

# Energia geotermica

## Aspetti generali della geotermia

L'energia geotermica è la forma d'energia dovuta al calore endogeno della Terra; vulcani, sorgenti termali, soffioni e gayser documentano bene la presenza di calore immagazzinato nella crosta terrestre e che fluisce verso l'esterno con l'ausilio di fluidi vettori come acqua e vapore. La temperatura, all'interno del nostro pianeta, aumenta con la profondità secondo un gradiente geotermico di 3°C ogni 100 metri, anche se esistono zone con gradienti geotermici anomali in cui il flusso di calore è maggiore (9-12°C ogni 100 metri).

Il calore terrestre è prevalentemente d'origine radiogenica e subordinatamente planetaria e chimica; deriva principalmente dal decadimento degli isotopi radioattivi presenti soprattutto nel mantello (quelli più importanti sono il torio 232, l'uranio 238, e 235 ed il potassio 40). In media il calore terrestre calcolato è pari a 0,06 W/m<sup>2</sup>, quindi considerando 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 geotermico 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.

## Caratteristiche dei sistemi geotermici

Lo sfruttamento dell'energia geotermica consiste nell'utilizzazione del calore contenuto nelle rocce del nostro pianeta piuttosto vicine alla superficie, dove arriva propagandosi dalle zone più profonde della Terra. Per giungere in superficie il calore ha bisogno di un vettore fluido (acqua o vapore), naturale o iniettato, che deve poter fluire in gran quantità in rocce porose e permeabili (rocce serbatoio), queste a loro volta devono essere protette da rocce impermeabili (copertura) che impediscano o limitino la dispersione dei fluidi e del calore.

Per garantire la "rinnovabilità" del sistema geotermico, in pratica sostituire il fluido sottratto dall'utilizzazione, è necessaria l'esistenza di una zona di alimentazione esterna; il fluido, in questo caso, proviene prevalentemente da acqua meteorica. Nel caso di serbatoi "confinati", dove il fluido è fossile, invece, l'eventuale ricarica è effettuata solo artificialmente mediante la reiniezione.

In un sistema geotermico, l'acqua penetra nel sottosuolo attraverso rocce permeabili formando delle falde sotterranee e, per effetto del calore trasmesso alle rocce da una fonte, quale una massa magmatica, si scalda fino a raggiungere temperature di alcune centinaia di gradi; il fluido (acqua e/o vapore) in queste condizioni risale lungo faglie o fratture dando luogo alle manifestazioni geotermiche.

La risalita può anche essere indotta artificialmente tramite una perforazione meccanica (pozzo geotermico), il fluido così captato, dopo alcuni trattamenti, è inviato agli impianti di utilizzazione (produzione di energia elettrica o usi diretti).

Con riferimento ai fluidi erogati in superficie i sistemi geotermici si dividono in diverse classi.

1. Sistemi a vapore secco "a vapore dominante": costituiti soprattutto da vapore secco che si trova a pressioni e temperature elevate accompagnato da altri gas o sostanze solubili (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, B, NH<sub>3</sub>). Il vapore può essere utilizzato direttamente per la produzione di energia elettrica convogliandolo ad una turbina. Nel mondo sono noti pochi sistemi di questo tipo: Italia (Larderello), California (The Geysers), Giappone e Nuovo Messico.
2. Sistemi a vapore umido o "ad acqua dominante": costituito da acqua calda a temperatura superiore al suo punto di ebollizione e ad alta pressione, nel momento in cui viene ridotta la pressione nella colonna del pozzo l'acqua vaporizza ed arriva in superficie sotto forma di una miscela composta di acqua e vapore. Il vapore può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica, mentre l'acqua calda può esser usata in impianti di dissalazione per produrre acque dolci. La temperatura in questo tipo di sistema è compresa tra 180 e 370° C. Questi sistemi sono più abbondanti del tipo precedente.
3. Sistemi ad acqua calda: contengono acqua a temperatura inferiore ai 100° C (50-82° C) utilizzabile soprattutto per usi diretti (riscaldamento delle abitazioni, delle serre, impianti industriali).
4. Sistemi in rocce calde secche: sono sistemi formati con la creazione artificiale di un serbatoio geotermico. Nel serbatoio viene iniettata, tramite un pozzo, dell'acqua fredda che, una volta scaldatasi grazie all'elevato calore delle rocce, è fatta risalire in superficie per la sua utilizzazione. Questi sistemi sono in fase di sperimentazione avanzata.
5. Sistemi magmatici: sono sistemi artificiali che mirano a sfruttare il calore diretto di un magma per riscaldare un fluido di lavoro. Sono al primo stadio di sperimentazione.
6. Sistemi geopressurizzati: tale nome deriva dal fatto che l'acqua, a temperatura elevata (200° C), si trova imprigionata in serbatoi sottoposti ad una pressione superiore a quella idrostatica. Possono produrre energia geotermica, meccanica, chimica. Ancora non si è provveduto ad uno sfruttamento di tali sistemi.

### **Utilizzazione dei fluidi geotermici**

Dal punto di vista dell'utilizzazione, la geotermia si può dividere in alcuni settori:

1. Settore degli usi ad alta entalpia, con fluidi a temperature superiori ai 150° C, riguarda la produzione di energia elettrica e alcuni usi industriali.
2. Settore degli usi a media e bassa entalpia, con fluidi a temperature 150-100° C nel primo caso ed inferiore ai 100° C nel secondo, riguarda gli usi diretti: civili, agricoli, industriali.

Vi è inoltre il settore degli usi termali, caratterizzato dagli usi terapeutici e ricreativi. In Italia, la situazione sembra essere piuttosto buona per l'alta entalpia, soprattutto per i progetti dell'ENEL che mirano ad un incremento della produzione.

Risulta, invece, troppo esigua rispetto alle potenzialità accertate, quella della bassa entalpia relativa al campo delle utilizzazioni dirette. In tutto il paese i progetti realizzati o in corso di realizzazione superano di poco la ventina; vengono trascurati fluidi con buone temperature anche facilmente reperibili, contrariamente a quanto accade in altri paesi poco geotermici.

Nel nostro pianeta, esistono vaste zone nel cui sottosuolo vi sono fluidi a temperature comprese tra 40 e 100° C facilmente accessibili, che potrebbero essere direttamente utilizzati per il riscaldamento e la refrigerazione, consentendo quindi un notevole risparmio di idrocarburi.

Queste applicazioni non elettriche, dei fluidi geotermici a bassa entalpia, si stanno sviluppando in molti paesi del mondo situati in zone caratterizzate da gradienti termici

bassi o normali; per esempio, nella regione di Parigi, migliaia di abitazioni sono scaldate con acqua a temperature comprese tra 60 e 73° C che si trovano a 1800 metri di profondità.

### **Produzione di energia elettrica**

Una centrale geotermoelettrica differisce da quella tradizionale termoelettrica, i cui costituenti essenziali sono il generatore di vapore (fonte energetica), la turbina, l'alternatore (per la generazione di energia elettrica) ed il condensatore (per la condensazione del vapore esausto), per gli apparati necessari al trattamento del fluido naturale proveniente dal sottosuolo e per l'estrazione dei gas incondensabili (soprattutto CO<sub>2</sub>) sempre presenti nel vapore.

Nel caso in cui la centrale sia installata in un campo "a vapore secco" (come quello di Larderello), il vapore è inviato direttamente alla turbina, all'uscita da questa, il vapore esausto viene condensato e depurato dei gas incondensabili, mentre l'acqua di condensa può venir dispersa in superficie o reiniettata nel sottosuolo. Quando invece, si tratta di campi "ad acqua dominante", la miscela acqua/vapore che fuoriesce dal pozzo geotermico, è sottoposta ad un processo di separazione dal quale si ottiene il vapore che sarà inviato alla turbina ed un'alta percentuale di acqua (30-80% del totale) che verrà dispersa o reiniettata. E' da notare che, contrariamente a quanto si verifica nelle centrali termoelettriche tradizionali, dove la pressione del vapore è portata a più di 150 atm, quella del vapore di un pozzo geotermico raramente supera le 30 atm.

Le centrali in uso in geotermia sono di diversi tipi:

- a. Centrale a scarico libero, il vapore proveniente direttamente dal pozzo o da un separatore (campo ad "acqua dominante") è inviato alla turbina e dopo la generazione di energia elettrica, viene scaricato in aria a pressione atmosferica; le acque reflue sono reiniettate o disperse in superficie.
- b. Centrale a condensazione, il vapore esausto che esce dalla turbina, viene inviato ad una "camera di condensazione/depressione" raffreddata da acqua derivante da una torre di raffreddamento o da acque correnti. I gas incondensabili vengono estratti meccanicamente e scaricati all'esterno, mentre i reflui dei condensatori o dei separatori sono incanalati in pozzi di reiniezione o dispersi in superficie.
- c. Centrale a flash singolo, usata nei campi "ad acqua dominante". Il fluido geotermico erogato da un pozzo, viene inviato ad un separatore che riduce la pressione e separa le due fasi acqua/vapore. Il vapore entra poi nella turbina e dopo la generazione di elettricità è condensato ed inviato ai pozzi di reiniezione o smaltito in altro modo.
- d. Centrale a doppio flash, usata nei campi "ad acqua dominante". Il fluido, proveniente dal pozzo, entra in un primo separatore dove si genera il primo flash di vapore ad alta pressione (a 160° C). Successivamente è inviato ad un secondo separatore dove si genera un secondo flash di vapore a bassa pressione (a 120° C). I flussi di vapore ottenuti, ad alta e bassa pressione, sono inviati a turbine distinte.
- e. Centrale a ciclo binario, usata soprattutto per fluidi a medio-bassa entalpia o per "salamoie" da non lasciare vaporizzare perché incrostanti. Il fluido geotermico è inviato, in pressione, ad uno scambiatore dove cede il calore ad un fluido di lavoro (freon, cloruro d'etile). Successivamente i reflui geotermici vengono reiniettati nell'acquifero; il vapore del fluido secondario, dopo esser passato alla turbina, viene condensato e ritorna allo scambiatore per vaporizzare nuovamente.

- f. Centrale a flusso totale, funziona col fluido bifase (miscela acqua/vapore e gas associati) direttamente erogato dal pozzo. Dopo la generazione di energia elettrica il fluido è condensato e reiniettato nell'acquifero.
- g. Minicentrale a condensazione, centrale a condensazione di potenza limitata che utilizza fluidi a temperatura anche inferiore ai 100° C.

### Usi diretti

Il riscaldamento è la forma più antica e diffusa tra gli usi diretti dell'energia geotermica; larga utilizzazione è stata fatta in Islanda, dove, per l'abbondanza dei fluidi caldi disponibili, il 97% della popolazione della capitale è servita da riscaldamento geotermico urbano. Analoga situazione si ha anche in Francia, paese poco geotermico, negli Stati Uniti, in Cina ed in Giappone.

In Italia le realizzazioni più importanti sono quelle di Ferrara, Vicenza, Castelnuovo Val di Cecina, Acqui, Bagno di Romagna e Grosseto.

Per il riscaldamento degli ambienti, le temperature dei fluidi devono essere dell'ordine di 50-80° C per gli impianti a termosifone, 35-50° C per i pannelli radianti; qualora i fluidi geotermici non raggiungessero le temperature richieste, si possono adottare dei sistemi integrativi quali una caldaia o una pompa di calore. Un impianto di teleriscaldamento può provvedere anche alla fornitura di acqua calda sanitaria; se le acque geotermiche sono dolci, come nel caso di Vicenza, possono essere distribuite direttamente agli utenti, se invece, sono salate, come a Ferrara, si provvede immettendo nella rete sanitaria una parte dell'acqua di acquedotto circolante nello scambiatore di calore.

Si può ottenere uno sfruttamento integrale della risorsa geotermica con il riscaldamento invernale ed il raffrescamento estivo, disponendo di fluidi a 80-110° C che alimentino pompe di calore reversibili, ad assorbimento, con fluidi appropriati (ad esempio ammoniaci, bromuro di litio).

Altri usi dei fluidi geotermici sono rappresentati dall'azione antigelo dei suoli, dal riscaldamento delle serre e dall'utilizzo nelle attività industriali per fornire il "calore di processo" utilizzato nel ciclo di produzione. Un uso razionale che permette di ottenere la massima efficienza dai fluidi geotermici, è rappresentata dagli usi integrati dello stesso fluido per impianti ed utenti diversi, con un sistema in serie, "a cascata", le acque reflue a bassa temperatura di una centrale geotermica, possono essere usate, per esempio, per il riscaldamento, per la serricoltura, per l'acquacoltura e per l'irrigazione.

Nel quadro volto allo sfruttamento razionale dell'energia geotermica, viene impiegata sempre di più la "pompa di calore", grazie alla quale sono utilizzati anche i fluidi a temperatura molto bassa.

La pompa di calore è una macchina termica in grado di trasferire il calore da un corpo più freddo ad uno più caldo, innalzandone la temperatura; essa estrae calore da una sorgente a bassa temperatura, sorgente fredda, con dispendio di energia esterna che può essere di natura elettrica, meccanica, o appunto geotermica.

Nei paesi dove si sta diffondendo lo sfruttamento dell'energia geotermica alle più basse temperature (7- 40° C), quali la Svezia, il Giappone, gli Stati Uniti, la Svizzera, la Germania e la Francia, l'uso delle pompe di calore ha toccato dei livelli sorprendenti; negli Stati Uniti per esempio nel 1993 ne erano installate più di 150.000. Un'altra tecnologia molto in uso accanto alle pompe di calore è rappresentata dallo "scambiatore di calore", necessario nei casi in cui non è possibile mettere a contatto i fluidi geotermici direttamente con gli impianti di utilizzazione, quando il contenuto salino del fluido può creare danni quali la corrosione o l'inquinamento. Gli scambiatori di calore vengono fabbricati in diverse versioni di cui le principali sono: a piastre, a fasce tubiere, a serpentina ed a miscela diretta, con separazione finale e recupero del fluido di lavoro dal fluido primario.

Un particolare tipo è quello utilizzato direttamente nel pozzo, con circolazione di acqua

dolce o di fluido basso-bollente nel secondario.

## **Panorama geotermico mondiale**

L'uso del calore endogeno della Terra, dopo le prime applicazioni di Larderello, si è sviluppato in tutto il mondo con progetti che utilizzano fluidi ad alta e bassa entalpia e che mirano alla produzione di energia elettrica ed agli usi termici diretti.

Complessivamente, con riferimento al 1998, la potenza installata nel mondo è di circa 7.953 MWe e 7.183 MWt ed i campi geotermici in esercizio o in via di sviluppo sono in tutto 95 su oltre 250 accertati.

## **Continente Americano**

Gli Stati Uniti (2850 MWe, 2700 MWt al 1998) sono uno dei paesi più all'avanguardia nella geotermia con 26 campi in esercizio ad alta entalpia; si tratta soprattutto di campi "ad acqua dominante" distribuiti nell'Imperial Valley in California settentrionale, vi è, inoltre, un campo gigante "a vapore dominante" a The Geysers.

The Geysers è il più grande giacimento geotermico scoperto nel mondo, proprio in questo campo fu commissionato, nel 1960, il primo impianto degli Stati Uniti, per lo sfruttamento di energia geotermica, con una capacità di 12,5 MW. Nel campo di The Geysers vi sono 521 pozzi produttivi ma solo il 20% dei fluidi estratti viene reiniettato, questo fatto ha determinato un eccessivo sfruttamento del giacimento che ora è in declino, di conseguenza la produzione record installata nel 1987, di 2093 MWe, è stata ridimensionata a 1180 MWe nel 1993.

Oltre alla California vi sono prospettive geotermiche negli altri stati della fascia occidentale fino all'Alaska. Risulta molto sviluppato anche il settore delle basse temperature, sfruttato soprattutto per il riscaldamento civile (1700 MWt al 1995) ed integrato con altre tecnologie quali gli scambiatori di calore e le pompe di calore; solo gli impianti di riscaldamento realizzati con queste ultime, sono al 1995 più di 150.000 con un risparmio di 400 MWt .

Oltre al settore del riscaldamento urbano, l'energia geotermica viene sfruttata nelle serre e nel settore industriale (450 MWt al 1995).

Il secondo campo geotermico per potenzialità, dopo The Geysers, ma il primo al mondo "ad acqua dominante", è quello in Messico (743 MWe, 8 MWt, al 1998) di Cerro Prieto (620 MWe); in questo stato, vi sono altri 3 campi in esercizio ed altri potenzialmente sfruttabili soprattutto lungo la fascia vulcanica che lo attraversa longitudinalmente; al contrario degli Stati Uniti, il settore degli usi diretti non è molto sviluppato. Per quel che concerne gli altri paesi del continente americano, il Canada ha installato una centrale da 60 MWe, ma si stima la possibilità di portarla ad almeno 120 MWe; nel Centro e Sud America, vengono privilegiati gli usi elettrici, El Salvador ha una potenza installata, al 1998, di 105 MWe, ma vi sono potenziali ancora non sfruttati, analogamente accade nel Nicaragua con 70 MWe al 1998, in molti altri paesi di questo continente vi sono grandi potenzialità accertate, ma molti ostacoli nella realizzazione per le difficoltà finanziarie.

## **Oceania**

La Nuova Zelanda (364 MWe, 175 MWt e 4 campi in esercizio al 1998) ha il merito di avere sperimentato, fin dagli anni Cinquanta, la tecnologia di produzione e sfruttamento dei campi a vapore umido che rappresentano la quasi totalità dei campi geotermici mondiali.

## **Asia**

Per l'arcipelago delle Filippine, l'energia geotermica per produzione di elettricità costituisce una risorsa estremamente importante fin dagli anni Settanta, con 9 campi in esercizio, al 1998 erano installati 1.848 MWe e 1 MWt ed il governo sta mirando a dare un ulteriore incremento, non è molto sviluppato, invece, il settore delle basse temperature.

Anche l'arcipelago dell'Indonesia ha un enorme potenziale geotermico dell'ordine di

16.000 MWe , installati al 1998 sono 528 MWe , poco sviluppato è il settore degli usi termici diretti. Il Giappone ha circa 17 campi in esercizio per la produzione di energia elettrica ed installati 530 MWe e 4.651 MWt al 1998.

L'utilizzazione dell'energia geotermica in Cina (32 MWe, 3.550 MWt al 1998) è mirata prevalentemente ai fluidi a bassa temperatura, con 210 operazioni nel settore del riscaldamento, dell'agricoltura, dell'acquacoltura e dell'industria.

## **Africa**

Prospettive geotermiche ad alta entalpia si individuano nella Rift Valley (Africa orientale) e nelle aree vulcaniche del Camerun e delle isole oceaniche, mentre il Nord Africa ha significative risorse nel campo delle medie e basse temperature.

Il Kenya è il paese africano dove è stata maggiormente sviluppata la geotermia, al 1998 erano installati 45 MWe con la prospettiva di un incremento.

## **Europa**

La Francia (4,2 MWe nelle Antille, 756 MWt di cui 675 per teleriscaldamento al 1995) è il paese leader del riscaldamento geotermico con 74 progetti realizzati nei bacini di Parigi e dell'Aquitania.

Questo paese ha sviluppato, fin dal 1969, la tecnologia di produzione attraverso il "doublet" costituito da una coppia di pozzi di cui uno produttore e l'altro reiniettore, che dopo l'estrazione del calore, consente la reiniezione in serbatoio dei fluidi geotermici raffreddati, permettendo così, sia lo smaltimento dei reflui che la ripressurizzazione e rialimentazione dell'acquifero, si risolve quindi il problema dell'inquinamento ed il fenomeno della subsidenza; questa tecnologia ha reso possibile l'utilizzo degli acquiferi profondi, inquinanti e subsidenti del "bacino di Parigi".

Il maggiore complesso di teleriscaldamento del mondo è proprio a Parigi, con 3 operazioni, 4 doublets profondi 1.900 metri con acqua a 79° C che riforniscono 15.000 alloggi.

Rilevante è anche lo sfruttamento, con pompe di calore, delle risorse superficiali a bassa temperatura (12-25° C), per il riscaldamento di oltre 35.000 alloggi.

Anche in Germania (195 MWt al 1995) ed in Svizzera ( 40 MWt al 1995) sono molto sviluppate le utilizzazioni a bassissima temperatura con pompe di calore, per una potenza di 160 MWt nel primo paese e 5.000 installazioni nel secondo; molto interessante è poi il progetto di riscaldamento urbano della città di Lund in Svezia (25 MWt al 1995) con 2 maxipompe di calore da 13 MWt che sfruttano due pozzi di 670 e 800 metri di profondità con acque a 23-28° C.

La Grecia (2 MWe, 30 MWt al 1995) presenta discrete risorse ancora non sviluppate sia nella bassa che nell'alta entalpia, questa ultima nelle isole vulcaniche dell'Egeo.

Il paese più caldo dell'Europa centrale è l'Ungheria (2.200 MWt al 1995), grazie all'anomalia termica positiva; è sviluppato solo il campo della bassa temperatura sfruttato essenzialmente per il settore agricolo.

La maggior parte dei paesi europei ha prospetti solo nel campo delle basse temperature, fa eccezione assieme all'Italia, l'Islanda (51 MWe 1.310 MWt e 4 campi in esercizio al 1998), questo è il paese geotermico per eccellenza, la risorsa, infatti, soddisfa l'80% della domanda d'energia dell'isola.

Oltre all'uso elettrico dei fluidi geotermici che, accanto alle risorse idriche, soddisfano completamente il fabbisogno nazionale di energia, è ben sviluppato anche il settore del riscaldamento urbano, dell'acqua calda sanitaria e degli usi industriali.

## **La geotermia in Italia**

L'Italia è il paese geotermicamente più "caldo" di tutta l'Europa, cosa testimoniata dai numerosi vulcani, dai soffioni boraciferi, dalle sorgenti termominerali.

Al 2000 la potenza installata era di 785 MWe (l'1,5% della produzione elettrica totale del paese); mentre per gli usi diretti era di 324,6 MWt dei quali il 41% utilizzato per il riscaldamento, il 28% per usi termali, il 22% per le serre, il 9% per i processi industriali e l'1% per l'orticoltura.

Le prime applicazioni della geotermia si sono avute proprio nel nostro paese ed in particolare a Larderello (Toscana) dove esistevano evidenti manifestazioni geotermiche; infatti, già dal 1777 veniva utilizzato l'acido borico delle acque geotermiche della zona e nel 1827 si ha la prima vera utilizzazione in forma diretta dell'energia geotermica il cui calore veniva usato, al posto della legna, per l'evaporazione dell'acqua da cui estrarre l'acido borico.

Nel 1904 nasce la geotermoelettricità, vennero accese delle lampade tramite una dinamo azionata da una macchina a vapore da 0.75 CV, alimentata da un soffione. Tra il 1905 ed il 1936 vengono migliorate le tecniche di perforazione e si arriva ad una potenza elettrica installata di 73 MW; dagli anni Venti, proprio da Larderello, si estende a tutto il mondo l'interesse per la geotermia.

Dagli anni Settanta viene dato un notevole impulso all'esplorazione in tutte le aree italiane, cosa che porta all'individuazione di diverse aree geotermiche e di altri due campi ad alta entalpia, oltre a quello di Larderello, presso Latera nel Lazio e Mofete in Campania.

Diversi sono i progetti realizzati per l'utilizzo dei fluidi geotermici per il teleriscaldamento, i più significativi sono quello di Ferrara (12 MWt), di Vicenza (5 MWt) e di Rodigo (3,7 MWt) per la bassa entalpia, quello di Larderello (24,1 MWt) e di Castelnuovo Val di Cecina (5,3 MWt) per l'alta entalpia.

Per quel che concerne la geotermia dei fluidi ad alta entalpia utilizzata per la produzione di energia elettrica, 4 sono i campi in esercizio, il più importante dei quali è quello di Larderello con 547 MWe installati; 108 MWe sono installati nella regione del Monte Amiata; 90 MWe nella regione toscana di Travale-Radicondoli; infine 40 MWe presso Latera nel Lazio.