



Centro interdipartimentale di ricerca  
"CENTRO STUDI DI ECONOMIA E TECNICA  
DELL'ENERGIA GIORGIO LEVI CASES"



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

## Corso Energia e sostenibilità nel XXI Secolo –aa. 2023-2024

*Modulo di Geotermia: 1 LEZIONE: Geotermia di alta temperatura*



UNIPADOVA  
SOSTENIBILE

GALGARO ANTONIO  
*Università di Padova  
Centro Levi Cases  
Dipartimento di Geoscienze*

# **FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI PERCHE':**

## **MOTIVI AMBIENTALI**

**(riduzione effetto serra e inquinamento dell'aria)**

## **DIVERSIFICAZIONE DELLE FONTI ENERGETICHE**

**(miglioramento della sicurezza degli approvvigionamenti)**

**RIDUZIONE DEL RISCHIO DI FLUTTUAZIONE DEI PREZZI DEI PRODOTTI PETROLIFERI (quale riserva esauribile)**

## **RICADUTA ECONOMICA ED OCCUPAZIONALE**

**(investimenti in una nuova industria ad elevato contenuto tecnologico)**



## SVILUPPO SOSTENIBILE (COME DEFINITO DALLA COMMISSIONE DELL'AMBIENTE E SVILUPPO DELL'ONU)

“LO SVILUPPO SOSTENIBILE È UNO SVILUPPO CHE SODDISFA  
LE ESIGENZE DEL PRESENTE SENZA COMPROMETTERE LA  
POSSIBILITÀ PER LE GENERAZIONI FUTURE DI SODDISFARE  
I PROPRI BISOGNI”.

# Panoramica



- ✓ ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e gas del 55% entro il 2030 (rispetto ai livelli del 1990)
- ✓ raggiungere la neutralità climatica entro il 2050



- ✓ fonti energetiche rinnovabili (RES), efficienza energetica e riduzione dei gas serra (GHG) sono i tre pilastri individuati dalla UE per raggiungere la neutralità carbonica



**SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS**  
17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD



# SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



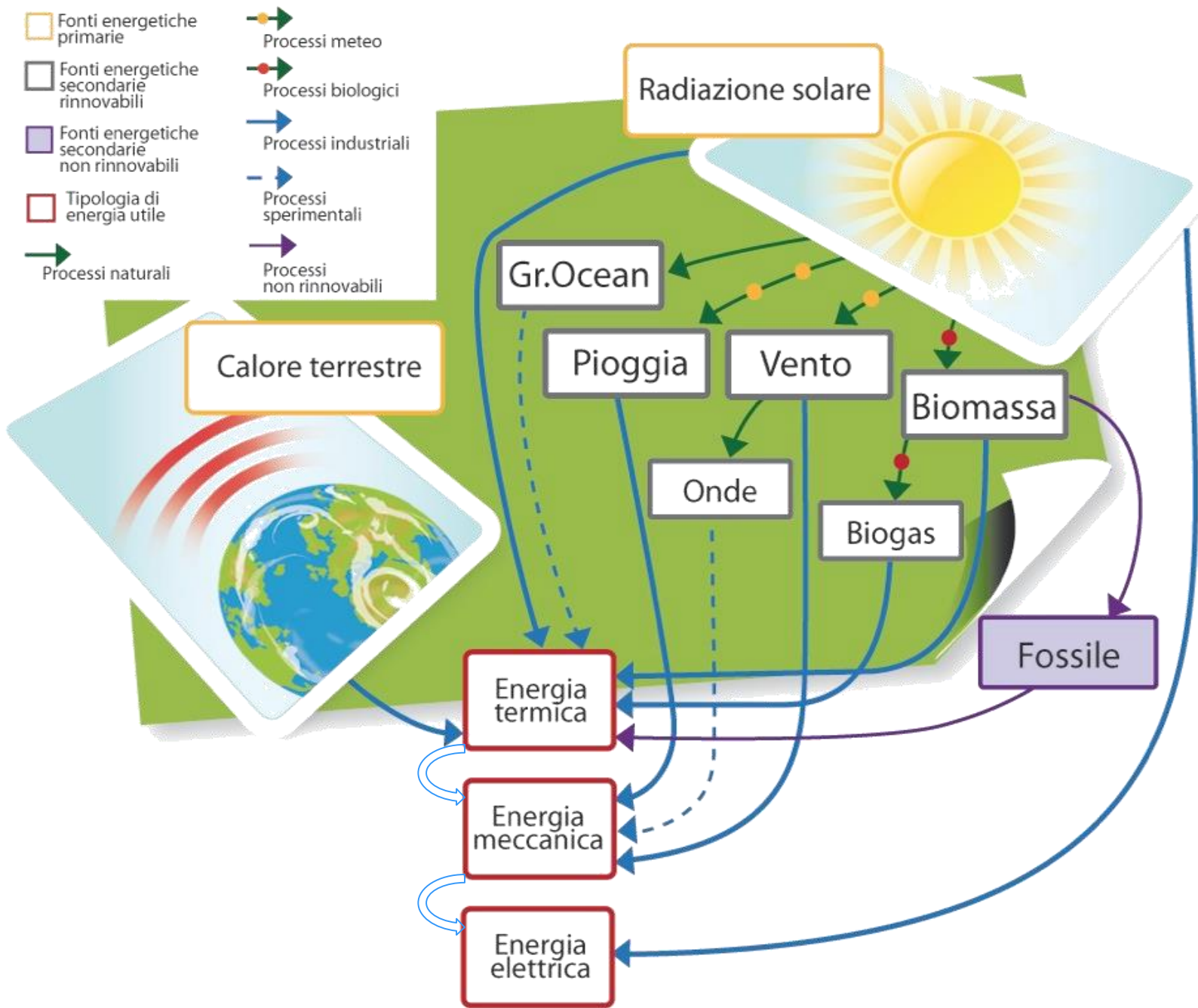
Decarbonizzazione del settore energetico



Incremento della quota di energie rinnovabili



Contributo alla fornitura di energia green alle comunità energetiche e altre utenze di prossimità



# L'energia geotermica

Alta entalpia

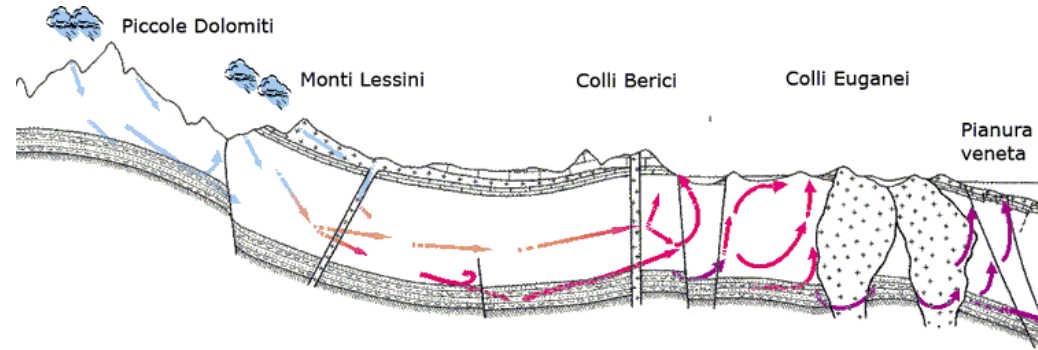
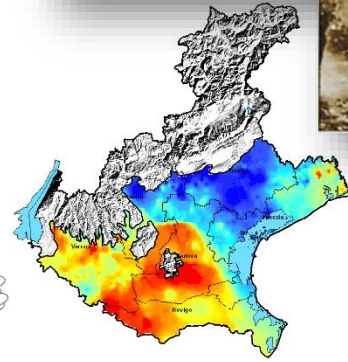
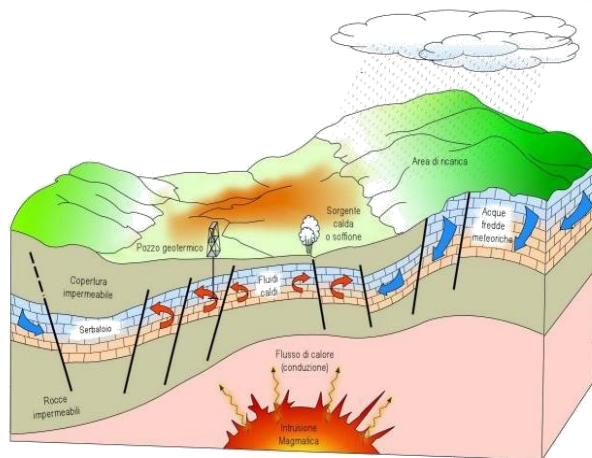


Figura 4  
Rappresentazione schematica di un sistema geotermico.

Media entalpia



Bassa

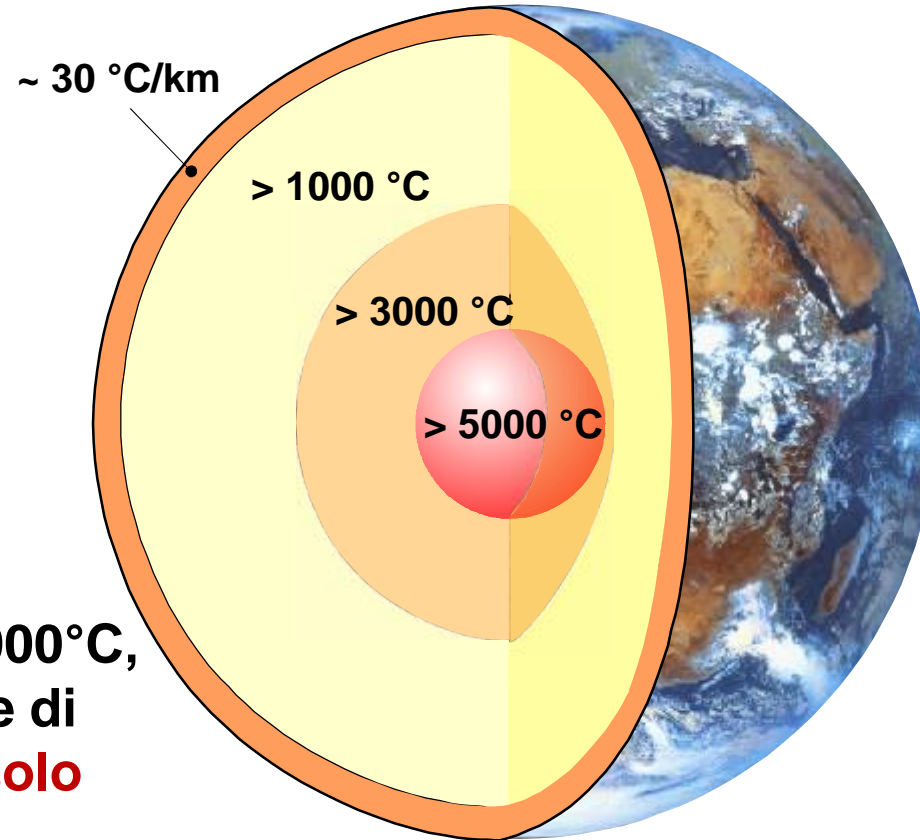


# Energia Geotermica: concetti principali

L'energia geotermica, nella sua accezione completa, è l'energia termica (calore) immagazzinata sotto la superficie terrestre

In teoria lo 0.1% dell'energia immagazzinata nella crosta terrestre potrebbe soddisfare la richiesta energetica mondiale per 10.000 anni

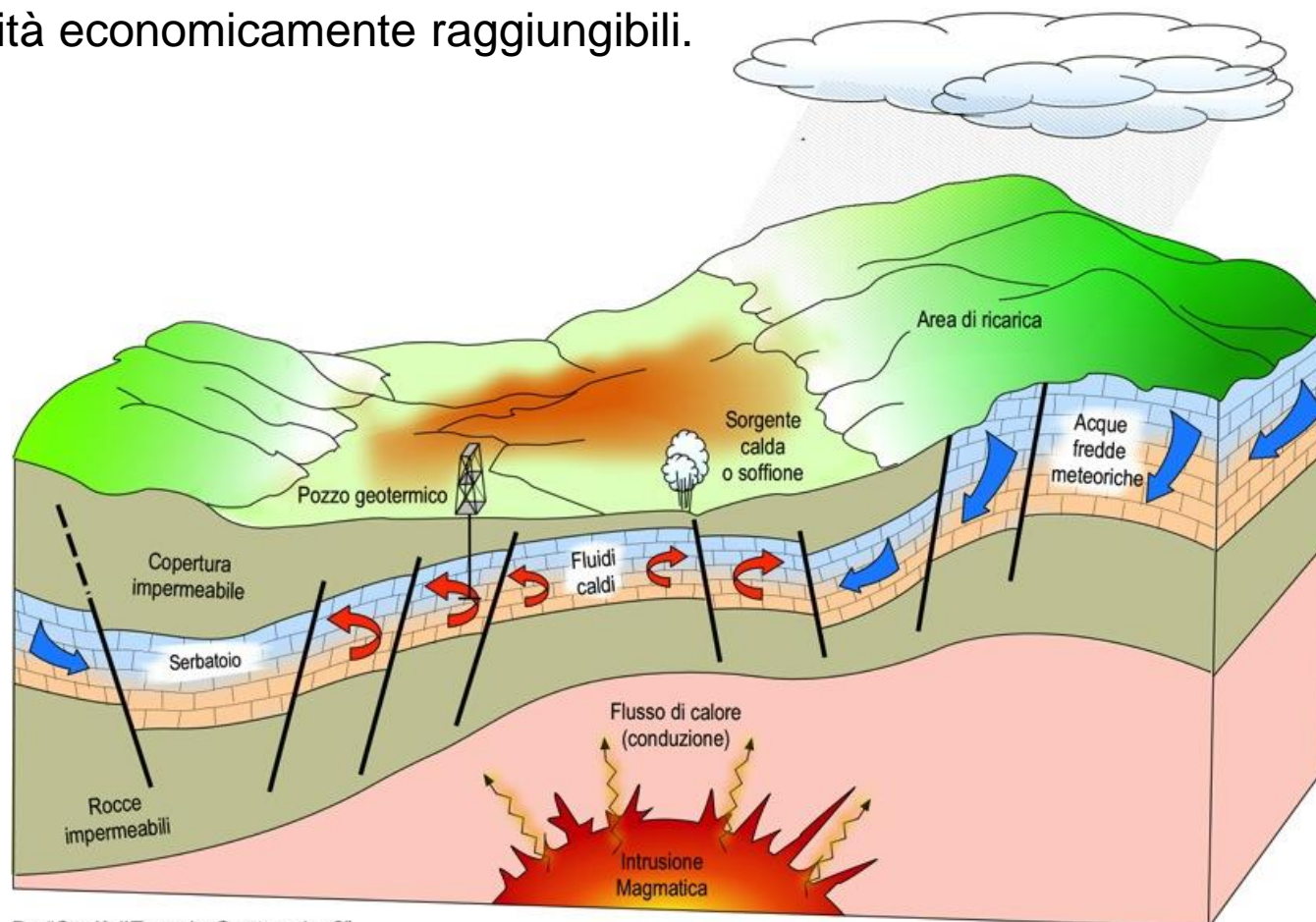
99% della massa terrestre  $>1000^{\circ}\text{C}$ , fornendo una quantità enorme di energia. **Possiamo utilizzare solo una minima parte di essa in particolari condizioni.**



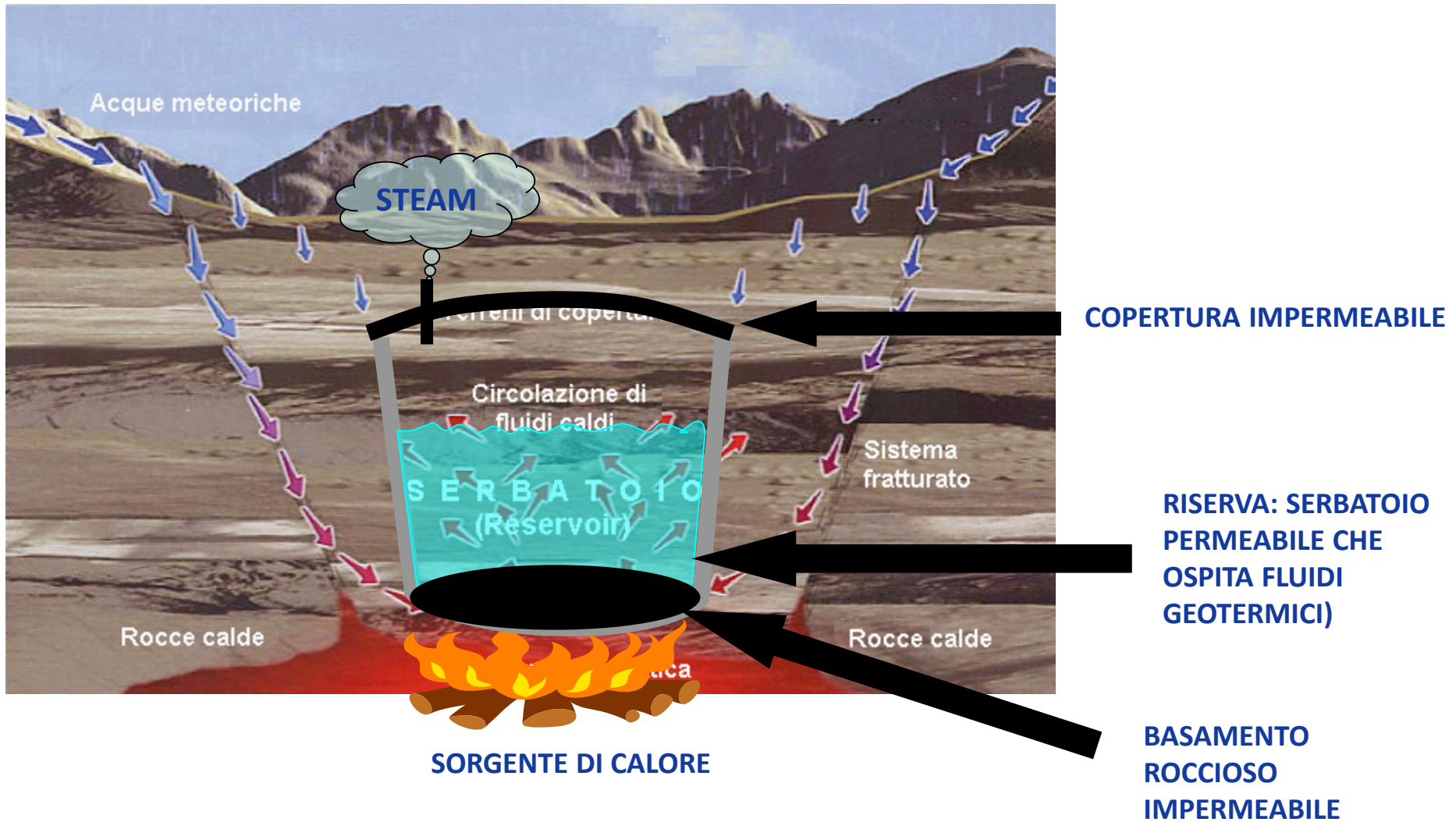


# Concetti principali

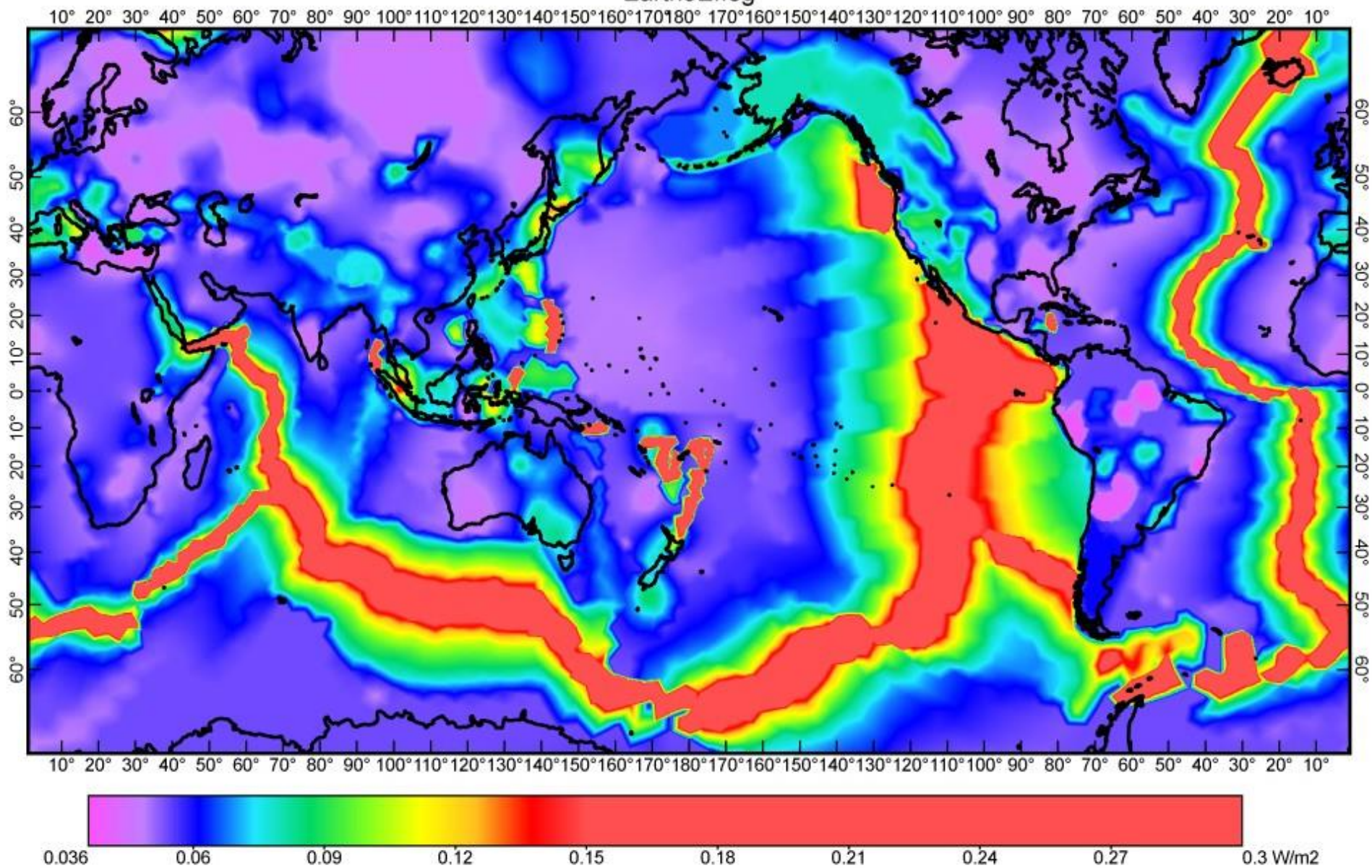
Nella gran parte dei casi la geotermia utilizzata, cosiddetta **convenzionale**, è quella dei sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua, la quale muovendosi a partire dalla superficie della crosta terrestre all'interno di uno spazio confinato raggiunge zone calde profonde caratterizzate da un'anomalia termica e determina risalendo un trasferimento del calore profondo in superficie o a profondità economicamente raggiungibili.



# Cos'è una risorsa geotermica?



Heat Flow  
Earth5E.feg



# What is Geothermal Energy?

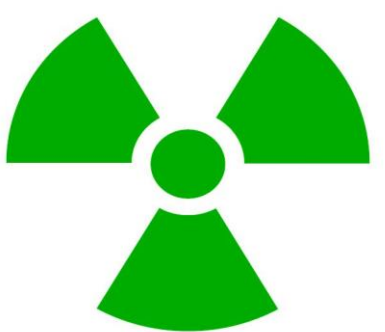
⇒ Geothermal energy is a **“green nuclear power”**

**Occurrence of „primordial“ radionuclides (existing since formation of elements) :**

**Uranium:**  $^{238}\text{U}$  -  $4,5 \cdot 10^9$  y, decay chain, 1 ppm  $\hat{=}$  12,4 Bq/kg  
 $^{235}\text{U}$  -  $0,7 \cdot 10^9$  y, decay chain, 0,7 ppm  $\hat{=}$  8,7 Bq/kg

**Thorium:**  $^{232}\text{Th}$  -  $1,4 \cdot 10^{10}$  y, decay chain, 10,3 ppm  $\hat{=}$  103 Bq/kg

**Potassium:**  $^{40}\text{K}$  -  $1,2 \cdot 10^9$  y, decay chain, 2,87 %  $\hat{=}$  287 Bq/kg



| element  | mean content in earth's crust | radioactivity |
|----------|-------------------------------|---------------|
| U        | 2,5 ppm                       | 0,24          |
| Th       | 10,3 ppm                      | 0,26          |
| K        | 2,87 %                        | 0,09          |
| <b>Σ</b> |                               | <b>0,60</b>   |

**total heat production:**

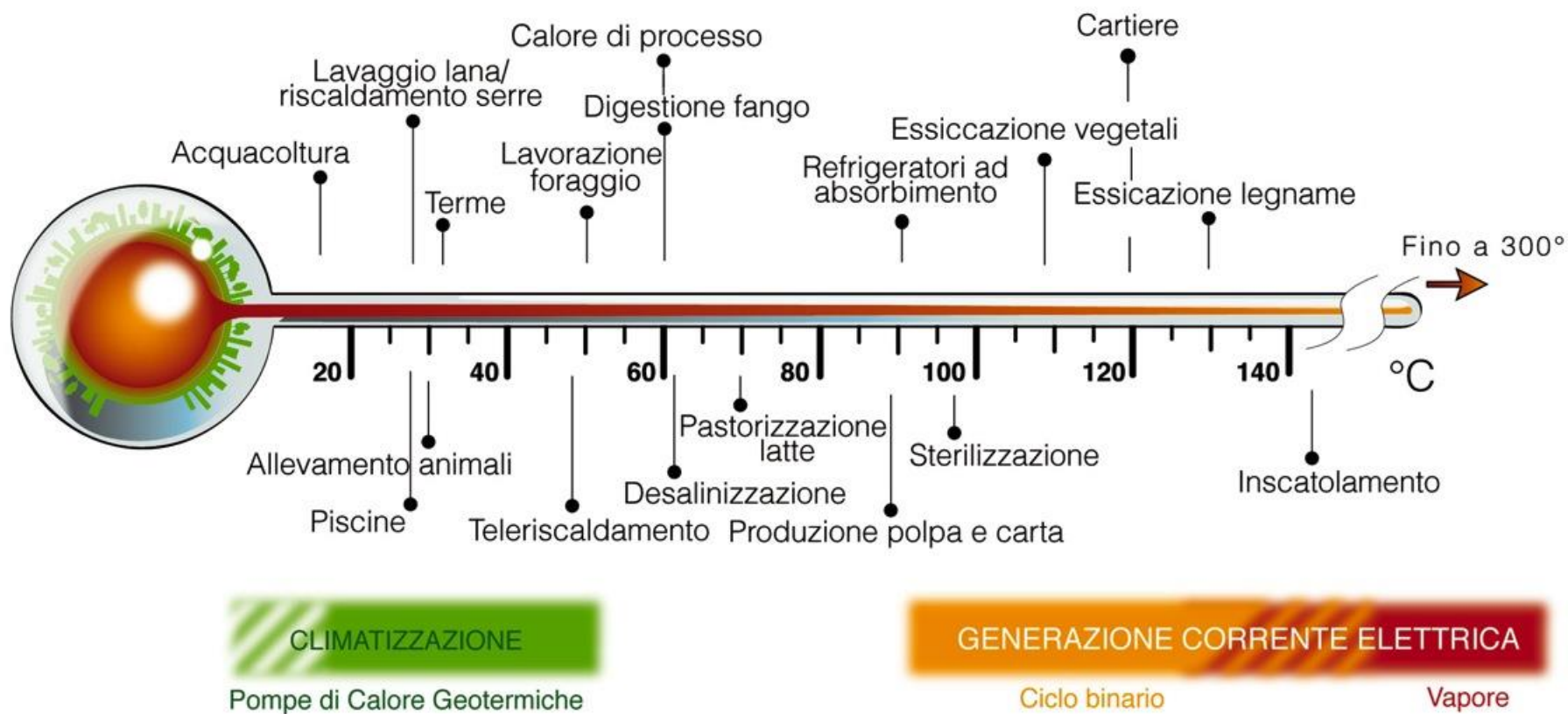
Radioactivity (crust):  
 $\approx 0.9 \cdot 10^{21}$  J/ y

Gravitation (mantle, core):  
 $\approx 0.3 \cdot 10^{21}$  J/ y

Stober, I., Bucher, K.: Geothermie, Springer Berlin Heidelberg 2012

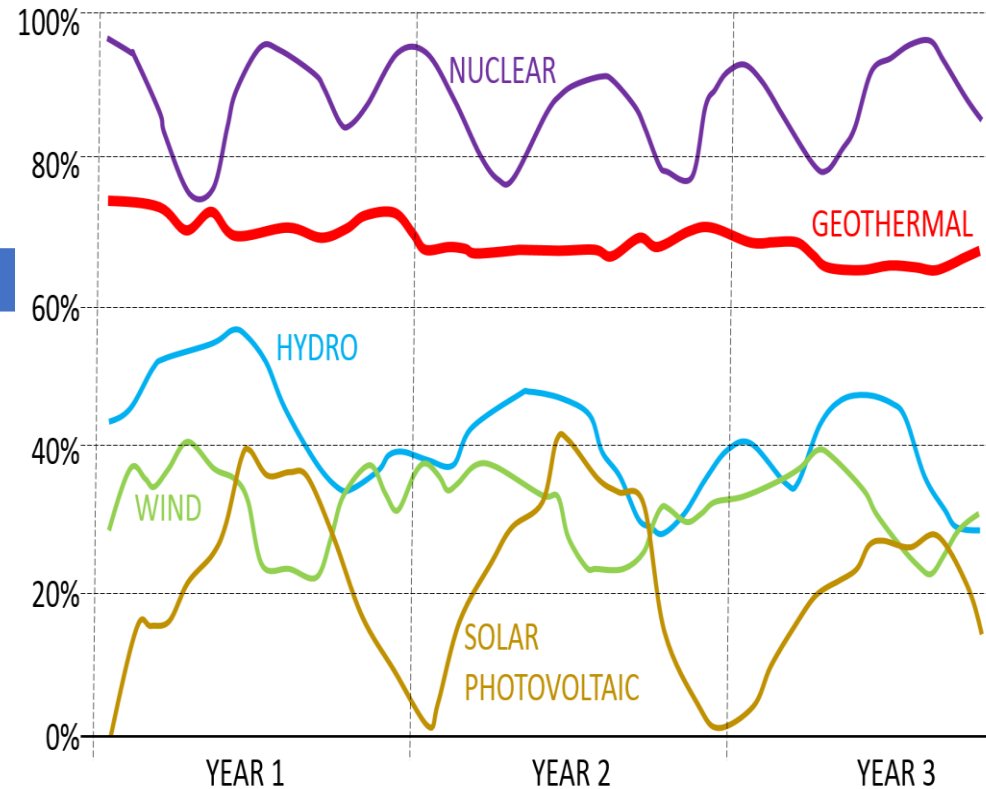
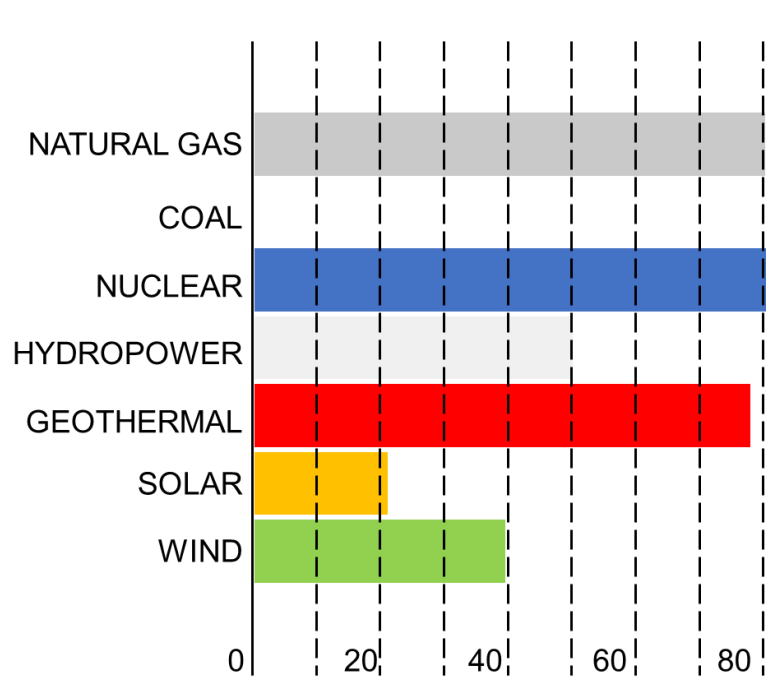
# Geotermia: opportunità

## USI DEL CALORE GEOTERMICO



sito web: [www.vigor-geotermia.it](http://www.vigor-geotermia.it)

# FATTORE DI CAPACITÀ DA ALCUNE DELLE ENERGIE RINNOVABILI

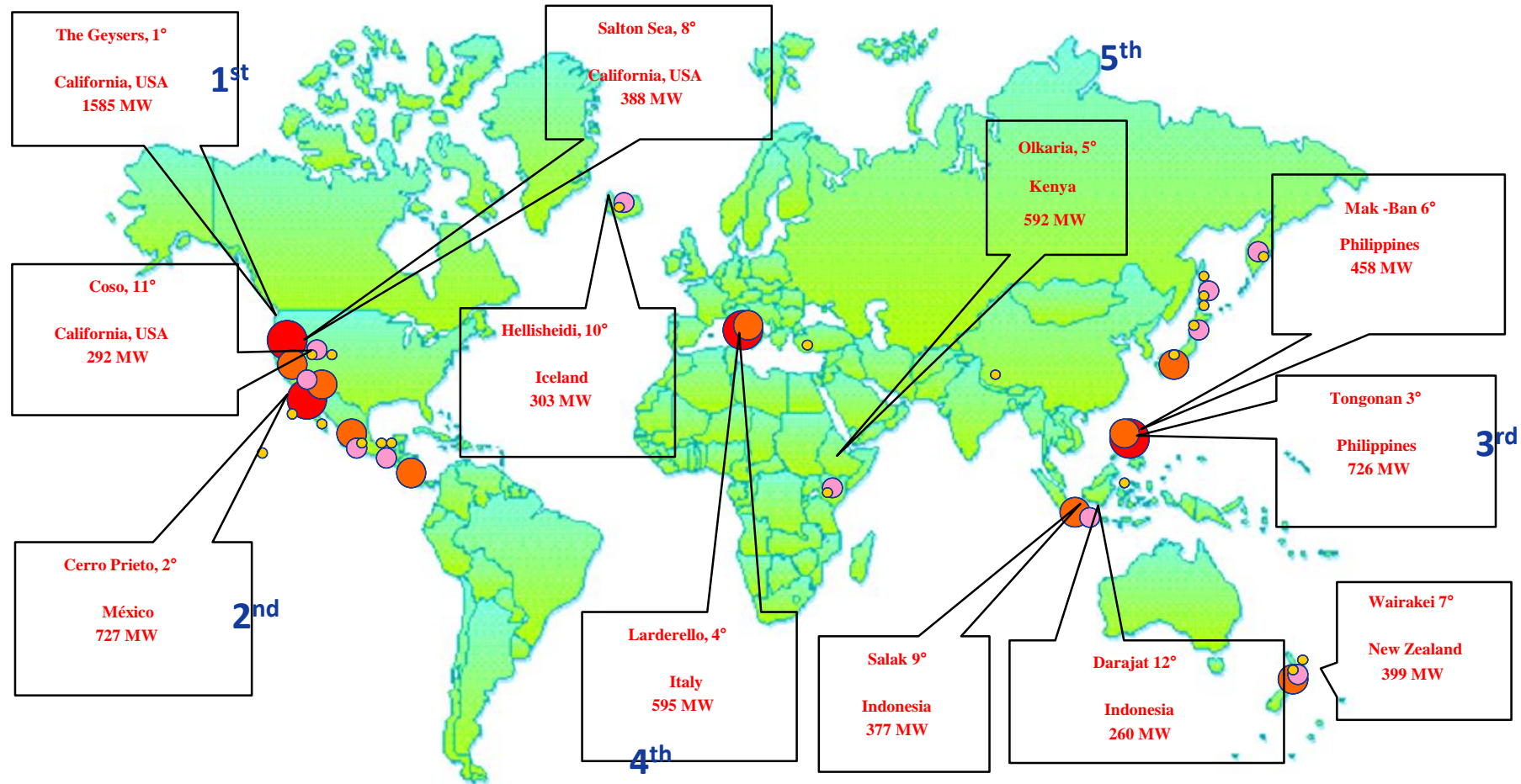


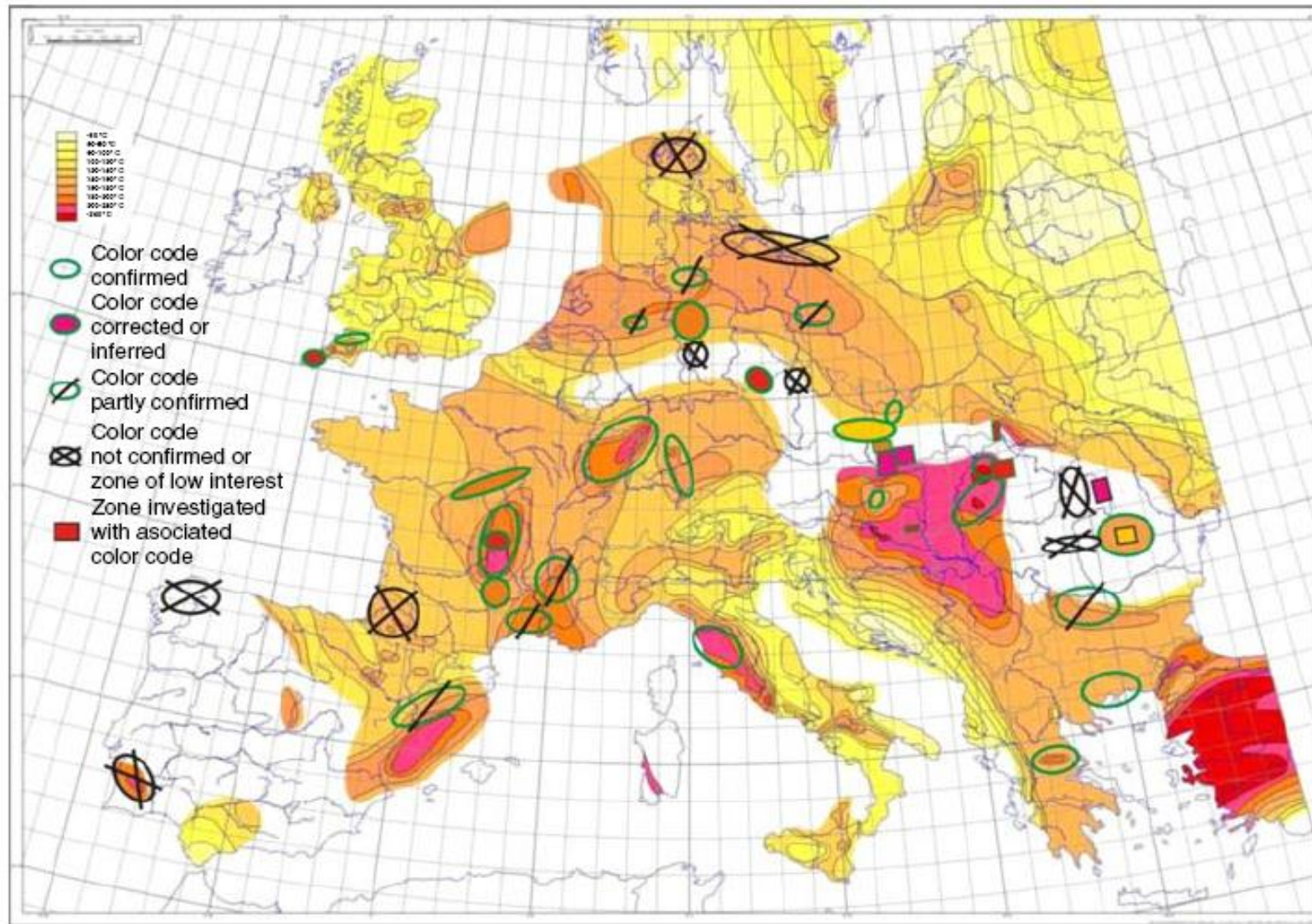
$$CF = \frac{\textit{produzione}}{\textit{capacità nominale} * 8760}$$

Dove la produzione è la potenza netta annua erogata e la capacità nominale quella teorica di targa.

8760 = ore all'anno

# 2022 Top Dozen of Geothermal Fields

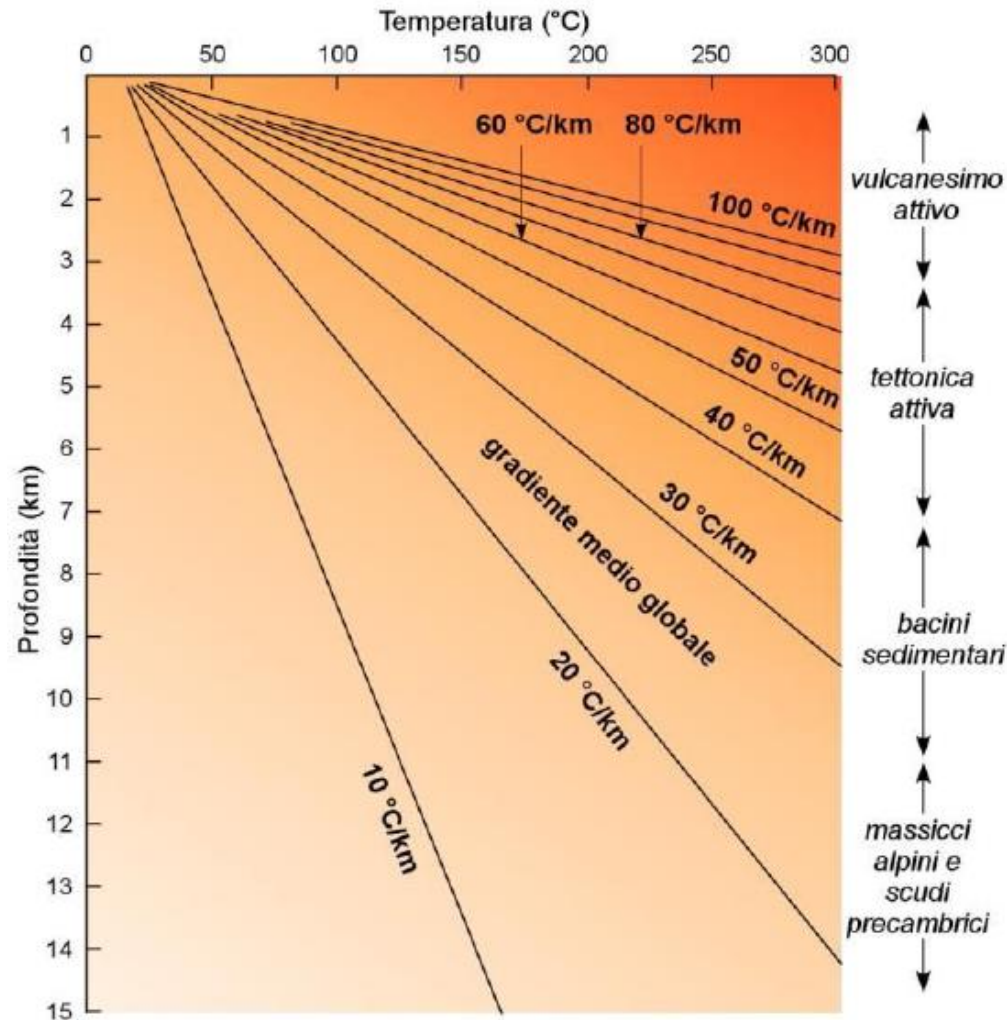




**Figure 1.11** Map of temperature at 5 km depth, as inferred from unavailable (confidential) BHT measurements (Hurtig *et al.*, 1992; EIEG, 2000) and critical analysis by Genter *et al.*



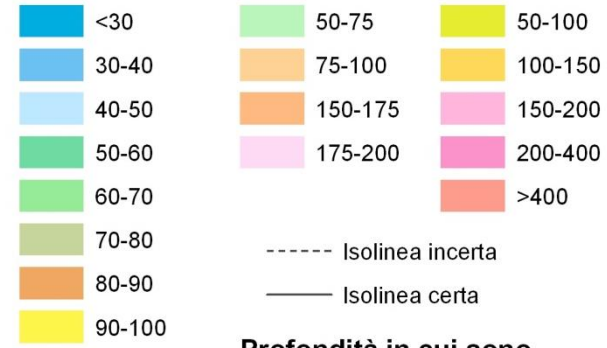
# Gradiente geotermico



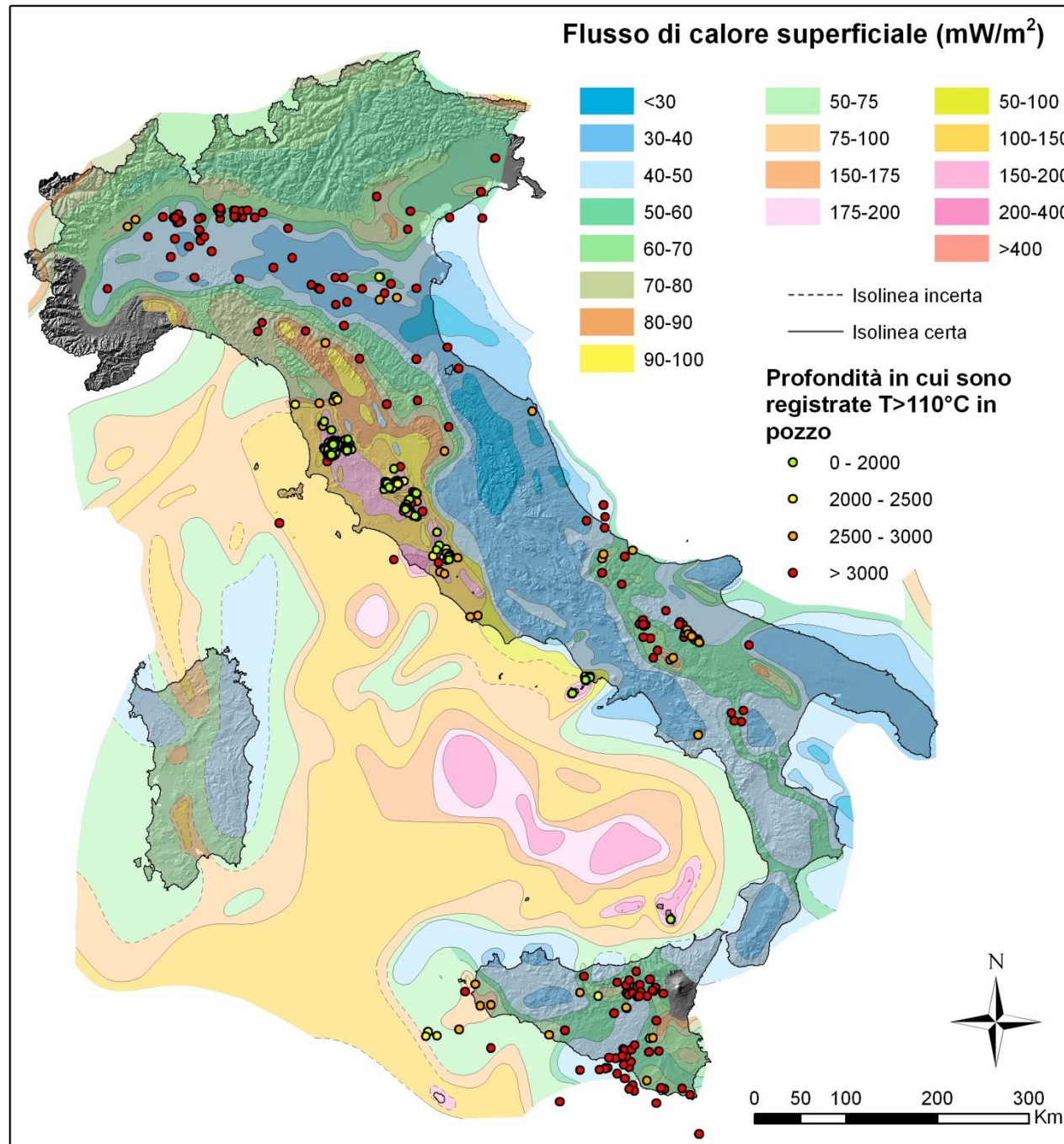
In assenza di circolazione di fluidi il **gradiente geotermico** varia a seconda del contesto geodinamico e geologico dell'area; mediamente varia **1° C ogni 20-40 m** di profondità.

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. Il **flusso di calore** medio è **65 mWm<sup>-2</sup>** nelle aree continentali e **101 mWm<sup>-2</sup>** nelle aree oceaniche, con una media globale di **87 mWm<sup>-2</sup>**.

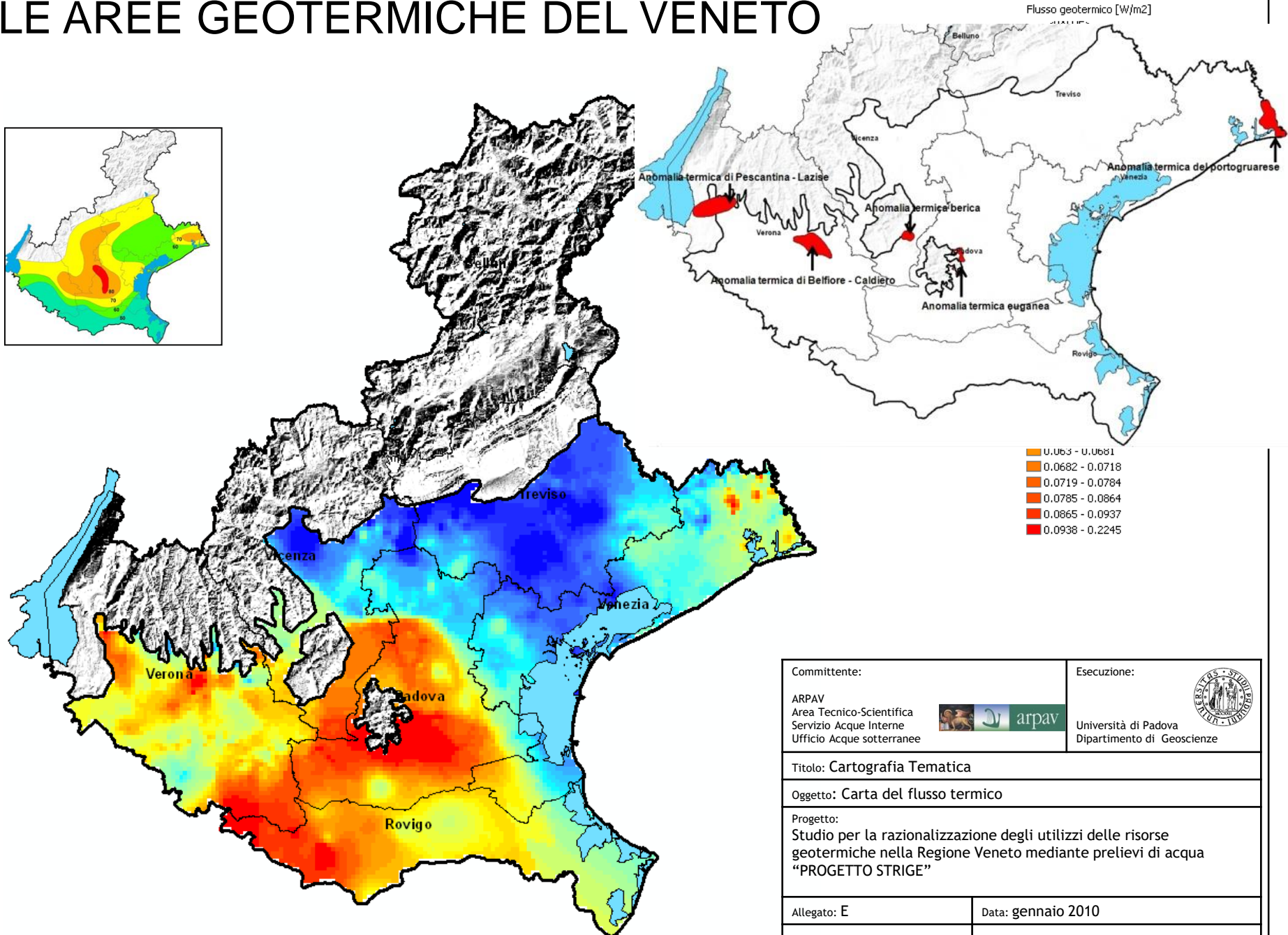
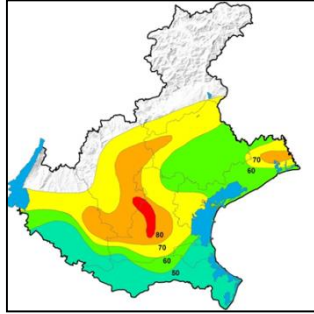
### Flusso di calore superficiale (mW/m<sup>2</sup>)




### Profondità in cui sono registrate T > 110°C in pozzo



# LE AREE GEOTERMICHE DEL VENETO

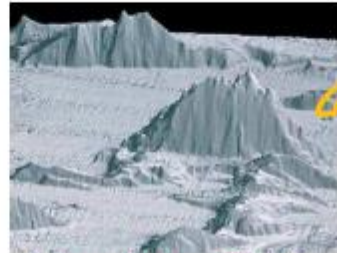


|   |  |
|---|--|
| Committente:<br>ARPAV<br>Area Tecnico-Scientifica<br>Servizio Acque Interne<br>Ufficio Acque sotterranee  | Esecuzione:<br><br>Università di Padova<br>Dipartimento di Geoscienze |
| Titolo: Cartografia Tematica  |  |
| Oggetto: Carta del flusso termico   |  |
| Progetto:<br>Studio per la razionalizzazione degli utilizzi delle risorse geotermiche nella Regione Veneto mediante prelievi di acqua "PROGETTO STRIGE" |  |
| Allegato: E   | Data: gennaio 2010   |
| Elaborato: Dott.ssa Elisa Destro  | Approvato: Dott. Antonio Galgano   |

Shallow water resources <200 m  
(red and orange patterns)

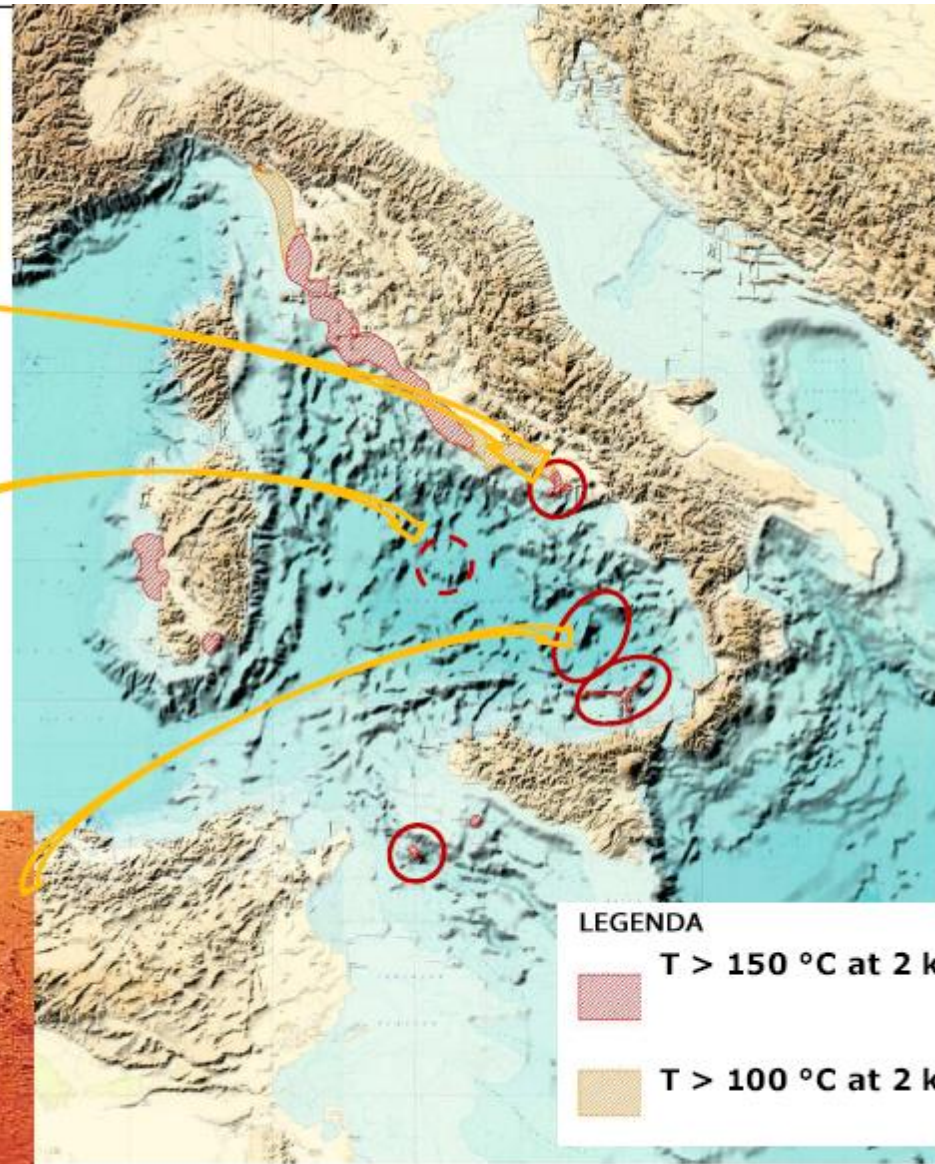
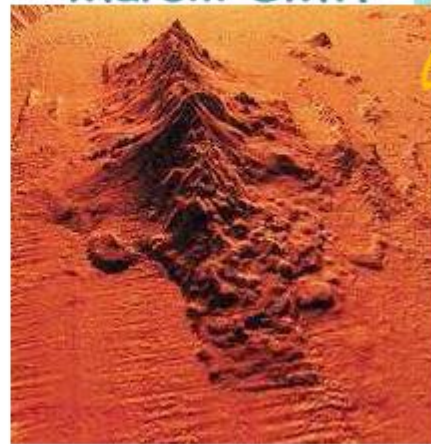
Deep resources (circles)

Campi Flegrei  
Deep Drilling  
Project



Vavilov SMT.

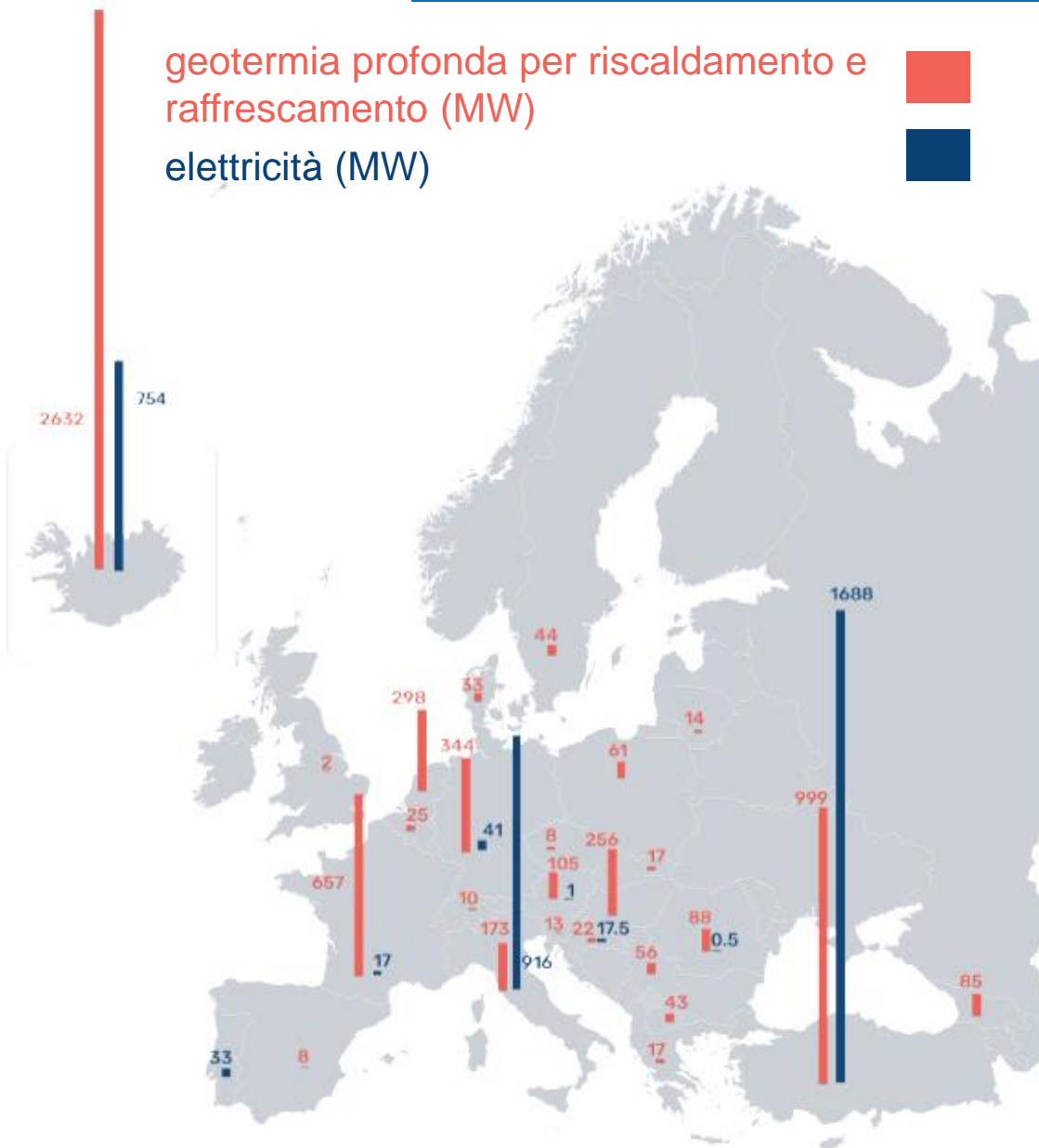
Marsili SMT.



LEGENDA

- T > 150 °C at 2 km
- T > 100 °C at 2 km

# Panoramica



**capacità installata**  
di energia elettrica  
geotermica e  
teleriscaldamento per i  
paesi dell'unione  
europea nel 2020 (MW)

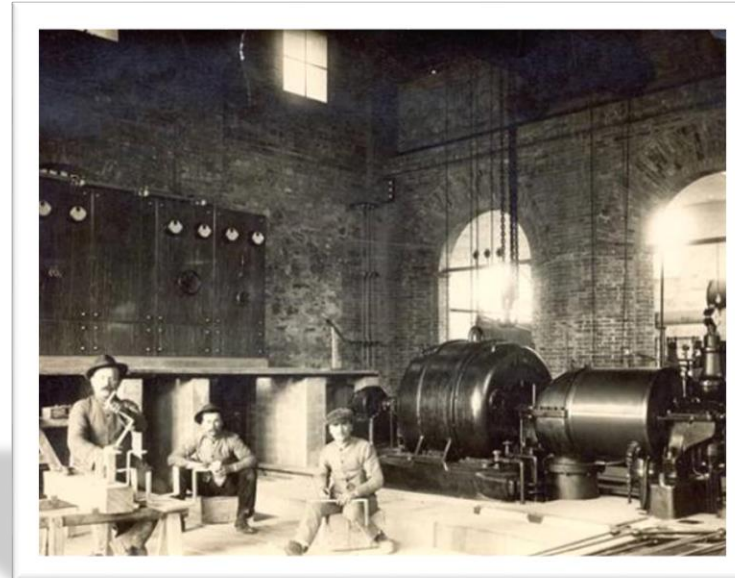
## LA STORIA DELLA GEOTERMIA

Proprio **in Italia**, a Larderello in Toscana, nel 1904 è stato ideato per la prima volta l'utilizzo del vapore caldo che usciva spontaneamente dal terreno per la produzione di energia elettrica mediante una turbina.

Ancora oggi l'Italia è **uno dei maggiori produttori di energia geotermica al mondo**: in Toscana oltre trenta impianti forniscono una produzione energetica superiore a 5000 GWh all'anno, che corrisponde a quasi il 2% del fabbisogno nazionale.



1904: first experiment



1913: first 250 kW unit

Larderello: the birthplace of geothermal industry  
Before the beginning...



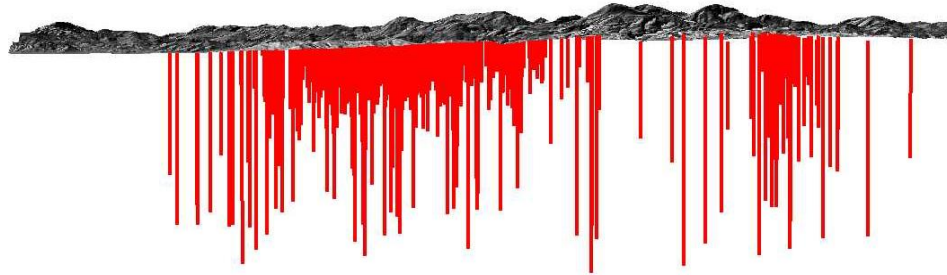
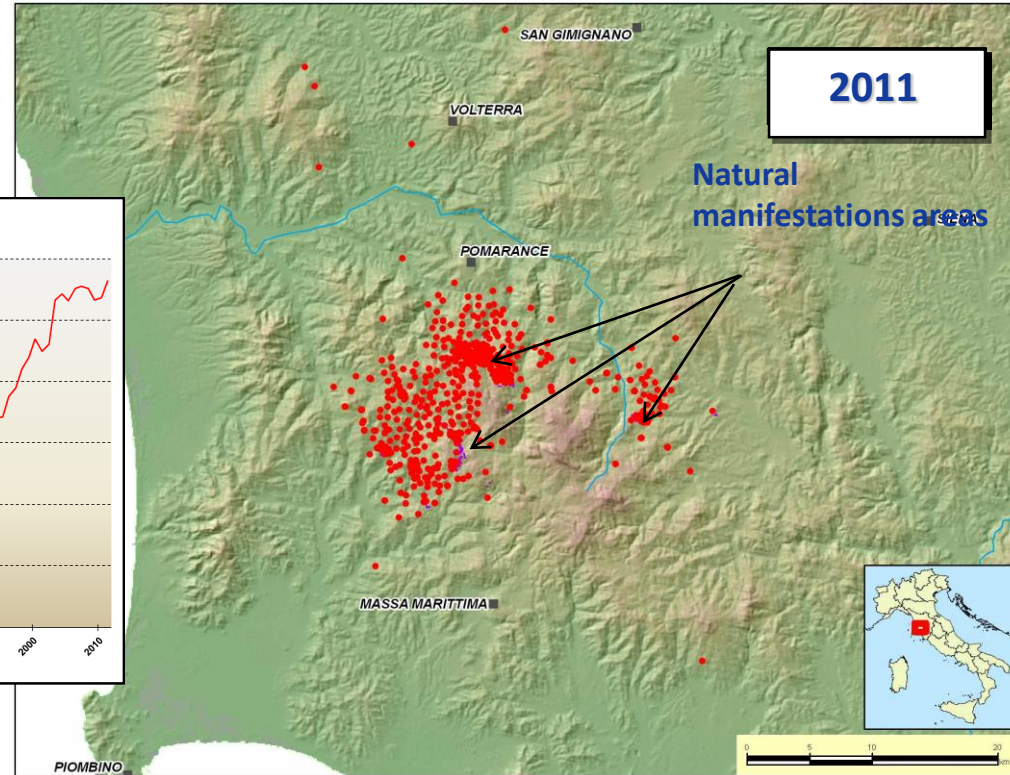
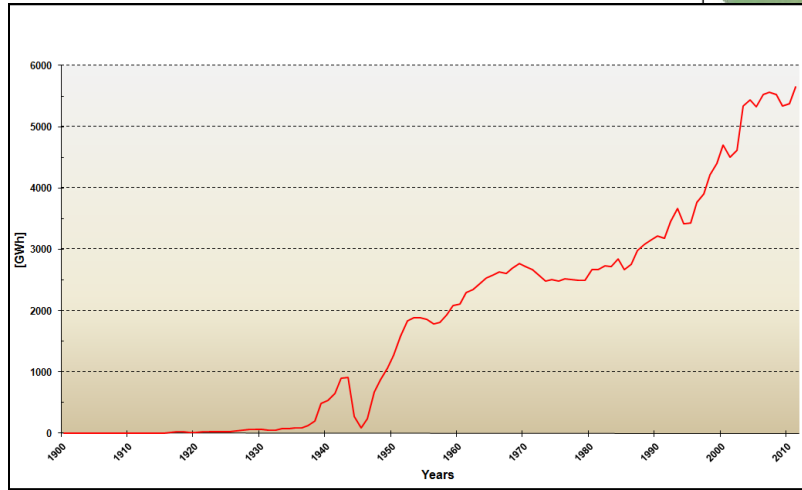
The Devil Valley in Larderello  
No exploration activity needed.....

## The pioneering stage





# The history

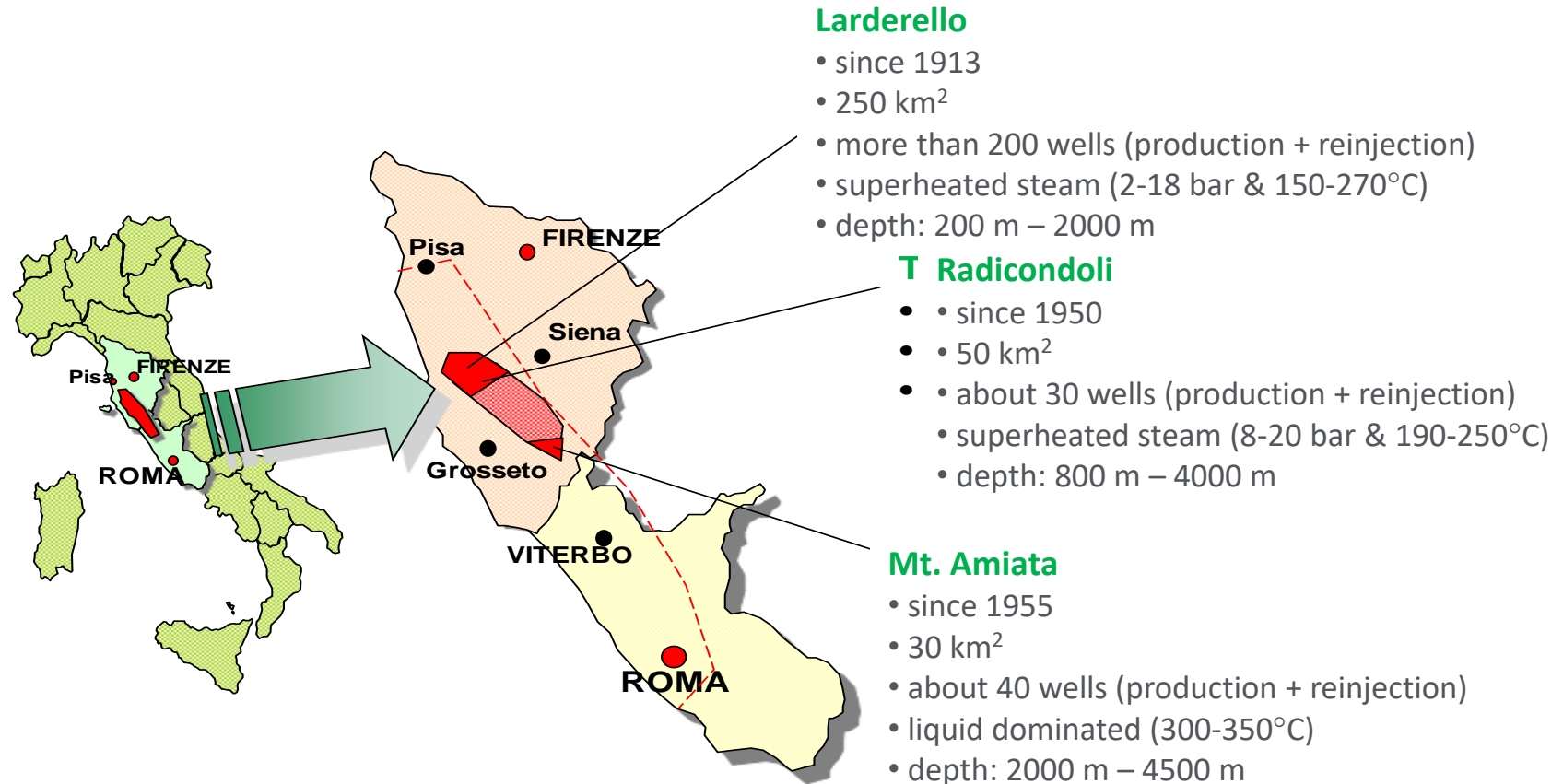


The pionering stage

# Geothermal power generation in Italy

## Where and its characteristics

Currently *Enel Green Power* is the only that produces electricity from geothermal sources in Italy.

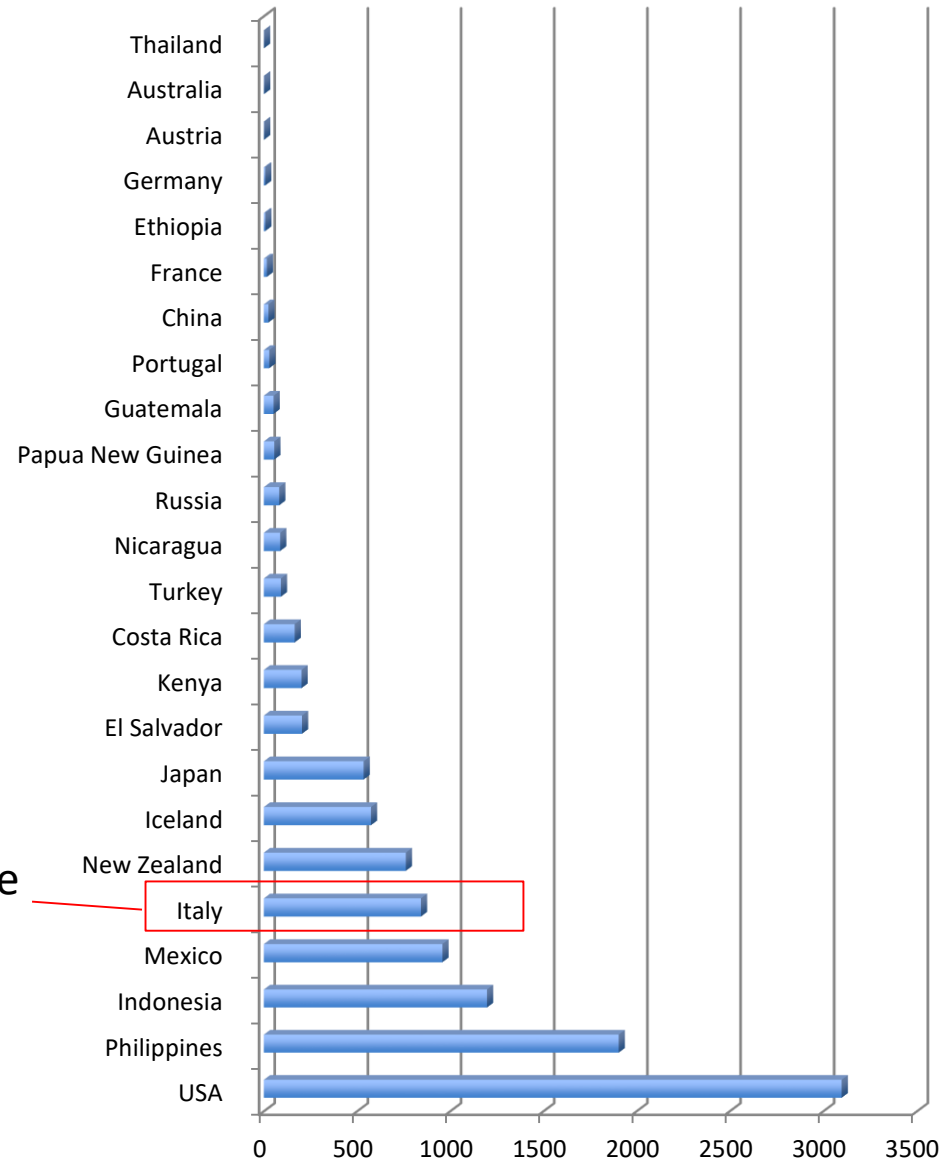


# Produzione di energia

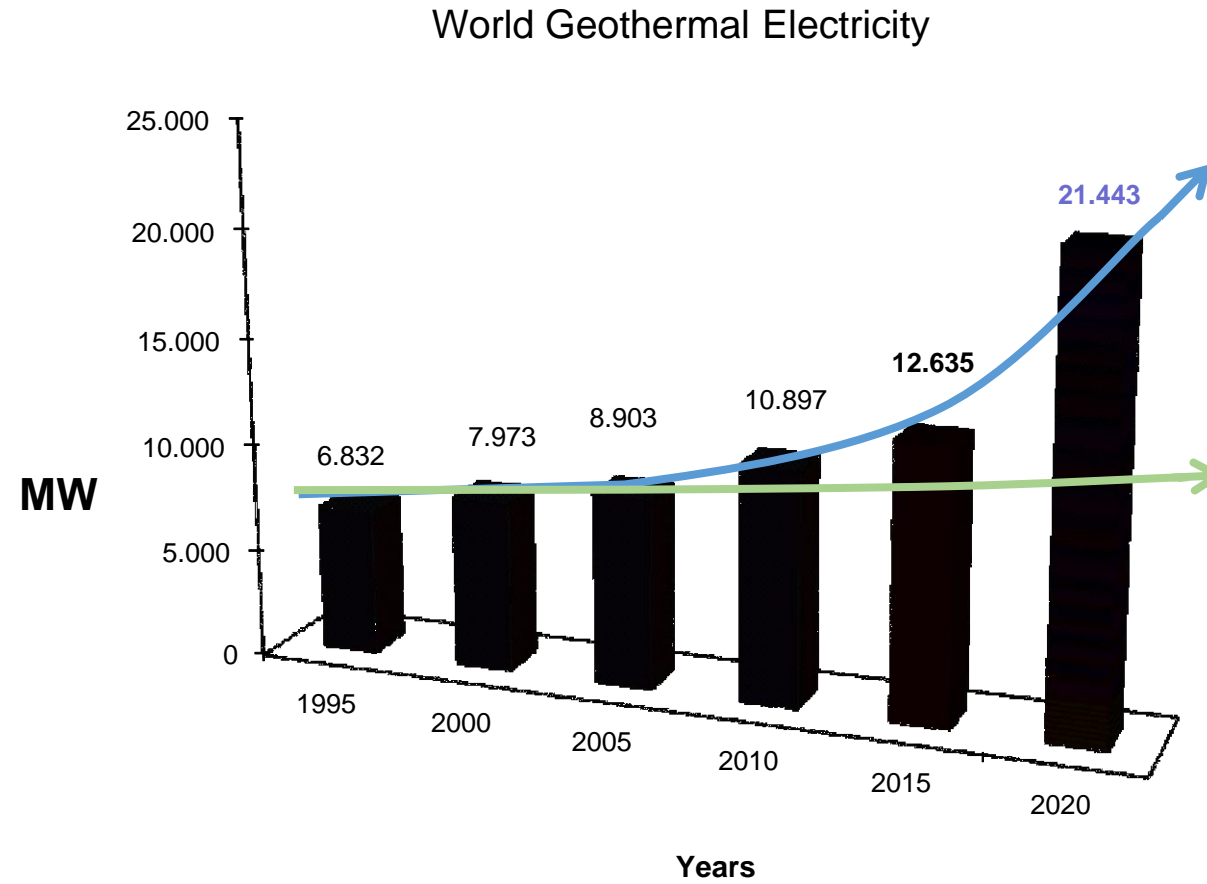


La generazione geotermoelettrica italiana corrisponde a:

8,5 % di quella mondiale,  
1,9 % della generazione nazionale  
30 % dei consumi elettrici della  
Toscana.



# The World Geothermal Electricity Trend



# Power plants



# Produzione di energia

Il calore sotterraneo non viene utilizzato direttamente per la produzione di energia, ma attraverso una massa d'acqua che scambia ed estrae il calore immagazzinato nelle rocce (sistemi idrotermali)

La potenza elettrica è prodotta dalla conversione di energia termica immagazzinata nella massa d'acqua ( $T$  da  $90^{\circ}\text{C}$  a  $350^{\circ}\text{C}$ ) in energia meccanica attraverso una turbina, direttamente (tecnologia convenzionale flash) o indirettamente (tecnologia binaria), ed infine in energia elettrica grazie al generatore

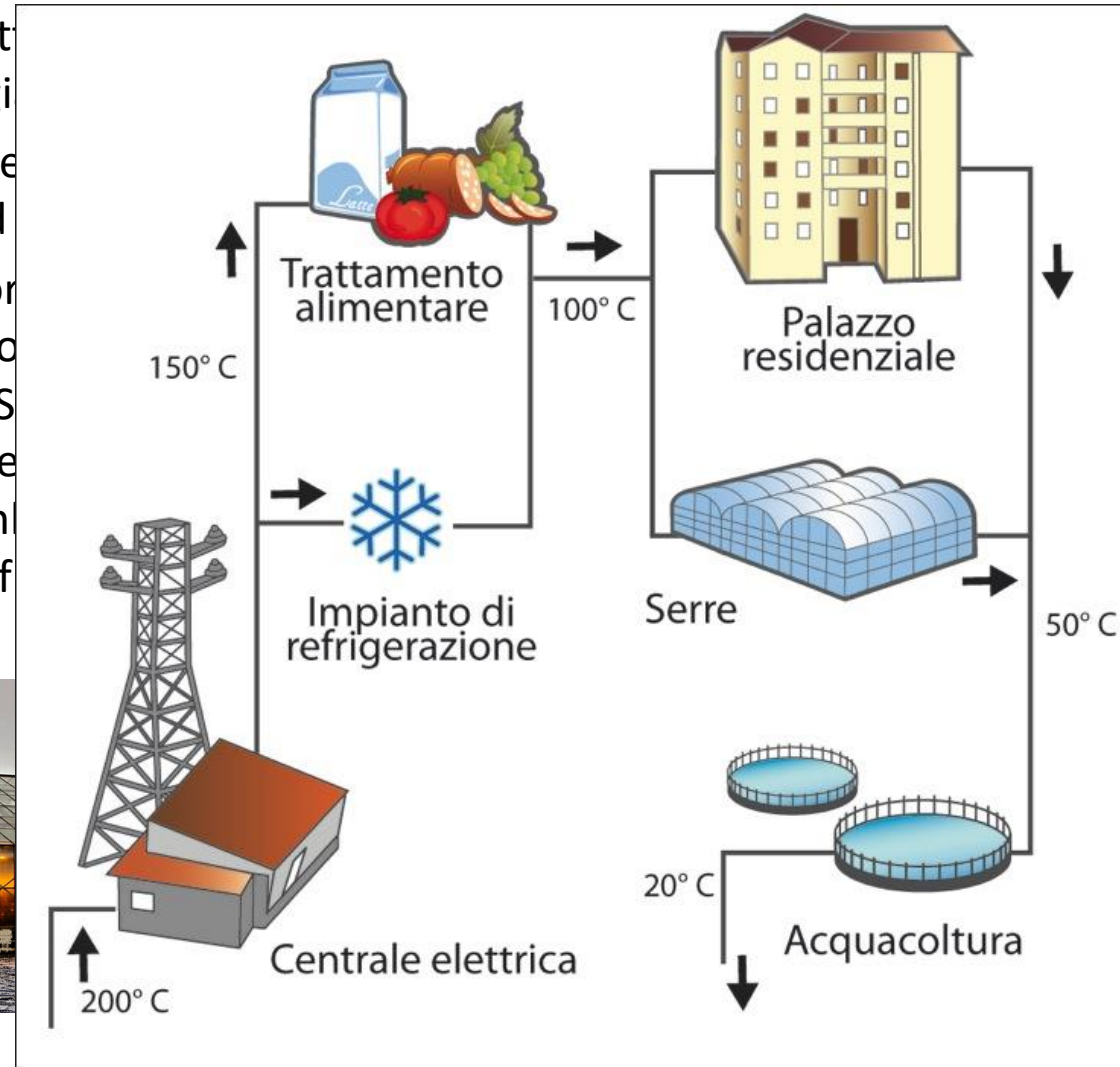
1  $\text{MW}_e$  richiede:

- 7 - 10 t/h di vapore secco
- 30-40 t/h di fluido bifase a  $200\text{-}250^{\circ}\text{C}$  (tecnologia flash)
- 400 - 600 t/h di acqua se si utilizzano cicli binari ORC a bassa entalpia ( $120\text{-}160^{\circ}\text{C}$ )



# Uso diretto del calore

- L'uso diretto dell'energia
- Generalmente nei processi agricoli ed industriali
- La maggior parte delle risorse geotermiche naturali. Si può essere o olio come portatore il fluido



utilizzo

e nei processi

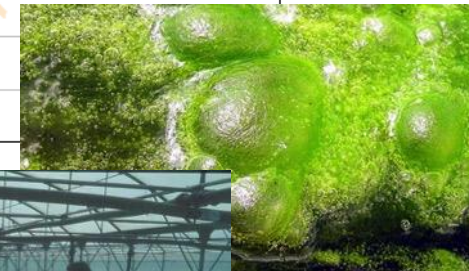
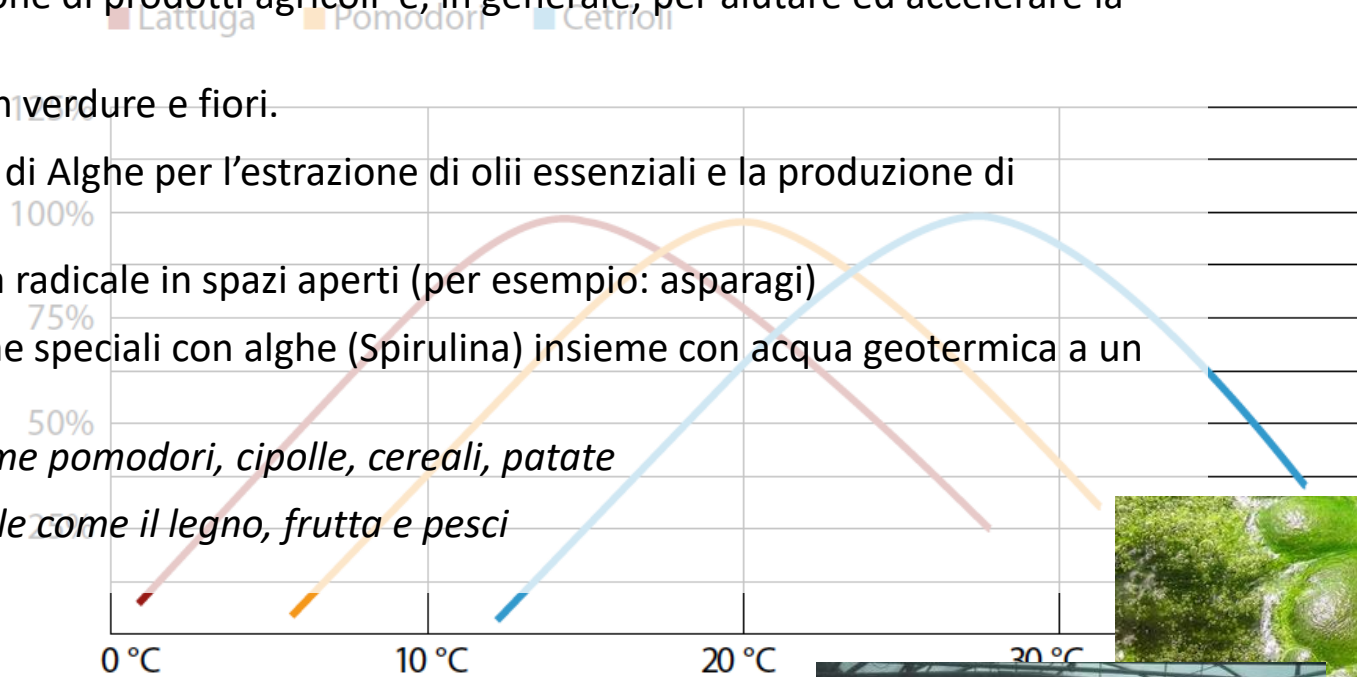
usare le  
energia  
solare o gas  
a temperatura  
relativamente elevata,  
come la geotermia,  
l'energia eolica, il carbone  
e i gas serra per



# Agricoltura

- La risorsa geotermica può essere usata in un ampio spettro di applicazioni per il riscaldamento di serre, alghe, l'essiccazione di prodotti agricoli e, in generale, per aiutare ed accelerare la crescita della flora:

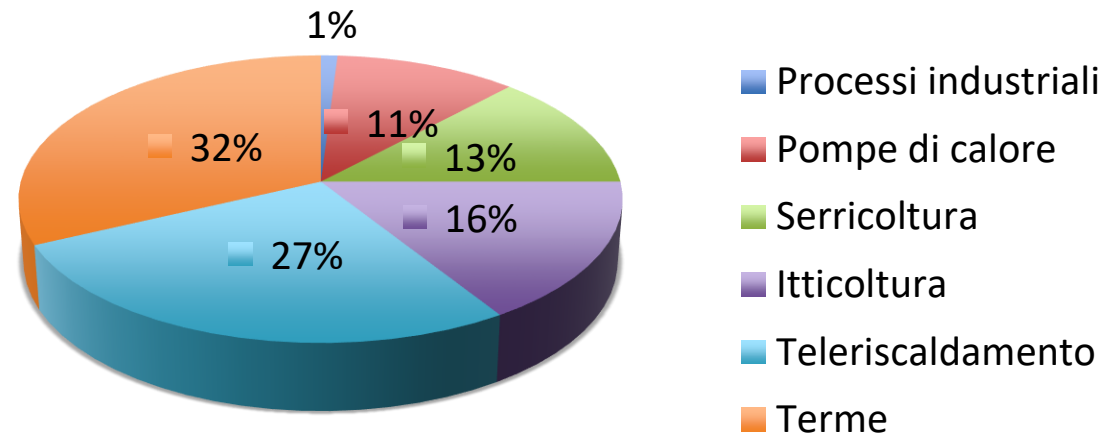
- Riscaldamento di serre con verdure e fiori.
- Coltivazione e produzione di Alghe per l'estrazione di olii essenziali e la produzione di biocombustibili
- Riscaldamento del sistema radicale in spazi aperti (per esempio: asparagi)
- Riscaldamento delle piscine speciali con alghe (Spirulina) insieme con acqua geotermica a un elevato contenuto di CO<sub>2</sub>
- *Essiccazione di ortaggi come pomodori, cipolle, cereali, patate*
- *Essiccazione altro materiale come il legno, frutta e pesci*





# Uso diretto del calore in Italia

- Nonostante l'Italia possa vantare un importante *know how* geotermico, gli usi diretti dell'energia geotermica sul territorio nazionale sono poco sviluppati
- La mancanza di un censimento ufficiale degli impianti e di chiare regole per la loro classificazione ed utilizzo rende peraltro difficile valutare la reale situazione e monitorarne lo sviluppo.

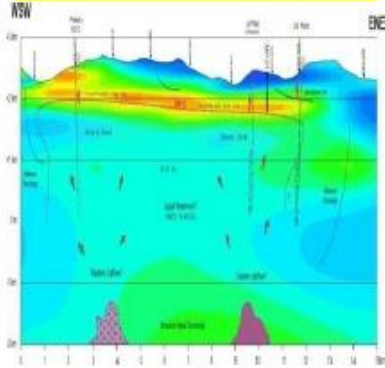


ESPLORAZIONE

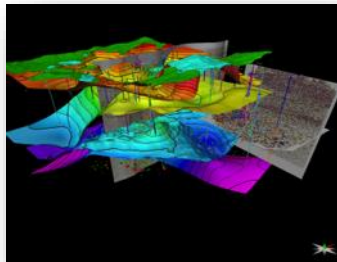
PERFORAZIONE  
POZZI

COSTRUZIONE  
IMPIANTI

ESERCIZIO &  
MANUTENZIONE  
IMPIANTI



Valutazione, mitigazione e monitoraggio ambientale

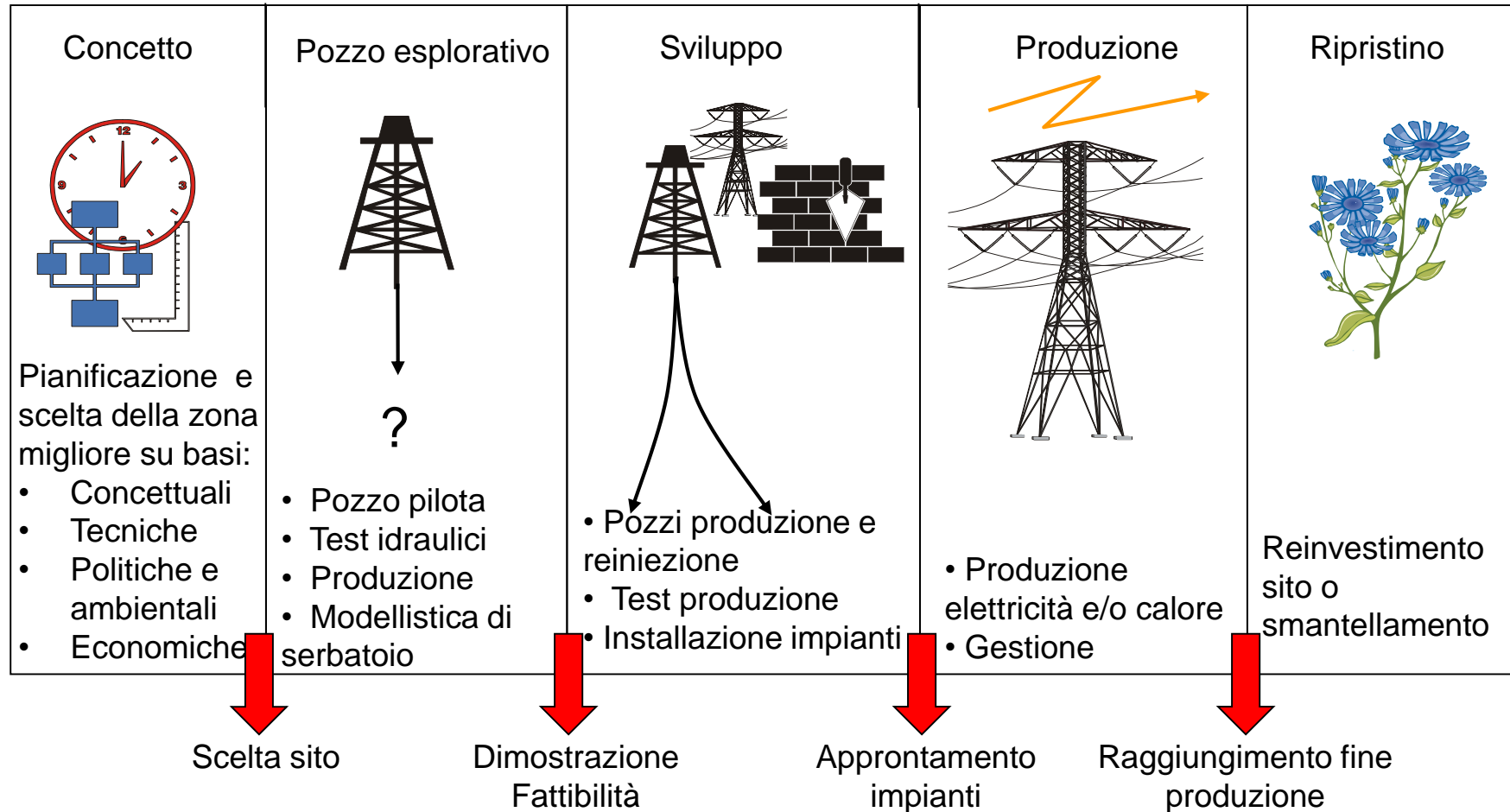


# e rischi legati alle varie fasi di vita di un progetto

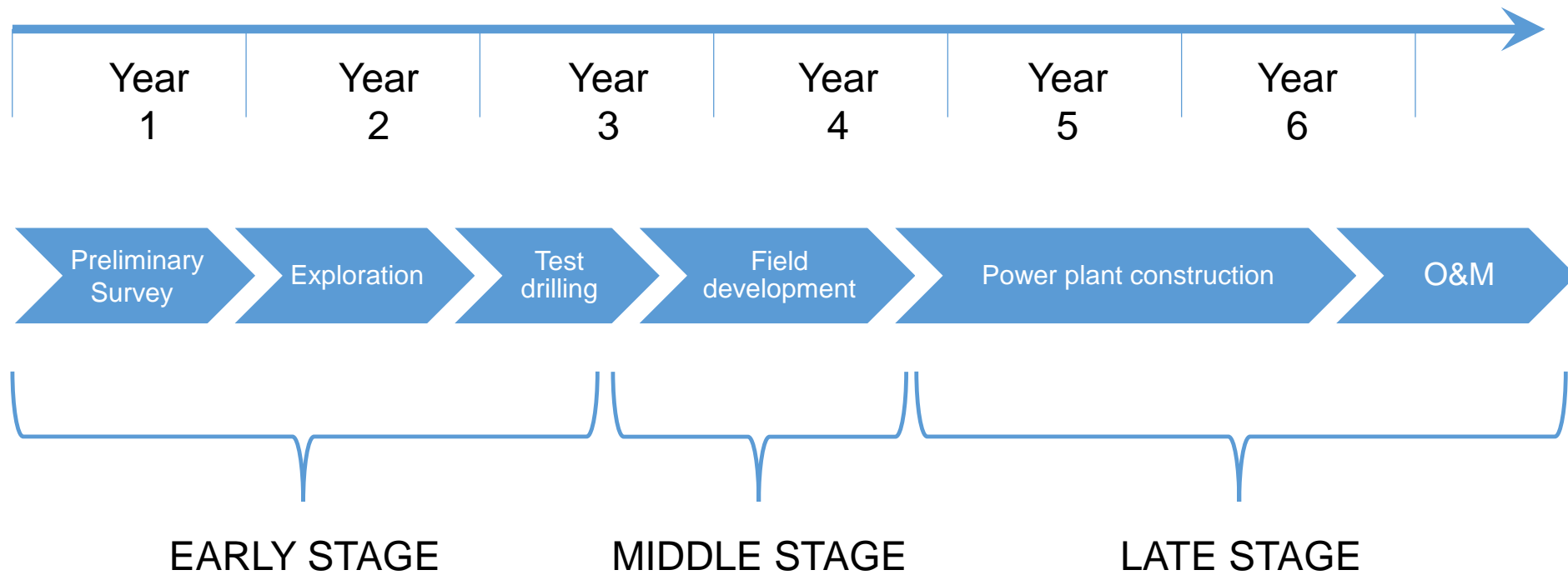
Esplorazione

Perforazione, sviluppo del campo

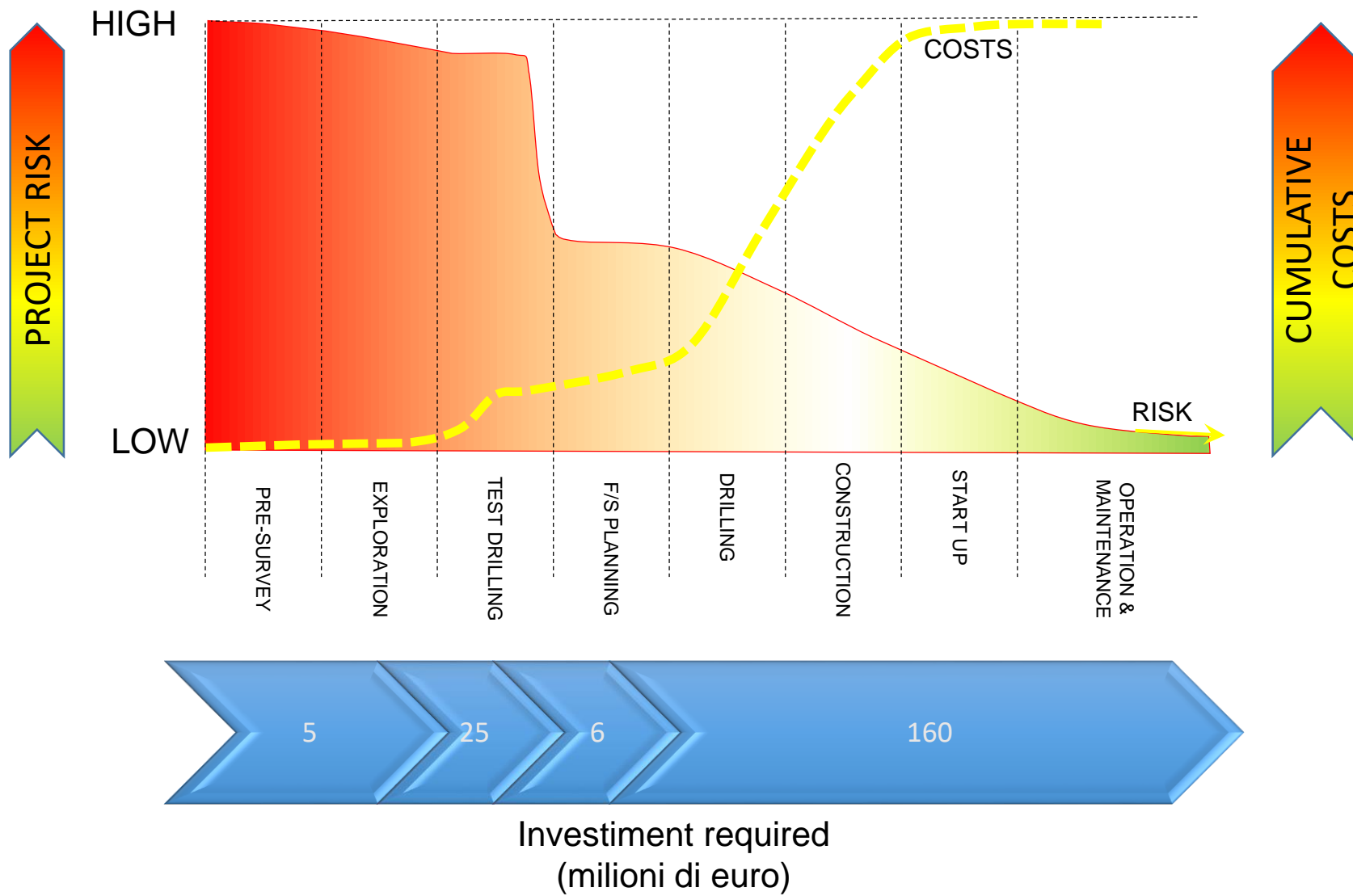
Coltivazione



# Schema sviluppo progetto geotermico



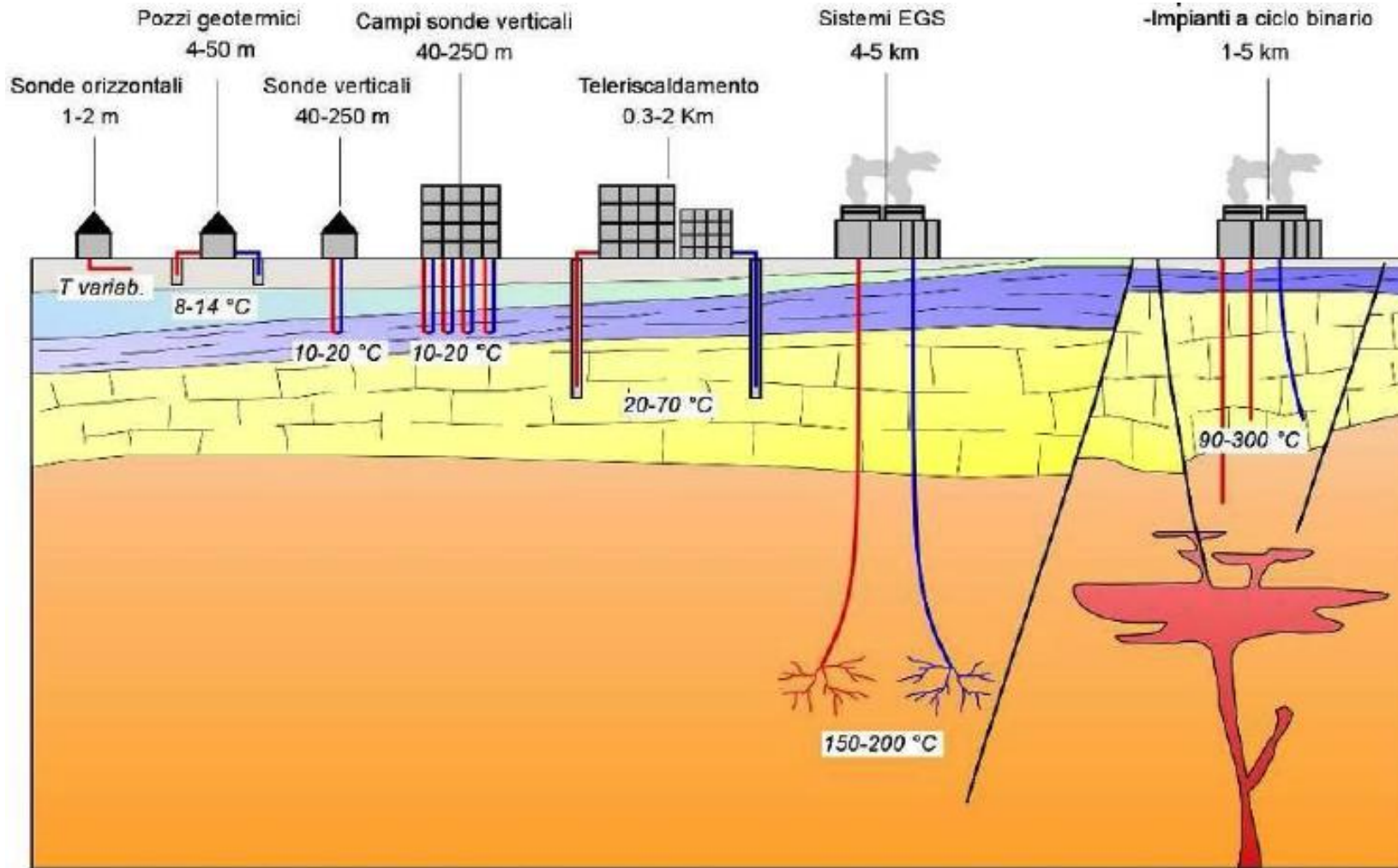
# FINANZIAMENTO DI UN PROGETTO TIPICO DI MEDIA DIMENSIONE (50 MWe)



# Una denominazione confusa

Geotermia superficiale

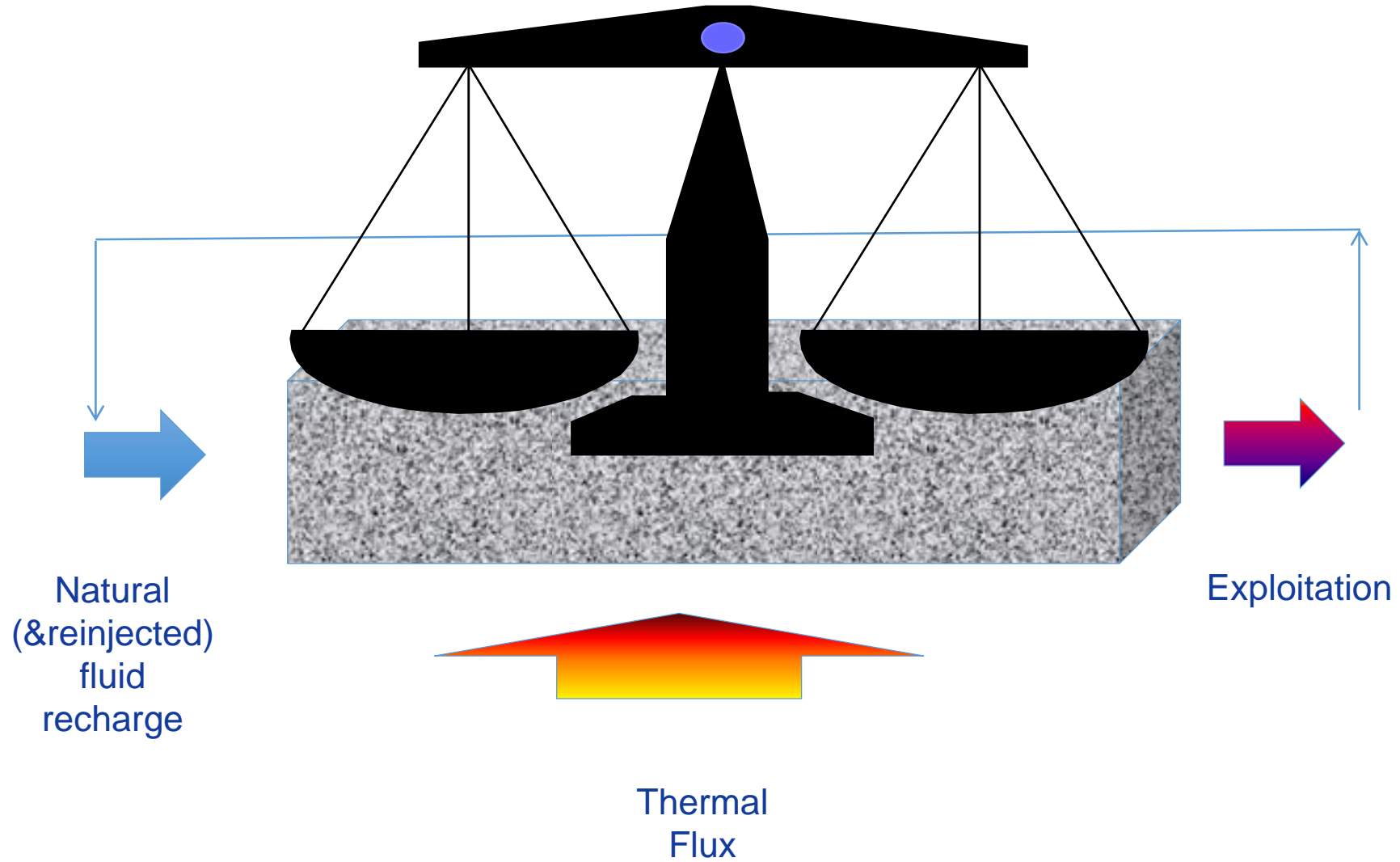
Geotermia profonda



# CANTIERI DI PERFORAZIONE GEOTERMICA

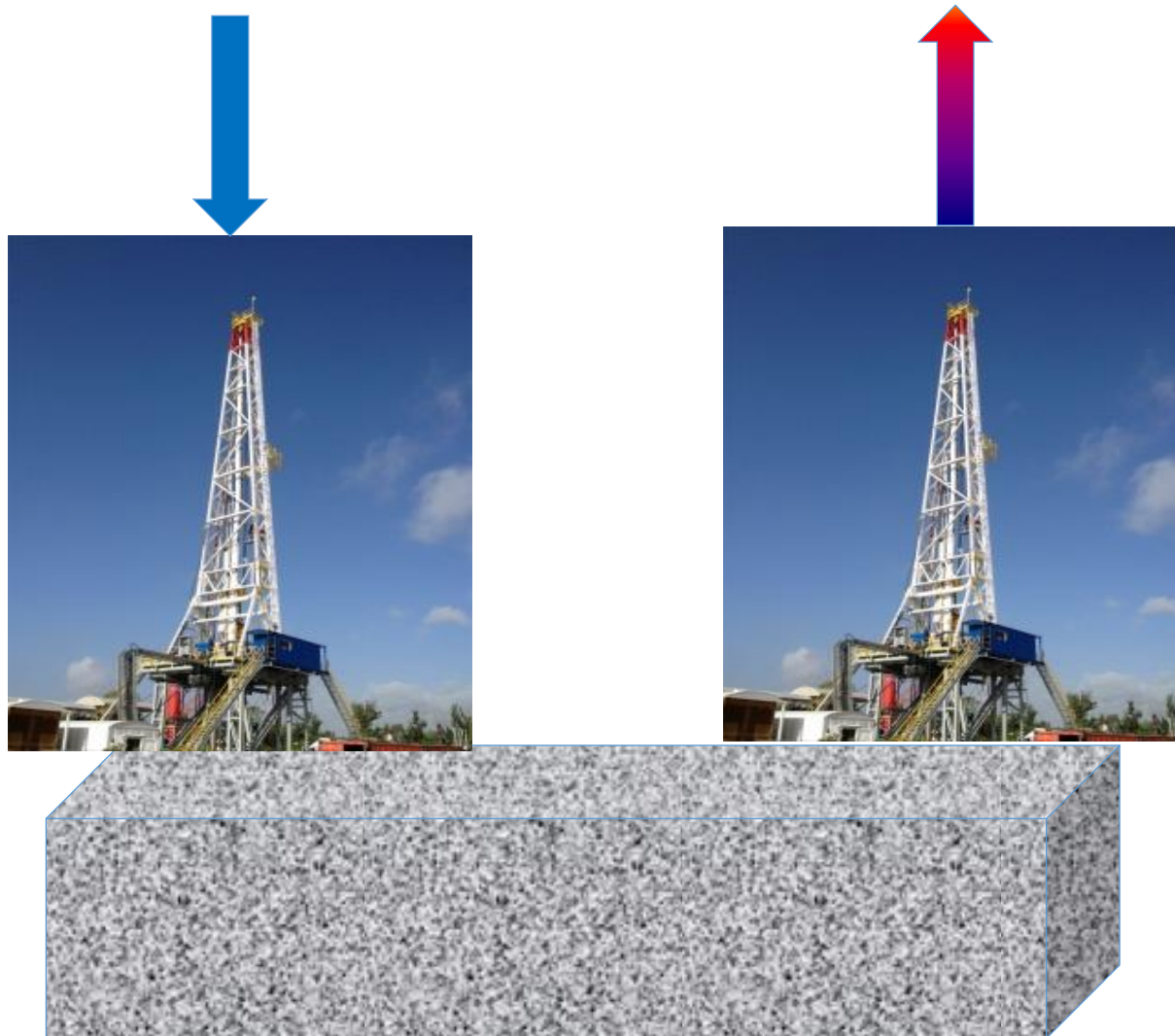


# Sustainable Development



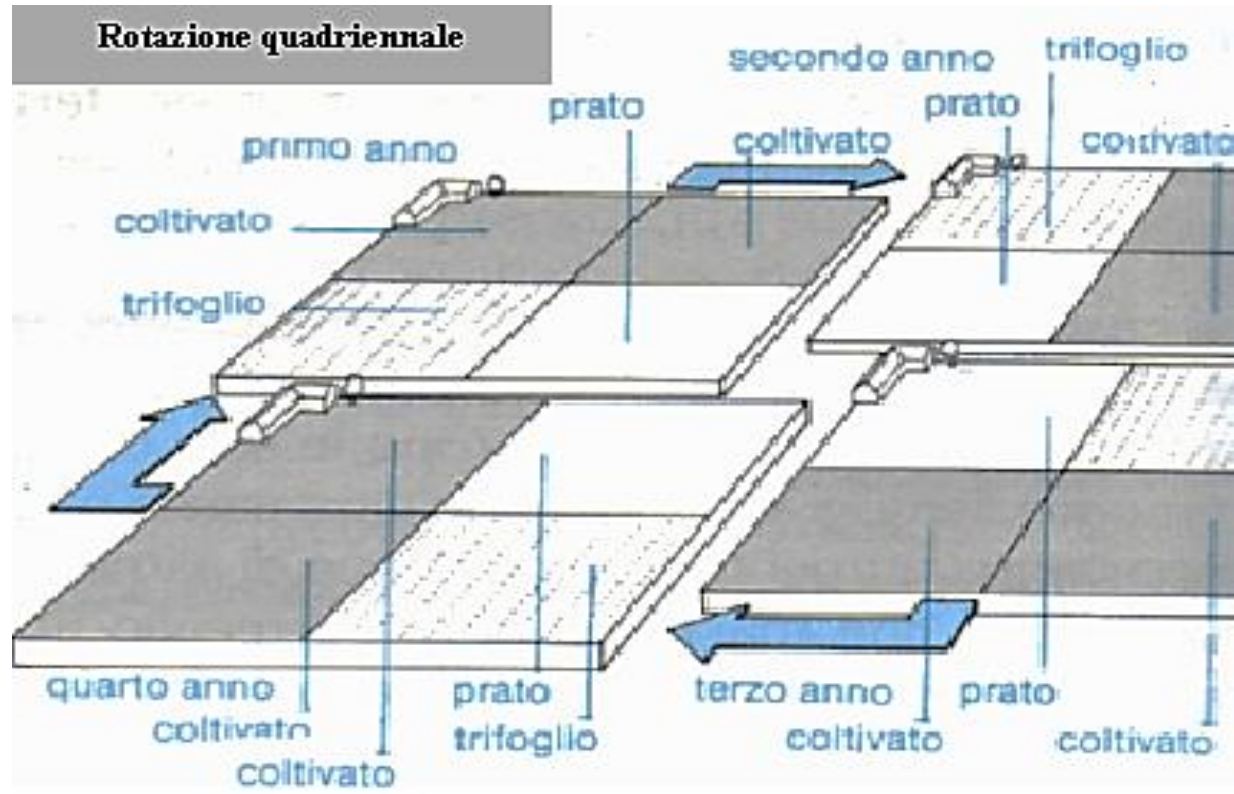


# SVILUPPO SOSTENIBILE



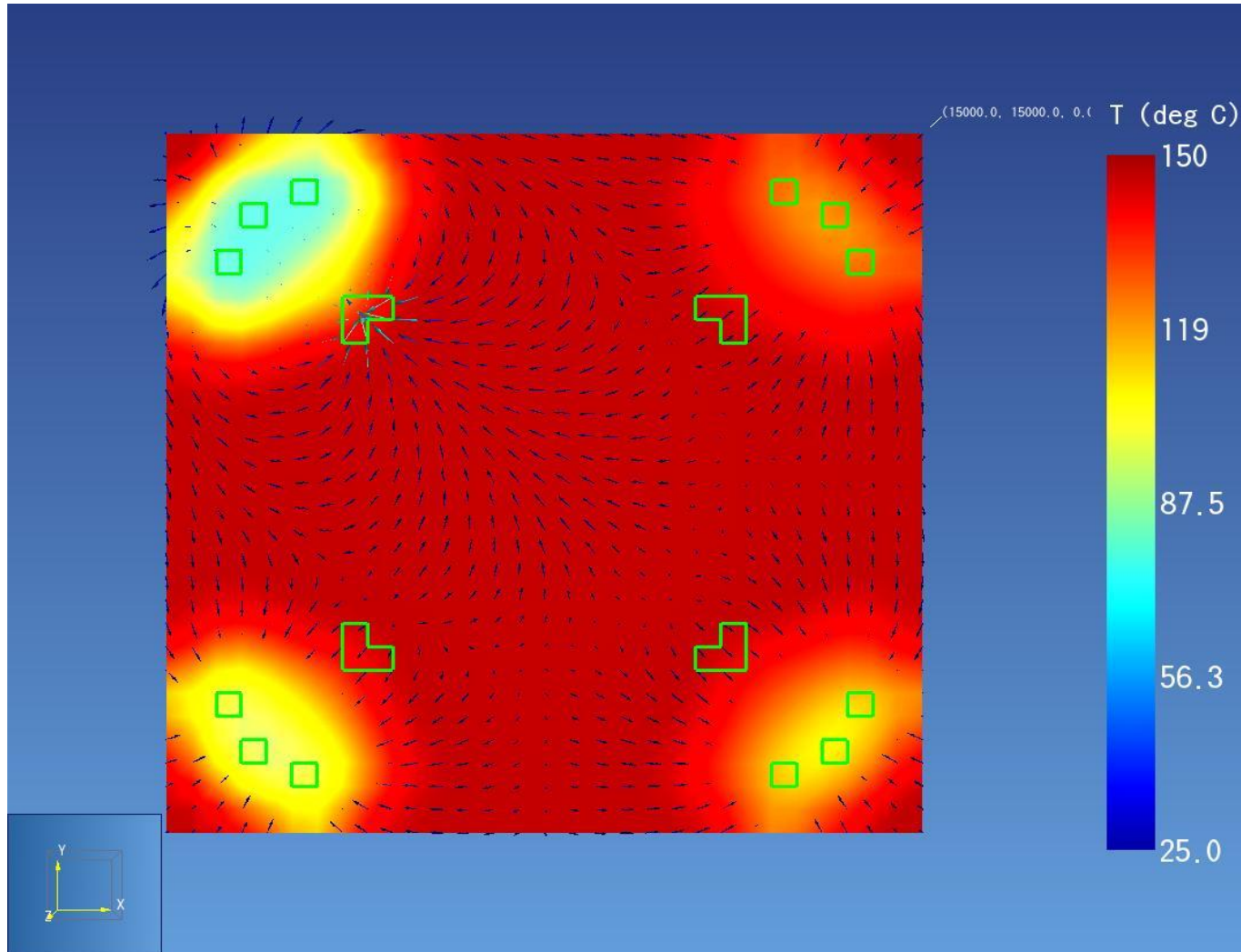
**Un pozzo  
produttivo**  
ed **uno di  
reiniezione**,  
utilizzando  
l'acqua come  
**mezzo di  
scambio** per  
asportare il  
calore  
contenuto nella  
roccia

# Sustainable Development



Un nuovo modello di approccio è possibile, basandosi sul concetto della rotazione agraria: sfrutto alternativamente zone diverse di una area più vasta, tenendo a riposo le altre, e consentendone il resupero in termini di sostanze nutritive..

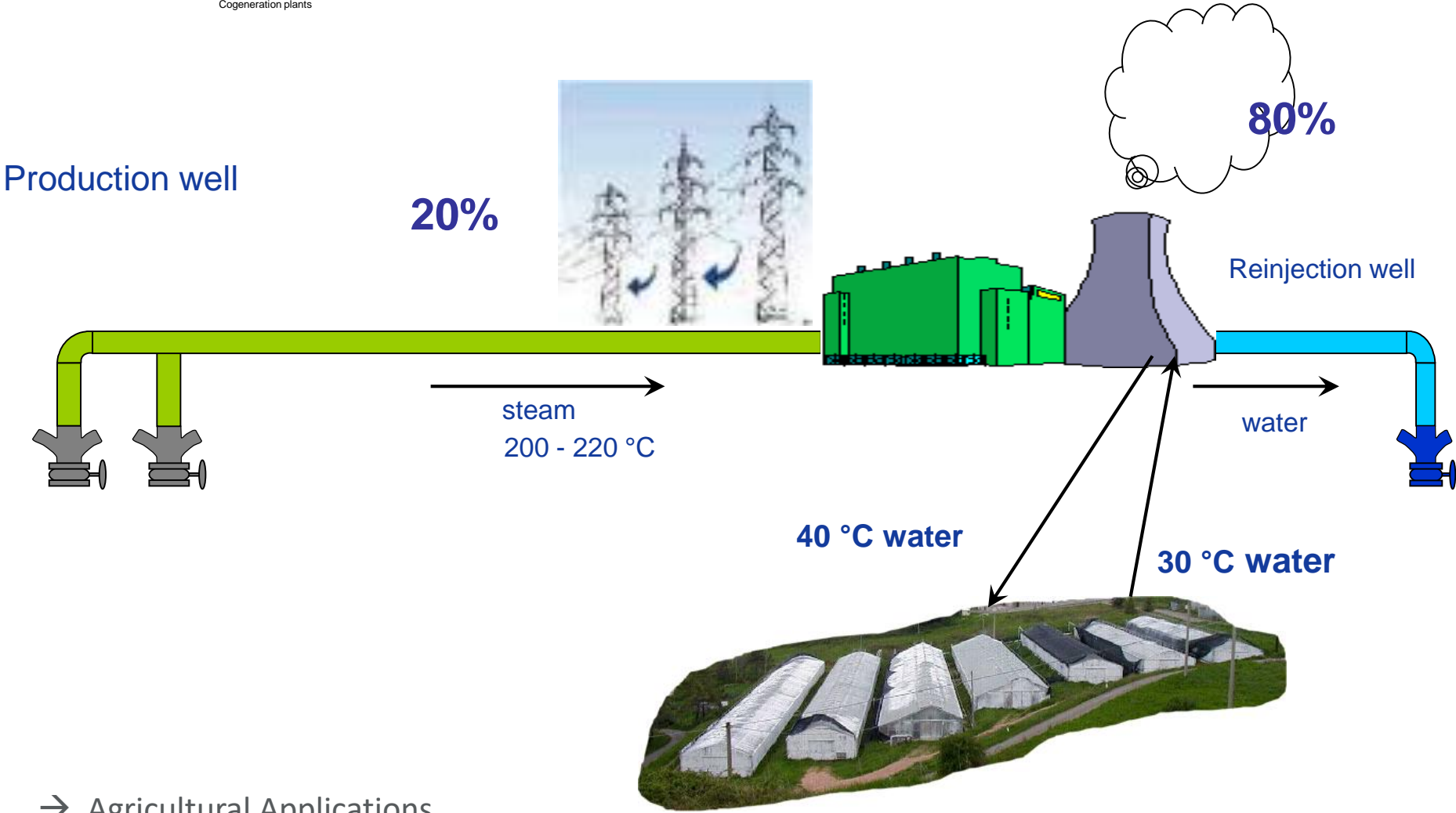
# SVILUPPO SOSTENIBILE



... ipotizzo quindi un sistema più complesso, con **quattro gruppi di pozzi produzione-reiniezione**, su un'area vasta, con **sfruttamento a rotazione di 50 anni**, posso raggiungere un approccio di sviluppo sostenibile, **estraendo costantemente 150 MW elettrici** da un'area di **15x15 km<sup>2</sup>...**

# Is it possible a second exponential growth?

Cogeneration plants



→ Agricultural Applications



**RICONVERSIONE CON FUNZIONE  
GEOTERMICA DI POZZI EX OIL&GAS  
possibile ruolo nelle  
COMUNITA' ENERGETICHE**



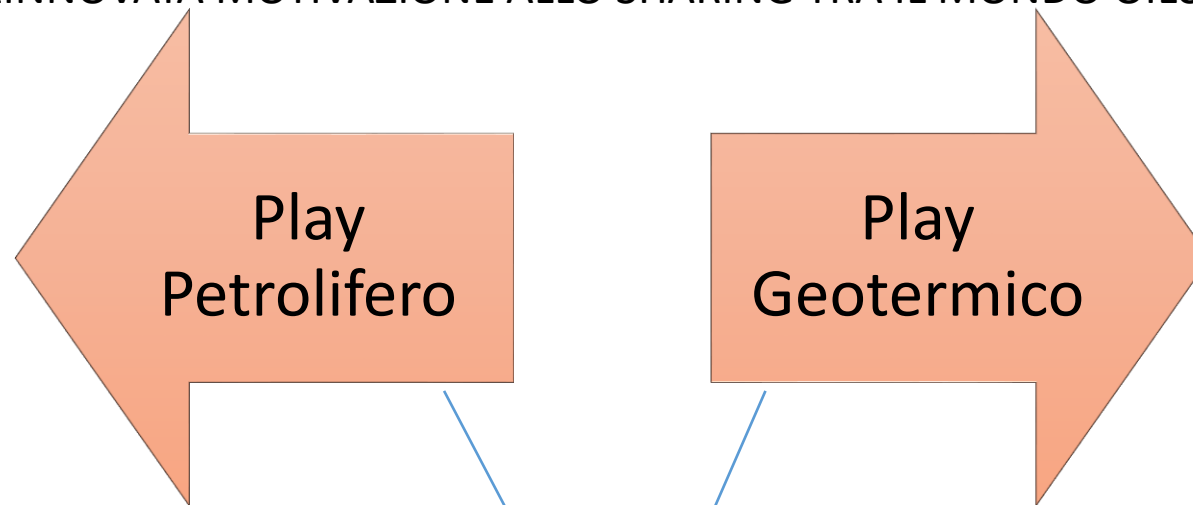
SI STIMA CHE IL SOTTOSUOLO TERRESTRE CONTENGA MOLTE VOLTE PIÙ ENERGIA COME CALORE CHE COME RISORSE DI PETROLIO E GAS. EPPURE LA SCOPERTA DI ACQUA CALDA E VAPORE È STATA TRADIZIONALMENTE CONSIDERATA UN CATTIVO SOSTITUTO DEL PETROLIO.

SEBBENE CI SIANO SOMIGLIANZE CHIAVE TRA QUESTI DUE SETTORI, CON POCHE ECCEZIONI C'È STATO UN CROSSOVER TRA I DUE MONDI.

RECENTEMENTE IL MONDO SI STA RAPIDAMENTE MUOVENDO VERSO FORME DI ENERGIA DI BASE VERDE E FLESSIBILE PER STABILIZZARE LE RETI E OPERARE INSIEME ALL'ESPANSIONE DELLE FONTI RINNOVABILI INTERMITTENTI

STIAMO VIVENDO UNA RINNOVATA MOTIVAZIONE ALLO SHARING TRA IL MONDO OIL&GAS E QUELLO GEOTERMICO

- Sorgente e serbatoio sono potenzialmente localizzati nello stesso livello
- La ricarica degli idrocarburi non è possibile



- La sorgente e il serbatoio sono delle unità separate tra loro
- Ho una continua ricarica della risorsa geotermica generata dal flusso di calore endogeno e dalla ricarica di acquiferi profondi

La **TEMPERATURA (pressione)** è un elemento comune ad entrambi gli scenari

# Pozzi inattivi e abbandonati in Italia dal 1940 al 2005

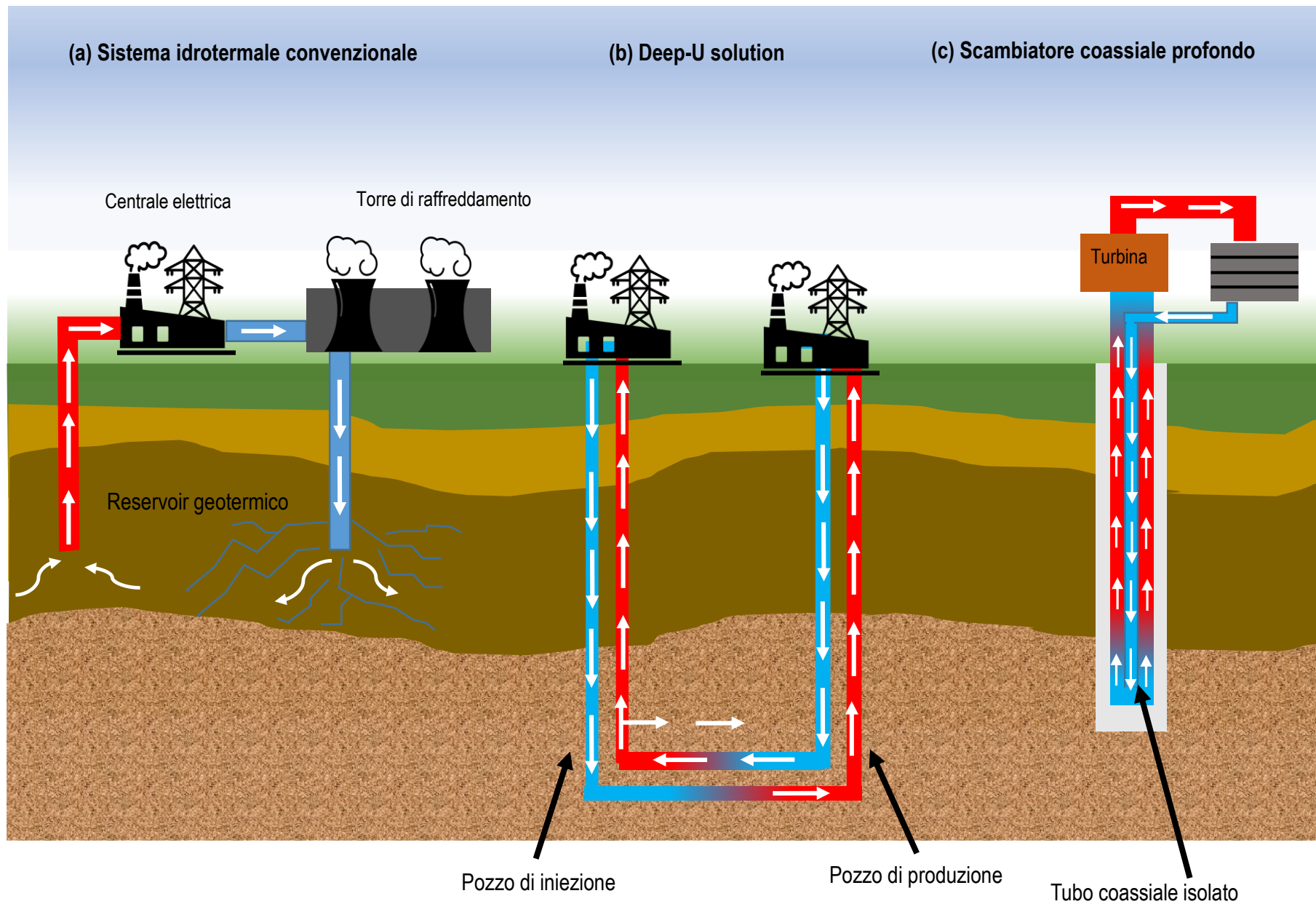
(Reference: ViDEPI – Google Earth)

- > 2000 pozzi esplorativi perforati in Italia
- La maggior parte sono ora abbandonati e/o esauriti
- I pozzi on-shore si trovano principalmente in bacini sedimentari (aree più popolate)



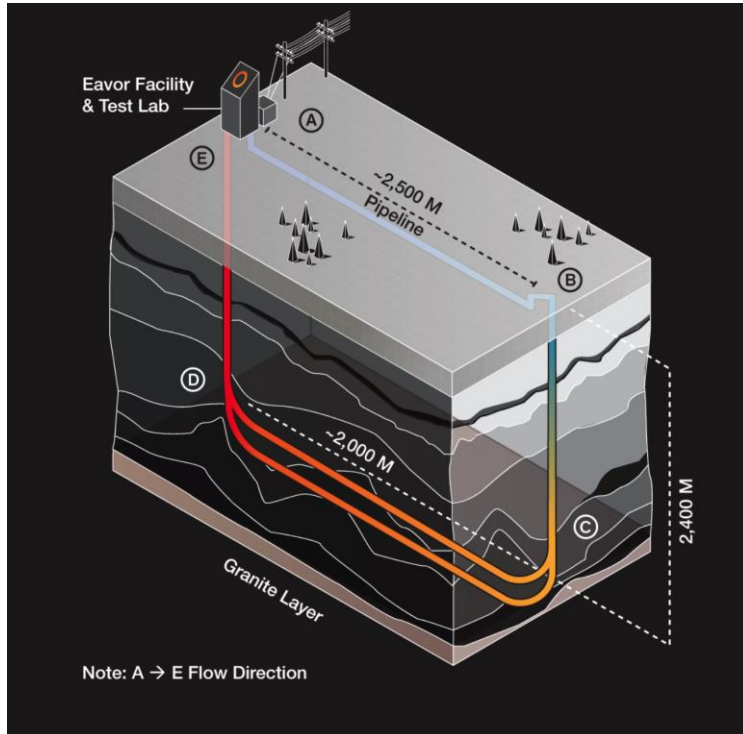


## Confronto tra Geotermia convenzionale vs. Geotermia a circuito chiuso



# Scopo

Promuovere la transizione energetica **sviluppando soluzioni di scambiatori di calore geotermici (circuito chiuso) tramite il riutilizzo di pozzi profondi esistenti / abbandonati (> 1 km)**



Soluzioni a circuito chiuso profondo



Produzione di energia  
→ calore ed elettricità

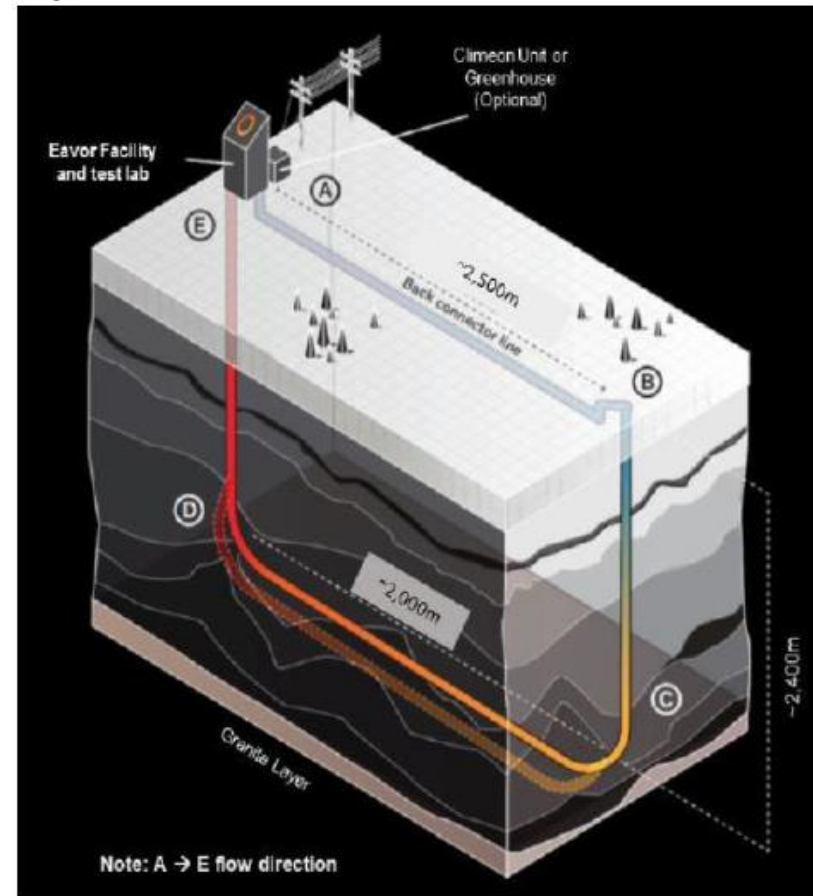
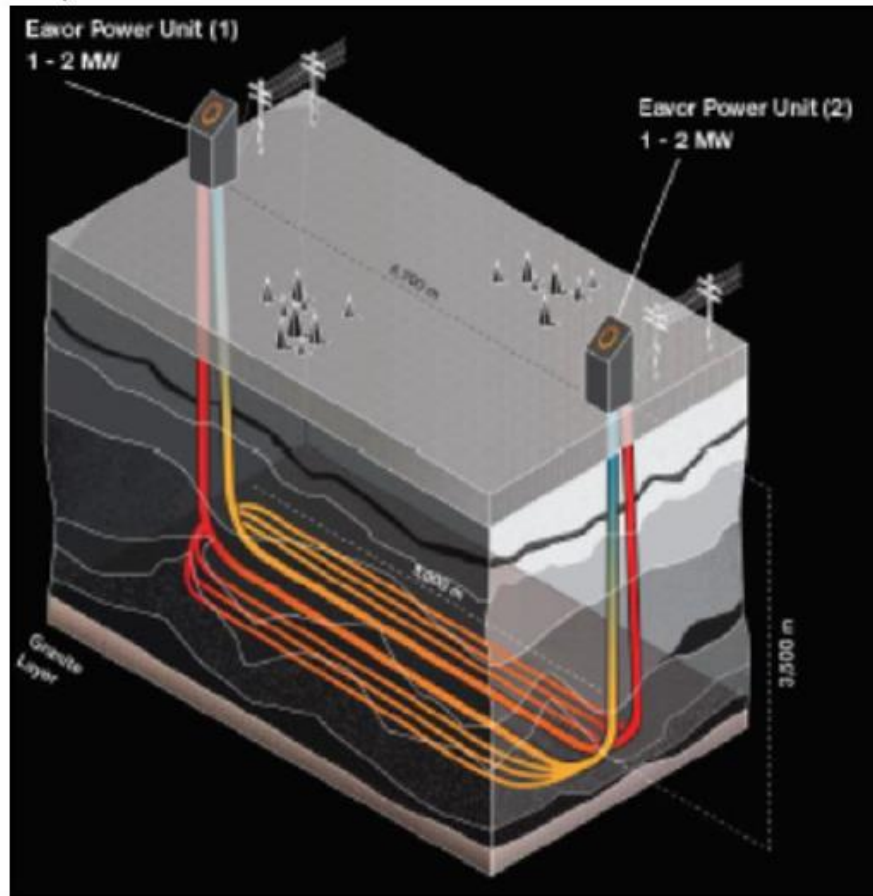


Dove? Bacini sedimentari



End-users

# Sistemi di scambiatori di calore a forma di U ad anello chiuso (e.g. Eavor Loop, Alberta, Canada)



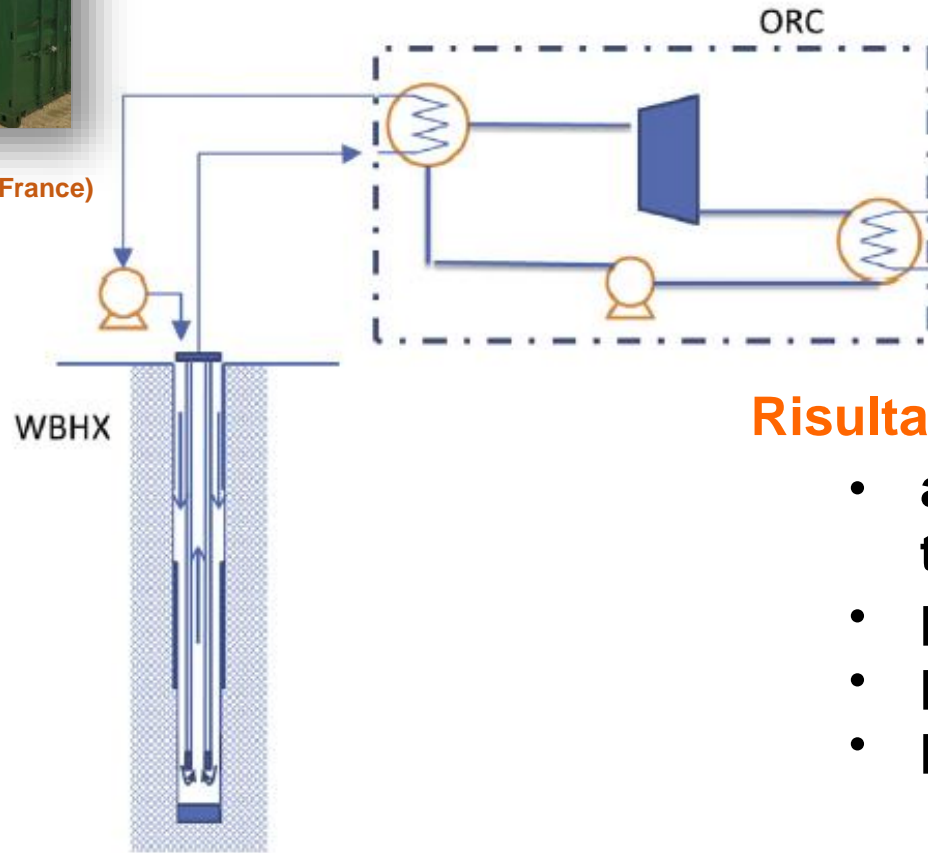
- pozzo con forma ad U con 2 rami multilaterali a 2,4 km di profondità
- tubatura di collegamento dei due siti in superficie

# Conversione dell'energia da parte di un impianto ORC



MEET PROJECT

(e.g. Vermillon, Paris basin France)



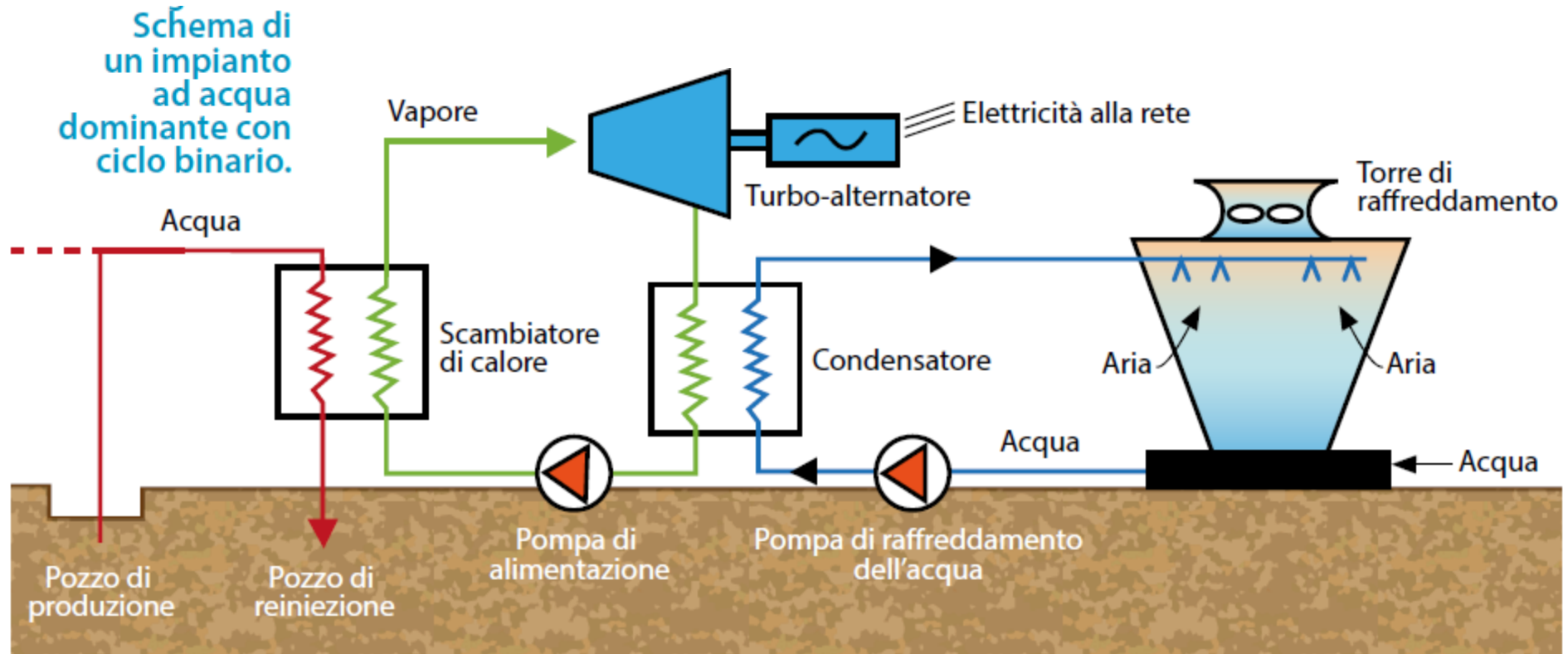
- Profondità 5.8 – 6.1 km
- T 160-170 °C

## Risultati di modello per un pozzo singolo:

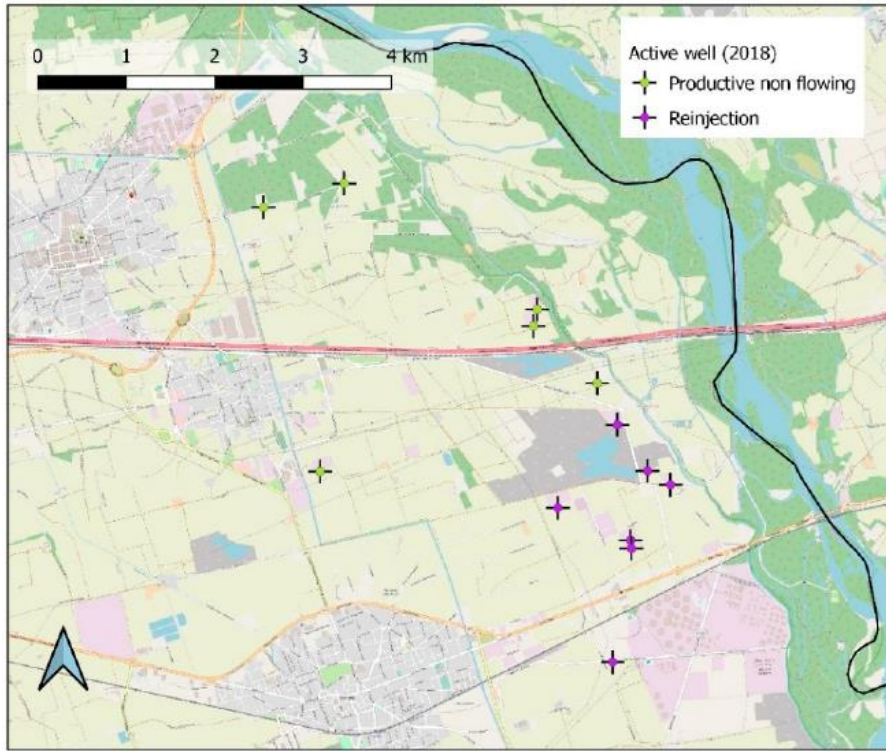
- acqua risulta essere il miglior fluido termovettore
- portata d'acqua ottimale di 15 m<sup>3</sup>/h
- potenza termica 1,5 MW
- potenza elettrica netta 134 kW

**energia elettrica < quella delle centrali geotermiche convenzionali**  
**energia termica utilizzata negli impianti di teleriscaldamento**

# produzione energetica con ciclo binario



# Villafortuna Trecate case study

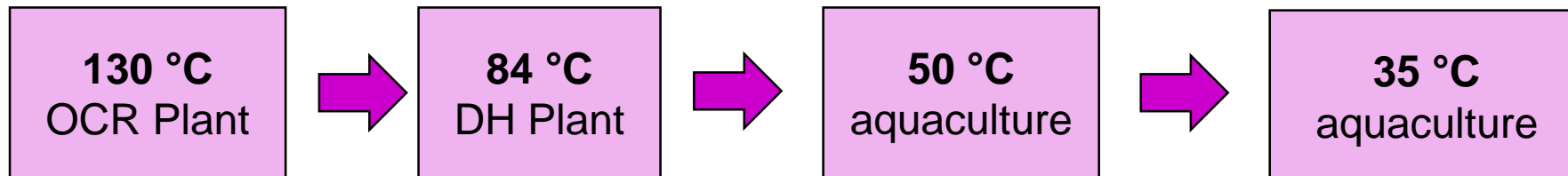


the single well can :

- produce a **flow rate of 100 kg/s** of hot water
- have a wellhead **brine T of 130 °C**

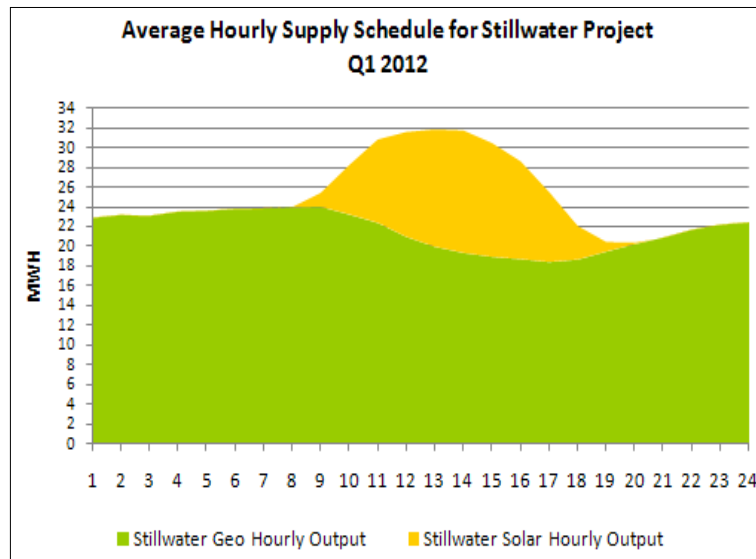
The geothermal fluid is supplied first to the **ORC plant**

assumed a consumption per capita of **1400 kWh per year** and a heating request of **2kW per person**



# È possibile una seconda crescita esponenziale?

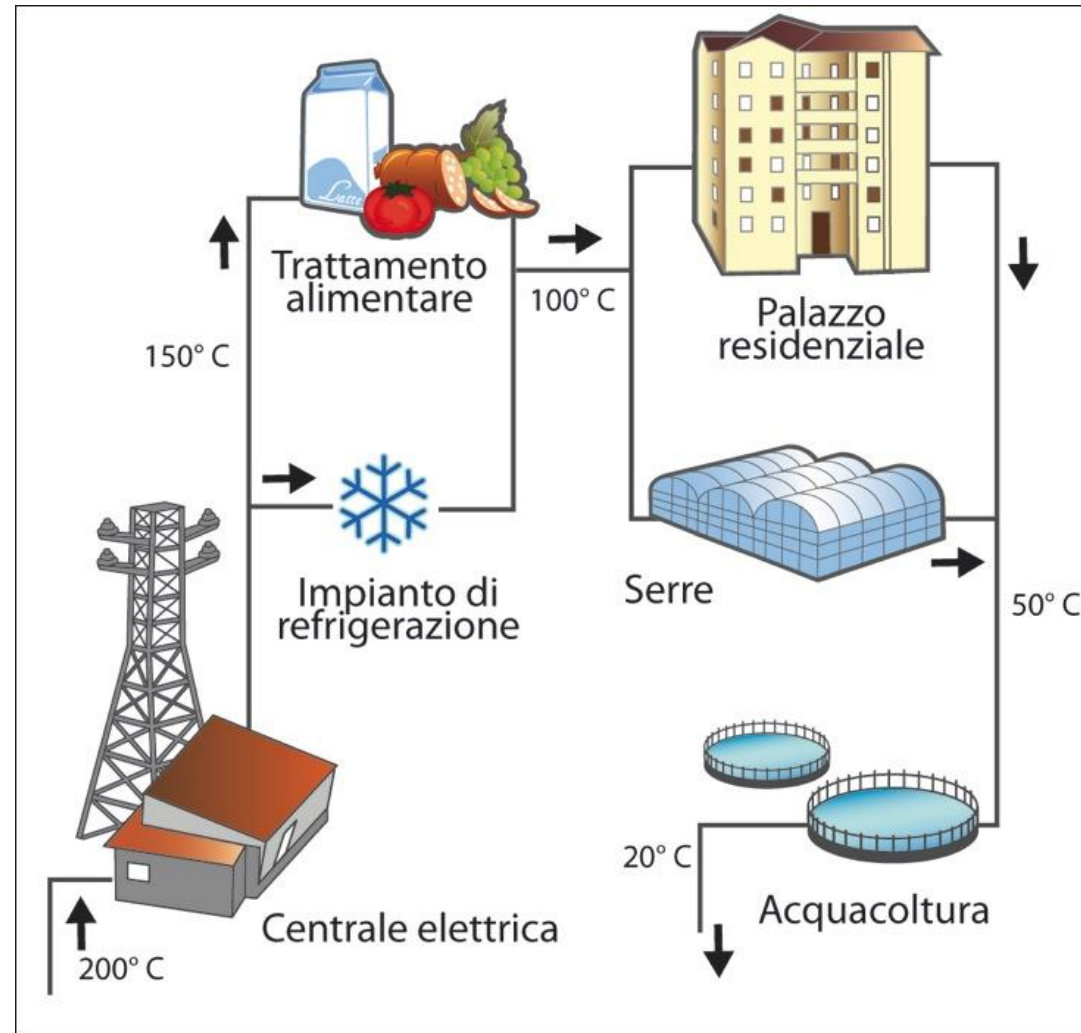
Impianti ibridi



- Il primo progetto ibrido solare / geotermico del mondo **combina** la capacità di generazione continua del ciclo binario geotermico a media entalpia con la capacità di picco dell'energia solare, consentendo di esplorare sinergie
- Integra **26 MW di capacità solare fotovoltaica** nel progetto **geotermico Stillwater di 33 MW** di EGPNA
- Consiste di oltre **89.000 pannelli fotovoltaici** in silicio policristallino costruiti su **240 acri**. Genererà abbastanza energia per soddisfare i bisogni di **16.000 famiglie americane**
- Nel **2012**, questo stabilimento all'avanguardia ha vinto l'**Honor Award per l'avanzamento tecnologico** della EGPNA, la Geothermal Energy Association, che riconosce le aziende che sviluppano tecnologie innovative o pionieristiche per lo sviluppo geotermico.

Stillwater Solar Geothermal Hybrid Project

# Usi a cascata del calore





# Teleriscaldamento

Il riscaldamento geotermico convenzionale utilizza direttamente gli acquiferi del sottosuolo con temperature comprese fra 30 e 150°C. Esso permette sia di fornire calore per il riscaldamento domestico sia di produrre acqua calda sanitaria mediante scambiatori di calore posti all'interno delle singole costruzioni o centralizzati.

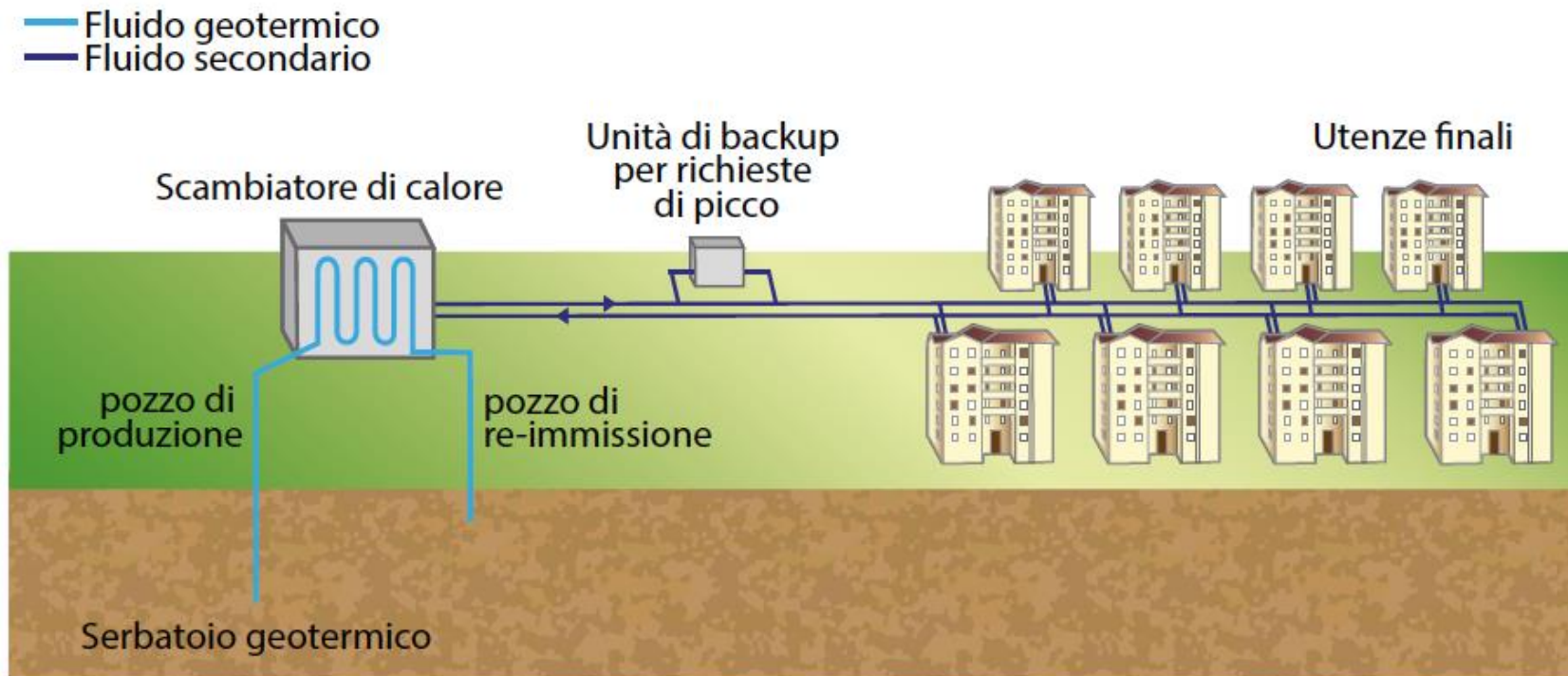
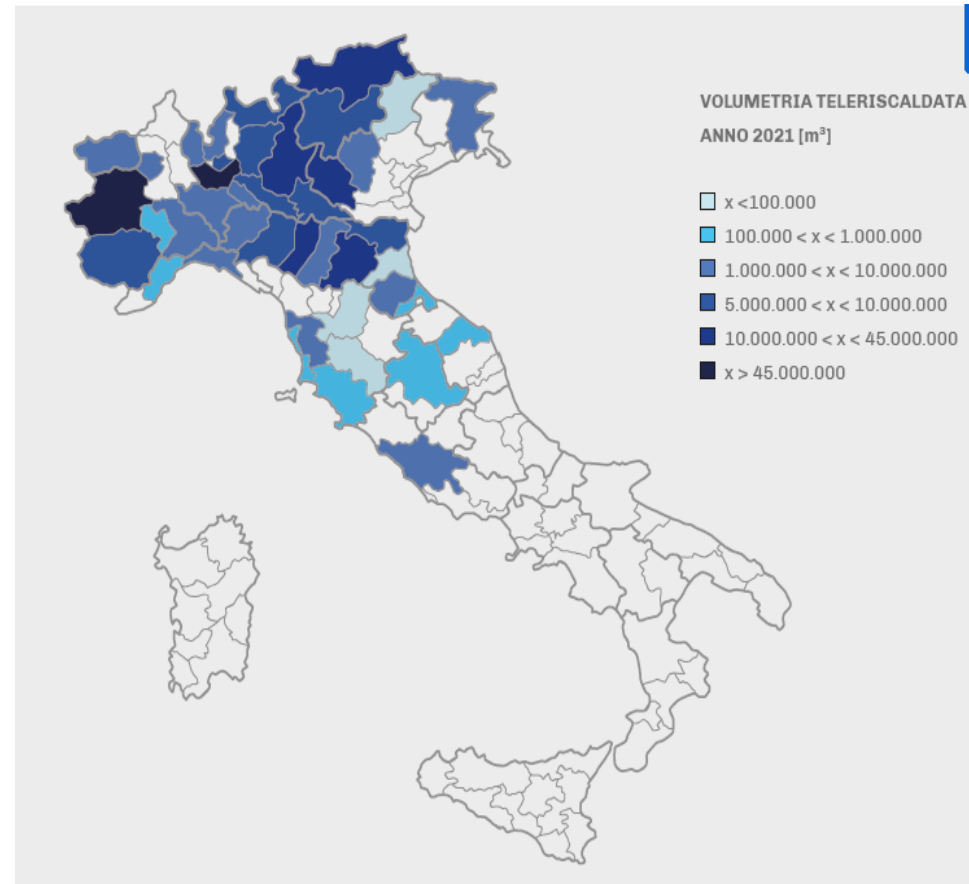


Figura 25.  
Schema di  
un impianto  
geotermico  
per la tele-  
climatizzazione.

## Mappa dei sistemi di teleriscaldamento monitorati in Italia



## Volume riscaldato dal teleriscaldamento nel 2021

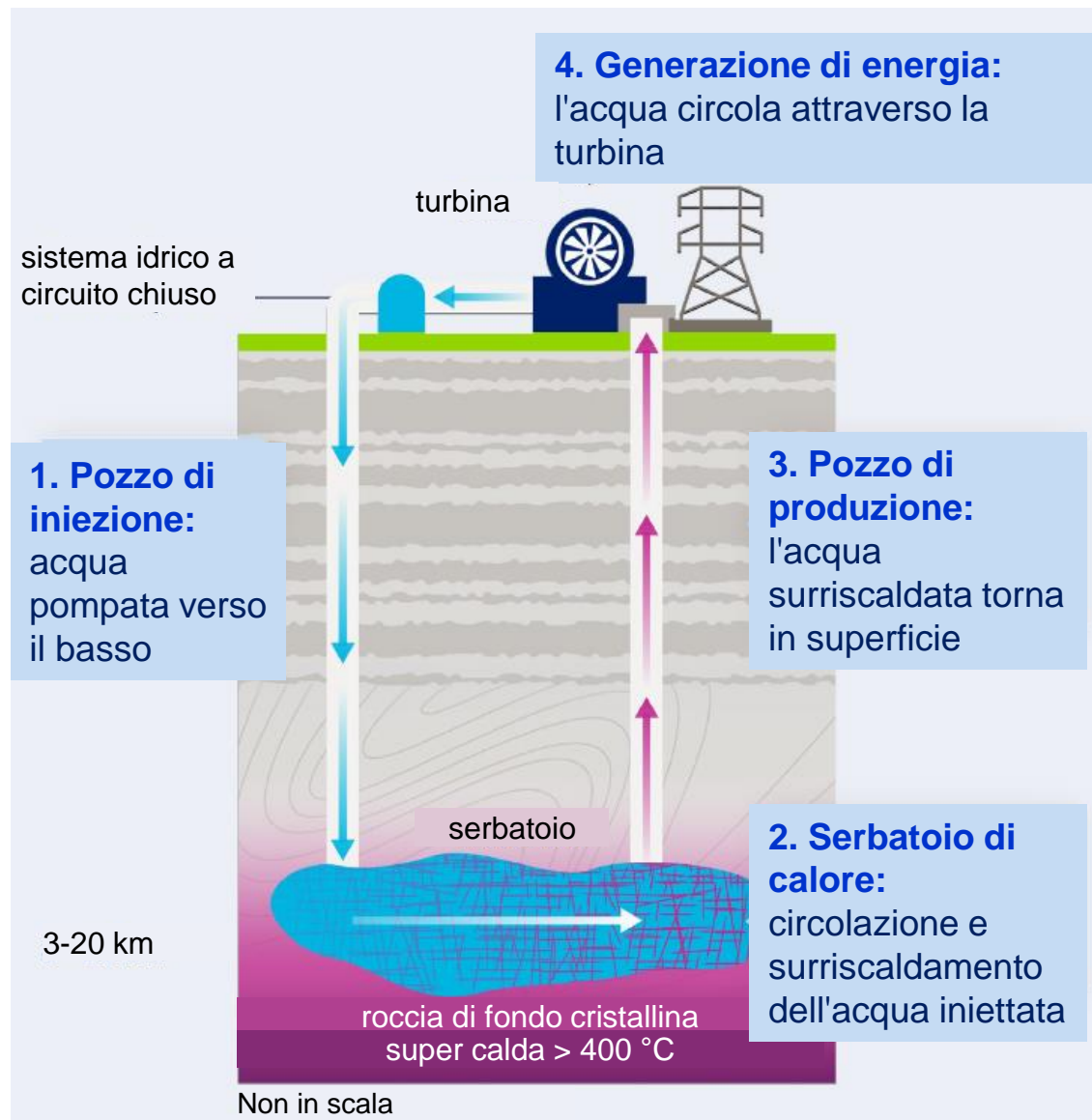


Source: AIRU – Associazione Italiana Riscaldamento Urbano

# Superhot Rock (SHR)

la risorsa geotermica  
Superhot Rock (SHR):

- ✓ **estratta dal calore naturale** nelle profondità della terra (3-20 km)
- ✓ **viene iniettata acqua** (pozzo di iniezione) nella roccia secca surriscaldata a  $T > 400^{\circ}\text{C}$
- ✓ **l'acqua viene fatta circolare** in un serbatoio tramite fratture esistenti fino ad un pozzo di produzione

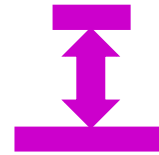


# Superhot Rock (SHR)

l'accesso a risorse supercalde a prezzi accessibili potrebbe trasformare l'industria energetica, ma richiederà innovazioni nella perforazione e nell'ingegneria mineraria



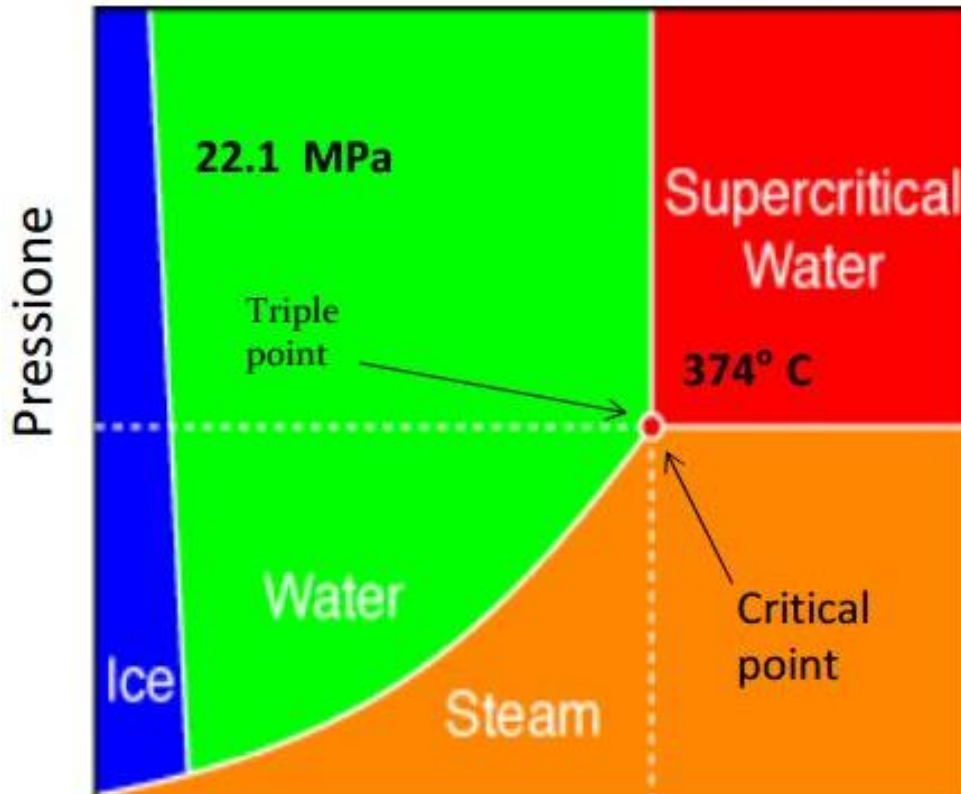
- **T > 400°C**
- **10x la produzione per pozzo geotermico convenzionale**
- **comportamento meccanico indipendente dal tipo di roccia**



- **Profondità > 10 km**
- **consente l'espansione di Super Hot EGS a livello globale**
- **gradiente termico 30 – 80 °C/km**

# Superhot Rock (SHR) Geothermal

le condizioni del serbatoio superano il punto supercritico dell'acqua

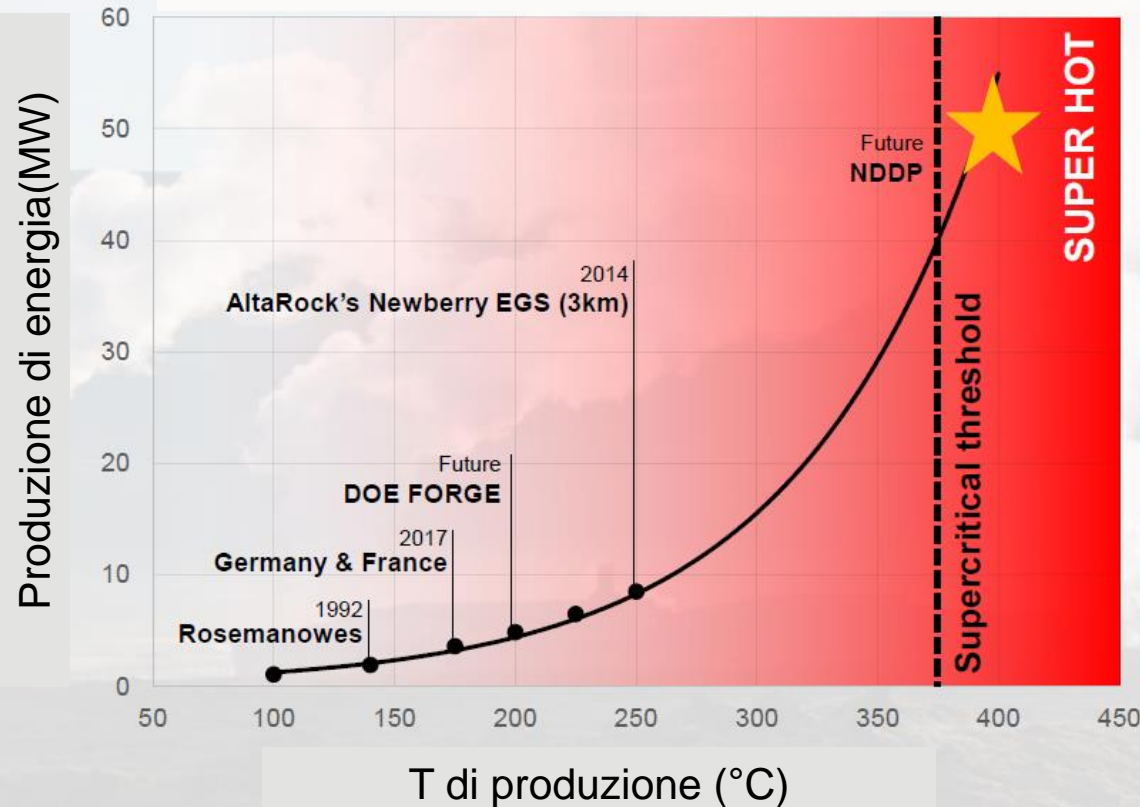


- alta densità (simile ad un liquido)
- alta diffusività (simile ad un gas)
- bassa viscosità (simile ad un gas)
- coincidenza tra le fasi liquido e vapore
- composti organici sono solubili
- composti inorganici sono insolubili

|                                 | Liquido          | SCW               | Gas              |
|---------------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Densità (kg/m <sup>3</sup> )    | 10 <sup>3</sup>  | 3x10 <sup>2</sup> | 1                |
| Viscosità (Pa s)                | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-5</sup>  | 10 <sup>-5</sup> |
| Diffusività (m <sup>2</sup> /s) | 10 <sup>-9</sup> | 10 <sup>-7</sup>  | 10 <sup>-5</sup> |

# Prestazione moonshot

Potenziale di 60 kg/s di fluido prodotto da 5 km di profondità in siti selezionati



**50 MWe/pozzo**

rispetto a 5 MWe/pozzo a 200°C

**10x output/pozzo**

- 5x potenziale di produzione rispetto all'acqua liquida a 200°C
- 2x efficienza di conversione del calore termico in elettricità

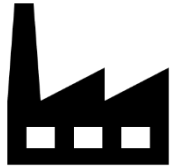
Una tecnologia «**moonshot**» è un'idea così grande, così audace che è considerata impossibile, finché non viene realizzata.

(HBO television series Silicon Valley)

# Valore di un sistema SHR su scala commerciale



- competitivo** in termini di potenza
- risorsa energetica infinita** della Terra
- sempre disponibile**, carico di base
- energia ad alta densità**, energia elevata con un ingombro superficiale ridotto



- zero gas serra**, **limitato uso** di acqua sotterranea
- surface footprint** limitata
- trasforma** il calore in energia sfruttabile
- potenziale per ripotenziare** le centrali elettriche fossili
- genera idrogeno privo di carbonio** senza utilizzare carbonio come carburante per il trasporto



- accessibile in tutto il mondo** grazie alle innovazioni nelle perforazioni super profonde
- sono necessari significativi progressi ingegneristici**, ma non dipendono dalle scoperte scientifiche
- sicurezza energetica e modernizzazione**
- minimizzazione rischio sismicità indotta**

# Innovazione necessaria



## TEMPERATURA



**miglioramento  
delle  
attrezzature e  
delle tecniche  
di perforazione  
a  $>400^{\circ}\text{C}$ :**

bit, carotaggio e  
fanghi

**materiali  
avanzati per la  
costruzione di  
pozzi:**

rivestimento,  
giunti e cementi

**tecniche di  
creazione e  
manutenzione di  
serbatoi in  
roccia super  
calda:**

tecniche  
idrauliche,  
termiche e  
chimiche

**Caratterizzazione  
del pozzo:**

log sonici e di  
immagini, fibra  
ottica, misure di  
stress, calibrazione  
sismica e sensori



# Innovazione necessaria

## PROFONDITÀ



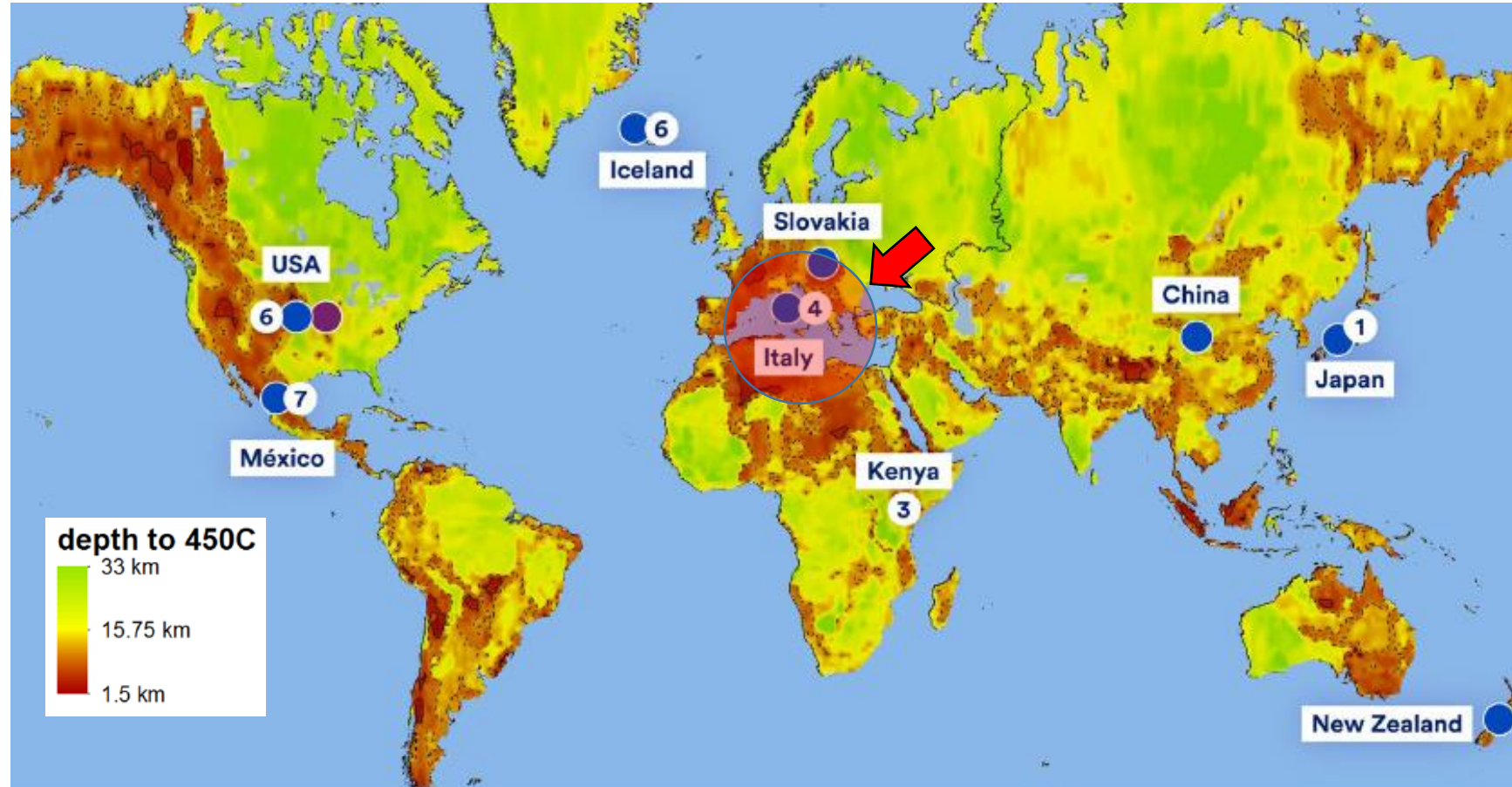
**tecniche e materiali  
di completamento  
del pozzo**

per raggiungere  
economicamente 10-  
20 km di profondità

**attrezzatura di  
perforazione di nuova  
generazione:**

perforazione energetica,  
rivestimento durante la  
perforazione

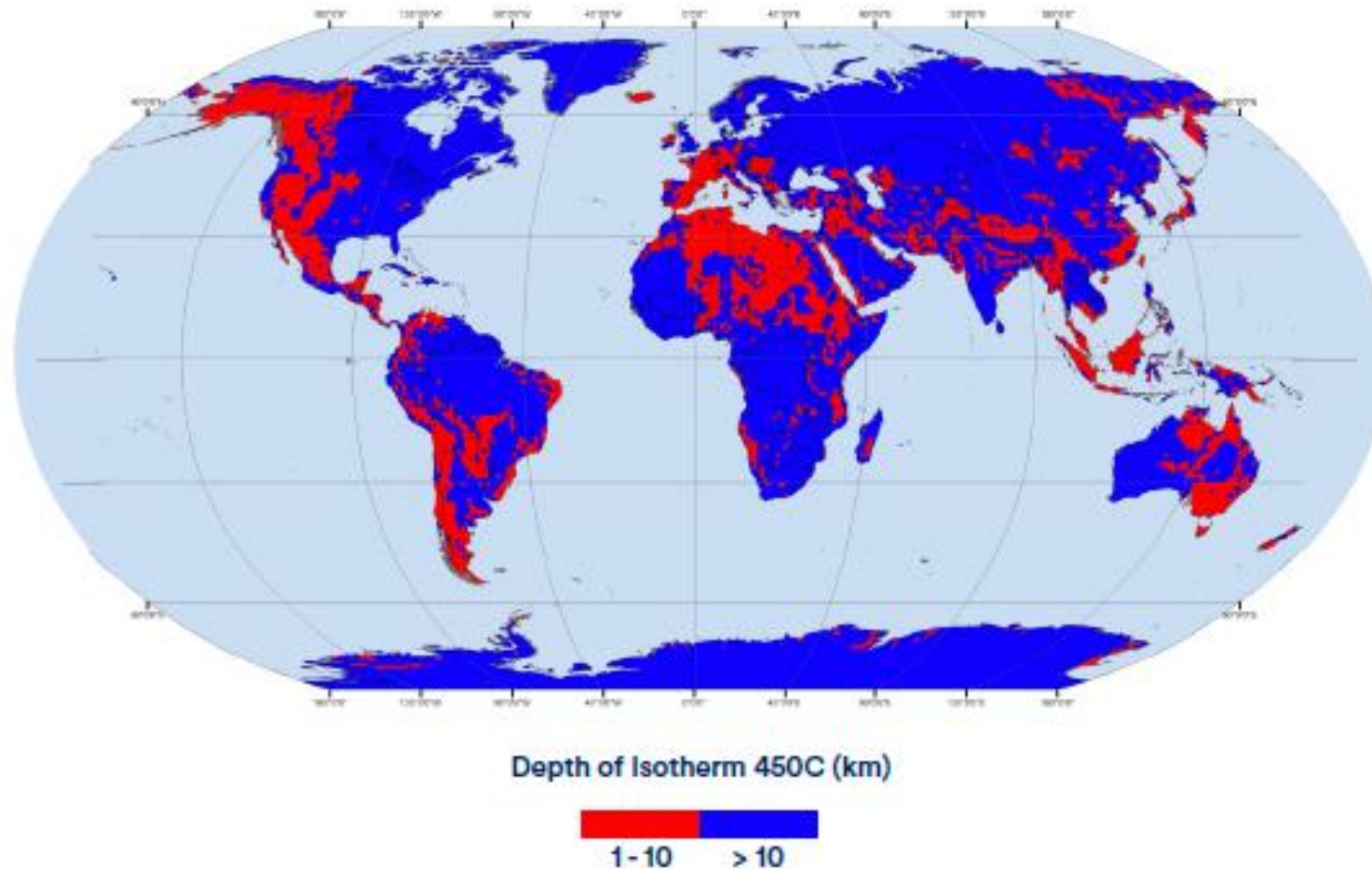
# Siti globali di perforazione e ricerca supercaldi



## 3. DESCRAMBLE (Italia)

- il pozzo geotermico Venelle-2 di Larderello è il pozzo geotermico più caldo mai registrato, con 514°C a una profondità di 2,9 km

# Perché la geotermia SHR è importante

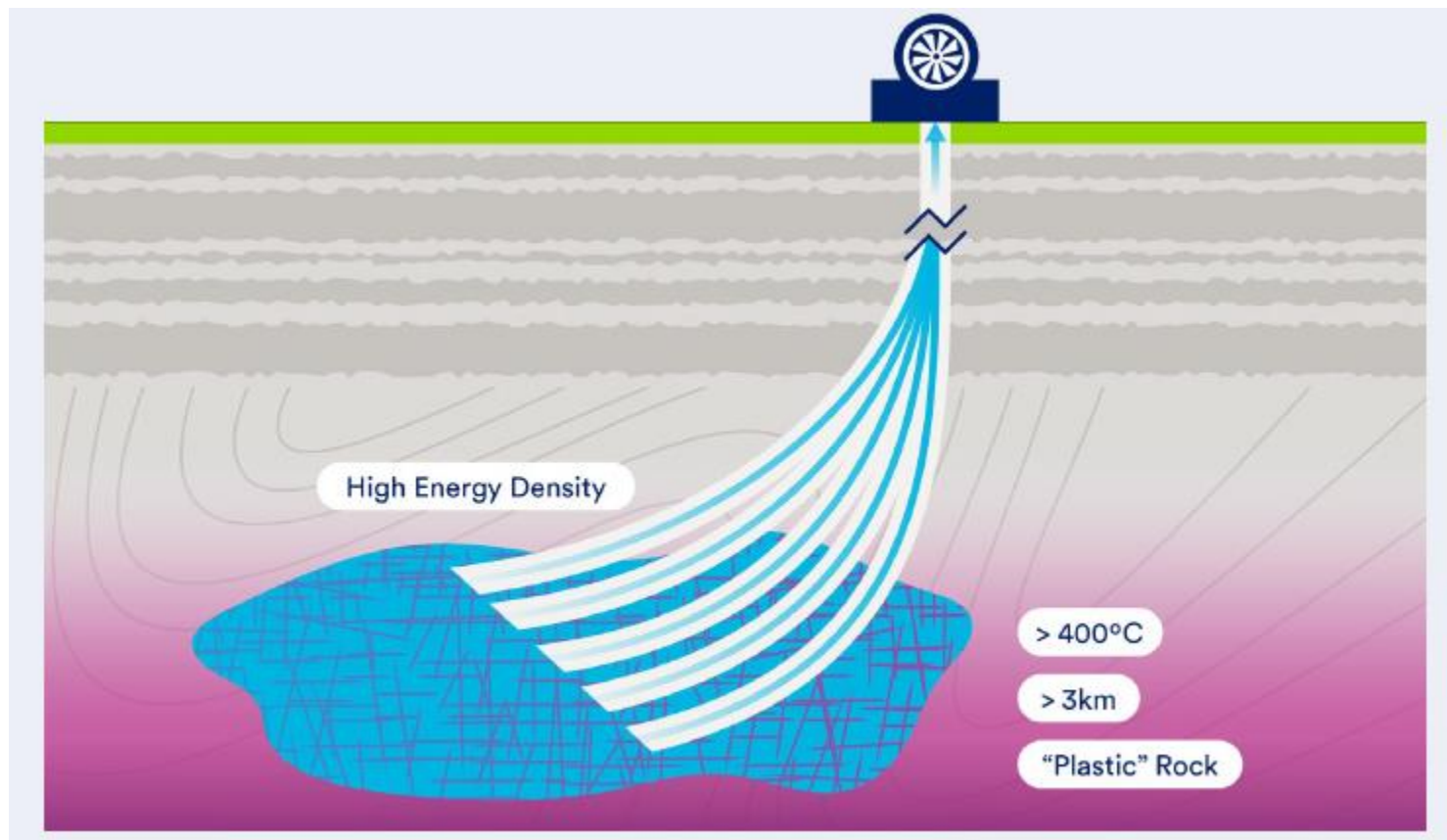


**aree rosse:** risorse SHR a  $T > 450$  °C a meno di 10 km di profondità accessibili con metodi di perforazione meccanica avanzati

**aree blu:** la perforazione energetica potrebbe raggiungere **profondità oltre i 10 km**

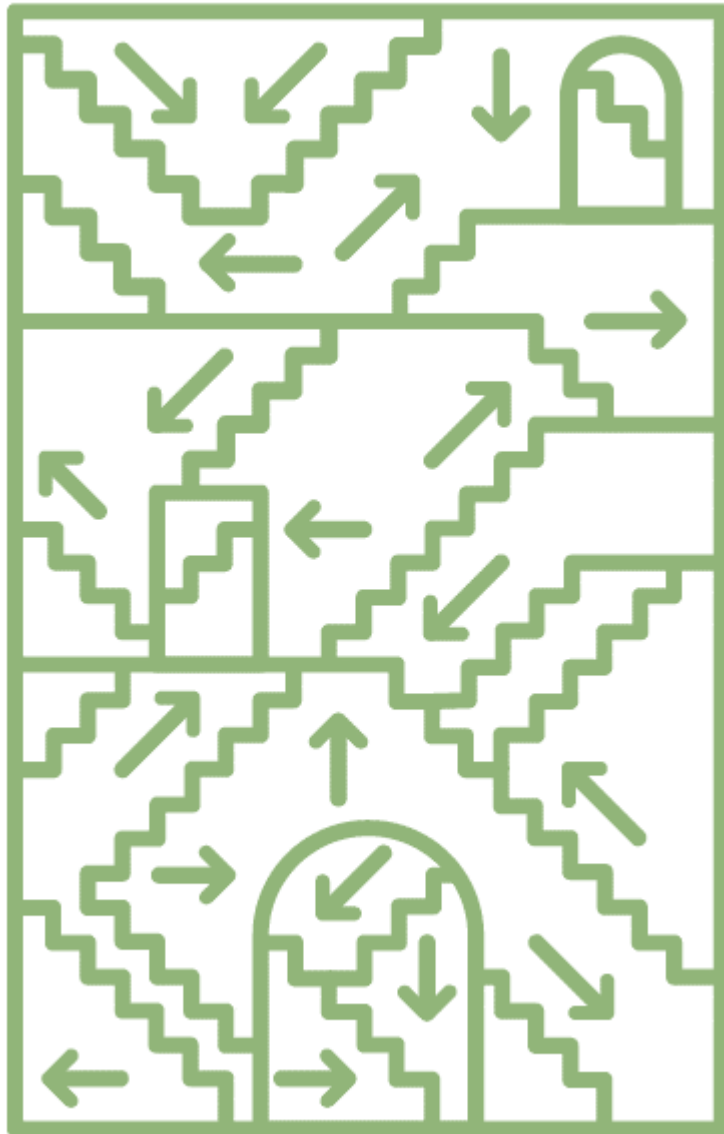
# Ruolo dell'expertise O&G non convenzionale

la perforazione direzionale in un progetto SHR



- (a) perforare da una piccola piattaforma di superficie, riducendo al minimo gli impatti e massimizzando l'efficienza;
- (b) accedere a fratture ad angoli che consentono una migliore circolazione dell'acqua;
- (c) estrarre il calore da risorse di calore progressivamente più profonde

# procedure amministrative e di valutazione dei progetti geotermici



## ➤ problemi normativi e legali

- iter autorizzativi complessi
- licenze di esplorazione e concessione
- permesso ambientale (Valutazione d'Impatto Ambientale VIA)
- mancanza di gestione centralizzata e di coordinamento tra gli enti responsabili

## ➤ assenze sussidi, incentivi

- contributi per spese in conto capitale
- incentivi per riconversione energetica

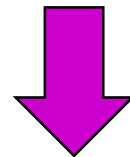
## ➤ proprietà pozzi da verificare

- pozzo sterile non usato → proprietario terreno
- pozzo con risorsa non usato → stato / demanio
- pozzo con risorsa usato → ente in possesso della concessione

# Finanza Sostenibile – analisi del ciclo di vita (LCA)

La tassonomia della finanza sostenibile dell'UE identifica criteri specifici per definire un progetto come un investimento sostenibile

- 1 **l'energia geotermica è riconosciuta come una soluzione** che contribuisce alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico
- 2 **soglia di 100g CO<sub>2</sub>e/kWh** di emissioni nel ciclo di vita delle attività energetiche è stata mantenuta per il geotermico



Il progetto GEOENVI (<https://www.geoenvi.eu/>) ha elaborato un LCA per dimostrare che le tecnologie geotermiche sono ben al di sotto di questo livello

# Social Acceptance

L'energia geotermica ha problemi di accettabilità sociale simili a quelli di altre tecnologie di energia rinnovabile.

## 1 la condivisione delle informazioni

- promuovere la trasparenza (pro e contro)
- selezionare le informazioni rilevanti
- adattare la comunicazione al pubblico di riferimento
- migliorare la condivisione dei dati e l'accessibilità alle informazioni



## 2 la creazione di benefici locali

- sostenere la comunità locale anche con benefici economici
- sostenere l'utilizzo locale del calore geotermico
- stabilire un piano di valorizzazione (attività di formazione ed educazione, creazione posti di lavoro ...)

## 3 la partecipazione pubblica

- promuovere integrazione territoriale
- stimolare un dialogo di qualità
- comunicazione continua fin dalla fase iniziale del progetto
- promuovere co-proprietà e crowdfunding

# Qualità dell'acqua

le pratiche di gestione delle acque, le linee guida per il monitoraggio degli acquiferi e le prescrizioni tecniche differiscono tra le diverse nazioni → necessità di una impostazione uniforme



**migliori pratiche per la progettazione dei pozzi, il monitoraggio, il controllo e il limite di estrazione delle acque**



**controllo delle falde acquifere (qualità e quantità)**



**comportamento a medio e lungo termine del serbatoio geotermico**



**reiniezione di fluidi ove non utilizzato sistema a circuito chiuso**



**monitoraggio soglie T e chimismo per scarico in superficie**



# Qualità dell'aria

**possibile rilascio di gas naturali dai fluidi geotermici durante la perforazione e il test dei pozzi o durante l'esercizio degli impianti → legislazione non armonica tra diversi stati**



**definire la qualità dell'aria di fondo (baseline)**



**monitoraggio della qualità dell'aria durante la perforazione, i test di flusso nei pozzi, la produzione**



**prevenire il flusso accidentale del gas (blow out preventer)**



**piani di mitigazione e di abbattimento delle emissioni**



**monitoraggio della qualità dell'aria nel tempo**

# Sismicità indotta

**la modifica dell'attività sismica naturale** durante lo sviluppo iniziale e l'esercizio di un progetto di geotermia profonda potrebbe essere una preoccupazione per gli enti regolatori e le comunità



**la mancanza di norme armonizzate comuni** riguardo la sismicità basate sulle migliori pratiche in uso



**le evidenze degli impianti geotermici in esercizio** indicano che questo non è un problema nella maggior parte dei casi



**descrizione completa dello stato della sismicità nelle aree geotermiche in utilizzo** (prima e durante utilizzo)



**buone pratiche** per il monitoraggio e il controllo della sismicità



**garantire accesso dati su sismicità**

# Centrale energetica: double flash CHP plant

- **Potenza elettrica**: 120 MWe
- **Potenza termica**: 100 MWth
- **Tecnologia *Double Flash***: 15-25% incremento efficienza a parità di P e T)
- **Silica Inhibitor System**: riduzione del grado di incrostazione
- **Rimozione e recupero gas incondensabili**: fino a -100000 ton/y
- **Sistema di recupero della CO<sub>2</sub>**: ad uso industriale, alimentare, agricolo
- **CHP**: accoppiamento con due scambiatori di calore e teleriscaldamento
- **Estrazione mineralizzazioni economiche**: S, Fe, Zn, Cu, Mo, Cd (?), Ga (?)



**Grazie della attenzione**



*(<https://www.archeome.it/archeologia-alla-scoperta-delle-isole-eolie-introduzione-e-cenni-storici/>)*



## Geothermal ORC Power Plant in Salina Island

# Motivation

The purpose of this work aims to prove if, from the energetic point of view, Salina Island might be autonomous by using a “Single Flash and ORC Power Plant”. If it works, we can think, eventually, to implement this strategy to other islands involved in the Aeolian Arc as well.



# Geographical location



(<https://originalmap.it/produtt/mappa-italia/>)



(<https://www.infoeolie.com/mappa-delle-isole-eolie/>)

# Geological settings

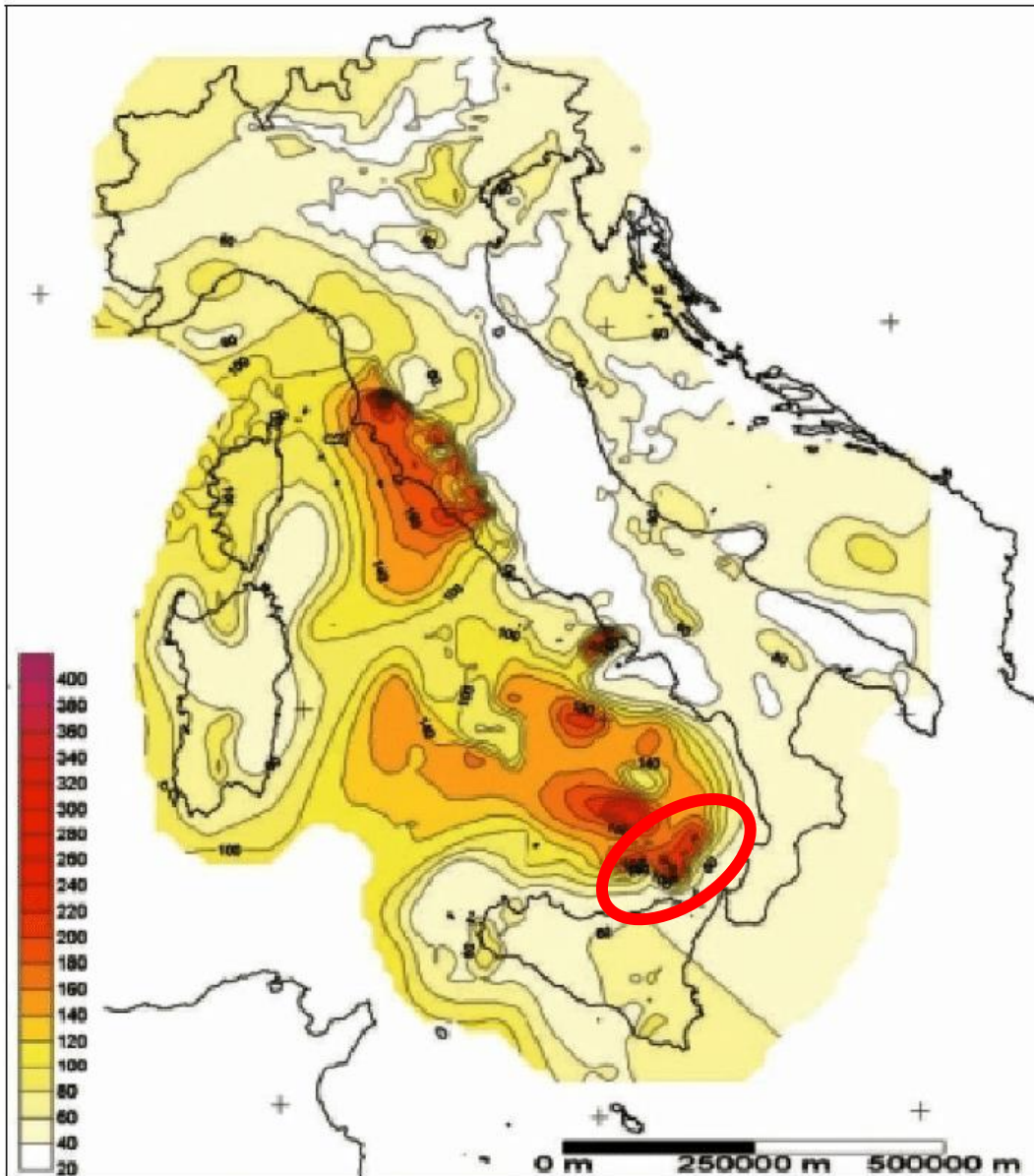


Filicudi's datation brought us to almost 2.1 Myears ago, while studies upon volcanic rocks from other islands, result to be younger. It means that the volcanic activity evidentially migrated from West to East.

(<https://www.isoleeoliefreelance.com/eolie-report/>)



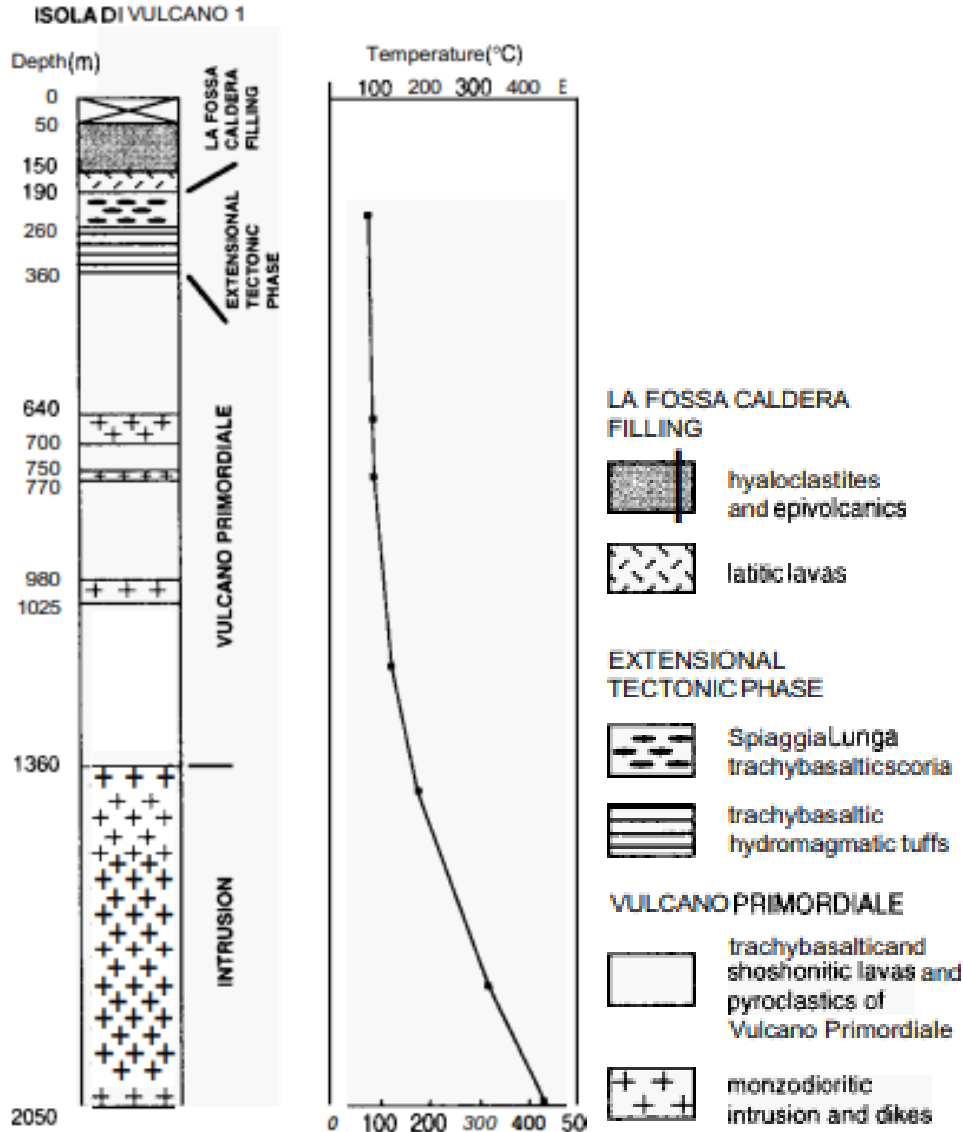
# Geothermal settings



Because of the **Volcanic activity**, the Aeolian Arc represents a great example of **Heat Flow anomaly**, reaching values between  $200 \text{ mW/m}^2$  and  $250 \text{ mW/m}^2$ .

It represents even **Temperature anomaly**, reaching Temperatures greater than  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  between 0 and 2000 m.

# Geological settings



Even though this Temperature profile comes from **Vulcano Island**, I think it could be representative even for **Salina Island** environment due to their proximity. As we can see, at almost 2000 m depth, Temperature reaches more than 400 °C ! Very high Temperature values.

# Main Efforts of Salina Island

Due to incoming tourists,  
at least three times bigger

1) Summer Consumption > Winter consumption

2) Production of hot Sanitary water

Not enough energy or not  
available during night

3) Refueling of Water and Fuel from ships

Dependency from the  
Country → CO2 emission

4) Powered by two Diesel Fuel power plants

Great amount of CO2 emission;  
not enough energy production

# Consumption vs Power Produced

| Consumo energia primaria [MWh] | Categoria  | Residenziale             | Settore Primario e secondario    | Settore Terziario        | Trasporti sull'isola | Energia primaria*<br>(per consumi sull'isola) | Trasporti per l'isola |
|--------------------------------|--|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|---|-----------------------|
|                                |  |                          | Agricoltura, pesca, selvicoltura | Incluso il turismo       |                      |   |                       |
|                                | Energia primaria elettricità*<br><i>(consumo finale)</i> | 13.077<br><i>(4.054)</i> | 1.365<br><i>(423)</i>            | 13.048<br><i>(4.045)</i> |                      | 27.490<br><i>(8.522)</i>                      |                       |
| Carburante fossile             | GPL  | 1.242                    |                                  | 1.252                    | 2.494                |   |                       |
|                                | Diesel   | 620                      | 524                              | 367                      | 10.228               | 8.717   | N.D.                  |
|                                | Benzina  |                          | 578                              |                          | 8.383                | 7.805   |                       |
|                                | <b>TOTALE</b>  | <b>14.939</b>            | <b>2.467</b>                     | <b>14.667</b>            | <b>16.522</b>        | <b>48.595</b>                                 |                       |

Comparing the Island energy consumption and the «potential» power from the Single Flash geothermal and ORC Power Plant.

**48595 MWh → 13.5 MW**

It would be sufficient a medium – low size Single Flash and ORC Power Plant to cover all the needs of the Island!

# New CO2 emission

| Emissioni CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> eq.] | Categoria     | Residenziale | Settori<br>Primario e<br>Secondario     | Settore<br>Ternario   | Trasporti<br>sull'isola | Trasporti<br>per l'isola |
|--|---------------|--------------|---|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
|  |               |              | Agricoltura,<br>pesca e<br>selvicoltura | Incluso il<br>turismo |                         |                          |
|  | Elettricità   | 1.864        | 194                                     |                       | 1.869                   |                          |
| Carburante<br>fossile                            | GPL           | 282          |   | 285                   |                         |                          |
|  | Diesel        | 166          | 139                                     | 128                   | 2.325                   | N.D.                     |
|  | Benzina       |              | 103                                     |                       | 1.944                   |                          |
|  | <b>TOTALE</b> | <b>2.312</b> | <b>436</b>                              | <b>2.282</b>          | <b>4.269</b>            |                          |

While, talking about the emission of CO<sub>2</sub> in a year ...

5030 tons of CO<sub>2</sub> might be killed if we introduce Geothermal Energy!

In the future we can think about electric vehicles

# Conclusion

Looking at the Salina Island favourable Geologic – Geothermal condition for the positioning of a **Single Flashes and ORC Power Plant** and at its performances, at the possible exploitation of the already present **Renewable Sources** on the Island (and what we can achieve in the future) and comparing the whole energetic needs of the Salina Island, we can say that this Island might be **Energetically Independent** from the rest of the country, avoiding **Refunding** of sweet water and fuel, **converting** conventional vehicles in electric ones, avoiding then the emission of **25593 tons** of CO<sub>2</sub> and potentially producing **sweet water** by itself.

If this model worked, we could implement the system onto many other Islands that, at the moment, have the same problems.

## **L'industria degli idrocarburi può essere un forte motore per la crescita del settore dell'energia geotermica**

I cambiamenti globali sollecitano una trasformazione e un miglioramento radicali dei sistemi di produzione di energia per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'economia europea entro il 2050 e una riduzione delle emissioni di gas serra.

In questo contesto, un punto chiave per il settore geotermico è la necessità di ridurre le incertezze sulla redditività e di progettare una soluzione sostenibile per lo sviluppo su larga scala al di fuori degli asset convenzionali.

Le grandi conoscenze accumulate nell'industria petrolifera e del gas dovrebbero essere altamente redditizie per la comprensione delle possibili modalità di crescita nell'industria geotermica relativamente giovane.

Dal '90, le compagnie petrolifere americane e cinesi hanno studiato la possibilità di co-produrre energia geotermica da pozzi di petrolio e gas.

Questi progetti sono stati i primi a sperimentare conoscenze trasversali tra i due settori energetici.

Oggi una questione chiave nell'industria petrolifera è la gestione delle acque prodotte.

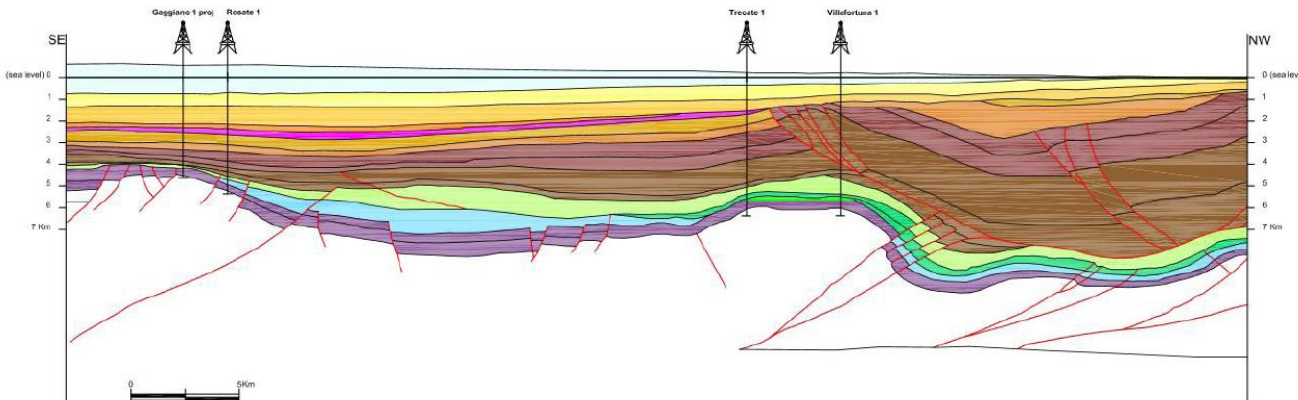
In effetti, la produzione di petrolio e gas nella sua fase matura è spesso associata a una grande quantità di salamoie o acque di formazione che devono essere trattate continuamente.

Poiché queste acque di formazione non possono essere rilasciate nell'ambiente, vengono reiniettate nel sottosuolo.

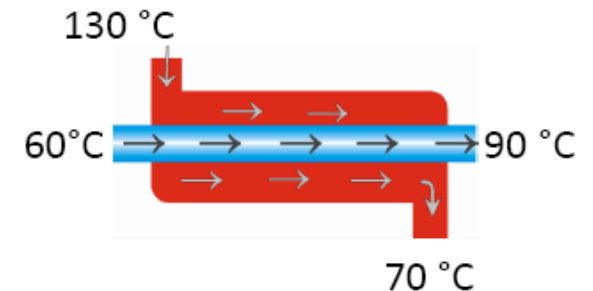
Le analogie con l'impianto geotermico doppietto sono chiare. Un modo possibile per accelerare l'implementazione di opportunità complementari di produzione geotermica-idrocarburi è quello di procedere ad una valutazione del potenziale termico disponibile pronto all'uso.

La selezione dell'utilizzo finale e del potenziale della produzione geotermica dipende dalla temperatura, dalla pressione e dalla portata dell'acqua, che sono funzione del gradiente geotermico locale, della profondità del pozzo e delle proprietà poro-perme delle rocce del serbatoio.

Pertanto, le informazioni disponibili nei database delle industrie petrolifere e del gas possono dare un'idea reale dei potenziali progetti di successo.



*Heat exchanger section*





Si stima che il sottosuolo terrestre contenga molte volte più energia come calore che come risorse di petrolio e gas. Eppure la scoperta di acqua calda e vapore è stata tradizionalmente considerata un cattivo sostituto del petrolio.

Sebbene ci siano somiglianze chiave tra questi due settori, con poche eccezioni c'è stato un crossover tra i due mondi. Ma con l'aumento delle turbolenze sui prezzi del petrolio, insieme alla necessità di una nuova forma di energia di base verde e flessibile per stabilizzare le reti e operare insieme all'espansione delle fonti rinnovabili intermittenti, potrebbe esserci una rinnovata motivazione allo sharing tra il mondo Oil&Gas e quello Geotermico

l'esplorazione e lo sviluppo geotermico potrebbero avere più cose in comune con l'esplorazione e lo sviluppo di petrolio e gas di quanto si pensasse.

- Concessioni e partecipazione statale
- Finanziare l'ignoto
- Definizione costi/ricavi
- Percezione della componente energetica del calore

## Concessioni e partecipazione statale

A causa della natura del geotermico, a cavallo tra i settori delle infrastrutture, dell'energia e delle risorse naturali, la regolamentazione delle attività varia notevolmente tra i mercati ed è spesso sovra o sotto-regolamentata.

La sfida chiave nello sviluppo di progetti geotermici greenfield è il costo e il rischio iniziali elevati durante la fase di esplorazione e perforazione.

Laddove le giurisdizioni hanno una legislazione geotermica su misura, può essere derivata dalla legislazione sul petrolio e sul gas, poiché sono coinvolte strutture simili.

La concessione di licenze prevede tipicamente che le autorità statali rilascino licenze per aree specifiche, per categorie specifiche (come prospezione, esplorazione e sviluppo) e per periodi prestabiliti durante i quali deve essere implementato un certo livello di spesa e attività.

Come per l'esplorazione di petrolio e gas, i governi ospitanti devono preoccuparsi degli speculatori inattivi e adottare misure per dissuaderli

## Finanziare l'ignoto

La sfida chiave nello sviluppo di progetti geotermici greenfield è il costo e il rischio iniziali elevati durante la fase di esplorazione e perforazione. Come per l'esplorazione di petrolio e gas, il potenziale esatto di un sito e la capacità di generazione finale di una centrale elettrica, e quindi i ricavi previsti, non possono essere quantificati con precisione fino a quando la perforazione non sarà stata sostanzialmente completata.

Ma, a differenza del petrolio e del gas, le ricompense immediate di un pozzo di successo non superano necessariamente il rischio di un pozzo fallito. Mentre gli studi di superficie e la perforazione poco profonda possono confermare l'esistenza di una fonte di calore e di un sistema idrotermale, è necessaria la perforazione di prova di pozzi profondi, solitamente a diametro definitivo, per confermare la presenza e la qualità della risorsa geotermica.

In alcuni progetti, il costo e il rischio di questa fase sono assunti dal settore pubblico, in particolare laddove il settore pubblico ha sviluppato le proprie competenze geotermiche ed è quindi in anticipo o alla pari con gli sviluppatori del settore privato.

In altri progetti questo rischio è interamente allocato al settore privato, in particolare nelle aree che si trovano in una fase nascente dello sviluppo geotermico

## Definizione costi/ricavi

Il CAPITAL COST della geotermia dipende dalla tecnologia utilizzata, ma si prevede che continuerà a diminuire, secondo un rapporto della Commissione europea (Sigfusson e Uihlein).

Una traiettoria di prezzo stabile del costo dell'elettricità livellata (LCOE) è aiutata dal fatto che il costo del carburante per il combustibile geotermico sarebbe relativamente stabile rispetto alle centrali termoelettriche che si basano sui prezzi volatili degli idrocarburi, un vantaggio chiave del geotermico per il consumatore.

La strutturazione del progetto per il geotermico varia, con differenze notevoli se il progetto è un primo progetto su una concessione geotermica greenfield o un progetto successivo su uno sviluppo di un giacimento di vapore esistente, in cui sono già stati raccolti dati sulla geologia del giacimento, le caratteristiche e altre condizioni del sottosuolo.

L'energia termica creata dalle risorse geotermiche è stata scarsamente sfruttata, fatta eccezione per le zone ricche di geotermia come l'Islanda.

Qualunque sia la struttura adottata, la delimitazione della partecipazione pubblica e privata e l'allocazione del rischio sono particolarmente critiche nella strutturazione dei progetti geotermici.

Con strutture variabili, è difficile individuare le tendenze tariffarie di prelievo per il geotermico. Ulteriori aspetti come il sostegno o la sottoscrizione del governo o di terzi e l'affidabilità creditizia dell'acquirente incidono sugli aspetti finanziari e quindi sulla tariffa, e potrebbero esserci anche impatti da esenzioni e incentivi fiscali e controllo normativo.

Percezione della componente energetica del calore

La geotermia non riguarda solo l'elettricità.

L'energia termica creata dalle risorse geotermiche è stata scarsamente sfruttata, fatta eccezione per le zone ricche di geotermia come l'Islanda.

Sfruttare questo calore e deviarlo in soluzioni come il riscaldamento delle serre, l'essiccazione, la produzione tessile e lattiero-casearia è il punto in cui il geotermico diventa molto interessante.

Ci sono piani in fase iniziale in alcune parti dell'Africa per parchi industriali geotermici co-ubicati.

Inoltre, l'estrazione del litio e di elementi nobili (terre rare) dalla salamoia geotermica, come è stato contemplato in recenti studi in Europa e negli Stati Uniti, potrebbe essere un punto di svolta per l'industria.

## Geothermal energy can change the face of the world



Reykjavik on 1933, when only 3% of the houses used geothermal energy for heating



Reykjavik today: "Europe's lung" for its low level of air pollution, now that 99.8% of houses are connected to the geothermal district heating system

## Geothermal Energy:

**FIRE  
WITHOUT  
SMOKE**