

# L'energia geotermica e i rischi connessi al suo sfruttamento

Paolo Capuano

**L**a geotermia è la disciplina che si occupa dello studio, della ricerca e dello sfruttamento dell'energia termica della Terra (Figura 1) per utilizzi civili, agricoli ed industriali. L'espressione energia geotermica è generalmente impiegata per indicare quella frazione del calore terrestre che può, o potrebbe, essere estratto dal sottosuolo e sfruttato dall'uomo. Questo calore è contenuto all'interno delle rocce, nei fluidi e nelle acque che si trovano nel sottosuolo.

È stato stimato che l'energia termica totale contenuta nella Terra, assumendo una temperatura superficiale media di 15 °C, sia dell'ordine di  $12,6 \times 10^{24}$  MJ e che quella contenuta nella crosta sia dell'ordine di  $5,4 \times 10^{21}$  MJ [1]. Sino a oggi, l'utilizzazione di questa energia è stata limitata a quelle aree nelle quali le condizioni geologiche permettono a un vettore (acqua in fase liquida o vapore) di trasportare l'energia termica dalle formazioni calde profonde alla superficie o vicino a essa, dando origine alle risorse geotermiche.

L'energia geotermica è stata sfruttata per secoli in molti luoghi per la cottura dei cibi ed il riscaldamento. Antiche civiltà hanno utilizzato sorgenti calde per scopi terapeutici e magici, in quanto fonte naturale di acqua riscaldata contenente molti minerali che si ritenevano benefici per la salute. La necessità, sempre più avvertita, di diversificare le fonti di energia, per superare i problemi connessi con

quelle da combustibili fossili, ha portato allo sviluppo e alla maggiore utilizzazione di forme di energia rinnovabili, come l'energia solare, eolica e geotermica. L'energia geotermica viene sempre più considerata una fonte energetica attrattiva in tutte le aree al mondo dove il suo sfruttamento è possibile, con l'obiettivo di soddisfare una crescente domanda di energia con la stabilizzazione e/o riduzione della concentrazione di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) nell'atmosfera. Infatti, i campi geotermici producono soltanto un sesto circa della CO<sub>2</sub> che produce una centrale elettrica alimentata a gas naturale. A differenza di energia solare ed eolica, l'energia geotermica è disponibile costantemente, rendendo tale risorsa tra le più interessanti fra quelle rinnovabili e sostenibili, tanto che la produzione di energia geotermica è andata aumentando in tutto il mondo negli ultimi decenni [2].

L'energia geotermica appartiene pienamente alla categoria delle energie rinnovabili, energie che sono, o possono essere, utilizzate dall'uomo, sfruttando, sulla base di un intervento scientifico e tecnologico, i flussi di materia e di energia che già si verificano in natura in condizioni indisturbate. Il loro sfruttamento deve riferirsi a condizioni stazionarie perché possano essere considerate realmente come energie rinnovabili.

L'International Geothermal Association ha indicato circa 20 paesi in grado di produrre e sfruttare, in termini econo-

Figura 1. Schema concettuale di campo geotermico.

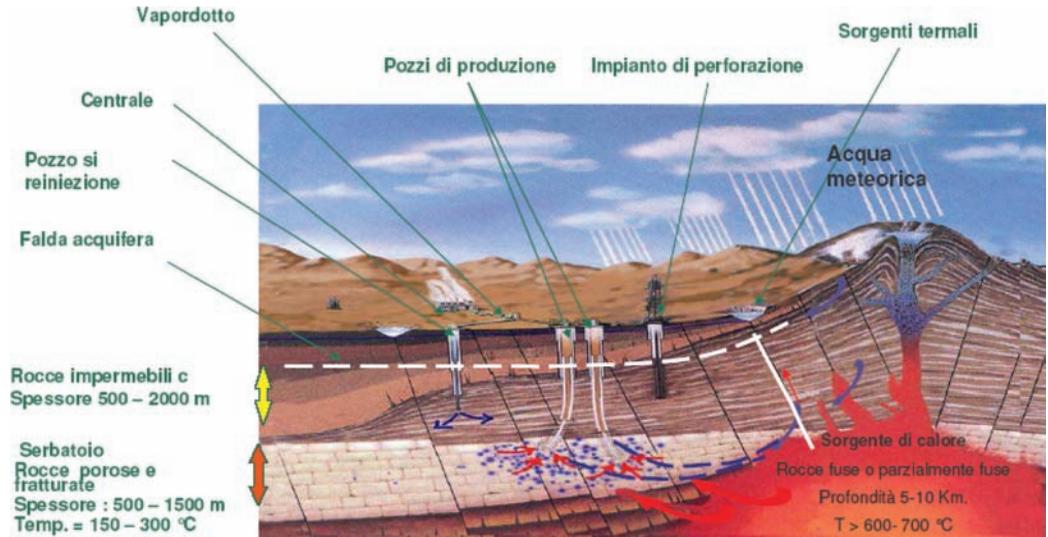


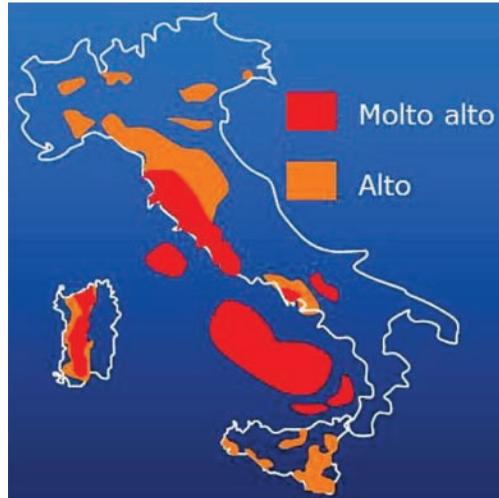
Tabella 1. Classifica dei primi 15 paesi utilizzatori di energia geotermica sia per la produzione di energia elettrica, sia per usi diretti come risorsa termica [1, 2].

micamente convenienti, energia utilizzando la risorsa geotermica (Tabella 1). L'Italia nel campo delle ricerche e dell'utilizzo di energia geotermica si pone senza dubbio all'avanguardia. Infatti, oltre ad essere al quinto posto nel mondo per produzione di energia elettrica dal calore della terra, per primo ha finanziato la costruzione di una

centrale geotermica nella zona di Lardarello, in Toscana. Dall'inizio del '900 la geotermia è stata, in un paese povero di risorse, una delle componenti utilizzate per coprire seppur una minima parte del fabbisogno nazionale: attualmente circa il 2% della produzione di energia nazionale attraverso le centrali di Lardarello, Monti Amiata, Latera, concentrate in Toscana e nell'alto Lazio. Tutto ciò senza che gran parte del vapore ad alta temperatura, quello più adatto per produrre energia elettrica, sia stato ancora utilizzato e senza che siano stati sviluppati programmi di esplorazione profonda ed un attento sfruttamento delle aree a bassa entalpia, interessanti per i minori costi che tale sfruttamento comporta rispetto all'istallazione di centrali geo-termoelettriche. Oggi però il quadro è ben diverso: con l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto e successivi accordi, la geotermia può conoscere una nuova primavera: l'Italia è un Paese geotermicamente caldo ed ha un potenziale talmente vasto da giustificare una scommessa tecnologica e di ricerca unica al mondo. La risorsa geotermica nel nostro Paese è principalmente concentrata sul bordo tirrenico centro-meridionale, dalla Toscana alla

Produzione energia elettrica geotermica		Utilizzo diretto energia geotermica	
Paese	GWh/anno	Paese	GWh/anno
USA	17.917	Cina	20.932
Filippine	10.311	USA	15.710
Indonesia	9.600	Svezia	12.585
Messico	7.047	Turchia	10.247
<b>Italia</b>	5.540	Giappone	7.139
Islanda	4.597	Norvegia	7.000
Nuova Zelanda	4.055	Islanda	6.768
Giappone	3.064	Francia	3.592
Kenia	1.430	Germania	3.546
El Salvador	1.422	Olanda	2.972
Costa Rica	1.145	<b>Italia</b>	2.762
Turchia	490	Ungheria	2.713
Nuova Guinea	450	Nuova Zelanda	2.654
Russia	441	Canada	2.465
Nicaragua	310	Finlandia	2.325

Figura 2. Aree ad elevato potenziale geotermico in Italia.



Campania e, più a Sud, nell'area vulcanica del Tirreno Meridionale. Altre zone con notevole potenziale geotermico sono la Sardegna occidentale e la Sicilia (Figura 2).

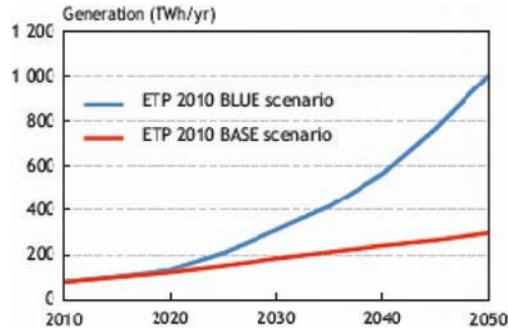
Le più avanzate tecnologie di utilizzo della risorsa geotermica prevedono lo sfruttamento di sorgenti a diversi livelli di temperatura, con o senza acquiferi naturali:

- **Bassa temperatura ( $15^{\circ} < T < 90^{\circ}$ ).**  
In questo intervallo di temperatura, sono possibili diversi tipi di sfruttamento, sia per il condizionamento che per il riscaldamento di abitazioni e serre. Il condizionamento ad alto rendimento viene ottenuto con le cosiddette "pompe di calore (o sonde) geotermiche". Il principio di base di questi impianti è che la sorgente di cessione o prelievo di calore è localizzata ad una certa profondità nel sottosuolo, avendo quindi una temperatura costante nelle diverse stagioni e molto vicina alle temperature tipiche di condizionamento estate/inverno (circa  $20^{\circ}\text{C}$ ).
- **Media temperatura ( $90^{\circ} < T < 180^{\circ}\text{C}$ ).**  
Le sorgenti in questo intervallo di temperature sono ideali per la produzione di energia elettrica con piccoli/medi impianti (100 kW-10 MW) di

tipo binario. Negli impianti di tipo binario, il fluido geotermico viene fatto circolare, a circuito chiuso, in uno scambiatore di calore per vaporizzare un fluido a basso punto di ebollizione ( $50^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$ ), prima di essere immesso di nuovo nel sottosuolo per tornare in falda. Prima della re-iniezione in falda, il fluido ancora a temperatura abbastanza alta può essere immesso in un circuito per il riscaldamento di edifici e serre, rendendo così possibile la "cogenerazione" di energia elettrica e termica.

- **Alta temperatura ( $180^{\circ} < T < 390^{\circ}\text{C}$ ).**  
Le sorgenti in questo intervallo di temperatura si prestano in maniera ottimale alla generazione di energia elettrica con medi/grandi impianti (10 MW-100 MW) che si basano principalmente sulla separazione del vapore, che viene immesso in turbina, dall'acqua residua, che può a sua volta essere immessa in un ciclo binario per produrre ulteriore energia elettrica (ed eventualmente termica) e poi re-immessa in falda. Anche il vapore in uscita dalle turbine può essere ricondensato ed il liquido così ottenuto immesso in un ulteriore ciclo binario per la co-generazione elettrica e termica, prima di essere re-iniettato in falda. Gli impianti combinati a vapore e cicli binari, che prevedono la re-iniezione totale del fluido geotermico, ed, al pari degli impianti binari, consentono la produzione elettrica con impatto ambientale pressoché nullo, in quanto virtualmente nulle le emissioni di gas geotermici in atmosfera e trascurabile l'impatto sulla falda.
- **Altissima temperatura ( $390^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C}$ ), o "temperatura supercritica".**  
A queste temperature, i fluidi geotermici sono al di sopra del punto critico, ossia in una condizione né liquida né gassosa. Le altissime temperature di questi fluidi si traducono

Figura 3. Stima di crescita fino al 2050 della produzione mondiale di energia elettrica da fonti geotermiche in base a due scenari: trend attuale (rosso), riduzione al 50% della CO<sub>2</sub> (blu) [7].



in pressioni di vapore estremamente alte, analogamente agli impianti termoelettrici a combustibile fossile, che consentono di ottenere potenze estremamente elevate (100 MW-1000 MW), comparabili appunto a grandi impianti a combustibile fossile o nucleare. Le tecnologie a fluidi supercritici sono ancora in una fase di sperimentazione, per ora soltanto in Islanda ma, dove applicabili (ad esempio nelle aree vulcaniche italiane), possono rappresentare, in un vicino futuro, una sorgente energetica di enorme potenzialità ed altamente sostenibile.

Bisogna rilevare che oltre alle già sperimentate tecnologie per lo sfruttamento di risorse geotermiche convenzionali (serbatoi a bassa entalpia e di quelli ad alta entalpia a circolazione di fluidi caldi), recentemente si sta affermando lo studio e lo sfruttamento di serbatoi geotermici profondi in strutture impermeabili (EGS: enhanced geothermal system), tramite la iniezione in tali strutture di fluidi che producono e/o riattivano fratture, aumentando la permeabilità delle rocce, e consentendo successivamente il loro riscaldamento e pompaggio in superficie.

Risulta, quindi, rilevante l'opportunità di valorizzare questa risorsa energetica rinnovabile, dal costo competitivo rispetto alle fonti non rinnovabili e dalle elevate capacità produttive, specie nel nostro paese ove sono numerosi i cam-

pi geotermici in attività e ancora più numerose le aree con potenzialità non trascurabili.

Anche se l'energia geotermica ha un impatto minore sull'ambiente rispetto ad altri tipi di produzione di energia, ci sono ancora aspetti di impianti di energia geotermica che possono essere rischiosi per l'ambiente. La produzione geotermica deve, quindi, essere sempre sottoposta a robuste valutazioni di impatto ambientale in maniera da minimizzare le alterazioni ambientali ed i possibili effetti nocivi sulla salute, e inserirsi quindi pienamente in un contesto di sviluppo non solo compatibile ma anche condivisibile. La tecnologia attualmente disponibile permette, infatti, di ridurre a valori estremamente bassi i rischi connessi e gli impatti ambientali e sanitari dell'energia geotermica, mediante la re-iniezione dei fluidi geotermici ed opportuni sistemi di abbattimento dei componenti potenzialmente tossici della frazione gassosa ed aeriforme. In particolare, lo sfruttamento con sistemi EGS pone il problema della sismicità indotta, in particolare nelle aree fortemente urbanizzate, come dimostra il recente caso di un progetto geotermico nell'area della città di Basilea in Svizzera [3]. Tale approccio richiede quindi un'attenta analisi sul rischio sismico indotto in queste aree e lo sviluppo di una opportuna rete di monitoraggio.

Gli effetti ambientali dello sfruttamento dell'energia geotermica dipendono dalla tipologia dell'utilizzazione [4]. L'uso diretto del calore (usi non elettrici) causa generalmente un impatto ambientale modesto, la produzione di elettricità con impianti a ciclo binario produce effetti simili a quelli degli usi diretti. L'impatto sull'ambiente è potenzialmente maggiore nel caso di centrali elettriche convenzionali.

I possibili effetti ambientali possono, quindi, essere analizzati da diversi punti di vista che comprendono: quali-

tà dell'aria, qualità dell'acqua, contaminazione sotterranea chimica o termica, subsidenza del terreno, sismicità indotta, conseguenze delle attività industriali.

L'emissione in atmosfera di fluidi geotermici da impianti industriali può avere un impatto ambientale in quanto possono contenere principalmente biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), solfuro di idrogeno (H<sub>2</sub>S), ammoniacca (NH<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e sostanze chimiche disciolte le cui concentrazioni aumentano con la temperatura. Le attuali tecnologie dispongono di sistemi efficaci per la riduzione dell'emissione di sostanze potenzialmente pericolose. In ogni caso, la quantità di CO<sub>2</sub> rilasciata da impianti geotermici è, comunque, inferiore a quella emessa dagli impianti alimentati da combustibili fossili: 13-380 g/kWh di elettricità prodotta nelle centrali geotermiche, in confronto con 1.042 g/kWh nelle centrali a carbone, 906 g/kWh nelle centrali a olio combustibile e 453 g/kWh nelle centrali a gas naturale [5].

L'emissione di acque di scarico è un'altra fonte potenziale di inquinamento. Tali acque, potendo contenere sostanze chimiche disciolte, come cloruro di sodio (NaCl), boro (B), fluoruri, arsenico (Ar) e mercurio (Hg), sono possibile causa di inquinamento se disperse. Pertanto devono essere o trattate o reiniettate nel serbatoio (o entrambe le cose). Le acque di scarico degli impianti geotermici hanno, inoltre, una temperatura generalmente superiore a quella dell'ambiente circostante e costituiscono potenziali inquinanti termici.

L'estrazione di grandi quantità di fluido dal serbatoio geotermico può in alcuni casi generare fenomeni di subsidenza, vale a dire il graduale abbassamento della superficie del suolo. Questo fenomeno può essere prevenuto o ridotto attraverso processi di re-iniezione dei fluidi scaricati nel serbatoio geotermico, che, in generale, riducono l'impatto ambientale.

Un aspetto rilevante nell'analisi dell'impatto ambientale dello sfruttamento della risorsa geotermica è la possibilità che tale attività, caratterizzata da variazioni termodinamiche degli acquiferi interessati, producendo perturbazioni di temperatura, pressioni e flussi, possa indurre attività sismica. L'attività sismica osservata ed associata alle applicazioni geotermiche, che è tipicamente di bassa energia ( $M \leq 3$ ), è la risultante di differenti effetti, come l'iniezione e l'estrazione di fluidi che producono variazioni dello stress statico, sia per l'effetto della pressione di poro, che diminuisce l'attrito interno lungo piani di frattura, che per l'effetto dello stress termico. Tale sismicità è dipendente, sia in numero di terremoti che di magnitudo, dal volume di roccia da cui il fluido viene estratto e dalla portata del fluido estratto. Tipicamente la sismicità associata al funzionamento di impianti tradizionali è poco frequente e di bassa energia, e può essere registrata solo con una opportuna configurazione di una rete sismica. Un esempio può essere considerato il campo geotermico di Larderello, nel quale malgrado l'emungimento di fluidi geotermici (senza re-iniezione) duri da più di 100 anni con altissime portate, non si è mai verificata sismicità indotta di qualche rilievo.

Un caso particolare è quello degli impianti EGS che con la tecnica dell'idrofratturazione incrementano il grado di permeabilità dei serbatoi, ottimizzando così al massimo l'estrazione del fluido. Si tratta di una tecnica che utilizza pozzi di iniezione di fluidi (tipicamente acqua) ad alta pressione, generalmente tra 20 bar e 400 bar, producendo così fratture nella roccia e sismicità indotta. In tal caso la sismicità può essere significativa, con magnitudo superiori alla soglia di avvertibilità e talvolta con magnitudo tali da generare danni (vedi i casi di EGS di Soultz-sous-Forets in Francia e Basilea in Svizzera). Si deve

peraltro tenere conto che tali tecniche non sono ammesse in Italia. In ogni caso, l'installazione di una rete di monitoraggio sismico *ad hoc*, consente di valutare e contribuire a ridurre al minimo il rischio correlato ad eventuale sismicità indotta.

Infine, è da rilevare che non esiste, ad oggi, alcuna osservazione o modello teorico consolidato che implichi qualche relazione tra attività geotermica ed attività eruttiva in un'area vulcanica.

In conclusione, l'energia termica presente nel sottosuolo è enorme e ampiamente disponibile. La produzione di energia geotermica è una fonte efficace e affidabile di energia, in tutte le aree al mondo dove lo sfruttamento geotermico è possibile, con l'obiettivo di soddisfare una crescente domanda di energia con la stabilizzazione e/o riduzione della concentrazione di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>). Il suo utilizzo più efficace è a scala locale o regionale. L'implementazione delle risorse industriali per una più ampia diffusione dell'energia ottenuta può avere conseguenze ambientali e fisiche notevoli, ma se adeguatamente e continuamente gestito il suo impatto ambientale può essere minimo, nella considerazione che una produzione di energia a rischio zero è impossibile, soprattutto considerando che le valutazioni sull'impatto vanno fatte tenuto conto di tutto il ciclo di vita della produzione, dalle fasi di esplorazione e realizzazione degli impianti a quella di smaltimento alla fine del ciclo di vita di tutte le strutture e di materiali. Come tale l'energia geotermica è un'alternativa ai combustibili fossili degna di una piena considerazione, ed infatti la IEA (International Energy Agency) ritiene molto probabile un incremento notevole del contributo della geotermia alla produzione globale di energia (Figura 3).

In ogni caso, gli impatti ambientali vanno valutati con il contributo di reti di monitoraggio della qualità dell'aria, della qualità e quantità delle acque, della sismicità, delle deformazioni del suolo, del mantenimento della risorsa termica. Inoltre, è anche fondamentale comprendere quale sia la percezione soggettiva del rischio legata alla realizzazione di un impianto da parte del pubblico interessato, perché solo così è possibile dare delle risposte ai motivi del dissenso che non hanno fondamento tecnico-scientifico e che alimentano il conflitto. È quindi rilevante la capacità di fare comunicazione e informazione sui rischi connessi allo sfruttamento della risorsa geotermica.

## Bibliografia

1. Armstead H.C.H. (1983) *Geothermal energy. Its past, present and future contributions to the energy needs of man*, London, Spon.
2. Dickson M.H., Fanelli M. (edited by) (2003) *Geothermal energy. Utilization and technology*, Paris, UNESCO.
3. Goertz-Allmann B.P., Goertz A., Wiemer S. (2011) "Stress drop variations of induced earthquakes at the Basel geothermal site", *Geophys. Res. Lett.*, 38, L09308, doi:10.1029/2011GL047498.
4. Brown K., Webster-Brown J. (2003) *Environmental impact and mitigation*. In: Dickson M.H., Fanelli M. (edited by) *Geothermal energy. Utilization and technology*, Paris, UNESCO, pp. 155-173.
5. Fridleifsson I.B. (2001) "Geothermal energy for the benefit of the people", *Renewable & Sustainable Energy Review*, 5, 299-312.
6. Giardini D. (2009) "Geothermal quake risks must be faced", *Nature* 462, 848-849, doi:10.1038/462848a.
7. Bromley C.J., Mongillo M., Hiriart G., Goldstein B., Bertani R., Huenges E., Ragnarsson A., Tester J., Muraoka H., Zui V. (2010) *Contribution of Geothermal Energy to Climate Change Mitigation: the IPCC Renewable Energy Report*. Proc. World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010.