

*A. Manzella, E. Trumphy - CNR  
M. Angelone - ENEA  
F. Moia - RSE*

## DESCRIZIONE TECNICA

La tecnologia geotermica utilizza l'energia termica del sottosuolo per produrre calore utile a climatizzare gli ambienti e i processi agricoli e industriali, o per produrre elettricità.

Si distinguono due principali ambiti tecnologici: 1) tecnologie per la produzione di energia elettrica e per l'uso diretto del calore che utilizzano i sistemi idrotermali, ovvero fluidi caldi (superiori alla temperatura ambiente) provenienti da falde sotterranee a profondità variabili da pochi metri a diversi chilometri di profondità (Deep Geothermal); 2) le pompe di calore geotermiche (GSHP, Ground-Source Heat Pump) che sfruttano la stabilità termica del sottosuolo entro i 200 m di profondità per climatizzare gli ambienti (Shallow Geothermal).

Le pompe di calore geotermiche aggiungono ai componenti principali della pompa di calore in senso stretto uno scambiatore di calore esterno, attraverso il quale viene assorbito (o ceduto) calore al terreno o ad una massa d'acqua per il riscaldamento e il raffrescamento di ambienti. Questi impianti sono sostanzialmente dei sistemi aperti, dove l'acqua di falda è pompata in superficie e re-immessa nel sottosuolo mediante pozzi opportunamente realizzati, dopo aver effettuato lo scambio termico. Nei sistemi chiusi (BHE, Borehole Heat Exchanger), il fluido di circolazione fluisce in un sistema di tubature posizionate nel terreno a profondità variabili in funzione della configurazione finale. Nelle sonde geotermiche o sonde di geoscambio (termine generalmente utilizzato per gli apparati di scambio termico in sistemi chiusi) il trasferimento del calore dal terreno al fluido di circolazione avviene lungo la superficie interna della tubazione. Questi impianti sono classificabili in base alle caratteristiche in: sonde orizzontali, sonde verticali, e geostrutture e sono adatte alla climatizzazione di singoli abitazioni, edifici e/o gruppi di edifici con capacità che varia da 10 kWth ad oltre 500 kWth. Gli usi diretti del calore geotermico sono molteplici: il teleriscaldamento geotermico è quello più diffuso, ed è un sistema in cui il calore prodotto da un impianto centralizzato viene inviato alle utenze finali attraverso una rete di distribuzione. Il teleriscaldamento richiede la produzione da acqua a temperatura superiore a 50-60 °C ottenuta, talvolta, con l'ausilio di pompe di calore. La potenza può variare da 0,5 MWth a 10 MWth. Avendo a disposizione temperature più elevate sarà possibile produrre sia energia elettrica che calore per il teleriscaldamento, in sistemi di cogenerazione (Combined Heat and Power, CHP).

Per la produzione di elettricità, in sistemi geotermici con temperature da 100 °C a 350 °C, si utilizza il calore convertito in energia elettrica attraverso turbogeneratori. L'energia elettrica è prodotta in impianti a vapore oppure, nel caso di temperature inferiori a 150-200 °C, con impianti a ciclo binario. In entrambi i casi, un fluido in fase vapore mette in movimento una turbina, la cui energia meccanica è poi trasformata in energia elettrica tramite un generatore. Gli impianti che utilizzano il vapore geotermico richiedono fluidi con una temperatura elevata, usualmente superiore a 180 °C. Tanto più elevato è il contenuto in vapore del fluido, tanto maggiore sarà il rendimento energetico. Gli impianti in cui la fase dominante nel serbatoio è il vapore, utilizzano turbine a vapore a condensazione o a contropressione. Nel primo caso, il vapore in uscita dalla turbina subisce una fase di condensazione mentre, nel secondo, il vapore è scaricato direttamente in atmosfera. Negli impianti che utilizzano serbatoi ad acqua dominante, il vapore è prodotto a partire dall'acqua pressurizzata. L'operazione può essere realizzata in due modi. Il primo consiste nel depressurizzare il fluido producendo vapore, processo di flash. Il secondo trasferisce il calore a un fluido a più bassa temperatura di ebollizione che evolve in un ciclo chiuso a condensazione; in questo caso si parla di ciclo binario. La convenienza dell'applicazione di un sistema rispetto all'altro dipende unicamente dalle condizioni termodinamiche della sorgente geotermica. Numerose e complesse sono le attività di R&S legate alla geotermia. Una menzione particolare spetta alle tecniche di perforazione che in questo campo di applicazione richiedono accorgimenti particolari a causa delle elevate temperature, dei livelli competenti di rocce e presenza di fluidi chimicamente aggressivi e conseguenti problematiche legate alla corrosione dei materiali. Questi fattori rappresentano il principale onere nella messa in opera di impianti per lo sfruttamento di risorse geotermiche profonde. Sono in fase di studio tecniche di perforazione termiche (spallation, laser ablation, plasma), elettromagnetica con frequenza millimetrica, con impulsi elettrici ad alto voltaggio. Anche i materiali utilizzati per la cementazione, rivestimento o utilizzati come fluido di raffreddamento sono studiati per limitare la corrosione, la deposizione di silice e calcite e per migliorare l'efficienza di conversione del calore. La presenza di inquinanti specifici nelle emissioni geotermiche richiedono il continuo miglioramento delle tecnologie dei sistemi di abbattimento, controllo e trattamento, soprattutto del gas. Per quanto riguarda le risorse geotermiche superficiali, un vasto campo di ricerca è rappresentato dai sistemi UTES (Underground Thermal Energy Storage) di stoccaggio stagionale del calore o del freddo. Essi sono studiati per stoccare e utilizzare in un momento successivo sia il calore derivante da sorgenti rinnovabili (sole, energia geotermica ecc.) sia quello prodotto come scarto di altri processi (calore prodotto da combustibili fossili e residuo rispetto all'uso primario). Un ambito di ricerca importante per lo sfruttamento dei sistemi geotermici profondi, e in particolare per la produzione di energia elettrica o la cogenerazione, è quello dei sistemi geotermici non convenzionali, termine

utilizzato per distinguerli dai sistemi idrotermali, in quanto richiedono tecnologie particolarmente avanzate, ancora in via di sviluppo. Essi includono sistemi:

- geotermici stimolati (Enhanced, o Engineered Geothermal Systems, EGS), sistemi geotermici nei quali il classico serbatoio contenente il fluido geotermico è assente o molto scarso e si crea artificialmente mediante fratturazione della roccia calda secca in modo da creare il loop virtuoso tra i pozzi di iniezione e di estrazione e quindi riuscire a produrre energia
- geopressurizzati e co-prodotti, ossia acquiferi confinati ad alta pressione associati a idrocarburi
- magmatici, costituiti da corpi e/o camere magmatiche superficiali a temperatura estremamente elevata
- a fluidi supercritici, ovvero fluidi profondi con temperature e pressioni oltre il punto critico dell'acqua pura
- a salamoia calda, in cui le acque idrotermali originali hanno subito un lungo processo di concentrazione salina.

## STATO DI AVANZAMENTO

### Internazionale

**Energia elettrica:** 2,1 GWe installati con una produzione di 11,3 TWh da 68 impianti (capacità installata di 0,95 MWe e produzione di 5,56 TWh in EU-28, con 51 impianti)

**Uso diretto del calore:** 24,5 GWth (15,1 GWth in EU-28 di cui 13,9 da pompe di calore geotermiche, 1,1 GWth per teleriscaldamento da 162 impianti)

L'uso geotermico diretto (quindi non per la produzione di energia elettrica) più diffuso in Europa per potenza termica installata, è rappresentato dalla climatizzazione di ambienti con pompe di calore (68%) e dai sistemi di teleriscaldamento (15%). La potenza rimanente riguarda la balneologia – e altri usi affini: piscine, acquacoltura, scioglimento ghiaccio – (11%) e gli impieghi industriali e agricoli (6%) [3-5].

### Nazionale

L'Italia vanta un primato storico, essendo stata il primo paese al mondo a produrre energia elettrica dalla geotermia più di un secolo fa. Ancora oggi è tra i primi produttori nel panorama mondiale e al primo posto in Europa.

**Energia elettrica:** 0,9 GWe installati di cui [4][6-8]:

- 594,5 MWe a Larderello con 23 impianti in esercizio
- 200 MWe a Travale-Radicondoli con 8 impianti in esercizio
- 121 MWe Bagnore-Piancastagnaio con 6 unità in esercizio.

Per la produzione di energia elettrica sono utilizzati principalmente impianti a condensazione (795 MWe installati) e impianti a flash singolo (120 MWe installati). Soltanto 1 MWe è prodotto da impianti a ciclo binario. Il contributo alla capacità energetica nazionale è dell'1%, quello al fabbisogno nazionale di energia è del 2%.

**Uso diretto del calore:** 1,3 GWth installati ripartiti come segue [4][6-8]:

- 725 MWt da climatizzazione degli ambienti (di cui 550 MWt da pompe di calore). Gli impianti di teleriscaldamento principali sono quelli delle aree geotermiche toscane e quello di Ferrara
- 421 MWt da balneoterapia
- 69 MWt da usi agricoli (di cui 14 MWt da pompe di calore)
- 122 MWt da acquacoltura
- 18 MWt da processi industriali (di cui 4 MWt da pompe di calore).

## TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Le tecnologie di produzione sono considerate mature, ma sono numerose le necessità di R&S nei diversi settori tecnologici. Le innovazioni nel campo delle tecniche di estrazione, della corrosione dei materiali e dei dispositivi di misura, delle tecniche di indagini e di sfruttamento delle fonti termiche profonde, sono ancora allo studio e necessitano un miglioramento dei livelli tecnologici (TRL 4-6) [9].

## RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

Sono stati sperimentati impianti di cogenerazione e ibridi che combinano tecnologie geotermiche, solari-termiche e fotovoltaiche e biomasse. L'esempio d'impianto ibrido è quello di Ferrara, che combina la geotermia, un termovalorizzatore e una caldaia a gas per le richieste di picco. Un impianto ibrido che combina la geotermia con biomasse è recentemente entrato in produzione in Toscana.

Le prospettive più promettenti sono quelle di co-produzione di energia e calore in aree abitate, da realizzare sia combinando le diverse tecnologie geotermiche, che combinando fonti energetiche rinnovabili. Requisiti fondamentali: 1) la tracciabilità della biomassa 2) l'assenza di materiali e/o elementi inquinanti.

## ■ VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Lo sviluppo di tecnologie geotermiche per la produzione del calore può rappresentare un grosso contributo per i settori produttivi agroalimentari (serre, allevamento di animali, produzione di alimenti, etc.) e di processo industriale. Il progetto VIGOR ha anche esplorato la geotermia in un contesto per l'utilizzo ad uso civile, proponendo tecnologie geotermiche per l'essiccazione di fanghi reflui provenienti da impianti di depurazione delle acque reflue.

Queste tecnologie sono ispirate a criteri di efficienza energetica e come contributo alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico nazionale. Lo sviluppo della geotermia impatta sulla crescita dell'economia locale (indotto, sostegno al tessuto produttivo, conservazione delle competenze del territorio, formazione del personale tecnico per manutenzione impianti, ecc.) e sull'attività di pianificazione territoriale in chiave sostenibile. Un beneficio non trascurabile è quello dell'incremento di *green jobs*, soprattutto di alta specializzazione, con attività peculiari per il settore.

## ■ POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

Le caratteristiche geologiche del territorio italiano sono particolarmente favorevoli allo sviluppo della geotermia e potrebbero permettere lo sfruttamento di questa risorsa tramite quasi tutte le tecnologie disponibili potendo sfruttare risorse a bassa, media ed alta entalpia a diverse profondità e in numerose aree del paese. Una stima ufficiale del potenziale geotermico riferito a tutto il territorio è mancante ma si evidenzia che recentemente il MiSE ha pubblicato la zonazione geotermica del territorio italiano a scala comunale che può essere un valido aiuto per individuare le aree più favorevoli e in particolare anche quelle a media entalpia [18]. Il Decreto Legislativo 11 febbraio 2010 n. 22 e successive modifiche [19], favorisce la sperimentazione su tutto il territorio nazionale di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza e con potenza nominale non superiore ai 5 MWe per ciascuna centrale. Per lo sfruttamento della bassa entalpia sarebbe opportuno avviare una caratterizzazione e classificazione dettagliata delle aree sfruttabili a carattere locale i cui costi elevati per l'individuazione ottimale della risorsa geotermica ne limitano lo sviluppo specialmente a livello dei singoli cittadini. Un'attività al riguardo è stata intrapresa del CNR con il progetto VIGOR su 4 regioni italiane (Calabria, Campania, Puglia e Sicilia). L'aspetto più critico per lo sviluppo di impianti geotermici che utilizzino le risorse profonde è la disponibilità di volumi d'acqua sufficienti: la tecnologia della re-iniezione può garantire la sostenibilità della risorsa e evitare il depauperamento delle falde, ma con le attuali tecnologie la permeabilità richiesta è piuttosto elevata. Al riguardo le simulazioni numeriche sono strumenti fondamentali e hanno dimostrato la fattibilità e sostenibilità dei progetti geotermici [20].

Tecnologie EGS potrebbero superare questo limite, ma al momento non sono ancora ingegnerizzate e il rischio di sismicità indotta non è proponibile in Italia anche per la scarsa conoscenza del fenomeno in sé [2][10].

## ■ IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Se installati senza le dovute cautele, i sistemi geotermici a pompa di calore (soprattutto quelli a sonde geotermiche verticali e ad acqua di falda) potrebbero danneggiare la qualità delle falde sia nella fase di messa in opera sia in quella di esercizio.

Gli impianti geotermici per usi diretti del calore e i sistemi binari per la produzione di energia elettrica, hanno un'ottima compatibilità ambientale, poiché il fluido geotermico è perfettamente confinato e non può rilasciare nell'ambiente eventuali sostanze inquinanti.

Potenziati impatti ambientali negativi possono tuttavia presentarsi durante la costruzione, l'esercizio e il successivo smantellamento dell'impianto geotermico. Fra questi, i principali punti di criticità sono:

- **impatto visivo e uso del suolo:** nella fase esplorativa (temporanea), l'impatto è dovuto alla rimozione della vegetazione, alla costruzione e/o l'adattamento delle strade di accesso, alla presenza fisica dei veicoli in movimento. Nella fase di esercizio, l'impatto è imputabile alla presenza delle tubazioni che trasportano il fluido geotermico, delle linee di trasmissione, della centrale e delle torri di raffreddamento. L'impianto geotermico occupa un'area di circa 5-10 ettari e raggiunge un'altezza massima di 18 m con le torri di raffreddamento
- **emissioni in atmosfera:** i fluidi geotermici, in particolar modo quelli con temperature molto elevate, possono contenere  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$  e altri gas presenti in traccia. Quando le emissioni sono considerate critiche, i livelli di questi composti devono essere abbattuti
- **rumore e vibrazioni:** durante la fase di produzione di energia, vari componenti dell'impianto generano rumore. Il rumore più rilevante è prodotto dal trasformatore, dalle torri di raffreddamento e dalla turbina. In generale, il livello di rumore prodotto da una centrale a ciclo binario è più alto rispetto a quello di una centrale di tipo flash e varia da 85 a 90 dB(A)
- **subsidenza:** la produzione di energia geotermica comporta, soprattutto nei campi ad acqua, l'estrazione di grandi quantità di fluido dal sottosuolo che può indurre una variazione del campo di stress nel serbatoio (diminuzione della pressione interstiziale e aumento della tensione effettiva) con conseguente deformazione delle rocce. Tale deformazione può essere trasferita in superficie generando movimenti verticali e/o orizzontali del terreno. La pratica della re-iniezione e iniezione di fluido nel sottosuolo ha ridotto drasticamente o eliminato questo fenomeno

- **sismicità indotta:** riguarda alcuni progetti EGS, ed è un fenomeno legato all'asestamento delle rocce del serbatoio perturbate in seguito alla fratturazione indotta per aumentarne la permeabilità. La fratturazione può essere ottenuta mediante pompaggio di acqua ad alta pressione nelle fratture, utilizzando prodotti chimici.
- **contaminazione delle falde acquifere:** il rischio di contaminazione dell' acquifero si può verificare sia durante la fase di perforazione: "blow out" dei pozzi e perdita di fluido geotermico, di oli minerali lubrificanti, ecc., sia nella successiva fase di reiniezione del fluido geotermico nel serbatoio. Ad esempio, per deterioramento delle pareti del pozzo e conseguente percolazione del fluido nella falda. La riduzione di questo rischio è facilmente raggiungibile tramite una progettazione accurata e il costante controllo di qualità durante le fasi di costruzione, perforazione e di funzionamento dell'impianto.

### Emissioni CO<sub>2</sub>/MWh

Gli impianti geotermici non producono CO<sub>2</sub> in quanto non è presente alcun tipo di combustione mentre i fluidi geotermici di alta temperatura contengono CO<sub>2</sub> di origine naturale, in quantità variabile a seconda del chimismo e del tipo di risorsa.

La media di CO<sub>2</sub> naturale emessa dalle centrali a flash è di 397 lbs/MWh, mentre una centrale a condensazione emette una media di 60 lbs/MWh [11-12]. Gli impianti binari e di teleriscaldamento non producono emissioni in atmosfera in quanto i gas incondensabili sono raramente presenti nel fluido geotermico (si tratta di risorse di temperatura medio-bassa) e sono facilmente trattenuti all'interno di un circuito chiuso, e successivamente reiniettati.

### Emissioni CO<sub>2</sub>/MWh evitate

La geotermia permette di risparmiare circa 1,4 Tonn di petrolio all'anno per produzione di energia elettrica, e di 0,4 Mt/a per uso diretto del calore. Questo equivale ad un risparmio di 0,55 Mt/MWh di CO<sub>2</sub> con la produzione di energia elettrica, e di 0,1 kt/MJ con l'uso del calore per usi diretti [10].

## EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

La geotermia [9] permette di produrre energia con continuità e ha un capacity factor di circa il 90% (96% nel caso di produzione di energia elettrica). Gli impianti per la produzione di energia elettrica, teleriscaldamento e cogenerazione hanno un tempo di vita medio di riferimento di 30 anni. L'efficienza dei sistemi con pompe di calore geotermiche (Seasonal Factor, includendo riscaldamento e raffreddamento) è mediamente superiore a 4%. Il Performance Indicator è circa del 75%. Con la tecnologia disponibile l'efficienza energetica è del 7-15% per impianti geotermoelettrici e del 35-60% per impianti di cogenerazione (elettricità e calore).

## PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

I costi di investimento degli impianti geotermici sono attualmente molto elevati, specie per l'utilizzo di risorse profonde, in quanto il costo della perforazione rappresenta il 40-50% del costo totale. A titolo esemplificativo, le due figure descrivono la distribuzione dei costi per due utilizzi principali in Europa: a sinistra i costi per un impianto di produzione di energia elettrica con sistema binario (ORC) in Germania, a destra i costi dell'impianto di teleriscaldamento del bacino di Parigi (Figura 1) [14].

Il Levelized Cost of Energy (LCOE) medio calcolato per il 2012 e previsto per il 2030 è riportato in tabella[9].

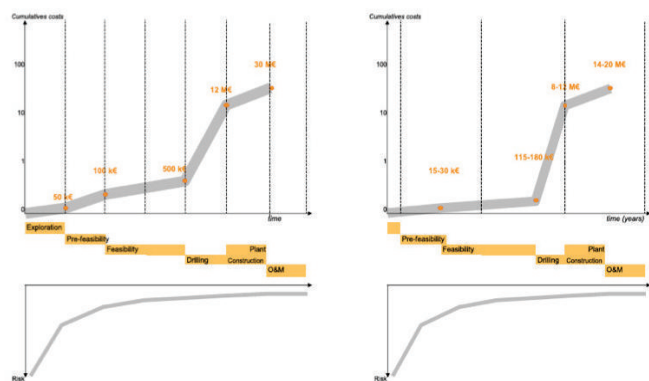


Figura 1 Esempi di costi di impianti geotermici

Tecnologia	2012 (€-ct /kWh)	2030 (€-ct /kWh)
Produzione di energia elettrica e co-produzione di calore e elettricità	7 per sistemi di alta temperatura, 15 per sistemi di temperatura media e 25 per sistemi EGS	4, 7 e 7, rispettivamente
Pompe di calore geotermiche	10 per sistemi di piccola taglia, 6 per sistemi di grossa taglia e UTES	5 e 7, rispettivamente
Teleriscaldamento	5	4
Rimanenti usi diretti del calore	7	4

## PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

Tra i principali fattori tecnologici e non tecnologici [13] che ostacolano il rilancio della geotermia sul territorio nazionale si citano:

- Elevati costi di perforazione e costruzione dell'impianto
- Mancanza di incentivi e regimi assicurativi che coprano il rischio minerario
- Tempi di rilascio dei titoli minerari troppo lunghi (in Italia questo ostacolo è particolarmente critico)
- Ridotto numero di professionisti idonei all'installazione e manutenzione
- Scarsa accettabilità sociale e sindrome Nimby
- Insufficiente campagna di informazione e disseminazione anche da parte delle amministrazioni
- Mancanza di investimenti per aspettative a lungo termine dei tempi di ritorno.

## POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

Considerata la produzione annua di energia elettrica e il tariffario italiano, la geotermia produce un fatturato annuo di circa 700 milioni di euro. I dati inerenti gli investimenti in ricerca da parte dell'industria e degli enti pubblici sono poco noti, soprattutto quelli inerenti la produzione di calore ma sono comunque modeste.

La Geothermal Roadmap [9] prevede investimenti in attività di R&S di 740 milioni di euro nei prossimi anni che, se opportunamente intercettati, potrebbero rappresentare un evidente beneficio per questo comparto a livello nazionale, considerate le competenze acquisite in questo settore.

## POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

Gli attori italiani già indicati esportano la tecnologia, soprattutto per produzione di energia elettrica, in numerose parti del mondo.

## POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

La geotermia permette di risparmiare energia ed emissioni nei settori industriale, nel residenziale per la climatizzazione geotermica e nel terziario.

## MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

### Utilizzo della tecnologia

I principali attori coinvolti nell'utilizzo della tecnologia sono:

- Enel Green Power: produzione energia elettrica
- HERA: teleriscaldamento Ferrara
- GES: teleriscaldamento aree geotermiche toscane
- Le aziende termali di Ischia e Abano
- ESCO e PMI per installazione di sistemi di climatizzazione geotermica
- Comuni e amministrazioni locali nei territori che beneficiano di impianti di teleriscaldamento, oltre a privati che utilizzano impianti di teleclimatizzazione geotermica.

Da segnalare l'attività dell'Unione Geotermica Italiana società che rappresenta operatori e rappresentanti della ricerca geotermica; la Rete Geotermica comprende operatori industriali interessati alla produzione geotermoelettrica.

### Sviluppo della tecnologia

- Enel Green Power: sviluppo tecnologico per ottimizzare gestione impianti di produzione elettrica; sistema di abbattimento delle emissioni AMIS (Abbattimento Mercurio e Idrogeno Solforato); centrale geotermica integrata a biomassa (Cornia 2)
- Exergy S.p.a.: tecnologia ORC, sistemi ibridi
- Turboden S.r.l.: tecnologia ORC, sistemi ibridi
- Ansaldo-Tosi: turbine, componenti impianti produzione elettrica
- Nuovo Pignone-General Electric: turbine.

Per la costruzione delle pompe di calore non sono state individuate aziende che possono progettare impianti di grande potenza (ad es., le pompe installate presso la centrale di Milano-Canavese provengono dalla Svizzera). Sono invece numerose le PMI impegnate nello sviluppo di pompe di calore geotermiche, sistemi di geoscambio e UTES.

## ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

I maggiori attori in ambito geotermico sono:

**CNR:** tecnologie di esplorazione e valutazione della risorsa geotermica superficiale (pompe di calore geotermiche) e profonda, aspetti ambientali e sociali, pompe di calore, sistemi ibridi di generazione energia, materiali e sensori di alta temperatura

**INGV:** tecnologie di esplorazione e valutazione, soprattutto in aree vulcaniche, e monitoraggio ambientale

**OGS, Università di Bari, Università di Firenze, Università di Pisa, Università di Roma La Sapienza, Università di Roma3, Università di Trieste:** tecnologie di esplorazione e monitoraggio (OGS e UniTs esplorazione e monitoraggio)

**Università di Padova, Università di Torino e Politecnico di Torino:** tecnologie di valutazione e generazione da risorsa geotermica superficiale (pompe di calore geotermiche), UTES, modellistica idrogeologica (PoliTo)

**Politecnico di Milano, Università di Firenze, Università di Padova, Università di Napoli Federico II:** generazione elettrica con sistemi binari (PoliMi sviluppo di tecnologie innovative e ottimizzazione cicli ORC per produzione elettrica da sorgente geotermica) e ibridi

**Università di Napoli Parthenope:** progettazione impianti di teleriscaldamento

**Scuola Superiore S. Anna (SSUP), Università di Siena, ENERGENA (Società Consortile formata da CNR, SSSUP, Università di Pisa, CoSviG – Consorzio per lo Sviluppo delle aree Geotermiche):** aspetti ambientali e sociali

**ENEA:** attività di valutazione e monitoraggio, soprattutto di aspetti ambientali (geochimica ambientale e sismicità indotta). Sviluppo di tecnologie integrate con altre fonti rinnovabili.

## BEST PRACTICES

Diversi sono i Progetti europei dedicati allo sviluppo della tecnologia geotermica, tra i quali si citano:

- **GEOELEC:** per promuovere la produzione di energia elettrica da sistemi EGS, e GEO-DH per promuovere e accelerare la penetrazione del teleriscaldamento geotermico nei territori europei.
- **GROUND-MED:** per la dimostrazione di pompe di calore geotermiche di nuova generazione in clima mediterraneo, e ReGeoCities per promuovere la conoscenza e l'uso della geotermia a bassa profondità
- **GEOCOM:** per implementare 3 progetti di teleriscaldamento (di cui uno a Montieri, in Toscana)

- **GEISER:** per lo studio della sismicità indotta da EGS
- **IMAGE e DESCRAMBLE:** per lo sviluppo e ottimizzazione di tecnologie di esplorazione
- **GEMEX:** per migliorare le conoscenze tecnico scientifiche nel campo dell'EGS (Enhanced Geothermal Systems)

I progetti dimostrativi più importanti per il teleriscaldamento sono in Islanda, dove la sola geotermia viene utilizzata per il riscaldamento in particolare nella capitale Reykjavík, e il teleriscaldamento del bacino di Parigi.

A livello italiano si citano:

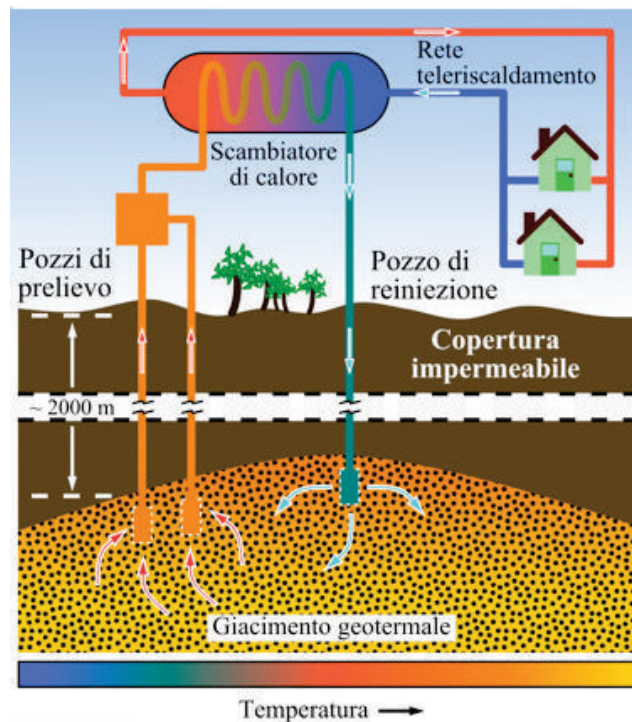
- i progetti dimostrativi di produzione di energia elettrica (aree toscane di Larderello-Travale-Radicondoli e Monte Amiata), le reti di teleriscaldamento geotermico da geotermia “profonda” della città di Ferrara e di numerose cittadine toscane e il progetto di teleriscaldamento con pompe di calore geotermiche di Milano e Brescia
- il progetto per la realizzazione della rete di teleriscaldamento geotermico della città di Grado
- il progetto VIGOR, finanziato con fondi POI, che ha valutato le risorse di 4 regioni e fornito 8 studi di fattibilità completi per progetti dimostrativi di variegati usi della geotermia
- il progetto Atlante Geotermico del Mezzogiorno che sta fornendo mappe di favorevolezza alla presenza di sistemi geotermici idrotermali e non convenzionali sul territorio del Mezzogiorno d'Italia
- i progetti proposti per la perforazione e utilizzo di risorse geotermiche ai Campi Flegrei.



Impianto geotermico in Islanda



Area geotermica in Islanda



Schema di funzionamento della centrale di Ferrara

## BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] S. Abate et al “ Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza”, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, Edizioni CNR – IGG Area della Ricerca di Pisa, ISBN: 9788879580120, (2014)
- [2] C. Albanese, et al “Progetto VIGOR – Valutazione del Potenziale Geotermico delle Regioni della Convergenza”, POI Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013, Edizioni CNR - IGG Area della Ricerca di Pisa, ISBN: 9788879580113, (2014)
- [3] Ruggero Bertani Geothermics 41, 1– 29, 2012
- [4] Ruggero Bertani - Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- [5] John W. Lund and Tonya L. Boyd. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- [6] Paolo Conti, Walter Grassi, Giancarlo Passaleva, Raffaele Cataldi Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- [7] Terna S.p.a. - “Dati Statistici sull’Energia Elettrica in Italia 2014”
- [8] Razzano, F. and Cei, M.. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- [9] Aposteanu A., et al J. and the Geothermal Panel of the European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling – Geothermal Technology Roadmap, EGEC, 2014
- [10] Buonasorte G., et al - Previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030 - Per un nuovo manifesto della geotermia italiana. Unione Geotermica Italiana, 2011
- [11] GEA, 2012 – “Geothermal Energy and Greenhouse Gas Emissions”
- [12] Felina Schütz, et al - Geothermal Electricity: Potential for CO<sub>2</sub> Mitigation. Deliverable n° 4.6 Geoelec Project, 2013
- [13] Gerdi Breembroek, Paul Ramsak, Adele Manzella, Eugenio Trumpy –, D2.3 Report, Geothermal ERA-NET Project, 2014, <http://www.geothermaleranet.is/>
- [14] GEOFAR Project Report (Intelligent Energy): Financial instruments as support for the exploitation of geothermal energy.
- [15] <http://www.vigor-geotermia.it>
- [16] Angelone M., Sylos Labini S. Overcoming Research Challenges for Geothermal Energy. 2015, European Commission, ERKC, pp. 36. <http://setis.ec.europa.eu/energy-research/>
- [17] Angelone M., Sylos Labini S. Thematic Tesearch Summary: Geothermal Energy. 2015, European Commission, ERKC, pp. 68. <http://setis.ec.europa.eu/energy-research/>
- [18] Zonazione geotermica del territorio italiano - In attuazione della risoluzione in materia di geotermia approvata nella seduta del 15 aprile 2015 dalle Commissioni Riunite VIII e X, <http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/geotermia/zonazione.asp>
- [19] Ricerca di risorse geotermiche finalizzata alla sperimentazione di Impianti Pilota, [http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/info/impianti\\_pilota.asp](http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/info/impianti_pilota.asp)
- [20] F. Colucci, R. Fuandalini, F. Moia, 2015. Modelli geologici e simulazione numerica di sistemi geotermici, Deliverable RSE Prot. 15000985, 224 pp.