

Inaugurazione Anno Accademico 2008 / 2009

**PROLUSIONE DI  
GIOVANNI BARLA**  
sul tema “Sviluppi e potenzialità della  
geotermia di nuova generazione”



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Inaugurazione Anno Accademico

2008 / 2009

7 novembre 2008

POLITECNICO  
DI TORINO

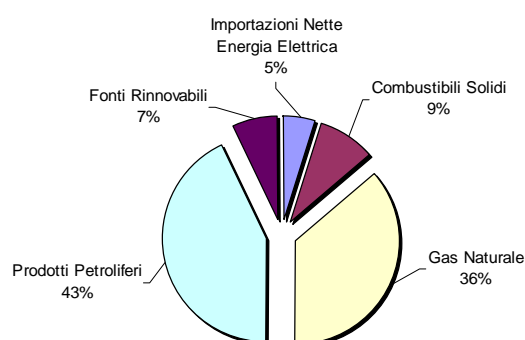




## Premessa

Il consumo annuo di energia nel mondo è stimato pari a  $4 \times 10^{20}$  Joule, equivalente all'energia prodotta con  $13 \times 10^9$  tonnellate di carbone o  $9 \times 10^9$  tonnellate di petrolio. Non si deve dimenticare che un terzo di questa energia è consumata dal 6 per cento della popolazione, che risiede nei paesi ad alta industrializzazione. E' previsto che la richiesta di energia cresca nel prossimo futuro per l'aumento della popolazione, la progressiva urbanizzazione e la ricerca di migliori condizioni di vita nei paesi in via di sviluppo.

Attualmente, il fabbisogno energetico del mondo è soddisfatto ricorrendo in modo prevalente alle materie prime fossili come petrolio, gas naturale e carbone. Ciò vale in particolare per l'Italia che ricava dal petrolio importato il 43% del suo fabbisogno ed utilizza in modo crescente gas naturale e combustibili solidi, che attualmente coprono il 36% ed il 9% del fabbisogno (vedasi lo schema riportato a destra). In questa situazione diventa sempre più necessario ed urgente sviluppare fonti energetiche autoctone ed a basso impatto ambientale.

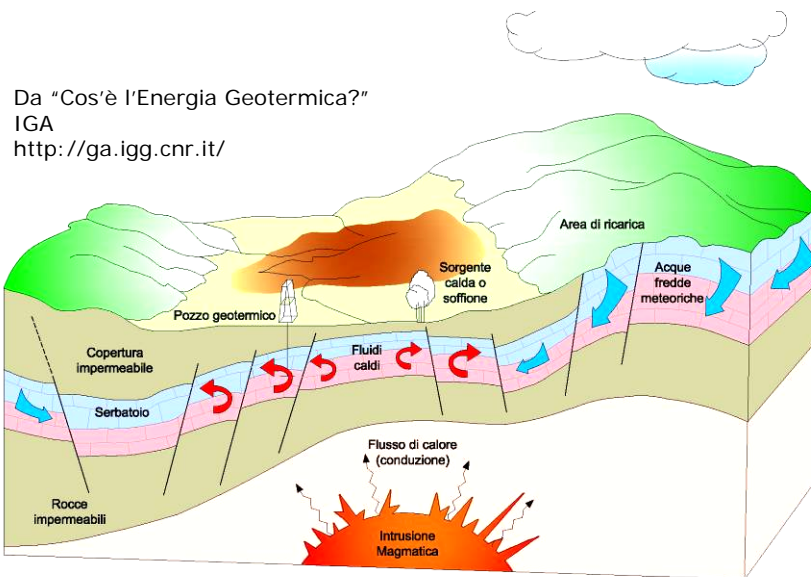


L'energia nucleare ha acquisito nel mondo una certa importanza, ma il suo utilizzo è talora associato ad un livello di rischio non trascurabile e, soprattutto, permangono ancora irrisolte le problematiche poste dallo stoccaggio sicuro ed a lungo termine delle scorie radioattive. L'importanza dell'energia idroelettrica è purtroppo andata progressivamente diminuendo e la produzione di energia derivata da fonti rinnovabili gioca ancora un ruolo marginale. Peraltro, il ricorso ad altre fonti innovative, come potrebbe essere il caso della fusione nucleare, appare ancora piuttosto lontano nel tempo. La domanda che possiamo allora porci, di fronte a tale scenario, è: **L'Energia Geotermica può giocare un ruolo e quali potrebbero essere le prospettive di crescita**, nel mondo ed in particolare nel nostro Paese?

## L'Energia Geotermica

L'Energia Geotermica è l'energia immagazzinata sotto la superficie terrestre. Essa è nota fin dall'antichità ed è sempre stata utilizzata. Sia gli antichi Etruschi che i Romani già ben conoscevano i numerosi luoghi ove le risorse geotermiche fanno affiorare in superficie fluidi caldi ed avevano lì edificato terme ed edifici in grado di sfruttarne il calore.

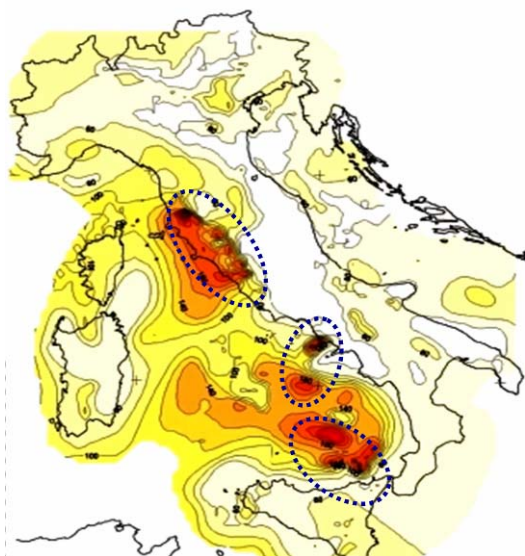
**Attualmente la geotermia utilizzata è quella associata ai sistemi idrotermali** dominati dal moto convettivo dell'acqua che, muovendosi dalla superficie della crosta terrestre, raggiunge zone calde profonde caratterizzate da un'anomalia termica e determina, risalendo, un trasferimento del calore profondo in superficie o a profondità economicamente raggiungibili. La zona sede di circolazione di fluidi caldi viene definita "serbatoio geotermico", che è solitamente ricoperto da rocce impermeabili che permettono di non disperdere il calore troppo velocemente (vedasi l'illustrazione sottostante).



Il calore immagazzinato nei primi 10 km della crosta terrestre è stimato pari a circa  $6 \times 10^{26}$  Joule (la temperatura media è qui pari a  $150^{\circ}\text{C}$ , il calore specifico delle rocce appartenenti alla crosta è di  $800 \text{ Joule/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ , la densità media vale  $2700 \text{ kg/m}^3$ ). Questa energia sarebbe sufficiente per alimentare un milione di centrali di potenza, ciascuna di 200 MW, per 10 000 anni: **si tratta di una risorsa di enormi potenzialità, poco nota, di cui si ignorano perlopiù i nuovi orizzonti che si stanno aprendo nello scenario internazionale.**

L'energia geotermica è ricavata dalle aree di anomalia geotermica, geograficamente poco distribuite in quanto fluidi molto caldi e superficiali si ritrovano solo in zone della terra con peculiari condizioni geologiche (vedasi la Figura a fianco). La potenza totale di energia geotermica installata è oggi pari a 10 000 MW.





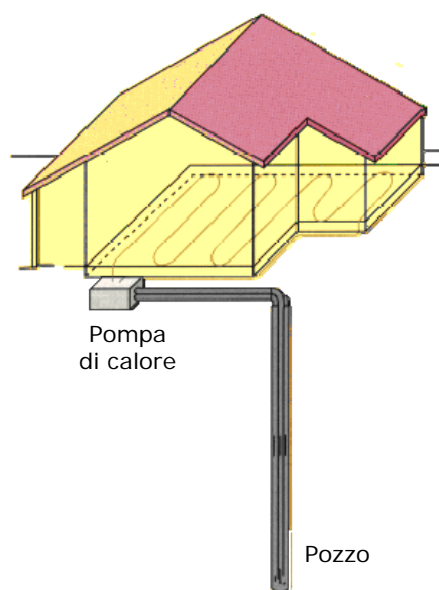
Gli esempi più noti di impiego dell'energia geotermica sono negli Stati Uniti, in Messico, nelle Filippine, in Indonesia, in Islanda, in Nuova Zelanda, nonché nella nostra Toscana Meridionale, dove è ubicata una delle più importanti risorse geotermiche al mondo. Pochi nel nostro Paese sono consapevoli di questa realtà. Altrettanto poco noto è che l'Italia è interessata da aree di elevata anomalia geotermica che, ove utilizzate, possono essere in grado di coprire la produzione annua di 4.7-5.3 GW da rocce a temperature superiori a 200 °C, a profondità inferiori a 3000 m. Esempi sono le aree in prossimità di Napoli come i Campi Flegrei, ad Ovest della città, o la dorsale tirrenica, attorno all'Isola di Lipari (si veda la mappa ad isolinee di calore riportata sulla sinistra).

## La Geotermia ed il Condizionamento Termico

Il calore prodotto da fonte geotermica può trovare un felice e convincente utilizzo (vedasi lo schema sottostante) ad esempio ricorrendo agli acquiferi presenti nel sottosuolo con temperature tra 30 e 150 °C. Si tratta di prelevare acqua calda proveniente dal sottosuolo e fornire calore per il riscaldamento domestico o produrre acqua calda. Sistemi di questo tipo sono utilizzati in Toscana e nel Veneto e ad essi si potrebbe ricorrere in altre zone "calde" del nostro Paese, ad esempio il Lazio e la Campania. In alternativa, si può produrre calore ricorrendo alle cosiddette "pompe di calore geotermiche" che sfruttano la differenza di temperatura tra l'aria ed il terreno (o talvolta l'acqua di laghi e di fiumi) attraverso sonde poste a profondità dell'ordine di decine o poche centinaia di metri.

### Esempi di utilizzo

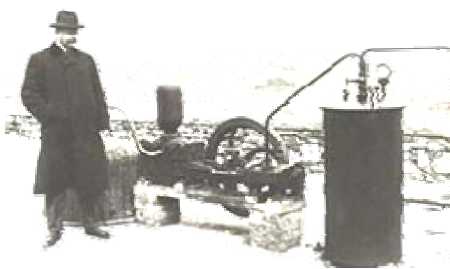
- ❖ Riscaldamento domestico
- ❖ Condizionamento aria
- ❖ Processi industriali
- ❖ Essiccamento
- ❖ Riscaldamento serre
- ❖ Acquacultura
- ❖ Acqua calda
- ❖ Terme e piscine
- ❖ Scioglimento neve



## La Produzione di Energia Elettrica da Risorse Geotermiche

- L'elettricità prodotta da risorse geotermiche consiste nella conversione del calore proveniente da acquiferi ad alta temperatura (da 150 a 350 °C) attraverso l'utilizzo di turbo-generatori. Si tratta della cosiddetta "**Geotermia di Prima Generazione**" o "**Convenzionale**" che fa riferimento ai cosiddetti campi geotermici idrotermali che, come già osservato, sono localizzati in pochi paesi, quelli caratterizzati da aree con anomalie geotermiche importanti. La produzione totale di questo tipo di energia è pari a 10 GW, che rappresenta lo 0.4% del fabbisogno energetico mondiale. In Italia, nella Toscana Meridionale, nella zona di Larderello, dove di fatto fu generata per la prima volta, nel 1904, energia geotermoelettrica (vedasi l'illustrazione sottostante), la potenza attualmente installata è pari a 810 MW e la produzione rappresenta circa l'1.5% del fabbisogno nazionale.

Oltre al limite posto dalla naturale limitazione nel numero e nell'ubicazione delle risorse geotermiche idrotermali nel mondo, esistono altri fattori che ne limitano l'espansione. Una problematica è sicuramente l'esigenza di reiniezione di fluidi nel sottosuolo per favorire il mantenimento della portata e la conservazione delle condizioni del deposito. Un altro aspetto di criticità, non trascurabile, è quello tipico della ricerca mineraria nel sottosuolo, cioè trovare serbatoi naturali idonei, nel nostro caso caratterizzati da zone permeabili e grandi fratture produttive. Infine, sono da tenersi presenti alcune sfavorevoli implicazioni ambientali perché occorre controllare l'emissione di alcuni gas, tipicamente CO<sub>2</sub> ed H<sub>2</sub>S.



**Larderello 1904**  
**Principe Pietro Ginori**

*ieri*

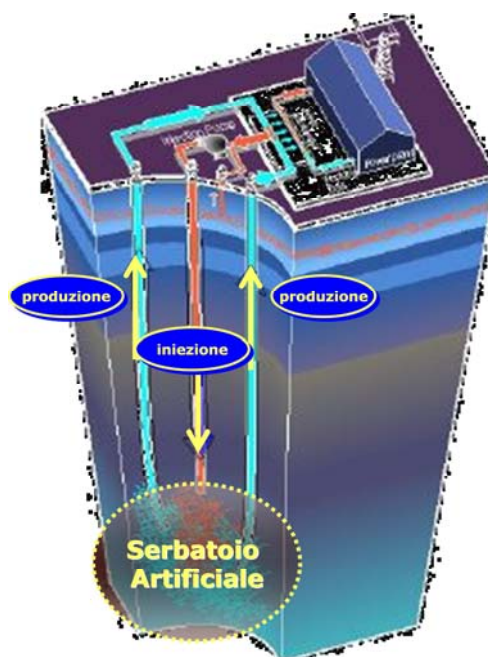


*oggi*

- La possibilità di superare le limitazioni poste all'utilizzo dell'energia geotermica convenzionale per la produzione di elettricità, prospettando così una innovativa e promettente modalità di sfruttamento della risorsa geotermica, un po' ovunque, indipendentemente dall'ubicazione in zone di anomalia, venne avanzata nei primi anni '70 negli USA. Si tratta della "**Geotermia di Seconda Generazione**". In breve, si ricorre alle cosiddette Rocce Secche Calde ("Hot Dry Rocks" o "HDR"), sostituendo il "serbatoio naturale" profondo dei giacimenti idrotermali con un "serbatoio artificiale", caratterizzato da fratture e discontinuità generate ricorrendo alla fratturazione idraulica.

L'idea è quella di immettere acqua nel sottosuolo attraverso un pozzo di iniezione, fare in modo che la stessa fluisca con sufficiente portata nella roccia calda, si riscaldi al contatto con essa, prima di giungere in superficie attraverso uno o più pozzi, i cosiddetti pozzi di produzione. L'acqua viene infine immessa in uno scambiatore di calore o direttamente in turbina, in superficie, per produrre energia elettrica. In questi casi si parla anche di "**Enhanced (Engineered) Geothermal Systems**" o "**EGS**".

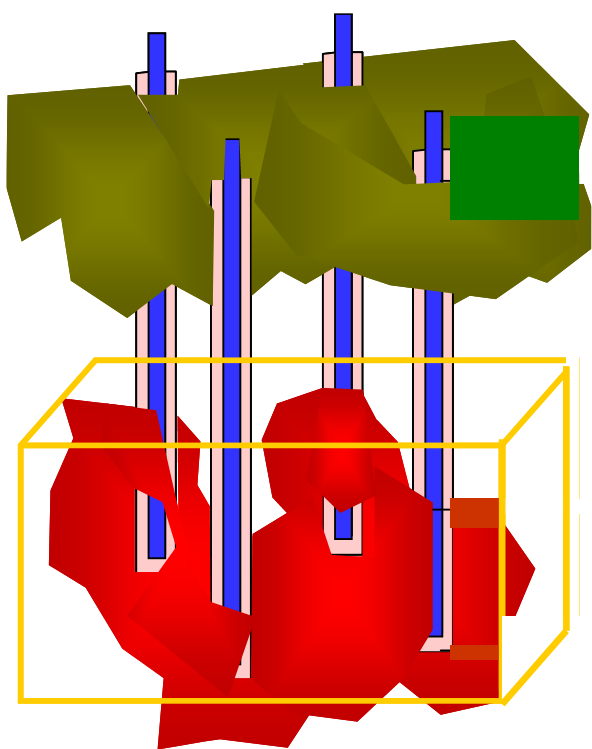
La Figura a fianco illustra lo schema di un impianto di questo tipo in corso di sperimentazione a Soultz sous Forêts, in Francia (al confine con la Germania), grazie ad un progetto finanziato dalla Comunità Europea, con la partecipazione di Francia e Germania. L'immissione di acqua in profondità avviene attraverso un pozzo centrale, per fuoriuscire infine da due pozzi laterali, tutti ubicati ad una profondità di 5000 m. La produzione di energia elettrica, in un impianto di potenza installata pari a 1.5 MW, ha avuto inizio il 13 Giugno 2008. E' previsto che l'impianto avrà a regime una potenza totale installata di 6 MW e che potrà iniziare la produzione in tale configurazione tra 2-3 anni.



Le esperienze svolte sinora dimostrano tuttavia che esistono alcune significative difficoltà nella produzione di energia con il sistema HDR. La fratturazione idraulica, una tecnica ben nota e sviluppata nel campo petrolifero, negli impianti HDR deve essere spinta a notevole distanza dal contorno del pozzo di iniezione, al fine di creare vie continue e stabili nella roccia, attraverso cui l'acqua possa liberamente fluire e riscaldarsi. Ciò comporta la necessità di applicare alte pressioni per aprire le discontinuità preesistenti e crearne di nuove, con l'aggravante che si possono però indurre microsismi (veri e propri piccoli terremoti) che si propagano in superficie. Altri vincoli sono rappresentati dalla possibile perdita del fluido di circolazione, dalla

possibilità che le vie di flusso nel sottosuolo vadano progressivamente ostruendosi, dalla limitata capacità termica del “deposito artificiale” creato, nonché dalla conseguente modesta potenza dell’impianto.

- Ecco allora l’interesse di ricercare forme innovative di utilizzo della risorsa geotermica volte a superare i vincoli tecnici ed ambientali sopra accennati e riguardanti il sistema HDR. E’ stata prospettata, grazie al lavoro di ricercatori che fanno riferimento all’Associazione Italiana Sistemi Geotermici Avanzati (AISGA), in particolare del Politecnico di Milano, dell’Istituto di Geoscienze e Georisorse del Consiglio Nazionale della Ricerche e del Politecnico di Torino, una “**Geotermia di Terza Generazione**”. Si tratta in estrema sintesi di “posizionare” in profondità “**scambiatori di calore a circuito chiuso**” che possano consentire di fare transitare il fluido - l’acqua - che dovrà scaldarsi a sufficienza vicino la roccia calda, per giungere alle turbine o agli scambiatori posti in superficie. L’illustrazione sottostante schematizza un sistema di questo tipo dove lo scambio termico con il sottosuolo è ottenuto in fori verticali (**Sistema EGS-A-CL**).



A differenza del sistema HDR, con EGS-A-CL non vi è la necessità di ricorrere alla fratturazione idraulica e sono così superate le problematiche che questa pone per il controllo del processo. L’acqua viene immessa in fori dotati, ad esempio, di un doppio rivestimento coassiale, ancorato alla roccia circostante. Questa fluisce verso il basso, nell’intercapedine, e risale nel tubo interno. Sono di fatto state studiate più configurazioni geometriche del sistema: a tubi coassiali, a tubi paralleli, di diametro uguale o differente, ecc. Si attua così un sistema a circuito chiuso (Closed Loop, CL) che ha il vantaggio di non interferire con il mezzo circostante (acqua, sali minerali, gas, eventualmente presenti) ed essere rispettoso dell’ambiente.

La roccia circostante ha tuttavia una ridotta conduttività termica, per cui si pone l’esigenza di dotare il sistema di una grande superficie di scambio in modo da poter estrarre una significativa quantità di energia. Ciò impone il ricorso a fori di diametro ben più grande di quelli che si adottano nell’industria petrolifera, con la conseguenza che per rendere competitivo il sistema occorre ridurre in particolare i costi di perforazione (si valuta che questa incida per il 50% sul costo globale di un impianto geotermico) e sviluppare, tra l’altro, materiali speciali per le tubazioni di rivestimento del pozzo, in presenza di alte

pressioni e temperature, o mettere a punto nuove tecnologie di cementazione per ancorare il rivestimento stesso alla roccia.

## **I Contributi della Ricerca (RD&D)**

L'idea di sviluppare **una tecnologia EGS in grado di produrre economicamente ed un po' ovunque elettricità a partire dalla risorsa geotermica** è di sicuro interesse in una prospettiva volta al presente ed al futuro, a scala mondiale e nel nostro Paese. Il contributo che la ricerca scientifica svolta presso il Politecnico di Torino può apportare a questo settore, in un'ottica di Ricerca, Sviluppo e Dimostrazione (RD&D), a carattere multidisciplinare, può essere di sicuro rilievo.

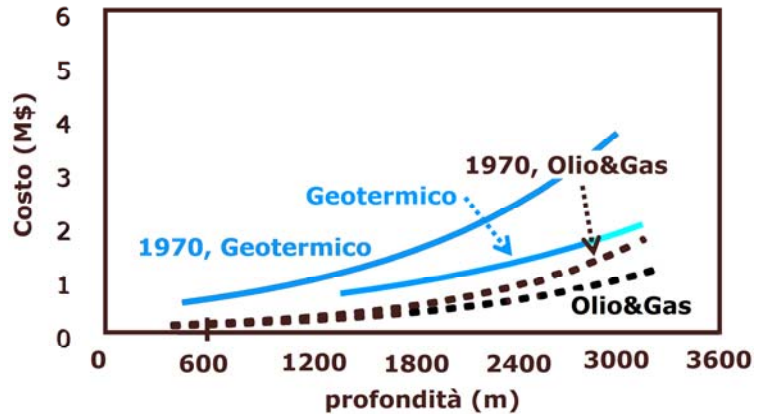
Si tratta di affinare le attuali conoscenze su alcuni aspetti particolari connessi, ad esempio, con le fasi di localizzazione e valutazione del sito, perforazione e produzione, in ottica HDR o, piuttosto, EGS-A-CL. Tale sforzo è soprattutto necessario in Italia, ove si deve andare oltre l'impiego di energia geotermica di tipo convenzionale. Questo è peraltro giustificato dal rinnovato interesse di diversi paesi verso i sistemi HDR e più in generale verso gli EGS: oltre alla Francia ed alla Germania, ad esempio gli USA, la Gran Bretagna, il Giappone, l'Australia, la Svizzera, ...

Nel seguito ci soffermiamo in modo sintetico e necessariamente semplificato su alcuni di questi aspetti riguardanti le tecniche di perforazione, le problematiche connesse con la valutazione della stabilità del foro in fase di perforazione, la sismicità indotta.

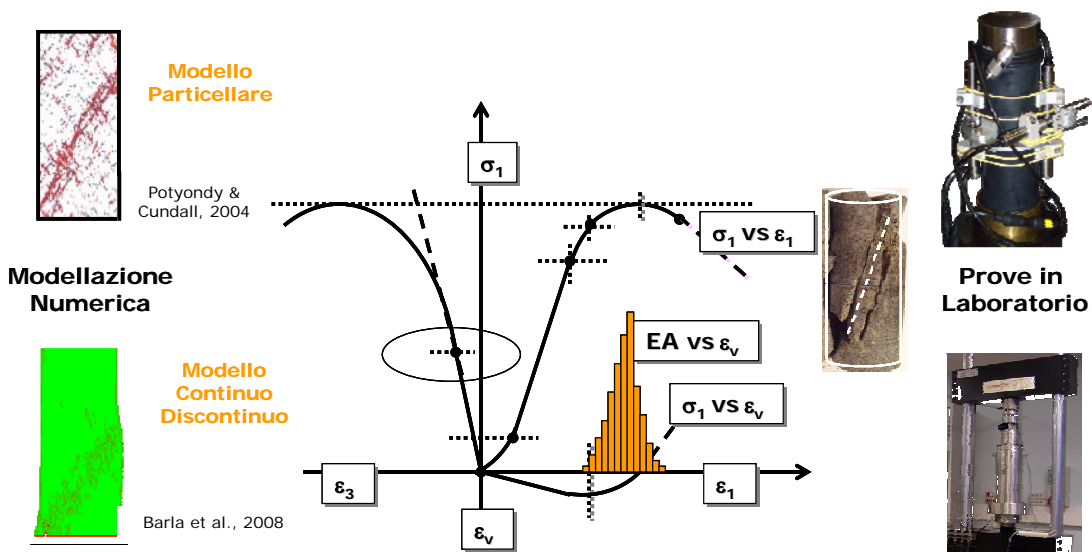
- **Tecniche di perforazione:** la possibilità di rendere competitiva l'Energia Geotermica nel prossimo futuro è strettamente connessa con i costi della perforazione, in particolare quando i pozzi sono spinti a profondità superiori ai 3500 - 4000 m. Si noti che le tecniche specialistiche usate nei pozzi di tipo geotermico, in particolare le perforazioni orientate, fanno riferimento alla perforazione petrolifera. E' però vero che si debbono tenere in conto le specificità dell'ambiente geotermico in cui si viene ad operare, per cui i fori sono necessariamente di diametro maggiore, le rocce incontrate sono più resistenti, con litologia complessa ed eterogenee, abrasive, fratturate, sotto pressioni elevate, in presenza di fluidi corrosivi e naturalmente alte temperature.



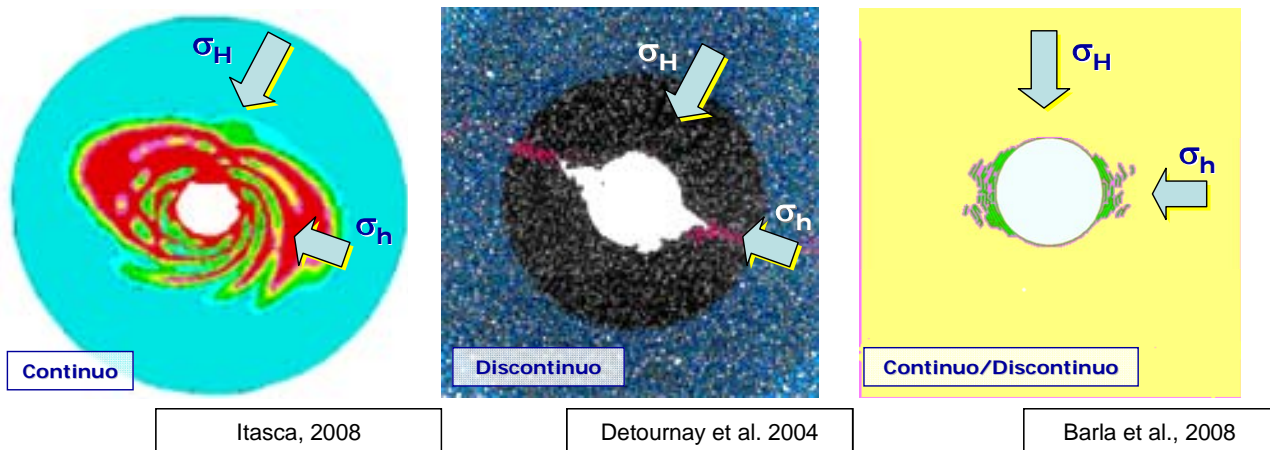
E' al riguardo di interesse quanto illustrato nella Figura di destra, in relazione alle variazioni del costo chilometrico della perforazione nel tempo, a decorrere dal 1970: i progressi della tecnologia si sono infatti tradotti in una più significativa diminuzione del costo della perforazione di tipo geotermico; tuttavia, il costo della perforazione petrolifera è sempre inferiore a quella di tipo geotermico. Ulteriori progressi possono essere fatti con particolare riguardo a: impiego di materiali più resistenti, sviluppo di rivestimenti innovativi e di migliori tecniche di cementazione del foro, sviluppo di nuovi sensori idonei ad operare in presenza di alte temperature ed atti a rendere efficiente e controllata la perforazione.



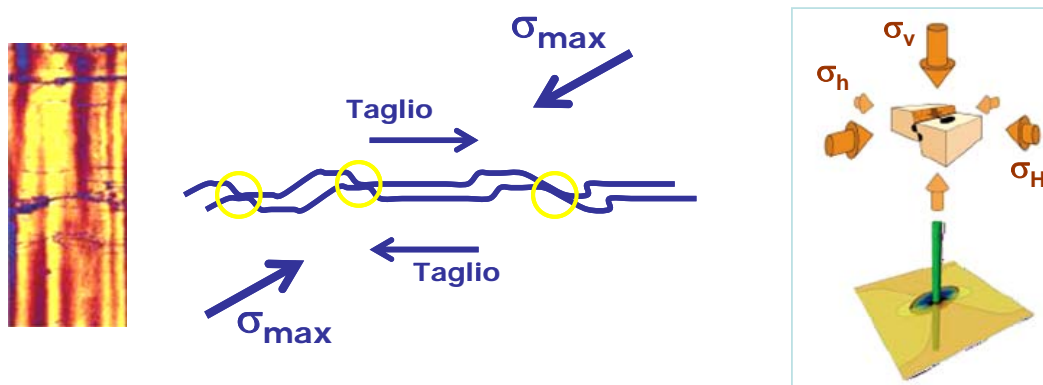
- Stabilità del foro:** l'analisi dei meccanismi di rottura nell'intorno del foro durante la perforazione o in fase di produzione comporta prima di tutto la comprensione del comportamento meccanico della roccia nelle complesse condizioni del sito (alte pressioni, temperature, presenza di fluidi,...). Ciò porta, ad esempio, all'esecuzione di prove di laboratorio di tipo triassiale (si veda la Figura sottostante) atte a riprodurre l'elevato stato di tensione della formazione rocciosa in cui si trova il foro, in presenza di fluido e in regime termico. L'osservazione attenta del meccanismo di rottura del campione in condizioni prossime a quelle in sito consente di comprendere i meccanismi che caratterizzano la roccia del serbatoio geotermico: relazioni sforzi-deformazioni, limiti di comportamento in termini di innesco e propagazione della frattura, attività microsismica, ed altro ancora.



L'interpretazione dei dati così raccolti trova il momento di sintesi nella modellazione numerica, di tipo continuo o discontinuo, volta a riprodurre con il calcolo quello che si è osservato nelle prove di laboratorio. Come illustra la Figura soprastante, questo può essere fatto in modo molto soddisfacente e con un certo dettaglio. La presunzione è allora che, se si è riusciti a riprodurre con il calcolo quanto osservato in laboratorio, lo stesso modello sarà in grado di prevedere quanto avviene nell'intorno del foro durante la perforazione (in corrispondenza dell'utensile a fondo foro, a tergo, ed oltre), nelle diverse operazioni che occorre svolgere durante l'avanzamento (deviazioni dalla verticale, fratturazione idraulica,...), in fase di produzione, in condizioni quanto più prossime a quelle dell'ambiente geotermico in esame (vedasi la Figura sottostante). Si tenga conto che la possibilità di ricorrere a monitoraggi e controlli strumentali in sito consentirà di affinare il modello.



- **Sismicità indotta:** è noto che l'attività antropica (ad esempio, gli scavi in sotterraneo - a scopo civile o minerario - a notevoli profondità, l'estrazione di fluidi dal sottosuolo, l'invaso dei serbatoi artificiali) può indurre fenomeni di tipo sismico nel territorio dove tale attività viene svolta. Come già anticipato, microsismi si sono verificati in diversi siti geotermici dove si applica il sistema HDR (ad esempio a Soultz in Francia, a Geysers negli USA, in Indonesia ed in Nuova Zelanda) ed occorre creare un vero e proprio reticolo tridimensionale di fratture connesse tra loro, che costituiscono il cosiddetto "serbatoio geotermico artificiale". Nel fare questo, si cerca di aprire fratture e discontinuità già presenti nel mezzo compreso tra i pozzi, il che comporta uno scorrimento di quelle più favorevolmente orientate (si veda l'illustrazione sottostante). Questo è associato a fenomeni di microsismicità indotta con evidenti implicazioni ambientali.



La ricerca in questo campo è soprattutto volta alla previsione di questi fenomeni ed in particolare a comprendere se adottando particolari tecniche di fratturazione idraulica in condizioni controllate è possibile prevenirli o comunque mitigarli. Ancora una volta la via è quella dell'osservazione e del monitoraggio, associati ad efficienti tecniche di modellazione numerica.

## Conclusione

La Geotermia offre notevoli potenzialità di crescita in una prospettiva di utilizzo di fonti energetiche a basso impatto ambientale. Oltre all'uso del calore del sottosuolo per il condizionamento degli ambienti, occorre incrementare in modo significativo la potenza geotermoelettrica installata. Ciò comporta scelte coraggiose, volte soprattutto all'impiego della Geotermia di Nuova Generazione (EGS), non convenzionale. A tal fine, è necessaria una rivalutazione del potenziale geotermico del nostro Paese alla luce di questo nuovo possibile sviluppo della Geotermia come risorsa rinnovabile strategica.

Si pone l'esigenza di ricercare metodi e tecnologie innovative volte all'utilizzo delle risorse geotermiche per la produzione di elettricità e/o calore, in un'ottica che guardi ai progressi che si sono fatti sinora. Ciò vale in particolare per il miglioramento delle tecniche di perforazione attualmente impiegate nella prospettiva di rendere i sistemi EGS competitivi con le altre fonti energetiche. Nel convincimento che il sistema EGS-A-CL offra interessanti opportunità di sviluppo, si prospetta l'approfondimento delle problematiche che esso presenta, con l'auspicio di poter presto avviare un programma dimostrativo su un sito opportunamente scelto.

## Bibliografia

- Barla G., Bertacchi P., Zaninetti A., Rossi P. P. & Vielmo I. (1986): Hydraulic fracturing testing method for rock stress measurement in Italy. Rock Stress and Rock Stress Measurements. International Symposium Proceedings. Stockholm
- Barla G., Stefanizzi S., Kaiser P.K. & Grasselli G. (2008): Strain driven fractures around tunnels. (in preparazione)
- Detournay C., Wu B. & Tan C. (2004) : Hydro-mechanical modeling of damage around borehole in laboratory experiments. ARMA/NARMS 04-590
- Dickson M. H. & Fanelli M. (2004): What is Geothermal Energy? (<http://geothermal-energy.org>)
- EGS Association (2008): Studio di fattibilità GEO Power Plant EGS 3G (inedito)
- EHDRA Association (2007). EHDRA Scientific Conference, Soultz-sous-Forêts, France. 28 & 29 June 2007
- Gérard A., Genter A., Kohl T., Lutz P., Rose P. & Rummel F. (2006): The deep EGS (enhanced geothermal system) project at Soultz-sous-Forêts (Alsace, France). Geothermics, 10.1016/j.geothermics.2006.12.001
- Haimson B. (2007): Micromechanisms of borehole failure in reservoir rock. 11<sup>th</sup> ISRM Congress, Lisbon. Taylor & Francis, London. 1249-1254
- Kohl T. & Megel T. (2007) : Predictive modeling of reservoir response to hydraulic stimulations at the European EGS site Soultz-sous-Forêts. Int J Rock Mech Min Sci 44, 1118 -1131
- Manzella A. & Bianchi A. (2008): Le prospettive della Geotermia. In corso di pubblicazione (reso disponibile dagli Autori)
- Massachusetts Institute of Technology (2006): The future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21<sup>st</sup> Century (<http://geothermal.inel.gov>)
- Potyondy D.O. & Cundall P.A. (2004): A bounded-particle model for rock. Int J Rock Mech Min Sci 41, 1329 -1364
- Rummel F. (2007): Heat mining by hot-dry-rock technology. Bulletin Resurse Minerale Nr.2, 31- 34
- Santucci G. (2008): EGS: Geotermia di nuova generazione. FV Fotovoltaici, 5, 177- 182
- Stefanizzi S. (2007): Numerical modelling of strain-driven fractures around tunnels in layered rock masses. Doctoral Dissertation. Politecnico di Torino

**Ringraziamenti:** Ringrazio per l'aiuto e per l'opportunità di discutere il contenuto di questa breve nota: Marco Brignoli, Mark Diederichs, Giovanni Grasselli, Bezalel Haimson, Flavio Lanaro, Adele Manzella, Maurizio Masi, Fritz Rummel, Giorgio Santucci, Ove Stephansson. Un ringraziamento è altresì dovuto a Itasca Ltd e N. Davatzes dell'USGS per alcune delle immagini usate.