



IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "MONTENERO"

Ottemperanza alla Prescrizione A.10 del MATTM (D.M. 56 del 14/03/2017) Caratterizzazione dello stato chimico-fisico delle Sorgenti eseguito prima dell'inizio lavori dell'impianto (Bianco Indisturbato) Report Conclusivo

Preparato per:
Gesto Italia Srl

Gennaio 2021

Codice Progetto:
P19_GES_037

Revisione: 0



STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Via Ponte a Piglieri, 8
I – 56122 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email : info@steam-group.net

Questo prodotto è stato realizzato nel rispetto delle regole stabilite dal sistema di gestione qualità conforme ai requisiti UNI EN ISO 9001: 2008 valutato da Bureau Veritas Italia S.p.A. e coperto dal certificato n. IT257421.

Gesto Italia Srl

IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "MONTENERO"

Ottemperanza alla Prescrizione A.10 del MATTM

(D.M. 56 del 14/03/2017)

**Caratterizzazione dello stato chimico-fisico delle
Sorgenti eseguito prima dell'inizio lavori
dell'impianto (Bianco Indisturbato)**

Report Conclusivo



Geol. Paolo Basile

Progetto	Rev.	Preparato da	Rivisto da	Approvato da	Data
P19_GES_037	0	TM	LM	PB	8/01/2021

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	METODOLOGIA D'INDAGINE	3
2.1	INDAGINI IN SITU	3
2.2	ANALISI DI LABORATORIO	5
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	7
3.1	POTENZIALE CONNESSIONE TRA L'ACQUIFERO GEOTERMICO E LE FALDE SOVRASTANTI	9
4	CARATTERIZZAZIONE CHIMICO - FISICA DELLE ACQUE SORGIVE	11
4.1	DATI CHIMICO FISICI	11
4.2	STUDIO IDROGEOCHIMICO	12
4.2.1	Classificazione chimica delle acque	14
4.2.2	Analisi dei costituenti minori	16
4.2.3	Studio Isotopico	19
5	CONCLUSIONI	21
6	BIBLIOGRAFIA	22

INTRODUZIONE

Il presente documento è redatto al fine di ottemperare alla prescrizione A.10, presente nel D.M. 56 del 14/03/2017, richieste dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) di concerto con il Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (MiBACT) nell’ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) di competenza Ministeriale del progetto geotermico denominato “Montenero”.

Il progetto in esame consiste nella realizzazione di un impianto geotermoelettrico pilota, con centrale di produzione elettrica a ciclo organico, capace di generare energia elettrica e calore, con assenza di emissioni in atmosfera, sfruttando come fonte di energia primaria fluidi geotermici altamente incrostanti. I fluidi geotermici, una volta utilizzati nell’impianto pilota, verranno totalmente reiniettati nelle formazioni di provenienza.

Le opere principali dell’impianto pilota geotermico, mostrate in *Figura 1a*, ricadono nel territorio della Provincia di Grosseto ed in particolare nel comune di Castel del Piano.

Di seguito si riporta il testo della prescrizione:

- *“A.10) al fine di accertare l’assenza di collegamento fra i due complessi idrogeologici, il Proponente dovrà eseguire il monitoraggio delle sorgenti: Rigaglianti, Sambucaia, Santa Lucia, La Vena, per i parametri chimico fisici incluse le portate e i livelli piezometrici indicati dal Proponente. Il monitoraggio dovrà iniziare 1 anno prima dell’inizio dei lavori e, in assenza di riduzioni delle portate, si concluderà a 5 anni dall’entrata in funzione dell’impianto. I prelievi dovranno essere fatti con frequenza trimestrale sino ad un anno dall’entrata in funzione dell’impianto e poi, sentito il parere favorevole della Regione Toscana i prelievi potranno essere fatti con frequenza semestrale o annuali. I risultati delle analisi dovranno essere trasmessi alla Regione Toscana entro un mese dai prelievi. Un rapporto dovrà essere inviato annualmente al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.”*

In data 16 - 17 Ottobre 2019 è stata effettuato il primo campionamento delle acque delle emergenze sorgentizie, così come comunicato con nota scritta e inviata per mezzo PEC al MATTM in data 21/01/2020. Come da prescrizione sono stati poi effettuati ulteriori campionamenti con una cadenza trimestrale per l’intero anno.

Come comunicato al MATTM nella medesima nota, e ad ARPAT in quanto ente nominato dalla Regione Toscana per la verifica della prescrizione, non è stato possibile effettuare il campionamento della Sorgente “Santa Lucia” in quanto, questa non dava emergenza al troppo pieno come visibile dalla *Figura 1b*.

Figura 1a

Inquadramento delle Opere dell'Impianto Pilota Geotermico "Montenero" su CTR (scala 1:10.000)

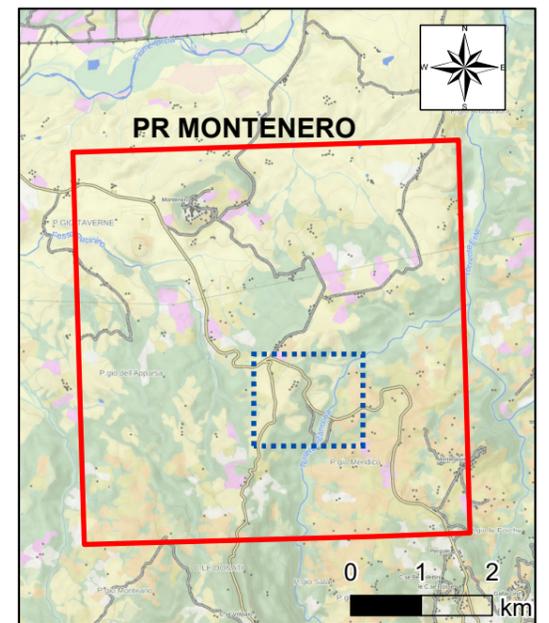
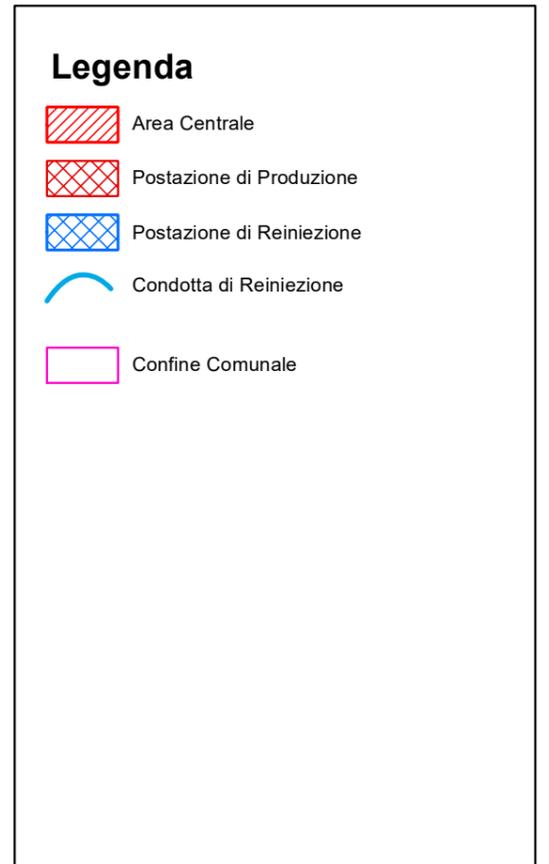
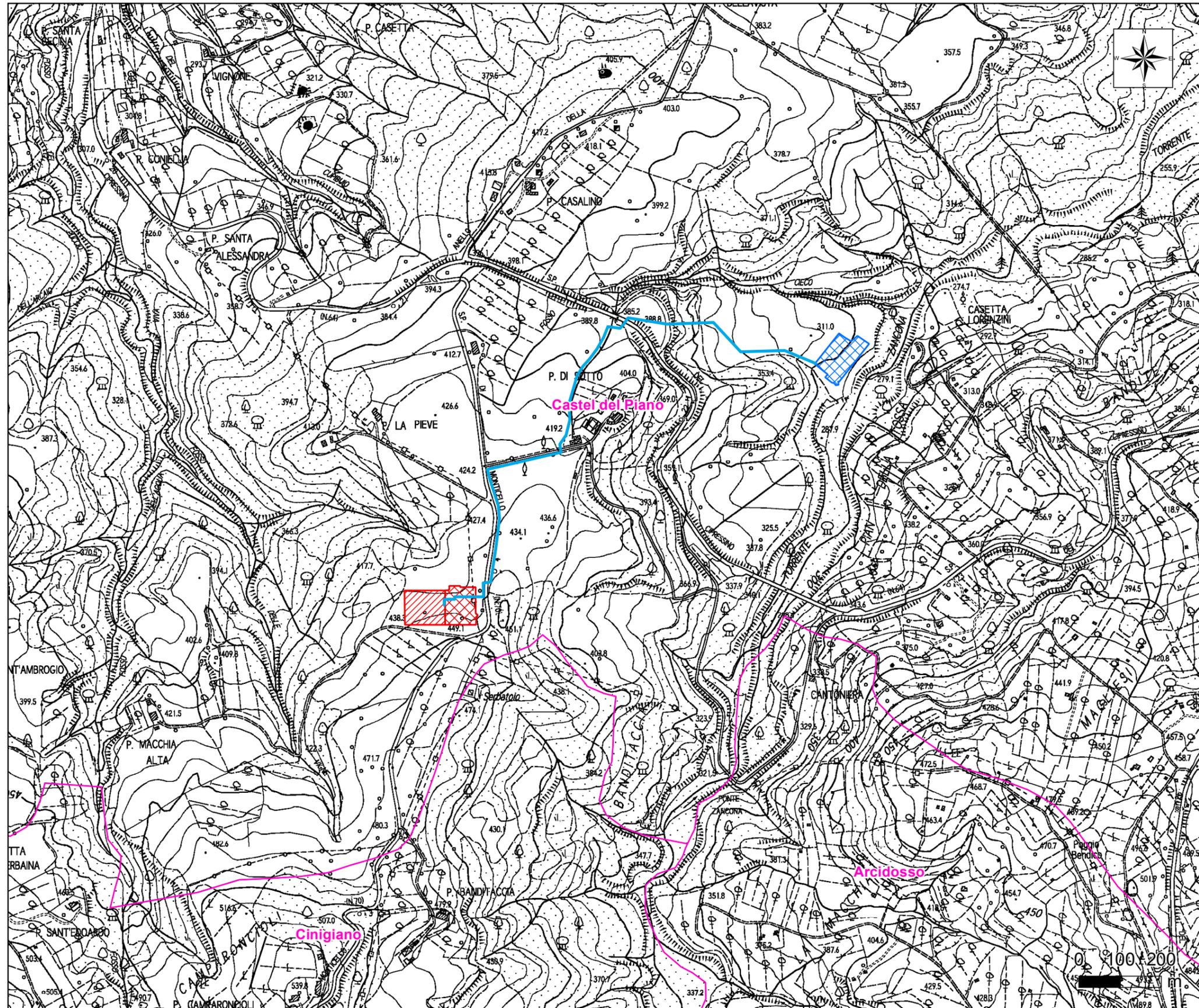


Figura 1b Foto sorgente Santa Lucia al troppo-pieno in data 16/10/2019



La sorgente risulta in concessione di derivazione ad uso agricolo (autorizzata con decreto dirigenziale n. 6359 del 28/12/2015, adozione 10523 del 18/07/2017; proprietà Franci Giorgio). È stato richiesto al titolare della concessione di poter campionare direttamente dal pozzetto di presa, ma il titolare non ha concesso il permesso.

Data quindi l'impossibilità di effettuare il campionamento di tale sorgente è stata effettuata una ricognizione delle sorgenti presenti nell'area ed è stato effettuato in sostituzione il campionamento della Sorgente del Fusaio, la quale è risultata la più prossima al sito di impianto 5,5 km ad Est e risulta in parte captata dall'acquedotto del Fiora.

La presente relazione riporta quindi i risultati di un anno di campionamento "bianco indisturbato" prima dell'inizio dei lavori dell'impianto geotermico.

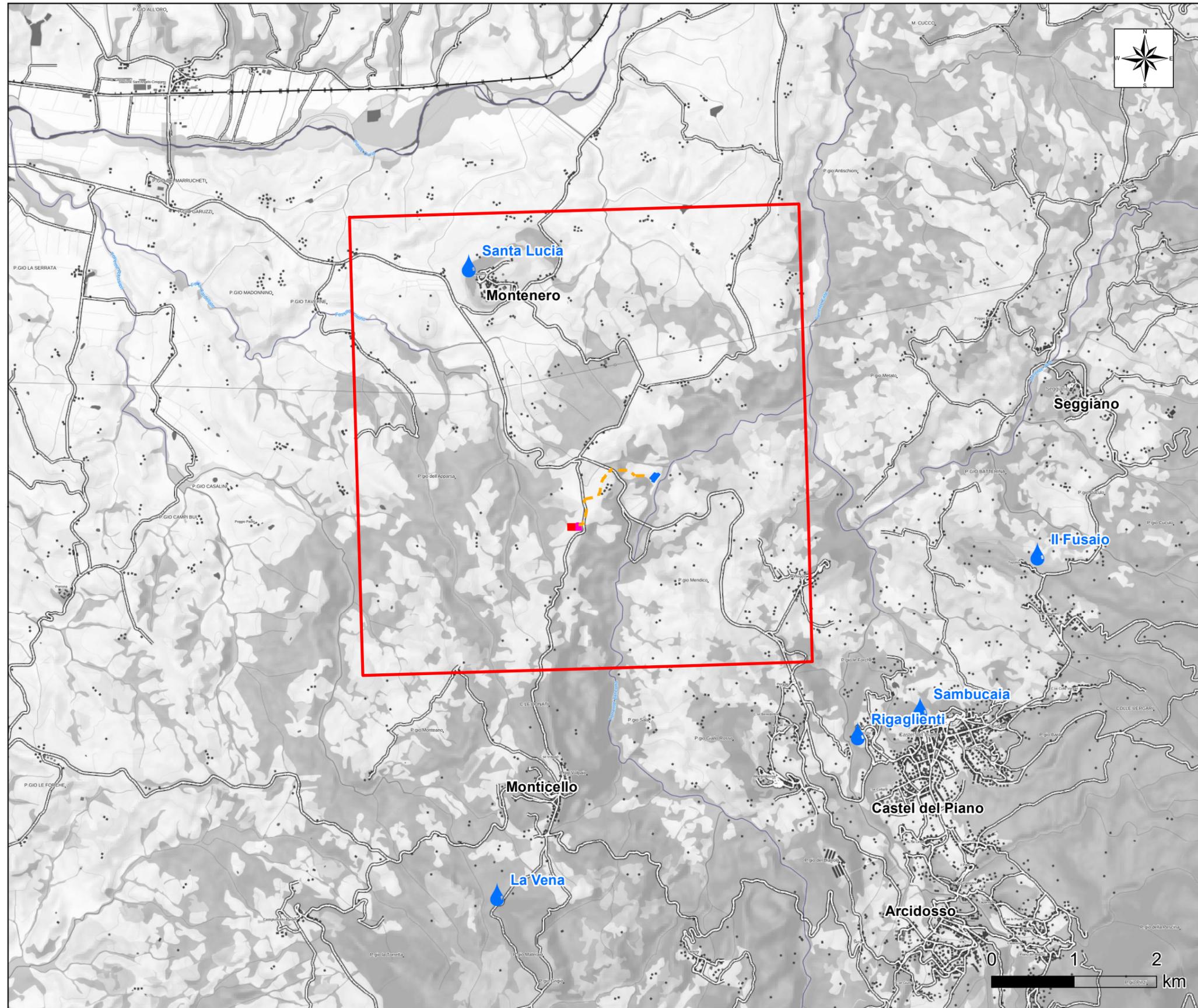
In *Figura 1c* si mostra l'ubicazione delle sorgenti monitorate, mentre le relative coordinate geografiche e la quota sono riportate in *Tabella 1a*

Tabella 1a Coordinate geografiche e quota delle sorgenti campionate.

Nome	Northing (m)	Easting (m)	Quota (m s.l.m.)
Rigaglianti	706191	4751995	540
Sambucaia	706948	4752296	547
Fusaio	701472	4757671	505
La Vena	701817	4750045	750

Figura 1c

Localizzazione delle Sorgenti su Base Topografica (scala 1:50.000)



Legenda

-  Permisso di Ricerca Impianto Pilota "Montenero"
-  Area Centrale
-  Postazione di Produzione
-  Postazione di Reiniezione
-  Condotta di Reiniezione
-  Sorgente

In ottemperanza alle prescrizioni sono state eseguite quindi 4 campagne di campionamento per la durata di un anno: ottobre 2019; febbraio 2020, giugno 2020 e settembre 2020.

Al fine di caratterizzare le acque delle 4 sorgenti sotto il punto di vista chimico e isotopico sono stati eseguiti, durante tutte le campagne effettuate, i rilievi in situ dei parametri chimico fisici delle acque (PFC) e sono stati prelevati campioni di acqua per le successive analisi di laboratorio. Le misure effettuate e le metodologie adottate sono meglio descritte ai successivi paragrafi.

2.1

INDAGINI IN SITU

Durante le campagne sono state effettuate direttamente in situ la determinazione delle portate sorgive e dei seguenti parametri chimico fisici (PFC):

- temperatura (°C);
- pH (unità pH);
- conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- ossigeno disciolto (mg/l).

La misura di portata è stata effettuata mediante il metodo volumetrico con l'utilizzo di un recipiente graduato a volume noto (*Figura 2.1a*) e di un cronometro.

Figura 2.1a Misura di Portata



I PFC sono stati invece determinati attraverso l'utilizzo di un'apposita sonda multiparametrica Hydrolab mod. Quanta (*Figura 2.1b*).

Figura 2.1b *Misura dei Parametri Fisico chimici attraverso l'utilizzo di sonda multiparametrica*



Durante le 4 campagne è stato effettuato anche il campionamento dei 4 punti d'acqua sorgiva, attraverso il prelievo di diverse aliquote di acqua, per l'esecuzione delle successive analisi di laboratorio.

Nel dettaglio sono state prelevate le seguenti aliquote (*Figura 2.1c*):

- 1 aliquota tal quale (TQ) in bottiglia di polietilene ad alta densità (HDPE) da 500 ml per la determinazione degli anioni;
- 1 aliquota TQ in bottiglia di HDPE da 250 ml per la determinazione della composizione isotopica dell'acqua (rapporti isotopici $^2\text{H}/^1\text{H}$ e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$);
- 1 aliquota filtrata con filtro 0,45 μm e acidificata con HNO_3 in bottiglia di HDPE da 500 ml per la determinazione dei cationi.

Figura 2.1c Aliquote d'acqua per le successive analisi di laboratorio

Su ogni contenitore sono stati poi riportati: la data del campionamento, la sigla del punto d'acqua campionato e le diciture TQ, per indicare un campione tal quale (senza nessun tipo di trattamento), o F, per indicare un campione filtrato (0,45 μm) e acidificato.

Al fine di evitare la possibile contaminazione del campione, sono state utilizzate bottiglie nuove opportunamente avvindate, ossia "sciacquate" tre volte con la stessa acqua delle sorgenti.

Nell'*Allegato 1* al presente documento si riportano le schede di campionamento.

2.2

ANALISI DI LABORATORIO

Sui campioni di acqua prelevati al fine di una loro caratterizzazione idrogeochimica sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- analisi chimiche: per la determinazione delle concentrazioni dei costituenti chimici maggiori (Ca, Mg, Na, K, alcalinità (praticamente uguale a HCO_3), Cl, SO_4) e minori o in traccia (SiO_2 , NO_3 , NH_4 , B, As, Sb, Hg) quali "traccianti" del fluido geotermico;
- analisi isotopiche per la determinazione dei valori di $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$.

Fra i parametri chimici analizzati, i costituenti maggiori e la SiO₂ vengono normalmente considerati markers geochimici utili per classificare le acque analizzate ed identificare i processi di interazione acqua/roccia. In questo caso specifico, essi possono anche essere usati per segnalare eventuali fenomeni di interazione tra le falde superficiali ed il fluido geotermico, considerate le loro differenti caratteristiche fisico - chimiche.

Le analisi sono state effettuate nei seguenti laboratori certificati:

- Iren Lab, laboratorio di La Spezia, per le analisi chimiche;
- Istituto di Geoscienze e Georisorse – CNR di Pisa per le analisi isotopiche.

Nella seguente tabella si riporta il metodo analitico utilizzato per la determinazione delle specie chimiche.

Tabella 2.2a *Metodi analitici utilizzati per la determinazione delle specie chimiche*

Parametri	Metodo
Solfati	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003
Nitrati	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003
Cloruri	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003
Potassio	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Sodio	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Magnesio	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Calcio	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Alcalinità Totale	APAT CNR IRSA 2010A Man 29 2003
Ammonio	APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003
Silice	UNI -EN ISO 11885:2009
Mercurio	UNI EN ISO 17294-2:2016
Boro	UNI EN ISO 17294-2:2016
Arsenico	UNI EN ISO 17294-2:2016
Antimonio	UNI EN ISO 17294-2:2016

INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

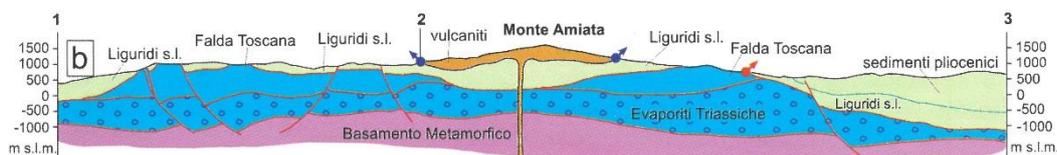
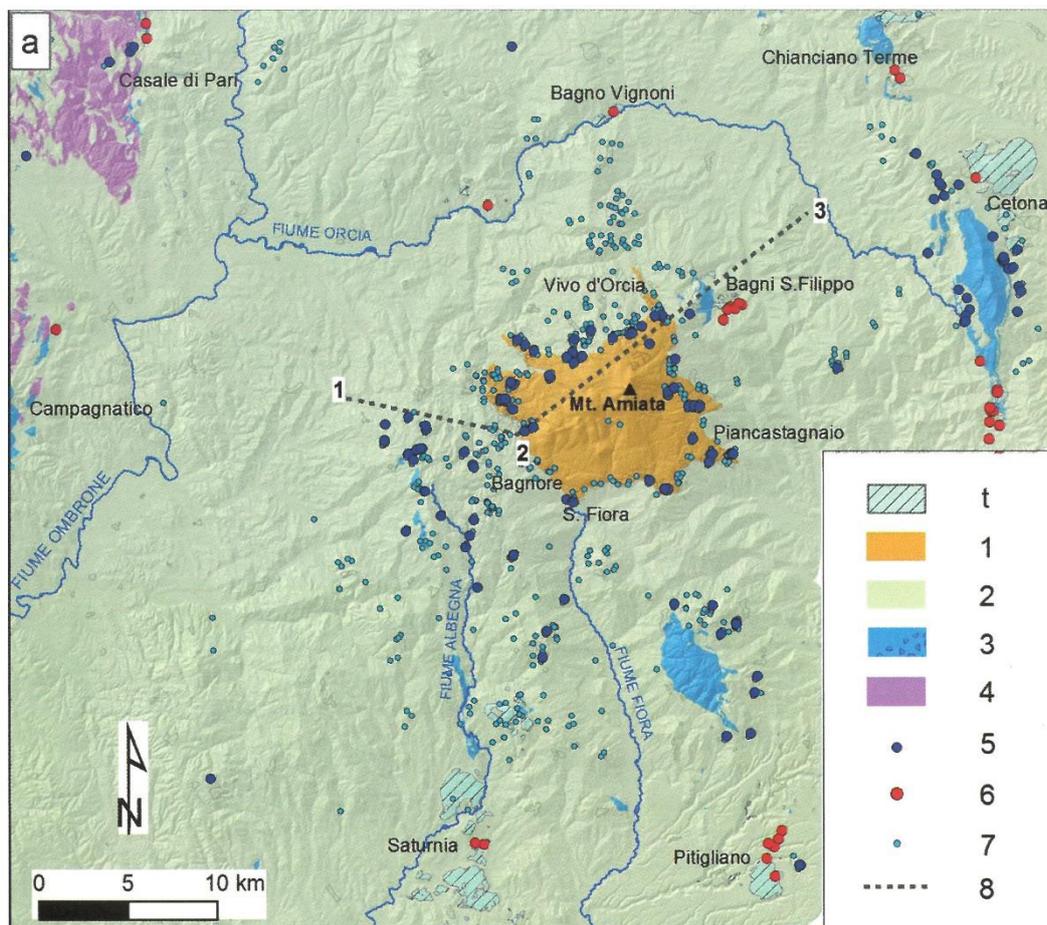
L'area interessata dall'impianto pilota geotermico "Montenero" è situata a circa 10 km a Nord Ovest dal campo geotermico di Bagnore, compreso nella omonima Concessione di Coltivazione.

Dal punto di vista idrogeologico, nell'area amiatina possono essere riconosciute quattro unità idrogeologiche distinte (dall'alto verso il basso):

- L'acquifero delle vulcaniti amiatine, sede di importanti risorse idriche drenate per lo più da sorgenti di contatto fra le vulcaniti ed i terreni impermeabili sottostanti. Tali sorgenti sono localizzate alla periferia dell'apparato vulcanico.
- Una successione a prevalente componente argillitica ed argillosa, caratterizzata da una scarsa permeabilità e da una circolazione idrica limitata (Doveri e Mussi, 2014). Questa successione comprende le Liguridi, i depositi neogenici e la parte alta della Falda Toscana (Scaglia e Macigno). Queste formazioni, a scala regionale, rappresentano la copertura a bassa permeabilità del serbatoio carbonatico sottostante.
- Una successione carbonatico – evaporitica che rappresenta il primo acquifero (serbatoio) geotermico.
- Un basamento metamorfico prevalentemente filladico e nell'insieme di scarsa permeabilità. Localmente sono stati però riscontrati livelli fratturati sede di circolazione idrotermale, rappresentativi del secondo serbatoio geotermico.

In *Figura 3a*, si riporta la carta idrogeologica del Monte Amiata ed una sezione idrogeologica passante per l'apparato vulcanico (Doveri M. & Menichini M., 2017) dove con **t** = depositi di travertino, **1** = acquifero delle vulcaniti del Monte Amiata, **2** = substrato dell'acquifero del Monte Amiata e copertura del serbatoio carbonatico – evaporitico, **3** = serbatoio carbonatico – evaporitico, **4** = substrato metamorfico, **5** = sorgenti idropotabili, **6** = sorgenti termali, **7** = altre sorgenti fredde e **8** = traccia di sezione.

Figura 3a Carta Idrogeologica della regione Amiatina e sezione idrogeologica passante per l'apparato vulcanico (Doveri M. & Menichini M., 2017) Legenda: t – travertini, 1 – acquifero delle vulcaniti del Monte Amiata, 2 – substrato dell'acquifero del Monte Amiata e copertura del serbatoio carbonatico-evaporitico della Serie Toscana, 3 – Serbatoio carbonatico-evaporitico, 4 - substrato metamorfico, 5 – sorgenti idropotabili, 6 – sorgenti termali, 7 – altre sorgenti, 8 – traccia di sezione.



L'acquifero del Monte Amiata rappresenta uno dei più importanti corpi idrici sotterranei della Toscana. L'acquifero è drenato da oltre 150 sorgenti (Barazzuoli et al., 1994), le quali sono in gran parte captate per uso idropotabile.

Come visibile dalla *Figura 3a*, la maggior parte delle emergenze si collocano lungo il bordo delle vulcaniti, ossia al contatto fra le vulcaniti stesse ed il substrato impermeabile.

Le sorgenti con portate maggiori si trovano in prossimità dell'abitato di Santa Fiora con portate in media oltre i 700 l/s (Dini et al., 2010; Doveri et al., 2012). Tale

condizione è legata all'andamento morfologico del tetto del substrato impermeabile rappresentato prevalentemente dalle argilliti delle Unità Liguri. Il substrato presenta infatti una generale immersione verso i quadranti meridionali dell'apparato vulcanico, favorendo così il drenaggio preferenziale delle acque verso Sud.

Nell'ambito del progetto dell'Impianto Pilota Geotermico "Montenero" è stato effettuato un censimento dei punti d'acqua (sorgenti e pozzi) presenti nel raggio di 5 km dal punto previsto per la realizzazione della postazione di produzione (*Allegato 4 – Modello Idrogeologico* al documento di risposte alle richieste di integrazione).

In tutto sono state censite 19 sorgenti di cui 11 collegate all'acquifero delle vulcaniti amiatine, ed altre 8 collegabili ad affioramenti di estensione ridotta di Arenaria della Formazione della Pietraforte e conglomerati poligenici messiniani, di deposizione lacustre post-evaporitica.

Nel dettaglio, le 11 sorgenti censite collegabili con l'acquifero delle vulcaniti amiatine, sono concentrate sulla lingua di vulcaniti (riferibili alla Formazione di Quaranta) che scende dalla Vetta Amiatina in direzione NW, a valle del centro abitato di Castel del Piano. Queste sono tutte sorgenti perenni con portate variabili fino ad un massimo di 5 l/sec.

Le altre 8 sorgenti sono invece collegabili ad acquiferi di limitata estensione ed importanza legati ad affioramenti arealmente discontinui di: (1) arenarie cretache (Formazione della Pietraforte), poggianti sul complesso delle formazioni argillitiche liguridi in facies di flysch, e (2) conglomerati lacustri argilloso – limosi messiniani.

Nello specifico, delle quattro sorgenti monitorate, tre drenano l'acquifero delle vulcaniti (Rigaglianti, Sambucaia e il Fusaio), mentre una (La Vena) è collegata al sistema acquifero presente all'interno delle arenarie cretache della Formazione della Pietraforte. In *Figura 3b* e *3c* si riporta un estratto della carta geologica dal continuum geologico della Regione Toscana.

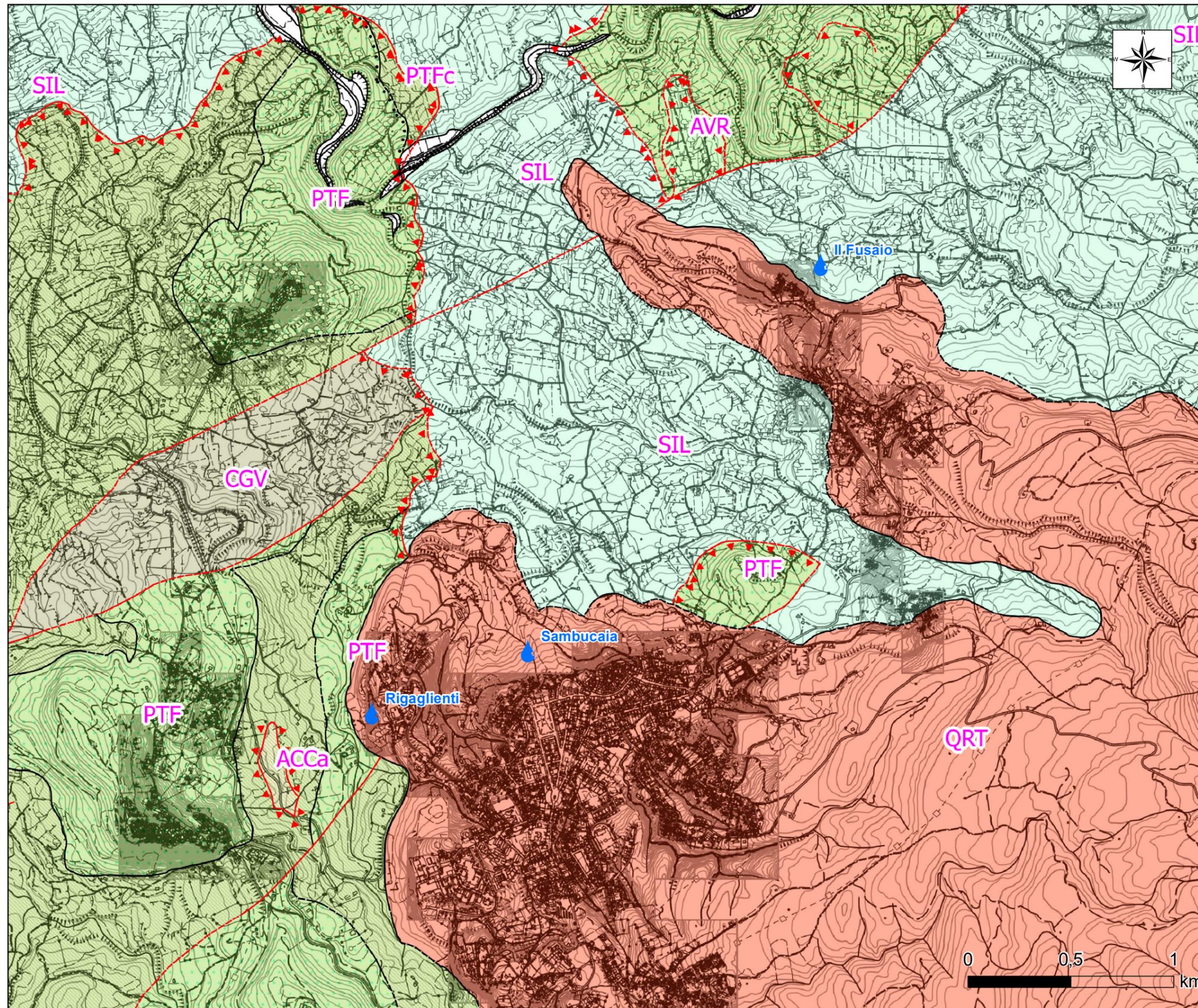
3.1

POTENZIALE CONNESSIONE TRA L'ACQUIFERO GEOTERMICO E LE FALDE SOVRASTANTI

Si premette che l'esercizio dell'Impianto Pilota Geotermico "Montenero" e, nello specifico, la produzione e reiniezione dei fluidi geotermici non avranno alcun effetto sulle falde idriche superficiali e poco profonde. Infatti, in prossimità delle aree interessate dal progetto, non sono presenti corpi acquiferi superficiali e poco profondi, data la natura argillitica dei terreni ivi affioranti e che rappresentano la copertura del serbatoio geotermico.

Inoltre, la falda idrica del sistema vulcanico del Monte Amiata non è presente nell'area di progetto.

I collegamenti tra l'acquifero amiatino ed il serbatoio geotermico sono oggetto di complesse ed annose discussioni in ambito accademico, politico e sociale; sull'argomento vi è stato anche un pronunciamento del TAR, che ha giudicato

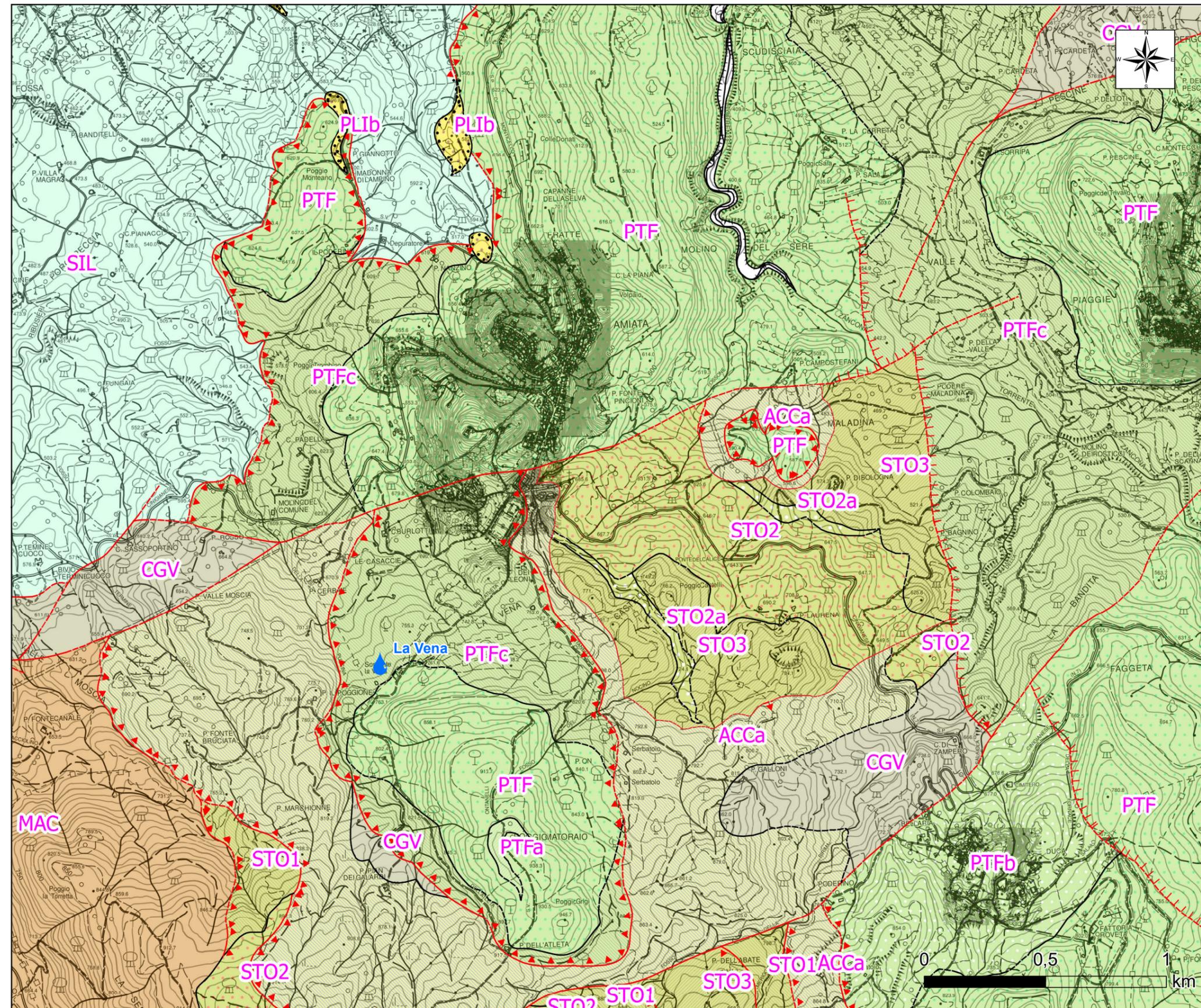


Legenda

-  Sorgente
- Geologia**
- Depositi Quaternari**
-  b - Depositi Alluvionali Attuali (Ghiaie, Sabbie e Limi dei Letti Fluviali Attuali) (Olocene)
- Dominio Ligure Esterno**
- Unità di Santa Fiora**
-  SIL - Formazione di Sillano - S. Fiora Argilliti grigio-brune e calcilutiti (Cretacico superiore - Paleocene)
-  PTF - Pietraforte Arenarie e Siltiti quarzoso-felspatiche e carbonatiche Siltiti e Argillitici (PTFc) (Cretacico superiore)
-  AVR - Argille Varicolori Argille varicolori con calcari (Cretacico)
- Dominio Sub Ligure**
-  CGV - Calcarei di Groppo del Vescovo Torbiditi calcarenitiche di colore grigio chiaro (Eocene)
-  ACCa - Argille e Calcari di Canetolo Alternanza di argilliti, silti e calcari micrici, in strati da sottili a spessi (Paleocene - Eocene)
- Rocce Magmatiche ed Epiclastiche**
-  QRT - Formazione di Quaranta (Pleistocene)
-  Contatto Stratigrafico
-  Faglia
-  Sovrascorrimento principale

Figura 3c

Estratto Carta Geologica da Continuum Geologico della Regione Toscana



Legenda

-  Sorgente
- Geologia**
- Depositi Quaternari**
 -  b - Depositi Alluvionali Attuali (Ghiaie, Sabbie e Limi dei Letti Fluviali Attuali) (Olocene)
- Depositi Marini Pliocenici**
 -  PLIb - Conglomerati marini poligenici (Zancaleo - Piacenziano)
- Dominio Ligure Esterno**
- Unità di Santa Fiora**
 -  SIL - Formazione di Sillano - S.Fiora Argilliti grigio-brune e calciliti (Cretacico superiore - Paleocene)
 -  a c Arenarie e Siltiti quarzoso-felspatiche e carbonatiche Siltiti e Argilliti (PTFc) Ruditi (PTFa) (Cretacico superiore)
- Dominio Sub Ligure**
 -  CGV - Calcari di Groppo del Vescovo Torbiditi calcarenitiche di colore grigio chiaro (Eocene)
 -  ACCa - Argille e Calcari di Canetolo Alternanza di argilliti, silti e calcari micrici, in strati da sottili a spessi (Paleocene - Eocene)
- Falda Toscana**
 -  MAC - Macigno Arenarie quarzoso-felspatico-micacee gradate (Oligocene Superiore - Miocene Inferiore)
 -  STO - Scaglia Toscana Calcareniti a nummuliti (STO3) Litofacies calcarenitica (STO2a) Membro delle Marne del Sugame (STO2) Membro delle Argilliti di Brolio (STO1) (Cretacico Inferiore - Paleogene)
-  Contatto Stratigrafico
-  Faglia
-  Sovrascorrimento principale

infondato un asserito collegamento idraulico tra l'acquifero ospitato entro le vulcaniti del Monte Amiata ed i serbatoi geotermici che si sviluppano sia entro rocce carbonatico-evaporitiche sia, a maggiori profondità, entro il complesso metamorfico.

Si rimarca che gli asseriti collegamenti tra l'acquifero delle vulcaniti amiatine ed i serbatoi geotermici sono state oggetto di complesse valutazioni tecniche, scientifiche e legali e che in questa sede sono state riportate le conclusioni raggiunte negli studi eseguiti; il proponente può solo correttamente sintetizzare i risultati delle Autorità scientifiche preposte (Università, Regione Toscana ed enti di indirizzo e di controllo).

La non interazione tra gli acquiferi profondi e quello superficiale ospitato nelle vulcaniti è confermata anche dallo Studio Geostrutturale, Idrogeologico e Geochimico Ambientale dell'Area Amiatina eseguito dall'Università di Siena nel 2008 su incarico della Regione Toscana. Infatti, i bilanci idrici dell'acquifero amiatino hanno evidenziato una sostanziale parità tra l'infiltrazione delle acque meteoriche ed il deflusso sotterraneo attraverso le sorgenti che bordano il contatto geologico/idrogeologico vulcaniti-flysch. Nello studio viene affermato, inoltre, che "la diminuzione delle portate delle sorgenti amiatine è in stretta correlazione con la naturale diminuzione degli apporti di ricarica meteorica per infiltrazione".

PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
 P19_GES_037	GESTO ITALIA SRL: IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "MONTENERO" OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE A.10 DEL MATTM (D.M. 56 DEL 14/03/2017)	0	10

Nella seguente tabella vengono riportati i valori dei parametri fisico chimici e delle portate (l/s), misurati durante le 4 campagne di indagine per tutte le sorgenti monitorate.

Tabella 4.1a Parametri chimico fisici e valori di portata (- = non misurato)

Sorgente	Data	Portata (l/s)	T (°C)	pH	Conducibilità elettrica (µS/cm)	Alcalinità (meq/l)	O ₂ disciolto (mg/L)
Rigaglienti	ott-19	0,7	14,9	7,09	142	1,73	5,46
	feb-20	0,38	14,6	7,40	141	1,06	5,52
	giu-20	0,36	15,0	7,40	143	0,90	-
	set-20	0,32	15,2	7,37	141	1,03	-
Sambucaia	ott-19	2,0	12,7	6,93	160	1,08	6,00
	feb-20	2,0	12,5	7,47	167	1,22	6,09
	giu-20	2,0	12,9	6,87	170	1,01	-
	set-20	1,93	12,9	6,88	163	1,15	-
La Vena	ott-19	0,03	11,0	7,46	232	1,73	6,94
	feb-20	0,03	10,8	7,65	261	2,26	6,52
	giu-20	0,03	11,5	7,49	257	2,06	-
	set-20	<0,01	12,4	7,57	257	2,19	-
Fusaio	ott-19	0,2	13,0	7,23	125	0,70	6,25
	feb-20	0,14	11,7	7,48	124	0,85	6,83
	giu-20	0,32	13,3	7,28	127	0,67	-
	set-20	0,22	13,1	7,17	130	0,86	-

Dalla tabella si può osservare che non si riscontra una marcata variabilità stagionale dei parametri misurati, che sono rimasti pressoché costanti durante tutte le campagne, con alcune limitate eccezioni.

Si può invece osservare la marcata differenza di conducibilità elettrica tra le 3 sorgenti alimentate dall'acquifero delle vulcaniti amiatine e la sorgente La Vena, collegata invece all'acquifero ospitato all'interno della formazione della Pietraforte.

I differenti valori della conducibilità elettrica sono dovuti ai differenti litotipi con cui interagiscono le acque, alla differente tipologia dei circuiti idrici ed al diverso tempo di permanenza negli acquiferi.

Preme inoltre precisare che le portate sono state misurate allo scarico del troppo pieno. Tutte le sorgenti risultano infatti captate, ed in particolare la sorgente La Vena e il Fusaio sono captate mediante bottino di presa da parte dell'acquedotto del Fiora, mentre le restanti due Rigaglienti e Sambucaia risultano captate per uso privato dai proprietari dei terreni dove si ha l'emergenza (si vede l'*Allegato 1* al

presente documento – Schede Prelievo). In riferimento a quest'ultime si precisa inoltre che si tratta di un gruppo di sorgenti e non di una singola venuta d'acqua.

Per quanto ciò premesso, risulta evidente che le portate misurate risultino influenzate dalle captazioni in essere.

Infine, si segnala che durante la campagna di settembre 2020, la sorgente La Vena presentava una portata molto ridotta al troppo pieno. Tale riduzione della portata può essere legata ad aumento della portata captata da parte dell'acquedotto o dovuta all'intasamento del tubo di scarico del troppo pieno, dato che comunque era possibile percepire la presenza di abbondante acqua all'interno del bottino di presa.

4.2

STUDIO IDROGEOCHIMICO

Lo studio idrogeochimico è stato condotto per caratterizzare dal punto di vista chimico – isotopico le acque delle 4 sorgenti in esame.

Nella *Tabella 4.2a* sono riportati per ogni punto d'acqua campionato i risultati delle analisi chimiche e isotopiche distinti per le 4 campagne. All'*Allegato 2* sono riportati i rapporti di prova dei due laboratori utilizzati per le analisi dei campioni d'acqua.

Da una prima analisi dei dati riportati in *Tabella 4.2a* si può osservare come le sorgenti che drenano l'acquifero delle vulcaniti presentino un contenuto in alcali (sodio e potassio) più elevato rispetto alla sorgente La Vena, che drena invece l'acquifero sedimentario all'interno della Formazione della Pietraforte.

Si osserva inoltre che le acque delle prime tre sorgenti presentano un contenuto in silice, boro ed arsenico molto più elevato rispetto alla sorgente La Vena. Quest'ultima è invece più ricca di calcio, magnesio e bicarbonati.

Tabella 4.2a Risultati Analisi di Laboratorio

Nome campione	Codice	data	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Cl (ppm)	NO ₃ (ppm)	SO ₄ (ppm)	HCO ₃ (ppm)	NH ₄ (ppb)	B (ppb)	As (ppb)	SiO ₂ (ppm)	Hg (ppb)	Sb (ppb)	d18O ‰ vs. VSMOW	d2H ‰ vs. VSMOW
Rigaglianti	RG-1	16/10/19	10,60	3,10	9,40	4,10	9,50	1,50	6,00	57,97	<0.1	60,00	9,24	56,2	<0.01	<0.05	-8,04	-49,57
Rigaglianti	RG-1	13/02/20	13,70	4,20	9,40	4,80	9,50	1,60	6,00	64,68	0,80	90,00	9,00	59	<0.1	<0.2	-8,02	-49,30
Rigaglianti	RG-1	19/06/20	11,00	3,50	8,50	4,20	9,50	3,00	6,20	54,70	<0.05	70,00	9,00	62,0	<0.2	0,22	-8,02	-49,00
Rigaglianti	RG-1	15/09/20	11,70	3,90	8,60	4,60	9,70	3,20	7,00	62,80	<0.1	69,00	9,00	57,6	<0.2	0,23	-7,95	-49,41
Sambucaia	SM-1	16/10/19	13,10	3,10	10,50	5,20	11,10	5,30	5,00	65,90	<0.1	50,00	6,30	54,5	<0.01	<0.05	-8,24	-51,03
Sambucaia	SM-1	13/02/20	15,60	4,00	9,80	5,80	11,50	4,80	6,00	74,44	1,00	90,00	6,80	55,5	<0.1	<0.2	-8,18	-50,80
Sambucaia	SM-1	19/06/20	14,00	3,60	10,00	5,40	11,40	5,80	5,50	61,90	<0.05	70,00	6,40	55,8	<0.2	<0.2	-8,16	-50,50
Sambucaia	SM-1	15/09/20	14,30	3,90	9,40	5,50	11,30	6,20	5,40	70,20	<0.1	70,00	6,00	55,5	<0.2	<0.2	-8,11	-50,82
Fusaio	FS-1	16/10/19	9,40	1,70	10,10	4,00	11,70	1,20	6,00	42,71	<0.1	40,00	3,90	55,4	<0.01	<0.05	-8,17	-50,97
Fusaio	FS-1	13/02/20	11,30	2,30	9,30	4,30	11,80	0,70	6,00	51,87	0,20	80,00	4,50	53,8	<0.1	<0.2	-8,07	-49,60
Fusaio	FS-1	19/06/20	9,10	1,75	9,00	4,00	11,10	1,23	5,60	41,10	<0.05	60,00	4,60	56,5	<0.2	<0.2	-8,08	-49,90
Fusaio	FS-1	15/09/20	10,80	2,30	9,30	4,40	11,80	1,60	6,00	52,50	<0.1	66,00	4,00	56,2	<0.2	<0.2	-8,10	-51,15
La Vena	LV-1	16/10/19	25,20	7,60	8,30	1,70	13,00	2,40	4,00	105,56	<0.1	10,00*	2,00	23,2	<0.01	<0.05	-8,44	-52,60
La Vena	LV-1	13/02/20	31,40	10,50	8,00	1,60	14,60	2,70	5,00	137,90	<0.1	31,00	1,90	21,8	<0.1	<0.2	-8,35	-52,00
La Vena	LV-1	19/06/20	29,00	9,00	7,50	1,40	13,00	3,00	5,00	126,00	<0.05	28,00	1,70	21,8	<0.2	<0.2	-8,21	-50,90
La Vena	LV-1	15/09/20	29,60	10,00	7,80	1,80	14,10	3,20	5,00	133,60	<0.1	26,00	1,90	23,1	<0.2	<0.2	-8,13	-51,20

* Valore anomalo, probabile errore analitico

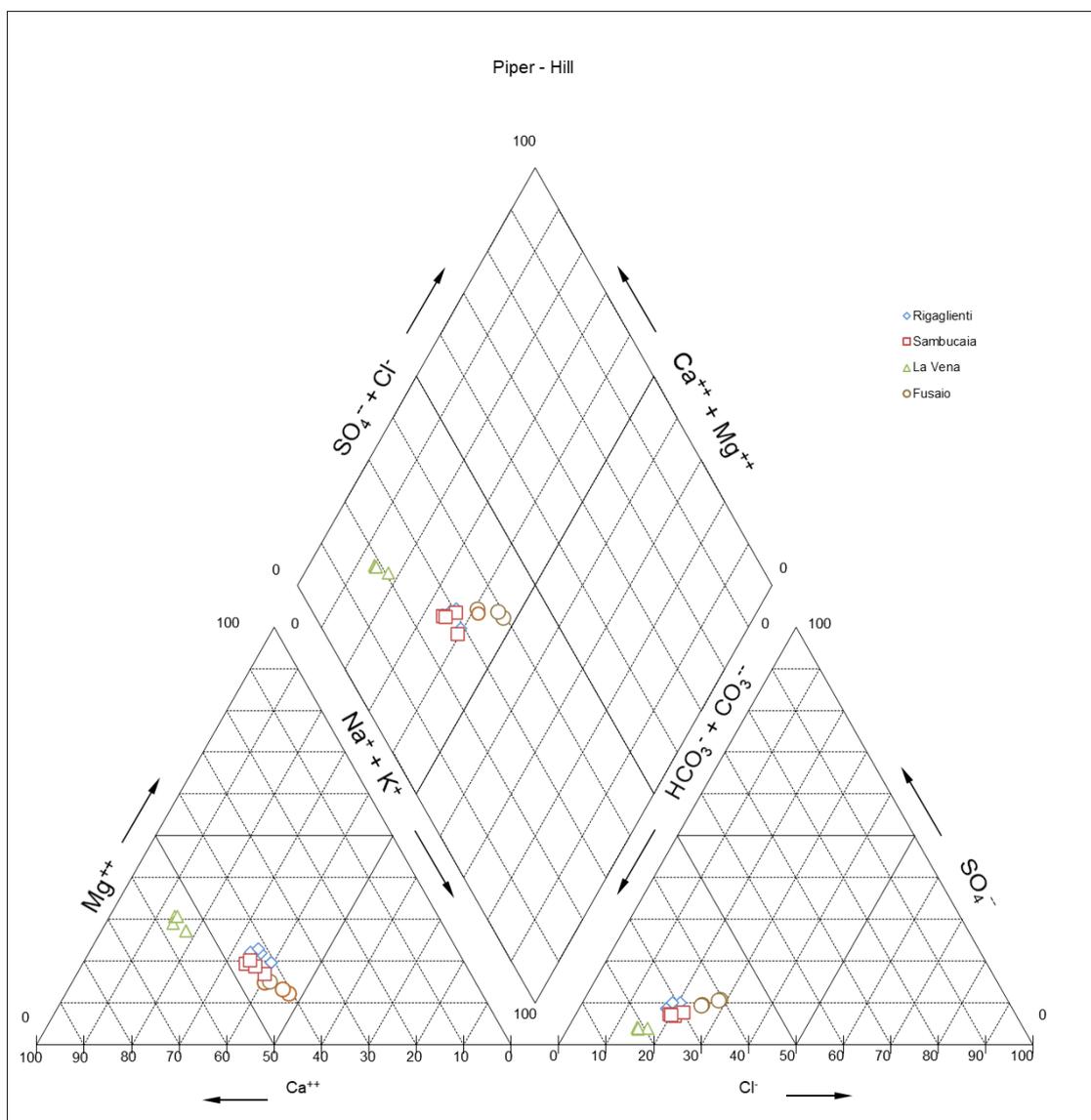
4.2.1

Classificazione chimica delle acque

Per la classificazione delle acque è stato utilizzato il diagramma di Hill (1940) - Piper (1944), riportato in *Figura 4.2.1a*.

Per completezza è stato anche elaborato il diagramma di Langelier-Ludwig (1942) (LL) che utilizza anch'esso le concentrazioni relative delle specie ioniche principali, calcolate a partire dalle concentrazioni assolute (riferite ad 1 kg di acqua) in unità equivalenti. Nel dettaglio è stato utilizzato il diagramma di LL con il bicarbonato come anione separato (*Figura 4.2.1b*).

Figura 4.2.1a *Diagramma di Hill - Piper*



Da un punto di vista chimico, tutte le acque analizzate appartengono al tipo chimico bicarbonato alcalino terroso, come visibile nel diagramma. Sono tuttavia evidenti alcune differenze tra le sorgenti che drenano l'acquifero delle vulcaniti, che

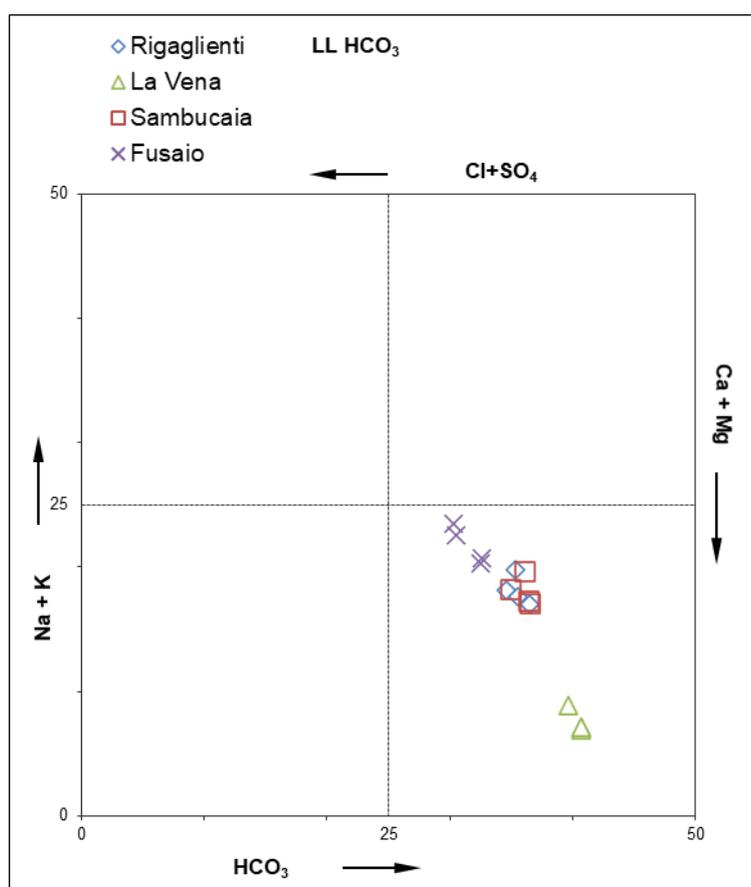
costituiscono un unico gruppo, e la sorgente che drena l'acquifero sedimentario, che è posizionata separatamente da tale gruppo.

In particolare, si osserva come la sorgente La Vena è più arricchita nella componente calcico-magnesiaca rispetto alle sorgenti delle vulcaniti che risultano più arricchite nella componente sodico-potassica.

L'arricchimento in alcali delle acque provenienti dalle vulcaniti è stato riscontrato anche in studi precedenti (Froncini et al., 2009; Doveri et al., 2012; Lelli, 2017) ed è tipico delle sorgenti situate lungo il margine dell'apparto vulcanico, al contatto con le formazioni impermeabili sottostanti a dominanza argillosa (Unità delle Liguridi). Queste acque rappresentano il prodotto della dissoluzione delle vulcaniti governata dalla conversione dell'acido carbonico disciolto in ione bicarbonato (Gambardella et al., 2005; Pierotti et al., 2016).

Anche in *Figura 4.2.1b*, dove è riportato il diagramma quadrato di Langelier e Ludwig si può osservare come le acque delle vulcaniti risultino più arricchite in sodio e potassio rispetto ai campioni provenienti dall'acquifero sedimentario, che sono invece arricchiti in calcio e magnesio.

Figura 4.2.1b *Diagramma di Langelier e Ludwig*



4.2.2

Analisi dei costituenti minori

Come specificato più sopra, i costituenti minori analizzati sono As, B, Hg, NH₄, NO₃, Sb e SiO₂, le cui concentrazioni misurate sono riportate in *Tabella 4.2a*.

Come osservabile in tabella le concentrazioni di Hg, NH₄ e Sb sono inferiori al limite di rilevabilità per tutti i campioni o per la maggior parte di essi. Comunque, le concentrazioni superiori al limite di rilevabilità non si allontanano significativamente da esso. Il basso contenuto di Hg e Sb nelle acque in esame è correlabile al basso contenuto di questi due elementi nei suoli che si sviluppano sia sulle vulcaniti sia sulle rocce sedimentarie clastiche del substrato, come osservato nello studio dell'Università di Siena (2008).

In tutti i campioni è possibile osservare inoltre bassi contenuti di NO₃ che testimoniano sostanzialmente l'assenza di contaminazione antropica per le acque campionate.

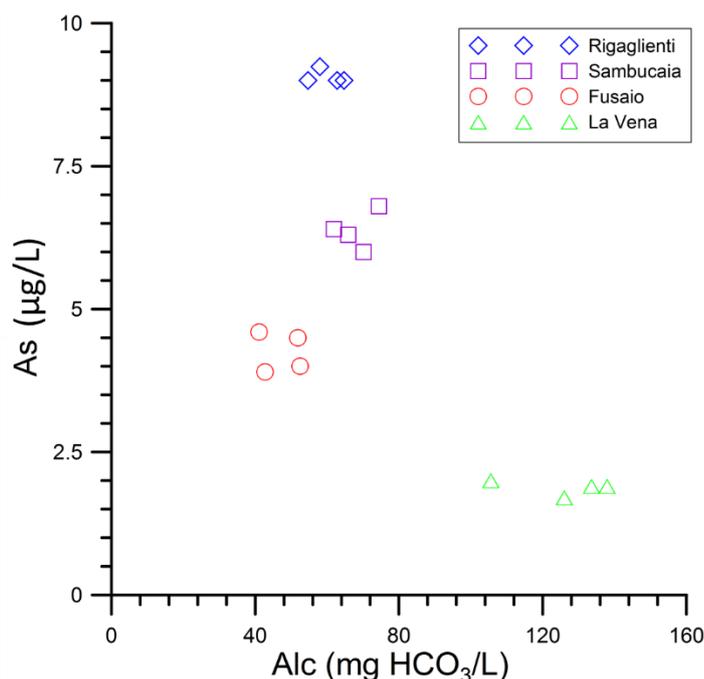
Diverso è invece il contenuto di boro ed arsenico fra le acque che interagiscono con le rocce sedimentarie clastiche del substrato e le acque dell'acquifero delle vulcaniti e soprattutto per la sorgente Rigaglianti che ha contenuti di arsenico molto vicini al limite di legge di 10 µg/l per le acque ad uso idropotabile, come stabilito dal D.Lgs. 31/2001.

Lo studio dell'Università di Siena sull'area amiatina ha mostrato un elevato contenuto in boro e arsenico nei suoli. Dato l'elevato contenuto di questi elementi nei suoli, la concentrazione relativamente elevata nelle acque è verosimilmente legata al naturale processo di interazione acqua – roccia ed al tempo di permanenza all'interno dell'acquifero.

In particolare, lo studio dell'Università di Siena (2008) ha mostrato che i contenuti di arsenico dei suoli la cui roccia madre è rappresentata dalle vulcaniti a chimismo trachidacitico risultano elevati e si collocano tra 30,4 e 52,7 mg/kg, mentre si registrano valori più bassi, compresi tra 4,6 e 11,6 mg/kg, per i suoli sviluppati sulle litologie sedimentarie.

Questa differenza nel contenuto di arsenico per i suoli delle vulcaniti e delle litologie sedimentarie è facilmente riconoscibile anche nelle acque. Le 3 sorgenti che drenano l'acquifero delle vulcaniti, Rigaglianti, Sambucaia e Fusaio, hanno infatti contenuti di arsenico più elevati rispetto alla sorgente La Vena (*Figura 4.2.2a*).

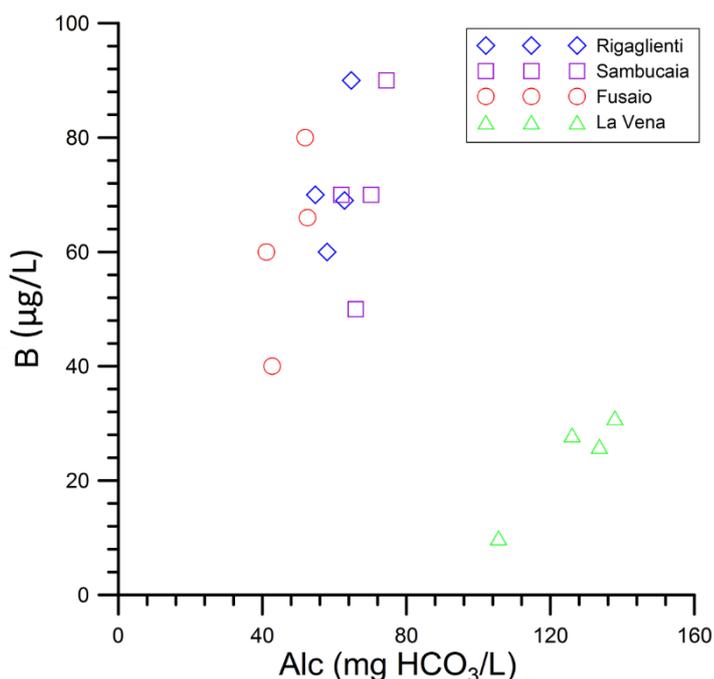
Figura 4.2.2a Diagramma Binario Alcalinità - Arsenico



Una valutazione del tutto analoga può essere fatta per il boro. Lo studio dell'Università di Siena ha infatti evidenziato come i contenuti più bassi di boro (91 - 143 mg/kg) sono stati riscontrati per i suoli delle arenarie e delle argilliti, mentre contenuti più elevati (174 - 209 mg/kg) sono stati misurati per i suoli la cui roccia madre è rappresentata da trachidaciti.

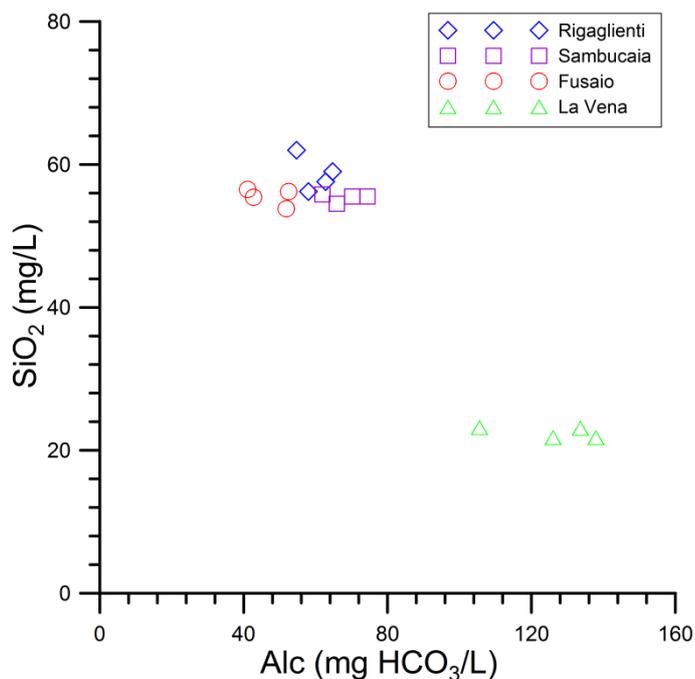
Come visibile dal grafico in *Figura 4.2.2b* si può osservare come le sorgenti drenanti l'acquifero delle vulcaniti (Rigaglienti, Sambucaia e Fusaio) presentino infatti valori di boro più elevati rispetto alla sorgente La Vena.

Figura 4.2.2b *Diagramma Binario Alcalinità - Boro*



Infine, il diagramma di *Figura 4.2.2.c* mostra che le acque delle tre sorgenti che drenano il complesso vulcanico (Rigaglianti, Sambucaia e Fusaio) hanno concentrazioni di silice disciolta che sono quasi il triplo di quelle della sorgente La Vena. Anche i differenti contenuti di silice sono imputabili al processo di interazione con rocce differenti.

Figura 4.2.2c *Diagramma Binario Alcalinità - Silice*



4.2.3

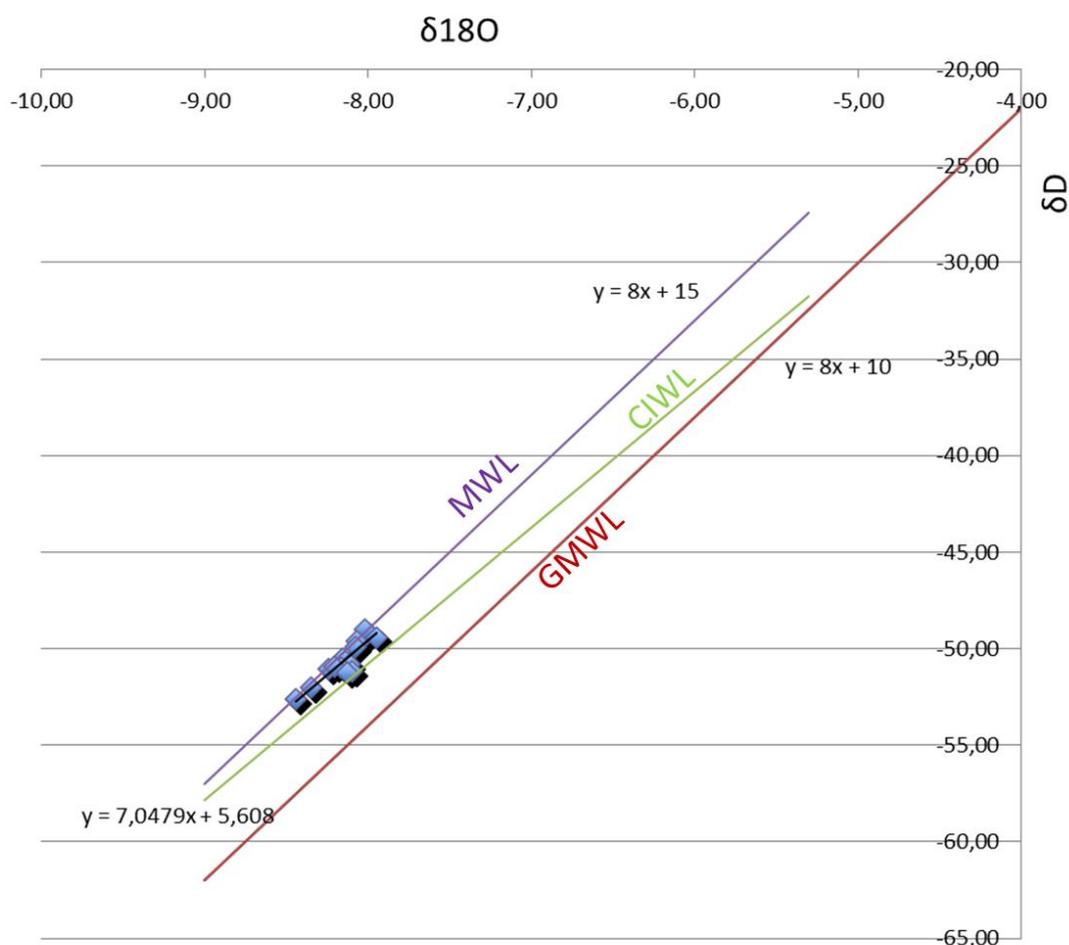
Studio Isotopico

I valori isotopici dei campioni d'acqua raccolti durante le tre campagne variano rispettivamente da -7,95 a -8,44 ‰ per il $\delta^{18}\text{O}$ e da -49,0 a -52,60 ‰ per il $\delta^2\text{H}$ (Tabella 4.2a).

Con questi dati è stato ricostruito il diagramma binario $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ (Figura 4.2.3a) sul quale sono state riportate anche le seguenti rette meteoriche:

- la retta delle acque meteoriche globali (GMWL) $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ (Craig, 1961), che è rappresentativa del vapore acqueo di provenienza oceanica;
- la retta delle acque meteoriche MWL, di equazione $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 15$, che ha la stessa pendenza della GMWL e intercetta (o eccesso di deuterio secondo Dansgaard, 1964) più elevata di 5 unità per-mille e che è rappresentativa del vapore acqueo di provenienza mediterranea (Celle-Jeanton et al., 2001);
- la retta delle acque meteoriche dell'Italia Centrale (CIWL) $\delta^2\text{H} = 7,0479 \delta^{18}\text{O} + 5,608$ (Longinelli e Selmo, 2003).

Figura 4.2.3a Diagramma $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$



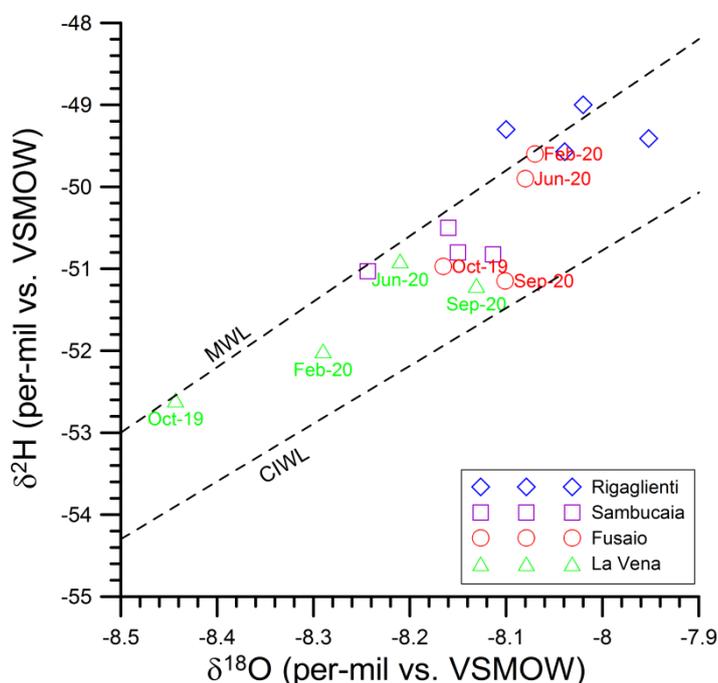
Si può osservare che tutti i campioni si distribuiscono in un'area limitata del grafico, fra la MWL e la CIWL.

Osservando lo stesso grafico con uno zoom maggiore sui punti d'acqua campionati (Figura 4.2.3b) distinti per singola sorgente, si può osservare come la sorgente La Vena presenti una variabilità stagionale maggiore rispetto alle altre, soprattutto rispetto a Rigaglianti e Sambucaia, che hanno una variabilità stagionale molto modesta, mentre la sorgente il Fusaio mostra una certa variabilità.

Partendo dal presupposto che la variabilità stagionale è una caratteristica tipica delle acque di pioggia, che hanno valori isotopici massimi in estate e valori isotopici minimi in inverno, la variabilità stagionale riscontrata per le sorgenti in esame è verosimilmente legata al grado di miscelamento fra i diversi apporti meteorici, nel corso della circolazione sotterranea e, conseguentemente, al tipo di circuito idrico delle acque sorgive. La marcata variabilità delle acque della Sorgente La Vena indica un circuito idrico limitato e un tempo di permanenza all'interno dell'acquifero breve, che approssima il modello limite del cosiddetto "flusso a pistone", ossia senza miscelamento nel corso della circolazione sotterranea. Questa interpretazione risulta coerente con il modello geologico – strutturale; la sorgente, infatti, drena un acquifero di limitata estensione.

La quasi assenza di variabilità nel contenuto isotopico per le sorgenti Rigaglianti e Sambucaia testimonia invece un tempo di residenza all'interno dell'acquifero maggiore ed un marcato miscelamento dei nuovi apporti piovosi con le acque già presenti all'interno del sistema acquifero.

Figura 4.2.3b Diagramma $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$, zoom sui punti d'acqua campionati



Se si considera, infine, il gradiente isotopico medio italiano pari a 0,2 ‰/100 m di quota (Longinelli e Selmo, 2003), si può stimare una differenza nella quota di infiltrazione media delle sorgenti in esame di circa 100 m, considerando che l'intervallo di variazione del valore medio di $\delta^{18}\text{O}$ è di 0,24 unità ‰. Da notare che la differenza di quota delle quattro sorgenti è invece di circa 250 m (Tabella 1a).

Nell'ambito del presente studio è stato effettuato il primo monitoraggio "bianco indisturbato" delle sorgenti Rigaglianti, Sambucaia, La Vena e il Fusaio al fine di accertare l'assenza di collegamento fra gli acquiferi superficiali e il serbatoio geotermico nell'ambito del progetto per l'Impianto Pilota Geotermico "Montenero".

Il monitoraggio annuale delle 4 sorgenti ha consentito di caratterizzarle sotto il profilo chimico e isotopico. Nel dettaglio, è stato possibile osservare una marcata differenza chimica tra le sorgenti che drenano l'acquifero delle vulcaniti e l'unica sorgente che è invece alimentata dall'acquifero ospitato nelle arenarie della Formazione della Pietraforte.

Come da prescrizione, il monitoraggio delle quattro sorgenti riprenderà all'inizio dei lavori per la costruzione dell'impianto e si concluderà a 5 anni dall'entrata in funzione dello stesso, al fine di monitorare eventuali variazioni, in termini di portata o dei parametri chimico-fisici delle acque, potenzialmente riconducibili all'effetto della coltivazione geotermica.

	PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
	P19_GES_037	GESTO ITALIA SRL: IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "MONTENERO" OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE A.10 DEL MATTM (D.M. 56 DEL 14/03/2017)	0	21

Barazzuoli P., Bosco G., Nante N., Rappuoli D. e Salleolini M. (1994) – The aquifer of Mont Amiata: Evaluation of the perennial yield and its quality. Mem. Soc. Geol.It. 48, 825 – 832.

Celle-Jeanton H., Travi Y., Blavoux B. (2001) - Isotopic typology of the precipitation in the Western Mediterranean region at three different time scales. Geophys. Res. Lett.. vol. 28, p. 1215 – 1218.

Craig H. (1961) – Isotopic variations in meteoric water. Science, vol.133, p. 1702-1703.

Dansgaard W. (1964) – Stable isotopes in precipitation. Tellus, vol.16, p. 436-468.

Dini I., Ceccarelli A., Brogi A., Giorgi N., Galleni P. e Rossi L. (2010) – Geological Evaluation of the base of Mt. Amiata Volcanic Complex (Tuscany, Italy). In: Proceedings of the World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia, 25 -29 April 2010.

Doveri M., Nisi B., Cerruba Feroni A., Ellero A., Menichini M., Lelli M., Masetti G., Da Prato S., Principe C. e Raco B. (2012) – Geological. Hydrodynamic and geochemical features of the volcanic aquifer of Monte Amiata (Tuscany, Central Italy): an overview Acta Vulcanologica, 23 (1-2) 2011/24 (1-2) 2012, 51 – 72.

Doveri M. e Mussi M. (2014) – Water isotopes as environmental traces for conceptual understanding of groundwater flow: an application for fractured aquifer system in the “Scansano – Magliano in Toscana” area (Southern Tuscany, Italy) Water 6, 2255 -2277.

Doveri M e Menichini M. (2017) – Aspetti idrogeologici delle vulcaniti del Monte Amiata. Il Vulcano di Monte Amiata 2017. pp 255-265

Fronzoni F., Caliro S. Cardellini C. Chiodini G., Morgantini N. (2009) Carbon dioxide degassing and thermal energy release in the Monte Amiata volcanic-geothermal area (Italy). Applied Geochemistry, 24(5), 860-875.

Gambardella B., Marini, L., Baneschi, I. (2005). Dissolved potassium in the shallow groundwaters circulating in the volcanic rocks of central-southern Italy. Applied geochemistry, 20(5), 875-897.

Hill, R. A. (1940). Geochemical patterns in Coachella Valley. Eos, Transactions American Geophysical Union, 21(1), 46-53.

Langelier W.F. Ludwig H.F. (1942) – Graphical methods for indicating the mineral character of natural water. American Water Works Association vol. 34, p. 335-352.

Lelli (2017) – Caratterizzazione chimica delle acque circolanti all'interno del Complesso Vulcanico del Monte Amiata. Il Vulcano del Monte Amiata, vol. Regione Toscana, pp.267 – 280.

Longinelli A. E Selmo E. (2003) - Isotopic composition of precipitation in Italy: a first overall map. Journal of Hydrology 270 75–88.

Pierotti L., Cortecchi G., Gherardi F. (2016) Hydrothermal gases in a shallow aquifer at Mt. Amiata, Italy: insights from stable isotopes and geochemical modelling. Isotopes in environmental and health studies, 52(4-5), 414-426.

Piper A.M. (1944) – A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Transactions, vol.25, p. 914-923.

Università di Siena, 2008. Studio geostrutturale, idrogeologico e geochimico ambientale dell'area amiatina

PROGETTO	TITOLO	REV.	Pagina
 P19_GES_037	GESTO ITALIA SRL: IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "MONTENERO" OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE A.10 DEL MATTM (D.M. 56 DEL 14/03/2017)	0	23