



Università Federico II di Napoli Scienze Geologiche

Corso di Chimica e Fisica dei fluidi vulcanici Prof. Raimondo Pece

L'Energia Geotermica: una fonte rinnovabile e sicura

“viaggio tra le varie metodologie di sfruttamento”

di Ciro Manzo 563/212

INDICE

1. Energia geotermica	pag3
2. Il calore della terra	pag7
3. I sistemi geotermici	pag8
4. La rinnovabilità e la sostenibilità	pag10
5. Lo sfruttamento delle risorse geotermiche	pag11
6. Le forme di utilizzazione	pag15
7. Le centrali geotermoelettriche	pag24
8. Principali obiettivi e prospettive delle ricerca in Italia	pag25
8.1.1. Risorge geotermiche a bassa entalpia	pag25
8.1.2. Nuove metodologie di utilizzazione di risorse geotermiche ad alta entalpia	pag26
8.1.3. Ricerca di fluidi termali nella pianura di Pisa	pag28
9. Teleriscaldamento	pag29
10. Sistemi a sonde per geoscambio termico a pompa di calore	pag30
11. Stoccaggio di energia termica	pag32
12. Impatto ambientale	pag33
13. Potenziale	pag34
14. Conclusioni	pag35

Energia Geotermica

Il termine "geotermia" deriva dal greco "gê" e "thermòs" ed il significato letterale è "calore della Terra".

Per energia geotermica si intende quella contenuta, sotto forma di "calore", all'interno della terra. L'origine di questo calore è in relazione con la natura interna del nostro pianeta e con i processi fisici che in esso hanno luogo.



Tale calore è presente in quantità enorme e praticamente inesauribile.

Il calore interno si dissipa con regolarità verso la superficie della terra, la quale emana calore nello spazio quantificabile in una corrente termica media di 0,065 Watt per metro quadrato.

Il gradiente geotermico è in media di 3°C ogni 100 m di profondità, ossia 30°C ogni km.

Oltre alla produzione di energia elettrica, a seconda della temperatura del fluido geotermico sono possibili svariati impieghi:

✚ **acquicoltura (al massimo 38 °C),**

✚ **serricoltura (38 - 80 °C),**

✚ **teleriscaldamento (80 - 100 °C),**

✚ **usi industriali (almeno 150 °C), e molti altri.**

In alcuni paesi si utilizza il calore geotermico per l'essiccazione del legname (Nuova Zelanda), della farina di diatomee (Islanda), del piretro (Kenya) e per l'allevamento di alligatori (USA, Giappone).

Fonte enelgreenpower

La dimostrazione che esiste una energia termica all'interno della terra è ormai un fatto certo e ben conosciuto. Vulcani, sorgenti termali, soffioni e geyser documentano bene la presenza di un calore interno alla Terra che fluisce verso l'esterno. Si chiama **gradiente geotermico** *l'aumento della temperatura con la profondità* e non è un valore fisso e uguale, nel senso che parti diverse della nostra superficie possono avere un diverso gradiente geotermico; in media questo gradiente è di circa 1 grado centigrado ogni 33 metri (3 gradi ogni 100 metri) di profondità ma come detto può variare notevolmente, come vicino alle dorsali dove si può arrivare a valori di 3-4 gradi ogni 33 metri. Queste variazioni della temperatura interna della Terra vengono chiamate gradienti geotermici anomali. La produzione di calore all'interno della Terra è assicurata dal decadimento di **isotopi radioattivi** presenti soprattutto nel mantello (quelli più importanti sono il **torio 232**, l'**uranio 238**, e **235** e il **potassio 40**; un grammo di uranio 235 produce 4,34 calorie all'anno). Dal momento che con il decadimento la quantità di questi isotopi diminuisce si deduce che al momento della formazione della crosta terrestre il flusso di calore doveva essere notevolmente maggiore e questo fa ritenere che anche lo spessore delle zolle fosse minore rispetto allo spessore attuale. Quindi il nostro pianeta diffonde del calore che, dal nucleo e dal mantello, si trasferisce alla crosta e all'atmosfera (anche se il calore che assume l'atmosfera da questi processi è assai minore di quello che è fornito dal Sole). In media il calore calcolato è pari a pari a 0,06 watt per metro quadro, quindi moltiplicato per tutta la superficie si arriva a valori di 30.000 miliardi di watt; questa energia termica, per unità di tempo e di area, costituisce il flusso di calore e viene espressa in **HFU** (Heat Flow Unit) ed è equivalente ad una microcaloria per centimetro quadro al secondo, cioè in un secondo la Terra disperde una microcaloria per centimetro quadro.

*Quindi il flusso che registriamo in superficie è la conseguenza del fatto che per ristabilire l'equilibrio termico in un corpo il calore, che è energia, si sposta da zone ad alta temperatura a quelle a bassa temperatura in vari modi, di cui i principali sono la **conduzione** e la **convezione**.*

La **conducibilità termica** di una roccia esprime l'attitudine che essa presenta a trasmettere il calore e viene misurata sul campione; in un solido, la quantità di calore che viene condotta tra due punti è proporzionale alla differenza di temperatura esistente tra questi due punti ed alla conducibilità termica del materiale.

Ma in genere le rocce sono dei cattivi conduttori di calore (una colata di lava dello spessore di 50 metri impiega a raffreddarsi circa 150 anni) quindi oltre a questo metodo deve esistere anche un altro modo per permettere al calore di risalire in superficie. In effetti un altro modo esiste e si tratta della convezione che è tipico per i fluidi (liquidi e gas).

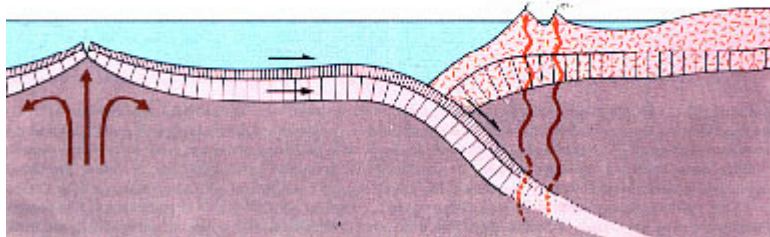
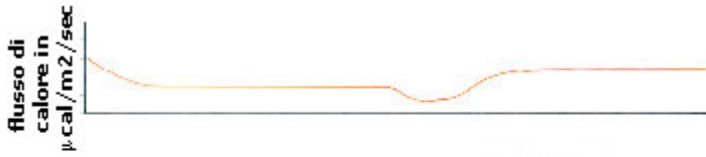
Questo metodo che è molto efficace e rapido nella distribuzione del calore dipende dal fatto che se *riscaldiamo un fluido esso si espande diventando meno denso, cioè più leggero, rispetto al materiale circostante; tale fluido tende quindi a salire, mentre il materiale più freddo tenderà a scendere; si instaura così un circolo che prende il nome di **cella convettiva**.*

Lo stesso succede se riscaldate una pentola piena di acqua : l'acqua che si trova direttamente sopra la fiamma si riscalderà prima e tenderà a risalire verso l'alto lasciando così il posto all'acqua più fredda, e quindi più pesante, che tenderà a scendere.

(L'intensità di una convezione è influenzata dal coefficiente di espansione termica, cioè quanto un materiale si espande all'aumento della temperatura) **Accanto un esempio di convezione.**



Questo metodo di trasporto del calore è ipotizzato che avvenga nel mantello, che appunto si è visto più volte non è rigido ma anzi ha un comportamento plastico; questa convezione interesserebbe solo la parte superiore del mantello (astenosfera) fino ad una profondità di circa 400 Km . Le misure del gradiente si fanno sia sulla terra ferma che in mare. Solitamente quest'ultime sono più precise e affidabili in quanto il fondo oceanico, coperto da una grande massa di acqua, non è influenzato dagli sbalzi termici giornalieri e stagionali provocati dall'irraggiamento solare.



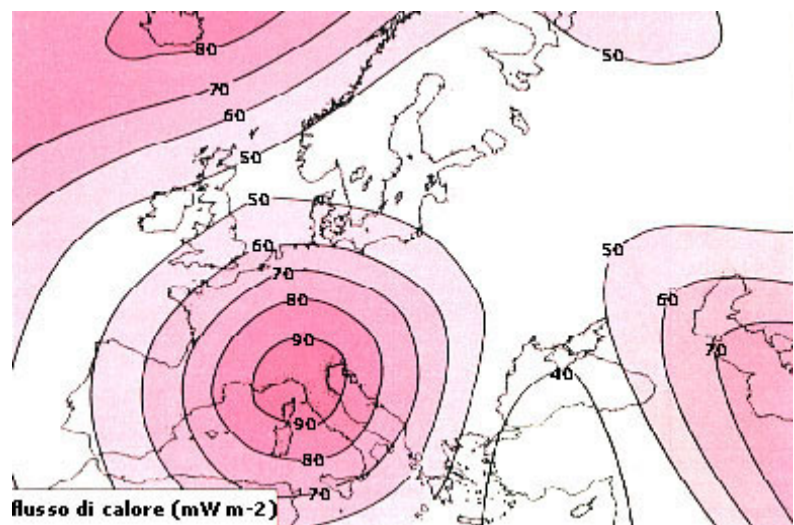
Accanto la relazione tra flusso di calore e regione tettonica.

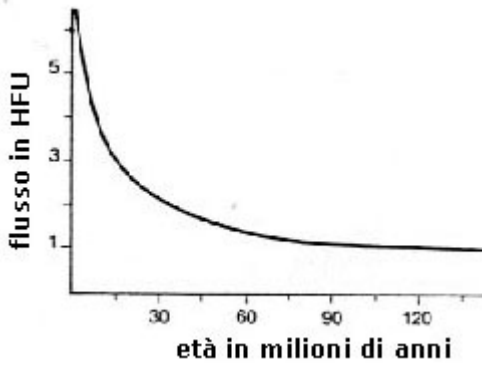
Sulla terra emersa generalmente si usa calare in dei pozzi o miniere (che devono raggiungere almeno i 50 metri di profondità, sempre per evitare le anomalie provocate dal calore del Sole) dei termometri molto precisi (detti **termistori**) e si misura la temperatura a varie profondità ricavando così il gradiente. In media il flusso di calore attraverso i continenti è stimato intorno a 1,5 HFU; *valori più bassi si raggiungono nelle aree stabili*, cioè inattive da un punto di vista tettonico e quindi geologicamente molto vecchie (**cratoni continentali**), dove lo spessore della crosta è più elevato.

L'Italia è posta su una zona ad alto flusso di calore a causa dell'elevata attività tettonica e vulcanica dell'area del Mediterraneo (superiore a 2 HFU nella parte delle Alpi e a 3 HFU nella regione vulcanica Tosco-Laziale).

Valori molto elevati sono stati registrati nella zona della Imperial Valley in California, con flussi di calore pari a 7 HFU.

Cartina dei flussi di calore per l'Europa Bosellini, Scienze della Terra, Ed. Bovolenta.





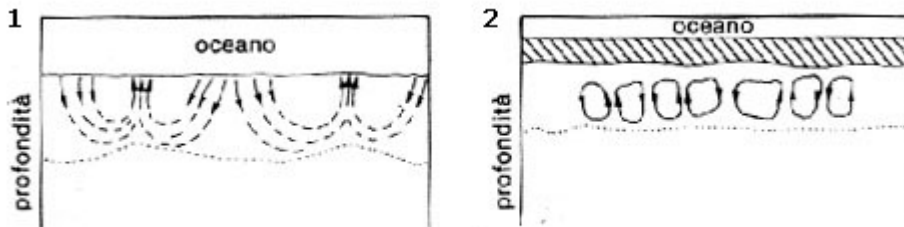
Accanto due grafici che mettono in relazione il flusso, la distanza dalla dorsale e l'età del fondo oceanico.



Per effettuare le misure in mare si cala un carotiere che si infissa nei sedimenti del fondo e ne registra la temperatura; in genere il flusso di calore diminuisce con l'aumentare dell'età del fondo oceanico, cioè via via che ci si allontana dalla dorsale dove si registrano flussi intorno ai 2 HFU. Nelle fosse oceaniche al contrario si registrano valori inferiori ad 1 HFU. *Nei pressi delle dorsali prende molta importanza il processo di convezione delle acque. Infatti l'acqua del mare che riesce a penetrare in profondità nella crosta oceanica (anche fino a 10 Km), facilitata dal fatto che in genere questa risulta essere molto fratturata a causa della vicina dorsale, si riscalda notevolmente e quindi tende a risalire attraverso la crosta e tornare sul fondo oceanico come acqua termale ricca in minerali in soluzione dando così vita ad una specie di cella convettiva all'interno della crosta oceanica.*

I fondi oceanici come abbiamo visto sono costituiti prevalentemente da magmi tholeiitici e quindi relativamente poveri in elementi radioattivi. Gli atomi degli elementi radioattivi tendono infatti a concentrarsi nelle rocce granitiche, e quindi nella crosta continentale; per questo ci si dovrebbe aspettare un flusso di calore sensibilmente minore, ma come si è visto non è così in quanto la crosta oceanica è di spessore notevolmente inferiore rispetto a quella continentale.

modelli di circolazione termoconvettiva dell'acqua nei fondali oceanici



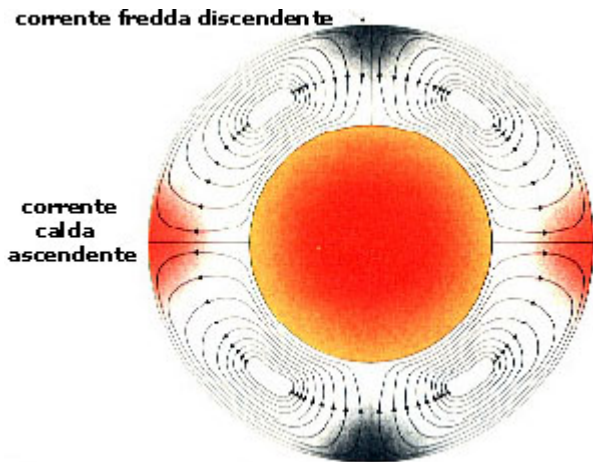
Il calore non proviene esclusivamente dalla crosta (è stato calcolato che questa è responsabile del 30-35% dell'intero flusso), ma soprattutto dal mantello, che pur avendo una concentrazione minore di elementi radioattivi, ha una massa notevolmente maggiore della crosta. È stato ipotizzato anche che la **compressione adiabatica** dei materiali costituenti il mantello (cioè una compressione senza scambio di calore) sia una ulteriore fonte del calore interno della Terra. **Sopra due e l'andamento delle isoterme (punti di uguale temperatura) durante la costruzione del traforo ferroviario del Sempione (D'Amico, Magmatismo e metamorfismo, Ed. UTET**



Il calore della Terra

L'energia geotermica è il calore contenuto nell'interno della Terra. E' stato stimato, assumendo una temperatura superficiale media di 15°C, che esso sia dell'ordine di $12,6 \times 10^{24}$ MJ e che quello contenuto nella sola crosta sia dell'ordine di $5,4 \times 10^{21}$ MJ. L'energia termica della Terra è quindi enorme, ma soltanto una parte di essa può essere sfruttata.

Sino ad oggi, l'utilizzazione di questa energia stata limitata a quelle aree nelle quali le condizioni geologiche permettono ad un vettore (acqua in fase liquida o vapore) di



"trasportare" il calore dalle formazioni calde profonde alla superficie o vicino ad essa, formando quelle che chiamiamo risorse geotermiche. Il calore interno si manifesta in superficie in siti limitati, come vulcani, geysers, fumarole e sorgenti calde. Esso, tuttavia, ha dimensioni tali da essere la *causa di fenomeni di scala planetaria, quali il movimento delle placche crostali*. E' infatti il calore interno della terra che provoca nell'astenosfera i moti dei materiali fusi o semifusi che "trascinano" le placche litosferiche; queste placche si spostano in continuazione e reciprocamente, collidono, si formano e sono "digerite". Ai margini delle placche sono frequenti i terremoti; a causa della fratturazione della crosta, che permette la risalita di materiali fusi molto caldi, ai margini si formano anche vulcani ed aree a gradiente geotermico molto elevato (vedere anche l'articolo "**La Dinamica dei Terremoti**", **Scienza online**, nn. 11-12, 2005, dove è illustrato il meccanismo del movimento delle placche). Il gradiente geotermico, che dà la misura dell'aumento della temperatura con la profondità, ha un valore medio di 2,5-3°C/100 m, ma, nelle aree "geotermiche" esso può essere anche dieci volte superiore alla norma. La Figura 1 mostra le placche tettoniche e la posizione delle aree geotermiche ad alta temperatura rispetto ai loro limiti.

Figura 1. Placche crostali, dorsali, zone di subduzione e campi geotermici. Le frecce indicano la direzione del movimento delle placche. (1) Campi geotermici che producono elettricità; (2) dorsali interrotte dalle faglie trasversali; (3) zone di subduzione nelle quali la litosfera si immerge sotto l'astenosfera.



I sistemi geotermici

Le risorse geotermiche sono presenti nella maggior parte della superficie del pianeta, in ambienti geologicamente diversi, in regioni sia a gradiente geotermico normale, sia superiore al normale. Esse possono inquadrarsi in varie tipologie di sistemi geotermici:

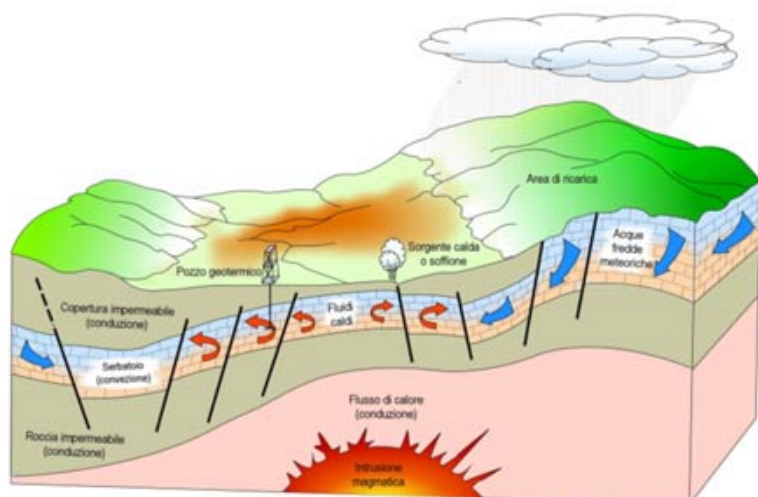
- **Sistemi ad acqua dominante.** In questi sistemi l'acqua liquida è la fase continua, che controlla la pressione nel serbatoio geotermico. Questi sistemi geotermici, la cui temperatura può andare da $<125^{\circ}\text{C}$ a $>225^{\circ}\text{C}$, sono i più diffusi nel mondo. Essi possono produrre, in funzione dalla loro temperatura e pressione, acqua calda, una miscela di acqua e vapore, vapore umido e, in alcuni casi, vapore secco.
- **Sistemi a vapore dominante.** Nel serbatoio di questi sistemi normalmente coesistono acqua liquida e vapore, che è la fase continua che controlla la pressione. Sono sistemi ad alta temperatura, che normalmente producono vapore secco o surriscaldato. I sistemi geotermici di questo tipo sono piuttosto rari; i più conosciuti sono Larderello in Italia e The Geysers in California.
- **Sistemi geopressurizzati**, che possono formarsi nei grandi bacini sedimentari (p.e. il Golfo del Messico) a profondità di 3-7 km. I sistemi geopressurizzati sono sistemi chiusi, privi di alimentazione, nei quali il fluido si trova a pressione litostatica; costituiscono una categoria a sé stante. Potrebbero produrre energia termica e idraulica (acqua calda in pressione) e gas metano. Questa risorsa è stata studiata in modo approfondito, ma, sino ad oggi, non è seguito uno sfruttamento industriale.

Un sistema geotermico (ad acqua o vapore dominante) può essere definito schematicamente come "un sistema acqueo convettivo, che, in uno spazio confinato della parte superiore della crosta terrestre, trasporta il calore da una sorgente termica al luogo, generalmente la superficie, dove il calore stesso è assorbito (disperso o utilizzato)".

Un sistema geotermico è formato da tre elementi:

- la sorgente di calore,
- il serbatoio
- il fluido, che è il mezzo che trasporta il calore (Figura 2).

Figura 2. Schema semplificato di un sistema geotermico. Le acque meteoriche penetrano nel serbatoio attraverso la zona di ricarica posta sulla destra della figura ed acquistano calore scendendo in profondità. Nel serbatoio il fluido tende ad instaurare moti convettivi, uniformando la temperatura, e si possono avere cambiamenti di fase



La sorgente di calore può essere una intrusione magmatica a temperatura molto alta ($>600^{\circ}\text{C}$), che si è posizionata a profondità relativamente piccola (5-10 km), oppure, come in certi sistemi a bassa temperatura, il normale calore della Terra. Il serbatoio è un complesso di rocce calde permeabili, nel quale i fluidi possono circolare assorbendo il calore. Il serbatoio generalmente è coperto da rocce impermeabili e connesso a zone di ricarica superficiali dalle quali le acque meteoriche possono sostituire, totalmente o parzialmente, i fluidi perduti attraverso vie naturali (per esempio sorgenti) o che sono estratti mediante pozzi. Il fluido geotermico, per la maggior parte, è acqua meteorica in fase liquida o vapore, in dipendenza dalla sua temperatura e pressione.

Le leggi che regolano la convezione dei fluidi sono alla base del meccanismo dei sistemi geotermici. La **Figura 3** descrive questo meccanismo, prendendo ad esempio un sistema idrotermale a media temperatura. La convezione si attiva in seguito al riscaldamento ed alla conseguente espansione termica del fluido in un campo gravitazionale; il calore alla base del sistema di circolazione è l'energia che alimenta e muove il sistema. Il fluido caldo e di minor densità tende a salire e ad essere sostituito dal fluido più freddo e di densità maggiore, proveniente dai margini del sistema. La convezione, per sua natura, tende a far aumentare la temperatura delle parti alte del sistema, mentre la temperatura delle parti inferiori diminuisce.

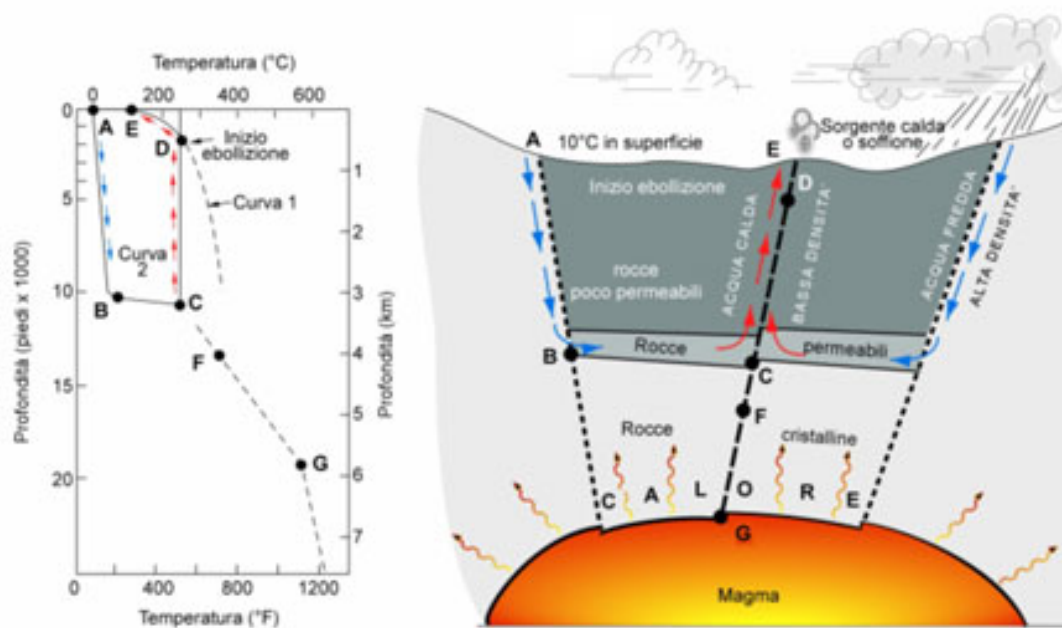


Figura 3. Modello di sistema geotermico. Nel grafico a sinistra, la curva 1 è la curva di ebollizione dell'acqua; la curva 2 mostra l'andamento della temperatura del fluido lungo il suo percorso dal punto di ingresso A a quello di uscita E. La curva tratteggiata a destra in basso (C-F-G) indica l'andamento previsto della temperatura in profondità: F è la temperatura nella parte superiore del basamento cristallino, G quella dell'intrusione magmatica.

Ai sistemi geotermici naturali si potrebbero aggiungere in futuro i sistemi HDR (Hot Dry Rock o rocce calde secche), ottenuti creando, per idrofratturazione, un serbatoio artificiale in rocce compatte molto calde (**Figura 4**). Progetti HDR sono stati sviluppati con risultati alterni dagli anni '70 negli Stati Uniti, Giappone, Europa ed Australia. Recentemente l'attenzione è stata rivolta alla possibilità di aumentare la permeabilità di rocce già parzialmente fratturate presenti all'interno o ai margini di sistemi idrotermali naturali (progetti EGS, Enhanced Geothermal Systems o sistemi geotermici potenziati). E' probabile che, nei prossimi anni, i progetti HDR/EGS possano raggiungere la fase commerciale.

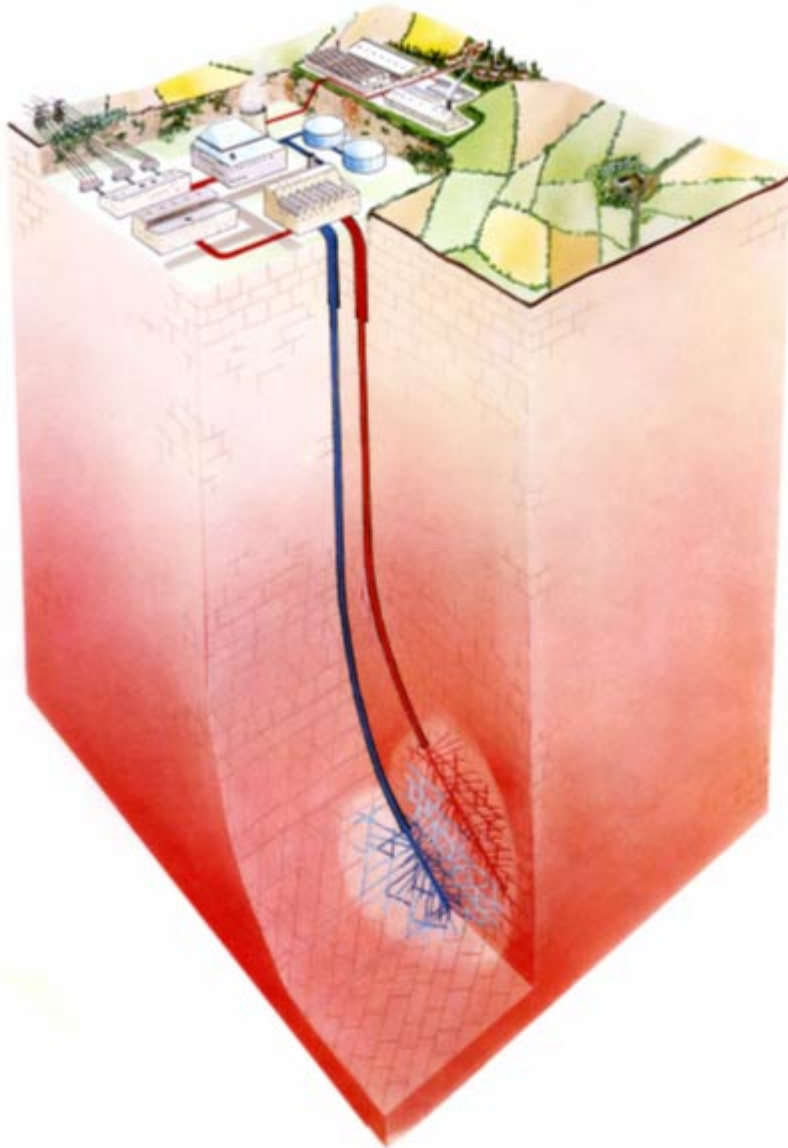


Figura 4. Schema di possibile progetto HDR. Il pozzo a destra inizialmente inietta acqua ad alta pressione, che frattura le rocce calde e crea il serbatoio artificiale; successivamente diventa una parte del sistema. Il pozzo a sinistra estrae il fluido (immesso dall'altro pozzo), che si è riscaldato circolando attraverso le fratture. L'insieme forma un sistema chiuso: pozzo di iniezione - serbatoio caldo - pozzo di estrazione - impianto di utilizzazione in superficie.

Con riferimento alla loro potenziale utilizzazione, le risorse geotermiche sono anche classificate come:

- risorse a bassa entalpia (o temperatura), $< 125^{\circ}\text{C}$, adatte soprattutto ad usi diretti;
- risorse a media entalpia, $125^{\circ} - 225^{\circ}\text{C}$, adatte sia ad usi diretti che alla generazione di elettricità;
- risorse ad alta entalpia, $> 225^{\circ}$, adatte alla generazione di elettricità.

La rinnovabilità e la sostenibilità

L'energia geotermica è generalmente definita rinnovabile e sostenibile. Il termine rinnovabile si riferisce ad una proprietà della sorgente di energia, mentre il termine sostenibile descrive come la risorsa è utilizzata. La ricarica di energia è il fattore critico della rinnovabilità di una risorsa geotermica. Quando si sfrutta un sistema geotermico naturale, la ricarica energetica avviene attraverso l'apporto al sistema di fluidi caldi contemporaneamente (o in tempi comparabili) allo sfruttamento. Questo permette di classificare l'energia geotermica come risorsa energetica rinnovabile. Nel caso delle rocce calde secche (HDR) e di certi acquiferi caldi in bacini sedimentari, la ricarica energetica avviene solo per conduzione termica; a causa della lentezza di questo fenomeno, le rocce calde secche ed alcuni serbatoi sedimentari dovrebbero essere considerati

risorse energetiche limitate. La sostenibilità dell'utilizzazione di una risorsa dipende dalla sua quantità iniziale, dalla velocità con cui si rigenera e dalla velocità con cui si consuma. Ovviamente, l'utilizzazione può essere sostenuta per tutto il tempo che si vuole, purché la risorsa si rigeneri ad una velocità maggiore di quanto non sia sfruttata. Il termine "sviluppo sostenibile" è usato dalla Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo per descrivere lo sviluppo che "soddisfa le necessità della presente generazione senza compromettere le necessità delle generazioni future". In questo quadro, lo sviluppo sostenibile non richiede che tutte le risorse energetiche debbano essere usate in modo completamente sostenibile, ma, più semplicemente, che ad una data risorsa, che si esaurisce, se ne possa sostituire un'altra in grado di far fronte alle necessità delle generazioni future. Ne segue che un particolare campo geotermico non deve necessariamente essere sfruttato in modo sostenibile. I programmi per realizzare la sostenibilità dell'energia geotermica dovrebbero tendere a raggiungere, e poi sostenere, un certo livello di produzione, a livello nazionale o regionale, sia nel settore elettrico sia in quello dell'uso diretto del calore, per un dato periodo, ad esempio 300 anni, mettendo in produzione nuovi sistemi geotermici, man mano che altri si esauriscono.

Lo sfruttamento delle risorse geotermiche

Lo sfruttamento del calore terrestre è, curiosamente, presente anche nel regno animale. I Megapodi della Nuova Guinea, uccelli dell'ordine dei Galliformi, depongono le uova in piccole fosse, che scavano in terreni caldi vulcanici o geotermici, e attendono che il calore naturale provveda alla cova. Gli uomini hanno certamente utilizzato il calore della Terra per scopi semplici, come la cottura del cibo, sin dal Paleolitico. Nel Neolitico le acque calde naturali erano usate per scopi curativi e magici. In periodo etrusco gli usi balneologici erano già ampiamente diffusi, come dimostrano numerose testimonianze archeologiche. Successivamente, nell'area di espansione della civiltà romana, i fluidi geotermici sono stati usati, oltre che in balneologia, per il riscaldamento di edifici termali e di abitazioni dal I° secolo a.C. sino alla decadenza dell'Impero. Esempi di utilizzazione del calore geotermico sono presenti anche nei secoli seguenti, in Italia ed in vari paesi del mondo, sino alla Cina, ma in dimensione molto ridotta e con semplici tipologie (Figura 5).



Figura 5. Bagni termali medioevali in una stampa del XV° secolo.

Si deve attendere il XIX° secolo perché abbia inizio un vero e proprio sfruttamento dell'energia geotermica su scala industriale. Nei primi anni di quel secolo, nell'area che poi ha preso il nome di Larderello (Toscana), era stata avviata una piccola industria chimica per estrarre l'acido borico dalle acque calde boriche, che sgorgavano naturalmente dal suolo o erano estratte da pozzi di piccola profondità. L'acido borico era ottenuto facendo evaporare le acque calde ricche di boro in bollitori metallici, usando, come combustibile, il legname ricavato dai boschi vicini. Nel 1827 Francesco Larderel ideò un sistema per sfruttare il calore degli stessi fluidi borici nel processo di estrazione, invece di bruciare il legname dei boschi, che si andavano esaurendo rapidamente. Nello stesso periodo si cominciò anche ad utilizzare l'energia meccanica del vapore naturale. Questo venne usato per sollevare l'acqua in semplici sistemi a "gas lift" e, in seguito, per il funzionamento di pompe ed argani impiegati nelle operazioni di perforazione o nell'industria dell'acido borico. Nella medesima area, tra il 1910 ed il 1940, si avviò, ampliandosi progressivamente, l'utilizzazione del vapore geotermico a bassa pressione per il riscaldamento di edifici residenziali ed industriali, e di serre. Mentre questo accadeva in Italia, anche in altri paesi si sviluppava l'utilizzazione industriale dell'energia geotermica: nel 1892 a Boise (Idaho, USA) era inaugurato il primo sistema di riscaldamento urbano; nel 1928 l'Islanda cominciò a sfruttare i fluidi geotermici, soprattutto acqua calda, per il riscaldamento di edifici. Il primo tentativo di produrre elettricità dall'energia geotermica è stato fatto a Larderello il 4 luglio 1904, quando il Principe Piero Ginori Conti avviò un motore, azionato dal vapore geotermico, collegato ad una dinamo (Figura 6). La riuscita di questo esperimento segnò l'inizio di una importante forma di utilizzazione del calore terrestre di grande importanza, che si sarebbe diffusa in tutto il mondo. La produzione di elettricità a Larderello fu un successo commerciale, oltre che della tecnica. Nel 1916 la potenza geotermoelettrica installata era già 12.000 kWe e nel 1942, prima delle distruzioni dovute agli eventi bellici, aveva raggiunto 127.650 kWe. L'esempio italiano fu seguito, a partire dalla seconda metà del secolo scorso, da numerosi altri paesi. Nel 1958 un primo impianto geotermoelettrico entrò in esercizio in Nuova Zelanda, nel 1959 in Messico, nel 1960 negli Stati Uniti e negli anni seguenti in molti altri paesi.



Figura 6. Larderello: il motore alternativo, azionato da vapore geotermico, che, accoppiato ad una dinamo, ha prodotto per la prima volta energia geotermoelettrica il 4 luglio 1904. A sinistra, il Principe Piero Ginori Conti.

Attualmente le risorse geotermiche sono estesamente sfruttate per produrre elettricità e per usi diretti del calore (applicazioni non-elettriche). Diversamente da altre forme di energia rinnovabile, come solare ed eolica, sono indipendenti dalle stagioni e dalle condizioni climatiche e meteorologiche e costituiscono una sorgente energetica continua. La posizione delle risorse geotermiche nei confronti della totalità delle fonti energetiche primarie è illustrata dalla Figura 7. Si valuta che lo sfruttamento dell'energia geotermica permetta di risparmiare annualmente 265 milioni di barili di petrolio e di evitare di immettere nell'atmosfera 115 milioni di tonnellate di CO₂.

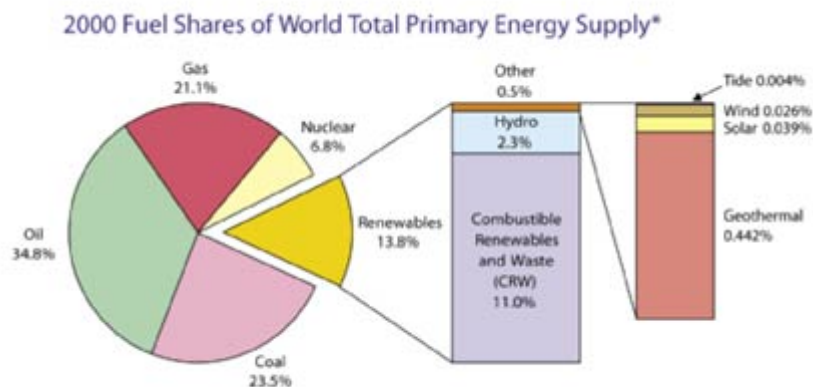


Figura 7. Disponibilità nel mondo delle fonti energetiche primarie nell'anno 2000

I paesi che, al giorno d'oggi (2005), sfruttano le risorse geotermiche per produrre elettricità sono 24 (Figura 1); sono elencati nella Tabella 1, che mostra la potenza installata nel 2005 (8934 MWe) e, per confronto, nel 1995 (6834 MWe). La generazione di energia è rispettivamente 56.875 GWh/a e 37.744 GWh/a. In alcuni paesi l'energia geotermoelettrica svolge un ruolo importante nella bilancia energetica nazionale. Essa rappresenta (2005) il 24% dell'energia elettrica totale prodotta in El Salvador, il 19,2% in Kenya, il 19,1% nelle Filippine, il 15% in Costa Rica, il 9,8% in Nicaragua ed il 6,7% in Indonesia.

Tabella 1. Potenza elettrica di fonte geotermica installata nel mondo negli anni 1995 e 2005 (MWe)

	1995	2005		1995	2005
Australia	0,2	0,2	Italia	632	790,5
Austria	-	1	Kenya	45	129
Cina	29	28	Messico	753	953
Costa Rica	55	163	Nicaragua	70	77
El Salvador	105	151	Nuova Zelanda	286	435
Etiopia	-	7	Papua N.G.	-	6
Filippine	1227	1931	Portogallo	5	16
Francia	4	15	(Azzorre)		
(Guadalupa)			Russia	11	79
Germania	-	0,2	Tailandia	0,3	0,3
Giappone	414	535	Turchia	20,4	20,4
Guatemala	-	33	U.S.A.	2817	2564
Indonesia	310	797	TOTALE	6833,9	8933,6
Islanda	50	202			

In Italia sono attualmente operative 32 centrali geotermiche, che producono elettricità sfruttando il vapore naturale, per un totale di 790,5 MWe (2005). La produzione è stata nel 2003 di 5340,4 GWh/a. Tutti gli impianti si trovano in Toscana nelle aree di Larderello (20 centrali, 542,5 MWe), Travale - Radicondoli (6 centrali, 160 MWe) e Monte Amiata (6 centrali, 88 MWe) (Figura 8).



Figura 8. La centrale geotermica da 120 MWe, Valle Secolo, nell'area di Larderello.

I paesi che sfruttano le risorse geotermiche per usi non-elettrici (o usi diretti del calore geotermico) sono oggi oltre 70. La potenza installata nel mondo in questo tipo di impianti ammonta (2004) a 27.825 MWt e l'energia utilizzata a 261.418 TJ/a. Le distribuzioni percentuali nel

mondo delle varie forme di utilizzazione, espresse come potenza installata ed energia utilizzata, sono rappresentate nella Figura 9.

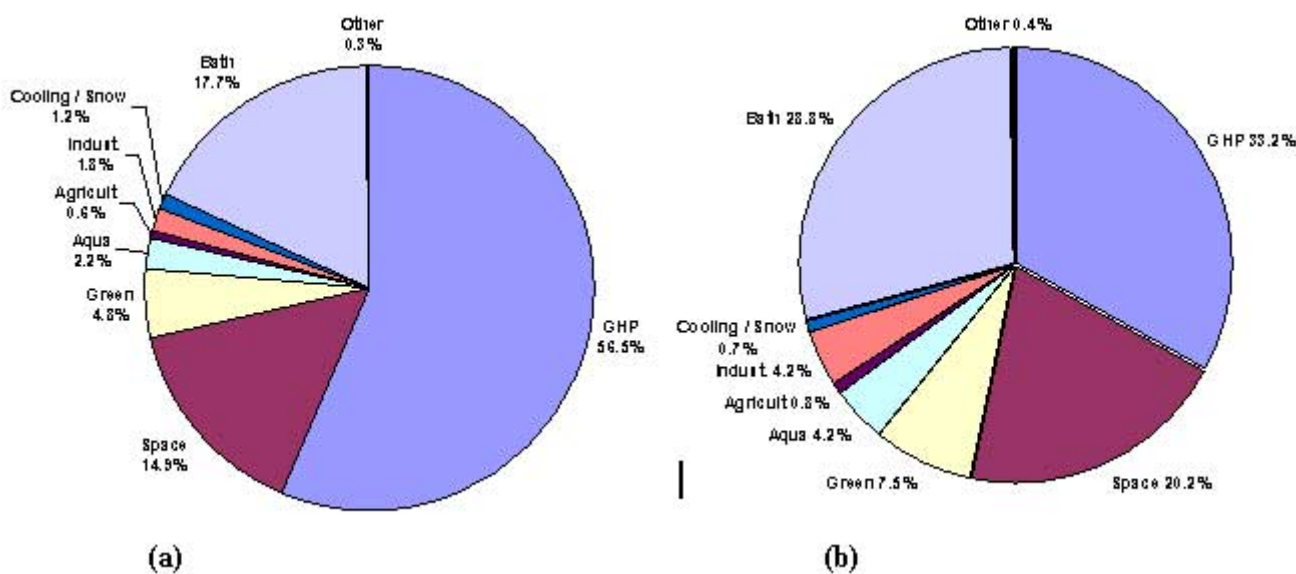


Figura 9. Distribuzione percentuale nel mondo delle utilizzazioni non-elettriche nel 2005: (a) potenza installata e (b) energia utilizzata. GHP = pompe di calore connesse al suolo; Space = riscaldamento; Green = serre; Aqua = acquacoltura; Agricult = usi agricoli; Indust = usi industriali; Cooling/Snow = refrigerazione, decongelamento; Bath = balneologia.

In Italia, sistemi di utilizzazione non-elettrica dell'energia geotermica sono diffusi in diverse regioni, tra cui Emilia-Romagna, Lazio, Toscana e Veneto. La potenza totale installata ammonta a 606,51 MWt (2004) e l'energia utilizzata a 7554 TJ/a, valori che sono, peraltro, piuttosto *bassi, se si considera l'elevata potenzialità geotermica del paese*, che è uno dei più ricchi di risorse geotermiche nel mondo. Il calore geotermico è sfruttato nel riscaldamento di quartieri cittadini e di singole abitazioni (132 MWt), nel riscaldamento di serre (94 MWt), in acquacoltura (92 MWt), in processi termici industriali (10 MWt), per il funzionamento di pompe di calore (120 MWt) ed in balneologia (159 MWt).

Le forme di utilizzazione

L'energia geotermica, tra le varie energie rinnovabili, è certamente quella più versatile. La produzione di elettricità è la forma di utilizzazione principale e più importante delle risorse geotermiche ad alta temperatura ($>150^{\circ}\text{C}$). Le risorse a temperatura medio-bassa ($<150^{\circ}\text{C}$) sono adatte, oltre che alla generazione di elettricità con impianti a ciclo binario, ad una molteplicità di usi diretti del calore, che vanno dal riscaldamento di ambienti, alla refrigerazione, agli usi agricoli, all'acquacoltura, all'impiego nei processi industriali a caldo (Figura 10).

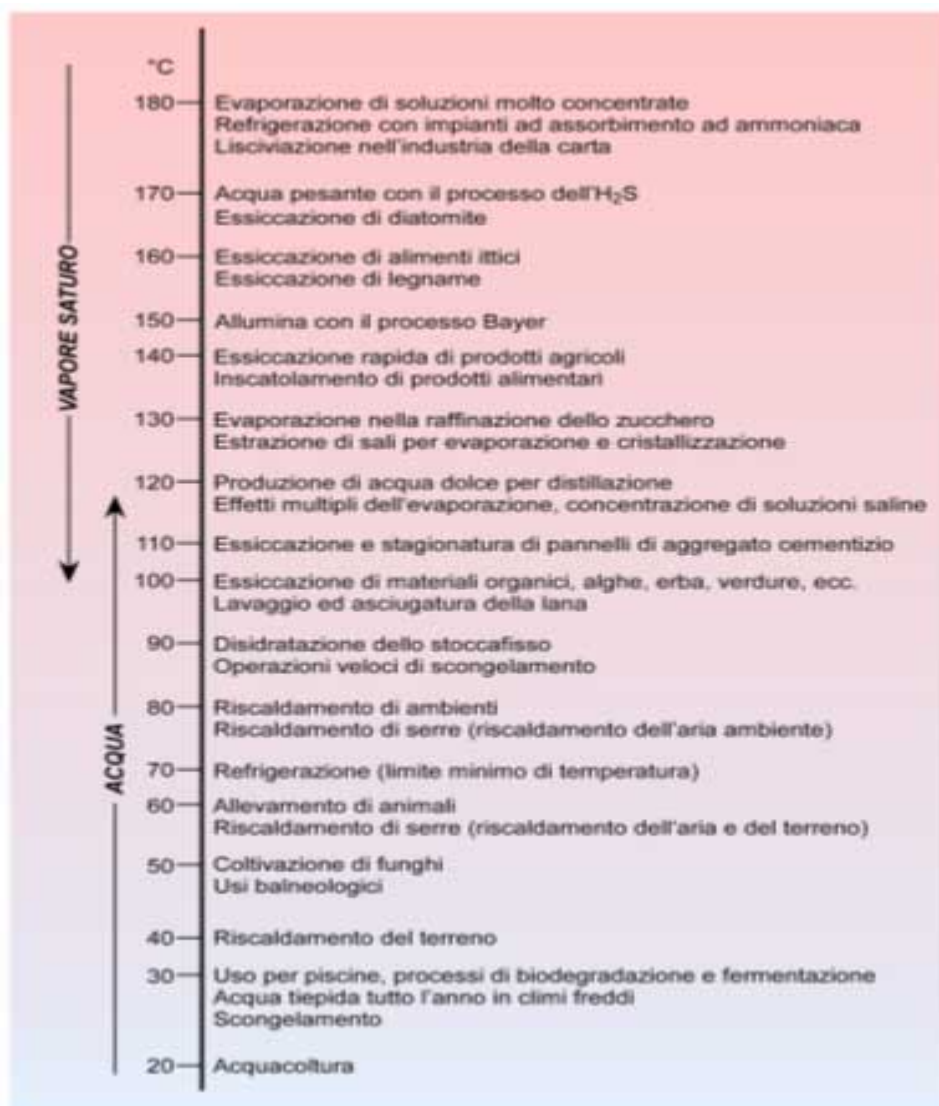


Figura 10. "Diagramma di Lindal", che mostra alcune possibili forme di uso diretto del calore geotermico a diverse temperature.

L'energia elettrica è prodotta in impianti convenzionali o a ciclo binario, secondo le caratteristiche delle risorse geotermiche disponibili. Gli impianti convenzionali richiedono fluidi geotermici con una temperatura di almeno 150°C e sono disponibili nel tipo a **contropressione** (con scarico diretto nell'atmosfera) e a condensazione. Gli impianti a contropressione sono i più semplici e meno costosi. Il vapore, proveniente direttamente dai pozzi (o da un separatore, se i pozzi producono una miscela di acqua e vapore) passa attraverso la turbina, espandendosi, ed è poi scaricato

nell'atmosfera (Figura 11). Con questo tipo di impianto il consumo di vapore è 15-25 kilogrammi per kilowattora prodotto: alla stessa pressione di ingresso in turbina è circa il doppio di quello di un impianto a condensazione. Gli impianti a contropressione sono generalmente di piccole dimensioni (2,5-5 MWe).

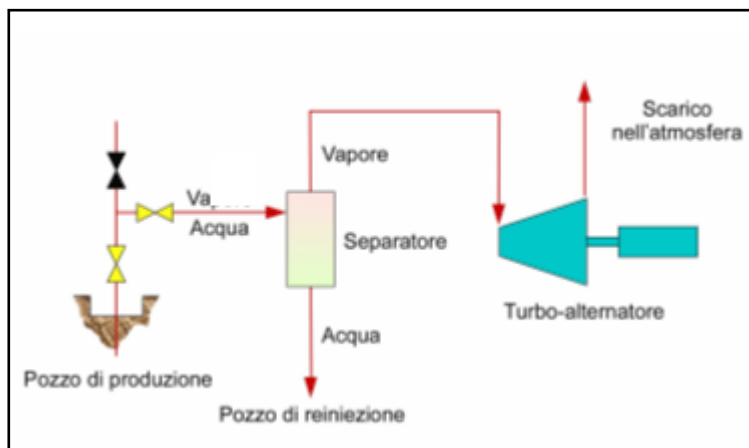


Figura 11. Rappresentazione schematica di un **impianto a contropressione** per generazione di elettricità. In rosso il circuito del fluido geotermico. L'eventuale parte liquida presente nel fluido geotermico, separata dal vapore nel separatore al centro, è reiniettata nel serbatoio.

Le unità a **condensazione** (Figura 12) sono più complesse di quelle a contropressione e richiedono più impiantistica ausiliaria (*condensatori, torri di raffreddamento*). Il consumo specifico delle unità a condensazione è, tuttavia, circa la metà di quelle a contropressione (6-10 kilogrammi di vapore per kilowattora prodotto). Attualmente sono molto diffusi impianti a condensazione della potenza di 55-60 MWe, ma recentemente sono state costruite ed installate anche unità da 110 MWe.

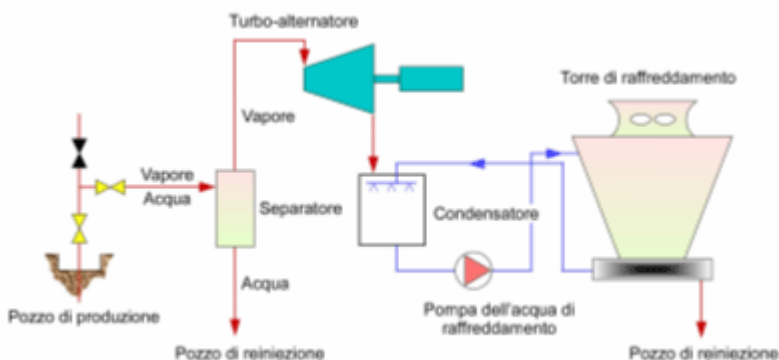


Figura 12. Rappresentazione schematica di un **impianto a condensazione** per generazione di elettricità. In rosso il circuito del fluido geotermico, in blu il circuito di raffreddamento. I fluidi geotermici sfruttati sono reiniettati nel serbatoio attraverso il pozzo di reiniezione a destra.

Le centrali a condensazione, per la loro complessità, hanno un costo specifico (costo per kilowattora installato), notevolmente superiore a quello delle centrali a contropressione. Se però si considera che queste ultime consumano circa il doppio di vapore e quindi richiedono, per essere alimentate, anche un numero doppio di pozzi, che sono molto costosi, il bilancio economico finale è favorevole alle centrali a condensazione. Gli impianti a contropressione, tuttavia, sono utili come impianti pilota e sono impiegati quando il vapore ha un contenuto elevato di gas incondensabili (>15% in peso), che non consente l'uso di impianti a condensazione.

La tecnologia dei cicli binari ha reso possibile produrre elettricità sfruttando fluidi geotermici a temperatura medio-bassa ed acque calde di scarico emesse dai separatori nei campi geotermici ad acqua dominante. *Gli impianti binari utilizzano un fluido secondario di lavoro, di solito un fluido organico, come n-pentano, che ha un basso punto di ebollizione ed un'elevata pressione di vapore a bassa temperatura rispetto al vapore acqueo.* Il fluido secondario lavora in un ciclo Rankine convenzionale (Figura 13). Scegliendo opportunamente il fluido secondario, è possibile costruire impianti binari, che sfruttano fluidi geotermici con temperature comprese tra 90° e 170°C. Il limite

superiore è imposto dalla stabilità termica dei fluidi organici di lavoro, il limite inferiore da fattori tecnico-economici. Gli impianti binari operano in circuiti chiusi: né i fluidi di lavoro, né i fluidi geotermici vengono a contatto con l'esterno. Gli impianti binari sono di solito costruiti in unità modulari di potenza compresa tra poche centinaia di kilowatt ed alcuni megawatt. Queste unità possono essere collegate l'una con l'altra in modo da formare impianti della potenza di qualche diecina di megawatt.

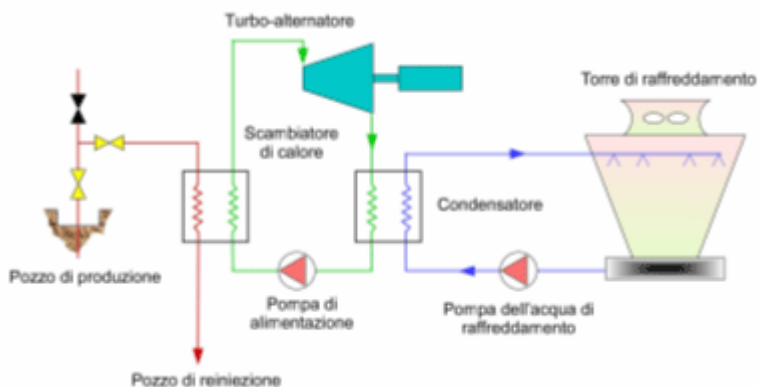


Figura 13. Rappresentazione schematica di un **impianto a ciclo binario** per generazione di elettricità. In rosso il circuito del fluido geotermico, in verde il circuito del fluido secondario, in blu il circuito di raffreddamento.

Negli anni '90 è stato sviluppato un nuovo sistema binario, il ciclo Kalina, che utilizza, come fluido di lavoro, una miscela di acqua e ammoniaca. Gli impianti a ciclo Kalina sembrano avere un rendimento superiore a quello degli impianti binari a fluido organico, ma, rispetto a questi, hanno una maggiore complessità costruttiva e di funzionamento.

Utilizzare l'energia geotermica per produrre elettricità è un modo efficace di ridurre l'immissione nell'atmosfera di biossido di carbonio (CO_2), rispetto allo sfruttamento dei combustibili fossili. Gli impianti binari funzionano su circuiti chiusi (serbatoio/impianto), in cui i fluidi geotermici non hanno contatti con l'ambiente, e l'emissione di gas è praticamente nulla. Per quanto riguarda gli impianti convenzionali, è stato valutato che l'emissione di CO_2 , espressa in grammi di CO_2 per kilowattora di elettricità prodotto, sia quella riportata nella Tabella 2.

Tabella 2. Emissione di CO_2 da centrali elettriche a diversa alimentazione, espressa in grammi di CO_2 per kilowattora prodotto.

	g CO_2 / kWh	
Geotermia	13 – 380	
Carbone		1042
Olio combustibile		906
Metano		453

A seguito del Protocollo di Kyoto sull'emissione di gas-serra, le centrali elettriche, che riducono od eliminano la dispersione di CO_2 nell'atmosfera, ricevono speciali "carbon credits" o crediti di emissione. I crediti possono essere venduti e per essi esiste un mercato. In questo modo, nei paesi aderenti al Protocollo di Kyoto, gli operatori delle centrali che producono eccessiva CO_2 possono acquistare crediti dalle centrali con poca o nulla CO_2 e continuare la produzione senza incorrere in sanzioni. Il costo dei "carbon credits", a metà 2004, era di circa 5 dollari USA per tonnellata di CO_2 . *Le centrali geotermiche hanno una emissione ridotta di CO_2 e, di conseguenza, producono crediti. Per fare un esempio, basato su dati medi, se una centrale a carbone rilascia 915 grammi di CO_2 per kWh prodotto ed una centrale geotermica rilascia 112 g/kWh, il "risparmio" di CO_2 è 803 g di*

CO_2 ; questo risparmio si traduce in altrettanti crediti, che possono essere ceduti alla centrale di carbone.

Gli usi diretti del calore geotermico sono molto aumentati negli ultimi dieci anni (1995 - 2005). La potenza installata nel mondo è passata da 8664 MWt a 27.825 MWt (aumento del 221%) e l'energia utilizzata da 112.441 TJ/a a 261.418 TJ/a (aumento del 132%). La Figura 14 mostra le variazioni nel decennio dell'energia utilizzata nelle diverse forme di impiego.

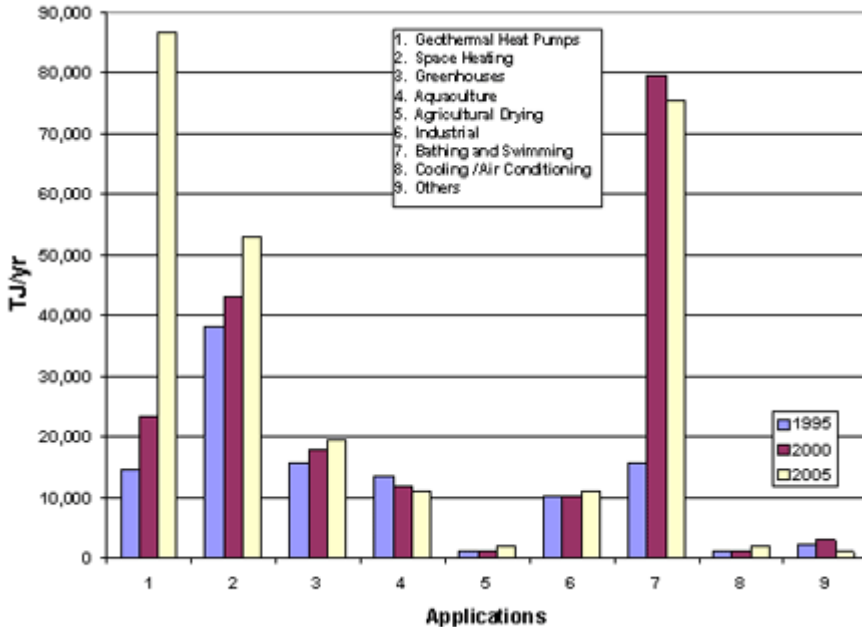
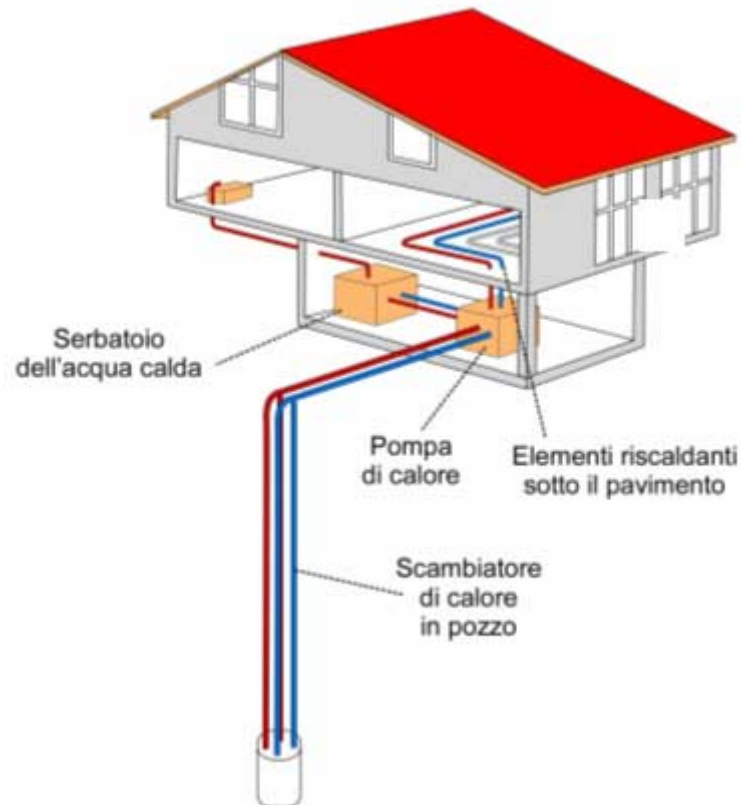


Figura 14. Usi diretti del calore geotermico nel mondo: energia utilizzata nel periodo 1995 - 2005 in TJ/a.

Le pompe di calore sono la forma di uso diretto del calore geotermico con la maggiore utilizzazione di energia e la maggior potenza installata (Figura 9). Attualmente vi sono pompe

di calore installate in 32 paesi (la maggior parte in America settentrionale ed Europa) con circa 1,3 milioni di unità (equivalenti) da 12-kWt. I diversi sistemi di pompe di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, ecc. (Figura 15).

Figura 15. Sistema di riscaldamento domestico con pompa di calore con scambiatore di calore inserito nel terreno. Lo scambiatore di calore può avere configurazioni diverse ed essere disposto orizzontalmente o avere forma a spirale.



Le pompe di calore sono macchine che spostano il calore da uno spazio o corpo più freddo verso uno più caldo, cioè, in direzione opposta a quella in cui tenderebbe a dirigersi naturalmente. Un comune condizionatore è, in realtà, una pompa di calore. Tutti gli apparecchi refrigeranti (condizionatori d'aria, frigoriferi, freezers, ecc.) estraggono calore da uno spazio (per mantenerlo freddo) e lo

scaricano in un altro spazio più caldo. L'unica differenza tra una pompa di calore geotermica e un'unità refrigerante sta nell'effetto desiderato, il raffreddamento per l'unità refrigerante, ed il riscaldamento per la pompa di calore. Molte pompe di calore sono, peraltro, reversibili ed il loro funzionamento può essere invertito, potendo operare alternativamente come unità riscaldanti o raffreddanti. Le pompe di calore richiedono energia elettrica per funzionare, ma, in condizioni climatiche adatte e con un buon progetto, il bilancio energetico è positivo (Figura 16). In Italia, le pompe di calore hanno ancora un'applicazione piuttosto limitata, ma il loro uso si sta espandendo. Attualmente sono installate circa 6000 unità ed il loro numero cresce al ritmo di almeno 500 unità/anno.

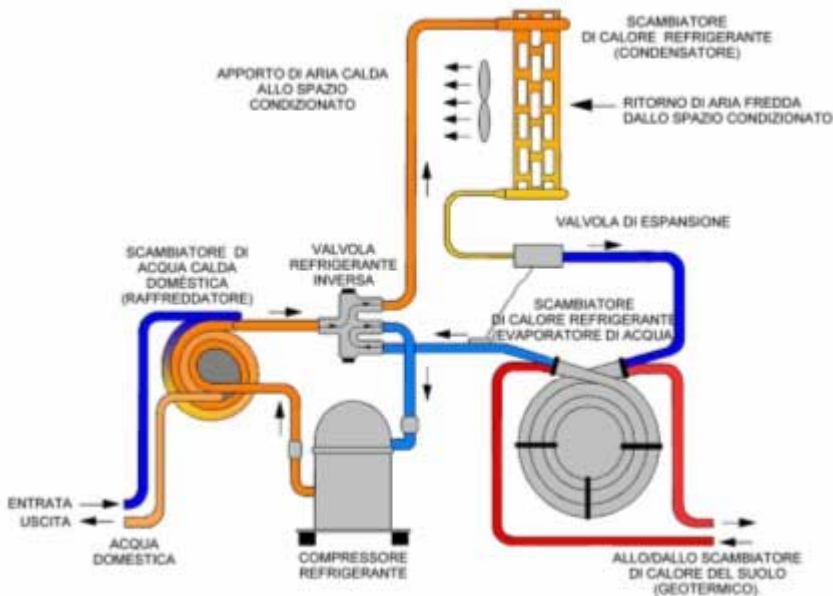


Figura 16. Schema di pompa di calore geotermica. In questa configurazione la pompa di calore fornisce aria calda ed acqua calda sanitaria.

Le risorse geotermiche sono sfruttate per il riscaldamento di ambienti in 33 paesi, con un'energia utilizzata (2004) pari a 52.868 TJ/a. Islanda, Turchia, Cina e Francia sono i paesi con le maggiori installazioni, soprattutto nel settore del riscaldamento di quartieri

urbani, mentre il riscaldamento di abitazioni singole è più diffuso in Australia, Russia, Giappone e Stati Uniti. I sistemi di riscaldamento sono quelli convenzionali (radiatori, pannelli radianti, ecc.). I fluidi caldi geotermici sono usati direttamente, se non contengono sostanze corrosive o incrostanti, oppure riscaldano un fluido secondario attraverso scambiatori di calore (Figura 17). Il riscaldamento geotermico di quartieri residenziali richiede un investimento di capitali ingente. I costi maggiori sono quelli iniziali dei pozzi di produzione e di reiniezione, i costi degli impianti ausiliari, della rete di distribuzione e degli impianti integrativi per i periodi di maggior freddo. In confronto ai sistemi convenzionali, che bruciano combustibili, i costi operativi sono, al contrario, considerevolmente più bassi. I sistemi di riscaldamento alimentati dall'energia geotermica hanno emissioni di biossido di carbonio praticamente nulle. In Italia, il sistema di riscaldamento urbano di Ferrara, alimentato da un acquifero a 100°C tra 1100 e 2000 m di profondità, fornisce calore ad un volume di 2,5 milioni di m³ in edifici privati e pubblici. Altri sistemi di riscaldamento si trovano nell'area geotermica toscana (Castelnuovo V.C., Larderello, Monterotondo Marittimo, Pomarance) e a Bagno di Romagna. Il riscaldamento di singoli edifici, soprattutto alberghi, è diffuso nell'area dei Colli Euganei (Abano Terme, Battaglia Terme, Galzignano, Montegrotto) e nell'Isola d'Ischia

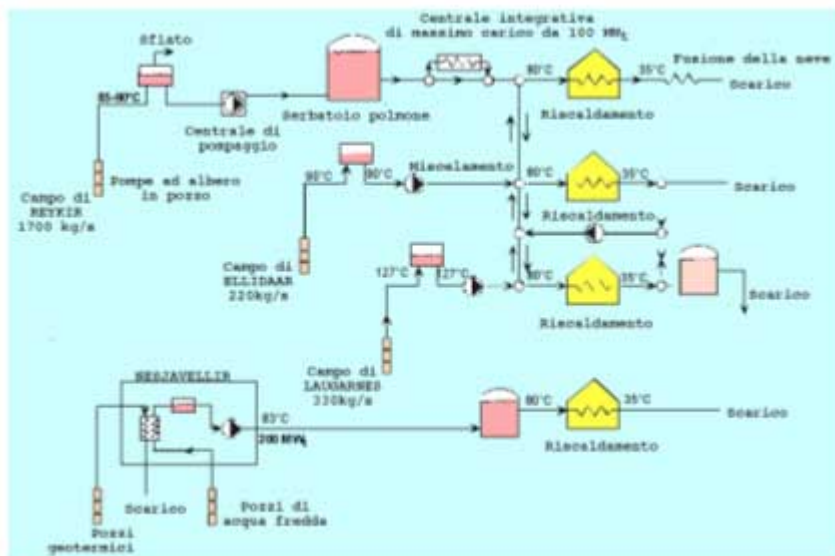


Figura 17. Schema del sistema di riscaldamento urbano di Reykjavik (Islanda). I fluidi geotermici prodotti dai campi di Reykir, Ellidaar e Laugarnes non sono corrosivi o incrostanti e quindi entrano direttamente nella rete di distribuzione domestica. Nel campo di Nesjavellir è invece necessario interporre uno scambiatore di calore tra l'acqua calda geotermica e l'acqua dolce della rete domestica.

Il raffreddamento / refrigerazione di ambienti è realizzabile quando impianti ad assorbimento possono essere adattati al funzionamento con i fluidi geotermici disponibili. Questi apparecchi dispongono di una tecnologia ben collaudata e sono reperibili sul mercato senza difficoltà. Essi funzionano seguendo un ciclo che sfrutta il calore invece dell'elettricità come sorgente di energia. Questa forma di impiego dell'energia geotermica non è molto diffusa.

L'utilizzazione delle risorse geotermiche per usi agricoli comprende il controllo della temperatura di crescita delle piante (coltivazioni a cielo aperto e riscaldamento di serre), il trattamento (disidratazione, essiccamento) di prodotti agricoli e l'allevamento di animali da fattoria.

Nelle coltivazioni a cielo aperto l'acqua geotermica può essere usata, in assenza di elementi chimici dannosi per le piante, per irrigare e/o riscaldare il terreno mediante circolazione di acqua calda in condutture interrato. Nelle coltivazioni a cielo aperto, il controllo della temperatura può consentire di prevenire i danni derivanti dalle basse temperature ambientali, di estendere la stagione di coltivazione, di aumentare la crescita delle piante incrementando la produzione e di sterilizzare il terreno. L'utilizzazione più comune dell'energia geotermica in agricoltura è, comunque, il riscaldamento di serre (Figura 18).



Figure 18. Serra riscaldata da acque geotermiche nel Nuovo Messico, USA.

La coltivazione di ortaggi e fiori fuori stagione o in climi diversi da quelli originari può essere realizzata con una vasta gamma di tecnologie. Sono disponibili molte soluzioni per avere ottime condizioni di crescita, basate sulla miglior temperatura di sviluppo di ciascuna pianta, sulla quantità di luce, sulla concentrazione di CO₂ nell'ambiente della serra, sull'umidità del terreno e dell'aria, e sul movimento dell'aria. L'uso dell'energia geotermica per il riscaldamento

può ridurre significativamente i costi operativi che, in alcuni casi, rappresentano il 35% del costo dei prodotti (verdure, fiori, piante da appartamento, piantine da sviluppo). Attualmente (2004), vi sono serre geotermiche in 30 paesi, con una potenza installata di 1348 MWt ed un'energia utilizzata pari a 19.607 TJ/a. La superficie coperta è stimata in 10.000.000 di m². ***L'Italia è uno dei paesi in cui la coltivazione di vegetali in serre geotermiche è più sviluppata.*** La serra di Piancastagnaio, nei pressi del Monte Amiata, che sfrutta i fluidi a 100°C scaricati dal vicino impianto geotermoelettrico, e la serra di Pantani, presso Civitavecchia, con superfici coperte rispettivamente di 23 e 18 ettari, sono tra le più grandi del mondo. Le serre geotermiche sono numerose in tutta l'area geotermica toscana e nella zona dei Colli Euganei (Baone e Galzignano). Un impianto si trova anche a Rodigo (Vicenza).

L'utilizzazione del calore geotermico per la disidratazione di prodotti agricoli è nota in quindici paesi, con una potenza installata di 157 MWt ed un uso di energia di 2013 TJ/a. Sono trattati cereali, ortaggi, frutta, alghe. Alcuni animali da fattoria e le specie acquatiche, come i vegetali, possono migliorare in qualità e quantità se sono cresciuti in ambienti a temperatura controllata (Figura 19). In molti casi le acque geotermiche possono essere sfruttate convenientemente combinando l'allevamento di animali con il riscaldamento di serre. L'allevamento a temperatura controllata migliora le condizioni sanitarie degli animali; inoltre, i fluidi caldi possono essere utilizzati per pulire, sterilizzare e deumidificare gli ambienti e per trattare i rifiuti.

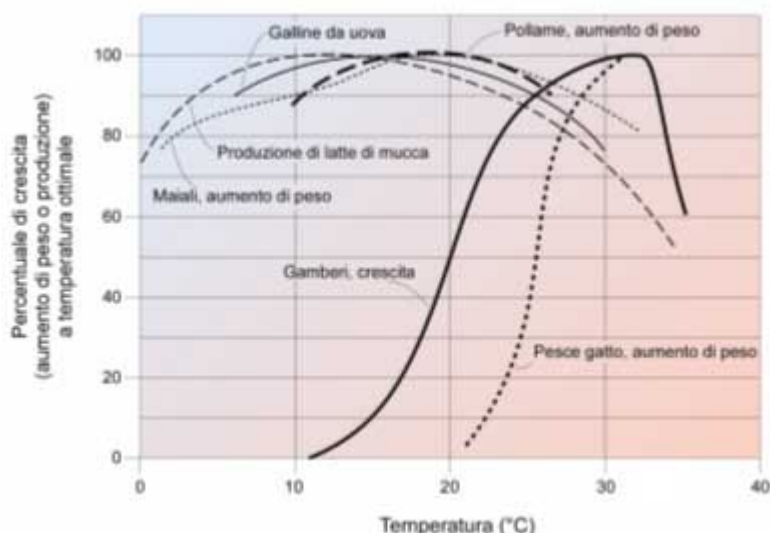


Figura 19. Effetti delle variazioni di temperatura sullo sviluppo o produzione di alcune specie di animali da allevamento.

L'acquacoltura, vale a dire l'allevamento controllato di forme di vita acquatiche, si è diffuso a livello mondiale, a seguito dell'ampliamento del mercato ittico. Per le specie acquatiche, il controllo della temperatura di crescita è molto più importante che per le specie terrestri (Figura 19): mantenendo artificialmente

una temperatura ottimale, si può aumentare la produzione del pesce e, in qualche caso, raddoppiare il ciclo riproduttivo. Gli allevamenti più diffusi nel mondo sono quelli di tilapie, salmoni e trote, ma sono allevati anche pesci tropicali, aragoste, gamberi, molluschi ed anche alligatori (negli Stati Uniti). L'acquacoltura geotermica è praticata in 17 paesi (2004) con una potenza installata di 616 MWt ed un uso di energia di 10.969 TJ/a. E' stato stimato che dall'acquacoltura geotermica derivino annualmente 45.000 tonnellate di prodotti ittici. In Italia sono allevati soprattutto branzini, pagelli, anguille e muggini. Gli impianti per acquacoltura più importanti si trovano in Toscana, nei pressi di Orbetello. Altri allevamenti sono in Puglia, a Brindisi, Torre Canne e Sannicandro, ed in provincia di
Vicenza, a Rodigo.

I fluidi geotermici, in una vasta gamma di temperatura, sono attualmente (2004) sfruttati in processi industriali in 19 paesi. Le forme di utilizzazione sono molto diversificate e comprendono la pastorizzazione del latte, il recupero di sostanze chimiche e di CO₂, l'essiccamento della diatomite, il trattamento della cellulosa e della carta, la produzione di borati ed acido bórico e molte altre. La potenza totale installata ammonta a 489 MWt e l'energia utilizzata a 11.068 TJ/a. In Italia, il calore geotermico è sfruttato in processi industriali a caldo, a Larderello, per il trattamento di minerali borici. E' anche operativa una piccola industria casearia a Monterotondo Marittimo, sempre nell'area geotermica toscana. Nei paesi freddi è anche abbastanza diffuso l'impiego dei fluidi

geotermici per sciogliere neve e ghiaccio su strade e marciapiedi (Figura 20).



Figura 20. Marciapiede liberato dalla neve con un sistema di riscaldamento geotermico a Klamath Falls in Oregon (USA). L'acqua calda circola in tubi posti sotto la pavimentazione.

La forma di utilizzazione più diffusa delle acque calde geotermiche è senza dubbio la balneologia. In moltissimi paesi esistono stabilimenti termali o piscine riscaldate dalle acque geotermiche. In Italia, gli stabilimenti termali sono numerosissimi e non è possibile elencarli. Alcuni sono, peraltro, notissimi, come Abano Terme, Ischia, Montecatini Terme, Saturnia, ecc. (Figura 21).

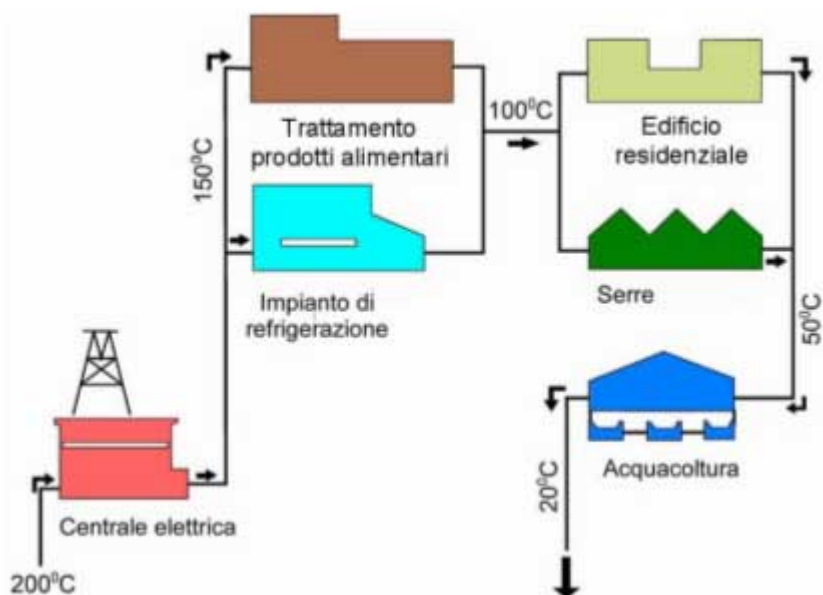


Figura 21. Bagno Vignoni in Provincia di Siena: la vasca termale, al centro della piazza del paese, è alimentata da acqua a 52°C

Le diverse forme di utilizzazione richiedono temperature differenti dei fluidi geotermici e questo può consentire la realizzazione di sistemi a cascata, che aumentano il fattore di utilizzo delle risorse. In questi sistemi, dove diversi

impianti sono collegati in serie, ciascun impianto sfrutta il calore residuo nell'acqua scaricata dall'impianto precedente (Figura 22). In Italia, un sistema a cascata è stato realizzato a Rodigo. Questo sistema utilizza inizialmente l'acqua a 59°C erogata da un pozzo per riscaldare un impianto serra. Successivamente, l'acqua scaricata dalle serre a 38°C alimenta un impianto per acquacoltura.

Figura 22. Schema di sistema a cascata. Il fluido geotermico, inizialmente a 200°C, è reiniettato nel sottosuolo a 20°C dopo essere stato sfruttato in impianti a temperatura decrescente.



L'esempio dell'Islanda

Un esempio di quello che si può fare sfruttando le risorse geotermiche è dato dall'Islanda. Questo piccolo paese (102.819 km², 289.000 abitanti) si trova in corrispondenza della dorsale medio-atlantica, tra la placca eurasiatica e quella nord-americana. E' una delle aree tettonicamente più attive del mondo, ricca di vulcani (più di 200, di cui almeno 30 sono entrati in eruzione in tempi storici) e di sorgenti calde (più di 600 con temperatura >20°C). Le risorse geotermiche, localizzate soprattutto nelle aree di vulcanismo attivo o ai loro margini, sono usate per generare elettricità e per usi diretti del calore. Gli impianti per produzione di elettricità

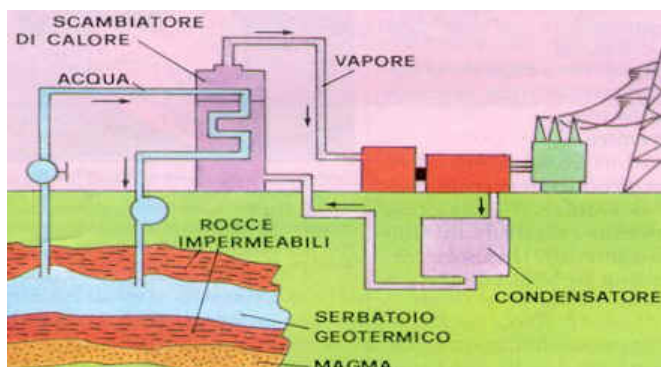
sono attualmente operativi a Svartsengi, Krafla e Nesjavellir per un totale di 202 MWe installati. Altri 30 MWe sono in costruzione a Nesjavellir e circa 180 tra Husavik e Reykjanes. La più importante forma di utilizzazione non-elettrica delle risorse geotermiche è il riscaldamento di ambienti. In Islanda l'87% delle case sono riscaldate con fluidi geotermici e si prevede che in futuro sarà raggiunto il 92%. Il riscaldamento di piscine pubbliche è un altro importante uso del calore geotermico. Nel paese ci sono circa 130 impianti di questo tipo. L'acqua a 35°C scaricata dagli impianti di riscaldamento delle case è usata per sciogliere il ghiaccio e la neve sui marciapiedi e le aree di parcheggio. Le superfici riscaldate in questo modo sono circa 740.000 m². L'uso industriale di maggior rilievo è la disidratazione della diatomite estratta dal Lago Myvatn, di cui sono esportate 28.000 tonnellate all'anno. Un impianto produce sale sia per l'industria locale del pesce, che per l'esportazione. Una piccola industria produce annualmente 2000 tonnellate di CO₂ liquida, ricavandola dai fluidi geotermici che contengono l'1,4% in peso di questo gas. Circa 17 piccole compagnie usano l'energia geotermica per essiccare vari tipi di pesce, con una produzione di 15.000 tonnellate all'anno destinate all'esportazione. Verdure e fiori esotici o fuori stagione sono coltivati in 20 ettari di serre geotermiche. L'acquacoltura è praticata in circa 50 piccoli impianti che producono intorno a 4000 tonnellate all'anno di pesce, principalmente salmoni. Concludendo, in Islanda vi sono impianti geotermoelettrici per una potenza installata di 202 MWe ed una produzione di 1.406 GWh/a ed impianti per usi diretti del calore per una potenza installata di 1791 MWt

LE CENTRALI GEOTERMEOLETTRICHE

Generalmente nelle attuali centrali geotermoelettriche si sfrutta la pressione esercitata dal vapore contenuto negli acquiferi geotermici per muovere una turbina Rankine accoppiata ad un generatore.

L'enorme pressione dei geysir spinge i vapori fino a un'altezza che varia dai 20 ai 70 metri. L'energia di questo fenomeno naturale è enorme, se incanalata può alimentare direttamente una turbina a vapore e produrre una quantità notevole di energia. Di questo tipo sono le centrali di Larderello in Toscana, in Islanda questa tecnologia è molto sfruttata, la centrale più grande è "The Geysers", che si trova circa 140 km a Nord di San Francisco in California (Usa) con una potenza totale di 750 MW

Per un miglior sfruttamento di questa tecnologia e un minor impatto ambientale è preferibile il sistema che preveda la reiniezione dei liquidi nell'acquifero una volta sfruttato il loro potere calorifico, (ciclo binario)



Schema di un impianto geotermico a ciclo binario: sono sufficienti acquiferi con temperature dai 120°C per ottenere energia elettrica con questa tecnologia. Essendo un sistema a circuito chiuso è anche il più ecologico in quanto eventuali inquinanti contenuti nel fluido geotermico non vengono dispersi nell'ambiente esterno.

La mappatura geotermica dell'Italia, in blu le aree nelle quali possono esservi acquiferi a vapore dominante, per la produzione di energia

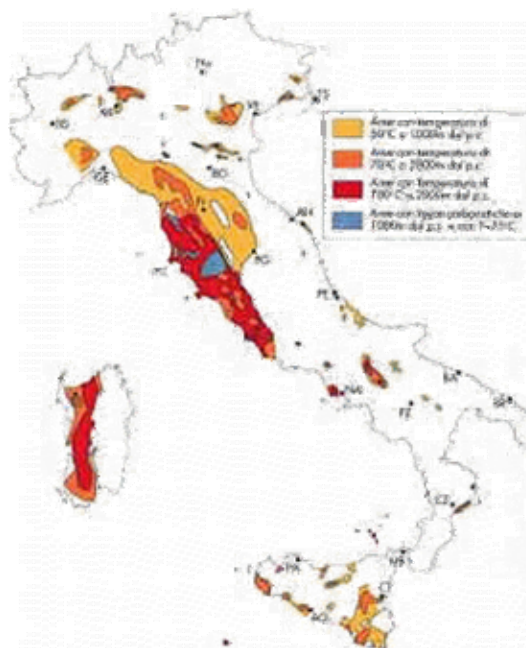
Caratterizzazione del territorio nazionale

geotermica

elettrica gli acquiferi nelle aree gialle dovrebbero essere a profondità superiori ai 3000 metri nelle aree rosse è sufficiente trovare acquiferi a 2000 metri e in quelle blu a 1000 metri, gli acquiferi a 5000 metri di profondità in genere sono abbastanza caldi da poter essere sfruttati per la produzione di energia elettrica e/o termica

Con le attuali tecnologie di perforazione si possono raggiungere profondità di 6000 metri, tali pozzi permetterebbero di ottenere energia elettrica ad un costo inferiore a 0,05 €/al kWh.

Secondo un recente studio si calcola che solo con gli acquiferi a vapore dominante presenti in Toscana e Lazio si potrebbero produrre oltre 5 mila miliardi di kWh, una quantità sufficiente per il fabbisogno nazionale di elettricità per 70 anni, lo sfruttamento degli acquiferi ad acqua dominante porterebbe ad una produzione di energia elettrica incalcolabile.



Principali obiettivi e prospettive della ricerca geotermica in Italia

Premessa

I risultati delle ricerche geotermiche condotte sul territorio nazionale negli ultimi anni hanno messo in luce notevoli potenzialità energetiche diffuse e a profondità economicamente accessibili, principalmente per uso diretto del calore.

L'Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche ha realizzato un inventario con la caratterizzazione del territorio nazionale, utilizzando tutti i dati termici strutturali ed idrogeologici raccolti direttamente per ricerche geotermiche e indirettamente per altre ricerche minerarie, specialmente quelle per idrocarburi, resi disponibili da enti pubblici (ENEL-AGIP-CNR) e da compagnie private.

Il territorio nazionale è stato classificato in categorie a vario grado di interesse, a seconda della profondità del potenziale serbatoio e della temperatura in esso prevedibile. Sono state costruite mappe di temperatura alle profondità di 1000, 2000, 3000 m dal piano campagna e la mappa delle aree a maggiore interesse geotermico.

Risorse geotermiche a bassa entalpia

La diffusione dell'uso delle risorse geotermiche a bassa temperatura (che si può realizzare a ciclo chiuso con pozzi di estrazione accoppiati a quelli di reiniezione) è ancora ostacolata da problemi di

economicità. Valutando però l'economia ottenibile in termini ambientali e di salute umana, grazie alla riduzione dell'emissione in atmosfera delle sostanze inquinanti derivanti dall'utilizzo di combustibili fossili, la geotermia sin da ora sarebbe una delle fonti energetiche più convenienti. Tutto questo assume particolare interesse se consideriamo gli impegni presi a livello di UE per l'abbattimento del 10% sulle emissioni di CO₂ in atmosfera.

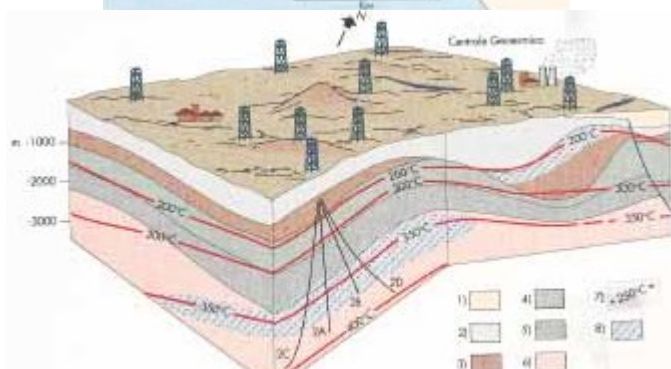
In questo ambito acquista particolare rilevanza il progetto sviluppato dell'IIRG in stretta collaborazione con l'ENEL, che curerà la realizzazione delle perforazioni e dell'impiantistica, per il condizionamento da fonte geotermica dell'Area della Ricerca del CNR di Pisa.

La costruzione del complesso è ormai in fase avanzata ed anche il progetto per l'esplorazione con pozzi del sottosuolo è prossimo alla sua fase esecutiva. Si prevede la perforazione di due pozzi profondi circa 1200 metri, uno per la produzione di un orizzonte profondo di calcari fratturati che dovrebbero costituire il serbatoio di acqua con temperatura attorno ai 65-70 °C, l'altro per la reiniezione del fluido, nel sottosuolo, nello stesso serbatoio.



Tutto il processo sarà a ciclo chiuso, senza alcuna interferenza con l'ambiente. Con questo impianto, se la ricerca avrà esito positivo, si prevede un risparmio energetico superiore alle 1250 tep/anno, con una notevole riduzione delle sostanze inquinanti immesse nell'atmosfera (2900 t/anno solo per quanto riguarda il CO₂) in ambiente urbano.

Un progetto di tal genere è facilmente esportabile in molte altre situazioni analoghe in Italia, dove le aree con acque calde a profondità economicamente raggiungibili sono numerose. L'utilizzo di questa fonte energetica, se sufficientemente diffuso sul territorio, può rappresentare una risorsa non marginale per la riduzione delle emissioni in atmosfera anche in corrispondenza dei centri urbani.



In alto: andamento della temperatura in °C nel sottosuolo della Toscana tra Pisa e Grosseto, a 3 km di profondità dal piano campagna. In basso: modello geologico e distribuzione delle temperature nell'area di Colla-Monteverdi (zona geotermica di Lardarello, in Toscana)

Uno degli obiettivi prioritari delle ricerche condotte dall'IIRG è quello della conoscenza delle strutture profonde delle aree geotermiche (profondità superiori a 4 km) della Toscana.

Scopo di queste ricerche è la ricostruzione del modello strutturale, termico e dell'evoluzione temporale dei fluidi, per risalire alla natura di quelli eventualmente presenti in orizzonti più profondi di quelli finora raggiunti e per valutare la possibilità di estrarli ed utilizzarli a scopi energetici con tecnologie innovative.

Per tutto questo è essenziale la programmazione e la realizzazione di un sondaggio scientifico esplorativo

profondo (5-6 km).

L'Italia, sino ad ora, non si è impegnata in maniera esaustiva in questo settore della ricerca innovativa, che invece presenta notevole interesse sia scientifico sia industriale, come dimostrano le esperienze eseguite in Paesi a tecnologia avanzata come Stati Uniti (Progetto "Hot Dry Rocks"), Giappone (Sondaggio Scientifico Profondo), Germania (Sondaggio Scientifico Profondo), Germania-Francia-Gran Bretagna (Progetti H.D.R.).

L'esperienza italiana pregressa, sia operativa sia di ricerca di base in campo geotermico, favorisce lo sviluppo di un programma dove si preveda la realizzazione e l'applicazione di tecnologie avanzate per l'estrazione di calore da sistemi rocciosi profondi ad elevata temperatura.

Per la seconda metà del 1998 è previsto l'inizio di un Progetto Strategico, il cui finanziamento è stato già approvato dal Comitato Nazionale per le Scienze Geologiche e Minerarie del CNR, che è propedeutico a diversi programmi di ricerca operativi che potranno svilupparsi nel prossimo quinquennio se il Governo nazionale e l'Unione Europea, come di recente si sono impegnati, daranno il giusto rilievo alla politica di sostegno e promozione delle risorse energetiche (Progetto ALTENER della UE) che consentano l'abbattimento delle emissioni di CO₂ in atmosfera.

Gli studi da eseguire saranno, quindi, volti a valutare le possibilità di un diverso utilizzo della risorsa geotermica profonda, per il recupero di calore presente in enormi quantità nel sottosuolo di parte della Toscana e del Lazio.

Per fare questo è necessario agevolare l'entrata dei fluidi nelle rocce serbatoio e questo si può ottenere mediante operazioni di fratturazione artificiale delle rocce. Spesso è sufficiente, come dimostrano recenti studi effettuati negli Stati Uniti, iniettare acqua fredda nel serbatoio caldissimo dato che lo *shock* termico provoca una miriade di fratture che vengono poi occupate dal vapore.

Sono, comunque, necessari degli studi scientifici accurati prima di attivare una fase di utilizzo industriale di questa eventuale risorsa profonda. A questo scopo è stato approntato un progetto di estrazione di calore dalle rocce ad elevata temperatura, scarsamente permeabili, che in Italia (Larderello) ha la migliore possibilità di realizzazione rispetto a tutte le altre situazioni presenti in Europa e nel mondo; per il momento non sono stati ancora reperiti i fondi per poterlo rendere operativo.

Tra gli esperti di geotermia nel mondo è vivo l'interesse per un sondaggio scientifico profondo a Larderello, tecnicamente possibile, come dimostrato da esperienze già condotte in Italia in pozzi industriali profondi, dove si sono raggiunte temperature di circa 400 °C, e da un recente esperimento giapponese a Kakkonda, dove un sondaggio scientifico ha raggiunto i quattro chilometri di profondità ed ha trovato una temperatura di 500 °C.

Un simile progetto pilota a Larderello avrebbe un impatto scientifico enorme e potrebbe aprire una nuova frontiera nello sfruttamento industriale del calore terrestre.

Infatti, le conoscenze che ne deriverebbero sul comportamento meccanico e la permeabilità delle rocce ad alta temperatura, sulle caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi permeanti e sul comportamento dei materiali di perforazione in ambienti estremi, permetterebbero il futuro sviluppo di progetti di sfruttamento di una risorsa geotermica verosimilmente gigantesca.

Lo sfruttamento potrebbe avvenire mediante il recupero di calore, iniettando acqua in profondità e recuperandola come vapore a temperature (e quindi pressioni) molto elevate. L'energia così prodotta

avrebbe il pregio di essere "pulita" in quanto non sarebbero neppure presenti i gas dei "normali" fluidi geotermici (anidride carbonica e idrogeno solforato) dal momento che il vapore estratto deriverebbe dall'acqua iniettata dalla superficie.

Ricerca di fluidi termali nella pianura di Pisa per il riscaldamento dell'Area della Ricerca del CNR

La sezione geologica mostra che in corrispondenza dell'Area della Ricerca del CNR le formazioni permeabili che rappresentano un possibile serbatoio di fluidi termali sono ad una profondità di circa 800 m, con temperature fra i 60 ed i 70 °C. Schematicamente rappresentati anche i due pozzi profondi deviati che saranno utilizzati rispettivamente per il prelievo delle acque termali e per lo smaltimento in profondità del fluido utilizzato.



Il progetto avrebbe un costo elevato, ma non esorbitante, se confrontato con i costi di studi in altri settori della ricerca energetica (energia nucleare tradizionale, fusione nucleare, struttura della materia). A questo scopo è stato approntato, con la collaborazione dell'ENEL e dell'Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste, un progetto di pozzo scientifico profondo con la valutazione dei costi, che si aggirano intorno ai 20 000 000 di Euro. Il rapporto benefici/costi sarebbe comunque elevato e permetterebbe anche un recupero d'immagine per l'Italia che, dopo aver occupato per anni una posizione preminente nella ricerca geotermica, attualmente non è più all'avanguardia in questo settore.

Le potenzialità di questa risorsa sono rilevanti, se si considera la quantità di calore presente in vaste aree del sottosuolo della Toscana e del Lazio a profondità già accessibili con le tecnologie attuali (da 2 a 5 km). È necessario uno sforzo di investimenti per la ricerca di tecnologie appropriate per la sua utilizzazione, in modo da rendere questa fonte di energia un elemento non marginale per la soluzione delle problematiche ambientali legate alla produzione energetica nazionale.

L'impianto di teleriscaldamento a Ferrara serve 14.000 appartamenti con l'utilizzo di acqua calda a 102 °C rinvenuta a 4 km dalla città in un pozzo a 1.300 m di profondità perforato a suo tempo per la ricerca petrolifera.

Estraendo 250 m³/h di acqua, si risparmiano circa 12.000 TEP/anno; l'acqua viene poi reiniettata in profondità.

Oltre al risparmio di combustibile fossile, sono ben avvertibili i benefici del teleriscaldamento per il minore inquinamento dell'aria, vantaggio notevole in città.

Teleriscaldamento

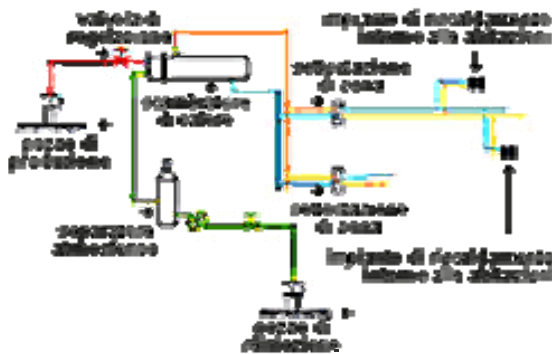
Il teleriscaldamento è uno dei modi più interessanti per usare direttamente i fluidi geotermici a bassa temperatura (80 - 100 °C).



Consiste nell'usare il fluido geotermico per scaldare direttamente, tramite degli scambiatori di calore, l'acqua circolante nei corpi scaldanti (radiatori, termoconvettori o pannelli radianti) dell'impianto di riscaldamento delle abitazioni. I locali necessari per una centrale di teleriscaldamento geotermico sono contenuti nei volumi e possono essere mimetizzati in ambito cittadino, anche perché nel sistema non sono coinvolti combustibili e il fluido utilizzato non ha temperature tali da creare pressioni pericolose.

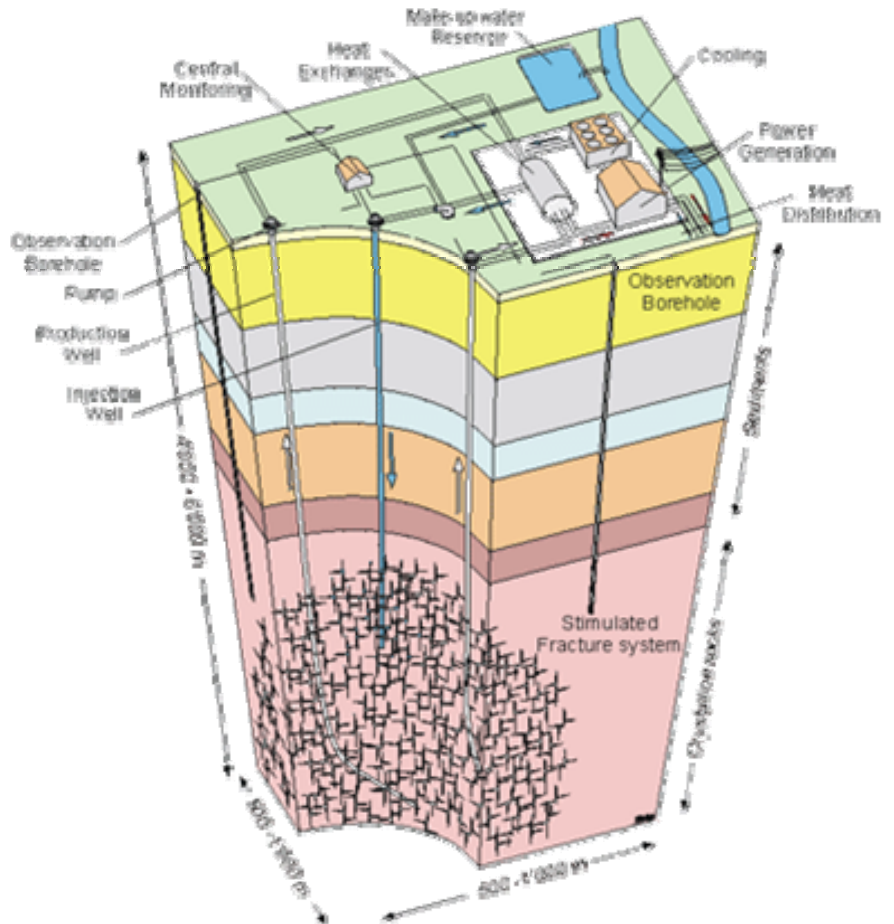
DHM: Una nuova tecnologia che consiste nell'immettere acqua fredda in profondità e recuperarla, sottoforma di vapore, per azionare turbine anche calore da sfruttare con teleriscaldamento, questa tecnologia come HDR (Hot Dry Rock, rocce calde secche)

è nota anche come sistema Mining)

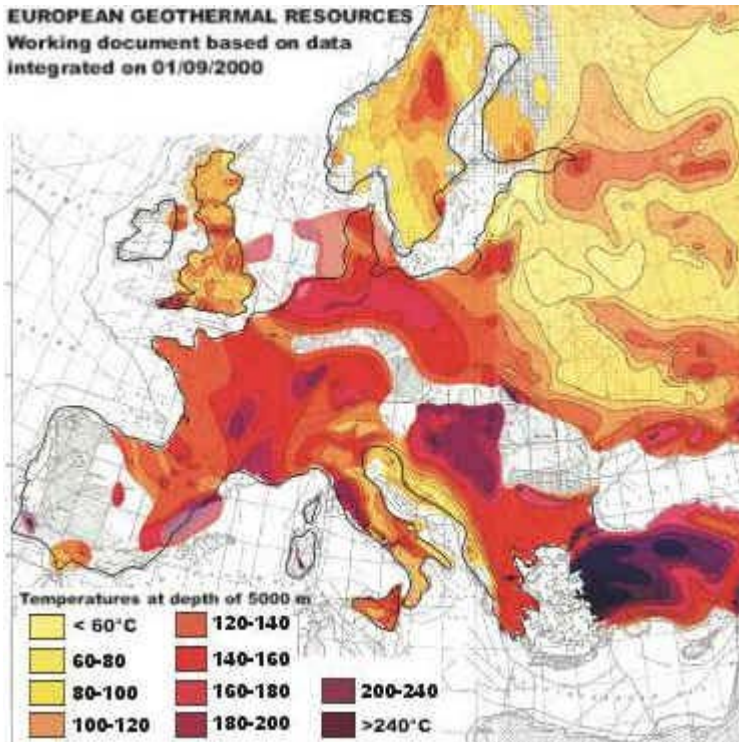


Principio di funzionamento di un geotermico DHM (Deep Heat Mining)

- 1) Pozzo d' iniezione
- 2) serbatoio roccioso
- 3) pozzo di produzione
- 4) pozzo d' osservazione
- 5) pompa di circolazione
- 6) scambiatore di calore
- 7) centrale elettrica
- 8) rete di distribuzione del calore



Il potenziale derivante dalla messa a punto di queste tecnologie sarebbe enorme: impianti installati nelle aree dal rosso al nero sarebbero sufficienti per soddisfare interamente la richiesta di energia elettrica mentre le aree dal giallo al rosso possono essere sfruttate per ottenere l' energia termica per acqua sanitaria e riscaldamento/refrigerazione.



Nelle aree senza colore non sono state effettuate rilevazioni geotermiche.

In Alsazia l' impianto sperimentale di 3 MWe dovrebbe entrare in funzione nel 2006-2007, attualmente dal pozzo di produzione si ricava vapore con una temperatura superiore a 140°C, oltre a 20.000 MWh di energia elettrica si avranno anche 100.000 MWh di energia termica, la Svizzera è a buon punto con un progetto simile a Basilea, la centrale dovrebbe entrare in funzione nel 2008-2009.



Sistemi a sonde per geoscambio termico a pompa di calore

Detti anche GHP (Geothermal Heat Pump, pompe di calore geotermiche) sono sistemi elettrici di riscaldamento e raffreddamento che traggono vantaggio dalla temperatura relativamente costante del suolo durante tutto l'arco dell'anno, possono essere applicati ad una vasta gamma di costruzioni, in qualsiasi luogo del mondo, abitazioni residenziali, villette, edifici commerciali, scuole, piscine, serre e capannoni, hotel e uffici. Le sonde geotermiche sono degli scambiatori di calore interrati verticalmente - si tratta, normalmente, di tubi ad U - nei quali circola un fluido termoconduttore. Su queste installazioni si eseguono prove sul piano



tecnico ed economico. In Svizzera, oggi, si trovano più di 30'000 sonde di questo tipo. I fasci di tubi (serpentine) sono interrati orizzontalmente fino ad una profondità massima di 3 m e sottraggono calore al suolo. Il loro metodo di funzionamento è quasi identico a quello delle sonde geotermiche. Questo metodo è meno utilizzato richiedendo maggior spazio e sviluppo delle sonde. Durante l'inverno l'ambiente viene riscaldato trasferendo energia dal terreno all'abitazione mentre durante l'estate il sistema s'inverte estraendo calore dall'ambiente e trasferendolo al terreno.

Le sonde geotermiche possono essere a circuito chiuso o aperto, con circuito aperto in falde acquifere possono verificarsi contaminazioni biologiche anche pericolose, pertanto sono da sconsigliare.

Geostrutture per la produzione di energia termica

Le fondazioni sotterranee o su pali, equipaggiate di scambiatori termici per la produzione d'energia, sono note come "sistemi di pali energetici". La particolarità è la doppia applicazione, interessante sul piano ecologico ed economico, d'elementi in calcestruzzo a contatto col suolo: utili, da una parte, come fondamenta, permettono, dall'altra, la produzione d'energia sotto forma di caldo e freddo

570 pali energetici sfruttano il sottosuolo situato sotto un grande complesso industriale, come fonte di calore e freddo. Per metro di palo energetico attivo, si producono, in inverno, 35 kWh di calore per il riscaldamento equipaggiato di una pompa di calore, e 40 kWh di freddo in estate per il raffreddamento di macchinari e locali (Fonte: Lippuner & Partner AG, Grabs)



- 1 Pali energetici
- 2 Condotti di connessione ai pali
- 3 Collettori di connessione ai pali
- 4 Condotto principale
- 5 Centrale di produzione del freddo

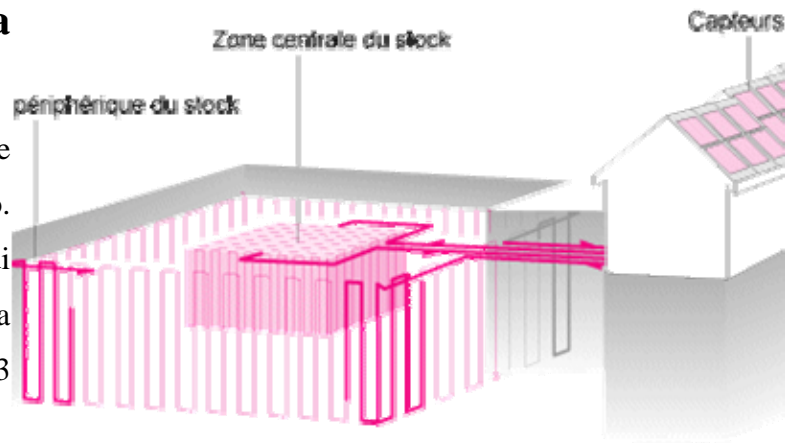
Fonte

geothermal-energy.ch/geostr1_tech
[energy.ch/geostr](http://geothermal-energy.ch/geostr)

geothermal-energy.ch/geostr

Stoccaggio di energia termica con accumulatori a geosonde

In generale, il sottosuolo possiede ottime proprietà di accumulo termico. Il suo calore specifico volumetrico è di $0,42 - 0,78 \text{ kWh/m}^3\text{K}$ e la sua conducibilità termica varia da 1 a 3 W/mK .



I cicli periodici di carico e scarico permettono lo sfruttamento combinato degli stoccaggi sotterranei per il riscaldamento e la climatizzazione.

In inverno, il calore è prelevato dallo stoccaggio sotterraneo ed utilizzato a fini

di riscaldamento, ricorrendo a pompe di calore.

In estate, si sfruttano le temperature relativamente basse dello stoccaggio sotterraneo per la climatizzazione, permettendogli, così di ricaricarsi. Nello sfruttamento geotermico, il calore terrestre non è altro che "consumato".

In compenso, nel caso dello stoccaggio termico sotterraneo, assistiamo ad un ciclo periodico di carico e scarico. In Svizzera, esistono attualmente circa 15 installazioni di stoccaggio stagionale. Un esempio classico è lo stoccaggio sotterraneo diffusivo del "Collège de Peseux" a Neuchâtel.

Esso è composto da 30 sonde geotermiche della lunghezza di 60 m, che sfruttano un volume di terreno di 22.500 m^3 .

Fonte

geothermal-energy.ch

Impatto ambientale

Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, negli anni passati ci sono state delle giustificate proteste da parte dei cittadini residenti in prossimità delle centrali geo-termoelettriche soprattutto per l'emissione di sgradevoli odori, con le nuove tecnologie che prevedono la reiniezione dei fluidi geotermici (ciclo binario) si è ovviato anche a questo inconveniente, inoltre la reiniezione ovvia anche a eventuali rischi di subsidenza, in pratica si usano i fluidi geotermici per estrarre il calore dal sottosuolo in un sistema a ciclo chiuso, il calore viene recuperato tramite lo scambiatore di calore.

Si può quindi sostenere che, con le adeguate tecnologie, la produzione di energia elettrica dalle risorse geotermiche è quasi in assoluto la più ecologicamente compatibile, anche per le contenute dimensioni di tali impianti proporzionalmente alla potenza sviluppata, inferiori perfino alle centrali a gas e a combustibili fossili in generale.

Per quanto riguarda l'utilizzo dei fluidi geotermici per ottenere energia termica non ci sono termini di paragone con nessuna tecnologia, questi sistemi hanno un impatto ambientale migliore perfino alle tecnologie termosolari in quanto non si presenta nemmeno il problema dell'impatto visivo dato dai pannelli termosolari installati sopra i tetti.

In definitiva è da incentivare al massimo lo sviluppo delle tecnologie geotermiche, sono probabilmente il meglio per quanto riguarda la possibilità di avere uno sviluppo sostenibile.

Potenziale

Agli inizi del 2000 risultavano installati in 22 Paesi impianti geotermici per una potenza totale di circa 8000 MW, con una produzione di energia elettrica di circa 50 TWh. I Paesi guida sono: Usa, Nuova Zelanda, Italia, Islanda, Messico, filippine, Indonesia e Giappone.

Nel breve termine le applicazioni con lo sfruttamento di acquiferi-serbatoi continueranno ad essere le uniche commercialmente utilizzabili. Per l'uso finalizzato alla produzione di elettricità è stimato, sempre nel breve periodo, un potenziale di circa 80.000 MW. (10 volte l'attuale potenza installata)

La geotermia in Italia è sfruttata in Toscana, una sorta di 'Texas' italiano, dove al posto dei pozzi di petrolio ci sono giacimenti geotermici che valgono oltre 300 miliardi di euro. Con il vapore estratto dal suolo si potrebbero produrre oltre 5 mila miliardi di kilowattora, una quantità sufficiente per soddisfare circa 70 anni di consumi elettrici nazionali. E' uno dei dati che emergono da 'Energia verde per un paese rinnovabile', un volume curato da Paolo Pietrogrande e Andrea Masullo, uscito nell'estate 2003.

Secondo gli autori, lo sfruttamento del vapore dei giacimenti geotermici di Larderello, di Travale e dell'Amiata potrebbe equivalere a 428 anni di fatturato di Enel e a 10 volte il valore di borsa del gruppo, concessionario dei 'serbatoi' geotermici in Toscana.

Anche a livello mondiale la geotermia può dare un contributo importante alla produzione di energia. Le riserve note, sono stimate in 50 mila miliardi di kilowattora, ovvero 12 miliardi di tonnellate equivalenti petrolio, un decimo delle riserve mondiali, tanto che società come Shell, Bp, Unocal guardano con molto interesse alla geotermia. Molti serbatoi (o acquiferi) si trovano in Paesi in via di sviluppo e, in tal caso, la risorsa geotermica può essere considerata anche un'eccellente opportunità di crescita economica sostenibile, e deve accrescere il benessere delle popolazioni indigene e non le solite note compagnie.

Nel medio e lungo termine si prevede uno sviluppo della tecnica basata sull'utilizzo di rocce calde secche (HDR) e il costo degli impianti geotermici per la produzione di energia elettrica hanno nelle opere di perforazione il costo principale, circa i 2/3 dei costi totali, questo è il principale ostacolo per lo sviluppo della coltivazione di questa fonte rinnovabile perché quando si esegue una perforazione non si ha la certezza di arrivare ad un acquifero con le caratteristiche adatte all'utilizzo.

Oggi è possibile ovviare all'ostacolo in diversi modi.

Avvalendosi delle migliori tecnologie per individuare con certezza gli acquiferi con caratteristiche adeguate, nel settore petrolifero si sono sviluppate tecnologie di ispezione ed esame molto sofisticate che possono tornare utili allo scopo.

Se l'acquifero non risulta essere ad una temperatura adeguata ad una centrale a vapore dominante o ad acqua dominante (200-220°C) ma ha una temperatura superiore ai 110°C può comunque essere utilizzata per centrali a ciclo binario e quindi l'investimento non è perso, se la temperatura è ancora inferiore si può utilizzare l'acquifero per ottenere energia termica di uso civile o industriale qualora il pozzo sia in prossimità di un numero sufficiente di utenze.

Se non esistono acquiferi raggiungibili dal pozzo ma la temperatura è superiore ai 150°C si dovrebbe poter installare una centrale HDR, anche per questo è auspicabile che si percorra seriamente questa strada sviluppando le tecnologie utili allo scopo.

Attualmente il costo di un kWh ottenuto in centrali geo-termoelettriche è compreso tra 0,09 e 0,07 € non molto diverso dal costo ottenuto nelle centrali a ciclo combinato a metano che permettono il minor costo oggi possibile e che è di 0,06-0,07 € (fonte enel), da sottolineare che i costi sono calcolati in una vita dell'impianto di 20 anni, non si considera che le centrali geotermiche hanno una lunga vita, dimostrato dagli impianti in esercizio da più di 50 anni, le centrali geotermiche non hanno le caldaie, una componente che c'è invece nelle centrali termoelettriche e che riduce la vita dell'impianto e aumenta la manutenzione e relative spese.

Per il miglior utilizzo delle risorse geotermiche come fonte di calore si dovrebbe sfruttare al massimo il valore termico del fluido.

- estendere al massimo l'impiego del calore ; operare quindi in zone con più lunga stagione di riscaldamento oppure utilizzare il calore per il raffreddamento estivo di uffici o abitazioni ; usare il riscaldamento di sera in inverno ed essiccatoi in estate per prodotti agricoli, ecc ;
- usare il calore in cascata (riscaldando prima serre e quindi un impianto che ha bisogno di poca temperatura come la piscicoltura) ;
- vendere l'acqua calda di risulta per altri scopi (come per fini potabili : Erding in Germania).

Molti serbatoi (o acquiferi) per la produzione di energia elettrica si trovano in Paesi in via di sviluppo e, in tal caso, la risorsa geotermica può essere considerata un'eccellente opportunità di sviluppo sostenibile anche sotto l'aspetto economico

CONCLUSIONI

La potenza geotermica attualmente installata non raggiunge, a livello mondiale, i 2000 MW, di cui il 93% è installato nei paesi industrializzati. La maggior parte delle risorse geotermiche, invece, è localizzata in Paesi in via di sviluppo, i quali però non hanno i mezzi tecnologici e scientifici per poterne usufruire e d'altra parte i Paesi industrializzati nemmeno vi investono, perché è una forma d'energia da sfruttare localmente e quindi per loro non vi sarebbe alcun vantaggio a farla progredire nei Paesi del Terzo Mondo, che invece potrebbero così risolvere gran parte dei problemi collegati all'approvvigionamento delle risorse energetiche.

Per quanto riguarda i Paesi industrializzati invece, questa forma di energia è in crescita e il futuro ci vede impegnati nello scoprire come sfruttare i sistemi geotermici conduttivi, che, come abbiamo detto, sono molto più diffusi e in cui si concentra il maggiore potenziale di risorse termiche terrestri.