



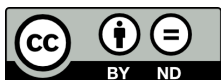
# scienza attiva<sup>®</sup>

EDIZIONE 2015/2016  
AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

*La geotermia: principi ed applicazioni*

Luca Guglielmetti

Università degli Studi di Torino, AG3 (Spin-Off)



Documento di livello: A

Un progetto di

  
agorà scienza  
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

  
scienza attiva<sup>®</sup>

# INDICE

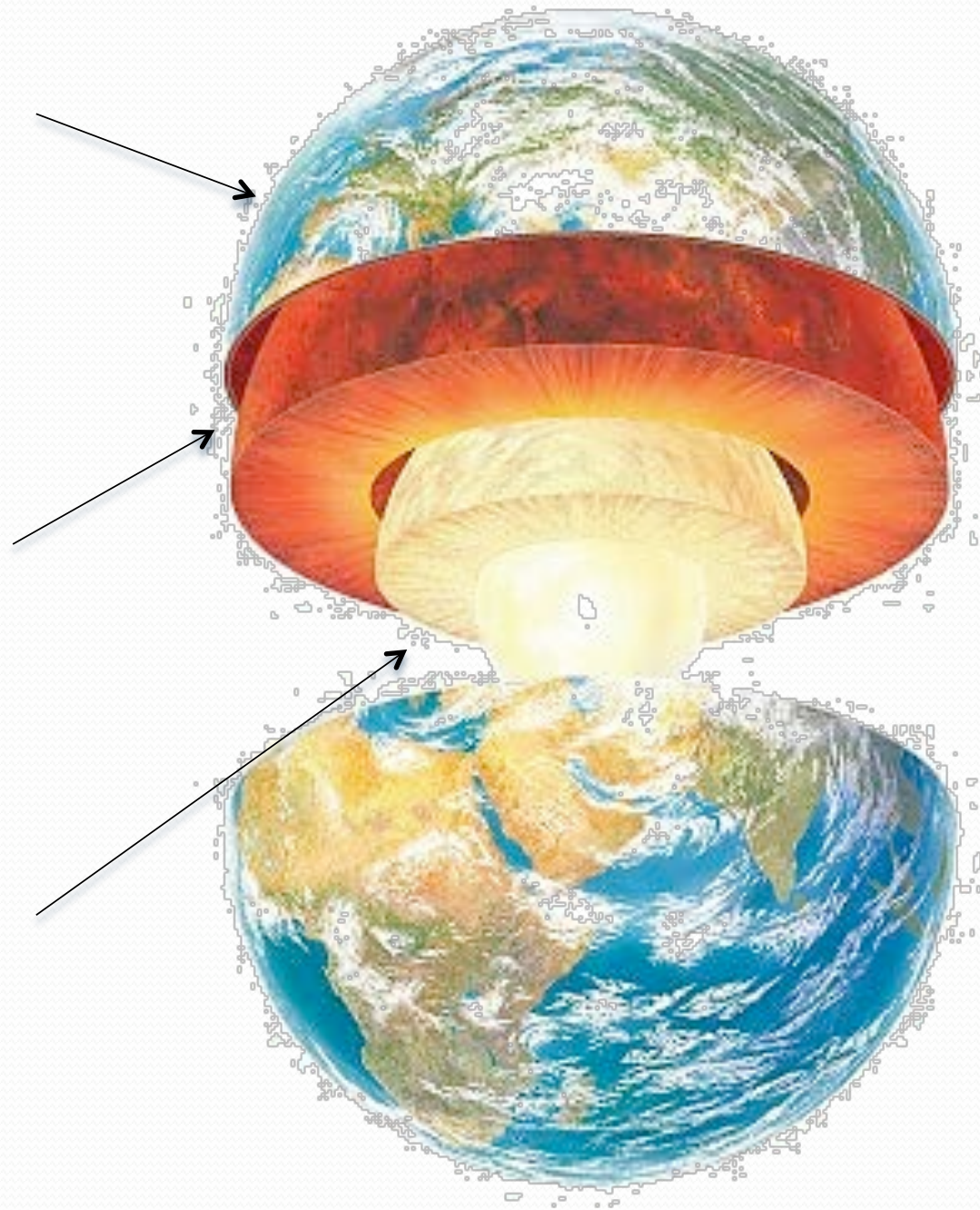
- La Struttura Interna della Terra
- Breve Storia della Geotermia
- Cos'è l'energia geotermica e cos'è la Geotermia
- Natura delle Risorse Geotermiche
- I Sistemi Geotermici
- Utilizzazione della Risorsa Geotermica
  - Geotermia a Bassa Entalpia
  - Geotermia a Media Entalpia
  - Geotermia ad Alta Entalpia
  - Hot Dry Rocks HDR
  - Metodologie di esplorazione geotermica profonda
- Impatto Ambientale
- Prospettive di Sviluppo della geotermia
- Considerazioni Finali



# LA STRUTTURA INTERNA DELLA TERRA

Il nostro pianeta ha una struttura caratterizzata da diversi involucri concentrici:

- **Crosta:** La crosta si estende da 5 a 70 km in profondità ed è lo strato più esterno. Le parti più sottili sono formate dalla crosta oceanica composta da dense rocce (mafiche) costituite da ferro e silicato di magnesio, giacenti sotto i bacini oceanici come il basalto. La più spessa è la crosta continentale, la quale è meno densa ed è composta da rocce (felsiche) contenenti sodio, potassio, silicati e alluminio, come il granito.
- **Mantello:** si estende fino ad una profondità di 2890 km circa. Sebbene solido, le alte temperature del mantello fanno sì che i materiali silicatici che lo costituiscono siano sufficientemente duttili in modo che esso possa scorrere in archi di tempo molto lunghi dando origine ai moti convettivi che da origine in superficie ai movimenti delle placche tettoniche.
- **Nucleo:** costituito prevalentemente da ferro (80%) e nichel e suddiviso in Nucleo Esterno di circa ~3400 km di raggio, liquido, e Nucleo Interno, solido con un raggio di ~1220 km.

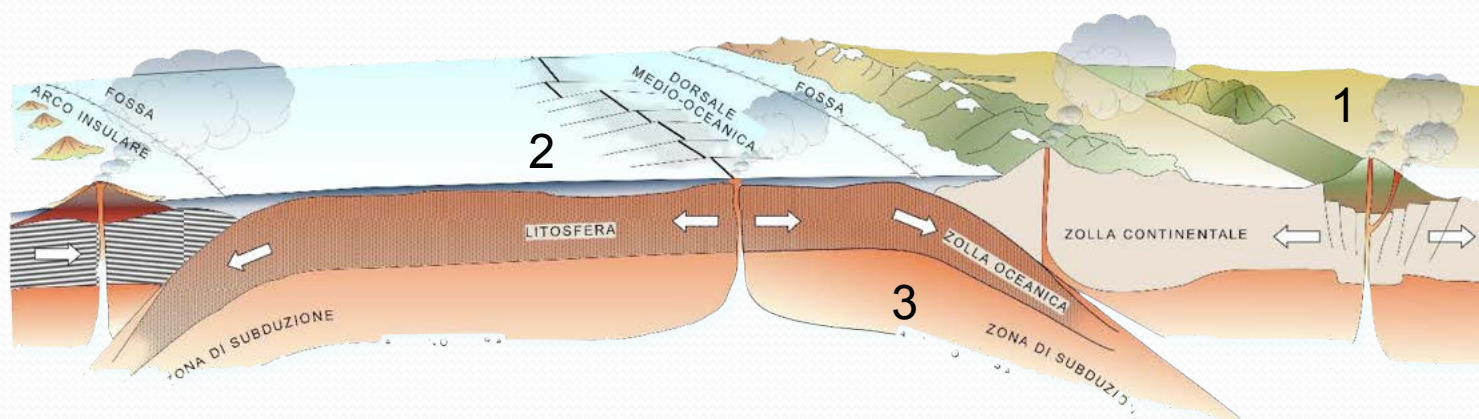




- Il **gradiente geotermico** fornisce la misura dell'aumento di temperatura con la profondità. In media è di 25-30°C/Km. Si può prevedere che la temperatura sia 90°-110°C a 3000m. Queste condizioni sono registrate ad esempio nel settore della Pianura Padana, o in ambiente montagnoso. Vi sono vaste regioni nelle quali il valore del gradiente geotermico può essere anche inferiore a 10°C/km oppure in certe "aree geotermiche" il gradiente può raggiungere valori superiori a dieci volte quello normale. Ad esempio in Italia, a Larderello nel sud della Toscana, la temperatura misurata in pozzi geotermici produttivi raggiunge più di 200°C a poche centinaia di metri di profondità con gradienti che superano i 300°/km. La differenza di temperatura tra le zone profonde, più calde, e quelle superficiali, più fredde, dà origine ad un **flusso di calore** dall'interno verso l'esterno della Terra, tendente a stabilire condizioni di uniformità, condizioni che non saranno mai raggiunte generando così un flusso di calore.
- L'involucro esterno del globo, che prende il nome di **litosfera**, è formato dalla crosta e dalla parte più esterna del mantello. La litosfera, che ha uno spessore che va da meno di 80 km nelle aree oceaniche a più di 200 km in quelle continentali, si comporta come un corpo rigido. Sotto la litosfera si trova l'**astenosfera**, formata dalla parte alta del mantello che, rispetto alla prima, ha un comportamento "meno rigido" o "più plastico".
- Le differenze di temperatura tra le diverse parti dell'astenosfera hanno prodotto **moti convettivi** nei materiali che la costituiscono. Il loro lentissimo movimento (pochi centimetri l'anno) è sostenuto dal calore prodotto in continuazione dal **decadimento degli isotopi radioattivi** (calore radiogenico) e da quello che proviene dalle parti profonde del pianeta. Enormi volumi di rocce profonde, allo stato fuso o semifuso, più calde, meno dense e più leggere dei materiali sovrastanti, risalgono verso la superficie, mentre le rocce più vicine alla superficie, più fredde, più dense e più pesanti, tendono a scendere per riscaldarsi e risalire di nuovo, con un meccanismo che assomiglia a quello che si instaura in una pentola quando si riscalda dell'acqua.
- Nelle zone dove è più sottile, e soprattutto nelle aree oceaniche, la litosfera è spinta verso l'alto e fratturata dal materiale molto caldo e parzialmente fuso, che risale dall'astenosfera in corrispondenza dei rami ascendenti delle celle convettive. È questo meccanismo che ha formato, e tuttora forma, le **dorsali**, che si estendono per oltre 60.000 km sotto gli oceani, emergendo in alcune zone (Azzorre, Islanda) e talvolta insinuandosi tra i continenti come nel Mar Rosso. Una frazione relativamente piccola di rocce fuse, che risale dall'astenosfera, emerge dalla cresta delle dorsali e, a contatto con l'acqua marina, solidifica e forma nuova crosta oceanica. La maggior parte del materiale che risale dall'astenosfera, tuttavia, si divide in due rami, che scorrono in direzioni opposte sotto la litosfera. La continua formazione di nuova crosta e l'effetto di trascinamento dovuto ai due flussi, che scorrono in direzioni opposte, fanno in modo che i fondali oceanici, posti sui due lati delle dorsali, si allontanino l'uno dall'altro ad una velocità di pochi centimetri l'anno. Di conseguenza, la superficie dei fondali oceanici tenderebbe ad aumentare.

Le dorsali sono tagliate perpendicolarmente da enormi fratture, talvolta lunghe qualche centinaio di chilometri, chiamate **faglie trasformi**. Questi fenomeni portano ad una semplice osservazione: poiché non c'è evidenza di un aumento della superficie della Terra nel tempo, la formazione di nuova litosfera lungo le dorsali e l'espansione dei fondi oceanici devono necessariamente essere compensate da una riduzione (o assorbimento) della litosfera, di pari entità, in altre parti del pianeta. In effetti, questo è quello che avviene nelle **zone di subduzione**, le maggiori delle quali si trovano in corrispondenza delle grandi fosse oceaniche, come quelle che si estendono lungo il margine occidentale dell'Oceano Pacifico e lungo la costa occidentale dell'America Meridionale. Nelle zone di subduzione la litosfera si inflette verso il basso, si immerge sotto la litosfera adiacente e scende nelle zone profonde molto calde, dove è "digerita" dal mantello, e il ciclo ricomincia nuovamente. Durante la discesa, parte del materiale litosferico ritorna allo stato fuso e può risalire alla superficie attraverso fratture della crosta. Come risultato, parallelamente alle fosse, dal lato opposto a quello in cui si allungano le dorsali, si sono formati **archi magmatici** con molti vulcani. Laddove le fosse si trovano nell'oceano aperto, come nel Pacifico occidentale, gli archi magmatici sono formati da catene di isole vulcaniche; dove le fosse si trovano lungo i margini dei continenti, gli archi consistono di catene montuose con numerosi vulcani, come le Ande.

Le dorsali, le faglie trasformi e le zone di subduzione formano un enorme reticolato, che divide la Terra in **placche litosferiche** o zolle, sei di grandi dimensioni e numerose altre più piccole. A causa delle grandi tensioni prodotte dai fenomeni descritti precedentemente, le zolle si muovono, scivolano lentamente l'una contro l'altra, collidono e cambiano continuamente la loro reciproca posizione. I margini delle zolle corrispondono a zone di fragilità e di forte fratturazione della crosta, caratterizzate da un'elevata sismicità, dalla presenza di molti vulcani e, a causa della risalita di materiali fusi molto caldi verso la superficie, da un flusso di calore terrestre elevato.



Le frecce indicano la direzione del movimento delle zolle. (1) Campi geotermici che producono elettricità; (2) dorsali interrotte dalle faglie trasformi (fratture trasversali); (3) zone di subduzione, nelle quali la litosfera volge in basso verso l'astenosfera, dove fonde.





# BREVE STORIA DELLA GEOTERMIA



I vulcani, le sorgenti termali, le fumarole ed altri fenomeni superficiali di questo genere hanno certamente fatto intuire ai nostri progenitori che alcune parti dell'interno della Terra sono calde.



Old Faithful Geyser, Yellowstone National Park,  
Wyoming USA



Grand Prismatic Pool, Yellowstone National Park,  
Wyoming USA



Etna, Italia



Il rapporto delle antiche popolazioni italiche con le manifestazioni del calore terrestre risale al Neolitico medio-superiore (4°-3° millennio a.C.), periodo per il quale si hanno prove sulla frequentazione non occasionale delle località termali e sugli usi dei *sottoprodotti* dell'energia geotermica. Una storia, quindi, del rapporto uomo-geotermia, lunga in Italia almeno 5000 anni.

Le forme in cui si sviluppò tale rapporto dalla Preistoria al tempo di Roma furono di tre tipi:

- **un rapporto di tipo funzionale**, connesso alla pratica della balneologia termale ed all'uso di molti sottoprodotti del calore terrestre
- **un rapporto di tipo religioso** (in senso lato), derivante dal bisogno spirituale dell'uomo di credere nell'esistenza di forze soprannaturali dimoranti nel sottosuolo, capaci di manifestarsi in superficie con fenomeni tranquilli o parossistici a seconda dei luoghi.
- **un rapporto di tipo razionale**, originato dall'accumulo nei secoli di osservazioni ed esperienze sul modo in cui si manifestavano in superficie i fenomeni geotermici



*Il più antico bagno termale conosciuto in Italia, Lipari (1600 A.C.).*

Dopo la caduta dell'Impero Romano, il termalismo e l'uso dei sottoprodotti dell'energia geotermica subirono in Italia un forte declino per tutta la parte iniziale del Medio Evo (500-1000 d.C.), ma ebbero una certa ripresa nei primi secoli dopo l'anno mille, sia in Toscana che in alcune delle altre aree geotermiche italiane.

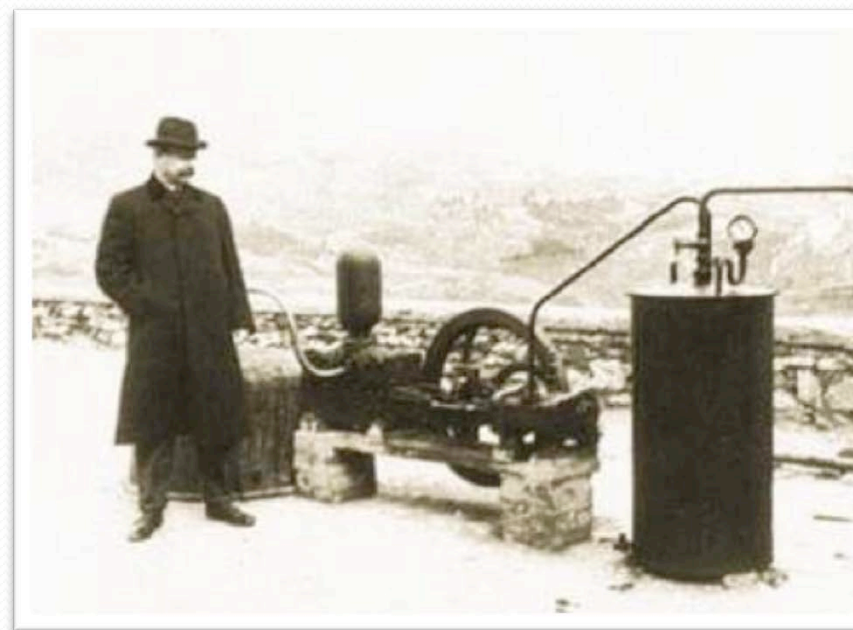
A partire poi dal 1400 circa la pratica della balneoterapia in alcune delle principali stazioni termali d'Italia e l'uso in certi luoghi di *minerali idrotermali* ed altri sottoprodotti del calore terrestre cominciarono ad avere una nuova fioritura che si verificò in particolare in Toscana nella zona oggi nota come *Regione Boracifera*.

A partire dal 1820 fino alla fine del XIX° secolo, lo sfruttamento dei prodotti idrotermali subì un ulteriore incremento grazie all'impeto imprenditoriale di Francesco Larderel che sviluppò a livello industriale la produzione di composti a base di Boro per scopi farmaceutici

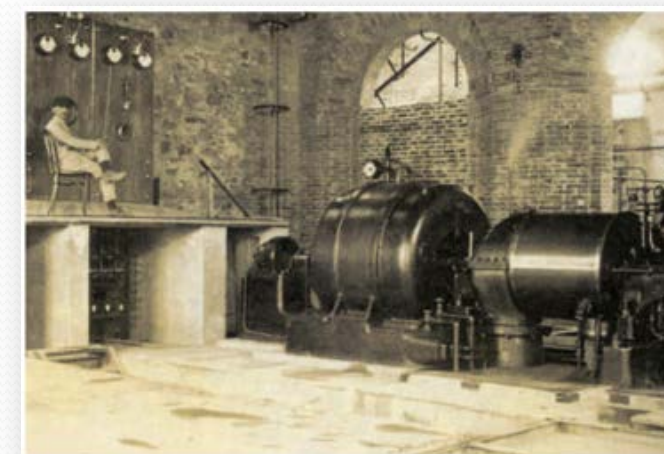




I primi utilizzi dei fluidi geotermici per la produzione di energia elettrica risalgono al 1904 quando il principe Piero Ginori accese cinque lampadine mediante una dinamo trascinata da un motore che utilizzava il vapore endogeno cioè quello proveniente direttamente dal sottosuolo.



Tra il 1910 ed il 1940, si avviò l'utilizzazione del vapore a per il riscaldamento di edifici e serre.

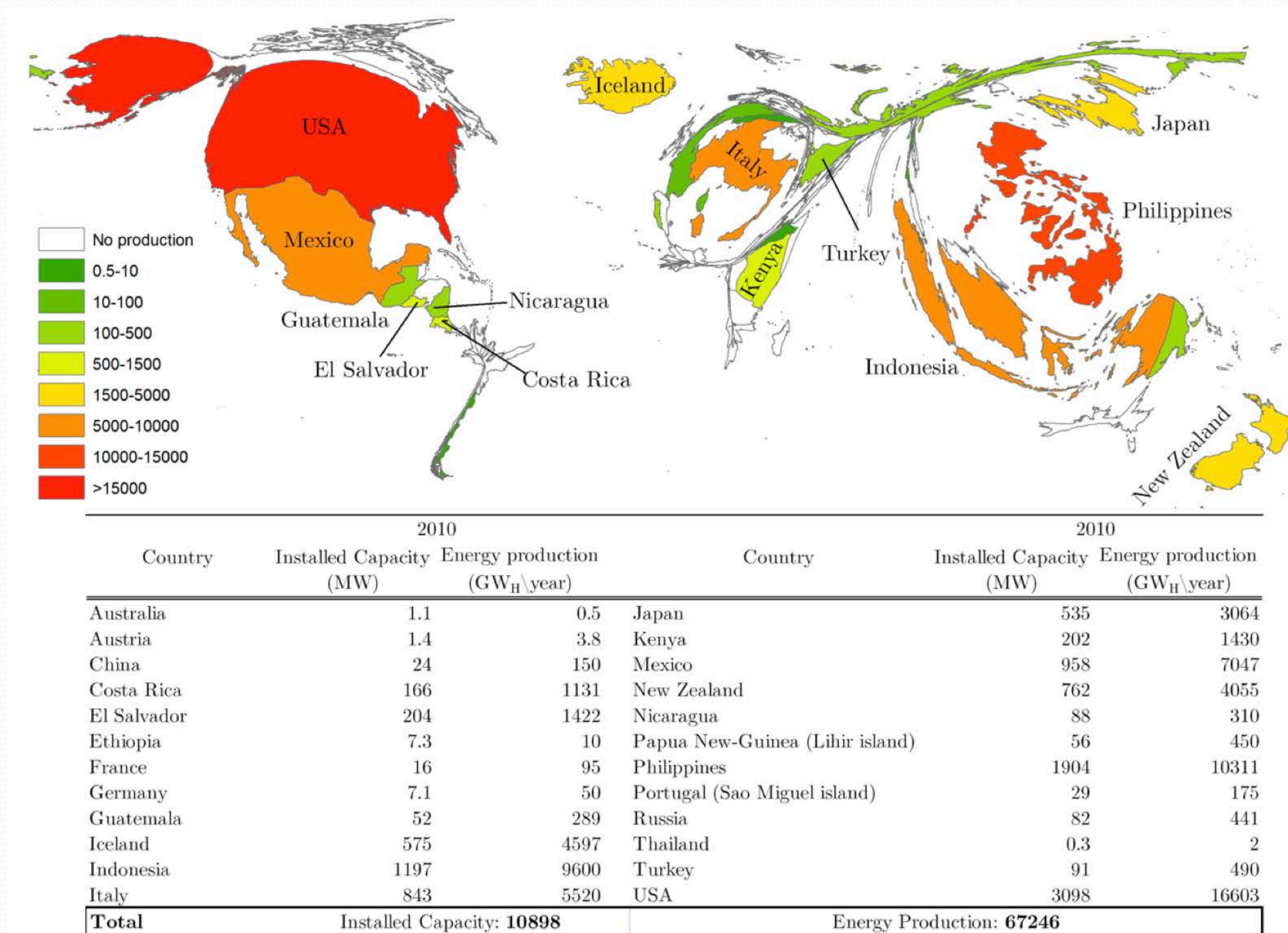


Dopo la II Guerra Mondiale, molti Paesi furono attirati dall'energia geotermica, considerandola competitiva rispetto ad altre forme di energia (costo è inferiore, è "indigena" e spesso l'unica localmente disponibile).

Per quanto riguarda gli usi non elettrici (o usi diretti del calore geotermico), se ne conoscono in più di 50 paesi (pompe di calore 34%, balneologia 26%, riscaldamento di ambienti 21%, serre 8%, acquacoltura 4%).



Ecco come sarebbe il mondo se le dimensioni degli stati fossero in funzione della produzione di energia elettrica da fonte geotermica  
(Update 2010)





# COS'E' L'ENERGIA GEOTERMICA E COS'E' LA GEOTERMIA

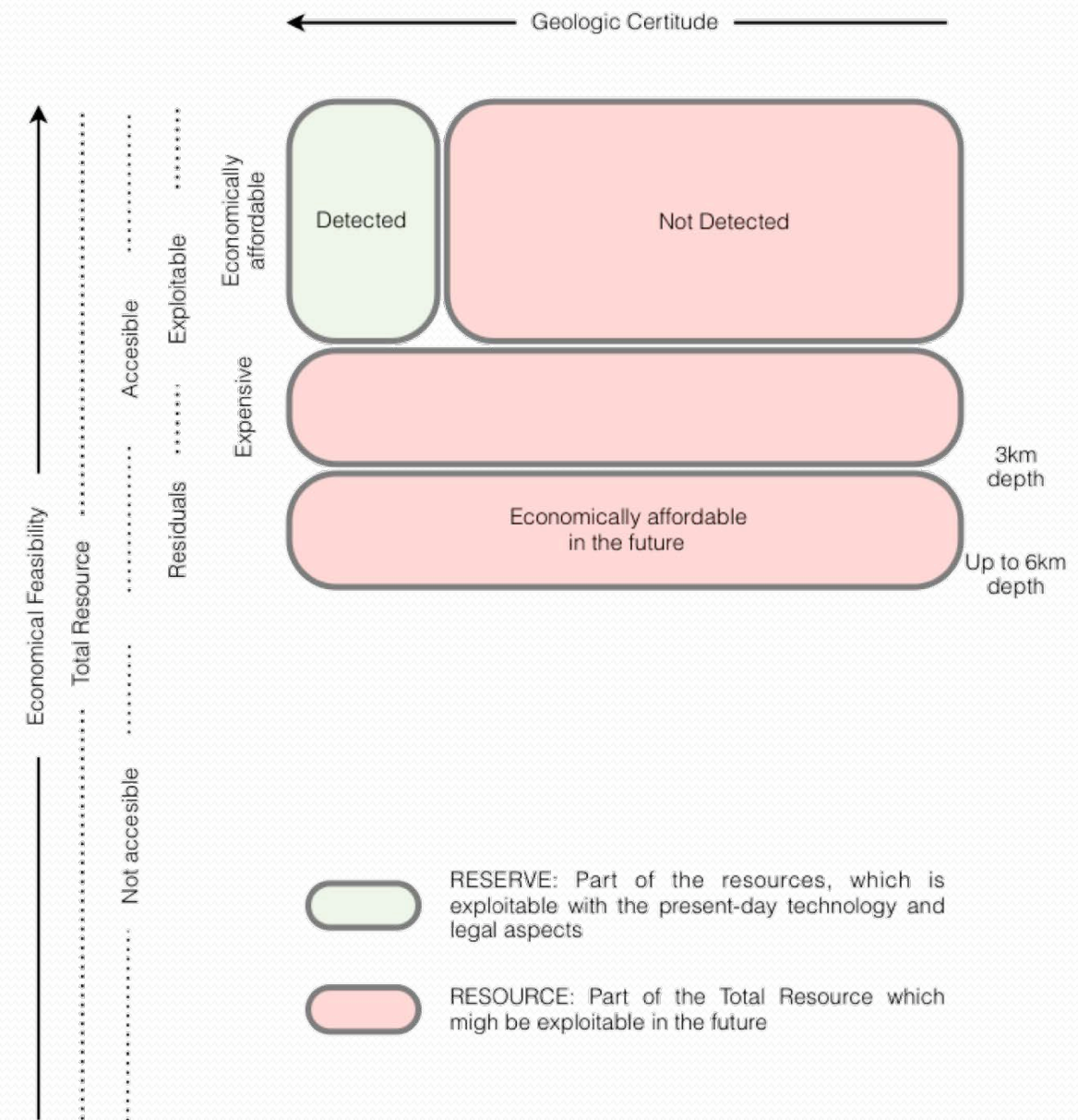
Il calore è una forma di energia e, in senso stretto, **l'energia geotermica è il calore contenuto nell'interno della Terra.**

Esso è all'origine di molti fenomeni geologici di scala planetaria. Tuttavia, l'espressione "energia geotermica" è generalmente impiegata, nell'uso comune, per indicare quella parte del calore terrestre, che può, o potrebbe essere, estratta dal sottosuolo e sfruttata dall'uomo.

E' opportuno distinguere tra **Risorse** e **Riserve**

Comprendono tutta l'energia termica accessibile e teoricamente sfruttabile in futuro a partire dalla superficie terrestre fino ad una determinata profondità

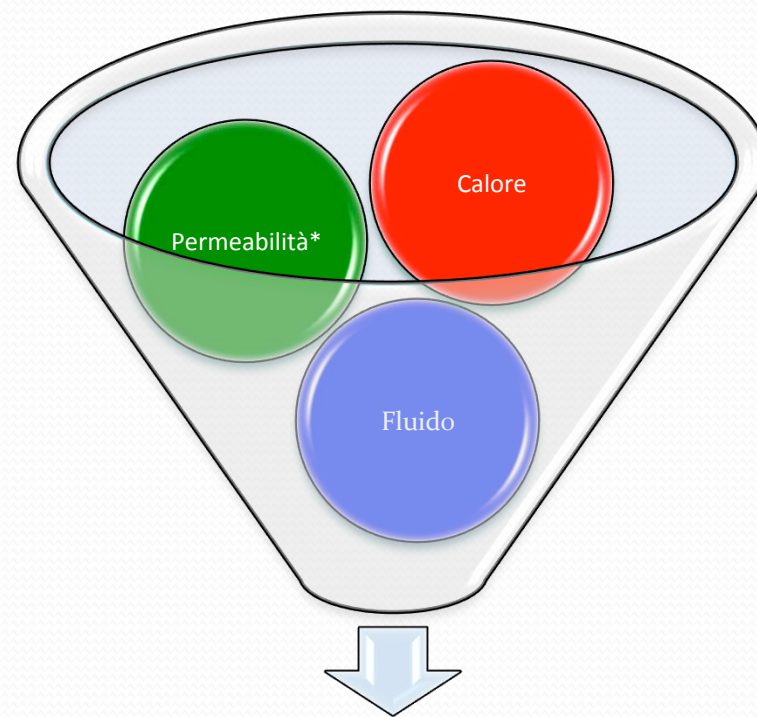
Comprendono quella porzione delle Risorse che sono effettivamente sfruttabili sia da un punto di vista tecnico-tecnologico sia economico e legale





La Geotermia è lo sfruttamento della Risorsa Geotermica

La ricetta è molto semplice  
bastano 3 ingredienti

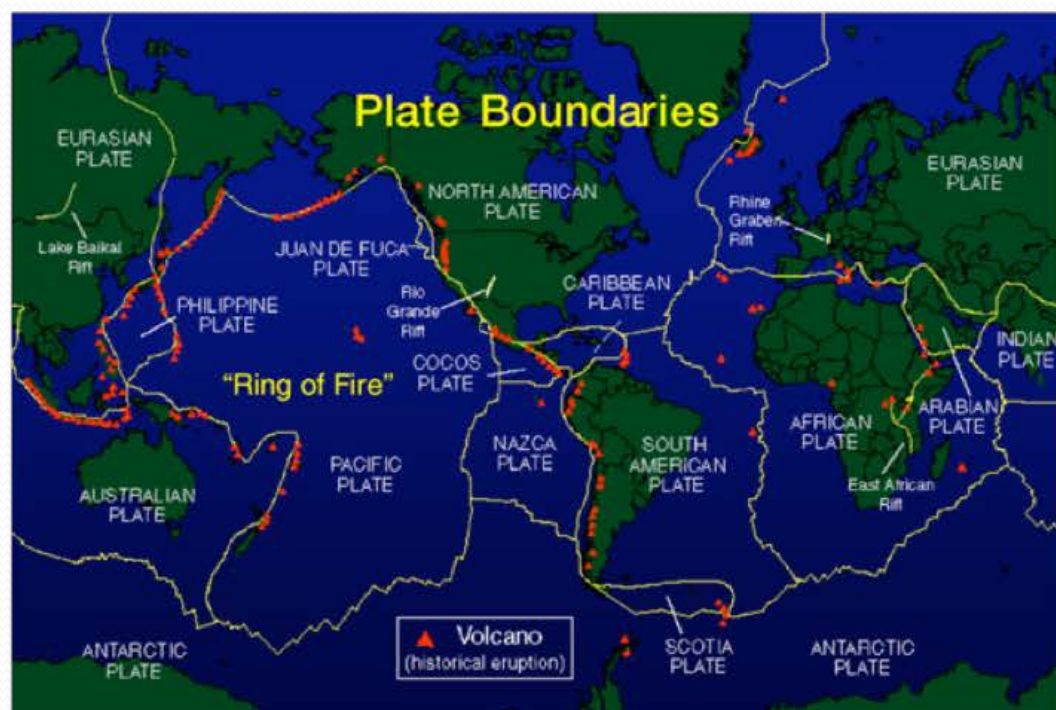


Risorsa Geotermica

\*La Permeabilità di unaroccia è la proprietà di essere attraversata da un fluido

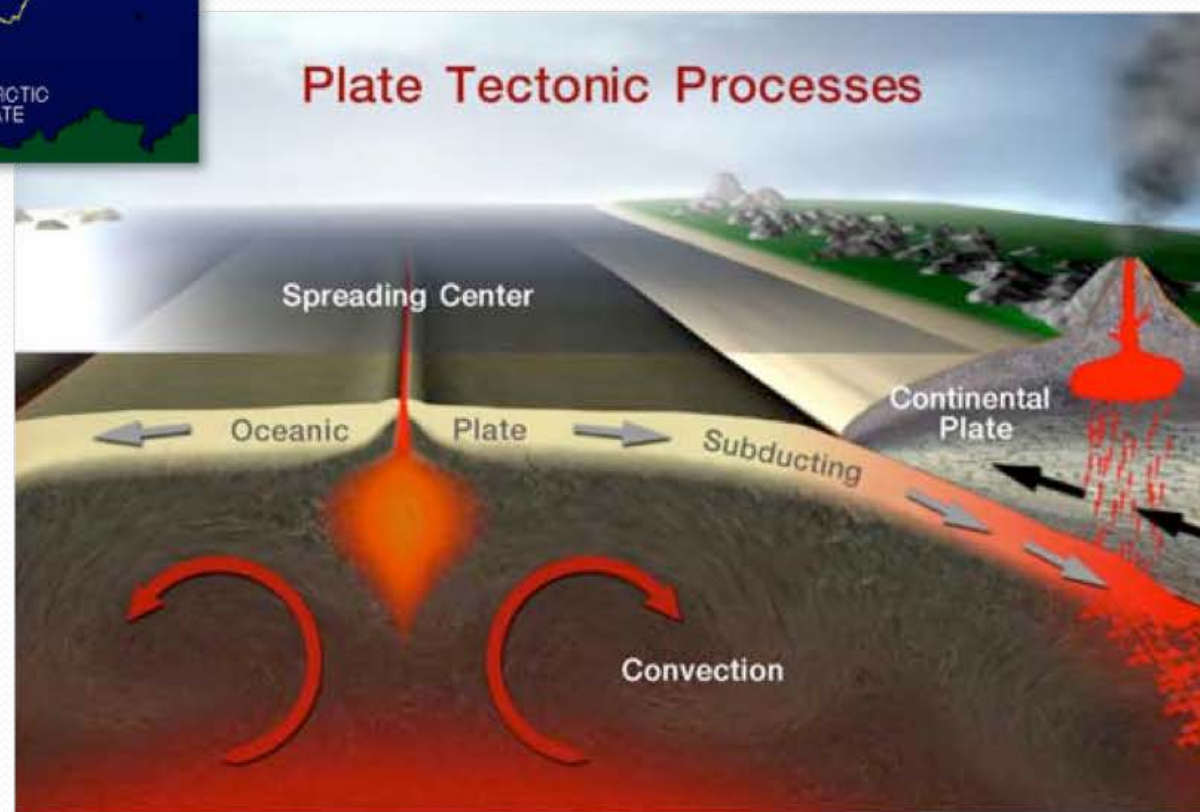


# NATURA DELLE RISORSE GEOTERMICHE



Le principali aree ad alto potenziale geotermico sono collocate in corrispondenza dei margini di placca

Processi legati alla tettonica delle placche





Al di sotto dei primi metri dalla superficie la temperatura tende ad aumentare in modo costante con un gradiente geotermico pari a 3°C/100m.

Il calore terrestre si propaga costantemente dall'interno verso l'esterno del pianeta attraverso:

**Moti conduttivi:** non associati a trasporto di materia

LEGGE DI FOURIER

$$q = -\lambda \cdot \Delta T$$

q: flusso di calore,  $\lambda$ : conducibilità termica,  $\Delta T$ : differenza di temperatura

nei terreni e nelle rocce il calore si trasmette attraverso la materia, senza movimento macroscopico di quest'ultima

Es. se scaldiamo un cubo di roccia il calore si propaga dalla zona della fonte di calore fino all'estremità opposta del cubo, di particella in particella, ma nulla si sposta al suo interno.

**MOTI CONVETTIVI:** il calore viene trasmesso attraverso un fluido vettore in movimento costituito da acqua (liquida e/o vapore) e gas.

Es. Quando scaldiamo l'acqua della pasta si creano dei moti circolari che portano l'acqua calda dalla zona più bassa alla zona più alta della pentola e di conseguenza l'acqua più calda risale e quella più fredda viene spinta in basso, per poi riscaldarsi e risalire e via così... In Geologia questi moti convettivi sono quelli che portano, ad esempio, alla formazione delle sorgenti termali, indizio principe della presenza di una risorsa geotermica nel sottosuolo



Flusso di calore: originato dalla differenza di temperatura tra le zone più profonde, calde, e quelle superficiali, più fredde.

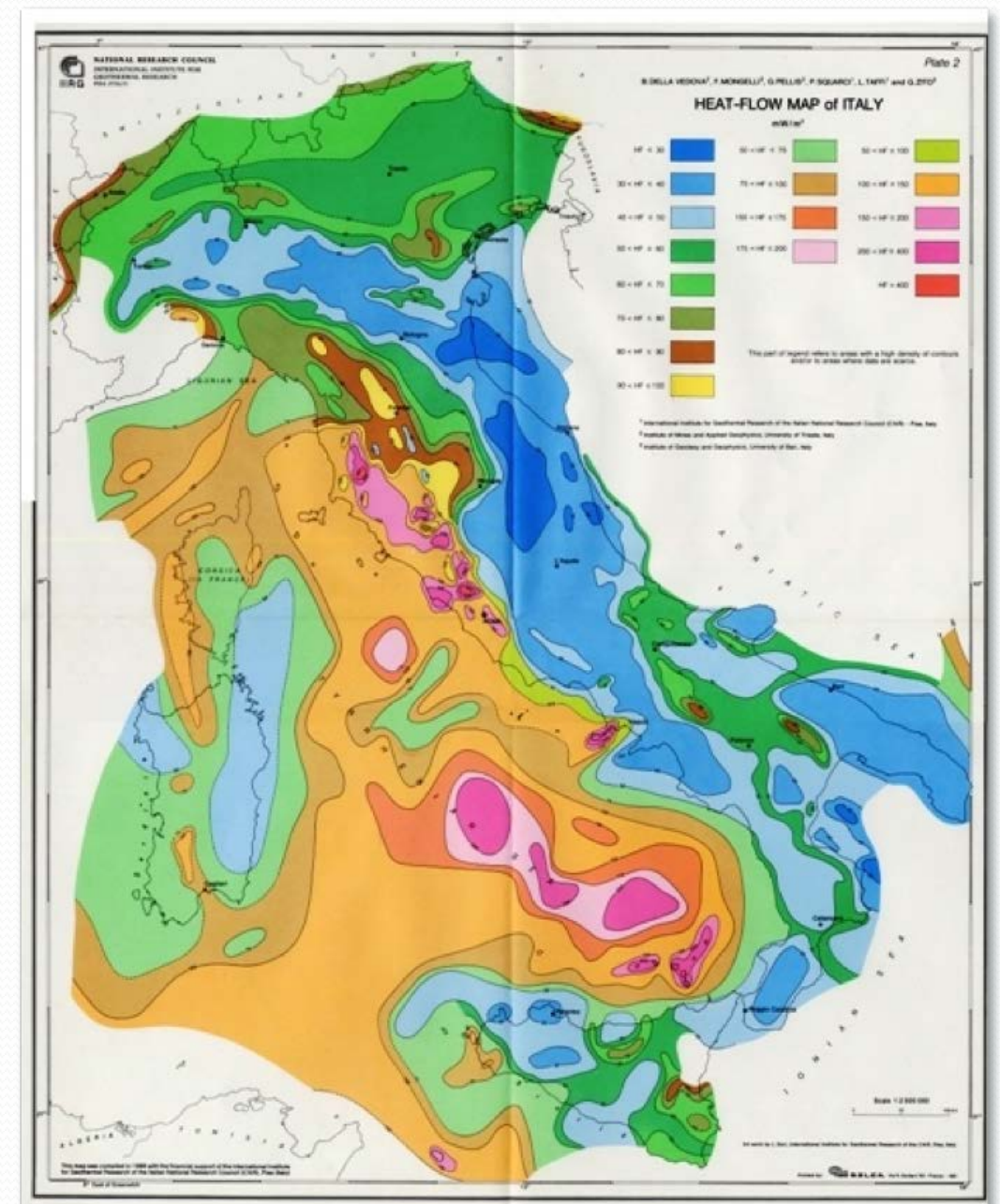
Nelle zone continentali il flusso medio è di  $65 \text{ mW/m}^2$  mentre nelle zone oceaniche è di  $101 \text{ mW/m}^2$  con un valore medio di  $87 \text{ mW/m}^2$

Per motivi geodinamici l'Italia è un paese caratterizzato da forti anomalie positive di calore (i.e. elevati flussi di calore).

Queste zone sono collocate principalmente sul margine Tirreno ed interessano le regioni di Toscana, Lazio, Campania e Sicilia.

Localmente ci sono flussi di calore molto elevati (es. Larderello, fino a  $1000 \text{ mW/m}^2$ , M.te Amiata, fino a  $600 \text{ mW/m}^2$ ).

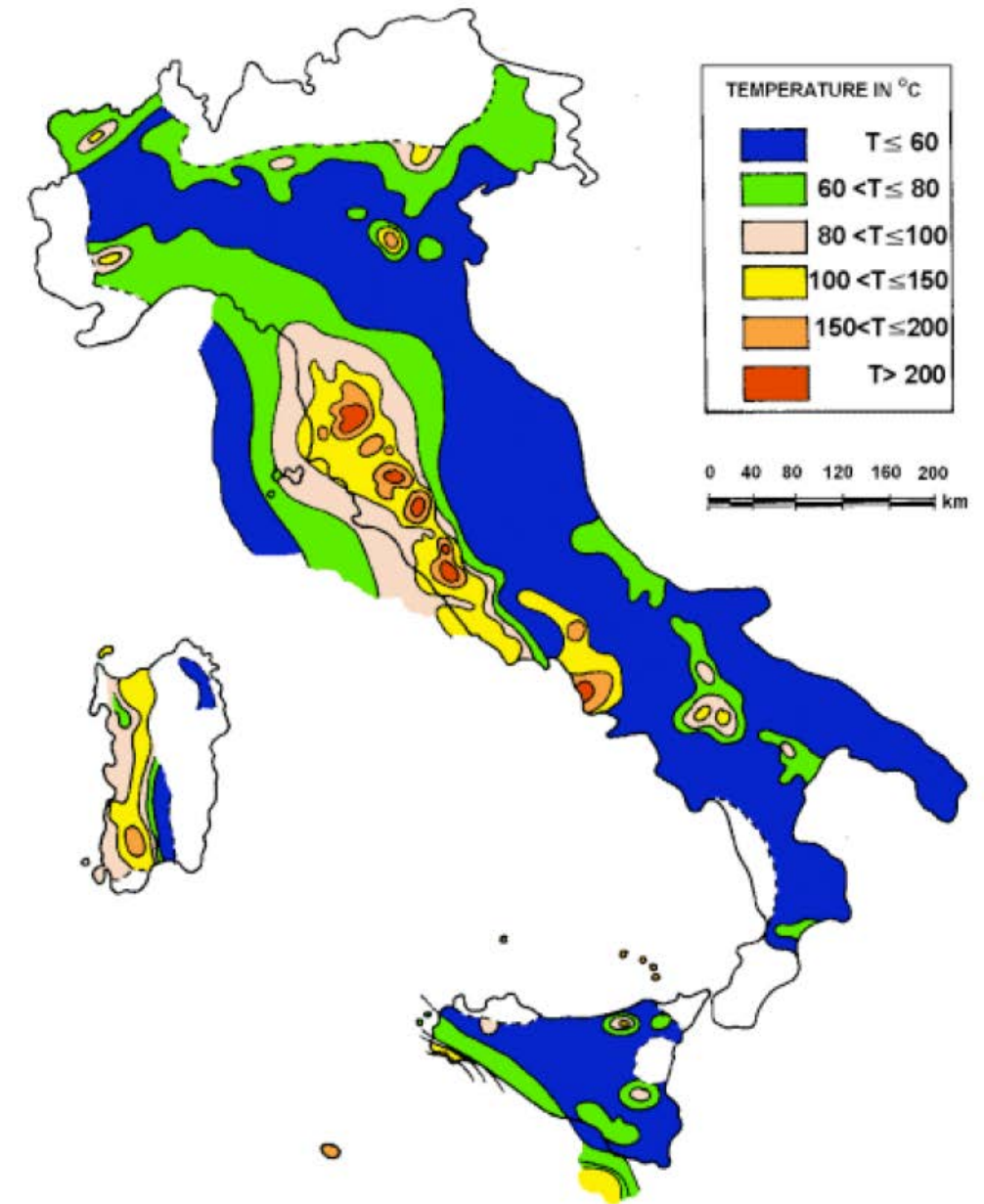
La Pianura Padana è interessata da valori medio-bassi di flussi di calore ( $50\text{-}70 \text{ mW/m}^2$ )





- La distribuzione delle temperature in profondità è stata determinata attraverso la misura della temperatura di oltre 2000 pozzi petroliferi e geotermici fino ad oltre 3000 m di profondità.
- Nel settore Tirrenico gli alti flussi di calore ( $100\text{-}450\text{ mW/m}^2$ ) sono dovuti a:
  - risalita del mantello
  - assottigliamento della crosta
- Nei settori orientali e meridionali dell'Italia (Appennini, area Adriatica e Ionica) sono caratterizzati da valori di  $20\text{-}80\text{ mW/m}^2$  a causa di:
  - approfondimento verso Est della base della crosta
  - infiltrazione delle acque piovane attraverso grandi corpi rocciosi costituiti da rocce calcaree e quindi molto fratturati e permeabili
- Gli alti valori di flusso di calore in Sardegna e a Pantelleria sono dovuti all'apertura di strutture di rift cioè zone dove si verifica una progressiva apertura della crosta che facilita la risalita di fluidi caldi verso la superficie

## TEMPERATURE SOTTERRANEE IN ITALIA (PROFONDITA' : 2000 m DAL PIANO CAMPAGNA)



(CNR, 1982 modificato)



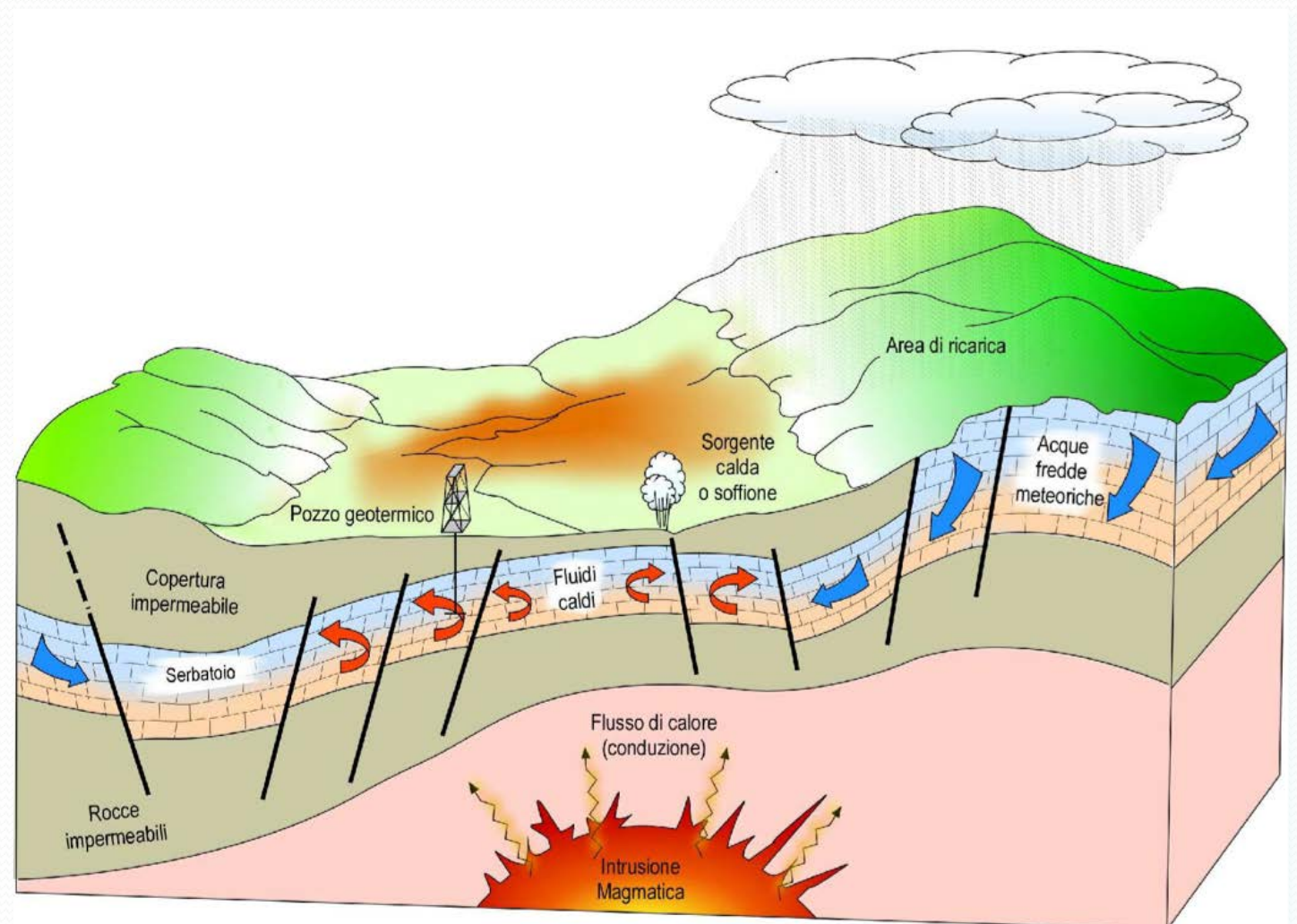


# I SISTEMI GEOTERMICI

- Un **sistema geotermico** viene definito 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)”.* (Hochstein, 1990)

È caratterizzato da tre elementi fondamentali:

- **Sorgente di calore** che permette il riscaldamento delle rocce e dei fluidi (aria, acqua o fasi miste) che circolano al loro interno
- **Serbatoio** che permette l'accumulo dei fluidi, la loro circolazione e ricambio
- **Fluido** che entrando freddo nel sistema, si riscalda ed assume quindi la vera funzione di vettore di calore trasportandolo verso i livelli più superficiali



- Frequentemente viene fatta una suddivisione tra sistemi geotermici ad acqua dominante e sistemi geotermici a vapore dominante:
- ACQUA DOMINANTE: l'acqua liquida è la fase continua, che controlla la pressione; vapore può essere presente, in forma di bolle. Questi sistemi geotermici, la cui temperatura può andare da 125° a 225°C, sono i più diffusi nel mondo e possono produrre acqua calda, una miscela di acqua e vapore, vapore umido o, in alcuni casi, vapore secco.
- VAPORE DOMINANTE:(a vapore secco): coesistono nel serbatoio acqua liquida e vapore, che è la fase continua e controlla la pressione. Sono sistemi ad alta temperatura, anche superiori ai 350°C e normalmente producono vapore secco o surriscaldato (Larderello in Italia e The Geysers in California).
- Viene anche fatta una suddivisione in funzione della modalità di ricarica del serbatoio geotermico
- SISTEMI DINAMICI: l'acqua ricarica in continuazione il serbatoio, si riscalda ed è poi scaricata alla superficie o nel sottosuolo stesso nelle formazioni rocciose permeabili all'intorno. Il calore è acquisito dal sistema per convezione e per effetto della circolazione dei fluidi.
- SISTEMI STATICI: la ricarica del serbatoio è molto ridotta e lo scambio termico avviene soltanto per conduzione. Comprende sistemi a bassa T e i sistemi geopressurizzati. Questi possono formarsi nei grandi bacini sedimentari a profondità di 3–7 km. Sono formati da rocce sedimentarie permeabili, inglobate entro strati impermeabili a bassa conducibilità, contenenti acqua calda pressurizzata, che è rimasta intrappolata al momento della deposizione.



I sistemi geotermici vengono anche classificati in base al loro potenziale termico (**ENTALPIA\***)

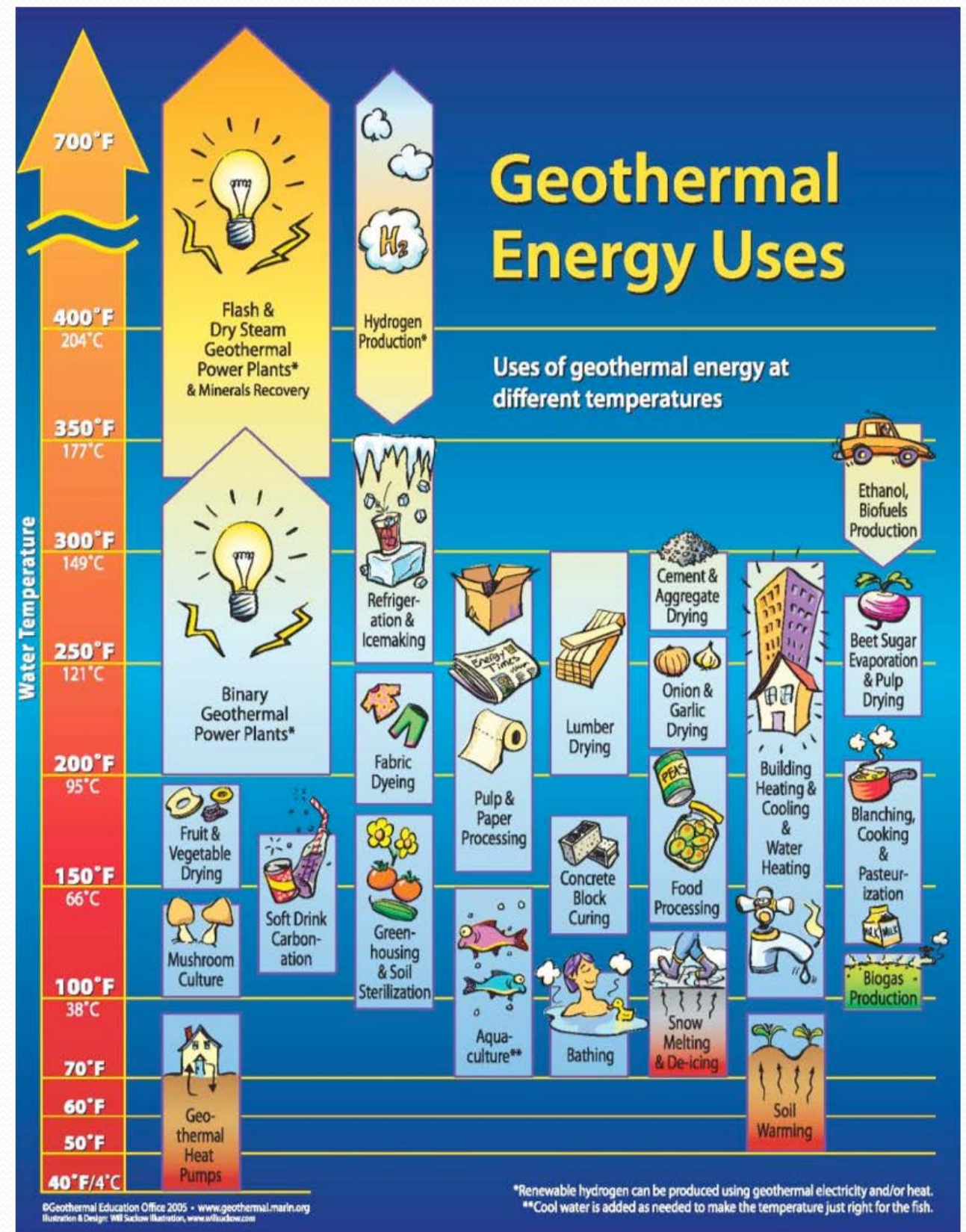
La figura riporta il diagramma di Lindal che mostra gli utilizzi della risorsa geotermica in funzione della temperatura

Alta Entalpia  
( $T > 150^{\circ}\text{C}$ )

Media Entalpia  
( $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )

Bassa Entalpia  
( $T < 90^{\circ}\text{C}$ )

\*L'entalpia, solitamente indicata con  $H$ , è una funzione di stato che esprime la quantità di energia che un sistema termodinamico può scambiare con l'ambiente. L'entalpia è definita dalla somma dell'energia interna e del prodotto tra volume e pressione di un sistema.



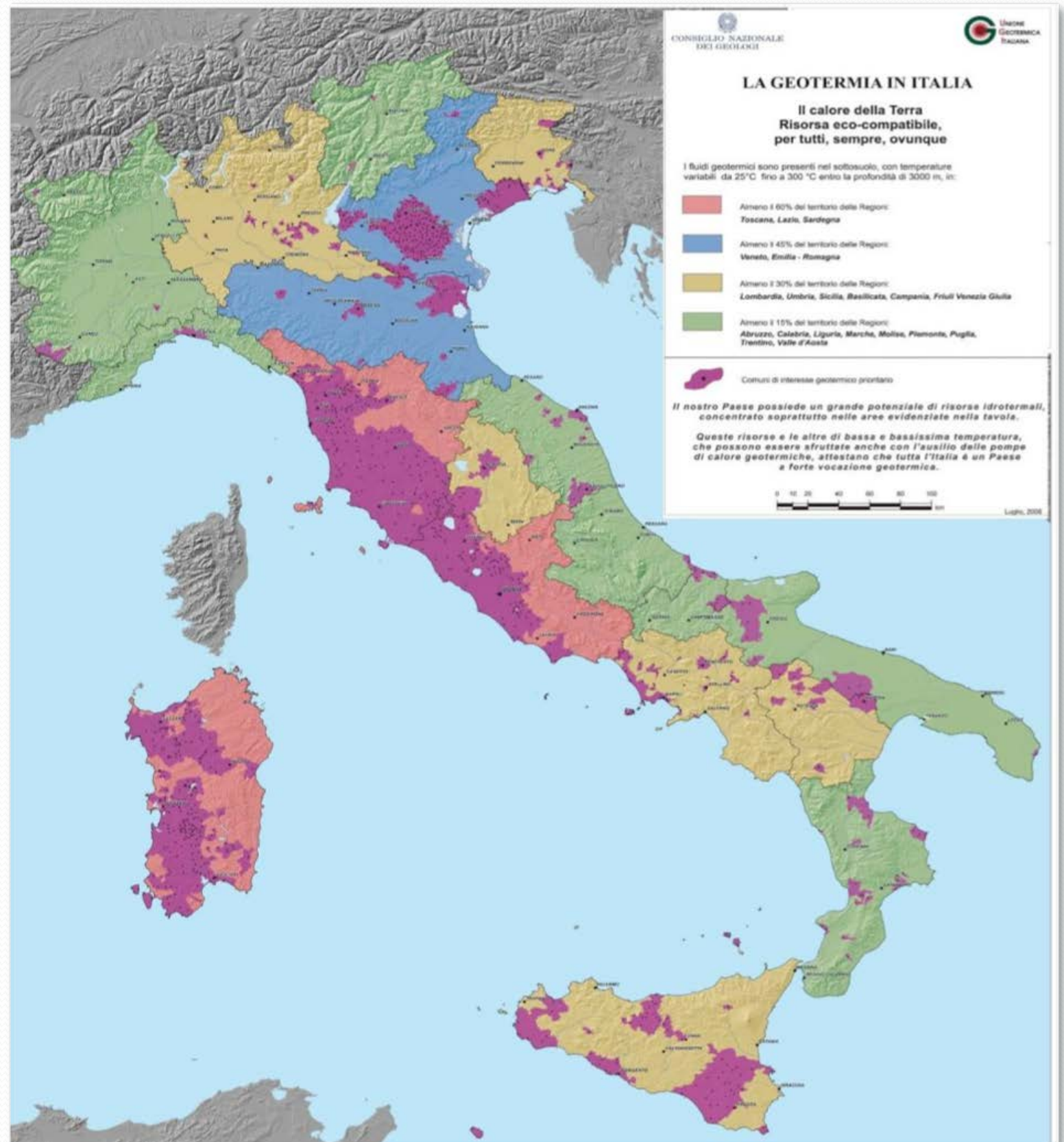


## In Italia...

In particolare nel centro Italia esistono aree di interesse geotermico (viola)

Anche però nei settori a scarso potenziale (verdi) non mancano aree ancora interessanti (es. Valdieri, Vinadio e Acqui Terme in Piemonte).

Inoltre, acque a relativamente basse temperature sono diffuse praticamente sull'intero territorio nazionale e le tecnologie a pompe di calore permettono l'utilizzo del sottosuolo come scambiatore di calore in qualsiasi condizione.





# UTILIZZAZIONI DELLA RISORSA GEOTERMICA



# Geotermia a Bassa Entalpia

## $T < 90^{\circ}\text{C}$

- Al di sotto dei primi 4-5 metri dalla superficie, la temperatura del suolo rimane costante attorno ai  $12^{\circ}\text{C}$ - $15^{\circ}\text{C}$ . Gli impianti a bassa entalpia sfruttano il calore del sottosuolo a profondità ridotte (200m al massimo) attraverso l'installazione, in appositi pozzi, di sonde geotermiche accoppiate a **pompe di calore geotermiche**.
- Le pompe di calore sono dei macchinari che hanno un funzionamento reversibile e permettono lo scambio di calore tra due mezzi, in questo caso il sottosuolo e l'ambiente da climatizzare.
- La pompa di calore geotermica (che esteticamente assomiglia ad una normale caldaia) utilizza il terreno o l'acqua che si trova nel terreno come fonte o come dispersore di calore. Il trasporto dell'energia termica è effettuato mediante la stessa acqua o mediante un liquido antigelo. Il sistema di tubazioni che percorre il terreno può essere aperto o chiuso. Nel sistema aperto si estrae l'acqua da una **falda** sotterranea, la si porta fino allo scambiatore di calore e quindi la si scarica in un corso d'acqua, di nuovo nella medesima falda o in un bacino appositamente costruito (e che permetta la rifiltrazione verso il terreno). Nel sistema chiuso il calore è intercettato dal terreno per mezzo di una tubazione continua sotterrata, con al suo interno un fluido refrigerante o liquido antigelo mantenuto a bassa temperatura e pressurizzato.
- Lo scopo principale è quello di controllare la **climatizzazione** degli ambienti (abitazioni privati, edifici pubblici, agricoli ed industriali) prelevando calore dal terreno in inverno ed immettendo nel terreno il calore prelevato dagli ambienti in estate. In oltre presenta altri impieghi tra cui la balneologia, gli usi agricoli, l'acquacoltura ed alcuni impieghi industriali.
- I principali vantaggi derivanti dallo sfruttamento dell'energia geotermica a bassa temperatura sono legati sia ad aspetti ecologico-ambientali, azzerando le emissioni di  $\text{CO}_2$  in atmosfera, sia economici in quanto, utilizzando queste tecnologie, a fronte di un investimento iniziale superiore del 20% circa rispetto ai tradizionali impianti a gas o metano, si ottiene un risparmio complessivo di esercizio di circa il 60% - 70%.

## Alcuni Esempi...

- In Svezia, IKEA ha realizzato impianti a pompe di calore che soddisfano l'85% del fabbisogno di riscaldamento e al 75% per il raffrescamento dei suoi negozi. A Parma e a Torino, IKEA ha costruito i suoi nuovi negozi progettando campi geotermici a bassa entalpia più di 200 sonde verticali che arrivano a 150 metri di profondità nel suolo. In Europa sono tra i più grande impianti a pompe di calore geotermiche mai realizzato.
- In Svizzera, paese in cui sono attualmente installati 40.000 impianti geotermici a bassa entalpia per la climatizzazione sia di edifici pubblici, abitazioni private e strutture industriali, durante la ricostruzione del Dolder Grand Hotel di Zurigo sono state collocate 70 sonde geotermiche di 150 m di profondità ciascuna. Tali sonde alimentano più pompe di calore che contribuiscono al riscaldamento invernale, al raffrescamento estivo e al fabbisogno di acqua sanitaria.



Dolder Grand Hotel di Zurigo



## Tipologie di Impianto geotermico a bassa entalpia

- **Circuito Aperto:** si sfrutta l'acqua di falda sia come sorgente di energia termica sia come fluido che scorre nel circuito che scambia energia con la pompa di calore.
- In questa tipologia di impianti vengono realizzati dei pozzi, alimentati dalla falda, da cui l'acqua viene prelevata ed inviata allo scambiatore che si connette con la pompa di calore, per poi essere pompata nuovamente in falda (utilizzando un pozzo diverso da quello di mandata o, nel caso in cui sia utilizzato lo stesso pozzo, l'acqua di ritorno viene pompata sulla superficie del pozzo mentre quella di alimentazione viene prelevata dal fondo).





- **Circuito Chiuso:** viene installato un circuito di tubazioni in PVC ad “U”, poste verticalmente in apposite pozzi ottenute mediante perforazioni (sistema verticale) o orizzontalmente mediante escavazione nel terreno di una trincea (sistema orizzontale).
- In entrambi i casi si tratta di un circuito chiuso, impermeabilizzato, in cui il fluido termovettore (acqua mista a glicole - liquido antigelo) presente all'interno svolge solamente la funzione di trasferire il calore dal suolo al circuito della pompa di calore e viceversa.



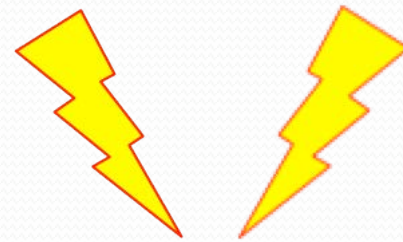
## Geotermia ad media entalpia

### $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$

- La Geotermia a media entalpia ricopre un ventaglio di impieghi più vasto (teleriscaldamento di ambienti civili e industriali, essiccazione di frutta e verdura, produzione della carta) rispetto a quella ad alta temperatura, ma lo sfruttamento più interessante rimane sempre quello finalizzato alla produzione di energia elettrica.
- La Geotermia a media entalpia permette di sfruttare quella componente della risorsa geotermica che gli impianti Flash e Dry Steam non riescono a sfruttare perché necessitano di temperature e pressioni molto elevate ma che non sono così diffuse sul nostro pianeta.
- Esistono infatti zone dove in superficie arrivano dei fluidi caldi, come ad esempio la zona di Valdieri e Vinadio o Acqui Terme in Piemonte (dove ci sono sorgenti al massimo attorno ai  $70^{\circ}$ ), ma le temperature non sono sufficienti per produrre direttamente energia elettrica. Allora si può scegliere di non produrre energia elettrica ma sfruttare comunque quelle acque ad esempio per creare una rete di teleriscaldamento, oppure optare per la creazione di una rete di pozzi non eccessivamente profondi (al massimo 1000m) per sfruttare il gradiente geotermico e quindi prelevare le acque a quelle temperature più favorevoli.
- Una volta convogliate le acque in superficie ed immesse in un impianto binario la produzione di energia elettrica segue le metodologie classiche di un impianto binario (cfr. Approfondimenti).
- È ovvio che le produzioni non possono essere paragonate a quelle degli impianti ad alta temperatura ma in un contesto generalizzato di produzione di energia elettrica a carattere locale, per soddisfare il fabbisogno di qualche migliaio di famiglie (quindi tanti “piccoli” impianti disseminati sul territorio), la geotermia a media entalpia presenta le prospettive di sviluppo più interessanti sia dal punto di vista energetico, sia di impatti ambientali, sia economico.

# GEOTERMIA AD ALTA ENTALPIA

$T > 150^{\circ}\text{C}$



Produzione di energia elettrica

- Esistono 3 tipologie di impianto che permettono di sfruttare il calore proveniente dal sottosuolo per la produzione di energia elettrica:
  - ❑ Flash Steam Plant
  - ❑ Dry Steam Plant
  - ❑ Hot Dry Rocks (HDR) o Enhanced Geothermal Systems
- Il loro impiego dipende dalle temperature e dalle pressioni del serbatoio e dalla tipologia di fluido che trasmette il calore (acqua o vapore)





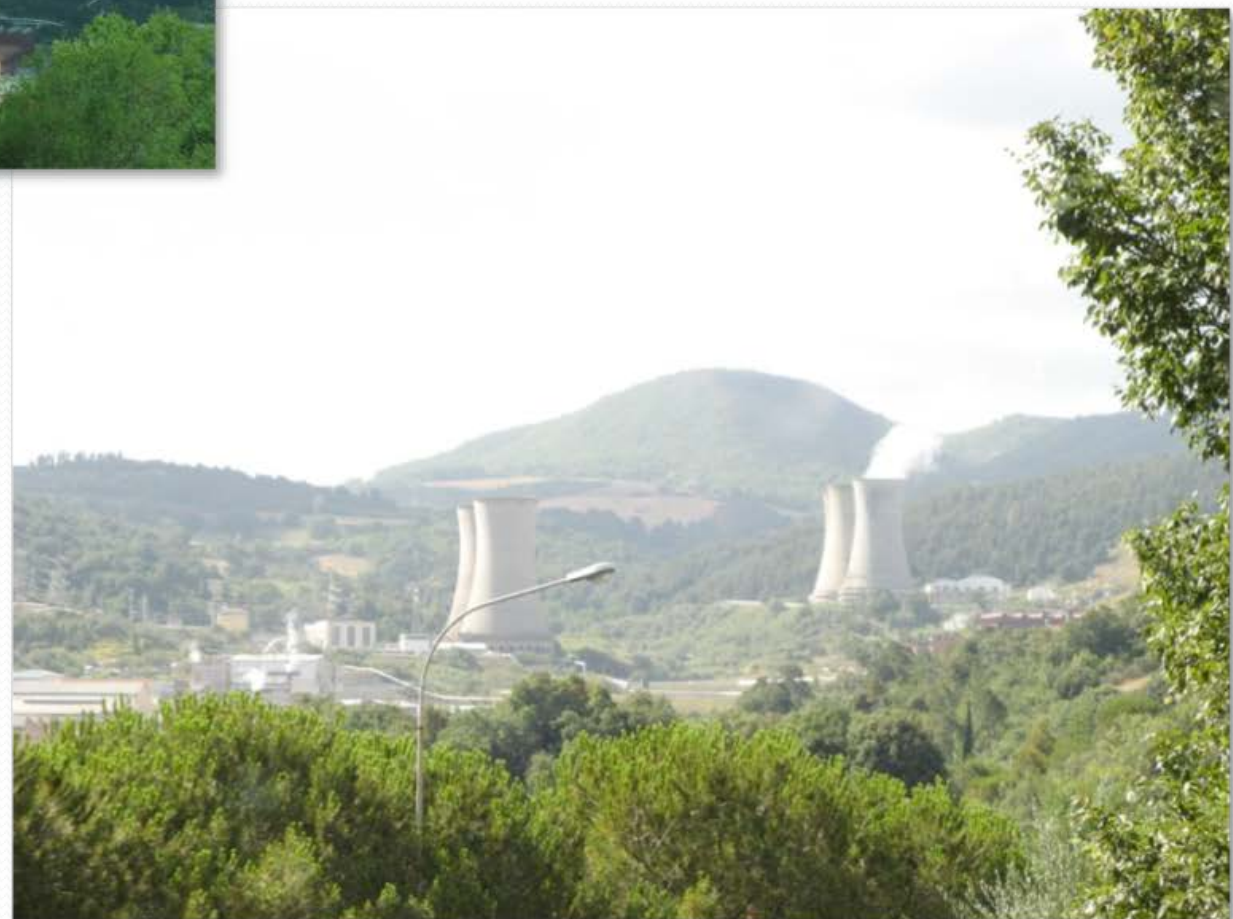
- Impianto geotermico a condensazione (o dry steam) di The Geysers, California. L'impianto ha un potenziale di 1400 MW, sufficiente a soddisfare le richieste energetiche dell'area metropolitana di San Francisco





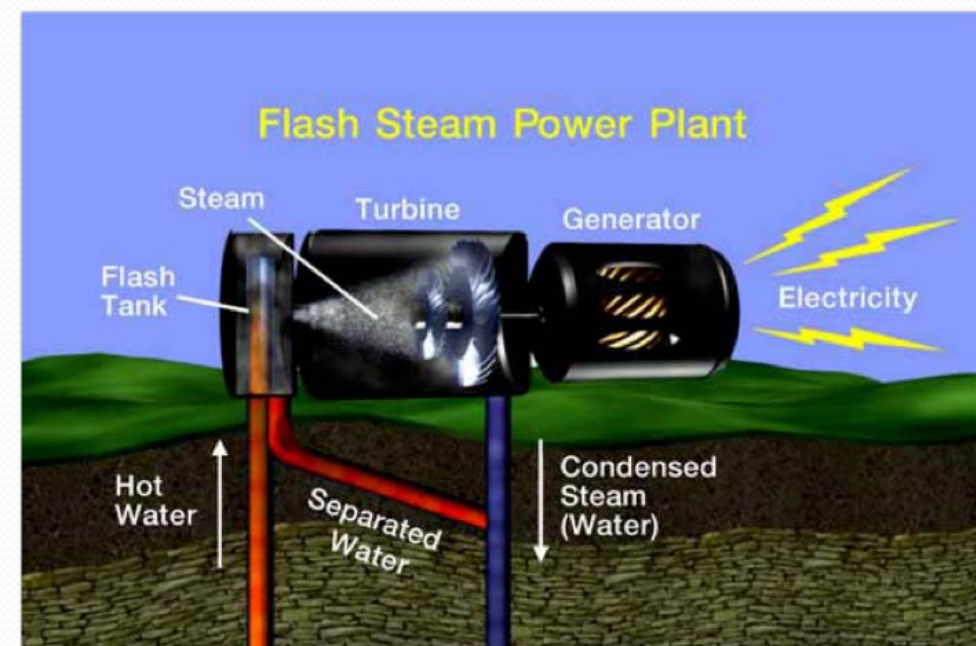
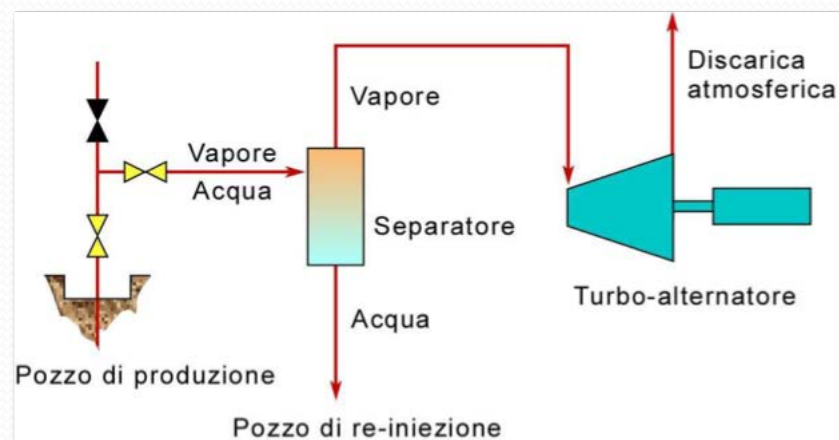
Impianto geotermico a condensazione di Lardarello, dove esistono 14 centrali con una potenza installata di circa 300 MW e che forniscono il 30% del fabbisogno energetico della Toscana

- In Italia, a fine 2007 la produzione di energia elettrica da fonte geotermica è di:
- Potenza geotermoelettrica installata 810,5 MW
- Produzione netta complessiva
- 5340 GWh/anno
- pari al fabbisogno energetico di circa 2 milioni di famiglie italiane e pari all'1,5% del fabbisogno energetico italiano



# Impianti Flash

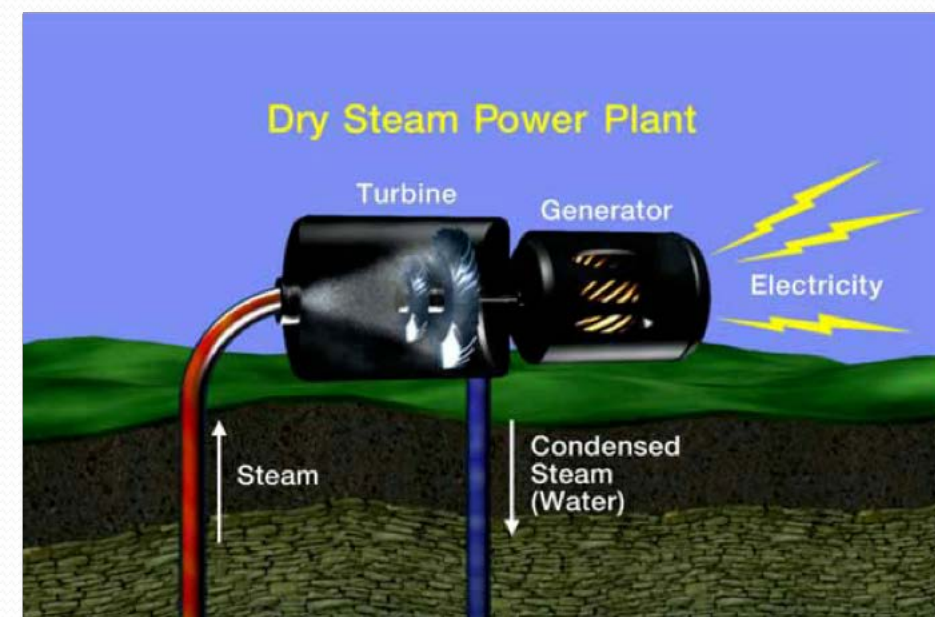
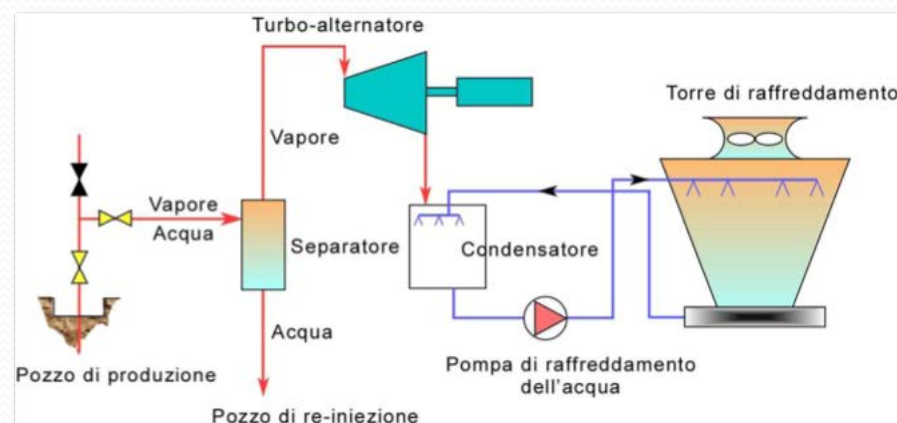
- Attualmente gli impianti **Flash** ( o UNITA' A CONTROPRESSIONE) sono i più diffusi e sfruttano il prelievo tramite un pozzo di estrazione di un fluido costituito da un mix di acqua e vapore.
- Il vapore viene separato dall'acqua in una apposita sezione dell'impianto e successivamente inviato alla turbina che produce energia meccanica, trasformata in energia elettrica tramite un alternatore. L'acqua proveniente dal processo di separazione viene re-immessa in profondità, attraverso un pozzo secondario, insieme all'acqua di condensazione derivante dal raffreddamento del vapore. Il vapore acqueo in eccesso viene poi espulso immettendolo direttamente in atmosfera.
- Questi impianti sono generalmente di piccole dimensioni (2,5–5 MW)



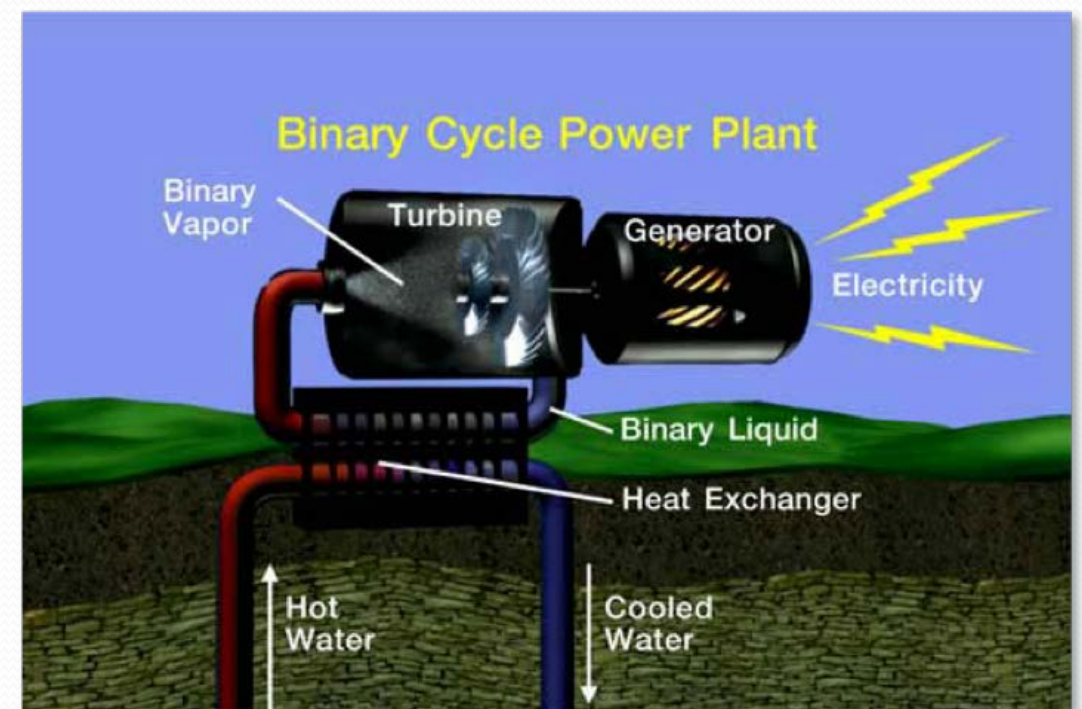


# Impianti Dry Steam

- Gli Impianti **Dry Steam** ( o UNITA' A CONDENSAZIONE) richiedono un'impiantistica più complessa, sfruttano vapore a temperature e pressioni elevate e rispetto agli impianti flash forniscono produzioni sensibilmente maggiori.
- Il vapore viene inviato direttamente alla turbina alimentando così il generatore producendo energia. Il vapore in eccesso viene fatto successivamente condensare e raffreddare prima di essere re-immesso in parte nel sottosuolo ed in parte in atmosfera.
- 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.



**Impianto binario:** utilizza un fluido secondario di lavoro, solitamente organico, che ha un basso punto di ebollizione ed una maggiore pressione del vapore a temperature inferiori rispetto al vapore acqueo. Il fluido geotermico cede calore al fluido secondario attraverso uno scambiatore di calore, nel quale questo fluido si riscalda e poi vaporizza; il vapore prodotto aziona una normale turbina a flusso assiale collegata ad un generatore, è poi raffreddato, passando allo stato liquido, ed il ciclo comincia di nuovo. Scegliendo opportunamente il fluido secondario, è possibile costruire impianti binari, che sfruttano fluidi geotermici con temperature comprese tra 85° e 170°C.





# Confrontando...

## Impianti ad Alta Entalpia

Necessitano di temperature e pressioni elevate

Tali condizioni sono rare, estremamente puntuali e localizzate

Necessitano di impianti e perforazioni molto profonde (3-5 km) e quindi MOLTO COSTOSE

Permettono produzioni notevoli

Prevedono il prelievo di acqua dal sottosuolo e conseguenti problemi legati alla sua reimmissione in profondità in termini di qualità e quantità (contaminazione e problemi di subsidenza)

Le emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera sono ridotte. Le uniche emissioni possibili sono legate a gas sulfurei spesso nocivi

## Impianti a Media Entalpia

Necessitano di temperature e pressioni dei fluidi geotermici non particolarmente elevate

Tali condizioni sono maggiormente diffuse

Necessitano di impianti e perforazioni meno profonde (400 -1000 m) con costi più ridotti e maggiore fattibilità dal punto di vista tecnico

Produzioni ridotte ma compensate da una maggiore possibilità di realizzare impianti

NON prevedono il prelievo di acqua dal sottosuolo. L'acqua viene solo utilizzata come scambiatore di calore e subito reimpressa in profondità.

Il fluido che viene impiegato è organico e biodegradabile al 99% (N.B. c'è sempre un 1% però!!!)

Zero emissioni di CO<sub>2</sub>

# HDR – Hot Dry Rocks

- È una metodologia nata ad metà degli anni '70, che ma che non ha mai avuto grande sviluppo, soprattutto per limiti tecnologici legati alle tecnologie di perforazione e di sfruttamento del calore, ma negli ultimi 10 anni ha subito un crescente interesse ed attualmente presenta grandi prospettive di sviluppo, tanto che in Francia, Germania e Svizzera sono entrati in funzione i primi impianti.
- È una tecnologia che si pone a cavallo tra la media e l'alta entalpia ma molti autori la includono in quest'ultima considerando le simili condizioni geologiche del sottosuolo (temperature e pressioni paragonabili a quelle dei sistemi geotermici ad alta entalpia) che si vengono a creare artificialmente per realizzare e far funzionare l'impianto.

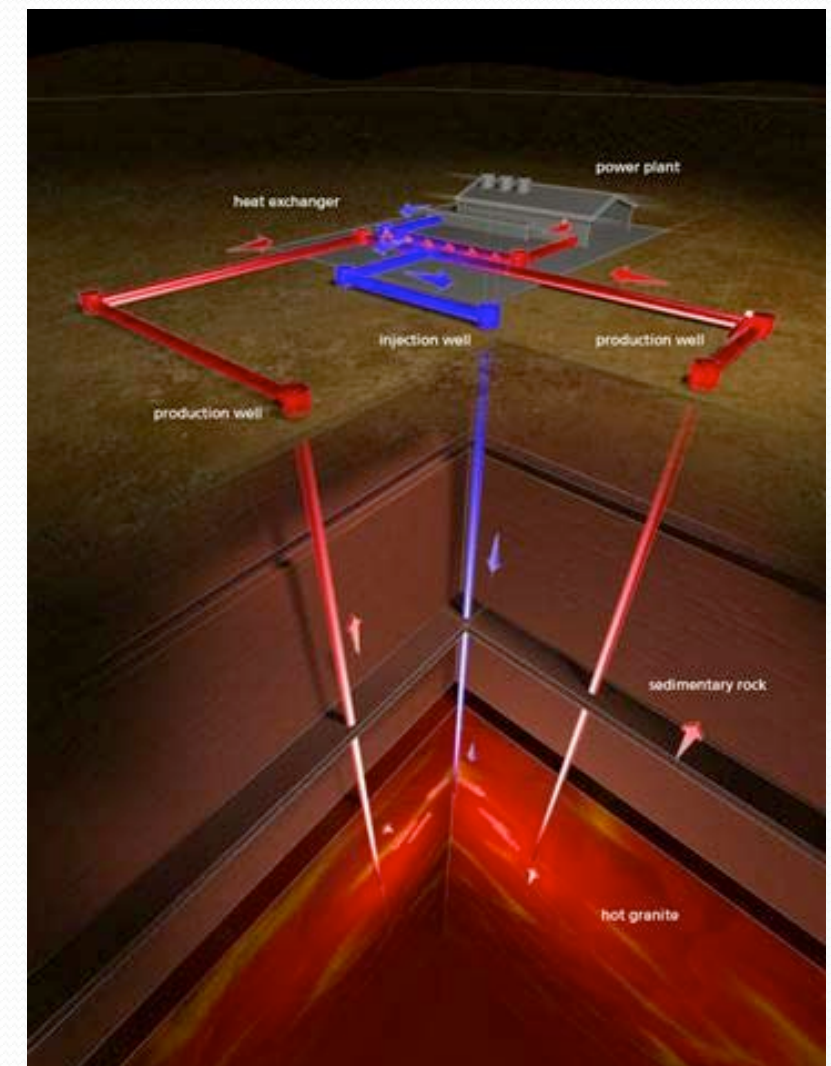
Il principio si basa sullo sfruttamento del calore delle cosiddette Rocce Calde Secche, cioè grosse masse solide, calde e prive di acqua (es. plutoni granitici) in profondità che possono raggiungere temperature anche di 300°.

Individuata la sorgente di calore vengono realizzati due pozzi

- iniezione
- prelievo

Attraverso il pozzo di iniezione viene pompata acqua in profondità (3-5 Km) ad elevate pressioni, tali da creare un sistema di fratture indotte all'interno del corpo intrusivo.

Creato il sistema di fratture l'acqua inizia a circolare come in un mezzo poroso caldo, si scalda e risale, sotto forma di vapore ad altissima pressione e temperatura (100°-145°C), attraverso uno a due pozzi di prelievo, all'impianto, di tipo binario (da qui la similitudine con la geotermia a media entalpia), di produzione di energia elettrica.







# METODOLOGIE D'ESPLORAZIONE GEOTERMICA PROFONDA

- Gli **studi geologici ed idrogeologici** sono il punto di partenza di ogni programma di esplorazione. Il loro scopo principale è quello di definire la posizione e l'estensione delle aree da investigare con maggiore dettaglio e di suggerire i metodi di esplorazione più adatti per queste aree. Gli studi geologici ed idrogeologici hanno una grande importanza per tutte le fasi successive della ricerca geotermica, sino alla localizzazione dei pozzi esplorativi e di produzione. Essi inoltre forniscono le informazioni di base per interpretare i dati forniti dagli altri metodi di esplorazione e, infine, per costruire un modello realistico del sistema geotermico e valutare il potenziale della risorsa.
- La **prospezione idrogeochimica** (analisi chimica delle acque, degli isotopi dell'ossigeno, dell'idrogeno e del carbonio) rappresenta un ottimo mezzo per stabilire la tipologia di un sistema geotermico: ad acqua o a vapore dominante; per prevedere la temperatura minima del serbatoio, per stimare l'omogeneità dell'apporto di acqua, per determinare le caratteristiche chimiche del fluido profondo e per individuare l'origine dell'acqua di ricarica.
- La **prospezione geofisica** ha lo scopo di ottenere indirettamente, dalla superficie o da intervalli di profondità vicini alla superficie, i parametri fisici delle formazioni geologiche profonde. Questi parametri fisici comprendono la temperatura (prospezione termica), la conducibilità elettrica (metodi elettrici ed elettromagnetici), la velocità di propagazione delle onde elastiche (prospezione sismica), la densità (prospezione gravimetrica) e la suscettibilità magnetica (prospezione magnetica). Alcuni di questi metodi, come quelli sismici, gravimetrici e magnetici, che sono di uso normale nella ricerca petrolifera, possono dare molte informazioni sulla forma, dimensioni, profondità e altre importanti caratteristiche delle strutture geologiche profonde, che potrebbero costituire un serbatoio geotermico, ma danno poche, o nessuna, indicazioni sulla presenza all'interno di queste strutture dei fluidi, che costituiscono l'obiettivo della ricerca geotermica.





# IMPATTO AMBIENTALE



La geotermia è spesso considerata come una fonte di energia alternativa rinnovabile, pulita e sostenibile rispetto a quelle convenzionali. Il suo sfruttamento (in particolare l'alta entalpia) può produrre sia benefici che effetti negativi sull'ambiente e sulla popolazione locale. Ogni stadio dello sviluppo geotermico (esplorazione, perforazione e produzione) ha un impatto sull'ambiente, specialmente per quanto riguarda l'inquinamento di aria e acqua, impatti di tipo paesaggistico e uso del suolo. Nelle regioni ad alto potenziale geotermico dovranno essere considerati anche gli aspetti sociali ed economici. Vedremo però che la geotermia ha gli impatti ambientali più bassi non solo rispetto alle fonti tradizionali ma anche rispetto alle altre fonti rinnovabili

Si possono individuare i seguenti tipi di conseguenze ambientali:

- emissioni di gas in atmosfera
- utilizzo e contaminazione delle acque
- emissioni solide sia in superficie che in atmosfera
- inquinamento acustico
- uso del suolo ed impatti visivi
- subsidenze
- sismicità indotta
- frane
- alterazione degli habitat di flora e fauna
- eventi catastrofici



## Emissioni di gas in atmosfera

I fluidi geotermici contengono gas disciolti costituiti principalmente da anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e acido solfidrico (H<sub>2</sub>S) oltre a piccole quantità di metano, ammoniaca, idrogeno, azoto e radon. Sono presenti, inoltre, alcune specie volatili come boro, arsenico e mercurio.

In generale gli impianti binari non producono nessuna emissione di CO<sub>2</sub> mentre gli impianti a vapore o flash producono quantità di CO<sub>2</sub> sensibilmente inferiori agli impianti tradizionali di produzione di energia elettrica.

| Tipo di impianto              | CO <sub>2</sub><br>(kg/MWh) | SO <sub>2</sub><br>(kg/MWh) | NO <sub>x</sub><br>(kg/MWh) | Particolato<br>(kg/MWh) |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Carbone                       | 994                         | 471                         | 1,955                       | 1,012                   |
| Petrolio                      | 758                         | 544                         | 1,814                       | -                       |
| Turbine a gas                 | 550                         | 0,0998                      | 1,343                       | 0,0635                  |
| Geotermico Flash              | 27,2                        | 0,1588                      | 0                           | 0                       |
| Geotermico a vapore dominante | 40,3                        | 0,000098                    | 0,000458                    | Trascurabile            |
| Geotermico Binario            | 0                           | 0                           | 0                           | Trascurabile            |

Utilizzo e contaminazione delle acque: Uno dei maggiori effetti dell'utilizzazione dell'energia geotermica è l'inquinamento chimico delle falde acquifere superficiali per contaminazione con i fluidi geotermici profondi. I fluidi geotermici "esausti" contengono inquinanti ad alto rischio ambientale come l'arsenico (As), il boro (B), il mercurio (Hg), l'antimonio (Sb) ed altri metalli pesanti come il piombo (Pb), il cadmio (Cd), il ferro (Fe), lo zinco (Zn) e il manganese (Mn). Litio (Li), ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e alluminio (Al) possono essere, inoltre, presenti in concentrazioni dannose ed aumentano all'aumentare della temperatura dei fluidi geotermici. Le acque che fuoriescono dagli impianti vengono opportunamente depurate e filtrate in appositi impianti di trattamento e depurazione per ridurre al minimo le possibilità di contaminazione.

Emissioni solide sia in superficie che in atmosfera: I solidi che generalmente possono risultare da un impianto geotermoelettrico sono legati a sostanze inizialmente dissolte nei fluidi geotermici che durante la circolazione nell'impianto precipitano. Anche in questo caso esistono dei metodi di trattamento di tipo chimico che permettono sia di controllare la precipitazione di queste sostanze sia di reimmetterle in soluzione nei fluidi che poi vengono iniettati di nuovo nel reservoir. Nel caso in cui i precipitati possano andare ad inficiare il rendimento del reservoir ad esempio riducendone la permeabilità vengono stoccati in apposite serbatoi.

Inquinamento acustico: Il rumore percepibile nell'area di un campo geotermico è principalmente associato alle fasi di perforazione (impatto temporaneo e raramente al di sopra di 90 dB) e in quello derivante da prove di produzione (raramente al di sopra dei 120 dB). Mentre, nella fase di produzione un dispositivo silenziatore può ridurre il rumore ambientale al di sotto del limite di 65 dB - un Jet ad una distanza di 30 metri raggiunge i 130 dB, un aspirapolvere i 70 dB, un ufficio i 50 dB, un'area residenziale di sera i 40 dB -. Gli effetti prodotti possono essere, tuttavia, mitigati scegliendo opportunamente siti isolati ed anche implementando provvedimenti di buona pratica lavorativa, come ad esempio diminuendo il numero di ore lavorative dei dipendenti esposti a queste condizioni.

Uso del suolo ed impatti visivi: Un impianto geotermico, comprensivo anche delle zone di perforazione e pertinenze dipende dalla potenza dell'impianto, dal tipo di impianto, dalle proprietà del fluido geotermale e dal sistema di tubature impiegate per raccogliere il fluido sia in fase di prelievo dal reservoir che in uscita dall'impianto. L'impianto deve essere realizzato in prossimità delle perforazioni per evitare perdite termodinamiche legate alla presenza di lunghe tubazioni. Un campo di perforazioni (comprendendo zona di perforazione e tubature) per un impianto da 50 MW può coprire aree considerevoli che variano dai 2 ai 10 km<sup>2</sup> ma sono aree che possono essere impiegate anche per altri utilizzi di tipo agricolo, acquacolture, allevamento. Facendo un breve confronto con altre tipologie di impianto risulta che un impianto geotermico (al MW) ricopre il 5% dell'area necessaria per un impianto solare, il 2% rispetto ad un campo fotovoltaico, un impianto a carbone necessita di circa 30-35 volte la superficie di un impianto geotermico ed il nucleare ne necessita di circa 7 volte

Subsidenze: La subsidenza è il lento sprofondamento del suolo naturale o indotto antropogenicamente attraverso l'estrazione di fluidi dal sottosuolo. La subsidenza può causare danni alle costruzioni, agli impianti e alle strade o addirittura provocare l'allagamento delle terre prospicienti ai corpi idrici. La subsidenza in aree geotermiche, dovuta ad una diminuzione della pressione del serbatoio, può essere stabilizzata grazie alla tecnica della re-iniezione dei fluidi geotermici "esausti" nel serbatoio profondo tramite pozzi appositi.

Sismicità indotta: Gli eventi sismici sono vibrazioni della superficie terrestre provocate da una improvvisa liberazione di energia in un punto più o meno profondo del sottosuolo dal quale si propagano in tutte le direzioni onde sismiche. La sismicità indotta è un fenomeno in cui un cambiamento di pressione dei fluidi all'interno di un formazione rocciosa sottoposta a stress porta in profondità al movimento delle rocce fratturate con conseguente liberazione di energia che si propaga fino alla superficie. Questo fenomeno può capitare quando un bacino idroelettrico viene riempito per la prima volta, quando i combustibili fossili vengono estratti dal sottosuolo e anche quando i fluidi geotermici vengono iniettati in profondità ad elevate pressioni. Le attività di sfruttamento dei campi geotermici, come le operazioni di produzione e re-iniezione dei fluidi, possono provocare micro-terremoti, in genere non dannosi e non percepiti dall'uomo





**Frane:** Le frane che si manifestano naturalmente in alcune zone geotermiche sono prodotte dalla combinazione di diversi eventi e circostanze; attualmente, non è del tutto chiarito il ruolo che riveste la presenza di un campo geotermico in questo contesto

**Alterazione degli habitat di flora e fauna:** Lo sviluppo di un campo geotermico genera un limitato impatto sulla flora e sulla fauna. Tuttavia, precedentemente allo sfruttamento di un'area, è richiesto uno studio ambientale al fine di evitare di costruire impianti in aree ad elevata sensibilità per specie animali e vegetali. Inoltre uno studio ambientale è utile per individuare e sostituire la vegetazione eventualmente distrutta o per identificare gli effetti potenziali a lungo termine sulle specie autoctone. Durante la fase di perforazione di pozzi i rumori dovuti alla perforazione stessa e alle prove di produzione possono causare l'allontanamento temporaneo degli animali dalle zone prospicienti il sito. Mentre, durante la fase di sfruttamento i danni ad animali sono pressoché improbabili, a differenza di quanto avviene per la vegetazione che può essere parzialmente danneggiata.

**Eventi catastrofici:** Oltre alle problematiche legate a frane, sismicità e subsidenze sono molteplici gli eventi catastrofici che possono avvenire in un campo geotermico e nell'impianto ad esso collegato: esplosioni freatiche, rotture alle tubazioni, problemi alle turbine ed ai pozzi, incendi. Molti di questi incidenti sono comuni a tutti i tipi di impianti per la produzione di energia elettrica. Gli unici che coinvolgono solo gli impianti geotermoelettrici sono quelli legati alle fasi perforazione e test dei pozzi. All'inizio dello sfruttamento dei campi geotermici le eruzioni dei pozzi erano un evento non raro ma oggi giorno tutti i sistemi di controllo meccanico e tecnico-scientifico (conoscenza geologica, controllo delle pressioni del reservoir, ) hanno praticamente eliminato ogni rischio alla vita degli operatori



# PROSPETTIVE DI SVILUPPO DELLA GEOTERMIA IN ITALIA

## Il Manifesto della Geotermia (pubblicazione UGI, 2007)

### La geotermia nel quadro di riferimento energetico nazionale

Il problema energetico in Italia è divenuto negli ultimi anni prioritario sotto gli aspetti economico, ambientale e di sicurezza degli approvvigionamenti, al punto da condizionare fortemente la dinamica di sviluppo del Paese. Il consumo lordo totale di energia nel 2006 è stato pari a circa 200 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (tep), di cui l'87% costituito da combustibili fossili (soprattutto petrolio e gas naturale, ed in minor misura carbone), il 6% da energia elettrica importata, e il 7% da fonti non convenzionali o rinnovabili di energia. Tra le fonti non convenzionali, la frazione geotermica è stata lo 0,6% del consumo lordo totale di energia, ed è costituita per oltre quattro quinti dalla produzione di elettricità e per il resto dagli usi diretti del calore naturale (balneologia, riscaldamento di ambienti, agricoltura, e altri).

### Previsioni di sviluppo fino al 2020

La geotermia rappresenta una delle poche fonti di energia primaria di cui dispone l'Italia. Si tratta di risorse sempre sostenibili, spesso rinnovabili, ovunque compatibili con l'ambiente, ed ora anche convenienti sul piano economico a tutti i livelli di temperatura. Tenendo quindi presente il probabile ulteriore aumento dei prezzi delle fonti tradizionali di energia nei prossimi anni, per le due forme di utilizzazione delle risorse geotermiche si possono prevedere gli obiettivi seguenti: per l'energia elettrica, a fronte degli 810,5 MWe installati e dei 5,5 miliardi di kWh prodotti nel 2006 (corrispondenti ad 1,1 milioni di tep), la potenza installata nel 2020 può giungere a 1.500 MWe, con una generazione di 10 miliardi di kWh/anno, pari al fabbisogno elettrico di 9 milioni di abitanti. Ciò rappresenta il raddoppio della produzione del 2006, e corrisponde ad un risparmio di oltre 2 milioni di tep; per gli usi diretti, a fronte dei 650 MWt installati e di una produzione corrispondente ad oltre 190.000 tep nel 2006, la potenza installata (senza nulla sottrarre alla generazione di energia geotermoelettrica) può giungere a 6.000 MWt nel 2020, con una produzione equivalente ad 1.800.000 tep, idonea per riscaldare 800.000 appartamenti. Si tratta di valori circa 10 volte superiori a quelli del 2006.

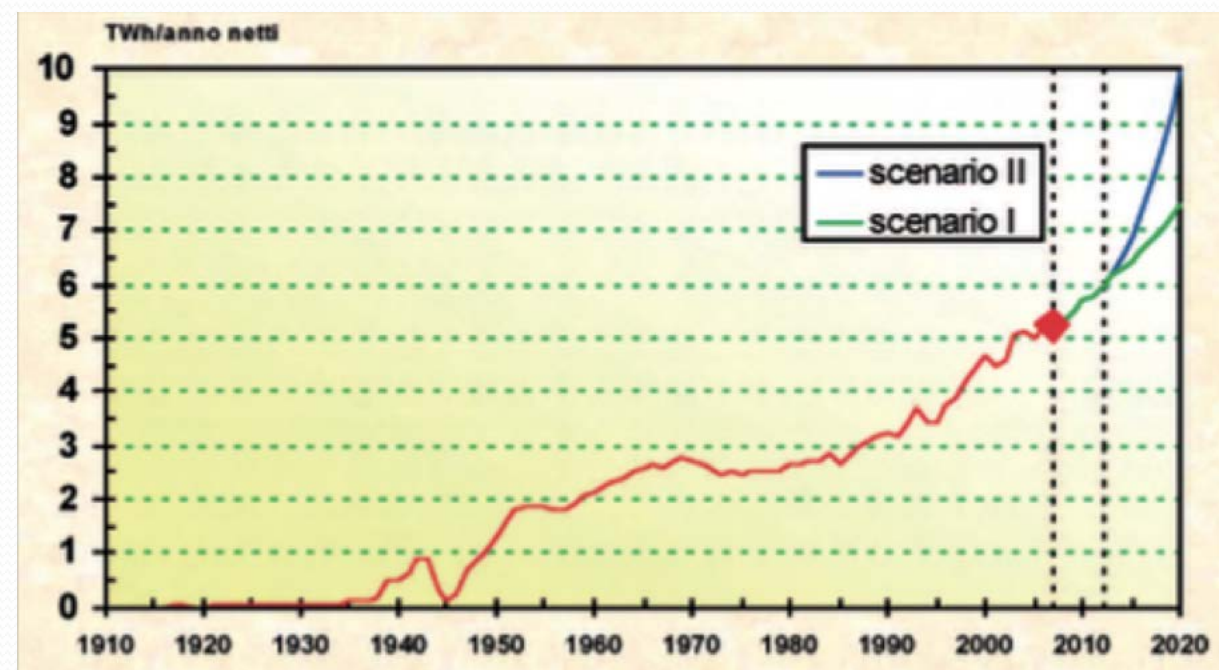


Approfondendo meglio questi punti è fondamentale distinguere tra sviluppo per quanto riguarda la produzione di energia elettrica (tuttora limitata nella zona della Toscana Meridionale) e sviluppo per quanto riguarda le applicazioni dirette.

Per la generazione geotermoelettrica entro il 2013 dovrebbero entrare in funzione 4 nuovi impianti in modo da arrivare ad un incremento di potenza installata di 150 MW e conseguente aumento di generazione di energia di 1000 GWh all'anno, così da arrivare ai 6000 GWh (o 6TWh)

Entro il 2020 si possono configurare 2 scenari:

- Incrementare l'esplorazione geotermica al di fuori delle aree attualmente esplorate in modo da reperire ulteriori fluidi geotermici in modo da arrivare ad una potenza installata complessiva di 1200 MW e conseguente produzione di 7,5 TWh annui anche attraverso l'ammodernamento degli impianti attualmente in funzione
- Implementare lo sviluppo degli impianti termodinamici binari con fluidi a bassa temperatura di vaporizzazione, nel caso in cui il fluido geotermico abbia temperature tra i 90° ed i 150° e sviluppare l'impiego del calore delle Rocce Calde Secche. In Italia ci sono situazioni geologiche idonee per entrambe le configurazioni e si potrebbe incrementare la produzione di energia elettrica del 20-30% rispetto ai valori del primo scenario arrivando così ad una potenza installata di 1500 MW ed una produzione di 10 TWh



Produzione geotermoelettrica in Italia dal 1913 al 2006 e previsioni di crescita secondo due diversi scenari entro il 2020 (Unione Geotermica Italiana (2007), La Geotermia Ieri, Oggi Domani)

Per quanto riguarda gli usi diretti, considerando l'ampio spettro di possibilità di impieghi e la facile reperibilità della risorsa, la geotermia presenta possibilità di sviluppo notevoli. Attualmente oltre il 95% del riscaldamento degli ambienti avviene attraverso fonti non rinnovabili e solo il 4,73% tramite fonti rinnovabili, valore assolutamente insoddisfacente. Considerando l'andamento dei prezzi di petrolio e gas si capisce come sia fondamentale rivolgere l'attenzione verso il consumo tramite fonti rinnovabili.

Anche in questo caso gli sviluppi seguono due scenari distinti. Il primo basato sulle attuali condizioni di mercato e tecnologiche, il secondo trainato da una forte connotazione di salvaguardia ambientale.

la potenza installata potrà quindi passare dai 650 MWt del 2006 ai 4000 o 6000 MWt crescendo di 4 circa 6 ad oltre 9 volte portando ad un risparmio annuo di 1,2-1,8 milioni di Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP) - 1 Tep sono 7,4 Barili di petrolio, pensate a quanti milioni di barili di petrolio si potrebbero risparmiare ogni anno)

|             | SCENARIO I                               |                                           |                                                 | SCENARIO II                              |                                           |                                                 |
|-------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Anno</b> | <b>Potenza installata</b>                | <b>Energia geotermica utilizzata TJ/a</b> | <b>Risparmio di combustibili fossili in TEP</b> | <b>Potenza installata</b>                | <b>Energia geotermica utilizzata TJ/a</b> | <b>Risparmio di combustibili fossili in TEP</b> |
| <i>Year</i> | <i>Installed capacity MW<sub>t</sub></i> | <i>Geothermal energy used TJ/year</i>     | <i>Fossil fuel savings TOE</i>                  | <i>Installed capacity MW<sub>t</sub></i> | <i>Geothermal energy used TJ/year</i>     | <i>Fossil fuel savings TOE</i>                  |
| <b>2006</b> | 650                                      | 8000                                      | 192.000                                         | 650                                      | 8000                                      | 192.000                                         |
| <b>2010</b> | 900                                      | 11.200                                    | 270.000                                         | 1000                                     | 12.500                                    | 300.000                                         |
| <b>2020</b> | 4000                                     | 50.000                                    | 1.200.000                                       | 6000                                     | 75.000                                    | 1.800.000                                       |

Previsioni di sviluppo degli usi diretti del calore geotermico in Italia fino al 2020 (Unione Geotermica Italiana (2007), La Geotermia Ieri, Oggi Domani)



- Gli usi del calore del geotermico entro il 2020 potrebbero triplicare
- Le applicazioni dirette hanno maggiori potenzialità di sviluppo rispetto alla generazione elettrica
- Le mancate emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera si stima in 8-10 milioni di tonnellate annue rappresentando un importantissimo contributo alla riduzione dei gas serra prodotti in Italia
- Gli obiettivi dello Scenario I potranno facilmente essere raggiunti, quelli dello Scenario II potranno essere ragionevolmente adempiti per poi rappresentare una base di partenza per gli sviluppi futuri oltre il 2020

| Anno - Year                                                                              | 2006                   |            |                     | 2020                     |                |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|---------------------|--------------------------|----------------|---------------------|
| Generazione elettrica<br><i>Electricity</i>                                              | 810<br>MW <sub>e</sub> | 5,5 TWh/a  | 1.100.000 TEP (TOE) | 1.500<br>MW <sub>e</sub> | 10 TWh/a       | 2.000.000 TEP (TOE) |
| Usi diretti (tutti)<br><i>Direct uses (all)</i>                                          | 650<br>MW <sub>t</sub> | 8.000 TJ/a | 192.000 TEP (TOE)   | 6.000<br>MW <sub>t</sub> | 75.000<br>TJ/a | 1.800.000 TEP (TOE) |
|                                                                                          |                        |            |                     |                          |                |                     |
| Totale - Total                                                                           | 1.292.000 TEP (TOE)    |            |                     | 3.800.000 TEP (TOE)      |                |                     |
| Incidenza sul consumo complessivo di energia<br><i>Share of total energy consumption</i> | 0,6%                   |            |                     | > 1,2%                   |                |                     |
| Emissione evitata di CO <sub>2</sub> - <i>Avoided CO<sub>2</sub> emissions (t/a)</i>     | 4.000.000              |            |                     | 8-10.000.000             |                |                     |

Sommario delle previsioni di crescita degli usi del calore naturale al 2020 secondo lo Scenario II (Unione Geotermica Italiana (2007), La Geotermia Ieri, Oggi Domani)





# CONCIDERAZIONI FINALI

- La GEOTERMIA è tra le diverse fonti d'energia rinnovabili quella che assicura un'approvvigionamento di risorsa più continuo nel tempo, la maggiore ottimizzazione dello sfruttamento della risorsa e la maggiore varietà di possibili utilizzi.
- Tuttavia gli investimenti richiesti per sviluppare progetti geotermici, soprattutto per la produzione di energia elettrica sono ancora troppo alti rispetto alle altre rinnovabili.
  - Inoltre così come tutte le rinnovabili non è esente da impatti sull'ambiente che possono comunque essere mitigati.
- Nonostante questi pro e contro sia l'ambiente accademico, sia quello industriale stanno mostrando un crescente interesse verso la geotermia non solo in Italia ma in tutto il mondo.
- Un tale approccio potrà sicuramente portare nelle prossime decine di anni ad uno sviluppo notevole anche in quelle nazioni che sono attualmente in via di sviluppo e che necessiteranno di una crescente produzione di calore e di elettricità