



# MISCELLANEA INGV

La Solfatarata di Penna in Teverina (Terni)  
Storia di un incontro tra scienza,  
istituzioni e società



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

67



**Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

**Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)  
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

**Segreteria di Redazione**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore  
Rossella CELI  
Robert MIGLIAZZA  
Barbara ANGIONI  
Massimiliano CASCONI  
Patrizia PANTANI  
Tel. +39 06 51860068  
redazione@ingv.it

**REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO**

© 2014 INGV Istituto Nazionale  
di Geofisica e Vulcanologia  
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI  
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



**ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**

# MISCELLANEA

# INGV

## La Solfatarata di Penna in Teverina (Terni) Storia di un incontro tra scienza, istituzioni e società

Corrado Castellano<sup>1</sup>, Daniele Cinti<sup>1</sup>, Giuliana D'Addezio<sup>1</sup>, Stefano Paoluzzi<sup>2</sup>,  
Monia Procesi<sup>1</sup>, Federico Varazi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Sismologia e Tettonofisica

<sup>2</sup>Sindaco di Penna in Teverina (TR)

<sup>3</sup>Divulgatore scientifico e Responsabile scientifico del Museo dell'Energia di Ripi (FR)

Accettato 27 gennaio 2022 | Accepted 27 January 2022

Come citare | *How to cite* C. Castellano, D. Cinti, G. D'Addezio, S. Paoluzzi, M. Procesi, F. Varazi, (2022). La Solfatarata di Penna in Teverina (Terni). Storia di un incontro tra scienza, istituzioni e società. Misc. INGV, 67: 1-40, <https://doi.org/10.13127/misc/67>

In copertina Immagine del trekking durante la spiegazione del fenomeno naturale davanti alla Solfatarata di Penna in Teverina | *Cover Picture of the trekking during the explanation of the natural phenomenon in front of the Solfatarata di Penna in Teverina*



# INDICE

<b>Introduzione</b>	<b>7</b>
<b>1. Il contesto</b>	<b>7</b>
<b>2. Il progetto</b>	<b>9</b>
<b>3. Le giornate divulgative</b>	<b>11</b>
<b>4. Rassegna stampa online</b>	<b>14</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>16</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>16</b>
<b>Allegato tecnico</b>	<b>17</b>



## Introduzione

Il presente lavoro descrive l'iniziativa divulgativa svoltasi nel mese di settembre 2021 presso il Comune di Penna in Teverina (TR), nell'ambito del progetto *Scienze Together NET*, dal titolo: "Alla scoperta della Solfatarata di Penna in Teverina". L'iniziativa ha visto la partecipazione di ricercatori e tecnici dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), del Comune di Penna in Teverina, del Museo dell'Energia di Ripi e del Sistema Museale Resina, la rete tematica della Regione Lazio dedicata ai musei scientifico-naturalistici del territorio.

Nel lavoro vengono delineate le varie fasi del progetto a partire dall'ideazione, alla realizzazione dei prodotti e all'organizzazione delle giornate divulgative.

Il successo dell'iniziativa, che ha visto la partecipazione di ragazzi e studenti delle scuole primarie e secondarie di primo grado, nonché di molti cittadini, è testimoniato dalle fotografie a corredo del testo e dalla eco mediatica on-line riportata nel lavoro. Insomma, una bella storia dell'incontro tra istituzioni, scienza e società.

Keywords | Divulgazione scientifica; Geodinamica; Polle d'acqua | Popular science; Geodynamics; Bubbling pools

---

## 1. Il contesto

Penna in Teverina, con circa mille abitanti, è, per superficie, il più piccolo comune dell'Umbria. Sorge su una collina che si affaccia sulla valle del fiume Tevere a una trentina di chilometri dalla città di Terni. Come spesso accade per i borghi sparsi in tutto il territorio italiano, anche Penna in Teverina possiede dei tesori. Alcuni sono tesori intimi, quasi celati, come il meraviglioso *presepe de la Penna*, che si trova stabilmente installato presso un locale adiacente alla chiesa di Santa Maria della Neve, sulla piazzetta centrale del paese e che richiama migliaia di visitatori ogni anno da tutte le parti del paese e non solo. La stessa chiesa, dedicata alla Madonna della Neve, porta nel suo nome un'antica tradizione, la quale narra che nel IV secolo, sotto il pontificato di Papa Liberio, un nobile e ricco patrizio romano di nome Giovanni insieme alla sua nobile moglie, non avendo figli, decisero di offrire i propri beni alla Santa Vergine per la costruzione di una chiesa a lei dedicata. La Madonna, apprezzando il loro desiderio, apparve in sogno ai coniugi la notte fra il 4 e il 5 agosto, indicando con un miracolo il luogo dove sarebbe sorta la chiesa. Il giorno seguente i coniugi romani si recarono dal Papa per raccontare il sogno fatto da entrambi: poiché anche il Pontefice aveva fatto lo stesso sogno, si recarono sul posto indicato, il Colle Esquilino, che fu trovato coperto di neve in piena estate. Il Papa tracciò il perimetro della nuova chiesa (la futura Basilica di Santa Maria Maggiore) seguendo la superficie del terreno innevato e fece costruire l'edificio sacro a spese dei nobili coniugi.

La visita al presepe e alla magnifica piazza San Valentino, che ospita la chiesa di Santa Maria della Neve, varrebbe da sola una passeggiata a Penna. Ma non basta. Esistono tesori esposti, magari da migliaia di anni, distrattamente visti ma non guardati, spesso sottovalutati o dati per scontato. Tesori che la natura crea e plasma nel corso dei millenni. È questo il caso della Solfatarata di Penna in Teverina.

Le solfatarate sono tra le testimonianze visibili in superficie dei movimenti e delle trasformazioni cui il nostro Pianeta è soggetto nel corso delle ere geologiche. Insieme ai terremoti e alle eruzioni vulcaniche, alla tettonica a placche e alla geotermia, esse evidenziano l'esistenza di un'intensa attività che trae origine dall'interno della Terra e che viene studiata dalle varie branche di una

disciplina chiamata Geodinamica. Le solfatare sono, in particolare, testimonianza del processo di degassamento terrestre che interessa vaste porzioni del territorio italiano ([http://www.magadb.net/global\\_map/](http://www.magadb.net/global_map/)) e che comporta l'immissione, in atmosfera, di notevoli quantità di gas, principalmente anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). L'emissione di gas endogeni ricchi in anidride carbonica interessa aree vulcaniche attive ed estinte, aree geotermiche e aree non vulcaniche e si concentra principalmente nel settore tirrenico dell'Italia [Chiodini, 2014]. L'emissione di gas può avvenire in modo episodico (ad es. durante le eruzioni vulcaniche o a seguito di un terremoto) e in modo continuo, da manifestazioni puntuali (soffioni, mofete) e da aree di degassamento diffuso, nonché da acque naturalmente gassate. Ed è proprio il rapporto tra la quantità di acqua che circola nel sottosuolo e i flussi di gas endogeni risalenti verso la superficie a stabilire la formazione, la distribuzione e l'estensione areale delle aree caratterizzate da degassamento. La presenza di acqua, sia piovana sia di falda, nelle aree di degassamento è inoltre responsabile del caratteristico fenomeno delle bubbling pools, ossia polle d'acqua che "ribollono" non a causa di alte temperature ma per lo sprigionarsi violento di gas endogeni. La presenza nelle solfatare di gas asfissianti e tossici per la salute umana quali, rispettivamente, la CO<sub>2</sub> e l'idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S), quest'ultimo responsabile del caratteristico odore di uova marce, rende queste aree potenzialmente pericolose per l'uomo e per gli animali che accidentalmente vi accedono. Ciò è dovuto in modo particolare alle caratteristiche fisiche della CO<sub>2</sub> (inodore, incolore e più pesante dell'aria) che, in particolari condizioni meteorologiche (alta pressione atmosferica, bassa temperatura dell'aria, assenza di vento) e morfologiche (presenza di aree depresse e chiuse al ricambio di aria) forma dei veri e propri "laghi" di gas.

**Figura 1** Rappresentazione su mappa della località di Penna in Teverina. A circa un chilometro a sud-est sorge la Solfatara, proprio al confine tra Umbria e Lazio (elaborazione di immagine tratta da Google Earth).



Stefano Paoluzzi, un giovane sindaco curioso e appassionato al tempo stesso, e Federico Varazi, un geologo con il pallino per la divulgazione scientifica, hanno cominciato quindi a pensare a come poter valorizzare l'area della Solfatara. Da qualche tempo l'area in questione è oggetto di interesse per un suo recupero sia dal punto di vista infrastrutturale che della fruizione cognitiva. Il sito dove sorge la Solfatara è in parte una proprietà privata e in parte suolo pubblico. Attraverso accordi con la proprietà e attingendo a risorse sia locali che europee (Reg. UE 1305/2013. Programma di Sviluppo Rurale per l'Umbria 2014-2020 Piano di Azione Locale Area Omogenea Ternano - Narnese - Amerino 2014 - 2020 Misura 19 - sottomisura 19.2, tipo intervento 19.2.1., azione 19.2.1.2. "riqualificazione percorsi ed itinerari a fini turistici") il Comune è riuscito a ristrutturare l'area con l'installazione di passerelle in legno che costeggiano la Solfatara a una distanza di sicurezza dalla quale poter osservare il fenomeno naturale senza correre alcun rischio. A completare l'opera vengono installati due spazi espositivi con pannelli esplicativi. Prende forma, in pratica, quello che diventerà un vero e proprio percorso della conoscenza, un museo a cielo aperto.

Parallelamente al discorso infrastrutturale e con l'obiettivo di rendere maggiormente fruibile l'area, dotata di un ecosistema al tempo stesso interessante e misterioso, si è pensato quindi di reperire materiale in letteratura che potesse essere di supporto a iniziative pensate per la popolazione del posto e non solo. Le ricerche hanno condotto a diverse pubblicazioni di carattere scientifico nelle quali il fenomeno delle solfatare e, più in generale, del degassamento veniva spiegato in molte delle sue componenti principali (composizione chimica delle acque e dei gas emessi dal sottosuolo, descrizione del processo di degassamento e contesto geodinamico dell'Italia Centrale) e nelle quali veniva spesso citata la stessa Solfatarata di Penna in Teverina [Cardellini et al., 2003; Chiodini, 1994; Chiodini et al., 1995, 1999, 2000, 2004; Cinti et al., 2014, 2019; Frondini, 2008; Frondini et al., 2012]. Alcuni degli autori delle pubblicazioni sono ricercatori presso l'INGV, ente con il quale in passato Federico Varazi ha avuto modo di collaborare in numerose iniziative dedicate alla divulgazione della scienza. Da qui è cominciata quindi un'interlocuzione che rapidamente ha messo sul tavolo una serie di idee e risorse che si sono concretizzate con l'iniziativa che si è svolta nei giorni 10 e 11 settembre 2021 a Penna in Teverina (TR) dal titolo: "Alla scoperta della Solfatarata di Penna in Teverina" (Figura 2).



Figura 2 Locandina della manifestazione "Alla scoperta della Solfatarata di Penna in Teverina" svoltasi a Penna in Teverina il 10 e 11 settembre 2021.

## 2. Il progetto

La manifestazione del 10 e 11 settembre è stata il punto di arrivo di un progetto più ampio e di lungo respiro. Il primo passo è stato quello di consolidare le conoscenze dal punto di vista scientifico e bibliografico. Si è deciso quindi di redigere una relazione tecnico-scientifica che potesse rappresentare una sintesi degli studi scientifici svolti nell'area e che fosse facilmente reperibile presso la biblioteca da qualsiasi cittadino volesse approfondire lo studio del sito (anche attraverso una ricca bibliografia alla quale poter attingere). A questo scopo i ricercatori INGV hanno elaborato un rapporto tecnico-scientifico che è stato consegnato agli atti del Comune di Penna in Teverina (vedi M. Procesi et al. [2021] in Allegato tecnico).

Una volta elaborato il testo scientifico è stato necessario tradurlo in un linguaggio più divulgativo che consentisse una fruizione il più ampia possibile.

Il testo, redatto dai ricercatori dell'INGV con la collaborazione di tutti i proponenti del progetto, è diventato un pannello di dimensioni 70x100 cm ed è stato installato negli appositi spazi previsti dal percorso espositivo (Figura 3).



Figura 3 Testo del pannello esplicativo (a) e sua collocazione in prossimità della Solfatara (b).

Ultimati la relazione tecnico-scientifica e i testi esplicativi, il passo successivo è stato l'organizzazione dell'evento di divulgazione dei risultati ottenuti. L'INGV da sempre svolge attività di divulgazione e diffusione della cultura scientifica. L'incontro tra scienza e società infatti è proprio la base della cosiddetta "terza missione" che università ed enti di ricerca hanno ormai da diversi anni tra gli obiettivi principali delle loro attività sancite, tra l'altro, nei diversi statuti che le inquadrano normativamente all'interno delle istituzioni pubbliche. Anche l'INGV, pertanto, ha come obiettivo la diffusione della cultura scientifica e tecnologica, attraverso la quale contribuisce all'aumento della conoscenza dei fenomeni naturali e alla conseguente mitigazione e riduzione dei rischi ad essi connessi. Non è stato quindi difficile inserire questa iniziativa all'interno del progetto Scienze Together NET (www.scienzainsieme.it), finanziato dalla CE per la Notte Europea dei Ricercatori 2021 (Figura 4), che da anni vede l'INGV tra i protagonisti della manifestazione.

Figura 4 Locandina della Notte Europea dei Ricercatori, edizione 2021, che illustra le iniziative all'interno del progetto NET.



### 3. Le giornate divulgative

Le due giornate di incontri con gli studenti delle scuole locali (primarie e secondarie di primo grado), i seminari scientifici e le iniziative divulgative, hanno visto coinvolte istituzioni pubbliche, private ed enti di ricerca nazionali e hanno richiamato l'attenzione di molti cittadini del Comune e delle zone limitrofe. L'evento gratuito è stato inserito all'interno dei trekking organizzati dal progetto NET e ha visto la partecipazione del Comune di Penna in Teverina, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), del Museo dell'Energia di Ripi, del Sistema Museale Naturalistico Resina. Venerdì 10 settembre è stato il giorno dedicato alle scuole. Dalle ore 17:00 alle 19:00 nell'area picnic attrezzata per l'occasione si sono svolte attività ludico-didattiche per ragazzi dai sei ai dieci anni. L'iniziativa, denominata "L'alfabeto della Terra Età" (GEO\_Discovery Kit), consisteva nell'osservazione del Pianeta Terra con la lente del geologo per scoprirne i segreti. Riconoscere le rocce, i minerali e i fossili con attività stimolanti, per imparare le lettere dell'alfabeto della Terra e poter leggere il racconto geologico di una storia di milioni di anni. Utile per dare ai più giovani una visione nuova del tempo geologico e del paesaggio naturale, vestendo i panni di uno scienziato.



**Figura 5** Immagini della giornata del 10 settembre. Nelle foto Federico Varazi (a, b, d) e Stefano Paoluzzi (b) durante l'incontro avuto con i ragazzi delle scuole primarie e secondarie di primo grado.

Sabato 11 settembre la giornata si è articolata su tre momenti distinti; un primo incontro pubblico alle 16 nella Sala Conferenze del Centro Sociale "Marchesa Costanza" tra gli

organizzatori del progetto e la popolazione, incentrato sulla presentazione dello studio scientifico della Solfatara e sul fenomeno geochimico naturale.

Successivamente, alle 17:15, la partenza del trekking, che si è sviluppato per una lunghezza di 7 km dal centro del paese fino alla Solfatara e ritorno (Figure 6 e 7).

Figura 6 Locandina della manifestazione relativa al trekking del giorno sabato 11 settembre 2021.

NET è un progetto della Rete europea dei ricercatori finanziata dalla Commissione Europea nell'ambito dello spazio di azione tematica "Growth & Innovation" (CA 4. 101018127)

**SCIENCE TOGETHER NET**

ASPETTANDO LA NOTTE EUROPEA DEI RICERCATORI TREKKING SCIENTIFICI  
Sabato 11 settembre 2021 | ore 17:00  
**Alla scoperta della solfatara, tra geologia e polle gorgoglianti**

**Trekking scientifico in occasione dell'inaugurazione del nuovo percorso didattico della Solfatara**  
Un evento in linea con gli obiettivi del progetto NET: unire e connettere ricerca scientifica, società, istituzioni e associazioni per promuovere la scienza e il territorio, offrendo un'informazione semplice, diretta e coinvolgente.  
L'evento è nato dalla collaborazione tra Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), il Comune di Penna in Teverina, il Museo dell'Energia di Ripi e le associazioni locali.  
Un itinerario ad anello di circa due ore nell'area della Solfatara per conoscere e ammirare i fenomeni geologici e geochimici che caratterizzano questo straordinario territorio. Saranno accompagnati da guide specialiste, i ricercatori dell'INGV che ci racconteranno come questi strani fenomeni si originano, le loro caratteristiche geologiche e geochimiche e come la ricerca scientifica studi e monitori queste particolari manifestazioni geologiche. Un'ottima occasione per apprezzare e comprendere la dinamica del territorio di questa parte dell'Umbria e in generale del Pianeta Terra.

**Evento a gratuito**  
Punto di ritrovo: ore 17:00 partenza da Piazza San Valentino, Penna in Teverina (TR).  
Durata: 1,5 ore | Percorso: 7,5 km su strade sterrate, dislivello 218 mt.  
Difficoltà: medio-bassa. Consigliato ad adulti e bambini/ con età maggiore di 8 anni.  
Consigliate scarpe da ginnastica o escursionismo e cappello para sole.  
Iniziazione: inviare mail a [info@ingv.it](mailto:info@ingv.it)  
Contatti: Monica Procesi [monica.procesi@ingv.it](mailto:monica.procesi@ingv.it), Daniele Cinti [daniele.cinti@ingv.it](mailto:daniele.cinti@ingv.it), Corrado Castellano [corrado.castellano@ingv.it](mailto:corrado.castellano@ingv.it), Federico Virgili [federico.virgili@ingv.it](mailto:federico.virgili@ingv.it)

INGV | Comune di Penna in Teverina | Museo dell'Energia di Ripi | www.scienzainsieme.it

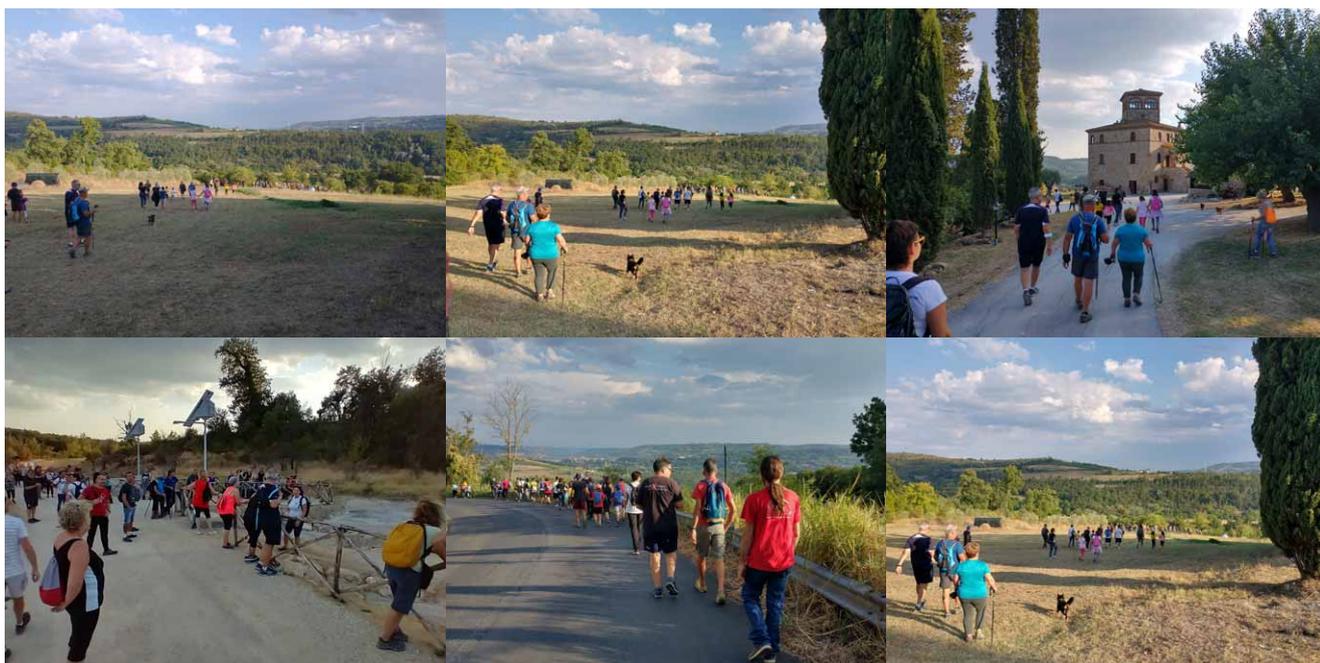


Figura 7 Immagini riprese durante il trekking.

Davanti alla Solfatara si è tenuta, *en plein air*, una spiegazione in diretta del fenomeno naturale e del funzionamento generale delle solfatara.

La popolazione ha potuto interagire con domande e curiosità direttamente con i ricercatori dell'INGV, comprendendo il fenomeno geologico che caratterizza la Solfatara di Penna in Teverina, le sue meraviglie ma anche la sua potenziale pericolosità (Figura 8). Per il Sindaco è stata l'occasione per spiegare i lavori intrapresi per rendere il sito maggiormente fruibile a tutta la popolazione e a turisti e curiosi che in questa occasione hanno partecipato in gran numero e che visiteranno l'area anche in futuro.



Figura 8 Immagini del trekking durante la spiegazione del fenomeno naturale davanti alla Solfatara.

Verso le 19,15 le oltre 120 persone partecipanti al trekking hanno raggiunto nuovamente piazza San Valentino dove ad attenderli hanno trovato una ricca degustazione di prodotti tipici organizzata e offerta dal Comune nella splendida cornice del centro storico (Figura 9). Nell'occasione è stato distribuito ai partecipanti del materiale divulgativo nonché alcuni gadget realizzati dall'INGV e coprodotti all'interno del progetto NET.



Figura 9 Fotografie della degustazione di prodotti tipici in Piazza San Valentino organizzata dal Comune di Penna in Teverina e un campione del materiale divulgativo e dei gadget che sono stati distribuiti gratuitamente in occasione della serata.

In conclusione, l'iniziativa appena descritta nel presente lavoro vuole dare una piccola ma significativa testimonianza di come sia utile e proficuo l'incontro tra istituzioni, scienza e società.

Utile per promuovere la cultura scientifica, per far conoscere e divulgare le attività di ricerca scientifica di uno dei maggiori istituti italiani, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e per diffondere la cultura della prevenzione attraverso una sempre maggior conoscenza e consapevolezza. Questa esperienza rappresenta anche una testimonianza dell'importanza di queste iniziative nell'accompagnare le istituzioni locali nel loro difficile, ma indispensabile, compito di salvaguardia, tutela e valorizzazione del territorio.

#### 4. Rassegna stampa on line

La manifestazione organizzata a Penna in Teverina è stata evidenziata e pubblicizzata da diversi canali di informazione nazionali e locali. Molto spazio è stato dato al lancio dell'iniziativa e questo ha sicuramente veicolato la massiccia partecipazione delle persone che sono accorse anche da paesi e regioni limitrofe.

Di seguito vengono riportati alcuni link recuperati i giorni antecedenti e successivi all'evento dai quali sono stati estratti degli stralci a dimostrazione della buona copertura mediatica ottenuta.

<https://www.orvietonews.it/sapori/2021/09/09/parte-il-transameria-festival-di-slow-food-il-prim-evento-a-penna-in-teverina-89082.html>

<https://m.facebook.com/events/piazza-san-valentino-05028-penna-in-teverina-tr-italia/transameria-festival-alla-scoperta-della-solfatara-di-penna-scienza-trekking-e-d/564873104652569/>

<https://slowfoodumbria1.wordpress.com/transameria-festival/transameria-festival-gli-eventi/>

<https://leterredeiborghiverdi.it/2021/09/05/10-11-settembre-2021-alla-scoperta-della-solfatara-di-penna-scienza-trekking-e-degustazioni/>

<https://www.fondazione Slow Food.com/it/il-tour-dei-viaggi-slow-continua-e-arrivata-la-stagione-della-transameria/>

<https://www.lavocedelterritorio.it/index.php/parte-il-transameria-festival-di-slow-food-il-prim-evento-a-penna-in-teverina/>

<https://www.slowfood.it/appuntamento-con-lo-slow-week-end-alla-ricerca-di-unitalia-buona-pulita-e-giusta/>

<http://www.umbrialeft.it/notizie/appuntamenti>

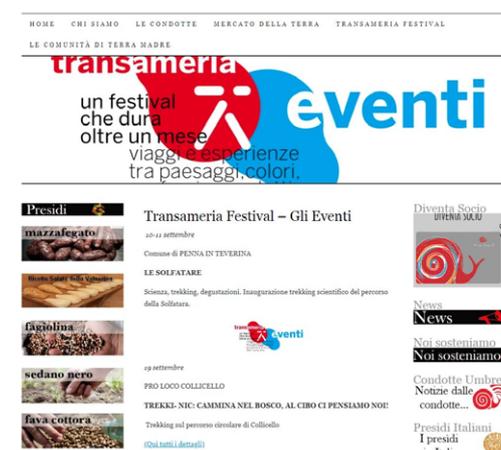


Figura 10 Immagini tratte dalla rassegna stampa on line relative all'evento di Penna in Teverina.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Luca Pizzino per l'attenta revisione del testo, gli utili consigli e l'apprezzamento manifestato per un sempre maggiore impegno degli enti di ricerca nella Terza Missione e più in generale nelle attività di divulgazione e diffusione della cultura scientifica.

## Bibliografia

- Cardellini C., Chiodini G., Frondini F., (2003). *Application of stochastic simulation to CO<sub>2</sub> flux from soil: mapping and quantification of gas release*, *Journal of Geophysical Research*. Volume 108(B9), 2003, 2425, <https://doi.org/10.1029/2002JB002165>
- Chiodini G., (1994). *Temperature, pressure and redox conditions governing the composition of the cold CO<sub>2</sub> gases discharged in north Latium (central Italy)*. *Applied Geochemistry*, Volume 9, Pages 287-295.
- Chiodini G., (2014). *Emanazioni gassose e pericolosità territoriale*, *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*. Volume 96, Pages 189-194.
- Chiodini G., Cardellini C., Amato A., Boschi E., Caliro S., Frondini F., Ventura G., (2004). *Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy*. *Geophysical Research Letters*, Volume 31(L07615), <https://doi.org/10.1029/2004GL019480>
- Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Parello F., Peruzzi L., (2000). *Rate of diffuse carbon dioxide Earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of central Apennine, Italy*. *Journal of Geophysical Research*, Volume 105(B4), Pages 8423-8434.
- Chiodini G., Frondini F., Kerrick D.M., Rogie J., Parello F., Peruzzi L., Zanzari A.R., (1999). *Quantification of deep CO<sub>2</sub> fluxes from central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing*. *Chemical Geology*, Volume 159, Pages 205-222.
- Chiodini G., Frondini F., Ponziani F. (1995). *Deep structures and carbon dioxide degassing in central Italy*. *Geothermics*, Volume 24, Pages 81-94.
- Cinti D., Tassi F., Procesi M., Bonini M., Capecchiacci F., Voltattorni N., Vaselli O., Quattrocchi F., (2014). *Fluid geochemistry and geothermometry in the unexploited geothermal field of the Vicano-Cimino Volcanic District (central Italy)*. *Chemical Geology*, Volume 371, Pages 96-114.
- Cinti D., Vaselli O., Poncia P.P., Brusca L., Grassa F., Procesi M., Tassi F., (2019). *Anomalous concentrations of arsenic, fluoride and radon in volcanic-sedimentary aquifers from central Italy: Quality indexes for management of the water resource*. *Environmental Pollution*, Volume 253, Pages 525-537, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.063>
- Frondini F., (2008). *Geochemistry of regional aquifer systems hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (central Italy)*. *Applied Geochemistry*, Volume 23, Pages 2091-2104.
- Frondini F., Cardellini C., Caliro S., Chiodini G., Morgantini N., (2011). *Regional groundwater flow and interactions with deep fluids in western Apennine: the case of Narni-Amelia chain (central Italy)*. *Geofluids*, <https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2011.00356.x>
- Procesi M., Cinti D., Castellano C., (2021). *Caratterizzazione geochimica dell'area di degassamento naturale di Penna in Teverina (TR)*. Relazione tecnica depositata presso il Comune di Penna in Teverina, prot. dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia N. 0011631/2021 del 14/06/2021.

# ALLEGATO TECNICO





ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

c.a. Eg. Stefano Paoluzzi  
e.p.c. Dr. Federico Varazi

COMUNE DI PENNA IN TEVERINA  
Borgo Garibaldi, 10 - 05028 Penna in Teverina TR -  
info@comune.pennainteverina.tr.it  
comune.pennainteverina@postacert.umbria.it  
Tel. 0744 993326  
federico.varazi@mizarlab.it

U

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Protocollo N.0011631/2021 del 14/06/2021

Con la presente si invia la Relazione dal titolo “*Caratterizzazione geochimica dell’area di degassamento naturale di Penna in Teverina (TR)*” redatta da Monia Procesi, Daniele Cinti e Corrado Castellano nell’ambito del Progetto NET – Science Together, finanziato dalla Comunità Europea. La Relazione sarà utilizzata per la preparazione del materiale divulgativo necessario per la buona riuscita del Trekking Scientifico, organizzato nell’ambito del Progetto da INGV e dal Comune di Penna in Teverina, che si svolgerà durante il mese di settembre 2021.

Roma, 14/06/2021

**Firma**

Giuliana D'Addezio, Referente INGV Progetto NET



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



## Caratterizzazione geochemica dell'area di degassamento naturale di Penna in Teverina (TR)

A cura di Procesi M., Cinti D., Castellano C.

Il comune di Penna in Teverina (TR) si trova a circa 1,5 km dal confine Umbria-Lazio tra i comuni di Giove (TR) ed Orte (VT) ed in sinistra idrografica del fiume Tevere (Fig. 1). All'interno del territorio comunale, in località Montecchie, Solfatara e Poggio delle Streghe, processi geologici legati alla risalita di gas dal sottosuolo (principalmente CO<sub>2</sub>) danno origine ad ampie aree caratterizzate da assenza di vegetazione, suoli fortemente alterati (con formazione di minerali argillosi dalla colorazione grigio-biancastra) e polle di acqua/fango da cui gorgoglia il gas. L'intero areale, che si estende per circa 30 ettari, è ubicato in prossimità del corso del torrente Rio Grande.



Figura 1: Inquadramento topografico dell'area di studio.

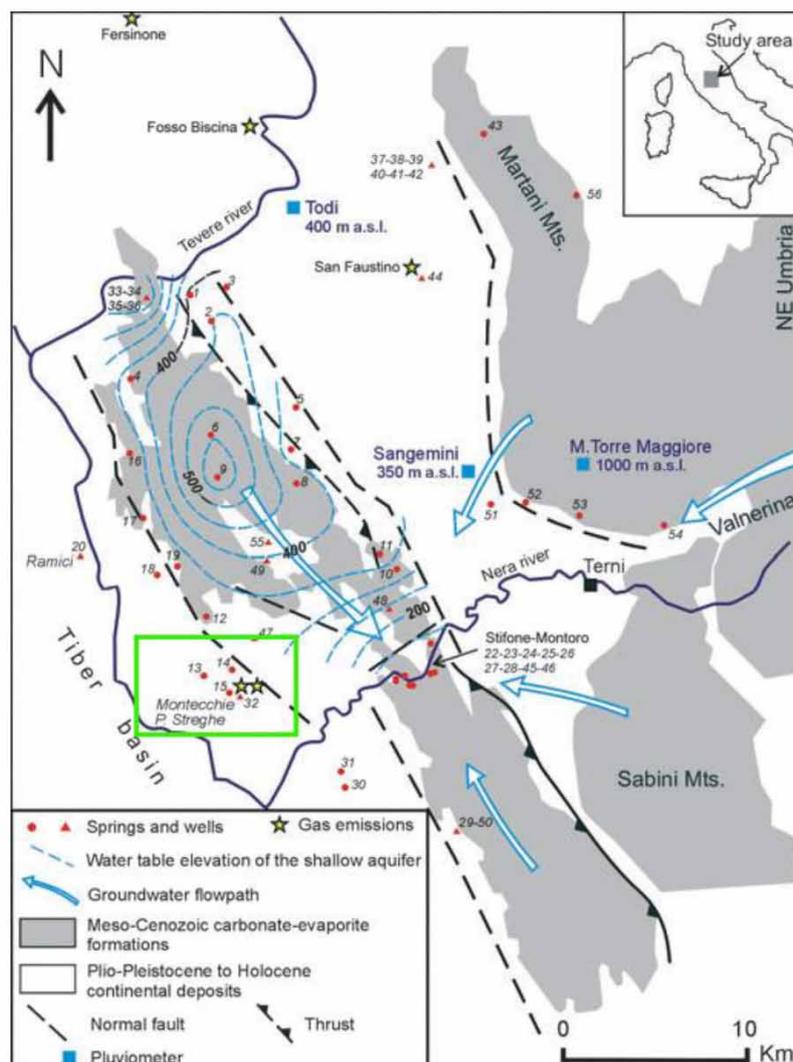


ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



### Assetto geologico, idrogeologico e strutturale

Da un punto di vista geologico l'area è caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi argillosi di origine marina e fluvio-lacustre di età plio-pleistocenica ( $5 \div 0.1\text{Ma}$ ) e, spostandosi verso nord, dai depositi della catena Narnese-Amerina (Fig. 2). Quest'ultima è una dorsale carbonatica lunga circa 45 km, estesa in direzione NW-SE tra il bacino del Paglia-Tevere ad ovest ed il bacino di Todi-Terni ad est, costituita da rocce calcaree e calcari marnosi di età triassico-oligocenica ( $235 \div 25 \text{ Ma}$ ) appartenenti alla Serie Umbro-Marchigiana. In destra idrografica del fiume Tevere si rinvenivano invece i depositi distali del Distretto Vulcanico Vicano-Cimino costituiti in prevalenza da piroclastiti ed ignimbriti, di età compresa tra  $1 \div 0.01\text{Ma}$  (Cimarelli e De Rita, 2008), che ricoprono i depositi plio-pleistocenici pre-vulcanici presenti anche sul versante sinistro.



**Figura 2:** Schema geologico ed idrogeologico semplificato dell'area di studio (modificata da Frondini et al., 2012). In verde l'area di Penna in Teverina.



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



L'assetto strutturale dell'area di studio è il risultato di una iniziale fase compressiva (Miocene Medio-Superiore) e di una successiva fase estensionale plio-pleistocenica (Lavecchia, 1990; Boncio et al., 2000). La fase compressiva ha provocato la deformazione delle strutture carbonatiche e la progressiva formazione di pieghe anticlinali vergenti in direzione est lungo faglie da sovrascorrimento (*thrust*), mentre la successiva fase estensionale ha portato alla formazione di due grandi sistemi di faglie normali che hanno bordato la dorsale di Narni-Amelia ad ovest e ad est (Fig. 2) e conferito all'intera struttura una geometria di tipo *horst-graben*. Durante questa seconda fase nelle aree di *graben* si sono formati i bacini del Paglia-Tevere e di Todi-Terni, riempiti nel tempo da depositi neogenici di origine marina e fluvio-lacustre, travertini e prodotti piroclastici dei vicini distretti vulcanici Vulsino e Vicano-Cimino (Collettini et al., 2000).

L'idrogeologia della catena Narnese-Amerina è dominata da un ampio acquifero, ospitato da dolomie del Triassico, calcari massicci del Giurassico inferiore (formazione del Calcare Massiccio) e calcari stratificati del Giurassico inferiore (formazione della Corniola) drenanti verso le sorgenti di alta portata (circa 13.5 m<sup>3</sup>/s; Mastrolillo et al., 2009), alta salinità ed alta pressione parziale di CO<sub>2</sub> di Stifone-Montoro (Boni et al., 1986) (Fig. 2). Queste sorgenti si trovano nella gola del fiume Nera, nella parte centrale della struttura, tra 75-95 m s.l.m. Altre sorgenti ricche di CO<sub>2</sub> sono presenti ai margini occidentale ed orientale della struttura, dove le rocce carbonatiche sono sepolte sotto la copertura a bassa permeabilità. Queste zone sono inoltre caratterizzate dalla presenza di varie emissioni di gas e di ampie aree di degassamento diffuso del suolo. Al di sopra dell'acquifero principale, alcune piccole falde acquifere sono localmente ospitate nei calcari pelagici e calcari marnosi dal Giurassico superiore all'Oligocene superiore. Queste falde acquifere, che sono separate dalla falda principale da sottili livelli di rocce a bassa permeabilità (*aquicludes*), alimentano diverse piccole sorgenti il cui deflusso è una frazione molto piccola (<1% della portata delle sorgenti Stifone-Montoro) del bilancio idrogeologico dell'intera struttura Narni-Amelia. Sulla base del bilancio idrogeologico dell'unità Narni-Amelia, Mastrolillo et al. (2009) hanno suggerito che tale struttura idrogeologica è probabilmente in continuità idraulica con altre unità idrogeologiche dell'Umbria nord-orientale (Monti Martani e Monti Sabini).

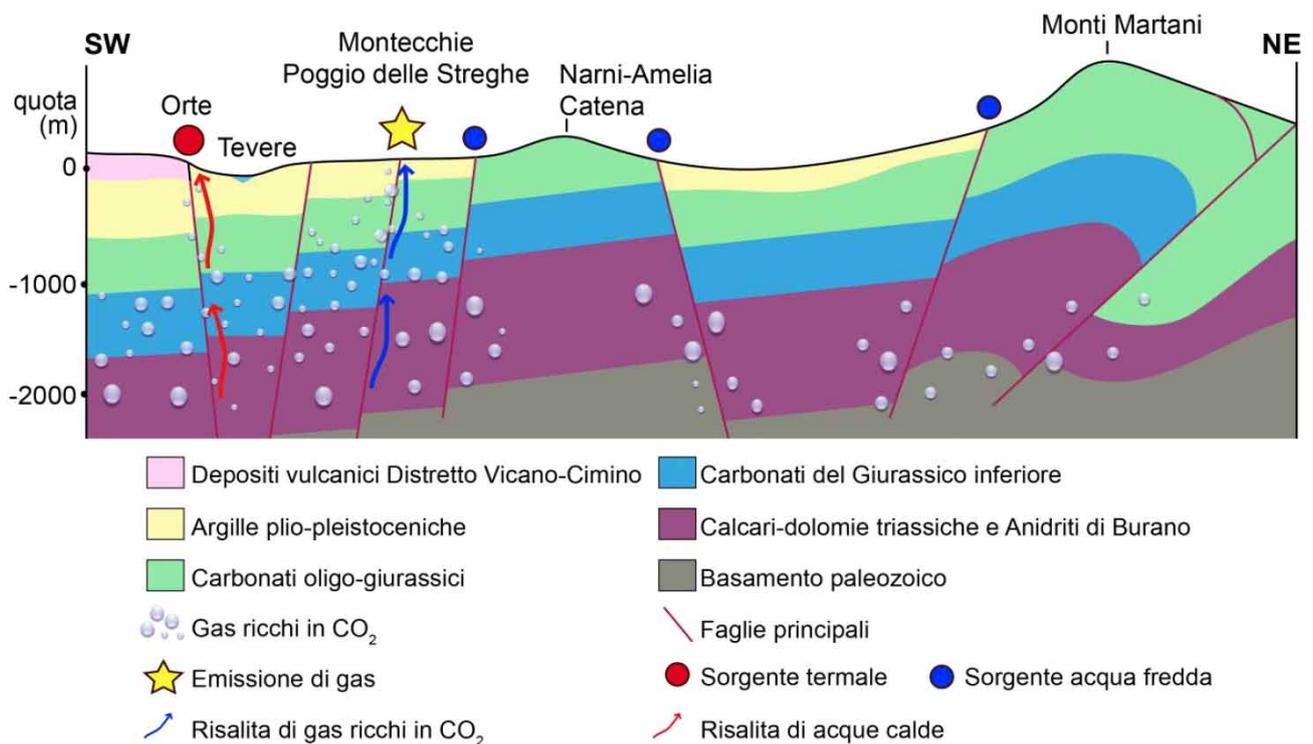
La presenza di polle gorgoglianti (*bubbling pools*), acque ricche in CO<sub>2</sub> ed aree di degassamento diffuso al suolo è associata alla ben nota presenza di un flusso anomalo di CO<sub>2</sub> derivante da una sorgente profonda situata a migliaia di metri di profondità (Chiodini et al., 1999, 2000, 2004, 2011). In dettaglio, i gas prodotti in profondità si accumulano nella crosta superiore entro serbatoi permeabili composti dai carbonati mesozoici. Quando la pressione totale del fluido (acqua + gas) all'interno del serbatoio supera la pressione idrostatica, una fase gassosa può liberarsi e risalire verso la superficie. Questo processo, controllato da fratture, faglie ed alti strutturali (*horst*) delle formazioni carbonatiche permeabili, genera sia l'anomalia di CO<sub>2</sub> nelle acque sotterranee sia le numerose emissioni di gas che caratterizzano l'area appenninica occidentale (Froncini, 2008; Morgantini et al., 2009; Froncini et al., 2012) (Fig. 3).



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



In questo quadro si inserisce l'area di degassamento diffuso di Penna in Teverina. Come già accennato in precedenza, essa si riconosce per la presenza di suolo alterato e privo di vegetazione, che è in netto contrasto con le adiacenti aree a vegetazione normale, e di varie polle di degassamento puntuale associate ad acqua e/o fango gorgogliante (Fig. 4-6). Il degassamento diffuso al suolo è particolarmente evidente durante la stagione piovosa grazie alla formazione sul terreno alterato di bolle di dimensioni da millimetriche a centimetriche, che sono maggiormente apprezzabili in presenza di ristagni di acqua.



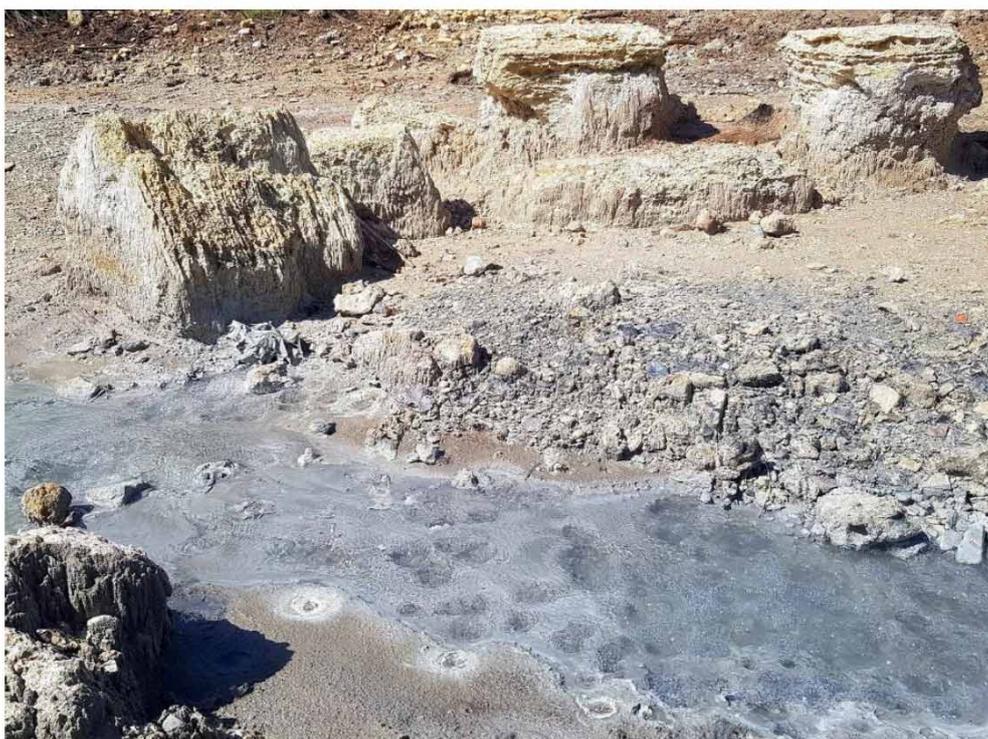
**Figura 3:** Modello concettuale geologico e di circolazione dell'area compresa tra Orte e i Monti Martani. Il profilo ha orientazione circa SW-NE e non è in scala (modificato da Frondini et al., 2012).



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



**Figura 4:** Area di degassamento diffuso in località Solfatara (Penna in Teverina). In primo piano una delle polle gorgoglianti di acqua e fango (foto: Federico Varazi).



**Figura 5:** Degassamento diffuso al suolo e piccoli gorgoglii lungo il fosso. Sono visibili affioramenti di travertino (foto: Federico Varazi).



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

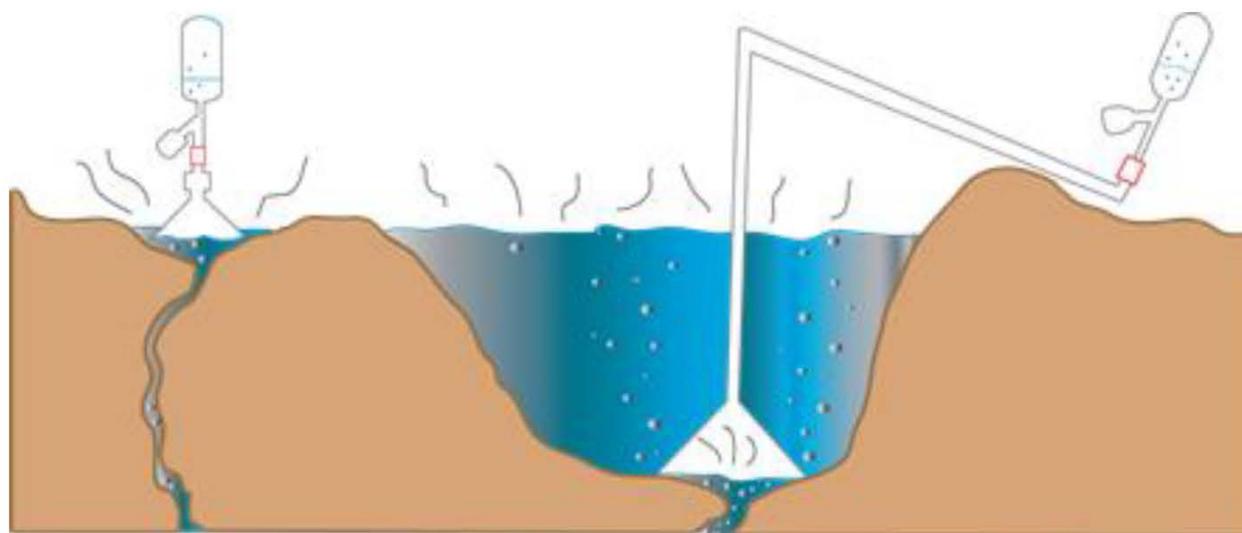


**Figura 6:** Area di degassamento della Solforata (foto: Monia Procesi)



### Composizione chimica del gas

Dal punto di vista composizionale, il gas campionato (Fig. 7) dalle emissioni puntuali delle tre aree anomale di Montecchie, Solfatara e Poggio delle Streghe è costituito in prevalenza da CO<sub>2</sub>, con percentuali comprese tra il 97 ed il 99% (Minissale, 2004; Chiodini et al., 2011; Cinti et al., 2014). Altre specie gassose tra cui N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, He, H<sub>2</sub>, Ne, Ar, ecc. costituiscono la restante frazione (Tab. 1).



**Figura 7:** Schema rappresentativo del metodo di campionamento di polle gorgoglianti superficiali e profonde tramite l'ausilio di un imbuto collegato ad un'ampolla.

CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	He	Ar	Ne	R/Ra	δ <sup>13</sup> C-CO <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C-CH <sub>4</sub>	δD-CH <sub>4</sub>	δ <sup>15</sup> N-N <sub>2</sub>	δ <sup>34</sup> S-H <sub>2</sub> S
991	7.5	0.17	0.70	0.02	0.16	0.0012	0.09	0.00004	0.57	-0.73	-26.1	-166	1.1	11.1

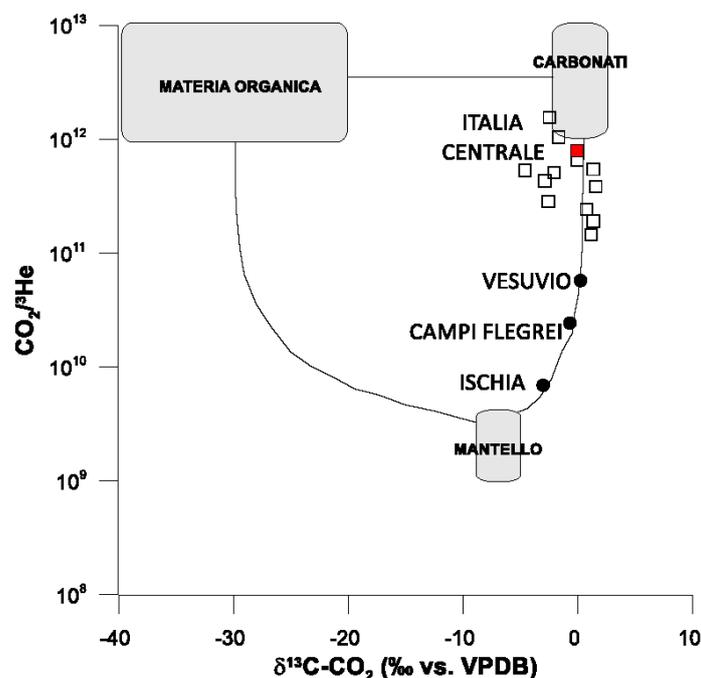
**Tabella 1:** Composizione chimica ed isotopica dell'emissione gassosa di Montecchie, rappresentativa dell'area di degassamento di Penna in Teverina (da Cinti et al., 2014). Le concentrazioni dei gas sono espresse in mmol/mol. I valori di δ<sup>13</sup>C sono espressi in ‰ V-PDB, i valori di δD in ‰ V-SMOW, i valori di δ<sup>15</sup>N in ‰ V-AIR, i valori di δ<sup>34</sup>S in ‰ V-CDT. Il rapporto R/Ra è adimensionale ed è dato dal rapporto tra il valore di <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He nel campione e quello dell'aria (Mamyrin e Tolstikhin, 1984).

Generalmente, l'origine dei costituenti della miscela gassosa viene determinata utilizzando specifici rapporti isotopici (Tab. 1). La composizione isotopica dell'elio è utilizzata per discriminare la produzione di <sup>4</sup>He legata ai processi di decadimento radioattivo all'interno della crosta continentale da quella di <sup>3</sup>He, che è prodotto nel mantello ed è in grado di muoversi verso la superficie solo da zone di estensione (dorsali oceaniche) o da vulcani attivi (Polyak e Tolstikhin, 1985). I valori di R/Ra tipici dei gas di ambiente crostale variano tra 0.01 e 0.1, mentre quelli tipicamente mantellici sono ≤8 (Marty et al., 1992; Tedesco, 1997). Su tali basi, i valori di



$R/R_a$  delle emissioni di Penna in Teverina (0.57) suggeriscono una predominante, ma non esclusiva, origine crostale dell'elio.

Per quanto riguarda la  $CO_2$ , che costituisce il componente principale delle emissioni gassose dell'Italia centrale, vengono indicate due sorgenti entrambe prodotte a grandi profondità: 1) una crostale, meno profonda, risultato di reazioni termo-metamorfiche che coinvolgono le rocce carbonatiche e 2) una più profonda associata ai già citati processi di degassamento dal mantello (Chiodini et al., 1995, 1999, 2000; Minissale, 2004; Frondini et al., 2008). Esiste, come noto, anche una  $CO_2$  più superficiale, che è quella prodotta al livello del suolo dai processi di respirazione delle piante e dalla degradazione della materia organica. Al fine di discriminare tra le diverse tipologie di anidride carbonica presenti in una emissione gassosa naturale viene misurato il rapporto isotopico ( $^{13}C/^{12}C$ ) del carbonio della  $CO_2$  ( $\delta^{13}C-CO_2$ ). I valori misurati nell'area di degassamento di Penna in Teverina rientrano nell'intervallo dei valori tipici dei processi termo-metamorfici, compresi tra -2.0 e +2.0‰ V-PDB (Craig, 1963). Questi valori sono in accordo con i rapporti tra le concentrazioni di  $CO_2$  e  $^3He$ , suggerendo una predominante origine crostale della  $CO_2$  (Fig. 8). Tuttavia, come riportato in Fig. 8 e sulla base dei valori del rapporto  $R/R_a$ , il contributo di  $CO_2$  dal mantello, sebbene trascurabile, non può essere considerato completamente assente.



**Figura 8:** Diagramma che riporta le tre diverse origini della  $CO_2$  delle emissioni gassose naturali (organica, crostale, mantellica) sulla base della correlazione tra i valori del  $\delta^{13}C-CO_2$  e il rapporto  $CO_2/{}^3He$  (modificata da Sano e Marty, 1995). Il punto rosso riporta l'origine della  $CO_2$  emessa nell'area di degassamento di Penna in Teverina.



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



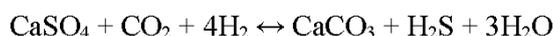
L'origine dell'azoto ( $N_2$ ), il principale costituente dell'aria, può essere innanzitutto valutata sulla base del rapporto  $N_2/Ar$ . Ammettendo che l'argon ( $Ar$ ) sia un gas esclusivamente presente in atmosfera, valori del rapporto  $N_2/Ar$  compresi tra 38 e 83 indicano una origine atmosferica del  $N_2$ . Nelle emissioni gassose di Penna in Teverina i valori di tale rapporto sono leggermente superiori a 83, il che suggerisce la presenza di una componente non-atmosferica di  $N_2$ . Anche in questo caso i valori del rapporto tra gli isotopi  $^{15}N$  e  $^{14}N$  dell'azoto gassoso ( $\delta^{15}N-N_2=1.1\text{‰}$  V-AIR; Cinti et al., 2014) forniscono indicazioni utili a determinare l'origine della componente non-atmosferica del gas, che è principalmente il prodotto di processi metamorfici che coinvolgono rocce e sedimenti contenenti minerali azotati (Sano et al., 2001; Fischer et al., 2002).

Circa l'origine del metano ( $CH_4$ ), la degradazione batterica della materia organica e la decomposizione della materia organica ad alta temperatura ( $>90^\circ C$ ) sono considerati i principali processi genetici nei fluidi naturali in ambiente sedimentario (Schoell, 1980, 1988; Whiticar, 1999). Metano abiogenico si genera invece in assenza di materia organica. In ambiente idrotermale, metano abiogenico viene prodotto da processi di riduzione della  $CO_2$  ad alta temperatura ( $>200^\circ C$ ) (Sherwood-Lollar et al., 2006; Fiebig et al., 2009), secondo la reazione:



I valori di  $\delta^{13}C-CH_4$  e  $\delta D-CH_4$  delle emissioni gassose di Penna in Teverina suggeriscono una origine abiogenica del gas.

L'idrogeno solforato ( $H_2S$ ) può essere prodotto in ambiente magmatico da reazioni di disproporzionamento del  $SO_2$  durante il degassamento e la successiva condensazione dei gas vulcanici (Allard et al., 1991), mentre in ambiente sedimentario esso è principalmente generato dall'alterazione dei solfuri e da reazioni di riduzione batterica o termochimica (Giggenbach, 1980; Machel et al., 1995). Per la zona di Penna in Teverina, associabile ad una ambientazione idrotermale, i valori isotopici del  $\delta^{34}S-H_2S$  indicano un'origine dello zolfo dovuta a processi di riduzione termogenica del solfato, attraverso reazioni del tipo:



in cui la sorgente solfatica è rappresentata dalle Anidriti di Burano che occupano la porzione basale della formazione dei calcari Mesozoici.

#### *Cenni sulla composizione chimica della fase liquida*

Le caratteristiche chimiche delle acque campionate dalle polle gorgoglianti sono fortemente condizionate dalla interazione con la fase gassosa. Le acque mostrano generalmente una composizione chimica dominata dallo ione bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) e sono caratterizzate da pH debolmente acidi (compresi tra 5 e 6.2) e salinità mediamente elevate (fino a 4.6 g/L). Ciò è il risultato della interazione tra le acque e la  $CO_2$ , la quale va in soluzione liberando ioni bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) e ioni  $H^+$  secondo la reazione:



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



L'incremento della concentrazione di ioni  $\text{H}^+$  contribuisce ad abbassare il pH delle acque, il quale aumenta l'aggressività nei confronti delle rocce favorendone la dissoluzione. Alcune acque campionate dalle polle gorgoglianti mostrano una composizione chimica dominata dallo ione solfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e spiccata acidità (pH < 4). Ciò è dovuto alla ossidazione dell' $\text{H}_2\text{S}$  a contatto con l'atmosfera, secondo la reazione:



dove l' $\text{O}_2$  rappresenta l'ossigeno atmosferico che favorisce il processo di ossidazione del  $\text{H}_2\text{S}$ , che è presente in significative quantità nelle emissioni gassose dell'Italia centrale, in acido solforico che si dissocia in acqua in ioni  $\text{H}^+$ , i quali abbassano il pH verso valori molto bassi, e ioni  $\text{SO}_4^{2-}$  che conferiscono la peculiare composizione chimica a queste acque (Risacher et al., 2002; Rye, 2005). Il processo di acidificazione è principalmente correlato alla mancanza o la drastica riduzione della capacità tamponante delle rocce e dei sedimenti in contatto con i fluidi ricchi in gas. Esso è inoltre responsabile del processo di alterazione delle rocce che porta alla formazione di minerali secondari del gruppo delle argille, tra i quali l'alunite [ $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ] (Rye et al., 1992), caratterizzata dalla presenza nella sua struttura di gruppi solfato ( $\text{SO}_4$ ) derivanti dalla ossidazione supergenica del  $\text{H}_2\text{S}$  e riconoscibile dal suo colore biancastro, che tipicamente si ritrova nelle aree di degassamento al suolo.

#### *Stima dei flussi di $\text{CO}_2$*

La mappatura della distribuzione spaziale delle anomalie di  $\text{CO}_2$  al suolo e la stima della quantità totale di  $\text{CO}_2$  immessa in atmosfera da sorgenti e/o aree di degassamento diffuso sono state oggetto di calcolo sia a scala regionale che locale (Fig. 9) (Chiodini et al., 1999, 2000, 2004; Cardellini et al., 2003). Anche nell'area di Penna in Teverina sono state eseguite in passato misure di flusso di  $\text{CO}_2$  (Fig. 10-11) (Lucidi, 2005; Frondini et al., 2012).



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

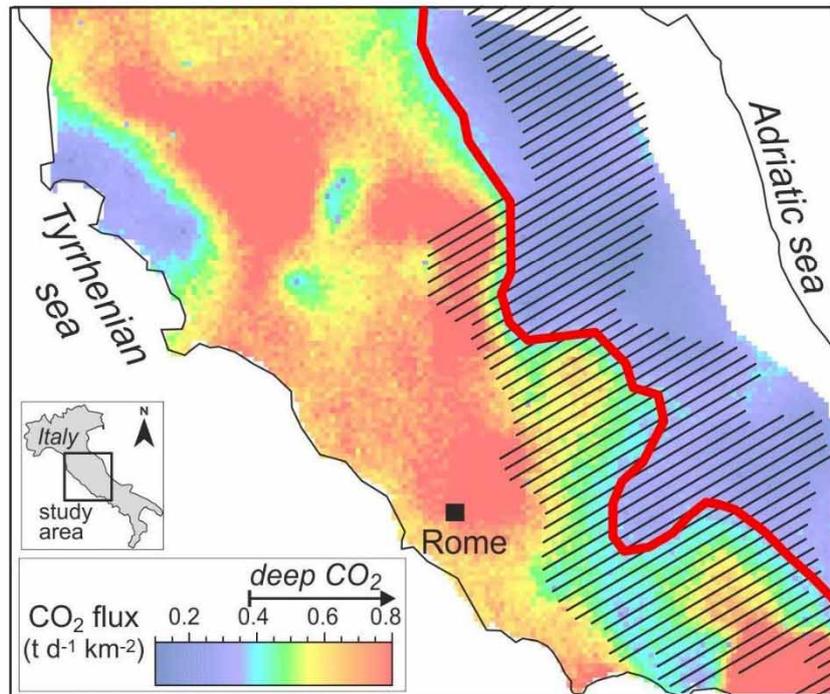


Figura 9: Mappa del flusso di CO<sub>2</sub> nel settore peri-tirrenico dell'Italia centrale (da Chiodini et al., 2004).

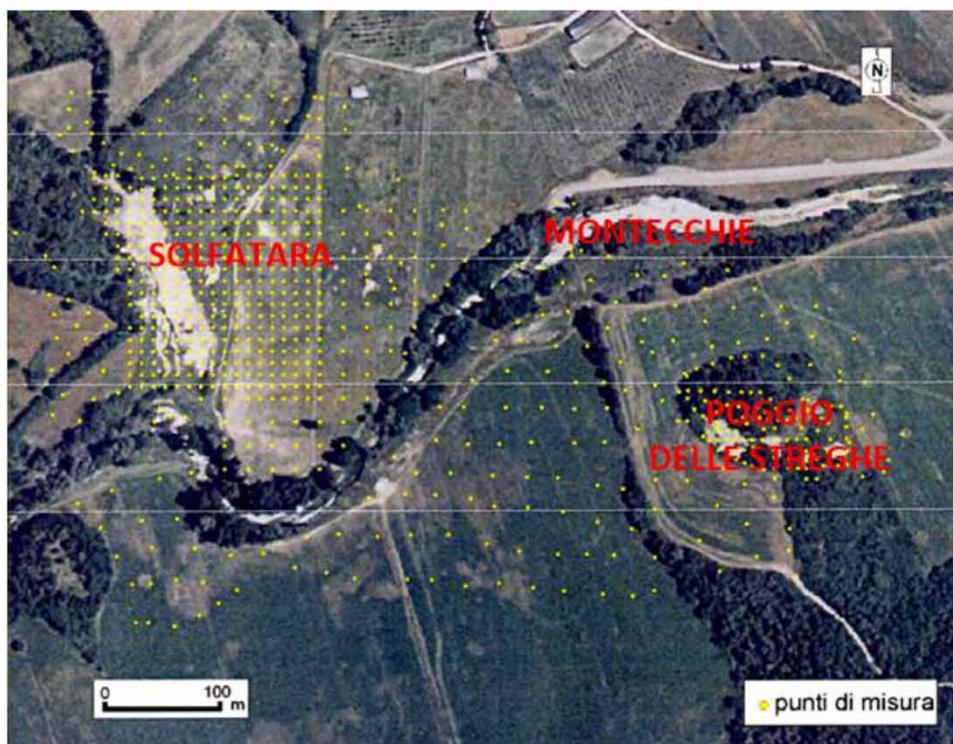
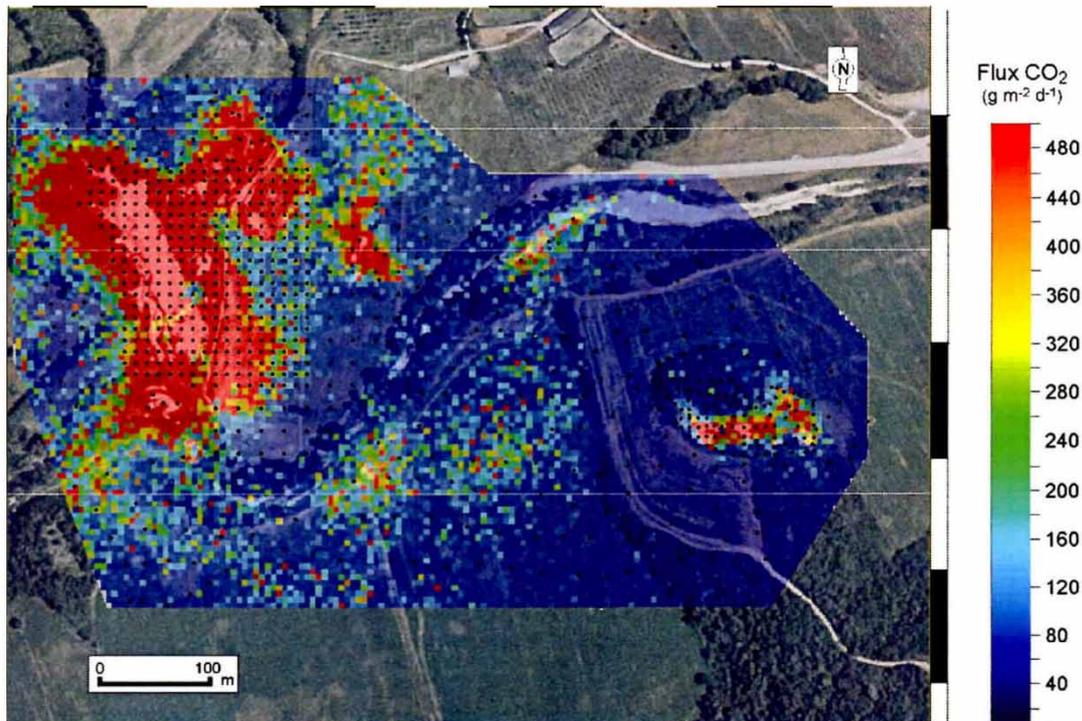


Figura 10: Punti di campionamento di flusso diffuso di CO<sub>2</sub> dal suolo nell'area di studio. Dall'immagine sono evidenti le aree biancastre prive di vegetazione (da Lucidi, 2005).



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



**Figura 11:** Mappa del flusso medio di CO<sub>2</sub>. Le aree dove sono stati misurati i flussi più elevati del gas sono in corrispondenza delle aree prive di vegetazione (da Ludici, 2005).

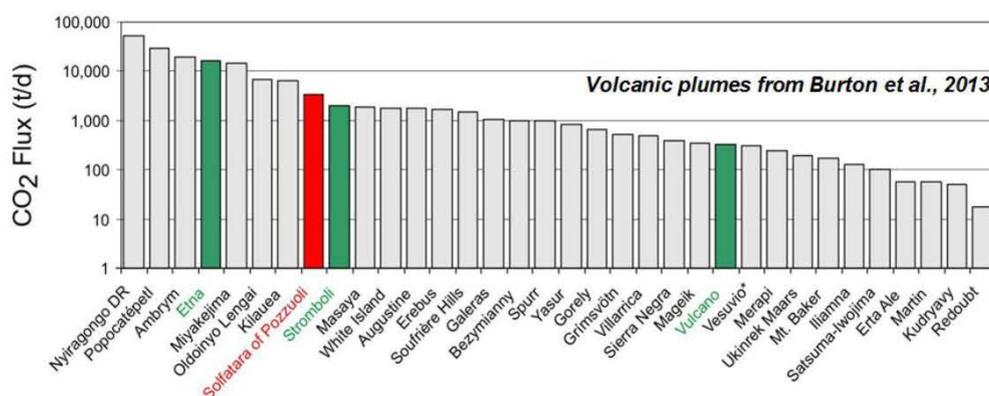
È stato stimato che la quantità di anidride carbonica di origine geologica emessa al suolo dalle aree di Solfatarata-Poggio delle Streghe-Montecchie è di circa 93 tonnellate al giorno, alle quali vanno aggiunte le circa 3.6 tonnellate/giorno emesse dalle due polle gorgoglianti di maggiore dimensione.

In un anno si stima che vengano quindi emesse oltre 35.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> geogenica in atmosfera che, sommate a quelle emesse dalle altre aree di emissione presenti nell'Italia centro-meridionale (Fig. 13), fanno un totale di oltre 2 milioni di CO<sub>2</sub> emessa naturalmente in atmosfera dai processi geologici. È inoltre interessante notare come la quantità di CO<sub>2</sub> immessa in atmosfera dall'area di degassamento di Penna in Teverina è considerevole se confrontata con quella emessa dai principali vulcani attivi presenti nel mondo (Fig. 14). Infine, il contributo dell'area di degassamento di Penna in Teverina all'effetto serra, dovuto come noto all'immissione in atmosfera di gas quali la CO<sub>2</sub>, è stato valutato essere per l'anno 2020 di circa un milionesimo (1/1.000.000) di quello prodotto dall'industria petrolifera mondiale (<https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>).



Name	Type	CO <sub>2</sub> Flux (t/d)
San Faustino	non-volcanic	7
Ischia (Donna Rachele)	volcanic, active	9
Banditella	non-volcanic	10
Pienza	non-volcanic	11
Fosso Biscina	non-volcanic	15
Umbertide	non-volcanic	18
Selvena	non-volcanic	20
Cava dei Selci	volcanic	>30
Solfatara di Manziana	volcanic	30
Salcheto	non-volcanic	36
Parco della Mola	volcanic	40
Poggio S. Cecilia	non-volcanic	48
Solforata Pomezia	volcanic	50
Ambra	non-volcanic	96
Montecchie	non-volcanic	125
Torre Alfina	volcanic	170
Bagni San Filippo	non-volcanic	>170
Caldara di Manziana	volcanic	175
Poggio dell'Ulivo	non-volcanic	200
Varchera	non-volcanic	270
Vesuvio	volcanic, active	300
Latera Puzzolaie	volcanic	350
Solfatara di Pozzuoli	volcanic, active	>1500
Mefite d'Ansanto	non-volcanic	2000
<b>Totale</b>		<b>&gt;5680</b>

**Figura 13:** Stima dei flussi di CO<sub>2</sub> emessi dalle principali aree di degassamento vulcaniche e non-vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (da Chiodini et al., 2004).



**Figura 14:** Stima dei flussi di CO<sub>2</sub> emessi dalle principali aree di degassamento vulcanico al mondo (da Chiodini et al., 2004).

### Emanazioni gassose e rischio associato

L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e l'idrogeno solforato o acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) se presenti in aria in determinate concentrazioni possono essere dannosi per la salute umana ed animale.

Molti settori dell'Italia Centrale sono caratterizzati da aree di degassamento naturale dove il principale gas emesso in atmosfera è l'anidride carbonica. In queste aree la concentrazione di CO<sub>2</sub> può arrivare fino al 99% in volume. L'anidride carbonica è un gas inodore, incolore, più pesante dell'aria che, in assenza di vento, tende ad accumularsi in prossimità del suolo e soprattutto nelle zone depresse, dove può raggiungere concentrazioni



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



molto elevate. Da caratteristiche fisiche deriva in gran parte la pericolosità delle emissioni gassose (Chiodini, 2014). La concentrazione normale di anidride carbonica nell'aria è di 330 ppm (parti per milione) pari allo 0,03 %. Per concentrazioni superiori all'8% si può sopraggiungere rapidamente la paralisi respiratoria, e lo svenimento. Oltre il 25 % si ha la morte immediata.

L'idrogeno solforato (fino al 2 % vol. nelle emissioni naturali dell'Italia Centrale) è un gas incolore, più pesante dell'aria, ma a differenza dell'anidride carbonica si riconosce facilmente dal classico odore di uova marce che diviene però impercettibile quando le concentrazioni superano i 100 ppm. Questo gas esercita un'azione irritante a carico del sistema respiratorio. A 150 ppm procura un effetto paralizzante dell'apparato olfattivo. A 250 ppm può provocare edema polmonare. La morte istantanea si ha per concentrazioni superiori a 500 ppm. I diversi effetti dovuti all'esposizione e alle inalazioni di  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ , sono riassunti nelle Tabelle 2 e 3.

Quindi, a causa delle elevate concentrazioni di anidride carbonica e idrogeno solforato di origine geologica, questi settori possono essere caratterizzati da un'elevata pericolosità e in determinate condizioni rappresentare una situazione di rischio per persone e animali. La pericolosità massima corrisponde ai momenti di vento assente o basso, spesso le ore vicine all'alba, quando il gas, più denso dell'aria, si accumula vicino al suolo specie nelle depressioni morfologiche (fosse, canali, polle). Non è raro rinvenire in queste zone carcasse di animali morti, il più delle volte a causa di asfissia indotta dall'anidride carbonica e dall'acido solfidrico (Fig. 15). Risulta quindi fondamentale aumentare la consapevolezza del cittadino di fronte al fenomeno geologico e alla pericolosità associata, cosa che oggi nella maggior parte dei casi risulta ancora molto bassa. Per la mitigazione del rischio legato alla emissione naturale di gas è stato realizzato un inventario nazionale delle emissioni gassose, un catalogo disponibile in rete (<http://www.magadb.net/>) e continuamente aggiornato.



**Figura 15:** pericolosità delle emissioni gassose. a) fiume di  $\text{CO}_2$  presso Umbertide (PG) evidenziato tramite fumogeni, b) un cinghiale morto nei pressi di Palidoro (RM) (da Chiodini, 2014).



Limiti di esposizione (CO <sub>2</sub> vol.% aria)	Effetti sulla salute
2-3	Inavvertiti durante il riposo, ma può esserci un marcato affanno allo sforzo
3	La respirazione diventa più profonda e frequente durante il riposo
3-5	Il ritmo della respirazione aumenta. Esposizione prolungata provoca mal di testa
5	Respirazione molto faticosa, mal di testa, affaticamento, polso irregolare
7.5	Respiro affannoso, aumento del battito cardiaco, mal di testa, affaticamento, vertigini, debolezza muscolare, perdita delle capacità mentali, sonnolenza, ronzio negli orecchi
8-15	Mal di testa, vertigini, vomito, perdita di coscienza seguita da morte se al paziente non viene immediatamente somministrato ossigeno
10	Deficienza respiratoria, perdita di conoscenza dopo 10-15 minuti
15	Concentrazione letale, esposizioni a livelli superiori sono intollerabili
>25	Con soli pochi respiri si producono convulsioni, rapida perdita di conoscenza e morte

Tabella 2: Effetti sulla salute umana in funzione delle concentrazioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) in atmosfera (Barberi et al., 2007).

Limiti di esposizione (H <sub>2</sub> S ppm aria)	Effetti sulla salute
20	Concentrazioni tollerabili per alcune ore senza effetti
20-50	Irritazioni oculari
50-60	Esposizione prolungata provoca faringiti, bronchiti e congiuntiviti
>150	Irritazioni al tratto respiratorio superiore; non si avverte più l'odore tipico di zolfo
250	Edema polmonare con rischio di morte
450	Concentrazione molto pericolosa; rischio di morte
>1000	Immediata perdita di conoscenza, intossicazioni acute, nausea, vomito, coma e cessazione del respiro con morte

Tabella 3: Effetti sulla salute umana in funzione delle concentrazioni di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S) in atmosfera (Barberi et al., 2007)



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



## Bibliografia

- Allard, P., Maiorani, A., Tedesco, D., Cortecchi, G., Turi, B., 1991. Isotopic study of the origin of sulfur and carbon in Solfatarata fumaroles, Campi Flegrei caldera. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 48, 139-159;
- Barberi, F., Carapezza, M., Ranaldi, M., Tarchini, L., 2007. Gas blowout from shallow boreholes at Fiumicino (Rome): induced hazard and evidence of deep CO<sub>2</sub> degassing on the Tyrrhenian margin of central Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 165, 17-31;
- Boncio, P., Brozetti, F., Lavecchia, G., Bachecha, A., Minelli, G., 2000. Note stratigrafiche e strutturali alla carta geologica del settore centrale della catena Narnese-Amerina (Umbria, scala 1:25.000). *Boll. Soc. Geol. It.* 119, 69-83;
- Boni, C., Bono, P., Capelli, G., 1986. Schema idrogeologico dell'Italia centrale. *Mem. Soc. Geol. It.* 35, 991-1012;
- Cardellini, C., Chiodini, G., Frondini, F., 2003. Application of stochastic simulation to CO<sub>2</sub> flux from soil: mapping and quantification of gas release. *J. Geophys. Res.* 108, 2425;
- Chiodini, G., 2014. Emanazioni gassose e pericolosità territoriale. *Mem. Descr. Carta Geol. D'It.* 96, 189-194;
- Chiodini, G., Caliro, S., Cardellini, C., Frondini, F., Inguaggiato, S., Matteucci, F., 2011. Geochemical evidence for and characterization of CO<sub>2</sub> rich gas sources in the epicentral area of the Abruzzo 2009 earthquakes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 304, 389-398;
- Chiodini, G., Cardellini, C., Amato, A., Boschi, E., Caliro, S., Frondini, F., Ventura, G., 2004. Carbon dioxide earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy. *Geophys. Res. Lett.* 31, L07615;
- Chiodini, G., Frondini, F., Cardellini, C., Parello, F., Peruzzi, L., 2000. Rate of diffuse carbon dioxide Earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of central Apennine, Italy. *J. Geophys. Res.* 105, 8423-8434;
- Chiodini, G., Frondini, F., Kerrick, D.M., Rogie, J., Parello, F., Peruzzi, L., Zanzari, A.R., 1999. Quantification of deep CO<sub>2</sub> fluxes from central Italy. Examples of carbon balance for regional aquifers and of soil diffuse degassing. *Chem. Geol.* 159, 205-222;
- Chiodini, G., Frondini, F., Ponziani, F., 1995. Deep structures and carbon dioxide degassing in central Italy. *Geothermics* 24, 81-94;
- Cimarelli, C. and De Rita D., 2008. Carta della Geodiversità dei Distretti Vulcanici Cimino e Vicano. ARP Lazio;
- Cinti, D., Tassi, F., Procesi, M., Bonini, M., Capecciacci, F., Voltattorni, N., Vaselli, O., Quattrocchi, F., 2014. Fluid geochemistry and geothermometry in the unexploited geothermal field of the Vicano-Cimino Volcanic District (central Italy). *Chem. Geol.* 371, 96-114;
- Collettini, C., Barchi, M., Pauselli, C., Federico, C., Pialli, G., 2000. Seismic expression of active extensional faults in northern Umbria (central Italy). *J. Geodyn.* 29, 309-321;
- Craig, H., 1963. The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas. In: Tongiorgi, E. (Ed.) *Nuclear Geology on Geothermal Areas*. CNR, Spoleto, Italy, 17-54;
- Fiebig, J., Woodland, A.B., D'Alessandro, W., Puttmann, W., 2009. Excess methane in continental hydrothermal emissions is abiogenic. *Geology* 37, 495-498;



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



- Fischer, T.P., Hilton, D.R., Zimmer, M.M., Shaw, A.S., Sharp, Z.D., Walker, J.A., 2002. Subduction and recycling of nitrogen along the Central American Margin. *Science* 297, 1154-1157;
- Fron dini, F., 2008. Geochemistry of regional aquifer systems hosted by carbonate-evaporite formations in Umbria and southern Tuscany (central Italy). *Appl. Geochem.* 23, 2091-2104;
- Fron dini, F., Cardellini, C., Caliro, S., Chiodini, G., Morgantini, N., 2012. Regional groundwater flow and interactions with deep fluids in western Apennine: the case of Narni-Amelia chain (central Italy). *Geofluids*, doi: 10.1111/j.1468-8123.2011.00356.x;
- Giggenbach, W.F., 1980. Geothermal gas equilibria. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 2021-2032;
- Lavecchia, G., 1990. The Tyrrhenian-Apennine system: structural setting and seismotectogenesis. *Tectonophysics* 47, 263-296;
- Lucidi, B., 2005. Studio geochimico dell'emissione gassosa di anidride carbonica nell'area di Montecchie (Terni). Tesi di Laurea. Università degli Studi di Perugia;
- Machel, H.G., Krouse, H.R., Sassen, R., 1995. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulphate reduction. *Appl. Geochem.* 10, 373-389;
- Mamyrin, B.A., Tolstikhin, I.N., 1984. Helium isotopes in nature. Elsevier, Amsterdam;
- Marty, B., O'Nions, R.K., Oxburgh, E.R., Martel, D., Lombardi, S., 1992. Helium isotopes in Alpine regions. *Tectonophysics* 206, 71-78;
- Mastrolillo, L., Baldoni, T., Banzato, F., Boscherini, A., Cascone, D., Checcucci, R., Petitta, M., Boni, C., 2009. Quantitative hydrogeological analysis of the carbonate domain of the Umbria region. *It. J. Eng. Geol. Environ.* 1, 137-155;
- Minissale, A., 2004. Origin, transport and discharge of CO<sub>2</sub> in Central Italy. *Earth-Science Rev.* 66, 89-141;
- Morgantini, N., Fron dini, F., Cardellini, C., 2009. Natural trace elements baselines and dissolved loads in groundwater from carbonate aquifers of central Italy. *Phys. Chem. Earth* 34, 520-529;
- Polyak, B.G. and Tolstikhin, I.N., 1985. Isotopic composition of the Earth's helium and the problem of tectogenesis. *Chem. Geol.* 52, 9-33;
- Risacher, F., Alonso, H., Salazar, C., 202. Hydrochemistry of two adjacent acid saline lakes in the Andes of northern Chile. *Chem. Geol.* 187, 39-57;
- Rye, R.O., 2005. A review of the stable isotope geochemistry of sulfate minerals in selected igneous environments and related hydrothermal systems. *Chem. Geol.* 215, 5-36;
- Rye, R.O., Bethke, P.M., Wasserman, M.D., 1992. The stable isotope geochemistry of acid sulfate alteration. *Econ. Geol.* 87, 225-262;
- Sano, Y., and Marty, B., 1995. Origin of carbon in fumarolic gas from island arcs. *Chem. Geol.* 119, 265-274;
- Sano, Y., Takahata, N., Nishio, Y., Fischer, T.P., Williams, S.N., 2001. Volcanic flux of nitrogen from the Earth. *Chem. Geol.* 171, 263-271;
- Schoell, M., 1980. The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta* 44, 649-661;



ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA



Schoell, M., 1988. Multiple origins of methane in the earth. *Chem. Geol.* 71, 1–10;

Sherwood-Lollar, B., Lacrampe Coulourne, G., Slater, G.F., Ward, J.A., Moser, D.P., Gihring, T.M., Lin, L.H., Onstott, T.C., 2006. Unravelling abiogenic and biogenic sources of methane in the Earth's deep subsurface. *Chem. Geol.* 226, 328-339;

Tedesco, D., 1997. Systematic variations in the  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratio and carbon of fumarolic fluids from active volcanic areas in Italy: evidence for radiogenic  $^4\text{He}$  and crustal carbon addition by the subducting African plate? *Earth Planet. Sci. Lett.* 151, 255-269;

Whiticar, M.J., 1999. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane. *Chem. Geol.* 161, 291–314.

# QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

**Coordinamento editoriale**

Francesca DI STEFANO  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Progetto grafico**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Patrizia PANTANI  
Massimiliano CASCONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

©2022

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma  
tel. +39 06518601

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

