

# GEOTERMIA STIMOLATA E RISCHIO SISMICO: UN COMPROMESSO DIFFICILE

Francesco Mulargia, Silvia Castellaro

Dipartimento di Fisica, Settore di Geofisica,  
Università di Bologna, viale Berti Pichat 8, 40127 Bologna

## SOMMARIO

Tra le fonti rinnovabili di produzione di energia elettrica, la Geotermia stimolata appare molto promettente. Essa si basa sul fatto che i primi 10 km di crosta terrestre immagazzinano una quantità di calore almeno 50.000 volte superiore a quella ricavabile dai giacimenti di idrocarburi. In linea di principio, questo calore può essere “estratto” e usato per produrre energia in maniera rinnovabile, disponibile ovunque e senza prodotti di combustione o scorie da smaltire. L'estrazione del calore avviene creando in profondità un sistema di fratture attraverso le quali si fa circolare acqua fredda e la si estrae riscaldata. Occorre però fare i conti con le difficoltà intrinseche delle perforazioni a grandi profondità, il che limita le zone economicamente sfruttabili a quelle in cui il gradiente geotermico è superiore a 50°C per km. Allo stesso tempo, dato che la fratturazione richiede l'immissione di acqua a pressioni comparabili con il carico litostatico, possono venire indotti terremoti. Poiché non è noto se in questo modo possano venire indotti solo terremoti piccoli oppure se in zone sismiche si possa provocare anche l'innescò di terremoti grandi, la produzione di energia geotermica stimolata può essere al momento ipotizzata solo in zone in cui il rischio sismico è basso. In Italia, lo sfruttamento appare ipotizzabile a priori solo in Sardegna.

## Introduzione

L'energia geotermica deriva dal calore di accrezione della Terra, dal calore prodotto dal decadimento spontaneo di elementi radioattivi, quali uranio e potassio, e dalle deformazioni con attrito prodotte dalle maree e dai terremoti. La quantità di calore all'interno dei primi 10 km di crosta terrestre sarebbe teoricamente in grado di fornire 50 000 volte più energia che tutte le riserve di gas naturale e di petrolio nel mondo.

In alcune zone della Terra esistono sorgenti di vapore caldo in pressione che viene usato da molti anni per la produzione di energia elettrica. Ad esempio, in questo modo viene generato circa 5 per cento dell'elettricità della California e un terzo di El Salvador, mentre in Italia esso costituisce il 10 per cento dell'energia elettrica prodotta con fonti rinnovabili e copre 1/4 del fabbisogno della Toscana.

Le centrali elettriche geotermiche attualmente in uso funzionano secondo tre schemi. Nel più semplice, *a ciclo aperto*, il vapore estratto dal sottosuolo entra direttamente in una turbina e rimane in superficie, disperso nell'atmosfera o condensato in acqua. Nel secondo schema, *a ciclo semiaperto*, il vapore e l'acqua calda vengono separati mentre escono dal pozzo; il vapore viene usato per azionare la turbina mentre l'acqua viene reiniettata nel sottosuolo. Nel terzo schema, *a doppio ciclo chiuso*, l'acqua calda e il vapore passano attraverso uno scambiatore di calore, in cui riscaldano un secondo liquido a bassa temperatura di ebollizione (come l'isobutano) in un ciclo chiuso, e vengono poi reiniettati in profondità. I vapori di isobutano vengono usati per azionare la turbina e successivamente condensati per essere riutilizzati. Il primo schema consuma una grande quantità d'acqua e

porta spesso in superficie inquinanti dannosi. Il secondo schema risolve parzialmente entrambi i problemi, il terzo, più complicato e costoso, li risolve totalmente.

L'energia geotermica sgorga spontaneamente in quantità sufficiente ad essere usata per la produzione di energia elettrica solo in pochi siti del pianeta. In linea di principio è però possibile ‘stimolarla’ e sfruttare l'energia geotermica ovunque ci siano temperature cristalline alte a bassa profondità. Il primo tentativo di sfruttare le zone ad alto gradiente geotermico secondo la tecnica detta “rocce calde secche”, risale al 1970, nella zona vulcanica di Los Alamos, nel Nuovo Messico, dove il gradiente geotermico supera i 70 gradi per chilometro. Lì vennero scavati due pozzi a 3000 m di profondità e 90 metri di distanza. Successivamente vi venne iniettata acqua a pressione superiore a quella litostatica, creando così un pattern di fratture in roccia connesso tra i due pozzi. Il campo di fratture rimase aperto, cosicché, pompando acqua fredda in un pozzo a pressione inferiore alla litostatica (ma ovunque superiore alla idrostatica), veniva estratta acqua calda e vapore dall'altro, con una potenza termica di circa 3 MWatt. Questo esperimento ha mostrato la fattibilità dell'idea ma ne ha anche evidenziato le difficoltà ai fini dello sfruttamento pratico, difficoltà legate alla necessità di perforazioni profonde e ai bassi valori di flusso idrico per ciascun pozzo. Ciononostante, la tecnica viene correntemente impiegata - a livello sperimentale - sia in Europa che in Giappone che in Australia. La speranza è che si possa ovviare alle difficoltà intrinseche utilizzando sistemi di fratture preesistenti. Ciò avviene, ad esempio, nel progetto pilota europeo di Soultz in Francia, dove peraltro il gradiente geotermico è alto solo nei primi 1000 metri, oltre i quali crolla a 20 gradi per

chilometro. La tecnica a "rocce calde secche" in zone ricche di faglia introduce però un ulteriore problema.

### Un Effetto Indesiderato del Pompaggio di Acqua in Sistemi di Faglie Preesistenti: la Sismicità Indotta

Per attivare un campo geotermico a "rocce calde e secche", sia esso costituito da fratture generate artificialmente, che da sistemi di fratture preesistenti, è necessario pompare acqua a pressioni superiori al carico idrostatico. Come interagiscono a breve, medio e lungo termine questi stress con gli stress tettonici?

Nonostante l'importanza che rivestono, gli stress meccanici nella crosta terrestre, che costituiscono il motore dei terremoti, sono quasi del tutto sconosciuti. Infatti, la totalità delle misure di stress *in situ* è relativa a profondità inferiori a 2 km, limitata cioè ad una frazione molto superficiale della crosta. Inoltre, dati i loro alti costi, i dati sono scarsi e, a causa della metodologia stessa di misura, imprecisi. La maggior parte dei dati disponibili proviene da misure in pozzi trivellati per esplorazione petrolifera o idrica. Queste misure suggeriscono che il campo di stress dipende fortemente dal regime tettonico. Gli stress sono sempre compressivi e hanno sulle componenti orizzontali valori rispettivamente sino a 2 volte il carico verticale in zone asismiche e sino a 4 volte il carico verticale in zone sismiche. Considerando che la fagliazione avviene sempre e solo per carichi di taglio, si spiega perché l'introduzione o la rimozione di fluidi cristallini in generale provoca terremoti in tutte le zone in cui esiste fagliazione. Prova ne sono i casi in cui la costruzione di dighe, i cui invasi generano un carico idrostatico che induce variazioni nella pressione dei fluidi interstiziali al di sotto di essi, ha prodotto in regioni sismiche grandi terremoti come quello M=7 di Koyna, India, dell'11 dicembre 1967. Variazioni di stress dell'ordine di 1 MPa sembrano sufficienti per indurre sismicità in zone tettoniche attive, mentre variazioni di stress di 0.1 MPa sono sufficienti al sostentamento o all'aumento dell'attività sismica, una volta che questa è stata innescata [1].

Confrontando gli stress sufficienti ad indurre sismicità con quelli necessari per sostenere l'estrazione di energia geotermica si vede che questi ultimi sono più grandi di almeno un ordine di grandezza. Si può quindi concludere che lo sfruttamento di campi a "rocce calde secche" è ipotizzabile solo nelle zone asismiche.

In conclusione, i vincoli fondamentali per la realizzazione di un campo geotermico a "rocce calde e secche" sono:

1. un'alta temperatura delle rocce superficiali, con gradienti superiori a 60 gradi per chilometro;
2. una bassa sismicità.

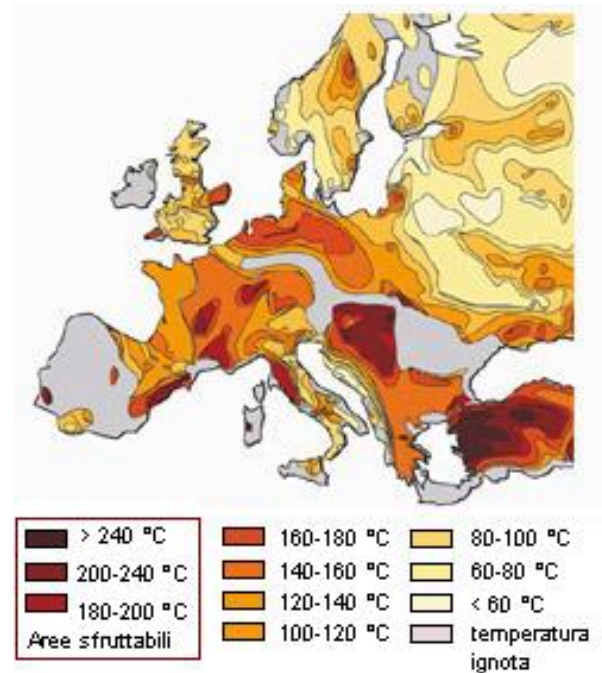


Figura 1. Temperature delle rocce in Europa a 5 km di profondità.

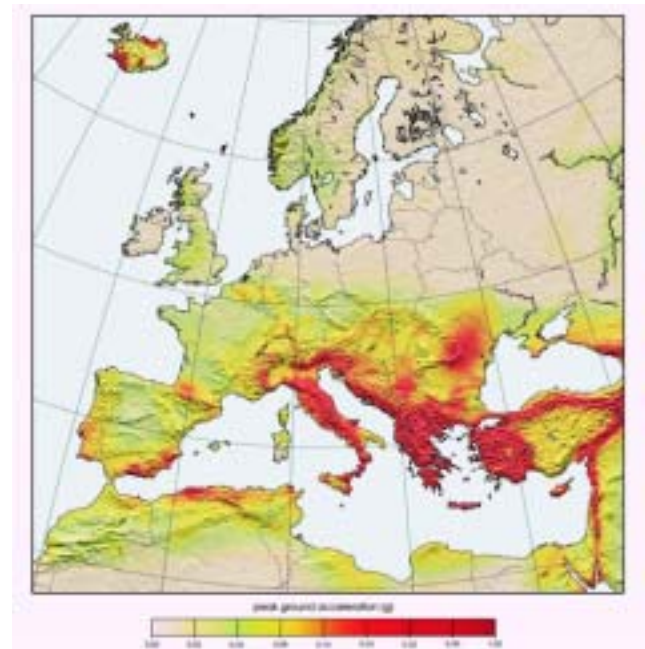


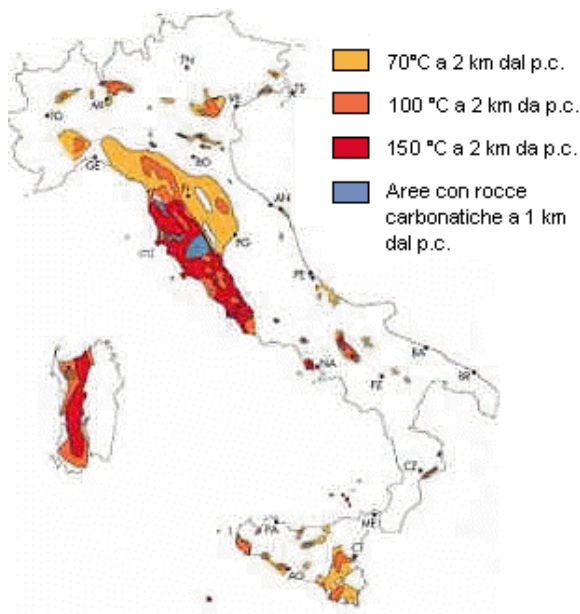
Figura 2. Mappa della sismicità europea espressa in valori dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) con una probabilità del 90% di non essere superati entro 50 anni [fonte: IGCP – Project 382 SESAME, Jimenez, Giardini e Grünthal, 2003]

### Ipotesi di Produzione di Energia Elettrica con Sistemi a Rocce Calde Secche in Europa e in Italia

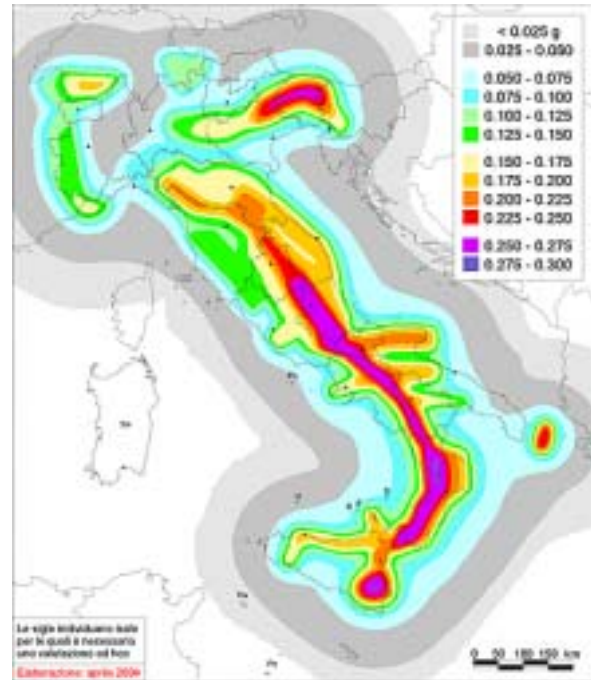
Considerando la mappa delle temperature crostali in Europa (Figura 1) e la mappa della sismicità (Figura 2), si vede come esista purtroppo una correlazione tra le due, il che è peraltro logico dal punto di vista

tettonico. Dal confronto delle due mappe emerge che lo sfruttamento geotermico per la produzione dell'energia elettrica è ipotizzabile con ragionevole certezza in alcune zone dell'Ungheria, della Francia e della Spagna.

In Italia la zona in cui lo sfruttamento geotermico con il sistema a rocce calde secche è plausibile si trova in Sardegna, nel Campidano, dove le temperature a 1000 metri di profondità sono di oltre 100 gradi e la sismicità è virtualmente nulla. In buona parte della Toscana e dell'alta piana Laziale si hanno invece temperature alte e una sismicità moderata, il che porta a ipotizzare uno sfruttamento della produzione di elettricità a rocce calde secche solo dopo accurati studi di rischio sismico ed una adeguata messa in sicurezza di tutte le strutture.



**Figura 3.** Temperatura delle rocce crostali in Italia a diverse profondità [derivata da [2] e [3]].



**Figura 4.** Mappa della sismicità italiana espressa in valori dell'accelerazione di picco al suolo (PGA) con una probabilità del 10% di essere superati entro 50 anni [fonte: banca dati INGV, [www.mi.ingv.it](http://www.mi.ingv.it)]

## BIBLIOGRAFIA

1. F. Mulargia e R.J. Geller, *Earthquake Science and Seismic Risk Reduction*, Kluwer, 2003.
2. F. Mongelli, G. Zito, B. della Vedova, G. Pellis, P. Squarci e L. Taffi, Mappa del flusso geotermico in Italia e mari adiacenti. Stato del progetto e prime valutazioni, *GNGTS, Atti del VI convegno*, Roma, 1987.
3. R. Cataldi, F. Mongelli, P. Squarci, L. Taffi, G. Zito e C. Calore, Geothermal ranking of Italian territory, *Geothermics*, 24, 115-129, 1995.