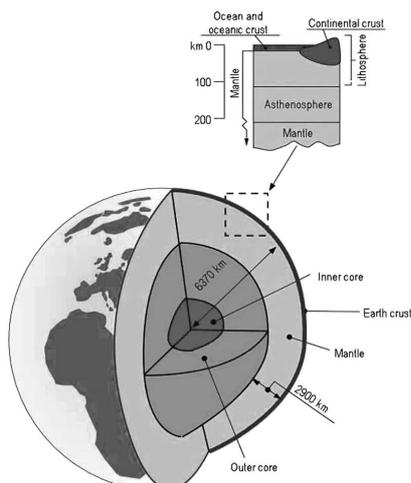


Geotermia

Corso: Sistemi di conversione dell'energia da fonti rinnovabili
 Anno accademico: 2018/2019
 Docente: Mirko Morini

La Terra



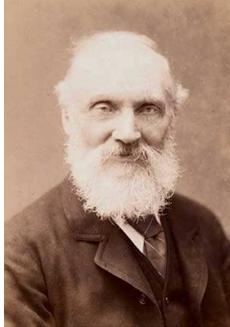
La Terra è formata da tre zone concentriche: crosta, mantello e nucleo.

La crosta ha uno spessore di 7 km sul fondo degli oceani e 20-65 km sotto i continenti (il raggio della Terra è 6370 km), ed è tecnicamente perforabile per profondità attorno ai 10 km.

Il mantello si estende dalla crosta per 2900 km.

Il nucleo ha un raggio di 3470 km, la temperatura raggiunge i 4000 °C e la pressione è 360000 MPa.

Il flusso termico terrestre



A causa della persistenza del calore primordiale (cioè quello generatosi durante la formazione del pianeta) e di quello generato dal decadimento di isotopi radioattivi si determina un flusso termico uscente dalla superficie terrestre.

Il primo a misurare un gradiente rispetto alla profondità della Terra fu Robert Boyle, mentre la prima stima del flusso termico fu fatta da Lord Kelvin nel 1882 (quando ancora si chiamava William Thomson nella sua tesi di dottorato riesaminò le misurazioni di Boyle).

Il valore medio del flusso termico terrestre nella crosta continentale è 57 mW/m^2 , mentre nella crosta oceanica raggiunge i 99 mW/m^2 . Il valore medio sulla intera superficie terrestre è pari a 82 mW/m^2 , per un totale di $4 \cdot 10^{13} \text{ W}$ (l'energia emessa in un anno è alcune volte maggiore del fabbisogno mondiale annuo di energia).

Storia

L'uso dell'energia geotermica, quando in casi particolari si concentra e si accumula, per fare bagni, lavare e cucinare si data alla preistoria.

La costruzione di impianti termali è dell'ottavo secolo avanti Cristo in Giappone. Successivamente anche i romani costruirono terme in tutto l'impero.

L'utilizzo per riscaldamento degli ambienti viene molto dopo, nel XIV secolo a Chaudes Aigues in Francia. Il primo impianto di teleriscaldamento geotermico è datato 1930 in Islanda.

Lo sfruttamento elettrico è invece nato in Italia con un prototipo del principe P.G. Conti del 1904 e poi con un impianto da 250 kW installato nel 1913 per la produzione commerciale a Larderello in Toscana.

L'energia geotermica

L'energia geotermica è l'energia contenuta sotto forma di calore nell'interno della Terra.

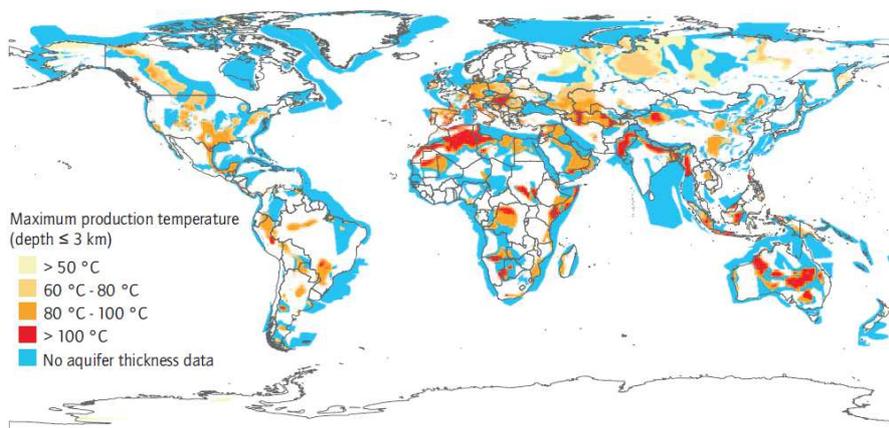
Nonostante questa sia contenuta in quantità enormi ed "inesauribili" è distribuita in maniera irregolare, raramente concentrata, e spesso a profondità troppo elevate per essere sfruttata industrialmente.

Il gradiente termico medio scendendo nella crosta terrestre è $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$, ma ci sono aree perforabili in cui il gradiente è molto più elevato: succede quando a pochi chilometri dalla superficie è presente ancora magma in solidificazione oppure quando ci sono condizioni geologiche particolare nella crosta quali un suo assottigliamento.

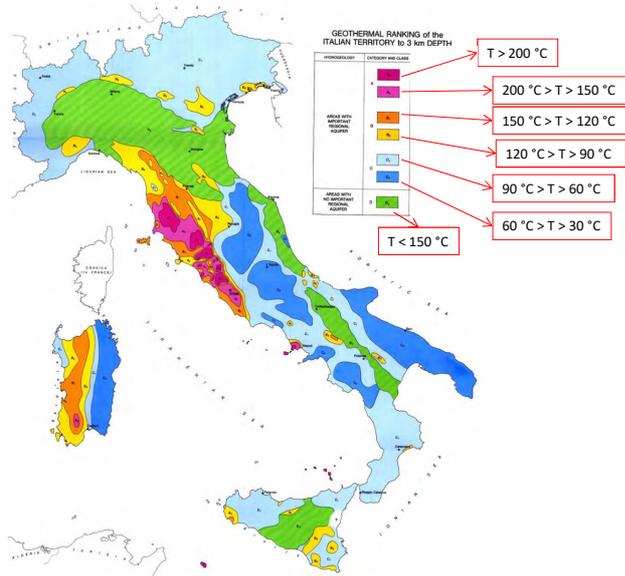
L'estrazione di questa grande quantità di calore richiede un vettore energetico: in genere questa funzione è svolta dall'acqua piovana che penetra nella crosta attraverso le aree di ricarica, va in contatto con le rocce calde e si accumula negli acquiferi. L'acquifero è il componente principale del sito geotermico.

In genere l'acquifero è ricoperto da roccia impermeabile che mantiene in pressione l'acqua o il vapore formatosi.

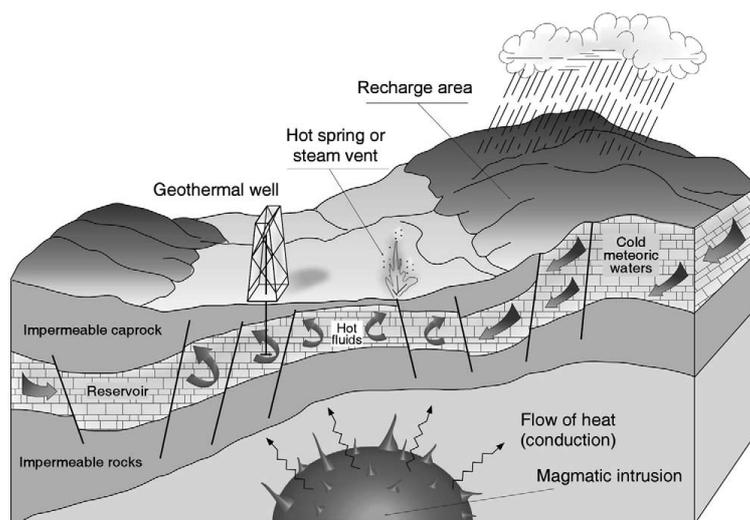
Il potenziale nel mondo



Il potenziale in Italia



Un sistema idrotermale



I sistemi idrotermali

L'insieme della fonte di calore, dell'acquifero, dell'area di ricarica e dei passaggi che connettono la superficie all'acquifero costituiscono il sistema idrotermale.

L'esistenza di un sistema idrotermale non è sufficiente a garantire lo sfruttamento della sua energia a livelli industriali: solo una parte delle rocce può essere permeabile e quindi costituire un acquifero e quindi solo questa parte può essere sfruttata. Tale porzione è detta sito geotermico.

Esistono quattro tipi di sistemi geotermici: idrotermali, rocce calde secche (hot dry rock), geopressurizzati e magmatici. Attualmente solo i sistemi idrotermali sono sfruttati. Gli altri potranno esserlo in futuro con lo sviluppo tecnologico.

I sistemi idrotermali sono classificati in due gruppi:

- ad acqua dominante;
- a vapore dominante.

Sistemi ad acqua dominante

Sistemi ad acqua calda: sono sistemi capaci di produrre in superficie acqua calda a temperature fino a 100 °C. Sono i sistemi con la temperatura più bassa e nei quali il serbatoio contiene acqua calda in fase liquida. Il serbatoio può non avere una copertura in roccia impermeabile: nel caso invece in cui sia presente, l'acqua può essere in pressione. Questi sistemi si trovano in aree caratterizzate da flussi termici normali e per essere convenientemente sfruttabili devono avere una profondità minore di 2 km, un contenuto salino inferiore a 60 g/kg e alte portate (superiori a 150 t/h). Sono presenti anche nella Pianura Padana. La loro presenza si manifesta con sorgenti calde in superficie.

Sistemi a vapore umido: l'acquifero contiene acqua pressurizzata a temperature superiori a 100 °C e piccole quantità di vapore nella zona più superficiale e quindi a minor pressione. La fase dominante è il liquido e quindi è quella che regola la pressione all'interno del serbatoio. Per mantenere la pressione è generalmente presente uno strato di roccia impermeabile, ma a volte è sufficiente la pressione idrostatica dell'acqua stessa. Quando il fluido è portato in superficie e la pressione decresce, una frazione di liquido diventa vapore di flash, mentre la maggior parte rimane liquido. Il vapore può essere utilizzato per produrre energia elettrica. La sorgente termica è generalmente magmatica e si manifesta in superficie con sorgenti bollenti e geysers. L'acqua contiene sali in quantità (fino a 100 g/kg) che possono creare problemi alle condutture. Il 90 % dei siti sfruttati è di questo genere.

Sistemi a vapore dominante

Questi sistemi producono vapore saturo o surriscaldato a pressioni superiori a quella atmosferica. Sono geologicamente simili a quelli a vapore umido, ma il flusso termico è molto più alto.

La presenza dello strato di roccia impermeabile è fondamentale, in quanto acqua e vapore coesistono, ma è quest'ultimo in quantità preponderante che regola la pressione nel serbatoio (la pressione è costante in tutto il serbatoio, non c'è contributo della pressione idrostatica dell'acqua).

Quando vengono penetrati e il vapore viene estratto la depressione creata porta in ebollizione il liquido circostante e la bocca del pozzo rimane quindi secca e il flusso termico permette la produzione costante di vapore, anche surriscaldato di oltre 100 °C.

Circa la metà della generazione elettrica nel mondo proviene da sei siti a vapore dominante: Larderello (il primo sito al mondo in cui è partita la produzione di energia elettrica da fonte geotermica), il Monte Amiata, Geysers (California), Matsukawa (Giappone), Kamojang e Darajat (Indonesia).

Il vapore prodotto è contaminato da gas incondensabili quali anidride carbonica, acido solfidrico, ammoniaca, metano ed idrogeno.

Esplorazione dei siti

Attualmente la tecnologia e fattori economici limitano a pochi chilometri (fino a 5 km) lo sfruttamento dei siti geotermici. Per i pozzi a bassa temperatura non si superano i 2 km.

Come in tutte le ricerche di risorse naturali una strategia di esplorazione deve essere definita e seguita. Una volta che una regione caratterizzata da fenomeni geotermici è stata individuata, il passo successivo è usare tecniche esplorative per localizzare le aree più interessanti e individuare obiettivi per la produzione.

E' necessario stimare la temperatura, il volume del serbatoio e la permeabilità per predire se produrrà vapore o acqua. Si dovrebbe anche stimare la composizione.

Per ottenere queste informazioni sono disponibili diverse tecniche:

- inventariamento delle manifestazioni superficiali;
- sondaggi geologici e idrogeologici;
- sondaggi geochimici;
- sondaggi geofisici;
- pozzi esplorativi.

Stima delle risorse

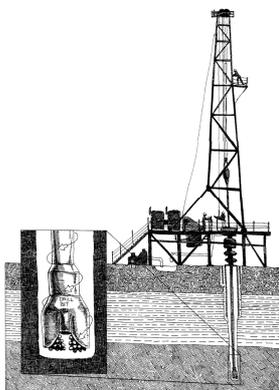
I requisiti più importanti per una buona risorsa geotermica possono essere riassunti come segue:

- alta temperatura per una buona efficienza di conversione elettrica;
- grandi quantità di calore stoccato per la longevità della risorsa;
- un basso rapporto tra quantità di liquido utilizzato ed energia elettrica prodotta;
- siti di reiniezione disponibili a quote minori rispetto ai siti di produzione per poter smaltire per gravità;
- produzione di fluidi con pH quasi neutro per ridurre la velocità di corrosione nel pozzo e nell'impianto;
- adeguata permeabilità;
- bassa tendenza all'incrostazione nel pozzo e nelle condutture;
- bassa quota e terreni facili per le strade di accesso;
- basso rischio di attività vulcanica ed eruzioni idrotermali;
- prossimità alle linee elettriche.

In fase di esplorazione, prima della trivellazione, la stima delle risorse è largamente qualitativa. Una volta che il pozzo è stato trivellato, è possibile una stima più accurata.

Trivellazione

La trivellazione e il completamento del pozzo sono le operazioni più critiche nello sviluppo di un progetto geotermico. La trivellazione è analoga a quella per applicazioni oil and gas.



In questo ambito è più difficoltosa però, a causa della natura delle rocce che devono essere penetrate (metamorfiche ed ignee invece che sedimentarie) e dall'alta temperatura e potere corrosivo dei fluidi coinvolti.

Il costo di questa fase può costituire il 50 % del costo totale di un progetto che può variare nel range 1000-3000 €/kW.

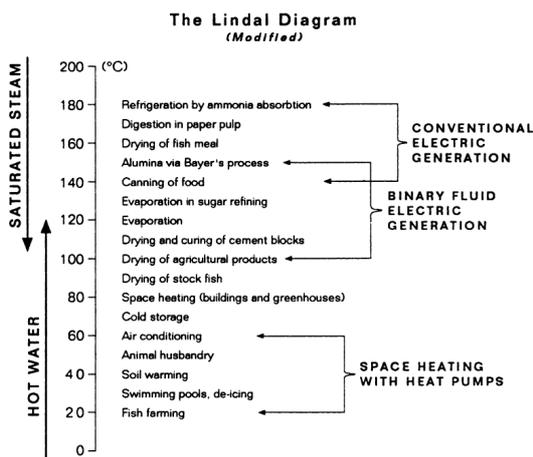
Distribuzione del fluido

I sistemi di raccolta e distribuzione trasportano il fluido (acqua o vapore) dai pozzi all'impianto di produzione elettrica o alle altre forme di utilizzo (serre, edifici, essiccatoi, etc).

I sistemi a vapore dominante producono vapore che viene mandato direttamente alle centrali elettriche. Nei sistemi ad acqua dominante che producono acqua e vapore è necessario l'utilizzo di un separatore che permettono a parte del fluido (15-20 %) di diventare vapore ed essere spedito alla centrale, mentre il resto si ricongiunge al vapore condensato di ritorno dalla centrale e viene reiniettato.

Negli usi non elettrici si utilizza una rete di distribuzione dell'acqua calda. La rete è un assemblaggio di condutture di varia sezione, pompe, valvole, misuratori, giunti di espansione e controlli. Il tutto generalmente termicamente isolato in modo da evitare cadute di temperatura.

L'utilizzo dell'energia geotermica



Si riconoscono storicamente due tipologie di utilizzo della fonte geotermica: la generazione elettrica e l'utilizzo diretto.

La generazione elettrica è convenzionalmente limitata a fonti con temperatura superiore a 150 °C, ma temperature inferiori possono essere comunque sfruttate in cicli binari (i cicli a fluido organico).

Per il riscaldamento di ambienti la temperatura ottimale è di 80 °C, ma mediante l'utilizzo di grandi radiatori (esempio i radiatori a pavimento) o pompe di calore viene consentito anche l'utilizzo di fonti geotermiche a temperature di poco superiori alla temperatura ambiente.

La generazione elettrica

Attualmente sono utilizzate tre tecnologie per la produzione elettrica da fonte geotermica. La scelta della tecnologia è direttamente correlata con lo stato in cui sgorga il fluido dal pozzo e con la sua temperatura.

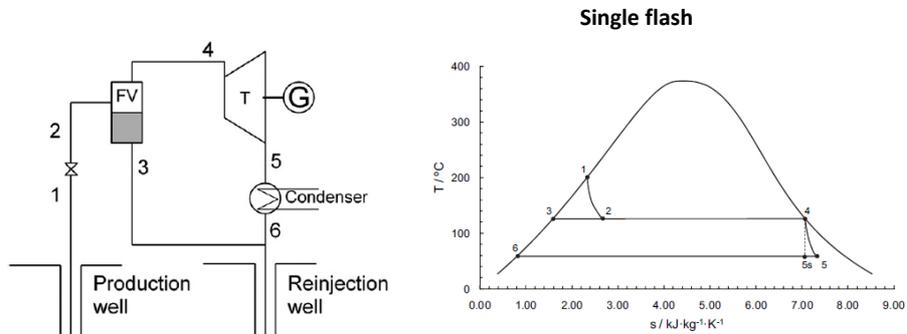
Le tecnologie sono

- impianti a vapore secco: necessitano di serbatoi idrotermali a vapore dominante ad alta temperatura. Il vapore dal pozzo passa direttamente attraverso la turbina;
- impianti a vapore di flash: dai serbatoi ad acqua dominante (più comuni di quelli a vapore dominante) il fluido che sgorga dai pozzi viene separato nelle due fasi e il vapore è mandato alle turbine. La fase liquida può andare ad un'ulteriore separazione flash a minore pressione per ottenere altro vapore;
- impianti binari: quando la temperatura dell'acqua nel bacino è inferiore a 150 °C si utilizzano i cicli binari. Il fluido di lavoro non è il fluido geotermico, ma un fluido organico in ciclo chiuso che riceve calore dal fluido geotermico in uno scambiatore di calore ed evapora, espande in turbina, condensa e viene pompato.

La generazione elettrica

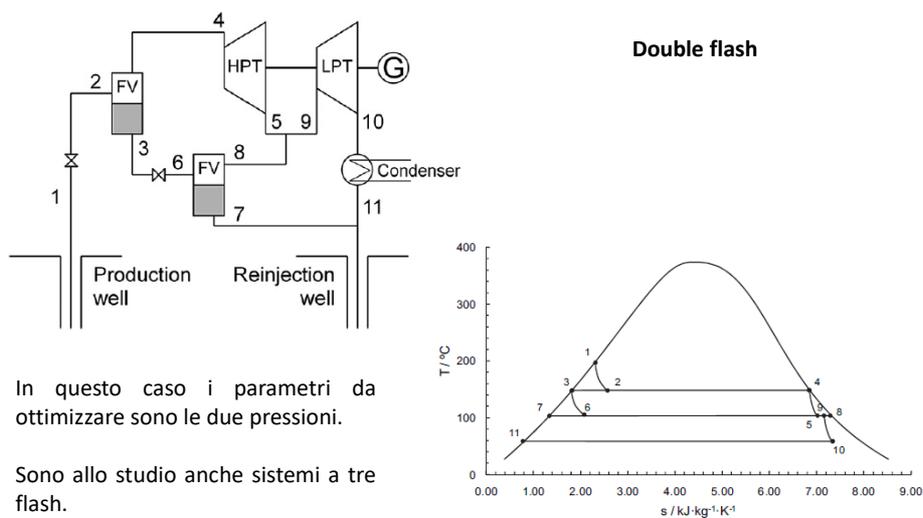
Plant type	Units	Installed capacity MW	Average size MW	Percent of total installed capacity
Dry Steam	61	2822.0	46.3	25.9
Single Flash	145	4551.6	31.4	41.8
Double Flash	64	2182.7	34.1	20.0
Other (mainly binary)	266	1341.5	5.1	12.3
Total	536	10897.8	20.3	100.0

Generazione elettrica

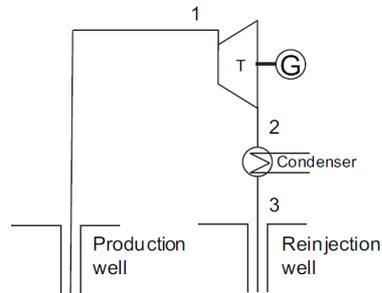


La pressione al separatore è il parametro critico nell'ottimizzazione di un sistema single flash. Il titolo del vapore ottenuto nel processo di flashing e il lavoro specifico alla turbina dipendono dalla pressione al separatore: il titolo (e quindi la quantità di vapore mandato alla turbina) aumenta, ma il lavoro specifico diminuisce al diminuire della pressione.

Generazione elettrica

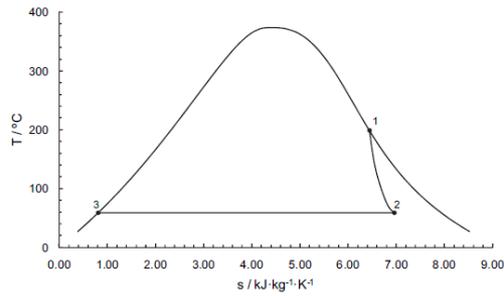


Generazione elettrica

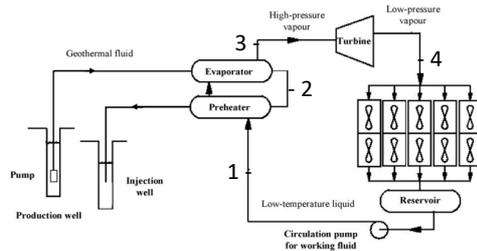


Dry steam

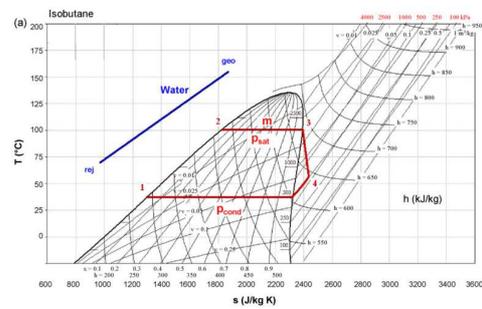
In questo caso non c'è nulla da ottimizzare.



Generazione elettrica



Impianti binari



La generazione elettrica

L'efficienza elettrica varia dal 10 % al 17 %, questa bassa efficienza è dovuta al fatto che la temperatura massima del ciclo è bassa (generalmente inferiore a 250 °C).

Inoltre il vapore geotermico non è vapore d'acqua puro, ma contiene gas incondensabili (anidride carbonica, acido solfidrico, ammoniaca, metano, azoto ed idrogeno) che devono essere estratti dal condensatore dell'impianto mediante più stadi di compressione. Questi gas (presenti generalmente fino al 5 % del vapore in massa) riducono l'efficienza di generazione.

Generalmente impianti che utilizzano direttamente il vapore richiedono 6 kg/kWh, mentre gli impianti binari che utilizzano acqua (85-150 °C) richiedono 400 kg/kWh.

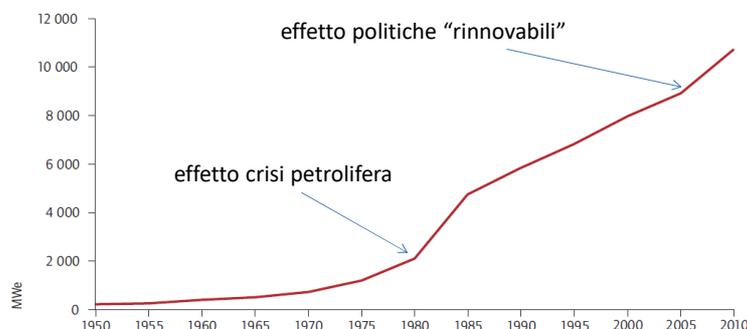
L'impianto più semplice è quello ad alimentazione diretta senza condensazione: il vapore geotermico espande direttamente nella turbina fino a pressione atmosferica. Richiede circa 15-25 kg/kWh. Viene usato quando il contenuto di gas è molto alto (superiore al 15 % e fino al 50 %).

Gli impianti più complessi prevedono il condensatore.

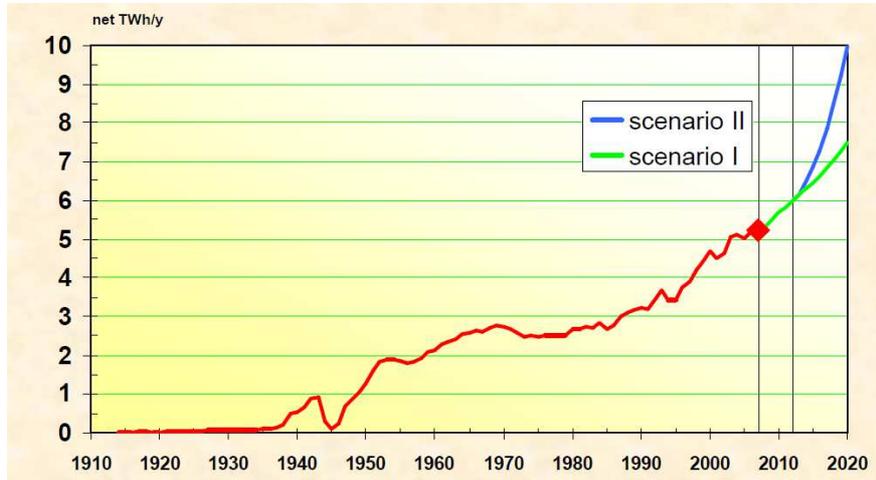
Il geotermoelettrico nel mondo

Nel 2010 la potenza elettrica installata (in almeno 24 paesi) era di 10.7 GW per una produzione di circa 67.2 TWh.

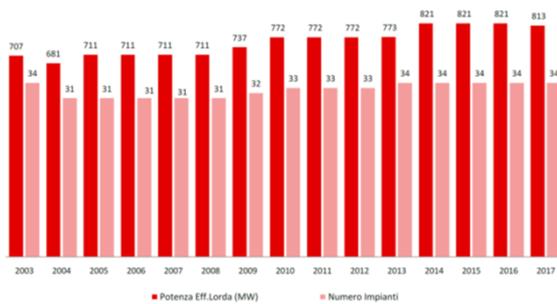
La produzione da fonte geotermica rappresenta una grossa quota in Islanda (25 %), El Salvador (22 %), Kenia e Filippine (17 %) e Costa Rica (13 %). Il maggior produttore di elettricità da fonte geotermica è gli Stati Uniti con 16.6 TWh prodotti da 3.1 GW installati.



Generazione elettrica in Italia



Generazione elettrica in Italia

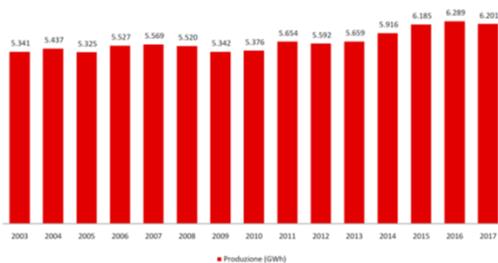


La potenza media unitaria del parco impianti installato in Italia nel 2017 è pari a 23.9 MW

Fonte: Rapporto statistico GSE 2017

Classi di potenza	n°	Potenza (MW)	Energia (GWh)
P ≤ 20 MW	27	429	3.232
20 MW < P ≤ 40 MW	3	115	872
P > 40 MW	4	269	2.097
Totale	34	813	6.201,2

Generazione elettrica in Italia

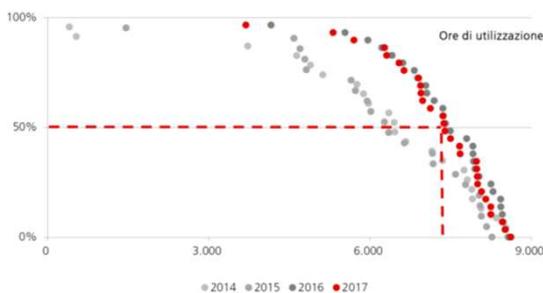


Nell'arco temporale compreso tra il 2003 e il 2017 la produzione lorda è aumentata con un tasso medio annuo pari al 1.1 %.

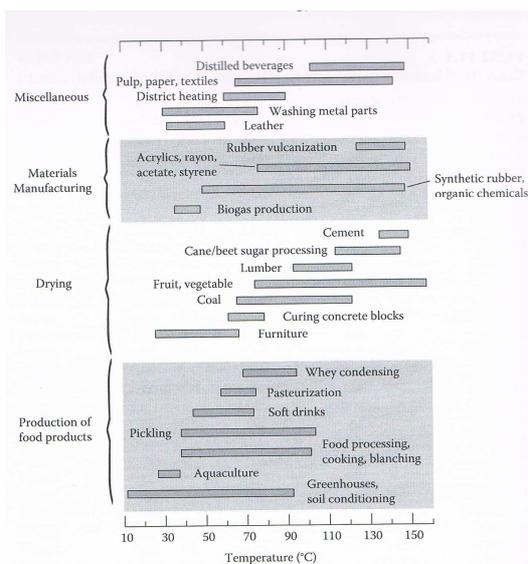
Nel 2017 la produzione da impianti geotermoelettrici è pari a 6201 GWh in diminuzione rispetto all'anno precedente del 1.4 %.

Nel 2017 il 50 % degli impianti ha prodotto per circa 7378 ore equivalenti, in calo rispetto alle 7498 ore dell'anno precedente.

Nel confronto con le altre fonti rinnovabili, le prestazioni degli impianti geotermoelettrici sono le migliori.



Usi diretti



L'energia geotermica viene impiegata direttamente in diversi processi: dal riscaldamento di ambienti all'essiccazione, dallo scioglimento delle nevi alla vulcanizzazione delle gomme.

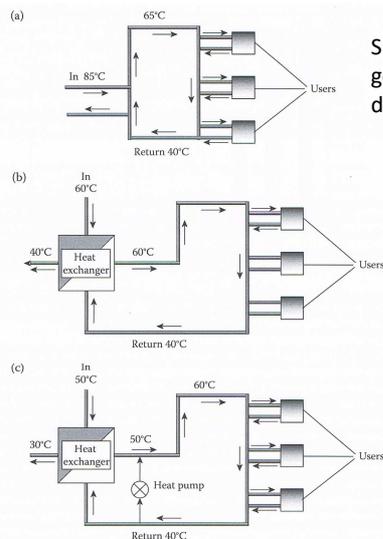
A seconda della tipologia di impiego diverse temperature sono richieste.

Usi diretti

Pompe di calore geotermiche: rappresentano l'impiego principale dell'energia geotermica. La maggior parte della potenza installata è in Nord America, Europa e Cina. La taglia delle singole installazioni varia da 5 kW per applicazioni residenziali a 150 kW per applicazioni nel terziario. In USA in genere vengono dimensionate per il picco di domanda di raffrescamento (lavorano quindi 2000 ore equivalenti all'anno), mentre in Europa garantiscono il carico base della richiesta invernale di riscaldamento (fino a 6000 ore equivalenti di funzionamento).

Riscaldamento ambienti: l'energia impiegata per questo settore è 63025 TJ/yr di cui circa 85 % in teleriscaldamento. Gli stati leader nell'utilizzo del teleriscaldamento sono Islanda, Cina, Turchia e Russia, mentre Turchia, Italia, Stati Uniti, Giappone e Georgia sono i maggiori fruitori della geotermia per il riscaldamento diretto di ambienti.

Teleriscaldamento



Teleriscaldamento

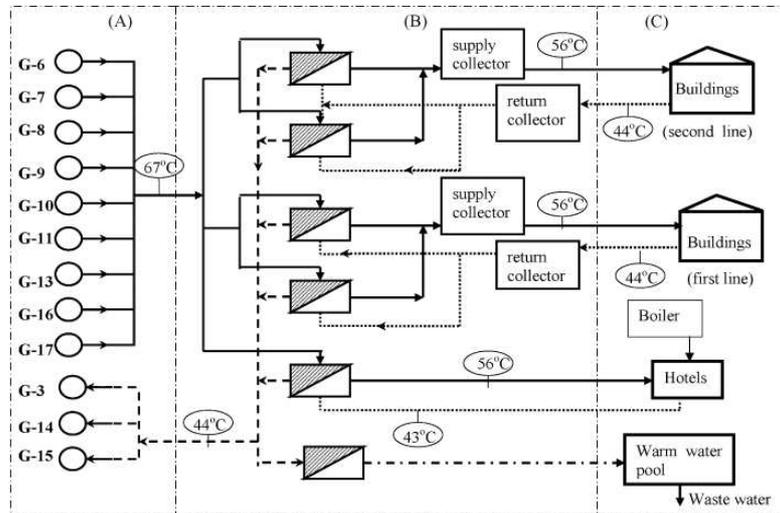


Fig. 2. Schematic diagram of the Gonen geothermal district heating system.

L'impianto di Ferrara

Il sito di Ferrara fu scoperto a seguito di esplorazioni petrolifere dell'AGIP. Nel 1956 fu perforato il pozzo Casaglia 1 fino ad una profondità di 3379 m, non si trovarono idrocarburi, ma un acquifero alla profondità di 1100 metri con una fonte a circa 100 °C. Nel 1981 fu aperto un secondo pozzo Casaglia 2 (circa un chilometro da Casaglia 1 e con una profondità di 1960 m) .

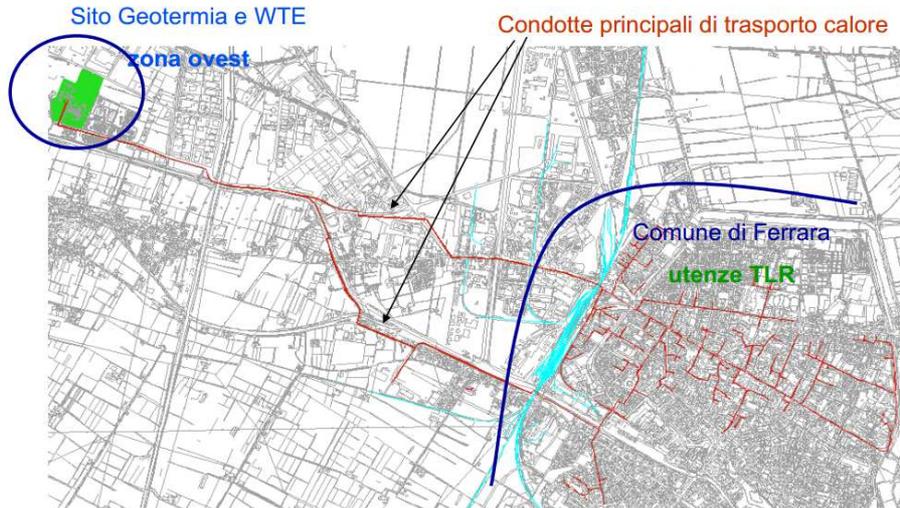
La prima distribuzione di calore da fonte geotermica avvenne nel 1990: Casaglia 2 fungeva da pozzo di produzione e Casaglia 1 da reiniezione. Nel 1995 un secondo pozzo di produzione Casaglia 3 fu aperto a pochi metri da Casaglia 2.

Oggi, con una portata di circa 400 m³/h di acqua alla temperatura di circa 100°C , la fonte geotermica contribuisce per una potenza di 14 MWt alla potenza totale erogabile attraverso la rete teleriscaldamento di Ferrara.

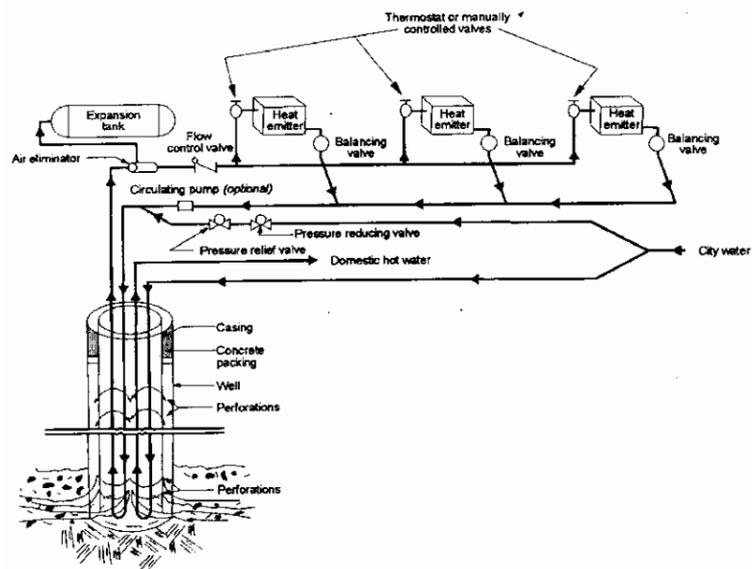
Il sistema è integrato dalla centrale cogenerativa alimentata dalla combustione dei rifiuti e da caldaie a gas naturale. Si è prospettata in passato anche una fornitura di calore dalla centrale a ciclo combinato gas-vapore sita nel polo chimico.

E' stato abbandonato qualche anno fa un progetto di ampliamento che avrebbe sfruttato due nuovi pozzi nella zona est della città.

L'impianto di Ferrara



Riscaldamento diretto di ambienti



Usi diretti

Serre ed applicazioni in agricoltura: le colture che fanno più uso di riscaldamento geotermico sono ortaggi e fiori. Si possono stimare circa 1200 ha di serre riscaldate nel mondo. L'acqua geotermica riscalda tramite uno scambiatore l'acqua che circolando in un circuito chiuso cede calore alla serra.

Acquacoltura: in 22 paesi è diffuso l'impiego di energia geotermica per il riscaldamento di infrastrutture per acquacoltura. La crescita della diffusione è lenta perché questi impianti richiedono un'intensa attività e personale ben addestrato, il cui costo non sempre è facilmente giustificabile. In USA, Cina, Islanda, Italia e Israele vengono allevati tilapia, salmoni e trote, ma anche pesci tropicali, aragoste, gamberi e gamberetti nonché alligatori. Si stima una produzione di 47600 t/yr.

Essiccazione di prodotti agricoli: cipolle, cereali, frutta, erba medica e legname sono essiccati in diversi paesi.

Processi industriali: in questi casi la potenza impiegata è molto elevata. Ci sono applicazioni per stagionare il calcestruzzo, imbottigliamento di bevande, pastorizzazione del latte, conciatura pelli, lavorazioni di pasta di carta, estrazioni di sali, produzioni di acido bórico (Larderello).

Usi diretti



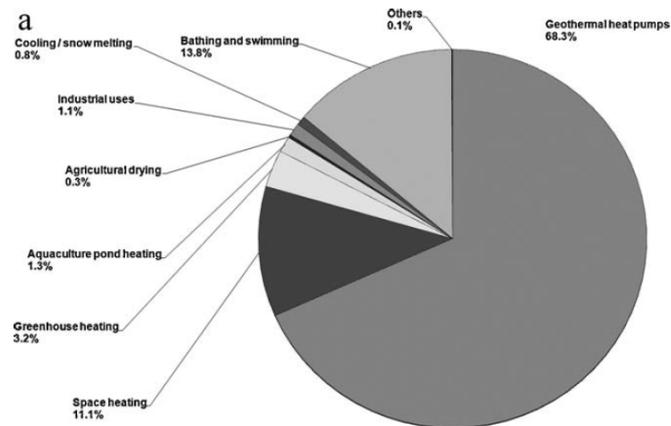
Scioglimento delle nevi: un totale di due milioni di metri quadrati di pavimentazione è riscaldata nel mondo (Argentina, Islanda, Giappone, Svizzera e USA) per un impiego di potenza di 311 MW.

Impianti termali: diffusi in tutto il mondo è difficile quantificarne l'uso di energia in quanto l'acqua viene fatta scorrere indipendentemente da un suo impiego.



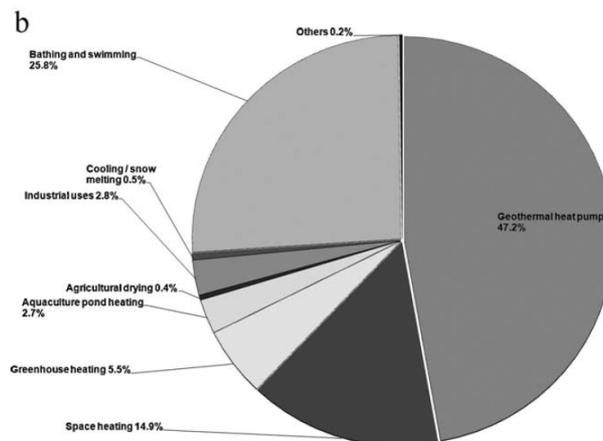
Usi diretti nel mondo

La potenza installata è circa 48.5 GW così ripartita



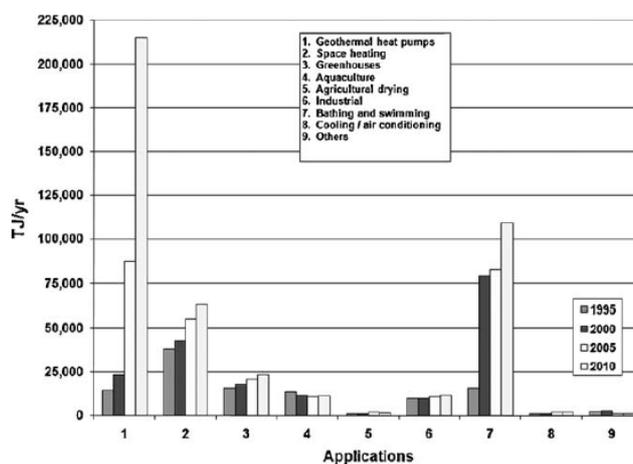
Usi diretti nel mondo

L'utilizzo annuo di energia da fonte geotermica corrisponde 117 778 GWh/yr (423 968 TJ/yr) distribuito tra gli impieghi come segue



Usi diretti nel mondo

I cinque paesi con il maggiore impiego di energia geotermica sono Cina, Stati Uniti, Svezia, Turchia e Giappone che insieme coprono il 55 % dell'utilizzo.



Usi diretti in Italia

TJ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Variaz. % 2017/2016
Consumi diretti	4.950	4.987	4.660	4.778	5.222	5.478	4,9%
Industria	80	98	82	82	98	94	-3,9%
Commercio e servizi	3.224	3.232	3.097	3.197	3.186	3.345	5,0%
Residenziale	64	59	19	36	37	37	0,0%
Agricoltura	674	690	591	590	570	563	-1,2%
Acquacoltura/itticoltura	908	908	871	873	1.332	1.439	8,1%
Altri settori	-	-	-	-	-	-	0,0%
Produzione di calore derivato	650	650	764	780	810	793	-2,0%
da impianti cogenerativi*	-	-	-	-	-	-	-
da impianti di sola produzione termica	650	650	764	780	810	793	-2,0%
Totale	5.600	5.637	5.424	5.558	6.032	6.272	4,0%

Ai consumi diretti si aggiungono 793 TJ di calore derivato (circa 19 ktep) prodotto da impianti di sola produzione termica; si tratta principalmente di impianti di teleriscaldamento localizzati in Toscana e in Emilia Romagna.

Usi diretti in Italia

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Var. % 2017/2016
Apparecchi installati a fine anno (milioni di pezzi)	16,9	17,8	18,3	18,5	19,1	19,5	2,5%
Potenza termica installata (GW)	115,0	119,6	121,7	122,2	124,7	126,4	1,4%
Energia rinnovabile da pompe di calore (Eres) (TJ)	101.112	105.480	108.010	108.208	109.219	110.949	1,6%
Energia rinnovabile da pompe di calore (Eres) (ktep)	2.415	2.519	2.580	2.584	2.609	2.650	1,6%
- di cui aerotermiche (ktep)	2.351	2.447	2.501	2.500	2.523	2.563	1,6%
- di cui idrotermiche (ktep)	6	7	8	8	9	9	1,4%
- di cui geotermiche (ktep)	57	65	71	76	77	78	1,4%
Calore utile prodotto (Qusable) (ktep)	3.902	4.069	4.166	4.172	4.211	4.278	1,6%
Seasonal Performance Factor (SPF) medio generale	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0,0%
Consumo energetico delle pompe di calore (ktep)	1.487	1.550	1.586	1.588	1.602	1.628	1,6%

La grande maggioranza degli apparecchi sfrutta il calore dell'aria ambiente (97%), mentre assai più modesta è l'incidenza delle pompe di calore alimentate dal calore geotermico e idrotermico.

Fonte rinnovabile?

La fonte geotermica non è una risorsa rinnovabile in senso stretto. Lo è solamente se l'asportazione di calore non eccede il tasso di ripristino del serbatoio.

Lo smaltimento del fluido freddo dopo l'uso è una operazione molto importante in ogni applicazione geotermica.

Più del 95 % del fluido utilizzato è reiniettato nel serbatoio come acqua liquida, contribuendo a ridurre le perdite di pressione e rimpiazzando parte del fluido estratto.

Una chiave del successo di progetti di sfruttamento della risorsa geotermica consiste nell'assicurare (attraverso valutazioni accurate e monitoraggi del serbatoio) che la fonte sia disponibile per tutta la durata prevista del suo sfruttamento (generalmente diverse decadi per poter rientrare dei costi di investimento iniziali).

Impatto ambientale

L'utilizzo della fonte geotermica implica l'estrazione di grandi quantità di vapore o acqua. Questi fluidi hanno una composizione sito specifica e molto dipendente dalla natura delle rocce di ogni serbatoio. Il maggiore impatto ambientale riguarda l'inquinamento dell'aria e dei corpi idrici.

Inquinamento dell'aria. Come detto il vapore geotermico può contenere grosse quantità di anidride carbonica e acido solfidrico. L'anidride carbonica è un gas serra, mentre l'acido solfidrico si trasforma in acido solforico e genera piogge acide.

Un altro gas emesso è il Radon (^{222}Rn), che è un isotopo radioattivo naturalmente presente nella crosta terrestre. A Larderello la concentrazione di radon nell'aria è pari a 5.5 Bq/m^3 quando una concentrazione media di 3 Bq/m^3 è presente normalmente.

Gli impianti binari, poiché il fluido geotermico attraversa uno scambiatore e viene reiniettato, non hanno emissioni in atmosfera.

Inquinamento dell'acqua. Nei sistemi a vapore dominante i maggiori inquinanti sono in fase vapore, ma la fase acquosa e le condense contengono arsenico, mercurio, piombo, zinco, boro e zolfo. Nei sistemi ad acqua dominante ci sono grandi quantità di acqua contenente molti sali da smaltire. Il metodo migliore è la reiniezione dell'acqua e delle condense. Per farlo però sono necessari condutture e sistemi di pompaggio, nonché un pozzo di reiniezione.

Impatto ambientale

Subsidenza. Quando il fluido viene rimosso, la pressione nell'acquifero diminuisce e il suolo tende a dare luogo al fenomeno della subsidenza. Minore subsidenza si ha quando il serbatoio è formato da rocce più dure.

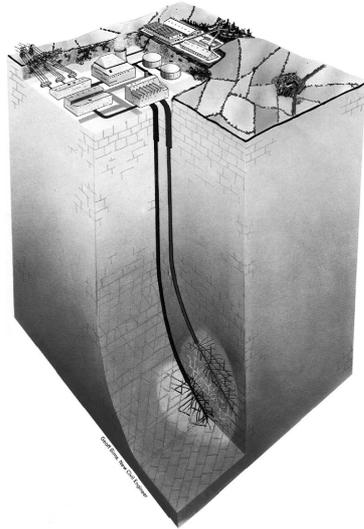
I sistemi ad acqua dominante hanno maggiore subsidenza. Larderello che è un sito a vapore dominante è sprofondato di 1.7 m tra il 1923 e il 1986.

La subsidenza può essere controllata o prevenuta attraverso la reiniezione, che però può provocare microsismicità.

Altre fonti di impatto sono la sismicità indotta e il rumore.

Un impatto ambientale positivo è quello relativo al risparmio di combustibili fossili.

Geotermia del futuro



Nei sistemi a rocce calde secche (hot dry rock, HDR) le rocce sono artificialmente fratturate e l'acqua viene iniettata da un pozzo.

Le rocce calde fungono da scambiatore di calore e il fluido torna in superficie attraverso l'altro pozzo come vapore o acqua calda.

Un progetto pilota è stato fatto a Los Alamos in New Mexico.

Si stima una potenza installabile negli Stati Uniti al 2050 di 100 GW.

Geotermia del futuro

L'energia dei magmi rappresenta una enorme risorsa potenziale. Il Magma Energy Extraction Program degli Stati Uniti ne ha valutato la fattibilità.

Anche l'utilizzo dei bacini geopressurizzati è stata valutata. In questi bacini l'acqua è rimasta intrappolata a causa della deposizione di sedimenti a pressioni che sono anche oltre il 100 % maggiori della pressione idrostatica a quella profondità. Questa pressione consentirebbe il suo sfruttamento in sistemi idraulici oltre che la produzione di energia geotermica.