



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

REGIONE  
TOSCANA



## Area geotermica del Monte Amiata

## MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

## FOCUS TALLIO Anno 2018





**Area geotermica del  
Monte Amiata**

**MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ  
DELLE ACQUE SUPERFICIALI  
E SOTTERRANEE**

**FOCUS TALLIO  
Anno 2018**



## Area geotermica del Monte Amiata

### MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI E

### SOTTERRANEE.

## FOCUS TALLIO - Anno 2018

### **Autori:**

*Luca Sbrilli, Ivano Gartner, ARPAT - Settore Geotermia*

### **Si ringraziano:**

le colleghe *Rossella Friani* e *Daniela Zanchi*, laboratorio chimico del Dipartimento ARPAT di Siena; il dott. geol. *Daniele Rappuoli*, Unione dei Comuni del Monte Amiata – Val d’Orcia.

### **Editing e copertina:**

ARPAT - Settore Comunicazione, informazione e documentazione

Immagini di copertina: ARPAT

ARPAT 2019

## INDICE

SINTESI.....	5
1. INTRODUZIONE.....	7
2. IL TALLIO.....	11
2.1 Informazioni generali.....	11
2.2 Fonti di contaminazione e vie di esposizione per l'uomo.....	11
2.3 Effetti sulla salute.....	11
2.4 Valore guida.....	12
3. ANALISI DEI RISULTATI.....	13
3.1 La presenza del Tallio nelle emissioni di Centrale.....	17
4. PUNTO CRITICO – LA SORGENTE DI ACQUA PASSANTE.....	18
4.1 Descrizione del sito.....	19
4.2 Il campionamento del suolo.....	24
4.3 La valenza termale della sorgente Acqua Passante.....	25
4.4 Il pozzo minerario e l'area al contorno.....	26
5. CONCLUSIONI.....	27
6 BIBLIOGRAFIA.....	28
APPENDICE Determinazione del tallio alle emissioni delle centrali geotermoelettriche e alle immissioni in aria ambiente.....	29
Scopo.....	30
Sintesi della relazione.....	30
Risultati alle emissioni delle centrali geotermoelettriche.....	31
Risultati presenza di tallio in aria ambiente.....	33

## SINTESI

Da quasi due decenni ARPAT, attraverso il monitoraggio di 10 sorgenti, effettua il controllo del sistema idrico dell'area geotermica del Monte Amiata. A questa campagna di monitoraggio, a partire dal 2014, si è affiancata un'altra campagna di controllo, effettuata da ENEL GP e da ARPAT, riguardante ulteriori 9 stazioni di prelievo di acque sotterranee e 8 stazioni di prelievo di acque superficiali e 4 piezometri, per un totale complessivo di 31 punti di prelievo fra acque sotterranee e superficiali.

Sebbene la vigente normativa preveda la ricerca del tallio solo nell'ambito delle procedure di bonifica, dal 2014, dopo la scoperta di concentrazioni significative di questo metallo nelle acque potabili della zona di Valdicastello Carducci e Pietrasanta (Lucca), il tallio è stato aggiunto all'elenco dei parametri per la determinazione del profilo chimico delle acque monitorate.

Con la ricerca del tallio, avviata nelle acque superficiali e sotterranee del Monte Amiata, si intende contribuire allo studio condotto recentemente dalla Regione Toscana attraverso l'ARS, denominato INVetta, le cui conclusioni sono previste per entro l'anno 2019. I risultati preliminari hanno evidenziato il superamento del 95° percentile dei parametri relativi a tallio e mercurio della popolazione di riferimento, ricercati nelle urine e nel sangue di oltre 1000 persone residenti in questa porzione di territorio (fonte ARS).

La verifica delle concentrazioni di tallio presenti nel sistema idrologico del Monte Amiata può fornire ad ARS ulteriori dati che possono indicare o escludere eventuali fonti di contaminazione.

Un'importante ricerca negli archivi dei dati strumentali di laboratorio ha permesso la ricostruzione dei valori di concentrazione di tallio nei campioni a partire dal 2000.

Dall'analisi dei risultati di tutti i campioni si evince che tutte le sorgenti, i piezometri e le acque superficiali hanno dimostrato concentrazioni di tallio minori di 0,1 µg/l, valori ben inferiori ai 2 µg/l individuati dall'Istituto Superiore di Sanità come valore limite valido sul territorio nazionale.

Unica eccezione si riscontra nel punto di prelievo denominato "SORGENTE PASSANTE", nel Comune di Abbadia San Salvatore (SI), dove sono stati sistematicamente misurati valori superiori alla soglia limite (20 µg/l circa).

Sebbene questa sorgente non faccia parte del sistema della rete idrica locale e tenuto presente che la portata è tendente a zero (le Autorità Competenti hanno già posizionato cartelli di non potabilità di queste acque), si è cercato comunque di dare alcune sommarie indicazioni su questa singola anomalia geochimica.

La presenza nelle adiacenze di un pozzo esplorativo minerario dal quale fuoriescono gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ecc.) e dalla presenza al contorno di circolazioni gassose attraverso il terreno, dimostrano certamente un'anomalia geologica che condiziona chimicamente le rocce vulcaniche presenti, già di per sé particolarmente mineralizzate. La CO<sub>2</sub> gassosa, trasformandosi in acido in ambiente a saturazione idrica, abbassa il pH del terreno e delle acque superficiali nell'area al contorno della sorgente di Acqua Passante, come effettivamente riscontrato in situ.

Acque così aggressive si ritiene che abbiano di fatto lisciviato, con buona probabilità, orizzonti o depositi mineralizzati costituiti prevalentemente da rocce contenenti minerali di ferro e mercurio, classici dell'area del Monte Amiata.

Non è un caso, infatti, che si riscontrino nei suoli analizzati intorno alla sorgente Acqua Passante valori di ferro di oltre 10.000 mg/kg e nelle acque di questa sorgente valori spesso superiori ai 200 µg/l. Si può ipotizzare quindi che, in associazione a minerali di pirite, possa essere presente nel sottosuolo anche della pirite tallifera che di fatto in ambiente acido cede tallio nei terreni e nelle acque circolanti.

Il lavoro quindi rappresenta il primo quadro analitico completo sulla presenza del tallio nelle acque superficiali e sotterranee del Monte Amiata offrendo spunti di ulteriore riflessione ed approfondimento.

Per completare lo stato delle conoscenze, sono state verificate le quantità di tallio presenti alle emissioni e nelle condense delle centrali geotermoelettriche ubicate sul Monte Amiata.

Le determinazioni effettuate evidenziano che le centrali geotermoelettriche a vapore di flash non risultano essere fonti di rilascio significativo in ambiente di questo metallo.

#### **PAROLE CHIAVE**

Tallio, ARS, Monte Amiata, Sorgente Acqua passante, pirite tallifera

## 1. INTRODUZIONE

A partire dal 2002 ARPAT effettua, tramite i Dipartimenti di Siena e Grosseto, il monitoraggio della falda acquifera del Monte Amiata nell'ambito del piano di controllo delle acque sotterranee promosso dalla Regione Toscana e in ottemperanza al .Lgs n.152/2006. Si tratta di diverse sorgenti distribuite su tutta l'area amiatina che risultano codificate attraverso la sigla MAT.

L'Agenzia, tramite il Settore Geotermia, effettua un'ulteriore campagna di monitoraggio in parallelo con ENEL Greenpower (da qui in poi EGP), così come previsto dalla pronuncia di compatibilità ambientale sul progetto relativo al "*Riassetto dell'Area geotermica di Piancastagnaio*" (di cui alla Delibera della RT n. 229/2011), che prevede:

- 8 stazioni di acque superficiali (da qui in poi PAS) localizzate nei Comuni di Piancastagnaio e Santa Fiora;
- 9 stazioni di acque di falda (da qui in poi PAF), delle quali tre coincidenti con il piano di controllo generale, localizzate nei Comuni di Castiglione d'Orcia, Abbadia S.Salvatore, Piancastagnaio, Castel del Piano, Santa Fiora e Arcidosso;
- 4 piezometri, Pz6, Pz7 Pz4(da settembre 2014) ubicati nel -Comune di Santa Fiora (GR) e Pz9 (da luglio 2015) il ubicato in Comune di Abbadia San Salvatore (SI).

Nei sottostanti elenchi sono riportate le denominazioni delle stazioni di prelievo e la relativa cartografia di localizzazione.

<b>Codifica punto</b>	<b>Luogo</b>
PAS1	Piancastagnaio (SI)
PAS2	Piancastagnaio (SI)
PAS3 (*)	Piancastagnaio (SI)
PAS4 (*)	Piancastagnaio (SI)
PAS5	Piancastagnaio (SI)
PAS6	Bagnore-SantaFiora (GR)
PAS7	Bagnore-SantaFiora (GR)
PAS8	Bagnore-SantaFiora (GR)

**Elenco 1:** acque superficiali (PAS)

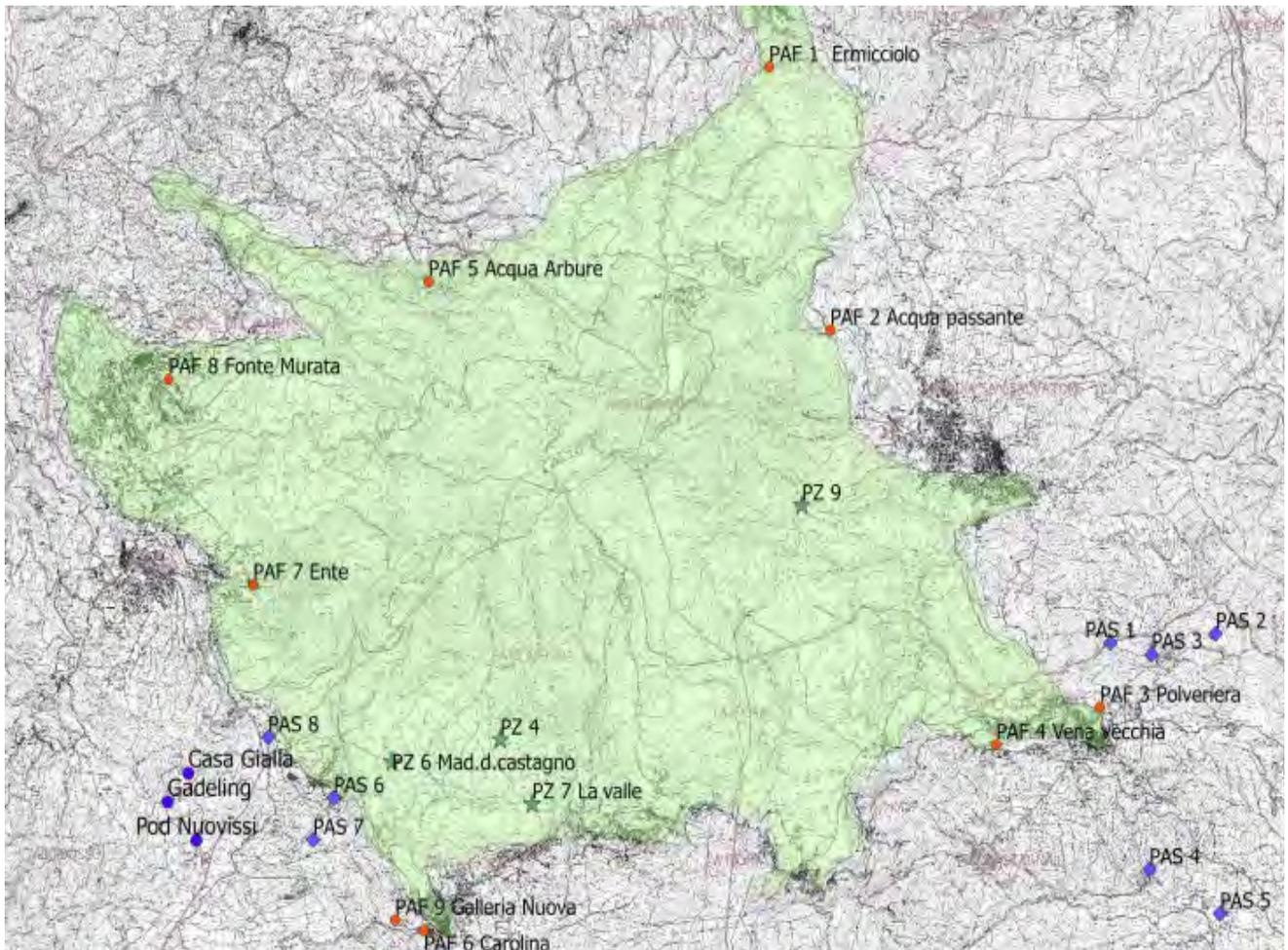
(\*) risultati sempre in secca.

<b>Codifica punto</b>	<b>Nome</b>	<b>Comune - Provincia</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>
PAF1	Ermicciolo	Castiglion d'Orcia (SI)	990
PAF2	Acqua Passante	Abbadia S.Salvatore (SI)	1057
PAF3	Polveriera	Piancastagnaio (SI)	732
PAF4	Vena Vecchia	Piancastagnaio (SI)	759
PAF5	Acque Arbure	Castel del Piano (GR)	850
PAF6	Carolina	Santa Fiora (GR)	634
PAF7	Ente	Arcidosso (GR)	715
PAF8	Fonte Michele	Castel del Piano (GR)	618
PAF9	Galleria Nuova	Santa Fiora (GR)	641

**Elenco 2: acque di falda (PAF)**

<b>Codifica punto</b>	<b>Luogo</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>
Pz.4	Santa Fiora	938
Pz.6	Madonna del Castagno - Santa Fiora	839
Pz.7	La Valle - Santa Fiora	867
Pz.9	Poggio dei Frati - Abbadia S. Salvatore	1024

**Elenco 3: acque di piezometro**



**Figura 1** : Ubicazione delle stazioni di monitoraggio PAF, PAS e piezometri

Sebbene la vigente normativa preveda la ricerca del tallio solo nell'ambito delle procedure di bonifica (allegato 5, tab. 1, concentrazioni di soglia di contaminazione del suolo e tab. 2 concentrazioni di soglia di contaminazione acque sotterranee), dal 2014, dopo la scoperta di concentrazioni significative di questo metallo pesante nelle acque potabili della zona di Valdicastello Carducci e Pietrasanta (Lucca) ARPAT dal 2016 ha aggiunto il tallio all'elenco dei parametri da ricercare nel monitoraggio sul Monte Amiata, a supporto del riassetto Piancastagnaio (DGRT n°229/2011). I primi dati ufficiali (riferiti alla campagna 2016) sono osservabili nel Report 2017 dell'Agenzia.

La ricerca del tallio nelle acque superficiali e sotterranee del Monte Amiata, ha inoltre l'intento di contribuire al recente studio epidemiologico denominato INVetta, commissionato dalla Regione Toscana all'ARS (Agenzia Regionale di Sanità), la cui conclusione è prevista entro la fine del 2019. La fase di raccolta dati dello studio si è conclusa nel mese di giugno con un'adesione di 2060 cittadini: i risultati saranno di seguito analizzati ed elaborati entro l'anno 2019.

I risultati preliminari su un campione di 1065 cittadini (vedasi rif. [5] del 02/05/2018) che si sono volontariamente sottoposti a un prelievo ematico e di urine, hanno evidenziato il superamento del 95° percentile della popolazione di riferimento per i parametri tallio e mercurio. Sebbene il superamento del 95° percentile non sia direttamente associabile a effetti

avversi alla salute, è stato ritenuto necessario effettuare uno studio sulla diffusione del tallio e della sua presenza nelle acque del Monte Amiata

L'obiettivo di questo rapporto è quello di verificare le concentrazioni di tallio presenti nel sistema idrologico del Monte Amiata così da fornire ad ARS ulteriori dati che possano indicare o escludere eventuali fonti di contaminazione. Per completare lo stato delle conoscenze, sono state verificate le quantità di tallio presenti sia nelle emissioni che nelle condense delle centrali geotermoelettriche (Bagnore4, Bagnore3, PC4, PC5, Rancia1 e Rancia2) e i dati di concentrazioni in aria ambiente determinati presso la stazione qualità dell'aria di Montecerboli (vedi appendice).

## 2. IL TALLIO

Le informazioni di seguito riportate sono estratte un documento della Direzione generale della prevenzione sanitaria del Ministero della salute (Acque potabili – parametri TALLIO 2016 [www.salute.gov.it](http://www.salute.gov.it))

### 2.1 Informazioni generali

Il tallio (simbolo Tl, appartenente al III gruppo del sistema periodico degli elementi, con numero atomico 81 e peso atomico 204,383 uma), è un metallo tenero e malleabile; esposto all'aria va incontro ad ossidazione assumendo una tinta grigio-bluastro simile a quella del piombo. Nella sua forma pura è privo di odore e di sapore e può trovarsi in combinazione con altre sostanze quali bromo, cloro, fluoro e iodio in presenza di acqua forma idrossido di tallio. Nel passato i sali di tallio sono stati usati come veleno per i roditori e fino al 1965 anche come insetticida ; tali usi sono stati abbandonati per la tossicità della sostanza. Attualmente il tallio e i suoi composti hanno diversi utilizzi e potenziali applicazioni a livello industriale, soprattutto nel campo delle nuove tecnologie, tra questi rientrano la fabbricazione di termometri a bassa-temperatura, materiali semiconduttori, contatori a scintillazione per la misurazione della radioattività e sistemi ottici, che sfruttano l'alto grado di rifrazione del metallo.

### 2.2 Fonti di contaminazione e vie di esposizione per l'uomo

Il tallio è un elemento raro, ma ubiquitario nell'ambiente, ed è presente normalmente in associazione con sali di potassio in argille, fanghi e graniti. Questo metallo si ritrova inoltre nelle emissioni e nei residui della combustione del carbone e della fusione del ferro e in molti reflui industriali e di estrazione mineraria. I composti del tallio sono volatili ad alte temperature, . a seguito della combustione di materiali e/o rifiuti contaminati una larga percentuale di tallio viene quindi rilasciata nell'atmosfera. Il destino del tallio in seguito alla deposizione atmosferica dipende dalle caratteristiche del terreno, con una ritenzione elevata nei suoli che contengono argilla e materiale organico. Il tallio presente nel suolo, o depositato sulle parti aeree, viene assorbito dai vegetali, sia attraverso le radici che dalle foglie, accumulandosi nei tessuti vegetali. L'esposizione umana a questo metallo pesante può avvenire attraverso l'ingestione di cibi contaminati, l'inalazione di polveri e fumi o per contatto con il metallo o i suoi sali. In genere i livelli di tallio nell'aria e nell'acqua sono molto bassi, il contributo prevalente all'esposizione è dato dalla dieta, principalmente attraverso il consumo di frutta e verdura contaminati. L'amministrazione USA per la salute e la sicurezza sul lavoro (OSHA) ha stabilito come valore limite per l'esposizione occupazionale<sup>1</sup> al tallio la concentrazione di 0,1mg/m<sup>3</sup> nell'aria del luogo di lavoro.

### 2.3 Effetti sulla salute

Il tallio viene rapidamente assorbito dall'uomo distribuendosi in tutto l'organismo e accumulandosi soprattutto nelle ossa, nei reni e nel sistema nervoso centrale. Il tallio può attraversare la barriera placentare e si ritrova nel latte materno. L'analogia con gli ioni

---

<sup>1</sup> ossia il valore limite della concentrazione ambientale delle sostanze chimiche aerodisperse al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta ripetutamente giorno dopo giorno, per una vita lavorativa, senza effetti negativi per la salute

potassio, dovuta alla similarità nella carica e nel raggio ionico, permette al tallio di sostituirsi al potassio in importanti funzioni cellulari. Ulteriori meccanismi di tossicità, analoghi a quelli di altri metalli pesanti, sono il legame con i gruppi sulfidrici delle proteine, il danno alle membrane mitocondriali e l'induzione di stress ossidativo. In animali da esperimento il tallio ha mostrato una elevata tossicità acuta, superiore a quella da mercurio, cadmio e altri metalli pesanti, che in seguito a somministrazione per gravaggio ha provocato alopecia, atrofia dei follicoli piliferi, difficoltà respiratoria, diarrea e variazioni di parametri biochimici e effetti negativi sulla linea germinale, con alterazioni nell'epitelio tubulare del testicolo e nella produzione di spermatozoi. Nell'uomo la severità degli effetti tossici del tallio dipende dalla dose cumulativa assorbita e dalla tolleranza individuale. Alte dosi di tallio assunte accidentalmente hanno causato effetti tossici quali vomito, diarrea, perdita temporanea dei capelli, ed effetti sul sistema nervoso centrale, sui polmoni, sul cuore, sul fegato e sui reni. Sono stati riportati anche casi di decesso. Il sistema nervoso centrale e periferico è un bersaglio preferenziale nell'intossicazione da tallio.

## **2.4 Valore guida**

La direttiva europea n. 98/83/CE sulle acque destinate al consumo umano, recepita in Italia dal D.Lgs. 31/2001, non indica valori limite specifici per il tallio. L'Istituto Superiore di Sanità ha raccomandato come valore limite valido sul territorio nazionale la concentrazione di 0,002 mg/l (2 µg/L).

### 3. ANALISI DEI RISULTATI

Relativamente ai punti di monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee; sono necessarie alcune precisazioni.

Per quanto attiene ai PAS si evidenzia che 2 punti di prelievo sono sempre risultati in secca.

Si fa inoltre presente che dal momento che alcuni punti di controllo delle acque sotterranee (MAT) coincidono con alcune stazioni di acque di falda (PAF) per mera praticità di elaborazione dei dati la denominazione usata per indicare i risultati dei campionamenti sarà quella relativa ai PAF

In sintesi i punti di campionamento utilizzati sono così elencati:

<b>Codifica punto</b>	<b>Nome</b>	<b>Comune - Provincia</b>
PAF1	Ermicciolo	Castiglion d'Orcia (SI)
PAF2	Acqua Passante	Abbadia S.Salvatore (SI)
PAF3	Polveriera	Piancastagnaio (SI)
PAF4	Vena Vecchia	Piancastagnaio (SI)
PAF5	Acque Arbure	Castel del Piano (GR)
PAF6	Carolina	Santa Fiora (GR)
PAF7	Ente	Arcidosso (GR)
PAF8	Fonte Michele	Castel del Piano (GR)
PAF9	Galleria Nuova	Santa Fiora (GR)

Pz.4		Santa Fiora (GR)
Pz.6	Madonna del Castagno	Santa Fiora (GR)
Pz.7	La Valle	Santa Fiora (GR)
Pz.9	Poggio dei Frati	Abbadia S. Salvatore (SI)

PAS1		Piancastagnaio (SI)
PAS2		Piancastagnaio (SI)
PAS5		Piancastagnaio (SI)
PAS6		Bagnore-SantaFiora (GR)
PAS7		Bagnore-SantaFiora (GR)
PAS8		Bagnore-SantaFiora (GR)
Fosso Sereno		Piancastagnaio (SI)

A tutti i punti di campionamento sopra elencati si aggiungono le sorgenti denominate come MAT. Per alcune di esse, che corrispondono alle PAF, come descritto nella tabella seguente, è stata lasciata la codifica PAF.

PAF1	Ermicciolo	Castiglion d'Orcia (SI)	MAT S045
PAF4	Vena Vecchia	Piancastagnaio (SI)	MAT S049
PAF7	Ente	Arcidosso (GR)	MAT S010
PAF9	Galleria Nuova	Santa Fiora (GR)	MAT 0S20
PAF3	Polveriera (o Galleria drenante per le MAT)	Piancastagnaio (SI)	MAT S050

Le MAT aggiunte, quelle non corrispondenti alle PAF, per il presente studio sono le seguenti:

PIAN DEI RENAI	Abbadia San Salvatore (SI)	MAT P350
ACQUA GIALLA	Abbadia San Salvatore (SI)	MAT P596
SARAGIOLO	Piancastagnaio (SI)	MAT S095
BURLANA	Seggiano (GR)	MAT 021
CROGNOLO	Castel del Piano (GR)	MAT S011
GALLERIA BASSA	Santa Fiora (SI)	MAT S143 (adiacente alla sorgente CAROLINA)

In totale i punti di campionamento sono 26 e coprono l'intera area del Complesso vulcanico del Monte Amiata.

Un'onerosa ricerca negli archivi dei dati strumentali di laboratorio ha permesso la ricostruzione dei valori di concentrazione di tallio nei campioni a partire dal 2000.

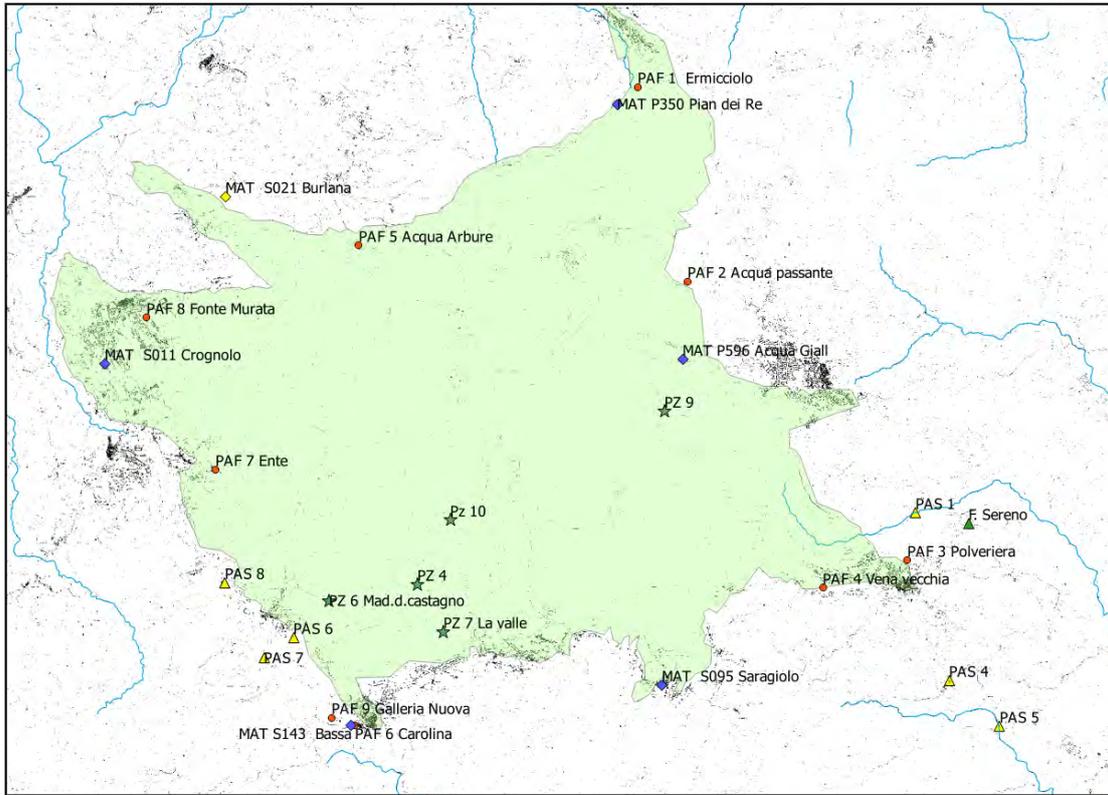
Dall'analisi dei risultati di tutti i campioni si evince che tutte le sorgenti, i piezometri e le acque superficiali hanno dimostrato concentrazioni di tallio minori di 0,1 µg/l.

Tuttavia si sono registrate nel tempo alcuni valori leggermente difforni che riteniamo utile evidenziare nella loro interezza e riportare nella seguente tabella:

<b>SORGENTE</b>	<b>CONCENTRAZIONE (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	<b>DATA</b>
Galleria CROGNOLO	<0,5	9.01.09
	<0,5	3.04.07
Galleria DRENANTE	0,11	24.04.13
	0,12	10.12.10
Galleria PIAN DEI RENAI	<0,5	3.04.07
	0,34	29.09.14
Galleria ACQUA GIALLA	<0,5	3.04.07
Fonte del SARAGIOLO	0,38	25.03.10
	0,33	23.06.10
	0,26	24.08.10
	0,36	10.12.10
	0,3	23.03.11
	0,3	21.09.11
	0,3	15.12.11
	0,35	24.03.12
	0,3	18.06.13
	0,33	27.06.14
	0,3	20.10.16
	0,3	4.05.18
Galleria DRENANTE	0,13	26.02.08
	0,13	24.09.09
	0,11	25.03.10
	0,13	23.06.10
PAS 6	0,21	15.04.14
	0,20	30.09.15
	0,23	26.10.16

**Tabella 1:** campionamenti con concentrazioni di tallio tra 0,1 e 0,5  $\mu\text{g/l}$

I valori <0,5  $\mu\text{g/l}$  relativi al periodo 2007-2010 e misurati con le metodiche e la strumentazione dell'epoca, evidenziano una sensibilità diversa a quella che si sarebbe potuto ottenere con la strumentazione e la metodica di oggi, che avrebbe fornito un dato 5 volte più sensibile ed accurato.



**Figura 2** : Cartina con l'ubicazione di tutte e 26 le stazioni di monitoraggio utilizzate (PAF, PAS, MAT e piezometri)

### **3.1 La presenza del Tallio nelle emissioni di Centrale**

Al fine di completare il quadro focalizzato sulla presenza di tallio nelle zone geotermiche del Monte Amiata, sono state determinate le concentrazioni di questo inquinante alle emissioni delle seguenti centrali geotermoelettriche:

- Bagnore4 Grp1 e Grp2, per la zona geotermica M. Amiata versante grossetano;
- PC4 e PC5 per il versante senese;
- Rancia1 e Rancia2 per l'area tradizionale.

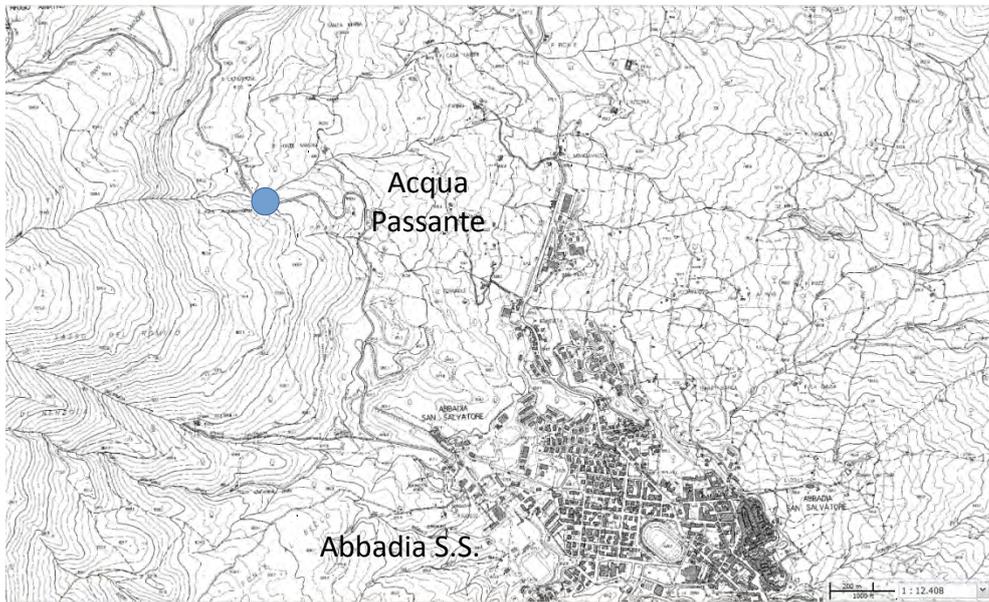
Inoltre, sono stati presi in esame anche i dati relativi alla presenza del tallio sia alle emissioni delle centrali geotermoelettriche sia nelle condense circolanti di centrale che recapitano quest'ultime alla reiniezione (i dati sono riportati in appendice). Dai valori registrati, si evince che tutte le concentrazioni determinate, alle emissioni e nelle condense, sono risultate inferiori al limite di quantificazione analitica del metodo applicato ( $<0,1 \mu\text{g/l}$ ), con l'eccezione del campione alle emissioni della centrale Bagnore4 Grp2 (aprile 2018), in cui è stato registrato un valore di poco superiore al limite di quantificazione analitica ( $0,2 \mu\text{g/l}$ ) con un flusso di massa di  $0,03 \text{ g/h}$ .

Per completare lo studio sono stati recuperati dagli archivi di laboratorio i risultati delle determinazioni del tallio in aria ambiente, effettuati mediante l'analisi dei filtri per il  $\text{PM}_{10}$ . I soli dati disponibili sono quelli relativi alla centralina fissa di ARPAT di qualità dell'aria della rete regionale, localizzata nell'area geotermica tradizionale presso Montecerboli (PI).

Tutti i campioni hanno dimostrato concentrazioni di tallio inferiori alla sensibilità analitica del metodo applicato (espresso come LOQ - limite di quantificazione) ovvero  $< 0,5 \mu\text{g/l}$  (nella maggior parte dei casi il valore determinato sui filtri esposti risultava non distinguibile dal valore del bianco).

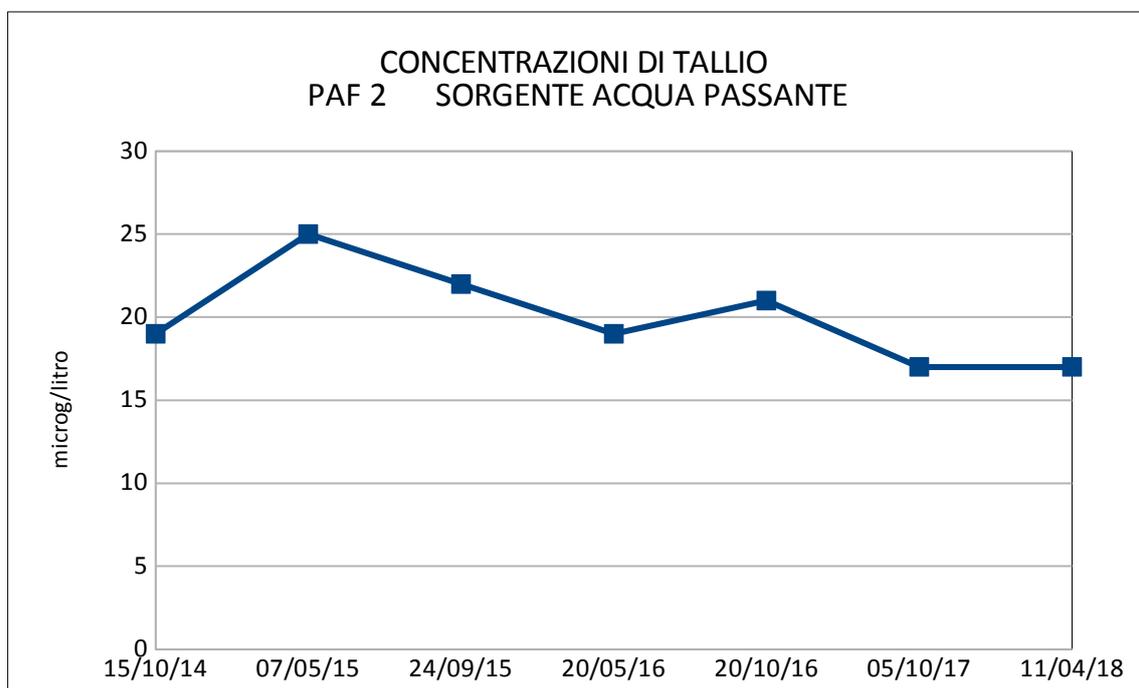
#### 4. PUNTO CRITICO – LA SORGENTE DI ACQUA PASSANTE

Nei 26 punti di campionamento di acque superficiali e sotterranee non si osservano valori particolarmente anomali, che sinteticamente rispondono a valori sempre <0,1 µg/l e in alcune eccezioni valori sempre <0,5 µg/l, e quindi costantemente sotto la soglia prevista dalla normativa vigente, ad eccezione del **PAF 2 SORGENTE PASSANTE**, sito nel Comune di Abbadia San Salvatore (SI), dove si sono riscontrati valori superiori alla soglia limite da normativa 2 µg/l, con la seguente sequenza.



**Figura 3** : Ubicazione della PAF2 Sorgente Acqua Passante Cartina

15/10/14	07/05/15	24/09/15	20/05/16	20/10/16	05/10/17	11/04/18	20/07/18	25/10/18
19 µg/l	25 µg/l	22 µg/l	19 µg/l	21 µg/l	17 µg/l	17 µg/l	17 µg/l	16 µg/l



L'anomalia riscontrata presso il punto di prelievo in questione è già stata segnalata nel 2014 al Sindaco di Abbadia S.S. e alla USL 7 (prot. ARPAT n. 87054 del 22/12/2014).

#### 4.1 Descrizione del sito

Il punto di prelievo di acque sotterranee di falda denominato PAF2 è ubicato all'interno di un'area picnic posizionata lungo la strada S.P. n°81 Vetta dell'Amiata, nella porzione a valle di questa. Nello specifico il punto di presa consiste in un'opera in cemento a forma di parallelepipedo con un coperchio circolare in ferro. La portata di questa sorgente è fortemente limitata, tendente allo zero, tanto che per i prelievi è necessario sfruttare un minimo di deposito delle acque. Il prelievo dell'acqua infatti è effettuato attraverso l'apertura del coperchio e il posizionamento di un secchio attrezzato con corda. Un tubo in pvc quale troppo pieno risulta costantemente asciutto.



**Foto 1:** sorgente PAF 2

Trattasi di una sorgente di poco interesse da un punto di vista quantitativo e qualitativo. Infatti non risulta condotta nella rete acquedottistica locale sia per la portata sia per le caratteristiche chimico fisiche (e forse microbiologiche) tanto che sussiste un cartello che evidenzia che le acque non sono potabili. Dal punto di vista idrogeologico questa sorgente trova origine da una circolazione idrica superficiale. A monte della strada, è presente un camino di diversi metri di altezza. Trattasi di un sondaggio minerario realizzato il 21/02/1938 realizzato per la ricerca di mineralizzazioni di mercurio. Poiché da tale terebrazione fuoriusciva del gas, l'ex Corpo delle miniere obbligò l'impresa mineraria ad attrezzarlo con un camino al fine di far fuoriuscire a quote alte i gas emessi in atmosfera.

La stratigrafia di questo sondaggio minerario evidenzia che durante la perforazione non sono state intercettate formazioni litoidi riconducibili alle vulcaniti del Monte Amiata.

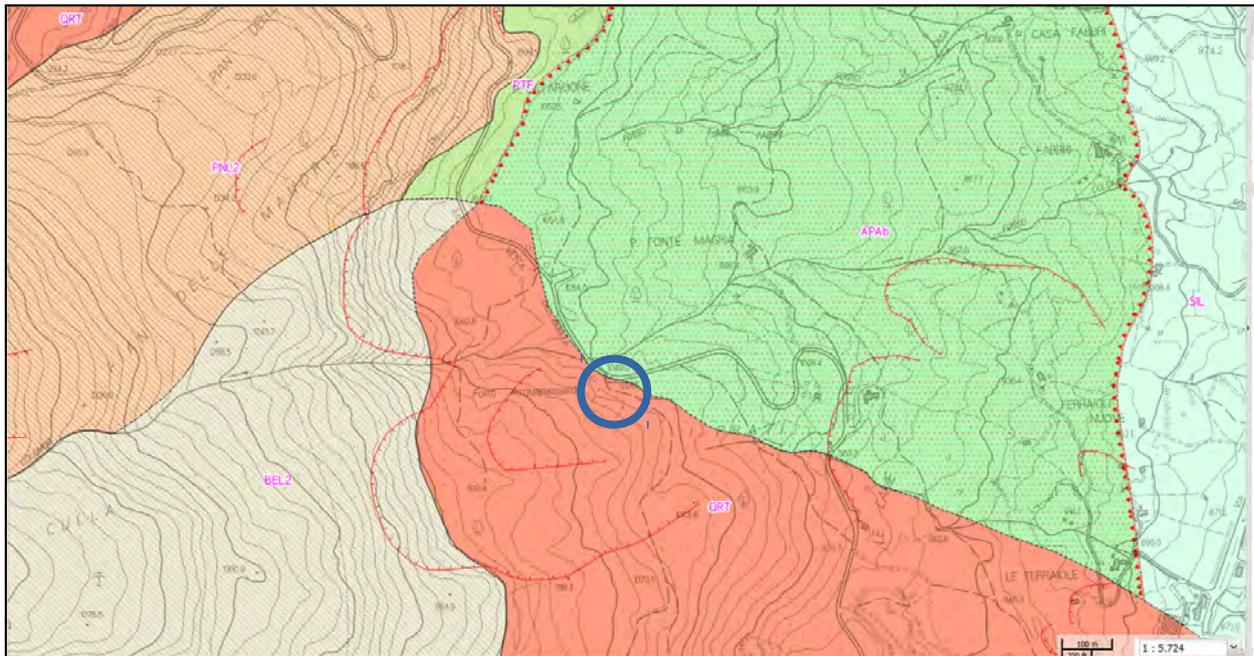


**Foto 2:** camino pozzo minerario

La stratigrafia di questo vecchio sondaggio consente di avere delle informazioni importanti in quanto evidenzia che i primi 3 metri dal piano campagna sono caratterizzati da terreno torboso; in seguito, dalla profondità di circa 3 metri sino a circa 4 metri sono stati rilevati depositi di ciottoli e frammenti di trachiti in matrice argillosa bluastra. Ancora in profondità si rilevano argille e ancora formazioni calcaree.

L'elemento che caratterizza da sempre questa sorgente rispetto a tutte le altre acque del Monte Amiata, siano esse superficiali o sotterranee, è il basso valore del pH che si aggira intorno a 4 classificando pertanto l'acqua come acida.

Come detto, la stratigrafia del carotaggio minerario, sebbene molto sintetica e scarna di informazioni seppure molto interessante da un punto di vista storico-geologico, mette in luce che i primi 3 metri di spessore del terreno sono caratterizzati da un terreno torboso.



**Figura 4:** carta geologica (da Geoscopio Regione Toscana)

#### LEGENDA

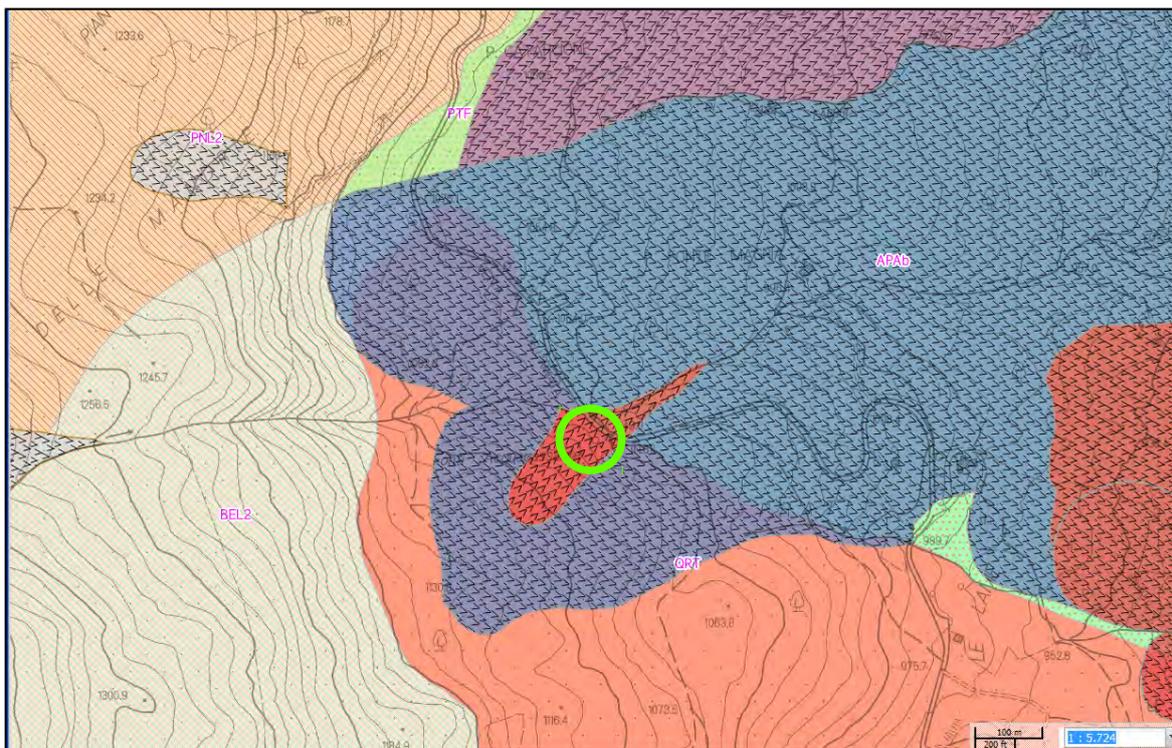
<b>PNL2 = Formazione del Pianello</b>	Colata lavica massiva a composizione latitica, di colore grigio, fortemente porfirica con fenocristalli di K-feldspato e clinopirosseno. Membro del Pianello (PNL2).
<b>BEL2 = Formazione di Bellaria</b>	Duomo esogeno costituito da lave massive di composizione da trachitica a trachidacitica, di colore variabile da grigio a rosa fino al rosso deciso, fortemente porfiriche, con presenza di megacristalli di K-feldspato. Membro di Bellaria (BEL2)
<b>QRT = Formazione di Quaranta</b>	Colate laviche clastogeniche e colate laviche a blocchi di composizione trachidacitica derivate dal collasso di un mega duomo endogeno.
<b>APAb = Argille a palombini</b>	b) arenarie quarzose torbiditiche
<b>PTF = Pietra forte</b>	Arenarie e siltiti quarzo-feldspatiche
<b>SIL = Formazione di Sillano</b>	Unità M Morello

Questi tipi di terreno presentano valori di pH molto bassi e ciò potrebbe dimostrare l'anomalia di questo punto di campionamento rispetto a tutti gli altri del Monte Amiata.

L'area, da un punto di vista geologico, è caratterizzata dal netto contatto tra le vulcaniti del Monte Amiata, nello specifico la *Formazione di Quaranta* corrispondente a colate laviche clastogeniche e colate laviche a blocchi di composizione trachidacitica a monte strada e la *Formazione delle Argille a Palombini* a valle della strada.

Anche per quanto attiene gli elementi di carattere geomorfologico, l'area risulta particolare in quanto caratterizzata da un ampio corpo di frana quiescente e proprio nell'area su cui è ubicata la sorgente è presente un corpo di frana attivo. Tali elementi di valenza geologica

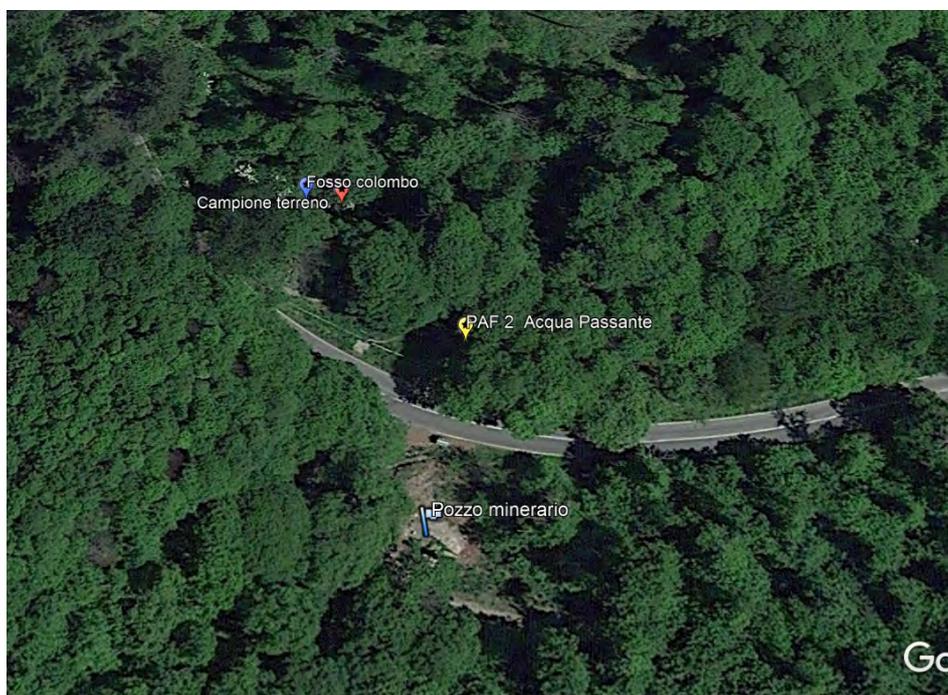
evidenziano un quadro in cui è plausibile una circolazione idrica sub-superficiale come sopra descritto.



**Figura 5 :** carta geomorfologica (da Geoscopio Regione Toscana)

Il 20 luglio 2018 è stata effettuata un'ulteriore valutazione dell'area adiacente alla sorgente PAF2; sono stati effettuati un campione delle acque della sorgente e del piccolo corso d'acqua, denominato Fosso Colombo, posto a poche decine di metri in direzione nord-ovest rispetto alla sorgente e prelevato un campione di terreno lungo il corso d'acqua stesso.

La Figura 6 illustra i punti di campionamento ed il vecchio sondaggio minerario.



**Figura 6 :** Ubicazione campioni di dettaglio area adiacente a PAF2

La Tabella 2 mette in evidenza alcuni elementi chimici ritenuti più significativi per il confronto tra le acque della sorgente e del corso d'acqua ad essa adiacente. Si osserva che il pH della sorgente e quello del corso d'acqua risultano molto simili a dimostrazione che l'ambito di drenaggio è il medesimo, seppure il corso d'acqua risenta di un poco di diluizione. Diversa è invece la concentrazione del tallio nella sorgente, che risulta 10 volte superiore rispetto a quella del torrente.

	<b>PAF 2-Acqua Passante</b>	<b>Fosso Colombo</b>
pH	4,11	4,49
Tallio ( $\mu\text{g/l}$ )	17	1,6
Litio ( $\mu\text{g/l}$ )	27	9,1
Rubidio ( $\mu\text{g/l}$ )	51	15
Cesio ( $\mu\text{g/l}$ )	9,3	2,4
Solfati (mg/l)	100	120

**Tabella 2:** confronto tra le acque PAF 2 e Fosso Colombo per alcuni elementi

Suolo alveo Fosso Colombo	<b>Concentrazione misurata</b>	Livello Dlgs 152/06 Col. A	Livello Dlgs 152/06 Col. B	Range variabilità Rocce esterne alle aree antropizzate a va- lenza geotermica da studio UniSI [1]
Arsenico (mg/Kg)	<b>25</b>	20	50	30,4 - 52,78
Ferro (mg/Kg)	<b>10.000</b>	-	-	
Mercurio (mg/Kg)	<b>2,5</b>	1	5	0,5 - 0,8
Selenio (mg/Kg)	<b>7,8</b>	3	15	
Tallio (mg/Kg)	<b>0,88</b>	1	10	2,34 - 2,73

**Tabella 3 :** elementi chimici significativi del campione di terreno alveo Fosso Colombo

Nella Tabella 3 si osservano alcuni elementi significativi ricavati da un campione di sedimento prelevato nell'alveo del Fosso Colombo, a poca distanza dalla sorgente PAF 2.

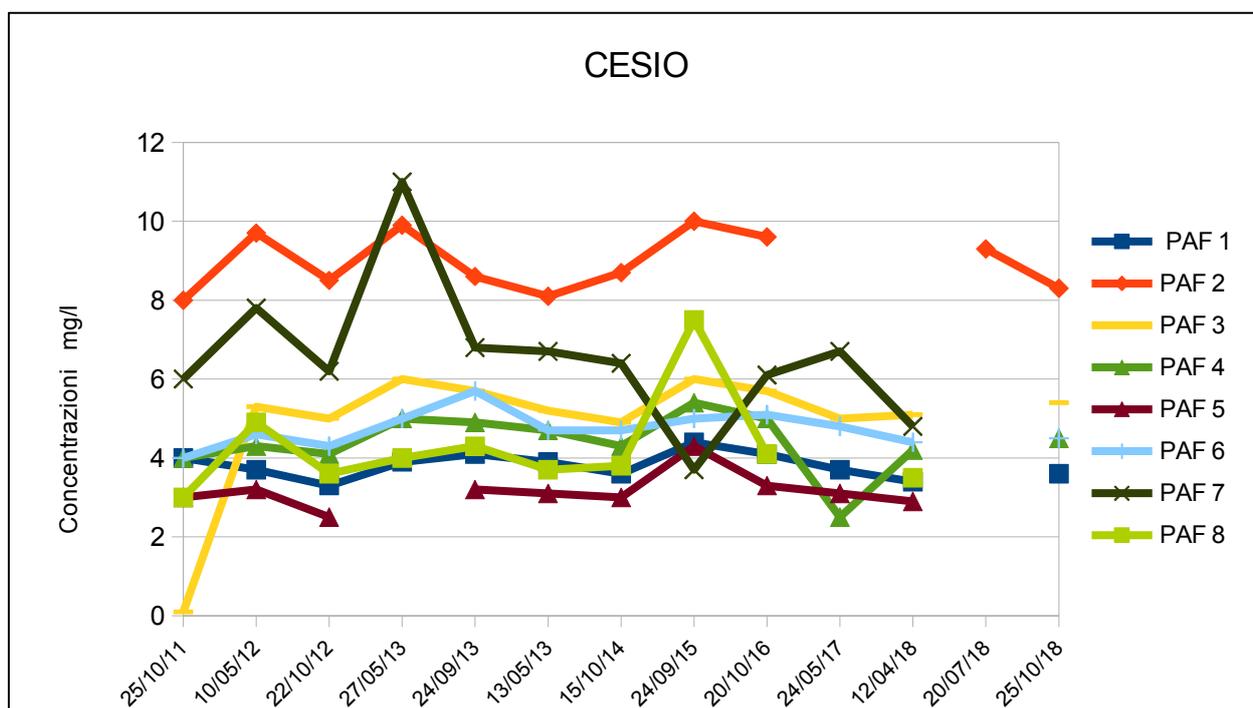
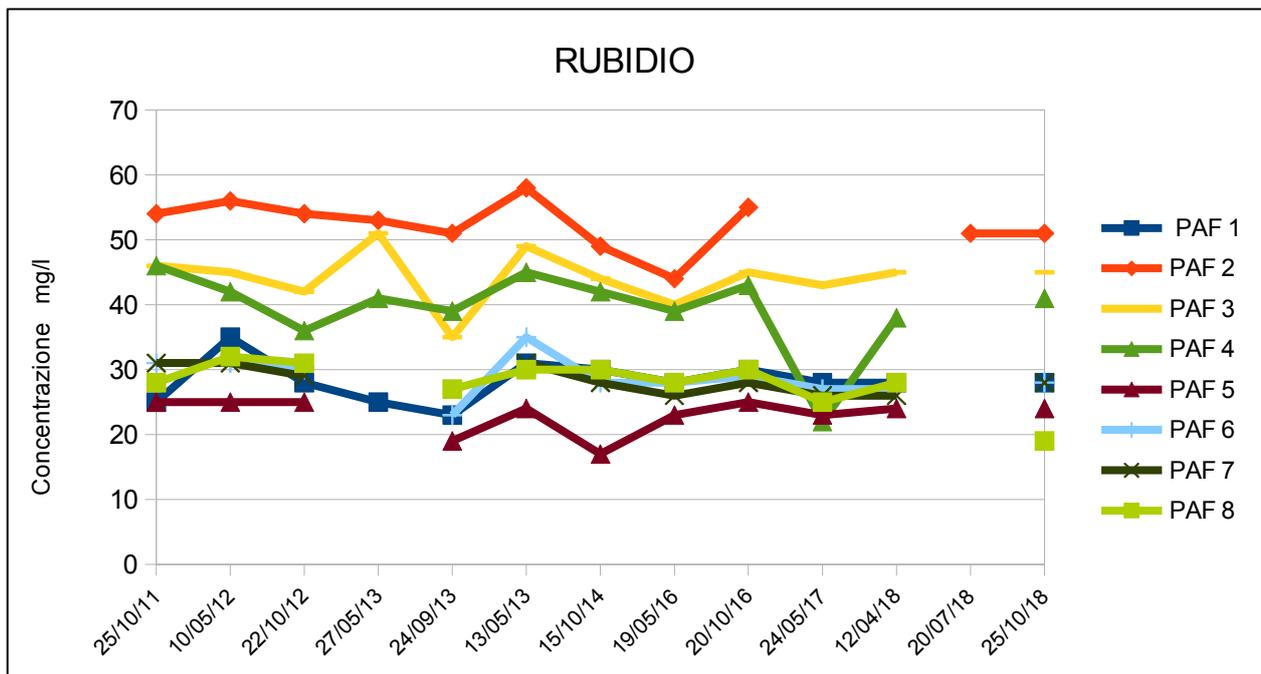
Premesso che le concentrazioni di soglia di contaminazione (CSC), sia per destinazione d'uso residenziale che per destinazione d'uso commerciale/industriale (rispettivamente colonna A e B vedi tab.3), non costituiscono un limite applicabile ai sedimenti fluviali, bensì ai siti in bonifica, tali valori sono stati utilizzati come mero riferimento al fine di individuare uno stato di qualità ambientale. Dall'esame della tabella 3 si evincono superamenti della Colonna A per quanto attiene all'arsenico, al mercurio e al selenio. Il ferro, pur non avendo un limite in quanto macrocostituente dei terreni, presenta una concentrazione molto elevata. Il tallio mostra un valore prossimo, ma inferiore, a quello della Col. A.

Un importante studio geostrutturale, idrogeologico e geochemico condotto sull'Amiata dall'Università di Siena [1], al quale si rimanda per approfondimenti, evidenzia a pag. 212, alcune misure dei valori di arsenico, mercurio e tallio nei suoli la cui roccia madre è rappresentata dalle vulcaniti a chimismo trachidacitico del complesso vulcanico del Monte Amiata, del complesso neoautoctono e unità liguridi, tutte rocce comunque esterne alle aree interessate dall'attività di sfruttamento della risorsa geotermica e con bassa pressione antropica. Il range di variabilità dell'arsenico oscilla tra 30,4 e 52,78 mg/kg, pertanto valori che risultano superiori a quelli ricavati nel campione di terreno sul Fosso Colombo. Dallo stesso studio si ricava che i materiali

di alveo dei corsi d'acqua il cui bacino insiste maggiormente sulle vulcaniti amiatine, in particolare sulle trachidaciti della *Formazione di Quaranta* come nel caso in esame, possiedono contenuti in arsenico tra 40 e 100 mg/kg.

Per quanto attiene il mercurio i valori ricavati nelle rocce vulcaniche oscillano in un range tra 0,5 e 0,8 mg/kg, mentre nel campione di terreno il valore ricavato risulta più alto e pari a 2,5 mg/kg; per il tallio il range si pone tra 2,34 e 2,73 mg/kg e quindi superiore ai valori ricavati nel campione di suolo del Fosso Colombo.

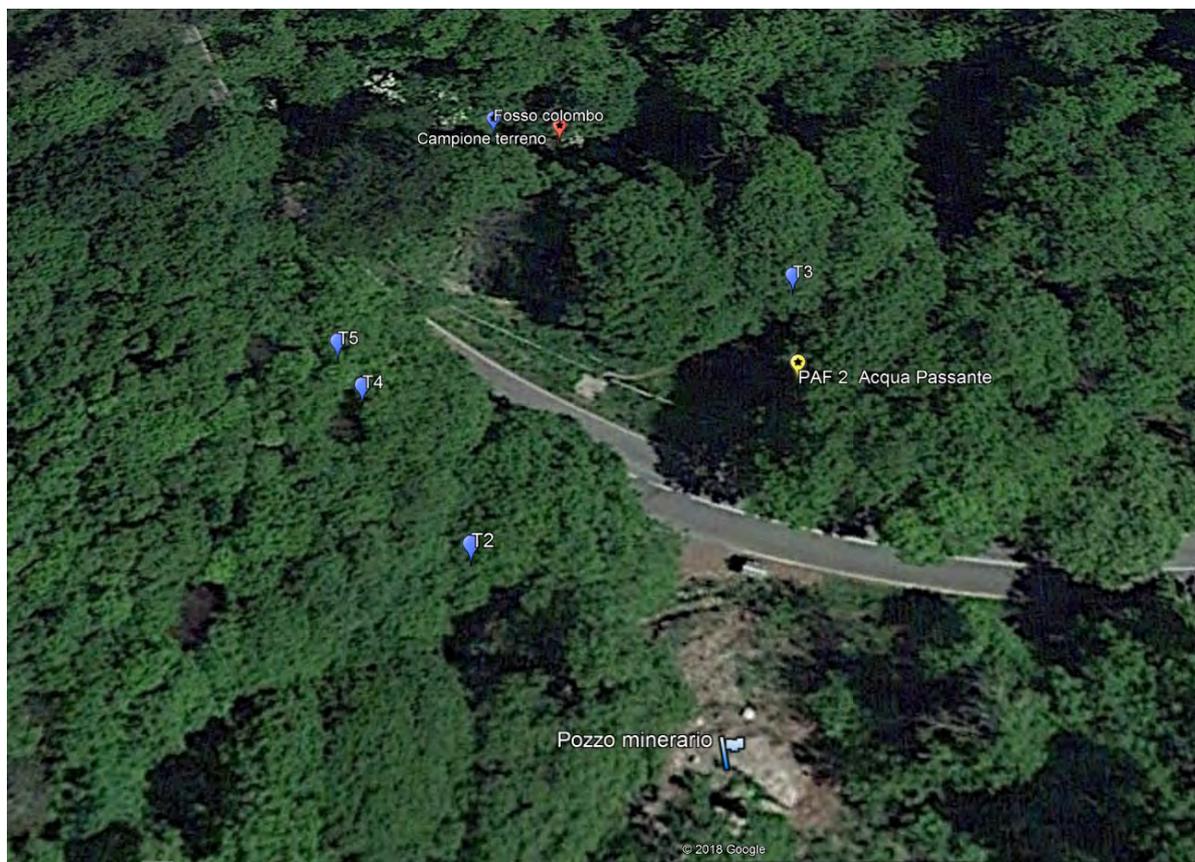
Quanto sopra, riporta i valori ricavati nel terreno del Fosso Colombo, all'interno di un quadro geochimico del territorio del Monte Amiata già delineata dallo studio dell'Università di Siena.



## 4.2 Il campionamento del suolo

Un'ulteriore indagine è stata effettuata su alcuni campioni di suolo e roccia prelevati nell'area al contorno della PAF 2 al fine di valutare il pH del terreno circostante. Nell'ottobre 2018 sono stati prelevati altri 4 campioni di terreno dei quali il T2, è un campione di suolo prelevato a monte strada su di un fronte di suolo naturale (vedasi figura successiva) a prevalente natura torbosa. Il T3, anch'esso di suolo, è stato prelevato poco a valle della sorgente PAF 2, in un pianoro ad essa adiacente.

Il T4, prelevato subito a monte strada, rappresenta un campione di soprassuolo in parte torboso ma con presenza di frammenti di roccia vulcanica. Infine, il T5, rappresenta un campione di roccia di natura vulcanica, prelevato a monte strada.



**Figura 7** : Ubicazione campioni di Terreno nell'area adiacente a PAF2



**Foto 3 e 4** : Punti di campionamento di suolo T2 a sx e T4 a dx

Le risultanze delle analisi dei campioni di terreno evidenziano che i suoli risultano prevalentemente acidi (eccetto T3, con valore di pH neutro). Marcata è la concentrazione del ferro che per i campioni prevalentemente torbosi si attesta a valori ben oltre i 10.000 mg/kg mentre per il campione di roccia vulcanica ed il soprassuolo roccioso, il valore è di circa 5.000 mg/kg. Il Tallio è presente con valori in alcuni casi significativi.

	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
	Suolo	Suolo	Suolo	Roccia
<b>pH</b>	5.8	7	5.1	5.4
<b>Arsenico</b> (mg/kg)	33	50	24	14
<b>Ferro</b> (mg/kg)	16000	11000	4600	4700
<b>Mercurio</b> (mg/kg)	0.89	3	1.2	0.42
<b>Vanadio</b> (mg/kg)	41	40	37	46
<b>Tallio</b> (mg/kg)	0.21	1.45	0.84	0.28

**Tabella 4:** elementi chimici significativi nei campioni di suolo

La zona circostante la sorgente di Acqua Passante presenta un quadro generale del complesso suolo/acqua sostanzialmente caratterizzato da un pH acido. Tale condizione permette di avere una maggiore capacità di aggressione chimica sulle rocce presenti in loco, che risultano in maniera naturale ricche in minerali contenenti metalli quali mercurio, ferro e tallio, elementi che in forme e modalità diverse si riscontrano nelle acque e nel suolo. Tale risultato conferma il quadro geologico derivante dalla stratigrafia del sondaggio minerario, che evidenziava per i primi 3 metri dal piano campagna un terreno torboso quindi con caratteristiche acide.

### **4.3 La valenza termale della sorgente Acqua Passante**

I valori di concentrazione del rubidio, del cesio e del litio sono considerati indicatori delle acque termali. A questo proposito, sono stati messi a confronto tutte le PAF monitorate nel corso degli ultimi anni da ARPAT utilizzando i valori del rubidio e del cesio.

I diagrammi di seguito riportati mettono in evidenza come il PAF2 – Acqua Passante per i due parametri sopra indicati, presenta valori maggiori rispetto alle altre acque di sorgente distribuite per tutta l'area amiatina. Quanto sopra sembra indicare un'influenza termale sulla circolazione idrica superficiale che alimenta la PAF2.

#### **4.4 Il pozzo minerario e l'area al contorno**

Infine, per l'analisi completa del punto critico di PAF 2 è opportuno evidenziare alcuni elementi significativi derivanti dalla presenza del pozzo minerario a monte strada e posizionato a circa 30 metri dalla sorgente.

A questo proposito risulta di grande importanza il lavoro di Nisi, Vaselli et alii (2014) [3] (al quale si rimanda per gli opportuni approfondimenti) nel quale viene evidenziato che dal camino del pozzo di Acqua Passante fuoriescono gas, costituiti prevalentemente da CO<sub>2</sub>, (circa 1800 T/anno) ed in subordine N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S.

Questi gas derivano dal sistema idrotermale profondo dell'area amiatina e raggiungono naturalmente la superficie attraverso fratturazioni geologiche. Come evidenziato precedentemente, la presenza nell'area in esame di una copertura detritica derivante da frane quiescenti ed attive implica un quadro geologico di superficie costituito da materiale sciolto e quindi permeabile. Tale condizione permette un più agevole flusso di gas dal terreno verso l'atmosfera. Questa specifica situazione di passaggio di CO<sub>2</sub>, determina l'anomalia di questa specifica porzione di territorio, che rende il suolo torboso con pH acido e con presenza di metalli, condizionando di conseguenza la sorgente superficiale e il torrente adiacente (Fosso Colombo) con le medesime caratteristiche.

## 5. CONCLUSIONI

La possibilità di avere a disposizione un insieme di dati costituito dal monitoraggio di 26 punti di campionamento tra acque sotterranee e superficiali che coprono tutta la cornice del complesso vulcanico del Monte Amiata per un periodo di tempo di circa 15 anni, offre una serie di informazioni che possiamo ritenere sufficienti per avere una quadro di sintesi oggettivo.

L'elaborazione dei dati evidenzia che le acque superficiali e sotterranee del Monte Amiata possiedono un valore di concentrazione di tallio prevalentemente  $<0,1 \mu\text{g/l}$ .

In alcune sorgenti o impluvi, qualche volta si registrano valori appena superiori e comunque ampiamente al di sotto dei limiti di legge.

L'analisi della concentrazione del tallio alle emissioni delle centrali geotermoelettriche evidenzia che generalmente tali impianti non risultano fonti di produzione significativa di questo metallo. È stata riscontrata un'anomalia presente nel campione alle emissioni della centrale Bagnore4 Grp2 (aprile 2018), in cui è stato registrato un valore di poco superiore al limite di quantificazione analitica ( $0,2 \mu\text{g/l}$ ). Il parametro Tallio è stato comunque inserito nei profili analitici applicati ai normali controlli, pertanto l'anomalia indicata sarà costantemente monitorata e verificata nel tempo.

In un solo punto, nella sorgente PAF 2 Acqua Passante sita nel Comune di Abbadia San Salvatore (SI), si è rilevato nelle acque un valore di tallio (circa  $17 \mu\text{g/l}$ ) ampiamente superiore al limite di legge che si mantiene costante nel tempo. Sebbene la sorgente non faccia parte del sistema della rete idrica locale, che la portata sia tendente a zero e per la quale, comunque, le Autorità Competenti hanno già posizionato cartelli di non potabilità di queste acque, si è cercato di dare alcune sommarie indicazioni su questa singola anomalia geochimica per la quale si ritiene opportuno realizzare approfondimenti.

La presenza di un pozzo esplorativo minerario dal quale fuoriescono gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  etc.), e dalla presenza al contorno di circolazioni gassose attraverso il terreno, sono certamente una anomalia geologica che condiziona chimicamente le rocce vulcaniche presenti già di per se particolarmente mineralizzate. La  $\text{CO}_2$  gassosa trasformandosi in acido in ambiente a saturazione idrica, rende il terreno e le acque particolarmente acide nell'area al contorno della sorgente di Acqua Passante. Acque così aggressive si ritiene, con buona probabilità, che abbiano lisciviato orizzonti o depositi mineralizzati, costituiti prevalentemente da rocce contenenti minerali di ferro e mercurio, classici dell'area del Monte Amiata.

Non è un caso infatti che riscontriamo nei suoli analizzati intorno alla sorgente Acqua Passante valori di ferro di oltre  $10.000 \text{ mg/kg}$  e nelle acque della sorgente PAF2 valori spesso superiori ai  $0,2 \text{ mg/l}$ . Si può ipotizzare quindi che in associazione a minerali di pirite possa essere presente nel sottosuolo anche della pirite tallifera che, di fatto, in ambiente acido abbia ceduto tallio nei terreni e nelle acque circolanti.

Non è comunque da escludere che una parte della concentrazione di tallio possa derivare da fenomeni di lisciviazione diretta delle rocce vulcaniche presenti (che detengono naturalmente contenuti significativi di questo metallo come espresso in Mantelli et alii [3]) in relazione alla alla circolazione di acque aggressive.

Per quanto attiene altre conclusioni di carattere generale, si ricorda come l'analogia della chimica dei metalli pesanti e dei nutrienti essenziali delle piante può provocare dei fenomeni di "antagonismo", ossia l'assimilazione dei metalli pesanti da parte delle piante dovuto alla sostituzione di essi ai macronutrienti, come lo zolfo, il potassio e i fosfati. Le interazioni

possibili tra i metalli pesanti e i macronutrienti sono elencati nella tabella 3 (Violante 2005) ed evidenziano come il potassio può essere sostituito in natura dal tallio. L'assorbimento del tallio da parte della vegetazione è funzione dell'acidità del suolo e delle specie vegetali.

<b>Elemento</b>	<b>Antagonismo</b>
As	P, S
Cd	Ca, P, K
Cr	Ca, Mg, P, K
Hg	P, K
Ni	Ca, Mg, P
Pb	Ca, P, S
Se	P, S
Tl	K

## **6 BIBLIOGRAFIA**

- [1] Università di Siena, *Studio geostrutturale, idrogeologico e geochemico ambientale dell'area amiatina*. SIENA 10 ottobre 2008
- [2] Mantelli, d'Elia, Menichetti – *ARPAT: Presenza di tallio in alcune acque della Toscana* Giornata di studio Milano 10/05/2017
- [3] Nisi, Vaselli *et alli*. ANNALS OF GEOPHYSICS (2014) : *Origin of the released from the Acqua Passante ed Ermeta wells and possible environmental implications for their closure*.
- [4] EPA (September 2009), *Toxicological review of thallium and compounds*
- [5] Daniela Nuvolone – *Salute sull'Amiata: indagine Invetta, a che punto siamo-02 maggio 2018* – <https://www.ars.toscana.it/2-articoli/3945-salute-sull-amiata-indagine-invetta-a-che-punto-siamo-geotermia-toscana.html>

## **APPENDICE**

**Determinazione del tallio  
alle emissioni delle centrali geotermoelettriche  
e alle immissioni in aria ambiente**

**Area Vasta Sud - Settore Geotermia  
Responsabile - Ivano Gartner**

**Scopo**

Il presente documento, in appendice, ha lo scopo di integrare la relazione madre relativa ai risultati circa la verifica delle quantità di tallio presenti nelle acque superficiali e sotterranee, di cui ai piani di monitoraggio previsti.

**Sintesi della relazione**

Nella presente appendice sono riepilogati i risultati relativi alla determinazione del tallio alle emissioni delle centrali geotermoelettriche ENEL GP che sfruttano l'alta entalpia. Le determinazioni delle concentrazioni di tallio sono state svolte su campioni prelevati in occasione dei previsti controlli alle emissioni, anno 2018 (fino al mese di settembre) e hanno riguardato sia la matrice liquida (condensa) sia la matrice "gas-vapore".

Sono inoltre riportati i dati relativi alla determinazione del tallio in aria ambiente determinati presso la centralina ARPAT di qualità dell'aria (QA) installata nell'abitato di Montecerboli (Pomarance).

Il tallio è un elemento non previsto nei consueti profili analitici di monitoraggio relativi sia delle acque, sia alle emissioni che in atmosfera ma, a seguito dell'improvviso interesse verso questo elemento come possibile causa sia di problematiche sanitarie che di contaminazione ambientale, è stato ritenuto utile verificare l'effettivo impatto determinato dalle emissioni di tallio da parte delle centrali geotermoelettriche e altresì la verifica delle quantità di tallio presente in aria ambiente, al fine di integrare i dati registrati nelle acque superficiali e sotterranee.

## Risultati alle emissioni delle centrali geotermoelettriche

Nella sottostante tabella 1 sono riepilogati i risultati ottenuti nel 2018 (fino a settembre).

**Tabella 1**

CENTRALE	DATA	PUNTO PRELIEVO	MATRICE (campione)	TALLIO ( $\mu\text{g/l}$ )
Bagnore 4 Grp 1 (Santa Fiora)	marzo 2018	Uscita condensatore	condensa	< 0,1
		Vasca torre	condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1
		reiniezione	condensa	< 0,1
		Uscita torre	gas-vapore	< 0,1
		Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
Bagnore 4 Grp 2 (Santa Fiora)	aprile 2018	Uscita condensatore	Condensa	< 0,1
		Vasca torre	Condensa	< 0,1
		Reiniezione	Condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1
		Uscita torre	gas-vapore	<b>0,2</b>
		Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
Bagnore 3 (Santa Fiora)	maggio 2018	Uscita torre	gas-vapore	< 0,1
		Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
Rancia 1 (Radicondoli)	giugno 2018	Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
		Uscita condensatore	Condensa	< 0,1
		Vasca torre	condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1

CENTRALE	DATA	PUNTO PRELIEVO	MATRICE (campione)	TALLIO ( $\mu\text{g/L}$ )
Rancia 2 (Radicondoli)	luglio 2018	Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
		Uscita condensatore	Condensa	< 0,1
		Vasca torre	condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1
PC - 4 (Piancastagnaio)	luglio-agosto 2018	Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
		Uscita torre	gas-vapore	< 0,1
		Uscita condensatore	Condensa	< 0,1
		Vasca torre	condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1
PC - 5 (Piancastagnaio)	settembre 2018	Uscita compressore	gas-vapore	< 0,1
		Uscita AMIS	gas-vapore	< 0,1
		Uscita torre	gas-vapore	< 0,1
		Uscita condensatore	Condensa	< 0,1
		Vasca torre	condensa	< 0,1
		Uscita AMIS	condensa	< 0,1

Tutti i risultati ottenuti risultano inferiori alla soglia di sensibilità del metodo (< Limite di Quantificazione), eccetto per il campione di gas-vapore in uscita dalla torre refrigerante della centrale di Bagnore4 Grp2 (aprile 2018). L'elaborazione del dato in concentrazione con la portata dell'aeriforme in uscita dalla torre, ha determinato un valore in flusso di massa di **0,03 g/h**.

Tenuti presenti i risultati fino ad oggi ottenuti, si può ragionevolmente ritenere che le emissioni di tallio delle centrali geotermoelettriche, siano non significative.

### **Risultati presenza di tallio in aria ambiente**

I dati disponibili sulla concentrazione di tallio presente in aria nelle aree geotermiche, sono solo relativi alla stazione QA di ARPAT installata presso l'abitato di Montecerboli (Comune di Pomarance).

Sono stati analizzati 24 campioni relativi alla campagna 2017 e 10 campioni relativi alla campagna 2018, in totale 34 campioni (7 bianchi e 27 campioni settimanali).

Tutti i campioni hanno dimostrato concentrazioni di tallio inferiori alla sensibilità analitica del metodo applicato (espresso come LOQ - limite di quantificazione) ovvero  $< 0,5 \mu\text{g/l}$  (nella maggior parte dei casi il valore determinato sui filtri esposti risultava non distinguibile dal valore del bianco).

Tenuto presente quanto sopra esposto, si può ragionevolmente ritenere che le concentrazioni in aria di tallio siano **non significative**.



**ARPAT**

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana  
via N. Porpora 22, 50144 Firenze – tel. 05532061  
[www.arpat.toscana.it](http://www.arpat.toscana.it)