

# collana ambiente

scheda  
informativa

# 22

## Gli impianti geotermoelettrici



scheda  
informativa

22

## Gli impianti geotermoelettrici

marzo 2018



Per suggerimenti e informazioni:  
Settore Comunicazione, informazione  
e documentazione

ARPAT, via Nicola Porpora, 22 - 50144 Firenze  
Tel. 055.32061 - Fax 055.3206324  
urp@arpat.toscana.it

Stampa: Grafica Fonsor srl, Gragnano (NA)

Stampato su carta realizzata con cellulosa proveniente  
da foreste gestite in maniera corretta e responsabile

A cura di  
ARPAT, Settore Comunicazione,  
informazione e documentazione (SCID)

Testi  
Simonetta Castellani, Ivano Gartner, Simone Magi,  
Riccardo Pellegrini, Luca Sbrilli  
ARPAT, Settore Geotermia

Redazione e realizzazione grafica  
Francesca Baldi, Rosanna Battini,  
Maddalena Bavazzano, Gabriele Rossi  
ARPAT, SCID

 Foto e video  
ARPAT, Settore Geotermia

Luca Ranfagni  
per l'elaborazione grafica a pag. 7  
ARPAT, Settore VIA/VAS



Indagine di gradimento  
su questa pubblicazione

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>Geotermia, energia dalla Terra</b>	<b>4</b>
<b>Cenni storici: dai primi insediamenti in Toscana ad oggi</b>	<b>6</b>
<b>Le centrali in Toscana</b>	<b>7</b>
<b>Come funziona una centrale geotermoelettrica</b>	<b>8</b>
<b>Possibili impatti ambientali della geotermia</b>	<b>10</b>
<b>L'attività di ARPAT: monitoraggio e controllo</b>	<b>15</b>
<b>La normativa di settore</b>	<b>19</b>

Per la produzione di energia elettrica da fonti geotermiche viene utilizzata l'energia termica dei fluidi endogeni (vapore) per azionare una turbina collegata ad un alternatore e produrre così energia elettrica.

La Toscana, nelle zone delle Colline Metallifere e del Monte Amiata, presenta particolari aree geotermiche, con temperature del sottosuolo più elevate rispetto a quelle ordinarie, tali da renderne conveniente lo sfruttamento anche per la produzione di energia elettrica.

Come ogni altra attività antropica, anche la geotermia presenta possibili impatti sull'ambiente; lo sfruttamento del fluido produce, ad esempio, emissioni in atmosfera e disturbi olfattivi legati alla presenza di idrogeno solforato.

Per quanto riguarda ARPAT, l'impegno è indirizzato al monitoraggio degli impatti ambientali derivanti dallo sfruttamento delle risorse geotermiche che si esplica nel controllo presso le centrali geotermiche, in particolare relativamente alle matrici aria ed acque superficiali e sotterranee.

Con questa scheda si intende fornire un quadro sintetico e facilmente comprensibile del tema geotermia e dell'attività che l'Agenzia svolge in questo campo.



## Geotermia, energia dalla Terra

Il pianeta Terra produce costantemente energia, sotto forma di calore, che dalle zone più profonde si propaga verso la superficie. Tale flusso di calore è maggiore in aree con particolare conformazione geologica, come per esempio lungo le dorsali oceaniche o nelle aree vulcaniche, oppure in aree dove sono presenti delle intrusioni di magma in lento raffreddamento nel sottosuolo. Nei casi in cui queste formazioni si trovino sotto a strati profondi contenenti acqua, si possono formare dei cosiddetti **campi geotermici**. Sono queste le zone che possono essere sfruttate per la produzione di energia.

### Cos'è un campo geotermico?

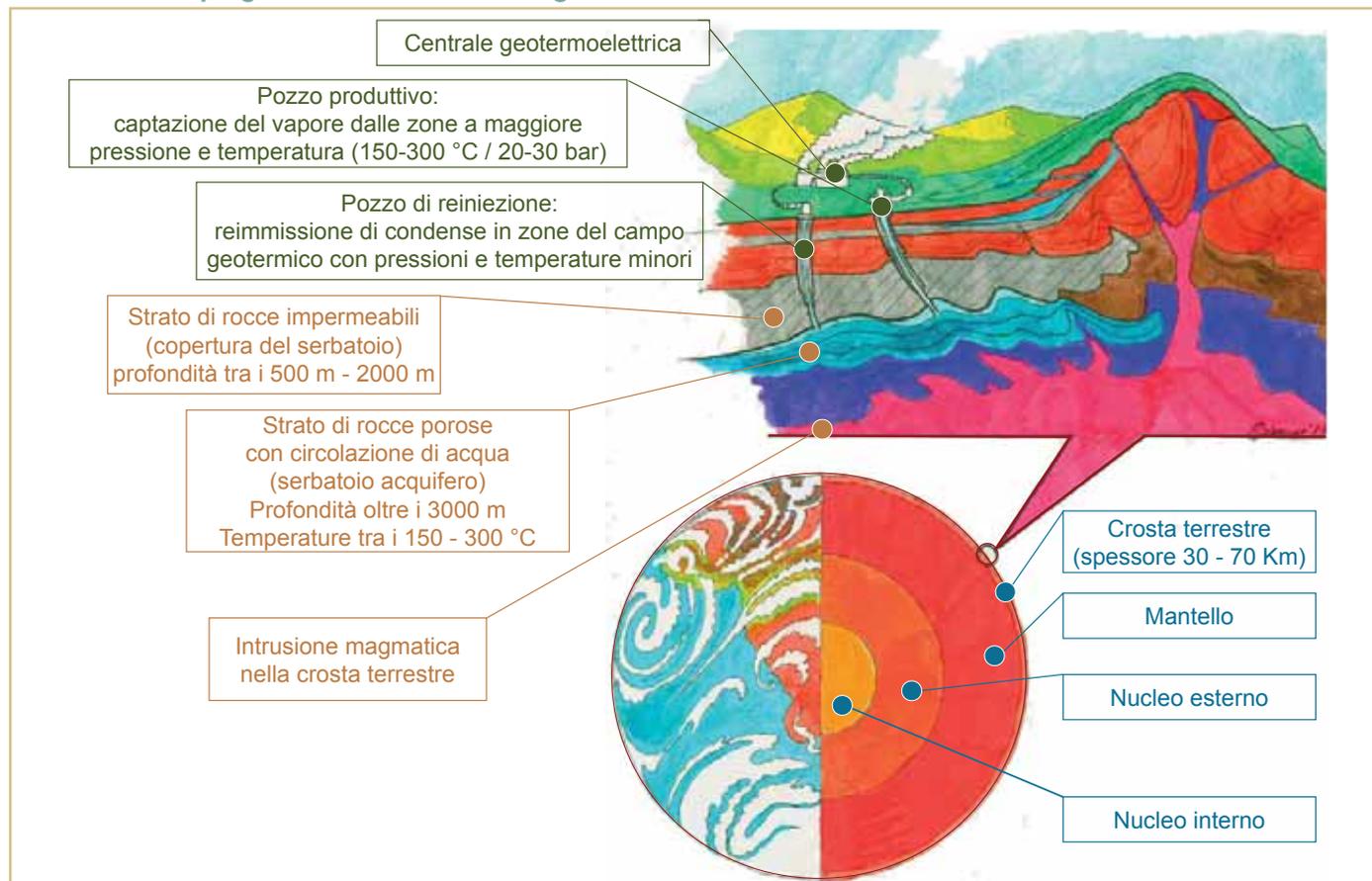
È una formazione geologica costituita da tre componenti, partendo dalla più profonda a risalire:

1. Una fonte di calore costituita, per esempio, da un'intrusione di magma.
2. Un acquifero profondo, cioè una formazione geologica permeabile, con presenza di acque infiltrate, a profondità di oltre 3.000 metri.
3. Uno strato di rocce di copertura impermeabile, che funge da "tappo" per le acque riscaldate dal calore magmatico, impedendo loro di risalire in superficie e mantenendole sotto pressione.

Per semplificare, possiamo assimilare un campo geotermico ad una pentola a pressione dove il fuoco del fornello è costituito dal magma, l'acqua contenuta nella pentola rappresenta l'acquifero e il tappo a pressione lo strato di rocce di copertura. La valvola di sicurezza, da cui esce vapore, rappresenta i fenomeni naturali dei "soffioni" o geyser.



## Schema di campo geotermico con centrale geotermoelettrica





## Cenni storici: dai primi insediamenti in Toscana ad oggi

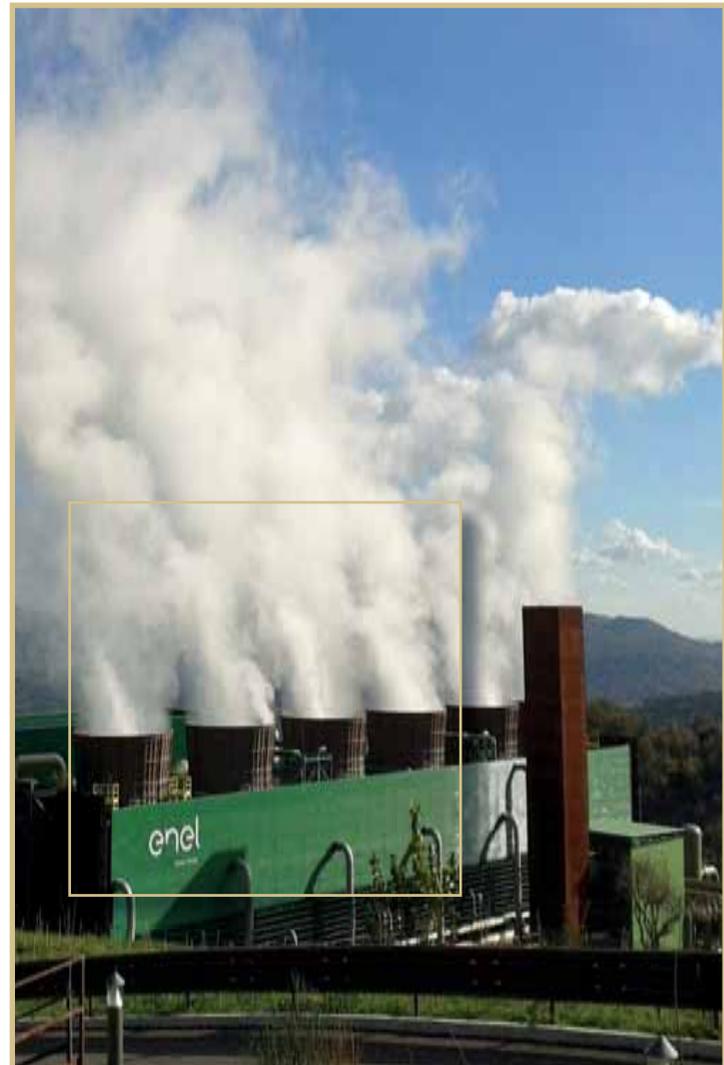
La prima esperienza al mondo di sfruttamento dell'energia geotermica, per la produzione di energia elettrica, risale al 1905 proprio in Toscana, grazie al principe Piero Ginori-Conti, a Larderello (Pisa).

Già nella prima metà dell'800 questa località era conosciuta come "Valle del Diavolo" per le emissioni spontanee di fluidi endogeni, detti "soffioni" o "putizze". Qui veniva estratto l'acido borico dai fanghi dei "lagoni boraciferi", proprio sfruttando il vapore dei soffioni per riscaldare l'acqua e farla evaporare.

L'industriale François Jacques de Larderel, intorno al 1827, perfezionò l'estrazione dell'acido borico e, con la fondazione dei suoi stabilimenti boraciferi, dette il suo nome a Larderello.

Piero Ginori-Conti, dopo aver sposato la nipote di Larderel, nel 1904 passò alla guida della ditta di estrazione dell'acido borico. Fu lui a dare una nuova svolta all'attività degli stabilimenti con l'utilizzo del vapore naturale per produrre energia elettrica.

Nel 1962, con l'istituzione dell'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, ENEL ha acquisito le attività delle aziende operanti nella produzione dell'energia elettrica, compresa Larderello.



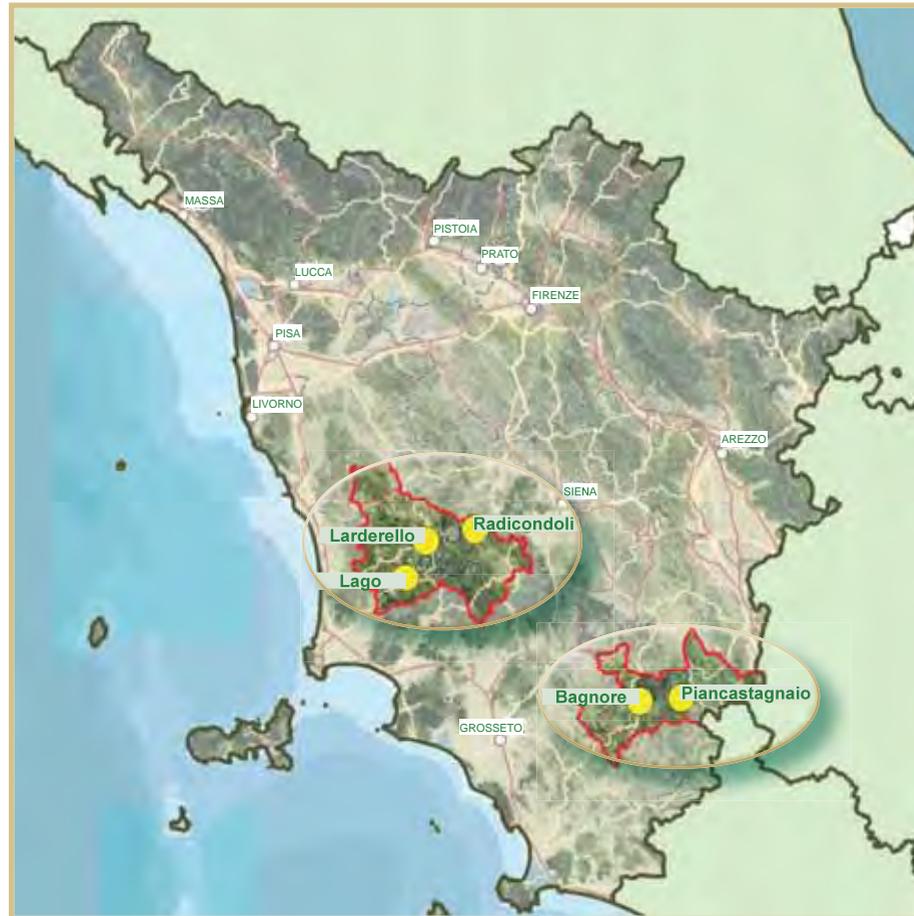
## Le centrali in Toscana



La Toscana, nelle zone delle Colline Metallifere e del Monte Amiata, presenta particolari campi geotermici, con temperature del sottosuolo più elevate rispetto a quelle ordinarie, tali da renderne conveniente lo sfruttamento anche per la produzione di energia elettrica.

Ad oggi sono attivi 36 gruppi produttivi (centrali geotermoelettriche), gestiti dalla Società Enel Green Power, dislocati in quattro “Aree Territoriali” (AGE): Larderello, Lago (Val di Cornia), Radicondoli e l’Area del Monte Amiata (spesso suddivisa nelle due zone di Piancastagnaio e di Bagnore).

La coltivazione dei fluidi geotermici in Toscana produce una quantità di energia elettrica di circa 6000 Gwh (anno 2016), pari a circa il 27,9% del fabbisogno elettrico regionale e al 35,6% della produzione regionale.

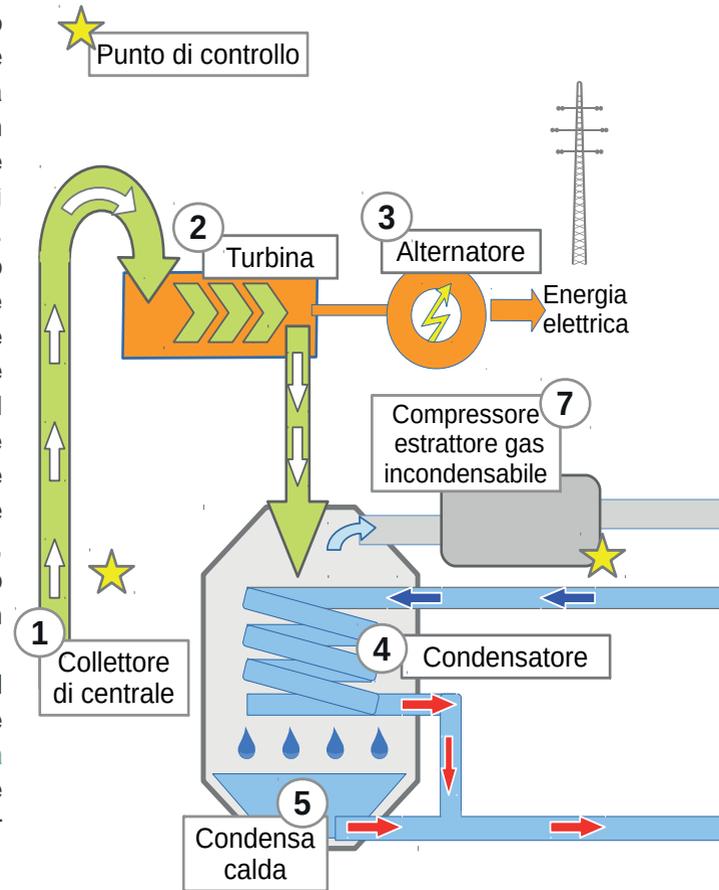


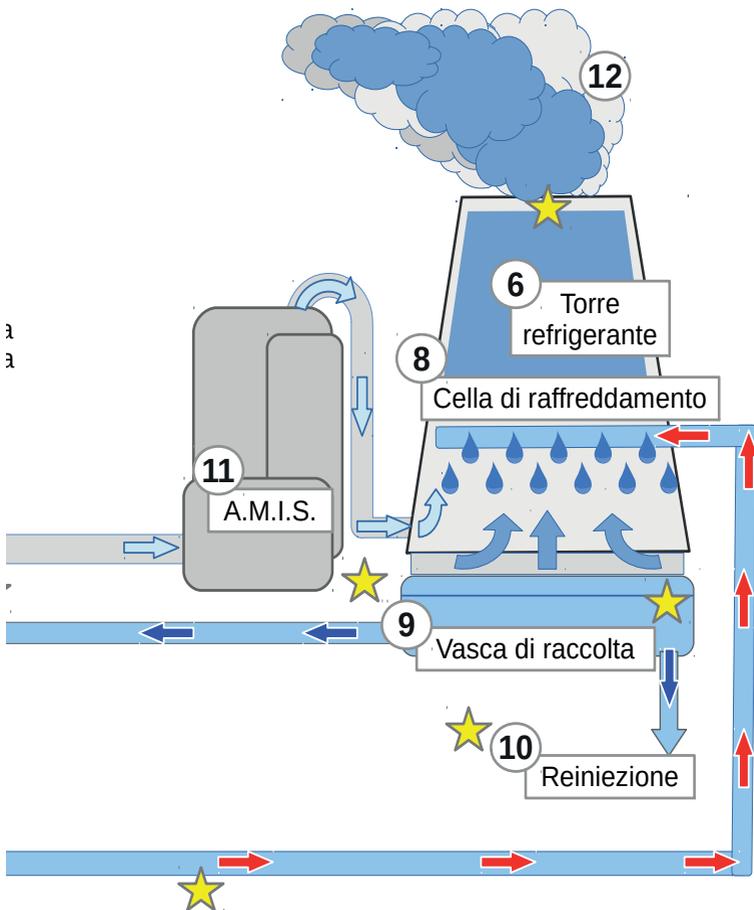


## Come funziona una centrale geotermoelettrica

Nelle centrali geotermoelettriche, attraverso successivi passaggi, si sfrutta l'energia termica dei fluidi endogeni – sotto forma di vapore – per produrre energia elettrica. Il vapore proveniente dai pozzi produttivi, a pressioni di circa 19 atmosfere con temperature fino a oltre 200°C, viene inviato, dal collettore di centrale (1) in una turbina (2). Qui l'energia del vapore, attraverso la rotazione della turbina, viene ceduta come energia meccanica e trasmessa ad un alternatore (3) che la trasforma in elettrica. In uscita dalla turbina, il vapore entra nel condensatore (4) dove avviene un abbattimento della temperatura per contatto diretto con l'acqua di raffreddamento. In tal modo, il vapore condensa e passa allo stato liquido; questa condensa (5) viene inviata alla torre refrigerante (6).

All'abbassamento di temperatura corrisponde anche un abbassamento di pressione (dalle 19 atmosfere iniziali si passa a poco più di una atmosfera) che, di fatto, ha un effetto di "risucchio" del vapore dalla turbina, aumentandone così il rendimento termo-dinamico. Per mantenere l'abbassamento di pressione, al condensatore è collegato il sistema compressore ed estrattore gas (7), che estrae dal condensatore il gas "incondensabile", cioè quelle componenti del vapore (per esempio, azoto, anidride carbonica, ossigeno, idrogeno, metano, ecc.) che, per loro natura fisica, raffreddandosi non condensano. A valle della turbina, quindi, il vapore viene separato in due componenti: l'**acqua di condensa** ed il **gas incondensabile**, che seguiranno percorsi separati per chiudere il ciclo dell'impianto.





· **L'acqua di condensa** viene inviata alla cella di raffreddamento (8) all'interno della torre refrigerante, dove, per mezzo degli ugelli posti alla sommità della cella, viene fatta cadere a pioggia raffreddandosi a contatto della corrente d'aria che dal basso risale verso l'alto.

L'acqua di condensa, adesso raffreddata e convogliata nella vasca di raccolta (9), viene inviata al condensatore e usata per il raffreddamento del vapore in uscita dalla turbina. L'esubero di acqua della vasca di raccolta viene "reiniettato" nel campo geotermico per contribuire alla ricostituzione del suo acquifero e mantenerlo produttivo (10).

· **Il gas incondensabile** contiene gas come l'idrogeno solforato (o acido solfidrico -

H<sub>2</sub>S) ed elementi inquinanti come il mercurio (Hg). Per evitare di disperdere queste sostanze in atmosfera, il gas incondensabile viene inviato al sistema di Abbattimento di Mercurio e Idrogeno Solforato, detto A.M.I.S. (11).

Tutte le centrali sono dotate di un impianto A.M.I.S., le efficienze di abbattimento sono pari al 97-99% per l'idrogeno solforato e al 90-95 % per il mercurio.

Una volta trattato dall'impianto di abbattimento che elimina le sostanze inquinanti, il gas viene inviato alla base della torre refrigerante, dove, risalendo con la corrente d'aria, subisce un ulteriore "lavaggio" (effetto scrubber\*) entrando in contatto con l'acqua di condensa in raffreddamento prima di essere emesso in atmosfera (12).

\* Si tratta di un procedimento che consente l'abbattimento della concentrazione di sostanze, presenti in una corrente gassosa, intrappolandole in un liquido di lavaggio.



## Possibili impatti ambientali della geotermia



La geotermia è riconosciuta come una delle forme di produzione di energia elettrica a minor impatto ambientale specifico.

Inoltre, il ciclo di produzione impiegato offre la possibilità di utilizzare il calore residuo di processo per usi industriali e domestici (es. teleriscaldamento per le abitazioni, riscaldamento di serre, ecc.).

Tuttavia, come ogni altra attività antropica, anche la geotermia non è esente da impatti sull'ambiente. In condizioni di esercizio, quelli principali possono essere individuati in:

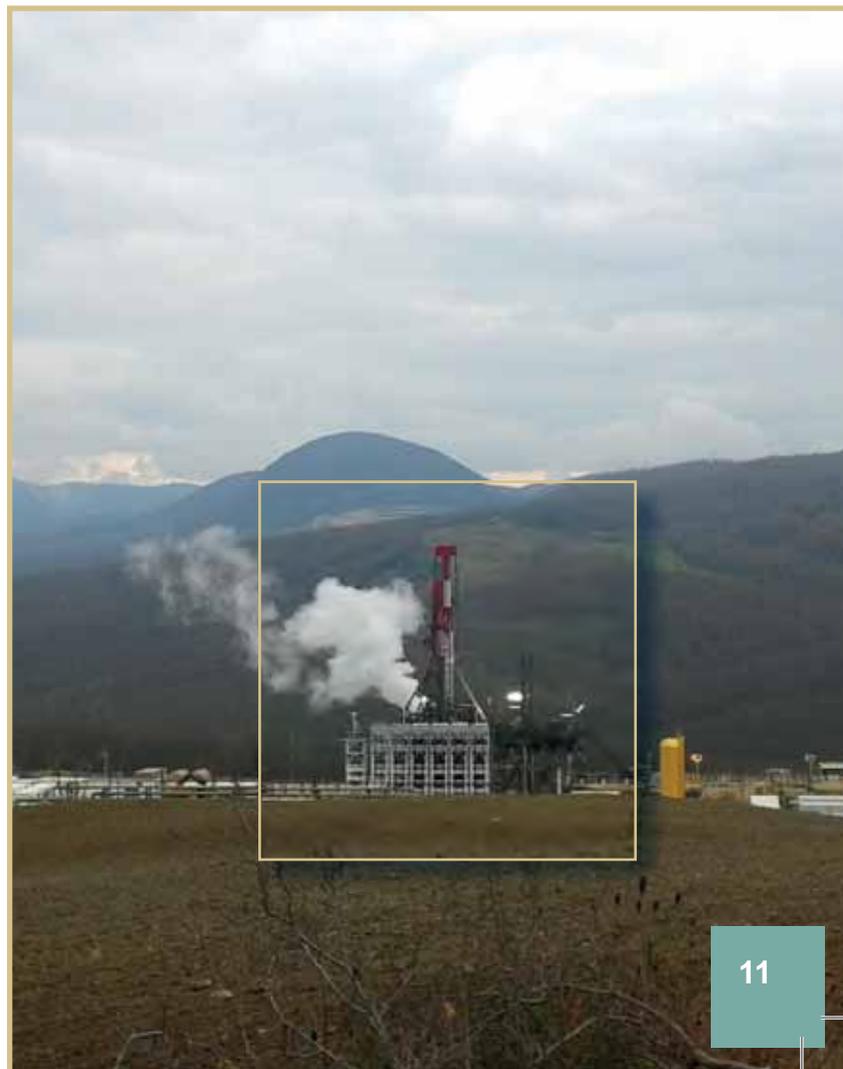
- impoverimento del serbatoio geotermico;
- emissioni in atmosfera;
- disturbi olfattivi legati alla presenza di idrogeno solforato nelle emissioni;
- fenomeni di subsidenza (sprofondamento) e microsismicità legati all'impoverimento del serbatoio geotermico in alcune aree e alla reiniezione;
- eventuali impatti sulla risorsa idrica.

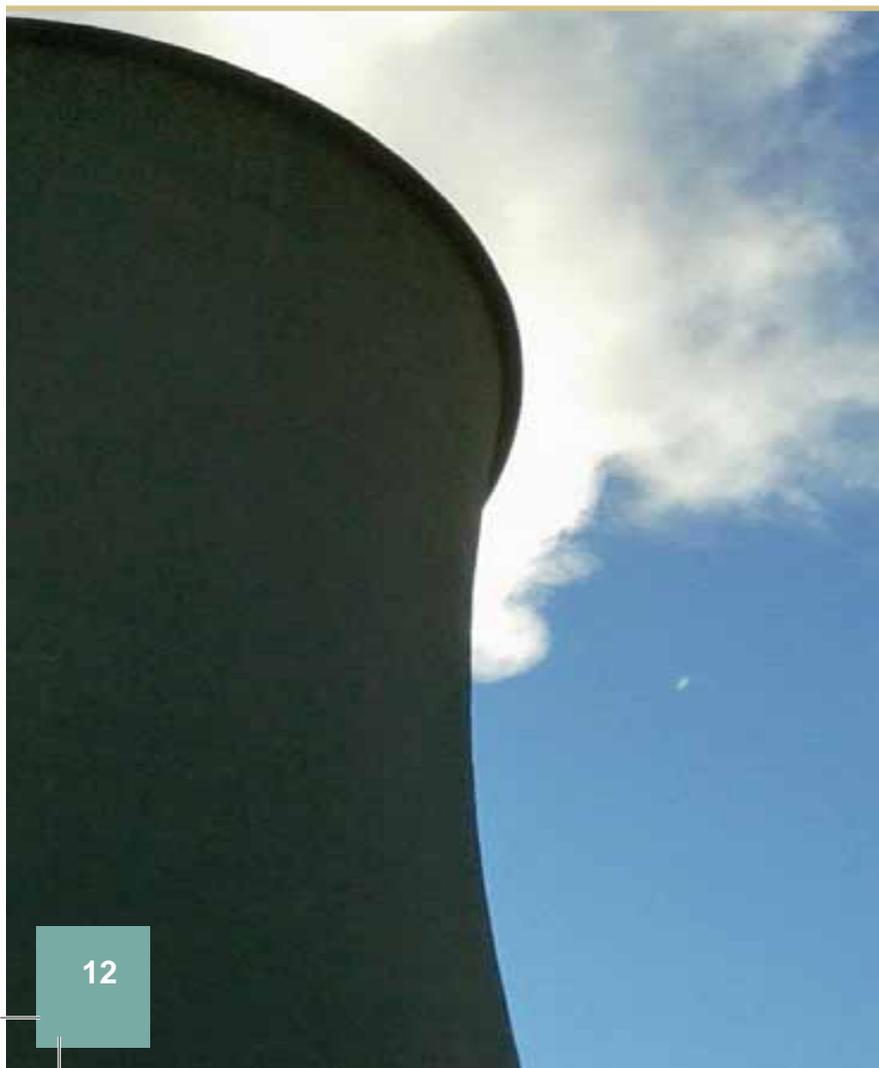




### *Impoverimento del serbatoio geotermico*

Limitare l'impoverimento del serbatoio geotermico è un interesse primario del gestore stesso. Già da diversi anni, per contrastare questo fenomeno, ENEL Green Power ha introdotto la pratica della reiniezione delle condense in esubero dal processo produttivo nel campo geotermico coltivato attraverso pozzi non più produttivi o realizzati ad hoc. Ciò permette di ridurre l'impoverimento del serbatoio e di preservarne la stabilità riducendo contestualmente gli effetti di subsidenza.





### *Emissioni in atmosfera e disturbi olfattivi*

Occorre tenere presente che, nel ciclo produttivo, parte del vapore, una volta utilizzato, viene fatto condensare e, in piccola parte, riutilizzato nel ciclo, mentre in massima parte è avviato alla reiniezione. Invece, la parte dei gas “incondensabili”, dopo il trattamento nel sistema A.M.I.S., viene dispersa in atmosfera attraverso la torre refrigerante.

Questa frazione è costituita principalmente da anidride carbonica, idrogeno solforato e ammoniaca, più frazioni minori di acido bórico, azoto, idrogeno ed elementi in tracce (mercurio, arsenico, antimonio).

Le centrali del Monte Amiata (versante grossetano) sono dotate, in più, di un sistema di abbattimento per l'ammoniaca, in quanto presente con concentrazioni più elevate in questo particolare bacino geotermico rispetto a quelli di altri campi geotermici.

Il sistema si basa sull'acidificazione delle condense circolanti e conseguente salificazione dell'ammoniaca in sali di ammonio che restano disciolti nelle condense e non vengono così dispersi in atmosfera.

Con tale sistema si raggiungono efficienze di abbattimento superiori al 75%.



Per l'**idrogeno solforato**, che rappresenta una frazione dei gas incondensabili, il limite di esposizione per l'essere umano, fissato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), è stabilito a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (come media su 24h). Tuttavia il caratteristico odore di uova marce, percettibile già a concentrazioni di  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pur non rappresentando un pericolo per la salute, può essere percepito come un disturbo per le popolazioni vicine agli impianti. I valori rilevati, mediamente, sono inferiori o uguali alla soglia olfattiva di  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nelle emissioni geotermiche è presente anche il **mercurio**, un metallo fortemente tossico. Essendo un costituente naturale della crosta terrestre, anche in aree lontane da attività antropiche i livelli di mercurio in atmosfera sono di circa  $2 - 4 \text{ ng}/\text{m}^3$ , e possono raggiungere fino a  $10 \text{ ng}/\text{m}^3$  in aree urbane. Come evidenziato dalla stessa OMS, tale fonte può ritenersi trascurabile a fronte dei quantitativi assimilabili dall'organismo umano per assunzione diretta con cibo ingerito e per altre cause (otturazioni dentali di vecchio tipo, antisettici, vernici, ecc.).





### Fenomeni di subsidenza e microsismicità

Il fenomeno della **subsidenza** consiste nell'abbassamento del suolo derivante dalla riduzione di volumi nel sottosuolo, per cause naturali o antropiche. In alcune aree specifiche si registrano tassi di velocità di abbassamento del suolo anomale (qualche mm/anno) nella maggior parte dei casi causate dall'estrazione di fluidi o gas dal sottosuolo, come per esempio la risorsa idrica per approvvigionamento potabile, industriale o agricolo, oppure gas metano. Altra causa è la subsidenza indotta dalle vecchie gallerie minerarie che, collassando, determinano il loro impatto sul suolo in superficie; vi sono anche delle cause naturali, dovute al collasso di ampie cavità sotterranee.

La **microsismicità** è invece il fenomeno che può determinarsi quando le formazioni geologiche rocciose che contengono gas o liquidi (come nel caso dei serbatoi geotermici) vengono scaricate o caricate, causando fratture nella roccia, che a loro volta determinano scosse sismiche di piccola intensità, che non creano danni a persone o cose. Tali fenomeni sono oggetto di monitoraggio da parte dei sismografi di Enel Green Power.



### Risorsa idrica

I sistemi geologici da cui si estrae vapore geotermico sono ubicati nel sottosuolo a profondità elevate, che variano da diverse centinaia a qualche migliaio di metri. Il gestore della risorsa monitora costantemente le condizioni di pressione del serbatoio geotermico in sfruttamento e le sue caratteristiche fondamentali. In aggiunta, i monitoraggi sono svolti sia in tutto il sistema delle acque sotterranee meno profonde (in quanto sede di acquiferi per la risorsa idropotabile), sia sulle acque superficiali.

Il monitoraggio quali-quantitativo costante delle acque sotterranee e superficiali è necessario, a scopo preventivo, per valutare gli eventuali impatti su questa importante risorsa naturale; per tale motivo è stata istituita una fitta rete di piezometri e punti di controllo.



## L'attività di ARPAT: monitoraggio e controllo



ARPAT è impegnata nel monitoraggio degli impatti ambientali derivanti dallo sfruttamento delle risorse geotermiche che si esplica nel controllo presso le centrali geotermiche presenti in Toscana.

Il controllo completo di una centrale geotermoelettrica prevede campionamenti effettuati negli stadi più significativi del ciclo di centrale, rappresentati da:

- vapore in ingresso alla turbina (per il confronto dei parametri in ingresso con l'emissione finale);
- gas in ingresso e in uscita dall'impianto di abbattimento AMIS (per valutarne l'efficienza di abbattimento);
- cosiddetto aeriforme (il "fumo" costituito principalmente da vapore acqueo in uscita dalle celle di raffreddamento delle torri) emesso in atmosfera dalla torre refrigerante;
- acque di condensa del ciclo produttivo e quelle inviate alla reiniezione.



Campionamento aeriforme  
dalla torre refrigerante





Negli ultimi cinque anni, ARPAT ha svolto un numero di controlli alle emissioni delle centrali mediamente pari a 17 - 20 gruppi produttivi (centrali geotermoelettriche) controllati per anno. Un controllo completo ha una durata dai due ai tre giorni, durante i quali sono prelevati circa 40 campioni, tra liquidi e gassosi, per la determinazione dei parametri chimici, sia nelle acque di condensa sia nell'emissione aeriforme. Sono inoltre effettuate circa 130 misure fisiche nei diversi settori impiantistici (temperatura, pressione dei condotti, flussi, velocità del fluido, pressione differenziale del fluido).



<http://www.arpat.toscana.it/datiemappe/dati/emissioni-di-acido-solfidrico-h2s-degli-impianti-geotermici>



<http://www.arpat.toscana.it/datiemappe/dati/emissioni-di-mercurio-degli-impianti-geotermici>



### Monitoraggio della qualità dell'aria

Per i controlli sull'aria è attiva una rete di 18 centraline fisse, di proprietà ENEL Green Power, per il monitoraggio dell'**idrogeno solforato**. I dati validati sono inviati alla Regione Toscana e ad ARPAT, che ne valuta la congruità. ARPAT integra il controllo effettuando indagini autonomamente sia attraverso una centralina fissa per il controllo della qualità dell'aria, installata nell'abitato di Montecerboli (PI), sia attraverso la gestione di due mezzi mobili di rilevamento; tutte e tre le stazioni monitorano oltre all'idrogeno solforato anche il **mercurio**.

In base agli effetti osservati sugli esseri umani dei vapori di mercurio, le linee guida OMS suggeriscono

di non superare concentrazioni medie annue (valore medio calcolato in un anno) di  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tuttavia, cautelativamente ed in accordo con la Normativa Regionale (DGRT n. 344 del 22/03/2010), nei rapporti di ARPAT è stato scelto di riferirsi ad un valore più basso:  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $200 \text{ ng}/\text{m}^3$ ), anch'esso mediato su un periodo di un anno. Questo valore è coerente con i Livelli guida significativi per la salute, elaborati dalla Agenzia USA ATSDR (*Agency of Toxic Substances and Disease Registry*), in analogia ai valori soglia EPA (Agenzia per la protezione ambientale USA), per effetti non cancerogeni delle sostanze chimiche nell'ambiente per valutare i siti contaminati (2007).



*Considerato che l'esercizio delle centrali geotermoelettriche rappresenta una peculiarità del territorio toscano, la Regione Toscana si è dotata di specifica normativa di settore, la DGRT n. 344 del 22/03/2010, che svolge, in una certa misura, la funzione di documento B.A.T. (Best Available Technology) per questa specifica categoria di impianti.*



<http://www.arpato.toscana.it/temi-ambientali/sistemi-produttivi/impianti-di-produzione-di-energia/geotermia/monitoraggio-qualita-dellaria>



### Monitoraggio delle acque sotterranee e superficiali

ARPAT, a partire dal 2002, effettua 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 D.Lgs n.152/2006. I dati sono trattati, oltre che per valutare lo stato chimico qualitativo, anche statisticamente per evidenziare eventuali tendenze all'incremento e/o al decremento dei vari parametri.

I parametri monitorati sono arsenico, boro, conducibilità, pH, solfati, cloruri.

Riguardo al parametro più critico, l'arsenico, il Report annuale ARPAT "Monitoraggio delle aree geotermiche toscane - Anno 2015" prodotto a cura del Settore Geotermia ha evidenziato tendenze al decremento in 6 stazioni su 10 e stazionarietà nelle restanti 4, mentre è

stata registrata una tendenza all'incremento per i cloruri. Un ulteriore piano di monitoraggio relativo al "Riassetto dell'Area geotermica di Piancastagnaio", di cui alla Delibera della RT n. 229/2011, va ad aumentare i punti di controllo integrando così il report precedentemente indicato. Per quest'ultimo monitoraggio, avviato ad ottobre 2012, ARPAT svolge, in contraddittorio con ENEL Green Power, il controllo su 9 sorgenti e 10 aste fluviali al fine di verificare eventuali criticità sulla risorsa idrica superficiale. Sempre per l'area geotermica del Monte Amiata, sono stati realizzati da Enel Green Power 4 piezometri con l'installazione, per ognuno, di una sonda multiparametrica per la caratterizzazione qualitativa (temperatura, conducibilità e salinità) e una sonda che effettua misure freatiche (livello di falda) in continuo. Questi dati sono gestiti dal Sistema Idrologico Regionale (SIR) della Toscana.





- D.Lgs n. 152/2006 “Norme in materia ambientale”
- D.Lgs n. 22 del 11/02/2010 “Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell’articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n.99”
- DGRT n. 344 del 22/03/2010 “Criteri direttivi per il contenimento delle emissioni in atmosfera delle centrali geotermoelettriche”
- DGRT n. 229 del 11/04/2011 “D.Lgs. 152/06 e s.m.i., art. 26 Pronuncia di compatibilità ambientale sul progetto relativo al "Riassetto dell'Area Geotermica di Piancastagnaio", nel Comune di Piancastagnaio (SI), presentato da Enel Green Power s.p.a.”



Geotermia  
L'impianto di  
Bagnore 4 (GR)





1. **Polveri atmosferiche**, *marzo 2004*
2. **Le acque minerali naturali**, *settembre 2004*
3. **Amianto**, *marzo 2005*
4. **VIA - Valutazione di Impatto Ambientale**, *novembre 2006*
5. **Radon**, *marzo 2007*
6. **Qualità dell'aria: pollini e licheni**, *novembre 2007*
7. **Acque potabili**, *dicembre 2008*
8. **Le processionarie del pino e della quercia. Indicazioni operative e precauzioni da adottare**, *dicembre 2008*
9. **Impianti di telecomunicazione in città**, *dicembre 2009*
10. **I grandi vertebrati marini**, *novembre 2010*
11. **Il monitoraggio marino-costiero: il Poseidon**, *maggio 2011*
12. **Campi elettromagnetici a bassa frequenza: elettrodotti e cabine elettriche**, *novembre 2011*
13. **Inquinamento acustico**, *dicembre 2012*
14. **Polveri atmosferiche**, *dicembre 2012*
15. **Microinquinanti organici**, *settembre 2013*
16. **AIA - Autorizzazione Integrata Ambientale**, *dicembre 2013*
17. **Stabilimenti a rischio di incidente rilevante**, *dicembre 2014*
18. **Monitoraggio della qualità delle acque dolci superficiali**, *giugno 2015*
19. **La balneazione**, *luglio 2015*
20. **La biodiversità**, *giugno 2016*
21. **Bonifiche**, *ottobre 2017*

Per collegarsi alla pagina Web delle Schede informative ARPAT



**ARPAT**

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

**Direzione generale via N. Porpora, 22 50144 Firenze**

*Per informazioni e segnalazioni ambientali:*  
**urp@arpat.toscana.it**

*Per trasmissione di documenti con valore legale di invio:*

**arpat.protocollo@postacert.toscana.it**

**Centralino unico per tutti i Dipartimenti ARPAT della Toscana:**

**tel. 055.32061  
fax 055.3206324**

**Numero verde:  
800 800400**

**www.arpat.toscana.it  
<https://twitter.com/arpatoscana>**