

# Larderello e l'energia geotermica

MARIA LUISA FELICI



## ***L'energia geotermica***

L'energia geotermica è costituita dal calore presente all'interno della Terra, che nelle zone più profonde del pianeta si stima che si aggiri sui 6000 °C e deriva dal residuo calore primitivo del pianeta e dalle reazioni nucleari legate al decadimento radioattivo di alcuni materiali terrestri (uranio, torio, potassio, ecc.).

La Terra può quindi essere considerata un immenso serbatoio di calore: si calcola che l'energia termica contenuta entro i primi 5 km sia equivalente a circa 500 000 volte gli attuali fabbisogni mondiali. Si tratta però di energia fortemente dispersa e solo raramente recuperabile in condizioni economicamente vantaggiose. A suo vantaggio presenta la caratteristica di essere relativamente costante nel tempo, priva di fluttuazioni meteorologiche diurne o stagionali e può concentrarsi in zone caratterizzate da anomalie termiche dovute per lo più ad aree di vulcanesimo, dove può raggiungere livelli di temperatura sfruttabili per fini industriali. L'energia geotermica può essere considerata inesauribile; si propaga per conduzione nelle rocce compatte e per convezione in quelle permeabili e fratturate, affluendo in superficie con un gradiente di temperatura medio di circa 3 °C ogni 100 metri.

Per gli usi industriali ed energetici con energia geotermica si fa riferimento oggi al calore endogeno disponibile fino a profondità di 4-6 km, benché le attuali tecnologie di perforazione consentano di raggiungere profondità anche di 10 km.

L'Italia è il Paese ove l'energia geotermica è stata per la prima volta sfruttata a fini industriali ed è tuttora uno dei principali produttori di energia geotermoelettrica. Nel mondo sono presenti altre importanti aree in Stati Uniti, Messico, Cile, Perù, El Salvador, Giappone, Filippine, Indonesia, e in altri paesi, in genere dove sono presenti processi vulcanici ancora attivi.

## ***Energia geotermica e geologia dell'Italia***

La nostra penisola si trova in un'area geologica attiva, caratterizzata da un paesaggio dominato da Alpi e Appennini, nella quale si evidenzia, nella fascia preappenninica di Toscana, Lazio e Campania e nella relativa zona tirrenica fino alla Sicilia, un assottigliamento della crosta con conseguente risalita del mantello terrestre. Tale fenomeno comporta la presenza di elevati flussi di calore generati da intrusioni magmatiche a profondità di pochi chilometri e manifestazioni vulcaniche oramai estinte o tuttora attive o in quiescenza. Proprio in queste fasce si concentra la potenzialità delle manifestazioni geotermiche, collegate a rocce permeabili di solito situate al di sotto di formazioni geologiche impermeabili di copertura, generando condizioni favorevoli per la presenza di serbatoi geotermici. Questi ultimi, spesso associati a acque termali, sono rocce in cui l'acqua piovana si infiltra in profondità e si riscalda circolando nelle fratture o nei pori di rocce calde e permeabili. In Italia il più importante acquifero che ospita le acque geotermiche è costituito da rocce carbonatiche risalenti all'era Mesozoica (190-65 milioni di anni fa), presenti fino a 3000 metri di profondità e molto permeabili, in quanto soggette nel passato a eventi di fratturazione (vedi figura 1).

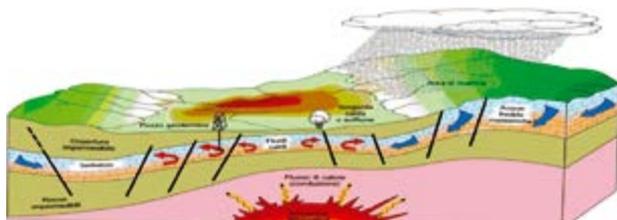


Fig. 1. Schema di serbatoio geotermico (fonte: [www.unionegeotermica.it](http://www.unionegeotermica.it)).

I serbatoi geotermici ad alta temperatura (detti anche ad 'alta entalpia' in quanto il gradiente termico è molto superiore al gradiente medio) presenti in Toscana, Lazio, Campania sono invece separati dagli acquiferi a bassa temperatura per mezzo di rocce impermeabili che permettono l'accumulo di energia termica nei fluidi.

### **La risorsa geotermica più importante in Italia: la Toscana**

La principale sorgente di calore è localizzata nella fascia tirrenica, nell'entroterra centro-settentrionale e nelle Isole Eolie ed è dovuta a corpi magmatici sepolti, recenti o attuali, situati a 3000-4000 metri di profondità. La circolazione di fluidi in superficie in fase di vapore o acqua può raggiungere i 150°-350° da pochi metri di profondità a 3000-4000 metri. Toscana e Lazio sono le regioni in cui si trovano serbatoi geotermici a più elevata temperatura, in rocce metamorfiche e carbonatiche sovrastanti le intrusioni magmatiche profonde.

In altri casi la sorgente di calore deriva dall'ascesa di acque riscaldate in profondità, con circolazioni convettive all'interno di alti strutturali carbonatici permeabili sepolti. In Sardegna sono invece presenti circolazioni di acque termali in corpi magmatici nella fase finale del loro raffreddamento e nelle contigue rocce prevalentemente sedimentarie.

La più importante risorsa geotermica italiana si trova nella Toscana meridionale, lungo un'area geografica del pre-Appennino, i cui confini sono delimitati dal Fiume Cecina a nord e il Fiume Fiora a sud.



*Il principe Piero Ginori Conti e il dispositivo che permise di produrre, per la prima volta al mondo, energia elettrica a Larderello (Pisa).*





*Il Parco delle Fumarole a Sasso Pisano,  
a pochi chilometri da Larderello (Foto di Anita Panci).*

In quest'area, oltre a numerose manifestazioni di acquiferi termali in superficie, sono presenti sistemi geotermici ad alta entalpia, situati in due zone distinte: la zona boracifera a sud-ovest di Siena, che comprende i due campi geotermici di Larderello e Travale-Radicondoli, e nell'area del Monte Amiata a nord-est di Grosseto, con i campi di Bagnore e Piancastagnaio.

Partendo dall'alto, la sequenza geologica (vedi figura 2) delle formazioni è caratterizzata da un primo complesso superficiale comprendente argille, sabbie



**Fig. 2. Mappa geologica schematica di Larderello**

-  Sedimenti neogenici (A) depositi idrotermali
-  Flysch liguri
-  Formaz. arenaceo carbonatica della serie Toscana
-  Form. metamorfiche

e conglomerati; poi al di sotto l'Unità dell'Insieme Ligure che comprende una serie di formazioni alloctone in cui sono incluse formazioni in facies di Flysch e composte da argilliti, calcari marnosi e arenarie con presenza di masse ofiolitiche. Queste due unità costituiscono lo strato di formazioni impermeabili che copre il serbatoio geotermico. Al di sotto si trovano le formazioni autoctone della Serie Toscana con formazioni non carbonatiche (macigno, scisti

policromi in alto) e formazioni carbonatico-evaporitiche in basso. Queste ultime costituiscono il serbatoio del sistema geotermico.

Ancora al di sotto si trova il basamento metamorfico contraddistinto dalle unità dello Gneiss dell'Unità di Monticano-Roccastarda, in ultimo lo strato di rocce termometamorfiche e le intrusioni granitiche, situate a una profondità di 5-10 km sotto la superficie.

La fonte di calore che alimenta il sistema geotermico è una intrusione granitica in via di raffreddamento nella Sede Toscana, a circa 5-10 km di profondità.

L'attività tettonica derivante dai movimenti del mantello terrestre negli ultimi 39 milioni di anni ha originato dapprima la sovrapposizione delle rocce impermeabili, in particolare della facies di Flysch, sulle formazioni alla base della Serie Toscana (carbonati, evaporiti) creando la cosiddetta Serie Ridotta e agendo come copertura



L'area geotermica di Larderello e Travale-Radicondoli, due località distanti circa 15 km tra loro, è caratterizzata da due serbatoi, uno superficiale e uno più profondo con temperature e pressioni diverse. Il tetto del serbatoio superficiale si trova tra i 400 e 1000 metri, con temperature oltre i 250 °C in corrispondenza con le zone più permeabili e più elevate strutturalmente del serbatoio, e presenta un esteso sistema di faglie che lo rende permeabile e quindi più 'produttivo'. Il serbatoio profondo si trova invece a una profondità di 2500-4000 metri all'interno delle formazioni metamorfiche del basamento e presenta zone permeabili discontinue e intervallate da rocce a bassa permeabilità, che fungono da barriere e che garantiscono temperature elevate.

Il sistema geotermico di Larderello e Travale-Radicondoli è del tipo a vapore dominante, con pressioni di 10-30 bar alla profondità di 1000 metri per il serbatoio superficiale e di 60-70 bar a circa 3000-4000 metri.

Il fluido estratto dal serbatoio superficiale ha una concentrazione media di vapore surriscaldato compresa tra il 92 e il 98% in peso del fluido estratto, con temperature comprese tra i 150 e i 270 °C e pressioni tra 2 e 18 bar. Nel fluido sono presenti gas incondensabili come anidride carbonica per il 96%, idrogeno solforato per l'1,7%, idrogeno per lo 0,1%, metano per lo 0,65%, azoto per lo 0,3%, ammoniaca per lo 0,4%, boro per lo 0,8%, altri componenti, in parti per milione (ppm) come cloruri, silice, ioni sodio, ferro, e in quantità infinitesimali, mercurio, argon, neon.

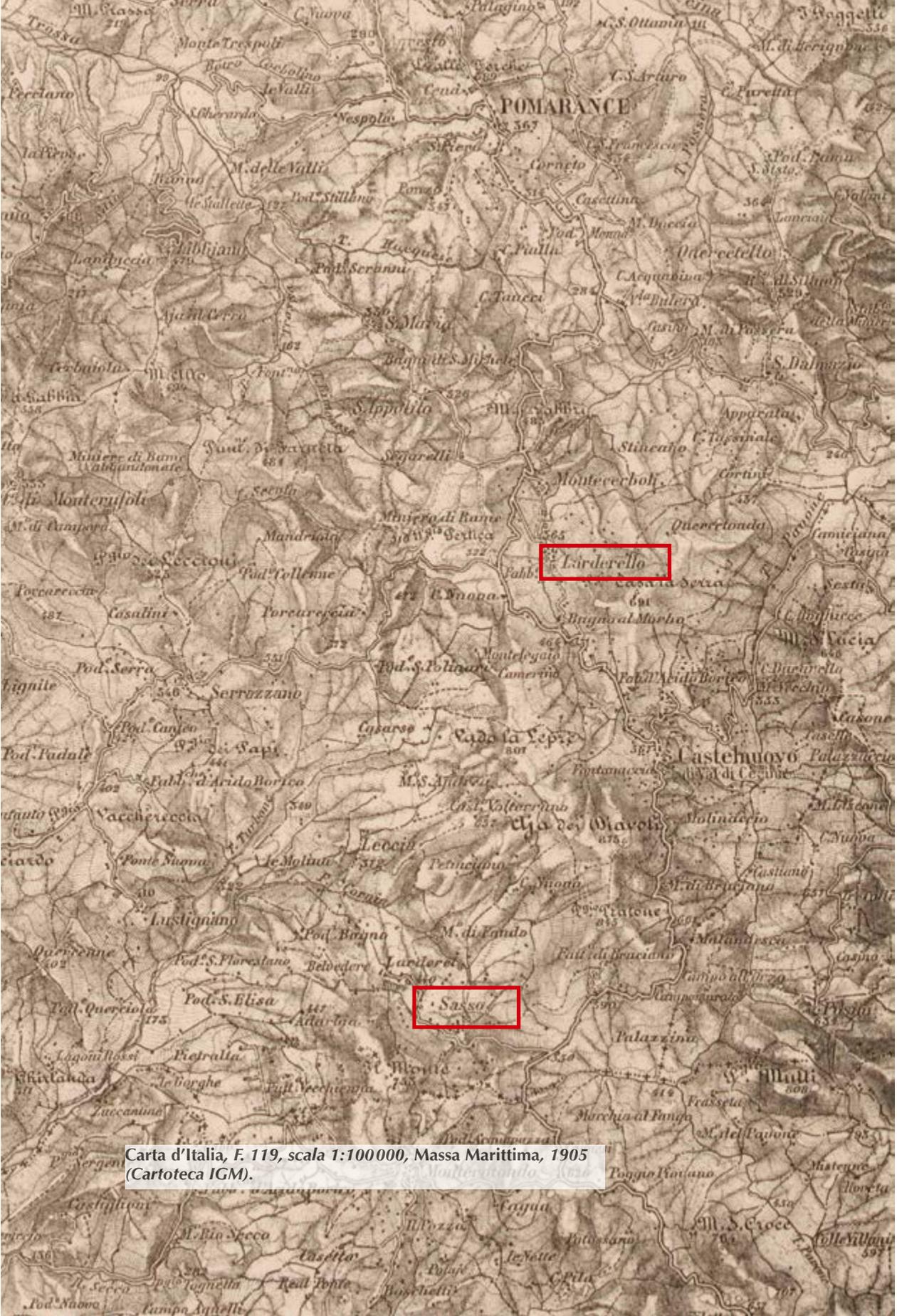
L'area del Monte Amiata si trova a circa 70 km dalla precedente zona e ospita due campi geotermici, Bagnore e Piancastagnaio, ma a differenza di Larderello e Radicondoli-Travale il fenomeno magmatico ha dato luogo sia a manifestazioni intrusive di tipo granitico sia effusive, generando, in quest'ultimo caso, un edificio vulcanico di età quaternaria, caratterizzato da vulcaniti permeabili. La massa granitica si troverebbe invece a una profondità di 5000-7000 metri di profondità a una temperatura di circa 800 °C.





*Particolare della Carta Speciale del Bacino Boracifero di Larderello, scala 1:10000, cm 133 x102, F. 119 della Carta d'Italia, I SE, Sez. D, Larderello, 1923 (Biblioteca "Attilio Mori", IGM, inv. n. 3185).*

*A lato: Sasso Pisano (Pisa), emanazione endogene (Foto di Anita Panci).*



Carta d'Italia, F. 119, scala 1:100000, Massa Marittima, 1905 (Cartoteca IGM).



*Panorama di Montecerboli (a sinistra) e Larderello (a destra), frazioni di Pomarance (Pisa)  
(Wikimedia Commons).*

### ***Lo sfruttamento dell'energia geotermica***

Il potenziale geotermico italiano, a profondità economicamente conveniente, è quindi notevole, con risorse ad alta temperatura (superiori ai 150 °C) per lo più in aree della fascia pre-appenninica toscano-laziale-campana e con risorse a bassa e media temperatura (inferiori ai 150 °C) in vaste aree del territorio nazionale.

L'individuazione di un serbatoio geotermico è articolato in più fasi preliminari: censimento delle manifestazioni geotermiche presenti in una determinata zona; indagini geologiche, geochimiche e geofisiche; perforazione di pozzetti esplorativi per la misurazione delle temperature e del flusso di calore terrestre. L'analisi e interpretazione dei dati ottenuti consentirà successivamente di individuare i serbatoi geotermici e quindi procedere alla perforazione di pozzi per la produzione di fluido geotermico e la sua trasformazione, tramite appositi impianti, al fine di ottenere energia elettrica. La particolarità dell'energia geotermica è di essere una fonte rinnovabile pulita ed economica, che permette di risparmiare milioni di barili di petrolio/anno in tutto il mondo. Inoltre anche le emissioni di sostanze inquinanti, come ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) sono notevolmente inferiori rispetto a gas naturale, petrolio e carbone.



*Monterotondo Marittimo (Grosseto), Parco delle Biancane:  
in alto, emanazioni endogene e, nella pagina a lato, lagune naturali  
(Foto di Michele Pavolini).*

