchendosi nel suo percorso in misura differente a seconda dei diversi termini litologici incontrati. Il chimismo e le condizioni redox delle acque, unitamente alla composizione chimica dei terreni costituenti il complesso idrogeologico ospitante, confermano questa ipotesi.

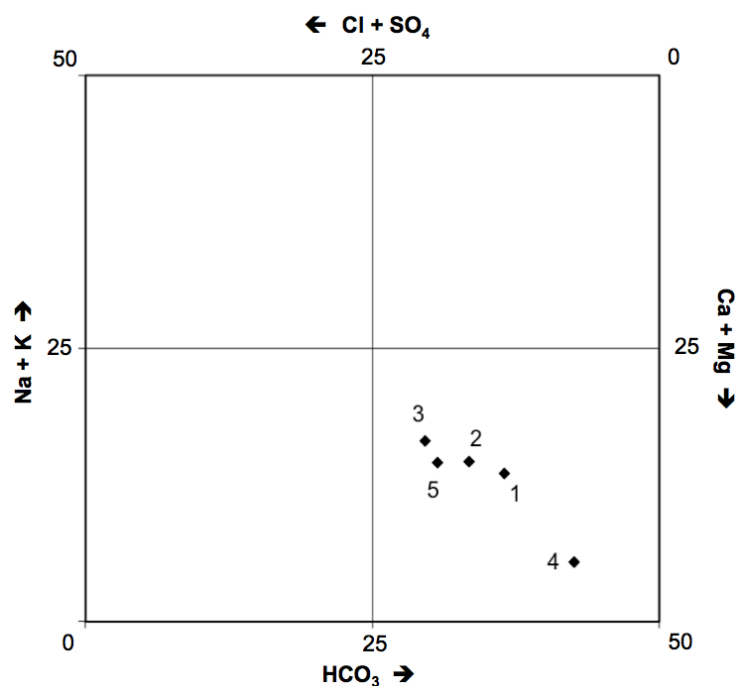


**Figura 5.** Diagramma di Schoeller-Berkaloff modificato relativo alle acque dei pozzi campionati.

Con riferimento ai campioni di acqua superficiale le evidenti minori concentrazioni degli elementi, rispetto a quanto rilevato nei pozzi, sono da ricondurre a un minor tempo di contatto di queste acque con i terreni entro cui fluiscono. La conducibilità idraulica di questi terreni, anche se variabile, è sempre piuttosto bassa comportando di conseguenza flussi di falda estremamente lenti e tempi di contatto acqua-roccia molto elevati all'interno dell'acquifero.

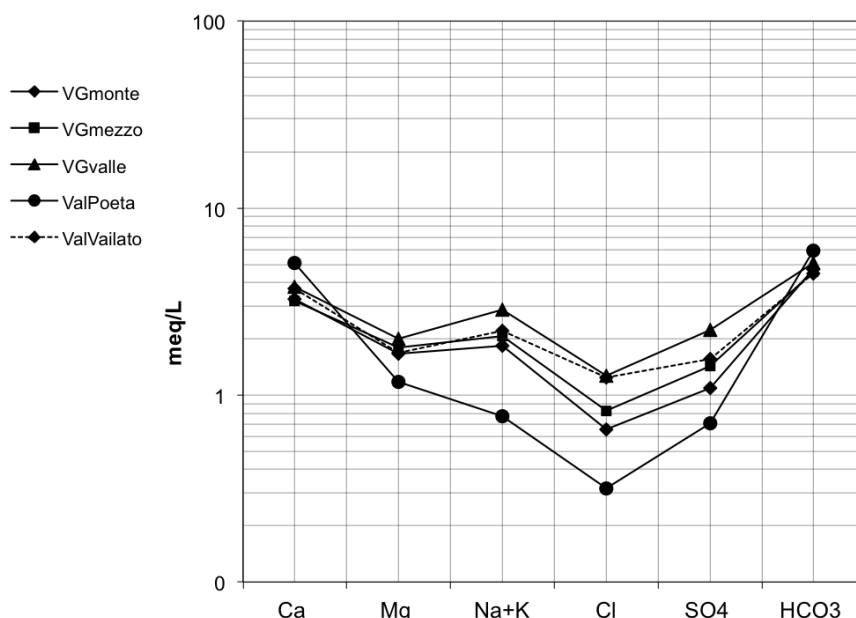
Le concentrazioni degli elementi maggiori e degli anioni relative ai campioni di acque superficiali provenienti dal Vallone Grande aumentano spostandosi da monte verso valle (**Tabella 20**), confermando ulteriormente la stretta dipendenza delle concentrazioni misurate nelle acque dal contatto acqua-roccia.

Il diagramma quadrangolare di Chebotarev costruito per le acque superficiali (**Figura 6**) evidenzia che i campioni dei valloni ricadono tutti nel quarto quadrante, permettendo di classificare le acque come bicarbonato-alcalino terrose.



**Figura 6.** Diagramma quadrangolare di Chebotarev relativo alle acque superficiali campionate nei valloni. 1: campione Vallone Grande monte; 2: campione Vallone Grande mezzo; 3: campione Vallone Grande valle; 4: campione Vallone Poeta; 5: campione Vallone Vailato.

La similarità compositiva delle acque prelevate nei valloni è confermata dall'analisi delle spezzate nel relativo diagramma di Schoeller-Berkaloff modificato costruito per i campioni in esame (**Figura 7**).



**Figura 7.** Diagramma di Schoeller-Berkaloff modificato relativo alle acque superficiali campionate.

In **Tabella 19** sono riportate le concentrazioni (espresse in  $\mu\text{g/L}$ ) degli elementi in traccia analizzati nei campioni di acqua di pozzo. In linea generale, i valori di concentrazione degli elementi

determinati per ciascun campione sono tipici per le acque circolanti su questo tipo di substrato. Di sicuro interesse sono le elevate concentrazioni di Fe e Mn determinate nelle acque di alcuni pozzi sia nella prima che nella terza campagna di campionamento. In particolare, nei campioni d'acqua di pozzo analizzati la concentrazione di Fe è sempre risultata inferiore al limite di rivelabilità (25 µg/L), con l'eccezione dei campioni Pozzo3 (436 µg/L), Pozzo5 (37 µg/L) e Pozzo6 (1893 µg/L) nella prima campagna, e Pozzo3 (706 µg/L), Pozzo4 (93 µg/L) e Pozzo6 (585 µg/L) nella terza campagna. Analogamente a quanto osservato per il Fe, anche per il Mn si hanno le maggiori concentrazioni nei campioni Pozzo3 (1890 µg/L), Pozzo4 (284 µg/L), Pozzo5 (334 µg/L) e Pozzo6 (1063 µg/L) prelevati nella prima campagna, e Pozzo3 (2251 µg/L), Pozzo4 (242 µg/L) e Pozzo6 (922 µg/L) nella terza campagna (**Tabella 19**). Le elevate concentrazioni di Fe e Mn nelle acque dei campioni Pozzo3 e Pozzo6 nella prima e terza campagna potrebbero essere una conseguenza delle condizioni altamente riducenti osservate nelle acque di questi pozzi (Eh III campagna: -108, -119, rispettivamente) (**Tabella 14**), tali da favorire una maggiore solubilizzazione di Fe e Mn.

Tutti i campioni della seconda e quarta campagna mostrano concentrazioni di Fe inferiori al limite di rivelabilità, mentre i tenori di Mn nei campioni Pozzo3, Pozzo4, Pozzo5 e Pozzo6 diminuiscono sensibilmente rispetto ai dati ottenuti nella prima e terza campagna (**Tabella 19**). Le differenze rilevate, ove presenti, sono ascrivibili a una diluizione delle acque dovuta a infiltrazione di acqua meteorica durante la stagione invernale. Tale diluizione ha creato, all'interno dei pozzi campionati, condizioni (principalmente di salinità, ma anche di Eh e pH) che hanno causato una normalizzazione delle concentrazioni di alcuni elementi che durante la prima campagna presentavano, in alcuni pozzi, valori superiori a quelli attesi. La situazione descritta si presenta poiché le acque campionate appartengono a un sistema di piccole falde superficiali, con scarsa circolazione e ricambio fortemente influenzato dall'apporto esterno.

Quattro siti (Pozzo1, Pozzo3, Pozzo4 e Pozzo8) mostrano campioni d'acqua con concentrazioni di poco superiori al limite fissato dal D.Lgs. 152/06 (10 µg/L) per il parametro Selenio. La presenza di tale elemento può essere legata sia ad apporti naturali da rocce che ne sono ricche, sia da input esterni (soprattutto legata all'uso di fertilizzanti), ed è regolata da delicati equilibri legati principalmente alle condizioni di Eh e pH. Allo stato attuale di questo studio non si hanno sufficienti elementi specifici per supportare l'una o l'altra ipotesi: in ogni caso i superamenti del limite di legge sono sempre molto contenuti (max concentrazione rilevata: 17 µg/L) (**Tabella 19**).

La **Tabella 21** riporta le concentrazioni degli elementi in traccia misurate nelle acque campionate nei valloni. In generale, l'analisi dei relativi dati non evidenzia anomalie geochimiche. Unica eccezione è data dal campione di acqua prelevata dal Vallone Poeta nella seconda campagna. Tale campione ha mostrato una concentrazione di Piombo (17 µg/L) maggiore del limite di legge stabilito nel D.Lgs. 152/06 (10 µg/L) per tale elemento. È da notare che tutti gli altri campioni di acque, sia superficiali sia sotterranee, in tutti i siti e in tutte le campagne di campionamento hanno mostrato concentrazioni molto basse e spesso al di sotto dei limiti di rivelabilità. Valori elevati di piombo su questo tipo di substrati geologici sono difficilmente spiegabili con condizioni naturali e piuttosto ascrivibili a qualche apporto accidentale di origine antropica.

### 3.3.2.b. Composti organici

Per le attività di campionamento di tutti i parametri – compresi i composti organici – svolte per ogni sito in ognuna delle quattro campagne effettuate si rimanda al paragrafo “3.1 Campionamento” e alla **Tabella 4a-d**. La **Tabella 22** di seguito riportata mostra invece lo schema di dettaglio dei campionamenti effettuati per la determinazione dei composti organici nelle matrici ambientali di interesse.

<i>Campagna</i>	<i>Campionamento acque</i>			<i>Campionamento stream sediments</i>
	<i>Piezometro</i>	<i>Pozzo</i>	<i>Acqua superficiale</i>	
<b>II</b>	PZ03	Pozzo1	VGmonte	VGmonte
		Pozzo2		
		Pozzo4		
	PZ04	Pozzo5	VGvalle	VGvalle
		Pozzo6		
		Pozzo7		
<b>III</b>	–	Pozzo4	–	–
		Pozzo8		
		Pozzo9		

**Tabella 22.** Schema dei campionamenti effettuati per la determinazione dei composti organici nelle matrici ambientali studiate. PZ: piezometro; VGmonte: Vallone Grande monte; VGvalle: Vallone Grande valle.

Come risulta dalla **Tabella 22** tali campionamenti sono stati accentrati nella seconda e terza campagna. In quest’ultima, in particolare, si è stabilito di prelevare campioni dai pozzi 4, 8 e 9: i pozzi 4 e 8 sono stati campionati perché nelle precedenti campagne avevano mostrato valori di selenio leggermente superiori ai limiti di legge, mentre il pozzo 9 è stato campionato poiché all’atto del campionamento si riscontrava forte odore di zolfo e l’acqua presentava una marcata colorazione verdastra (**Figura 8**).

Lo screening della frazione cromatografabile effettuata in GC/MS sul campione (Pozzo9) non ha evidenziato la presenza di composti organici di rilevanza ambientale, mentre si è rilevata appunto la presenza di zolfo. La colorazione verdastra dell’acqua è dovuta allo sviluppo di microalghe, conseguente alla filtrazione della luce (il boccapozzo è coperto soltanto da una rete metallica) e alla prolungata inattività del pozzo. Il campionamento è stato effettuato al termine di uno spurgo prolungato (durata: 30 minuti).



**Figura 8.** Campione d'acqua, prelevato da Pozzo9 nel corso della terza campagna, destinato allo screening per i composti organici.

A titolo puramente informativo, nel quarto campionamento non si segnalano eventi anomali o degni di nota. Adottando le medesime procedure di spurgo e campionamento già utilizzate nelle campagne precedenti, in questa occasione non è stato rilevato odore di zolfo in nessun campione e l'acqua prelevata dai pozzi è apparsa trasparente e incolore in tutti i campioni.

Relativamente ai risultati, in tutti i campioni analizzati le concentrazioni dei pesticidi in esame sono sempre risultate al di sotto dei limiti di rivelabilità delle metodiche utilizzate.

Le concentrazioni dei COV determinati sono risultate inferiori al limite di rivelabilità della tecnica analitica applicata, permettendo di escludere la presenza di eventuali contaminazioni degli acquiferi.

### **3.4 Analisi dei sedimenti fluviali attivi (*stream sediments*)**

Relativamente ai sedimenti fluviali, si rimanda ai paragrafi 3.1 e 3.2, e alle **Tabelle 4d e 6** per tutte le informazioni relative al campionamento e ai metodi per la determinazione analitica. In sintesi, gli *stream sediments* sono stati campionati nelle prime due campagne. Nella prima campagna sono stati raccolti 5 campioni, 1 per ogni vallone, destinati alla determinazione dei seguenti elementi chimici inorganici: Na, K, Mg, Ca, Fe, Zn, Mn. Nella seconda campagna, in corrispondenza dei due punti di campionamento delle acque superficiali (VGmonte e VGvalle), sono stati prelevati anche 2 campioni di *stream sediments* per la determinazione dei composti organici.

Come già esposto precedentemente, il principio fondamentale su cui si basa la teoria degli *stream sediments* è che tutto il materiale che si accumula nei letti fluviali è rappresentativo del bacino idrografico a monte del punto di campionamento e dà un'efficace indicazione sui valori normali (di fondo naturale) nel bacino degli elementi considerati.

In **Tabella 23** sono riportati i valori di concentrazione di ciascun elemento per ogni campione di sedimento prelevato nella prima campagna. Tali valori sono coerenti con il tipo di materiali geologici presenti nel bacino, che, trasportati dalle acque meteoriche, confluiscono nel letto dei corsi d'acqua. I dati ottenuti servono da utile riferimento per valutare eventuali futuri cambiamenti e/o apporti esterni che dovessero aver luogo.

<i>Sigla campione</i>	<i>Mg (%)</i>	<i>Ca (%)</i>	<i>Na (%)</i>	<i>K (%)</i>	<i>Fe (%)</i>	<i>Mn (mg/kg)</i>	<i>Zn (mg/kg)</i>
VGmonte	0,6	12	0,5	1,3	1,3	706	58
VGmezzo	0,6	10	0,4	1,4	1,6	766	72
VGvalle	0,9	6	0,4	1,7	2,7	990	88
ValPoeta	0,5	11	0,3	1,3	1,6	604	136
ValVailato	0,9	7	0,5	1,7	2,8	863	91

**Tabella 23.** Concentrazione degli elementi analizzati nei sedimenti fluviali. VGmonte: Vallone Grande monte; VGmezzo: Vallone Grande mezzo; VGvalle: Vallone Grande valle; ValPoeta: Vallone Poeta; ValVailato: Vallone Vailato.

I due campioni di *stream sediments* prelevati nella seconda campagna sono stati analizzati con un metodo, messo a punto nel laboratorio di chimica organica dell'ENEA, basato su estrazione con solvente e analisi gascromatografica. Sugli estratti è stata effettuata un'analisi di screening, in grado di determinare in maniera semiquantitativa un largo spettro di composti organici di origine sia antropica sia naturale. Tale screening non ha evidenziato elementi di contaminazione organica da attività antropica.

#### 4. CONCLUSIONI

Come primo elemento emerso da questo studio, le campagne di campionamento e misura delle acque sotterranee effettuate nel territorio di San Giuliano di Puglia hanno evidenziato la presenza di un sistema di piccole falde all'interno di coperture detritiche caratterizzate da elevata capacità di rilascio in acqua per alcuni elementi. I dati geochimici indicano inoltre che le acque possono essere considerate di scarsa qualità essendo inadatte sia per un utilizzo a scopo potabile sia, in alcuni casi, per scopo irriguo (piezometri). Queste considerazioni non si applicano, ovviamente, a eventuali falde più profonde, che non sono state interessate dal campionamento.

Nelle diverse campagne sono state rilevate differenti concentrazioni dei parametri analizzati nelle acque di uno stesso sito, in relazione al periodo in cui è stato effettuato il campionamento. Le differenze osservate sono ascrivibili sia a una diluizione delle acque dovuta all'infiltrazione di acqua piovana durante la stagione invernale (II e IV campagna) sia agli effetti di prolungati periodi di scarsità di precipitazioni sul chimismo delle acque di falda (I e III campagna).

Per quanto riguarda le acque dei pozzi campionati, si osserva che i livelli di concentrazione degli elementi maggiori e degli anioni ricadono entro i valori ritenuti tipici per le acque circolanti su substrati con i caratteri geologici descritti per l'area di studio. Ciò spiega, per esempio, le elevate concentrazioni di solfati misurate in diversi pozzi (in Pozzo3 quasi 2 g/L), ben superiori rispetto al limite di 250 mg/L riportato nella tabella 2, allegato 5, del D.Lgs. 152/06.

Relativamente agli elementi in traccia nei campioni d'acqua di pozzo, i parametri misurati mostrano concentrazioni sempre inferiori ai limiti di legge fissati dal D.Lgs. 152/06 tranne che per Selenio, Ferro e Manganese in alcuni pozzi e in alcune campagne di campionamento. Riguardo al Selenio, la presenza di tale elemento può essere legata sia ad apporti naturali da rocce che ne sono ricche sia da input esterni (soprattutto con l'uso di fertilizzanti), ed è regolata da delicati equilibri legati

principalmente alle condizioni di Eh e pH. Allo stato attuale di questo studio non si hanno sufficienti elementi specifici per supportare l'una o l'altra ipotesi: in ogni caso, i superamenti del limite di legge fissato dal D.Lgs. 152/06 (10 µg/L) sono sempre molto contenuti (max concentrazione misurata: 17 µg/L) e, tranne che per il Pozzo8, sono sporadici.

Elevate concentrazioni di Ferro e Manganese sono state determinate nelle acque di alcuni pozzi nella prima e nella terza campagna di campionamento. In particolare, nei campioni d'acqua di pozzo analizzati nella prima campagna la concentrazione di Fe è sempre risultata inferiore al limite di rivelabilità (25 µg/L), con l'eccezione dei campioni Pozzo3 (436 µg/L), Pozzo5 (37 µg/L) e Pozzo6 (1893 µg/L). Analogamente a quanto osservato per il Fe, anche per il Mn si hanno le maggiori concentrazioni nei campioni Pozzo3 (1890 µg/L), Pozzo4 (284 µg/L), Pozzo5 (334 µg/L) e Pozzo6 (1063 µg/L). Nei campioni d'acqua di pozzo analizzati nella terza campagna, concentrazioni maggiori rispetto a quelle stabilite dal D.Lgs. 152/06 sono state determinate nei campioni Pozzo3 (706 µg/L) e Pozzo6 (585 µg/L) per il Ferro, e Pozzo3 (2251 µg/L), Pozzo4 (242 µg/L), Pozzo6 (922 µg/L) Pozzo7 (205 µg/L) e Pozzo9 (310 µg/L) per il Manganese. Le elevate concentrazioni di Fe e Mn in questi campioni possono essere una conseguenza delle condizioni fortemente riducenti osservate nelle acque di questi pozzi, in corrispondenza della stagione più asciutta, tali da favorire una maggiore solubilizzazione di Fe e Mn. I limiti fissati dal D.Lgs. 152/06 per i parametri Ferro e Manganese in queste acque sono rispettivamente 200 e 50 µg/L.

Con riferimento ai piezometri campionati, considerato lo scarso numero di dati disponibili e la scarsa significatività degli stessi, si è deciso di riportare comunque i risultati di tutte le determinazioni (chimico-fisiche e chimiche) effettuate astenendosi tuttavia da ogni valutazione e analisi di questi ultimi.

La qualità delle acque superficiali (valloni) risulta del tutto in linea con i lineamenti geolitologici dell'area, considerando che il chimismo è strettamente dipendente dall'interazione acqua-roccia. Queste considerazioni, unitamente ai dati emersi dallo studio dei sedimenti fluviali, indicano che, al momento, nell'area indagata del territorio di San Giuliano di Puglia non risultano evidenze di fenomeni di contaminazione delle acque dovute all'attività antropica in quanto i livelli di concentrazione rilevati sono del tutto coerenti con i caratteri geologici dell'area. Questi ultimi, peraltro, conferiscono alle acque caratteristiche tali che non si evidenziano anomalie geochimiche, con l'eccezione del campione d'acqua prelevato dal Vallone Poeta nella seconda campagna. Tale campione ha mostrato una concentrazione di Piombo (17 µg/L) maggiore del limite di legge stabilito nel D.Lgs. 152/06 (10 µg/L) per tale elemento. È da notare che gli altri campioni di acque, sia superficiali sia sotterranee, in tutti i siti hanno mostrato concentrazioni molto basse e spesso al di sotto dei limiti di rivelabilità. Valori elevati di Piombo su questo tipo di substrati geologici sono difficilmente spiegabili con condizioni naturali e piuttosto ascrivibili a qualche apporto accidentale di origine antropica. Ciò è stato indirettamente confermato dai campionamenti successivi, dal momento che la concentrazione di Piombo nei campioni prelevati dallo stesso sito si è riportata a valori molto bassi (0,16 e < 0,10 µg/L).

Infine, l'attività di screening per i composti organici non ha evidenziato alcun tipo di apporto derivante da attività antropiche né nelle acque né nei sedimenti fluviali. In particolare, la colorazione verdastra dell'acqua proveniente dal campione Pozzo9 è dovuta allo sviluppo di microalghe, conseguente alla filtrazione della luce (il boccapozzo è coperto soltanto da una rete metallica) e alla prolungata inattività del pozzo.

Lo studio in oggetto porta a concludere che nell'area investigata non risultano evidenze significative di anomalie geochimiche né di fenomeni di contaminazione delle acque dovute all'attività antropica. È auspicabile un approfondimento tramite un monitoraggio nel tempo per valutare le cause di alcune concentrazioni relativamente elevate di qualche elemento.

## **BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE**

1. AA.VV. – Carta Topografica d'Italia scala 1:50.000, foglio 394. ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE.
2. AA.VV. – Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, foglio 155. SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA.
3. Casnedi R., Crescenti U., Tonna M. (1982). Evoluzione della avanfossa adriatica meridionale nel Plio-Pleistocene, sulla base di dati di sottosuolo. Mem. Soc. Geol. It., 24: 243-260.
4. Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006 - Supplemento Ordinario n. 96.
5. Desiderio G., Rusi S. (2004). Idrogeologia e idrogeochimica delle acque mineralizzate dell'Avanfossa Abruzzese Molisana. Boll. Soc. Geol. It., 123: 373-389.
6. IRSA-CNR Metodi analitici per le acque (5060-Prodotti fitosanitari, 5140-Solventi organici aromatici, 5150-Solventi clorurati).
7. Selli R. (1960). Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia meridionale. Mem. Soc. Geol. It., 3: 737-789.
8. FOREGS GEOCHEMICAL MAPPING FIELD MANUAL (1998). Geological Survey of Finland, Guide 47, ESPOO: 42 pp.

Edito dall'ENEA  
Servizio Promozione e Comunicazione  
Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

*www.enea.it*

Pervenuto il 12.5.2016

Stampato presso il Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati  
Finito di stampare nel mese di maggio 2016