



**Collana Tecnica**

**Compendio**  
**Energia Geotermica**

Autore: Stella Silvio Rudi

Prima Edizione Maggio 2018

## L'ENERGIA GEOTERMICA

### 1 PREMESSA

---

Lo sfruttamento del calore della terra per usi non energetici è noto dall'antichità con applicazioni quali le terme. La geotermia si rivolge alla ricerca e allo sfruttamento dell'energia di campi geotermici o di altre manifestazioni utilizzabili del calore terrestre. Questa energia viene trasferita alla superficie terrestre attraverso i movimenti convettivi del magma o tramite le acque circolanti in profondità.

L'interesse per lo sfruttamento del calore terrestre è legato all'enorme quantità di energia potenzialmente disponibile; viene calcolato infatti che il flusso geotermico della terra corrisponda ad una potenza complessiva di 30 miliardi di kW (sulla base di una media pari a  $0,06 \text{ W/m}^2$ ), e che solo l'energia contenuta nei primi 2-3 km di crosta terrestre sia circa 2000 volte superiore a quella ottenibile da tutti i giacimenti di combustibili fossili, tuttavia gran parte di questa potenza non è utilizzabile in quanto si manifesta, alla superficie, sotto forme estremamente violente (si pensi ad esempio alle eruzioni vulcaniche).

Malgrado ciò, l'energia geotermica rappresenta una delle fonti energetiche alternative più promettenti: è praticamente inesauribile, ha un livello d'inquinamento quasi inesistente ed è disponibile in modo costante, indipendentemente dalle condizioni climatiche.

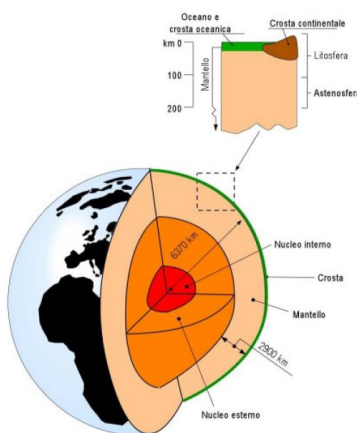
Le prime installazioni industriali per il suo sfruttamento sono sorte in Italia, sui soffioni boraciferi di Larderello, in Toscana. Vi sono inoltre vari esempi di utilizzo dei fluidi geotermici per il teleriscaldamento, i più significativi sono quello di Ferrara (12 MWt), di Vicenza (5 MWt) e di Rodigo (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.

E' poi in fase di avanzato sviluppo la tecnologia delle *pompe di calore geotermiche*, che sfruttano la differenza di temperatura fra la superficie e il terreno a media profondità (da 100 a 300 m). La maggior parte di questo tipo di applicazioni si trova in Svizzera.

## 2 ASPETTI GEOLOGICI

La Terra è costituita da tre zone concentriche:

- **Crosta** – lo spessore è di circa 7 km sotto gli oceani e di 25-60 km sotto i continenti.
- **Mantello** – si estende dalla base della crosta per circa 2900 km.
- **Nucleo** – si estende da 2900 km a 6370 km (il raggio della Terra). Si distingue in nucleo esterno e nucleo interno, la temperatura in quest'ultimo dovrebbe essere di circa 4000°C, mentre la pressione stimata al centro della Terra è di 3.6 milioni di bar.



La perforazione di pozzi consente attualmente l'accesso solo alla crosta e per profondità non molto superiori a 10 km.

### 2.1 Trasferimento di calore all'interno della Terra

Esso ha luogo attraverso due meccanismi:

**Conduzione.** E' il meccanismo primario di scambio di calore nei solidi. I metalli sono ottimi conduttori di calore, mentre gran parte delle rocce presentano modesti valori di conducibilità termica.

**Convezione.** E' il meccanismo comune di scambio di calore nei liquidi e gas. Poiché avviene con movimento di materia, è di gran lunga più efficace della conduzione per il trasferimento di energia in superficie.

## 2.2 Gradiente geotermico della Terra.

Esso influenza direttamente, insieme alla conducibilità termica delle rocce, il flusso di calore che viene portato verso la superficie per conduzione attraverso lo strato impermeabile roccioso.

Il gradiente medio vicino alla superficie (entro pochi km) è pari a  $30\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ .

Valori più bassi ( $10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ ) sono misurabili nella crosta di antichi continenti, mentre valori più elevati ( $>100\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{km}$ ) sono riscontrabili in aree di attivi-

tà vulcanica. Esistono tuttavia nella crosta terrestre, a profondità accessibili ai mezzi attuali, delle zone privilegiate, ove il gradiente geotermico è nettamente superiore alla media. Ciò è dovuto in certi casi alla presenza, non lontano dalla superficie (5 - 15 km), di masse magmatiche fluide o già solidificate in via di raffreddamento.

In altri casi, in aree non interessate da attività magmatica, l'accumulo di calore è dovuto a particolari situazioni strutturali della

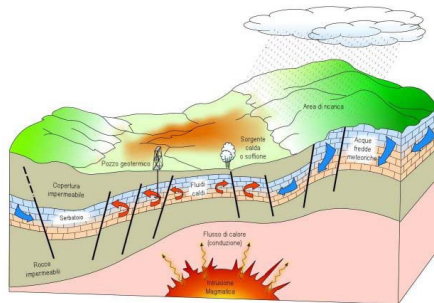


Figura 9 – propagazione del calore endogeno terrestre

crosta terrestre, che determinano un flusso di calore anomalo, per esempio ove il mantello terrestre si è avvicinato alla superficie.

Un'effettiva possibilità di estrazione ed utilizzazione pratica di tali ingenti fonti di calore richiede però la presenza di un veicolo che trasporti parte di tale calore nei pressi della superficie terrestre, a profondità a noi accessibili.

Questo veicolo sono i fluidi geotermici presenti nella crosta terrestre, prevalentemente acqua meteorica che penetra nel sottosuolo, si riscalda a contatto delle rocce calde e forma degli acquiferi anche a temperature elevate (oltre 300 °C).

In condizioni ottimali tali acquiferi, oltre all'acqua in fase liquida, possono contenere come prevalente la fase vapore che ovviamente possiede un contenuto energetico assai più elevato.

Gli acquiferi sono ospitati da rocce permeabili, chiamate serbatoi geotermici. I fluidi contenuti in un serbatoio possono raggiungere spontaneamente la superficie dando luogo a manifestazioni geotermiche naturali quali le sorgenti calde, i geysir, le fumarole, ecc.

Se invece i fluidi caldi rimangono confinati entro il serbatoio per effetto di una copertura di terreni impermeabili, si può avere in tal caso una concentrazione di calore di interesse industriale a fini energetici, purché la profondità del serbatoio renda fattibile la perforazione di pozzi che mettono in comunicazione diretta la risorsa geotermica con la superficie per il successivo sfruttamento energetico del calore.

Le zone più calde della crosta terrestre, ove è più probabile l'esistenza di serbatoi che possono dare vapore naturale, corrispondono in generale ad una fascia che percorre i margini continentali, la cosiddetta "cintura di fuoco" della Terra, ove è localizzato un vulcanismo ancora attuale. Questa è la sede privilegiata di terremoti profondi e mostra i valori più alti del flusso di calore terrestre.

### 3 POTENZIALE DELLA RISORSA GEOTERMICA

---

Agli inizi del 2000 risultavano installati in 22 Paesi impianti geotermici per una potenza totale di circa 8.000 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. Per l'uso finalizzato alla produzione di elettricità è stimato, nel breve periodo, un potenziale di circa 80.000 MW. (10 volte l'attuale potenza installata). In Italia la geotermia è sfruttata soprattutto in Toscana, dove al posto dei pozzi di petrolio ci sono i giacimenti geotermici.

Anche a livello mondiale la geotermia potrebbe dare un contributo importante alla produzione di energia. Le riserve note sono stimate in 50 mila miliardi di kWh, ovvero 12 miliardi di tep (tonnellate equivalenti di petrolio), tanto che società come Shell e BP guardano con molto interesse alla geotermia. Molti acquiferi si trovano in Paesi in via di sviluppo per i quali la risorsa geotermica può essere considerata anche un'eccellente opportunità di crescita economica sostenibile.

Nel medio e lungo termine si prevede uno sviluppo della tecnica basata sull'utilizzo di rocce calde secche (HDR e DHP) situate in profondità. Gli esperti di molti Paesi stanno studiando la possibilità di perforare pozzi in zone dove non ci sono serbatoi e di iniettarvi acqua per farla scaldare in profondità dal calore della Terra, farla risalire da altri pozzi e infine utilizzarla come fluido energetico per centrali termoelettriche.

### 4 IMPATTO AMBIENTALE

---

L'utilizzazione del calore geotermico non è priva di impatto ambientale, che tuttavia è complessivamente abbastanza modesto e ben controllabile.

L'energia geotermica ha contemporaneamente la prerogativa assai positiva, rispetto alle fonti che impiegano combustibili fossili o nucleari, di aver un ciclo estremamente breve.

Infatti, l'impiego del fluido geotermico avviene nelle immediate vicinanze del luogo di estrazione e non richiede trattamenti e processi di trasformazione intermedi, del tipo di quelli necessari nel settore nucleare e petrolifero.

Il fluido geotermico (in forma liquida, o di vapore o entrambe) è composto, oltre che dall'acqua che ne costituisce la parte preponderante, un contenuto di elementi e composti chimici (in genere nocivi per l'ambiente) che è variabile da luogo a luogo, in quanto dipende dal tipo di rocce che costituiscono il serbatoio geologico di provenienza.

Il vapore dei maggiori campi geotermici ha un contenuto di gas tra i quali l'anidride carbonica, l'idrogeno solforato, l'ammoniaca e il metano.

L'anidride carbonica è tra questi il componente presente in maggiore quantità, tuttavia la CO<sub>2</sub> rilasciata nell'atmosfera da un centrale geotermica per kWh prodotto è ben inferiore ai valori di emissione delle centrali a combustibili fossili.

Tuttavia, sia l'acqua che il vapore condensato che esce dalle turbine, contengono anch'essi diversi elementi chimici tossici tra i quali l'arsenico, il mercurio, il piombo, lo zinco, il boro e lo zolfo.

Il miglior metodo di smaltimento è la reiniezione del liquido nello stesso serbatoio di roccia dal quale è stato estratto attraverso pozzi appositamente perforati o pozzi già sterili.

Ciò consente nel contempo di ridurre la caduta di pressione nel serbatoio geologico conseguente all'estrazione del fluido, di estrarre ulteriore calore dalle rocce e infine di prolungare la vita utile della risorsa.

## 5 IMPIEGHI DELLA FONTE GEOTERMICA

Come riportato in fig. 10, a seconda della temperatura del fluido geotermico sono possibili svariati impieghi, di cui riportiamo i più significativi:

- acquacoltura (al massimo 38 °C)
- serricoltura (38 - 80 °C);
- teleriscaldamento (80 - 100 °C);
- usi industriali (almeno 150 °C);
- produzione di energia elettrica (maggiore di 150 °C);
- pompe di calore geotermiche (basse temperature).

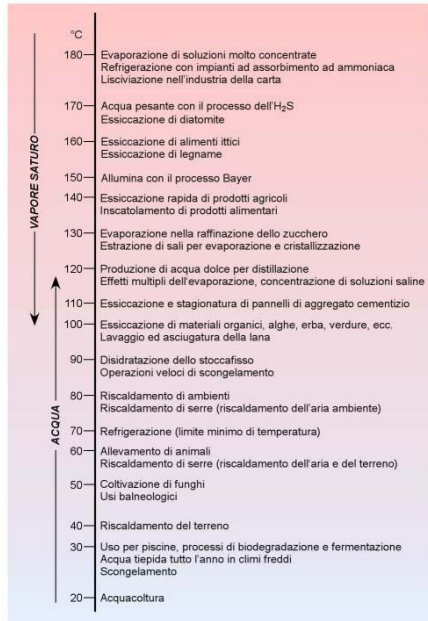


Figura 10 – utilizzi dell'energia geotermica

In alcuni paesi si utilizza il calore geotermico anche per l'essiccazione del legname (Nuova Zelanda), del piretro (Kenya) e per altri usi.

Analizziamo nel dettaglio la tecnologia delle applicazioni più significative.



## 5.1 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.

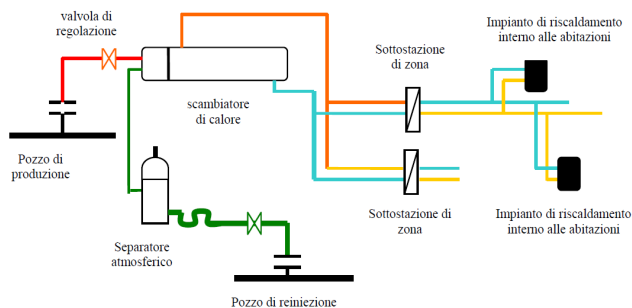


Figura 11 - Schema di impianto di teleriscaldamento (fonte: energoclub)

## 5.2 Le centrali geo-termoelettriche

Generalmente nelle attuali centrali geo-termoelettriche si sfrutta la pressione esercitata dal vapore contenuto negli acquiferi geotermici (serbatoi sotterranei di acqua e vapore a temperatura e pressione elevate) per muovere le turbine e quindi i generatori.

L'enorme pressione dei vapori, infatti, se incanalata può alimentare direttamente le turbine e produrre quantità notevoli di energia. Di questo tipo sono le centrali di Larderello in Toscana, e anche in Islanda questa tecnologia è molto sfruttata. La centrale geotermoelettrica più grande al mondo, *The Geysers*, si trova circa 140 km a Nord di San Francisco in California (Usa), e ha una potenza totale di

750 MW. Per un miglior sfruttamento della risorsa geotermica e un minor impatto ambientale, si utilizza la tecnologia che prevede la reiniezione dei liquidi nell'acquifero.

### 5.3 Gli impianti di piccola taglia

Gli impianti geotermici di piccola taglia, essendo caratterizzati da potenza inferiore a 5 MW, sono particolarmente indicati per produrre elettricità in aree remote. Essi possono essere basati su cicli binari o a vapore.

- **Impianti a ciclo binario:** risorse geotermiche a bassa temperatura minori costi di perforazione dei pozzi; relativa complessità del sistema penalizzazione di aspetti operativi e di manutenzione.
- **Impianti a vapore:** sorgenti geotermiche a temperature più elevate maggiori costi di reperimento -> progetto più semplice e meno costoso.

Il costo di sistemi geotermici di piccola taglia dipende in gran parte dai costi d'impianto, dai costi di perforazione, dalla qualità della risorsa e dai costi di finanziamento. I costi di generazione dell'energia elettrica con piccoli sistemi geotermici sono dello stesso ordine di

quello delle tecnologie che possono considerarsi competitive per la produzione di elettricità in aree rurali.

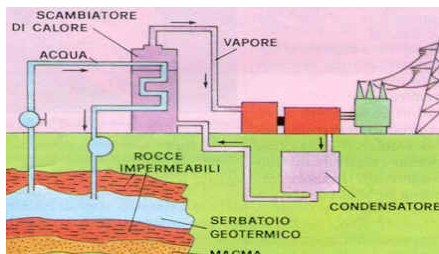


Figura 12 - Schema di impianto geotermico a ciclo binario (fonte energoclub)

La figura rappresenta 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.

#### 5.4 Le pompe di calore geotermiche

La pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa (sorgente fredda) ad un corpo a temperatura più alta (pozzo caldo). Essa opera con lo stesso principio del frigorifero e del condizionatore d'aria ed il nostro interesse, secondo le circostanze, può riguardare la sorgente fredda (raffrescamento) o il pozzo caldo (riscaldamento ambiente o produzione d'acqua calda sanitaria).

Se siamo interessati al riscaldamento, ad utilizzare cioè il calore tolto ad un ambiente più freddo (per esempio l'aria esterna) trasferendo ad un ambiente più caldo (per esempio il nostro appartamento), la pompa di calore diventa uno strumento di risparmio energetico. In questo caso, infatti, il calore reso è pari all'equivalente dell'energia che forniamo alla macchina per farla funzionare (generalmente energia elettrica) più il calore che la macchina riesce a trasferire (pompare) dall'esterno all'interno.

L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione "C.O.P.", dato dal rapporto tra energia resa (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata. Un valore del COP pari a tre vuol dire, ad esempio, che per ogni kWh d'energia elettrica consumato, la pompa di calore renderà 3 kWh d'energia termica all'ambiente da riscaldare; uno di questi fornito dall'energia elettrica consumata e gli altri due chilowattora prelevati dall'ambiente esterno.

Tenendo conto della gratuità dell'energia prelevata dall'ambiente esterno possiamo dire, con altre parole, che l'efficienza della pompa di calore è del 300 per cento. In realtà, per una valutazione più corretta, occorre considerare anche l'energia primaria, necessaria a produrre il chilowattora elettrico consumato dall'apparecchio, tenendo conto dei rendimenti della catena di produzione, trasporto e distribuzione dell'energia elettrica. Questa energia di

solito proviene in parte da fonti rinnovabili nazionali (idroelettrica, geotermoelettrica, eolica, fotovoltaica) e da importazioni e, per la maggior parte dalle centrali termoelettriche. Si può dire, comunque, che la pompa di calore dà la possibilità di utilizzare l'energia elettrica (e quindi il combustibile e l'energia delle fonti rinnovabili di cui sono alimentate le centrali), con rendimenti complessivi medi annuali compresi tra il 110 ed i 140 per cento (gli impianti a caldaia tradizionali hanno rendimenti di produzione medi stagionali inferiori all' 80%).

Il C.O.P. di una pompa di calore dipende dal modello e dalle condizioni climatiche e di funzionamento dell'impianto ed è tanto maggiore quanto più bassa è la differenza di temperatura tra l'ambiente da riscaldare e la sorgente di calore, gratuita, utilizzabile. Esso ha valori prossimi a 3 quando si utilizza l'aria esterna, a temperature non inferiori ai 4-5 °C e valori più elevati quando si sfruttano l'acqua, il terreno, o, meglio ancora, i fluidi di scarto relativamente caldi, come, ad esempio, l'aria viziata da ricambiare.

Nel calcolare il COP effettivo di un impianto vanno considerati, inoltre, i consumi

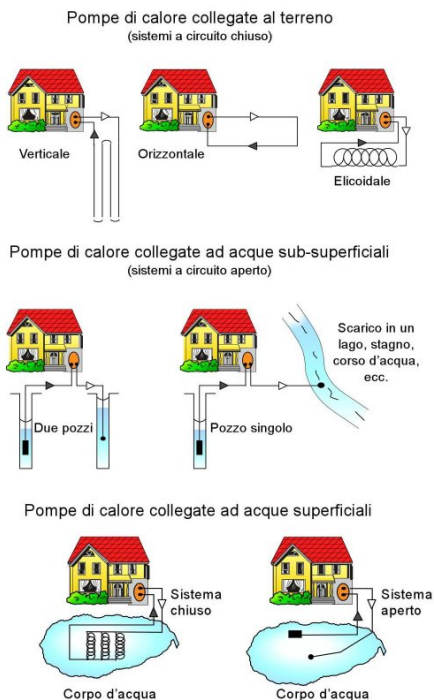


Figura 13 – schemi di collegamento sistemi di pompe di calore geotermiche

elettrici dei dispositivi ausiliari come pompe, ventilatori e resistenze di sbrinamento ecc.

Le moderne pompe di calore hanno la caratteristica di vedere, come già detto, uno stesso ambiente sia come sorgente fredda sia come pozzo caldo (pompa di calore a ciclo invertibile). Sono utilizzabili tanto in estate che in inverno e rappresentano la tecnologia da preferire senz'altro quando è necessario il condizionamento estivo.

### **5.5 Tecnologia e funzionamento delle pompe di calore**

Tecnicamente la pompa di calore è costituita da un circuito chiuso, percorso da uno speciale fluido frigorigeno, che al variare delle condizioni di temperatura e di pressione assume lo stato liquido o di vapore.

Il fluido frigorigeno viene fatto evaporare in una serpentina posta nella sorgente fredda dalla quale assorbe il calore necessario all'evaporazione. Successivamente viene compresso e in questo processo (è la fase nella quale si fornisce energia alla macchina) la temperatura del fluido aumenta e raggiunge un valore più alto di quello del pozzo caldo. Il fluido viene poi fatto condensare nella serpentina posta nel pozzo caldo al quale cede il calore assorbito dalla sorgente fredda più il calore che ha ricevuto durante la compressione. Il fluido, adesso allo stato liquido, passando attraverso una valvola d'espansione si trasforma parzialmente in vapore e si raffredda, raggiungendo una temperatura più bassa di quella della sorgente fredda. Ritornando, a questo punto, nell'evaporatore, il fluido completa l'evaporazione e ricomincia il ciclo.

A seconda della sorgente fredda utilizzata si hanno diverse tipologie impiantistiche, come rappresentato nella figura 13.

## 6 LA GEOTERMIA IN ITALIA

Nella figura seguente è rappresentata la mappatura geotermica dell'Italia. In blu sono evidenziate le aree nelle quali possono esservi acquiferi a vapore dominante (giacimenti di vapore in pressione) idonei alla produzione di energia elettrica. Gli acquiferi nelle aree gialle dovrebbero essere a profondità superiori ai 3000 metri, mentre nelle aree rosse è possibile trovare acquiferi a 2000 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 a produzioni di energia elettrica in quantità incalcolabili.

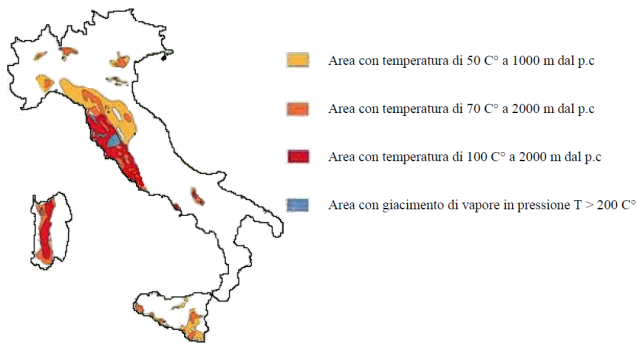


Figura 14 - Mappatura geotermica dell'Italia (fonte: Energoclub)

## 7 ASPETTI ECONOMICI

---

Gli impianti geotermici per la produzione di energia elettrica hanno nelle opere di perforazione il costo principale, pari a circa i 2/3 dei costi totali. Questo è il principale ostacolo allo sviluppo di questa fonte rinnovabile, poichè quando si esegue una perforazione non si ha la certezza di arrivare ad un acquifero con caratteristiche adatte all'utilizzo. Oggi è possibile ridurre tale incertezza avvalendosi delle migliori tecnologie di ispezione sviluppate nel settore petrolifero... utilizzabili per svolgere studi preliminari di fattibilità e di determinazione della potenzialità e caratteristiche dei siti. Quando l'acquifero non ha temperatura adeguata all'installazione di una centrale a vapore (200-220°C), ma ha comunque temperatura superiore ai 110°C, può essere utilizzato per centrali a ciclo binario, quindi l'investimento non è perso. Se la temperatura è ancora inferiore si può utilizzare la risorsa per ottenere energia termica ad uso civile o industriale qualora il pozzo sia in prossimità di un numero sufficiente di utenze.

Attualmente il costo del kWh ottenuto da 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, pari a 0,06-0,07 € (fonte ENEL).

Si tratta di valutazioni conservative in quanto i costi sono calcolati considerando la vita dell'impianto di 20 anni, mentre le centrali geotermiche hanno vita tecnica più lunga, dimostrata da impianti in esercizio da più di 50 anni. Le centrali geotermiche non hanno infatti il generatore di vapore, presente invece nelle centrali termoelettriche, e che rappresenta il componente che ne riduce la vita e aumenta la manutenzione e i costi.

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

Ciò si può fare, ad esempio, operando in zone con lunghe stagioni di riscaldamento, oppure utilizzando il calore anche per il raffrescamento estivo di uffici e abitazioni, o ancora utilizzandolo per il riscaldamento invernale e in estate in processi produttivi.

Altra possibilità è quella di usare il calore in cascata, alimentando successivamente processi che hanno bisogno di temperature via via decrescenti.





**EPIQ S.r.l.**

mail [info.epiq@gmail.com](mailto:info.epiq@gmail.com); cell. +39 335 7616360  
Via Soella n.21 36066 Sandrigo (VI) - Italia