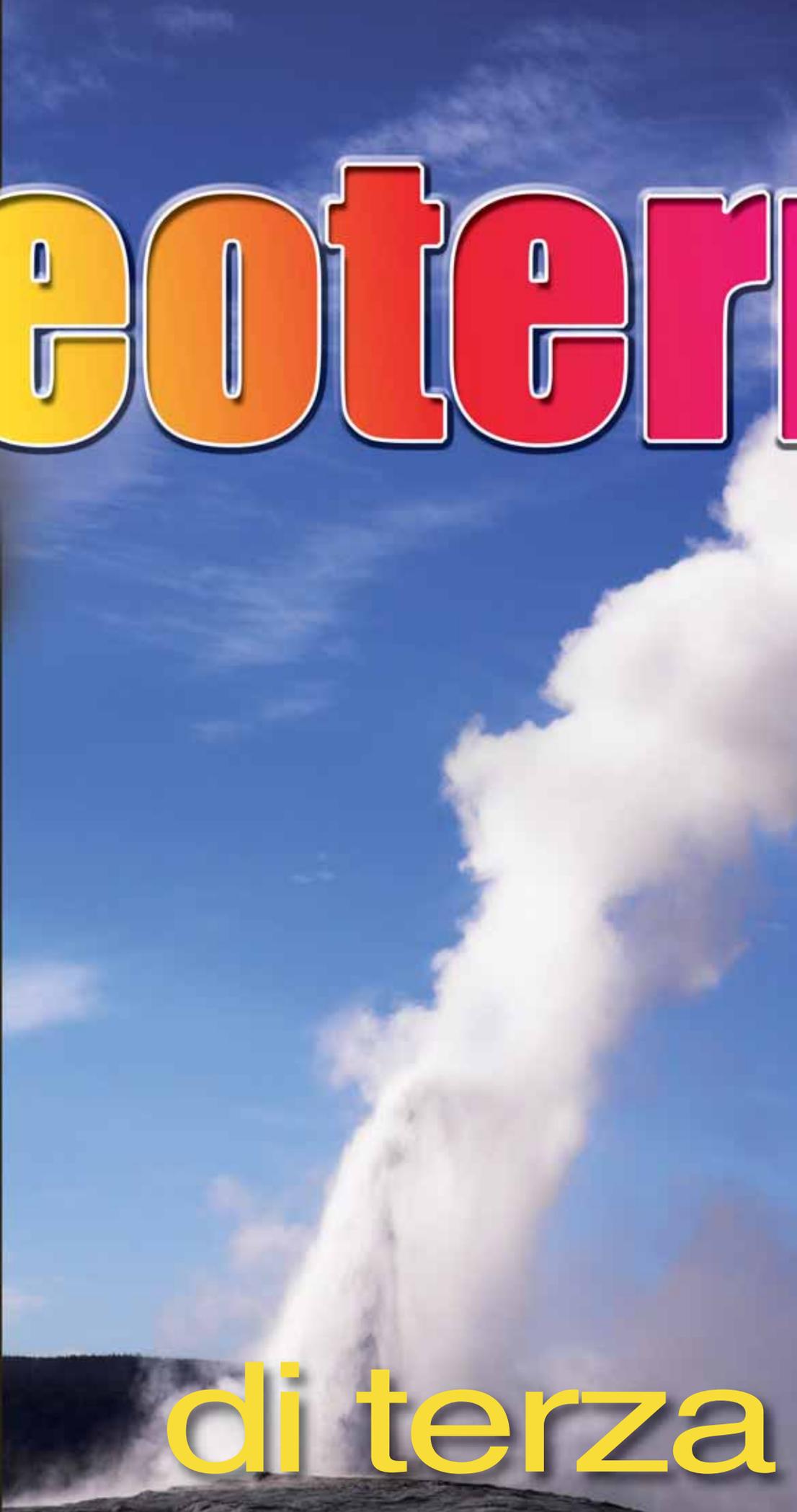


# Geoterm

● Le risorse geotermiche sono tra le prime fonti rinnovabili effettivamente sfruttate. Il termalismo è, infatti, noto da tempi antichissimi ed è tuttora alla base di un fiorente settore turistico. Ma il calore della terra non è solo acqua calda per piscine e bagni; le sorgenti di calore a bassa entalpia (cioè con temperature comprese tra i 30 ed i 150°C) sono sfruttate per altri usi quali l'allevamento ittico oppure usi agricoli come il riscaldamento di serre per la floricoltura.

A questi usi si aggiungono quelli termici per il condizionamento estivo ed invernale di ambienti chiusi. Si tratta di abitazioni, ma anche di edifici commerciali, che hanno installato impianti a pompa di calore che sfruttano il calore del terreno, tecnicamente si parla di gradiente termico del terreno. Le pompe di calore sono macchine termodinamiche che, grazie ad un ciclo frigorifero, con un minimo lavoro elettrico (di solito nella misura di 1/3 del lavoro totale), sono in grado di riscaldare un fluido e, mediante uno scambiatore, di scaldare (o raffreddare in estate) un ambiente.

I numeri sugli usi termici del calore geotermico sono poco monitorati e le statistiche imprecise, tuttavia a livello europeo si stimavano nel 2008 2.465,3 MWth di impianti. È in preparazione un inventario di questi impianti per avere una idea più precisa della loro distribuzione e del contributo fornito agli obiettivi nazionali in ambito di fonti rinnovabili.



# di terza

# mia

■ Franco Pecchio

**Nuovi orizzonti si profilano per una sorgente di energia che arriva dalle profondità del pianeta: l'obiettivo non è solo ottenere efficienza, ma anche sicurezza e durabilità.**

## Tipicità geografiche

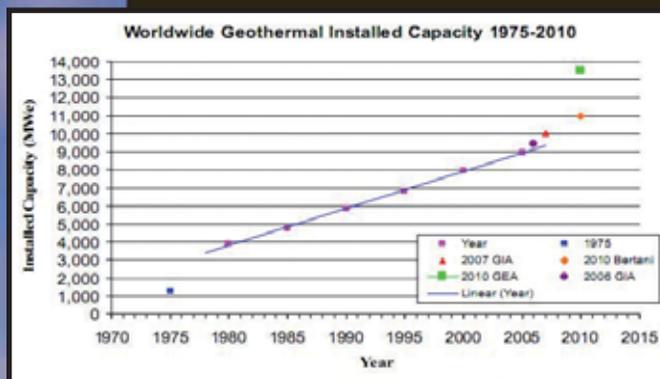
Al momento le statistiche a livello europeo sono imprecise (Tabella) ma forniscono un'idea abbastanza precisa della distribuzione della tecnologia: i Paesi del nord Europa sono quelli che hanno sviluppato maggiormente i sistemi a bassa entalpia. La Svezia è il primo Paese con quasi 2.700 MW termici installati, seguita da Germania e Austria con 1.200 MW ciascuna. Anche Danimarca, Austria e Finlandia hanno una buona diffusione dei sistemi geotermici. A livello mondiale (Figura 1) nel periodo 1980-2005 la crescita di capacità è stata costante ma poco pronunciata con un fattore medio del 2,3 (circa 200 MWe/anno); tuttavia negli ultimi anni nuove installazioni di capacità via via crescente hanno accelerato la penetrazione della tecnologia geotermica con un incremento di circa 520 MWe/anno (5,8%) con una capacità mondiale che sfiora i 10.000 MWe. Gli usi a bassa entalpia sono quel-

li più promettenti dal punto di vista commerciale: le pompe di calore e le soluzioni ibride in accoppiamento a pannelli solari sono in fase di sperimentazione, alcuni grandi centri commerciali hanno deciso di investire massicciamente in impianti geotermici per grandi superfici espositive (il gruppo Ikea in Italia); inoltre la direttiva sull'efficienza energetica ha incentivato l'adozione di questo tipo di impianti in quanto forniscono la migliore garanzia per arrivare alla migliore classe di efficienza energetica di un immobile.

Ma la geotermia non è solo uso diretto del calore fornito. Fin dalla fine del 1800 si è cercato di utilizzare il vapore prodotto da sorgenti del terreno per produrre energia elettrica (geotermoelettrica), mediante il convogliamento del vapore in turbine. In Toscana a Larderello le fumarole contenenti sali borici furono dapprima sfruttate nell'800 per la produzione industriale dell'acido borico; il luogo prende il nome dal professor Francesco De Larderel fondatore del paese e organizzatore dell'attività estrattiva dell'acido. Ma gli sforzi per sfruttare il vapore ai fini di generazione elettrica ottennero un primo incoraggiante successo nel 1904 quando furono accese le prime 5 lampadine con l'energia proveniente da un alternatore accoppiato ad una turbina a vapore.

Solo successivamente, nel 1915, entrò in esercizio la prima centrale

Figura 1  
Geothermal world  
installed.  
Capacità  
Geotermoelettrica  
installata  
nel mondo nel  
periodo 1980-  
2010. [Fonte -  
Iea 2008]



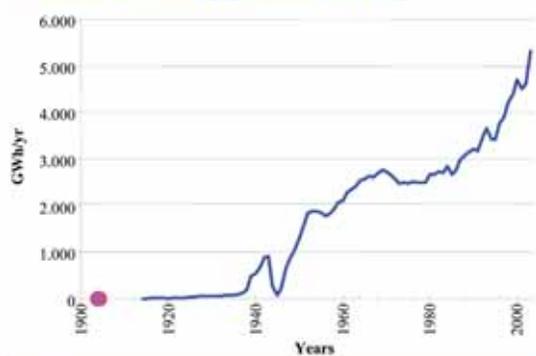
# generazione



geotermica, con due gruppi da 2,570 MW di potenza. Nel secolo scorso si sono così moltiplicate le centrali (sempre ad opera di Enel) che sfruttano il vapore endogeno, cioè naturalmente fornito dalle fumarole, fino a raggiungere il numero di 26 centrali nella sola area toscana. L'Italia è un Paese a vocazione geotermica, come si vede dalla mappa delle potenzialità sviluppata dal collegio nazionale dei geologi (Figura 6).

Attualmente la potenza geotermica per la produzione elettrica installata in Italia è di 810,5 MWe per una produzione complessiva di 5.569,1 GWh (Figura 2). In Europa il secondo Paese per potenza installata è il Portogallo con 28 MWe (178 GWh di produzione) cui seguono Austria e Germania con rispettivamente 1,2 e 2,4 MWe installati (3,0 e 0,4 GWh di produ-

Geothermal electricity production in Italy



zione nel 2008). La Francia ha 14,7 MWe installati nei possedimenti d'oltremare (Guadalupa).

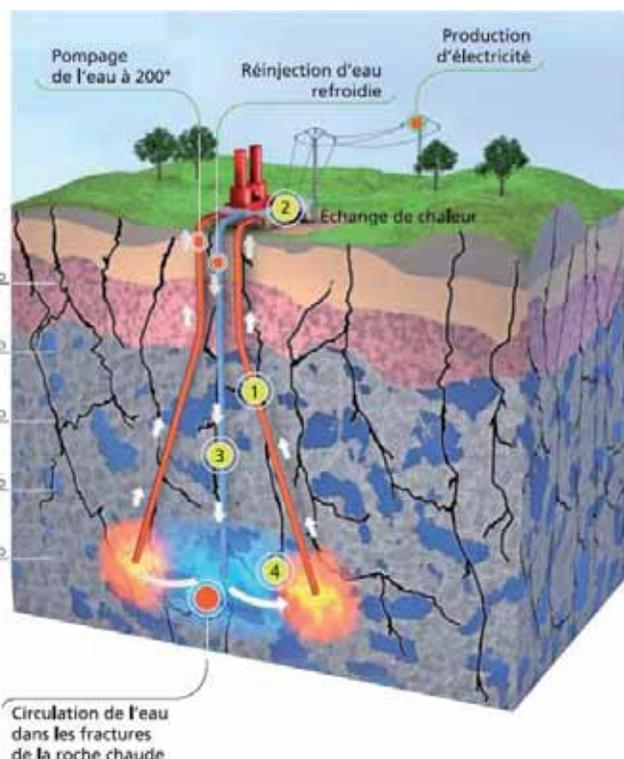
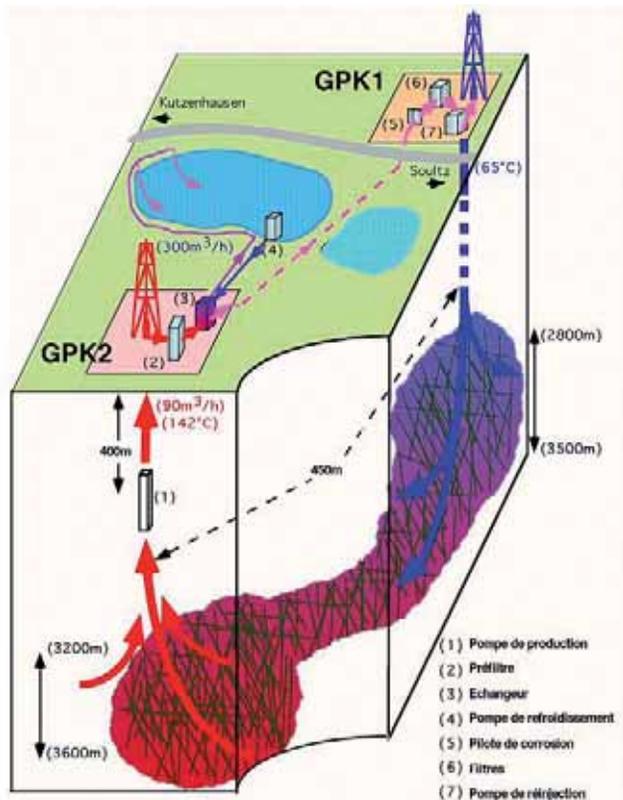
Figura 2 - Potenza geotermica per la produzione elettrica installata in Italia.

**Come funziona**

Le centrali geotermiche sfruttano il calore terrestre profondo. La temperatura all'interno del terreno aumenta con la profondità con un gra-

diente geotermico (gradi di temperatura per metri di profondità) di circa 3 gradi per ogni cento metri di profondità: nei sistemi a bassa entalpia questo calore viene intercettato da scambiatori di calore verticali (solitamente un tubo di polietilene doppio con una mandata ed una presa inserito in un foro del terreno riempito di bentonite) e utilizzato per far compiere un salto termico in un secondo scambiatore con l'ausilio di un lavoro elettrico fornito ad una pompa di calore, in superficie, ad un fluido riscaldante (o refrigerante secondo la stagione). Ma in presenza di temperature elevate (gradienti superiori a 50°C/m) i pozzi geotermici possono non essere un ciclo chiuso con scambiatore di calore ma semplicemente un ciclo aperto che capta le acque e i vapori riscaldatisi in profondità attraverso le fratture degli strati rocciosi più caldi e che salgono

Figura 3 - Schema dell'impianto di Soultz con la circolazione dell'acqua e del vapore (scala verticale non rappresentata).



	2006		2007	
	Numero	Potenza [MWth]	Numero	Potenza [MWth]
Svezia	270.111	2431,0	298.067	2682,6
Germania	88.926	978,2	115.813	1273,9
Francia	83.856	922,4	105.056	1155,6
Danimarca	48.252	876,2	53.252	931,2
Finlandia	33.612	721,9	38.912	827,9
Austria	40.151	664,5	48.439	772,2
Olanda**	11.719	298,0	15.230	392,0
Italia	7.500	150,0	7.500	150,0
Polonia	8.300	106,6	10.000	133,0
Repubblica Ceca	5.173	83,0	6.965	112,0
Regno Unito	2.350	36,1	5.100	92,2
Irlanda	1.871	40,2	4.014	84,3
Belgio	7.000	69,0	7.000	69,0
Estonia	5.000	49,0	5.000	49,0
Ungheria	350	15,0	350	15,0
Grecia	400	5,0	400	5,0
Slovenia	420	4,6	420	4,6
Lituania	200	4,3	200	4,3
Romania	40	2,0	40	2,0
Slovacchia	8	1,4	8	1,4
Bulgaria	19	0,3	19	0,3
Lettonia	10	0,2	10	0,2
Portogallo	1	0,2	1	0,2
Totale UE	615.269	7.459,0	721.796	8.758,0

[Fonte: EurObserv'ER 2008]

verso la superficie.

Nel caso in cui il vapore sia ad alta temperatura (150-250°C), viene portato in superficie per mezzo di trivellazioni, indi convogliato in tubazioni di raccolta e infine inviato alla turbina, dove la sua energia viene trasformata in energia meccanica di rotazione. L'asse della turbina è collegato al rotore dell'alternatore che, ruotando, trasforma l'energia meccanica ricevuta in energia elettrica alternata che viene trasmessa al trasformatore. Il vapore uscente dalla turbina viene riportato allo stato liquido in un condensatore, mentre i gas incondensabili, contenuti nel vapore, vengono dispersi nell'atmosfera. Una torre di raffreddamento porta l'acqua prodotta dalla condensazione del vapore a temperature inferiori e fornisce acqua fredda al condensatore. L'acqua condensata viene smaltita mediante reiniezione nel terreno in profondità vicino alle rocce profonde da cui il vapore è stato estratto. Quando la temperatura del vapore è bassa ed il suo utilizzo in turbina difficile, il calore dello stesso viene utilizzato per portare all'evaporazione, in un apposito scambiatore di calore, un altro

fluido che a sua volta trasformato in vapore verrà convogliato nella turbina innescando il procedimento sopra descritto. Questo stesso procedimento è utilizzabile anche per lo sfruttamento di acqua calda, la cui energia termica può venire trasmessa ad un fluido secondario ed utilizzato sia per riscaldamento sia per produzione di energia elettrica.

### Impatto sull'ambiente

In pratica il serbatoio naturale geotermico, situato al di sotto della crosta terrestre funziona da caldaia che produce vapore o acqua calda. Le implicazioni ambientali non sono trascurabili in quanto spesso i vapori contengono disciolti sali di vario tipo (H<sub>2</sub>S, ad esempio) che vaporizzando vengono dispersi in atmosfera: sul monte Amiata in Toscana ci sono state numerose polemiche a seguito delle piogge acide che hanno investito le foreste circostanti gli impianti, probabilmente causate da fuoriuscite di gas dagli impianti geotermoelettrici. Inoltre i sali combinandosi con il vapore ad alte pressioni in turbina concorrono ad abbassare la vita media delle giranti rispetto ad

*Tabella - Quantità e capacità installata delle pompe di calore geotermiche nei Paesi dell'Unione Europea.*

utilizzi con vapore puro. Questo tipo di geotermia è internazionalmente conosciuto con il nome di Hot Dry Rocks e le applicazioni sono diffuse in molti Paesi: oltre all'Islanda, pioniera nelle applicazioni geotermiche anche Stati Uniti, Filippine, Indonesia, Cile e Kenya hanno sviluppato centrali che sfruttano il calore di sorgenti profonde accoppiate a sorgenti di vapore.

Ad esempio, nelle Filippine la potenza geotermoelettrica installata è di 1.930 MW, pari al 15% del totale del Paese, per l'Indonesia, invece, si parla di 765 MW (quasi quanto l'Italia) pari al 2% del totale installato.

Gli impianti geotermoelettrici hanno tre possibili configurazioni:

- il vapore è direttamente prelevato dalla sorgente ed immesso in turbina;

- il vapore è parzialmente generato dalla sorgente, per cui si introduce un'aggiunta di vapore ad alta pressione in modo che entrambi raggiungano la pressione da sfruttare in turbina (di solito viene usato il condensato reimmettendolo in testa alla turbina);

- il ciclo binario in cui il vapore prodotto dalla sorgente geotermica entra in uno scambiatore che riscalda un secondo fluido (isobutano, olio diatermico ecc.) che vaporizza e entra in turbina: il vapore non entra mai in contatto con l'aria esterna così come il fluido di lavoro.

Si può, però, presentare il caso in cui la sorgente calda non sia direttamente a contatto con una falda e quindi non si abbia produzione di vapore. La geotermia di terza generazione cerca, appunto, di sfruttare il calore di rocce calde profonde (hot dry rocks) mediante l'iniezione controllata di acqua ed il contemporaneo recupero del vapore prodotto.

Il maggior progetto che sfrutta un giacimento profondo è quello messo a punto da un consorzio di centri di ricerca europei (franco-tedeschi) mediante il finanziamento del-



*Figura 4 - Soffione di Larderello (Toscana).*

<http://www.flickr.com/photos/luigicARRIERI/tags/larderello/>

*Figura 5*  
*Potenziale geotermico per il Nord America*  
[http://smu.edu/geothermal/2004NAMap/Gcothermal\\_MapNA\\_7x10in.gif](http://smu.edu/geothermal/2004NAMap/Gcothermal_MapNA_7x10in.gif)

la Commissione europea. Il principio è quello di estrarre calore a grande profondità (tra i 3.000 ed i 5.000 m) da rocce ignee inducendo una circolazione d'acqua trasversale (idealmente parallela alla superficie) in modo da creare uno scambiatore di calore naturale in profondità, diversamente da quanto succede nei cicli binari ove lo scambiatore è in superficie ed è industriale. Lo scambiatore è creato artificialmente attraverso la pressione dell'acqua e la fatturazione naturale delle rocce profonde oppure tramite la loro naturale permeabilità.

#### **Esperimenti in corso**

Un sito idoneo alla sperimentazione è stato trovato in Germania, a Soultz, circa 50 km a Nord Ovest di Strasburgo in una zona ricca di sorgenti termali. Il sito è particolarmente interessante in quanto presenta rocce ben fratturate ad un profondità di 5.000 m con temperatura costante intorno ai 200°C.

È stato teoricamente calcolato che il lavoro svolto da 0°C per raffreddare una massa calda a 200°C di 1 km<sup>3</sup> di roccia, corrisponde all'estrazione di calore dalla combustione di 1,275 milioni di tonnellate di petrolio (circa 15.000 GWh) che permetterebbe di alimentare una rete urbana di teleriscaldamento e contemporaneamente di produrre 13 MW elettrici con un rendimento stimato del 13% a temperature ideali di 190°C.

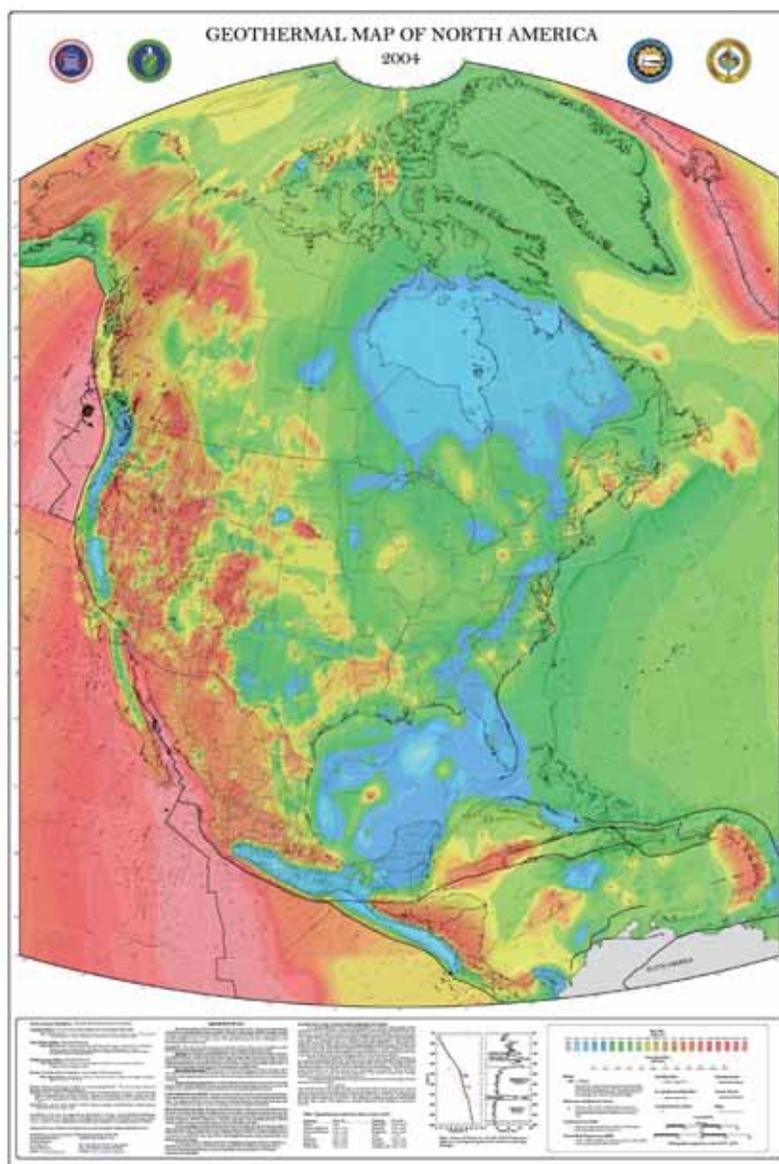
L'obiettivo dell'impianto pilota di Soultz è dimostrare la fattibilità di progetti di geotermia profonda in cui l'energia netta prodotta sia maggiore di quella consumata (le pompe di iniezione e pressurizzazione dell'acqua in profondità hanno elevati consumi). Il progetto ha

anche valutato la stabilità dell'estrazione energetica geotermica nel tempo e valutato i possibili impatti sull'ambiente nel tempo. Nei 22 anni di ricerca dell'impianto, ancora oggi in funzione, sono stati estratti oltre 13 MWth cui è stato accoppiato un impianto di produzione elettrica da 2,1 MW di cui 0,6 MW a servizio dell'impianto e 1,5 di energia netta in produzione. Lo sforzo economico per la ricerca però non è stato indifferente con oltre 80 milioni di euro investiti (30 Ue, 25 Ademe, l'agenzia ambientale francese, e 25 Germania) in 22 anni, 15 laboratori di ricerca e centinaia di imprese in appalto per i diversi lavori.

Le sfide poste dalla geotermia di terza generazione sono di diverso tipo: da un lato vi è lo studio geologico e geofisico per l'individuazione di siti idonei, dall'altro la ri-

cerca dell'economicità di questi progetti che presuppone un processo di standardizzazione delle tecniche di scavo e captazione e l'applicazione di tecniche e materiali innovativi per lavorare in profondità a elevata temperatura.

Un esperimento simile è in fase di avvio dagli americani nella zona di Alta (California), un paese noto in passato per le miniere ed oggi per essere il paradiso del free ride in inverno. Ma ad Alta esistono condizioni particolari: si trova vicino ad una faglia geologica con "hot spot" molto promettenti, tanto che Google, nel suo piano di investimenti in tecnologie energetiche innovative ha promosso l'esperimento con la somma di 6,5 milioni di dollari. Altri due esperimenti sono in fase avanzata in Idaho, Nevada e California (a poche decine di km da Alta Rock). Negli Usa la geotermia



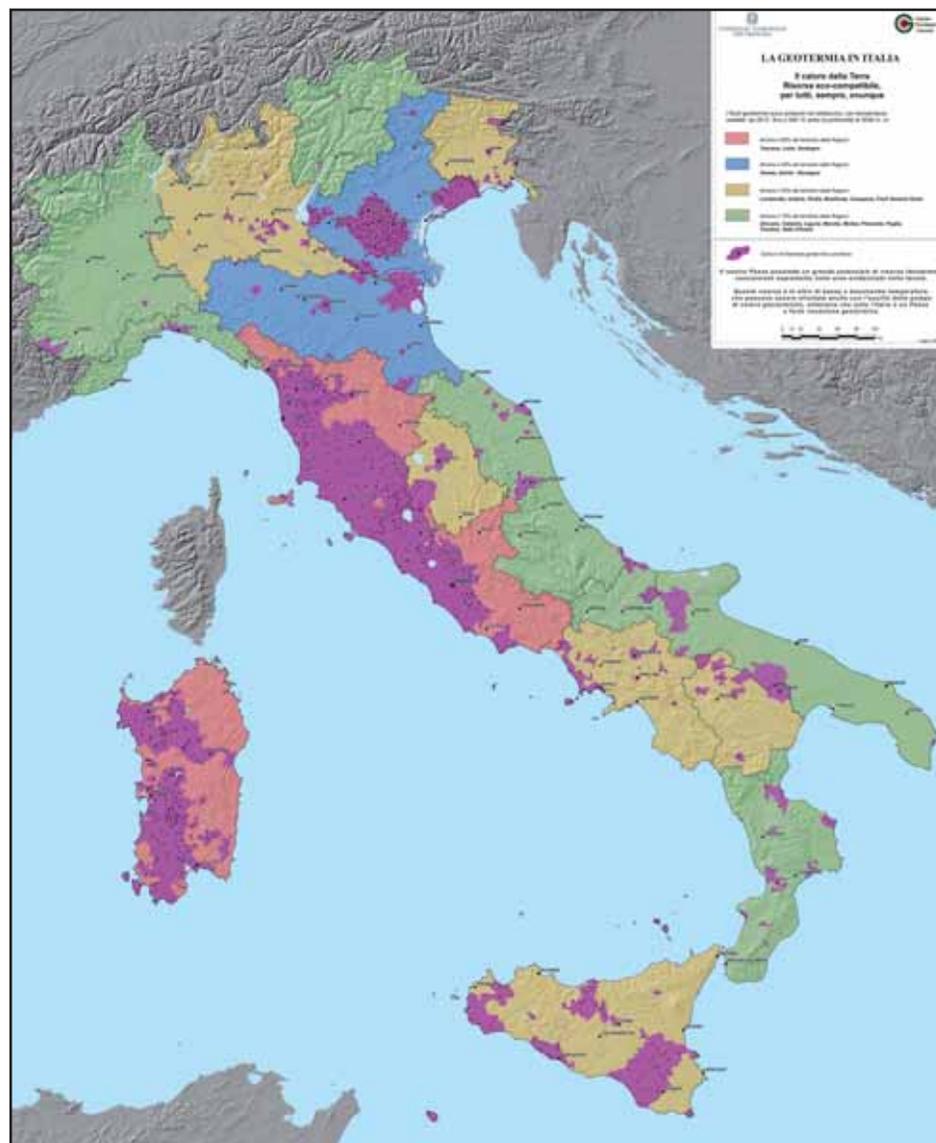
è uno dei punti del piano Obama per lo sviluppo delle fonti rinnovabili, accreditata di un potenziale intorno al 15% del totale dei consumi elettrici nazionali con vantaggi dal punto di vista della qualità dell'energia non soggetta alla ciclicità intrinseca delle altre fonti rinnovabili dipendenti dal ciclo solare. L'ultimo piano energetico di sviluppo del Doe ha allocato ben 200 milioni di dollari per la sola energia geotermica.

### Fattibilità e prospettive

Tuttavia se da un lato i dubbi di compatibilità ambientale sono contenuti, dall'altra ci sono preoccupazioni di altro tipo, ad esempio la creazione di microterremoti indotta dalla fatturazione delle rocce profonde per creare lo scambiatore di calore naturale. Proprio nel progetto di Alta Rock, in una zona già sismicamente attiva, durante la fase di fatturazione delle rocce profonde sono stati avvertiti dalla popolazione diversi sciami sismici (scala Richter maggiore di 2) proponendo nuovi interrogativi sullo studio delle conseguenze della geologia profonda.

Anche gli italiani, a suo tempo esclusi dal consorzio di Soultz, hanno elaborato teorie e applicazioni per la geotermia di terza generazione. All'interno dell'associazione Egs (Enhanced Geothermal Sources) è stata sviluppata una tecnica simile, denominata "closed loop": scambiatori posti in profondità sono in grado di estrarre solo il calore dalle rocce profonde senza interazioni con la falda.

Ad inizio 2008 è stato completato il primo studio di fattibilità per una centrale geotermica di terza generazione. Le centrali si compongono di fori verticali fino a grande profondità e di fori orizzontali opportunamente orientati per la creazione di scambiatori a circuito chiuso che non interagiscano con la falda. Il punto di forza di riuscire a creare, direttamente in profondità, uno scambiatore di calore a circuit-



to chiuso è immediatamente percepibile:

- mancando le interazioni con l'ambiente (ad eccezione dell'estrazione di calore) si avrebbero enormi vantaggi ambientali;
- la possibilità di costruire scambiatori in corpi caldi presuppone l'applicazione di questa tecnologia in qualsiasi campo di temperatura geotermica (giacimento geotermico) con applicazioni dalle basse temperature dei termalismi fino al calore magmatico;
- la competitività economica sarebbe assicurata dalla durata (teoricamente decine di anni) dei serbatoi geotermici profondi, nel caso in cui le tecniche di sviluppo dello scambiatore fossero acquisite. Le opportunità della geotermia di terza generazione sono pronte per essere colte: occorre "solo" effettuare uno sforzo scientifico, ben coordi-

nato verso un obiettivo comune. Le tecnologie della generazione elettrica a vapore sono molto approfondite, manca invece la parte di costruzione di scambiatori in profondità, una tecnica diversa da quella degli hot dry rocks e sicuramente alle prime fasi di vita, ma perché precludersi una possibilità in un campo tecnologico in cui l'Italia era, fino a un decennio fa, maestra indiscussa a livello mondiale?

Figura 6  
Geotermia in Italia.

### BIBLIOGRAFIA

- European hot dry rock geothermal research programme – Final Report IEA – Geothermal Energy annual report 2007 <http://www.geothermie-soultz.fr/>
- <http://www.enel.it/progettogeotermia>
- <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/>
- <http://www.nytimes.com/interactive/2009/06/23/us/Geothermal.html>
- <http://www.geothermie.ch>
- <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36317.pdf>