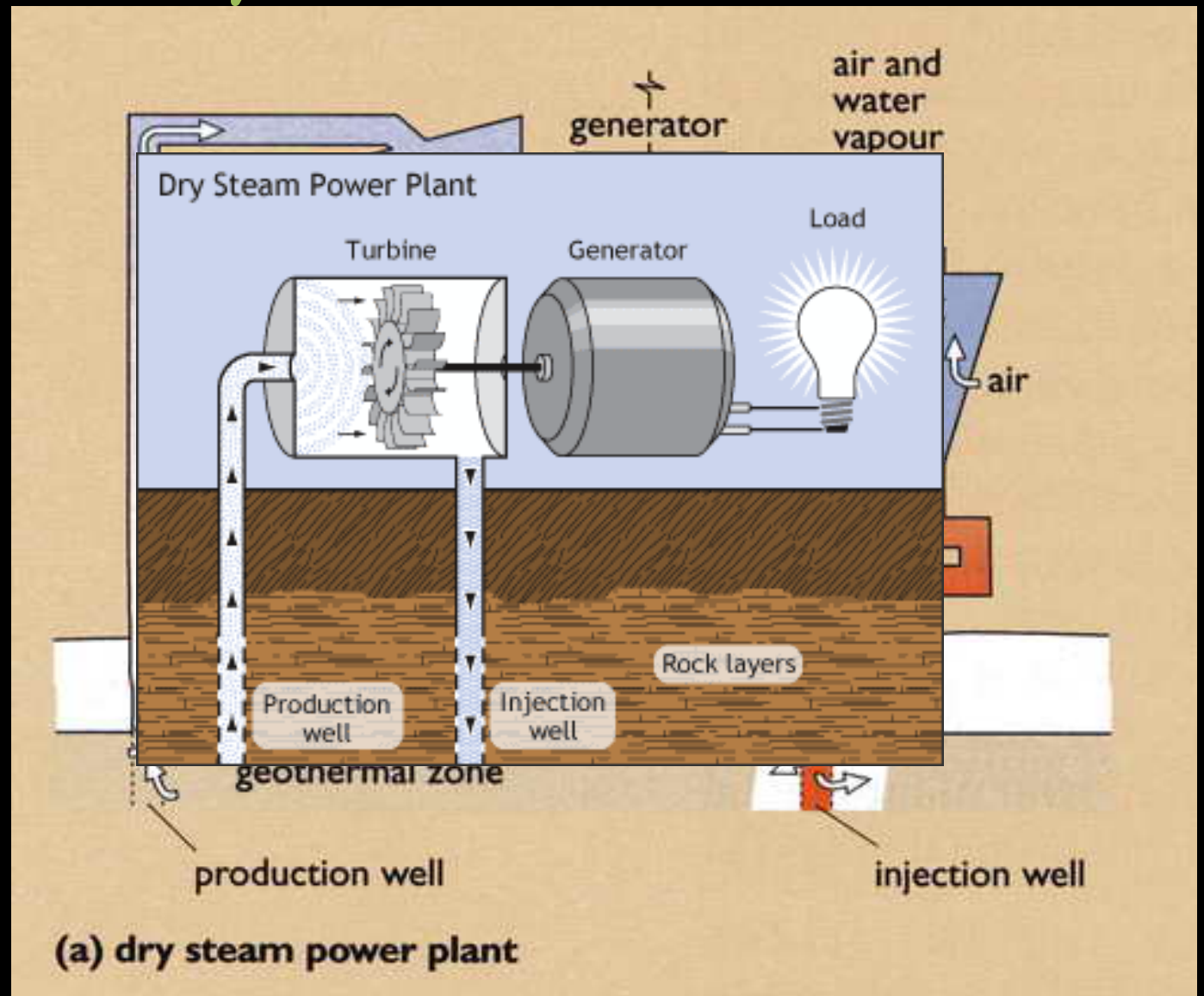


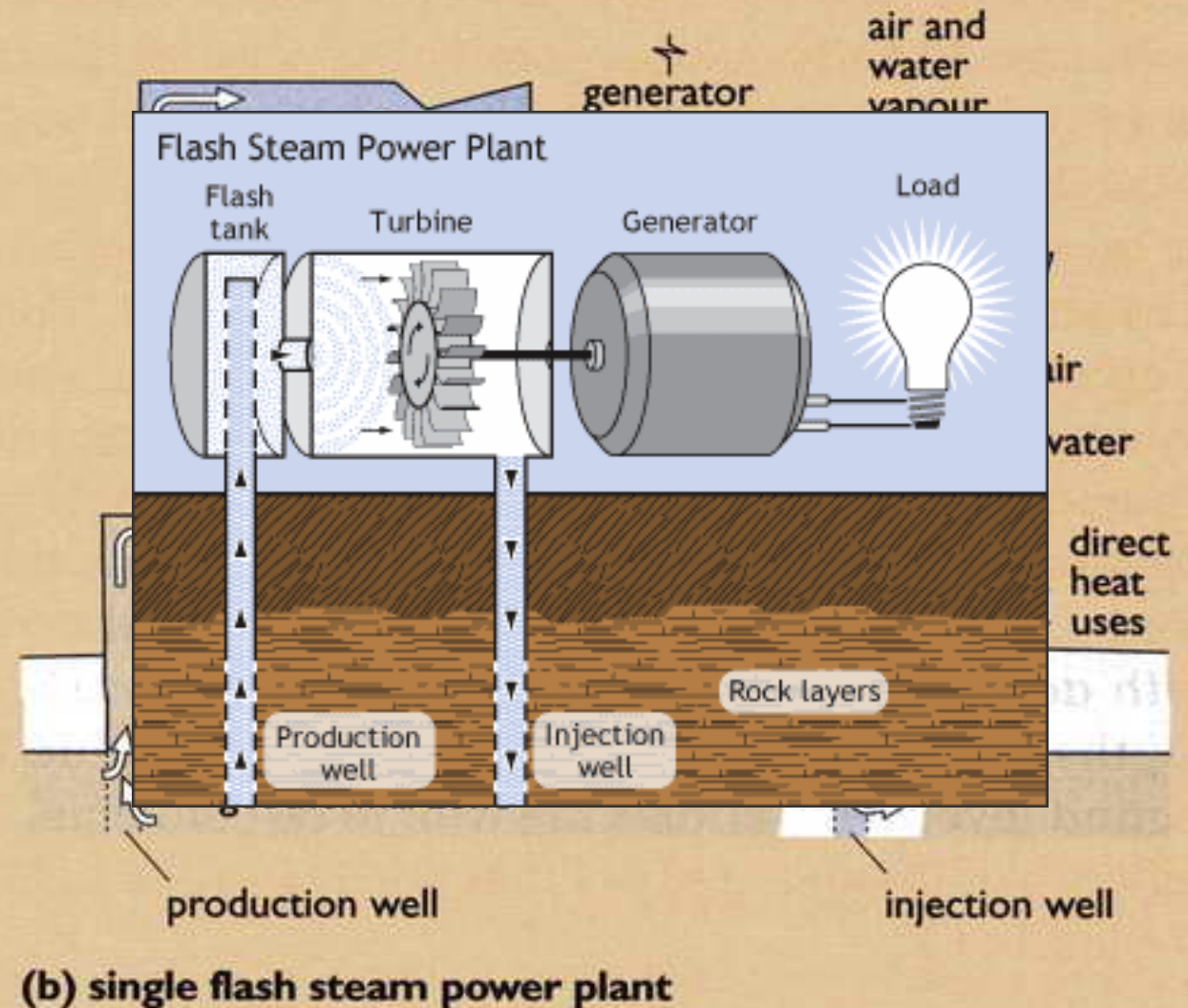
# Dry Steam

- Processo:
  - Il vapore va direttamente in turbina che alimenta il generatore e produce energia elettrica.
- Vecchio tipo (Larderello o The Geysers)
- Emissione:
  - Eccesso di vapore
  - Scarse quantità di gas

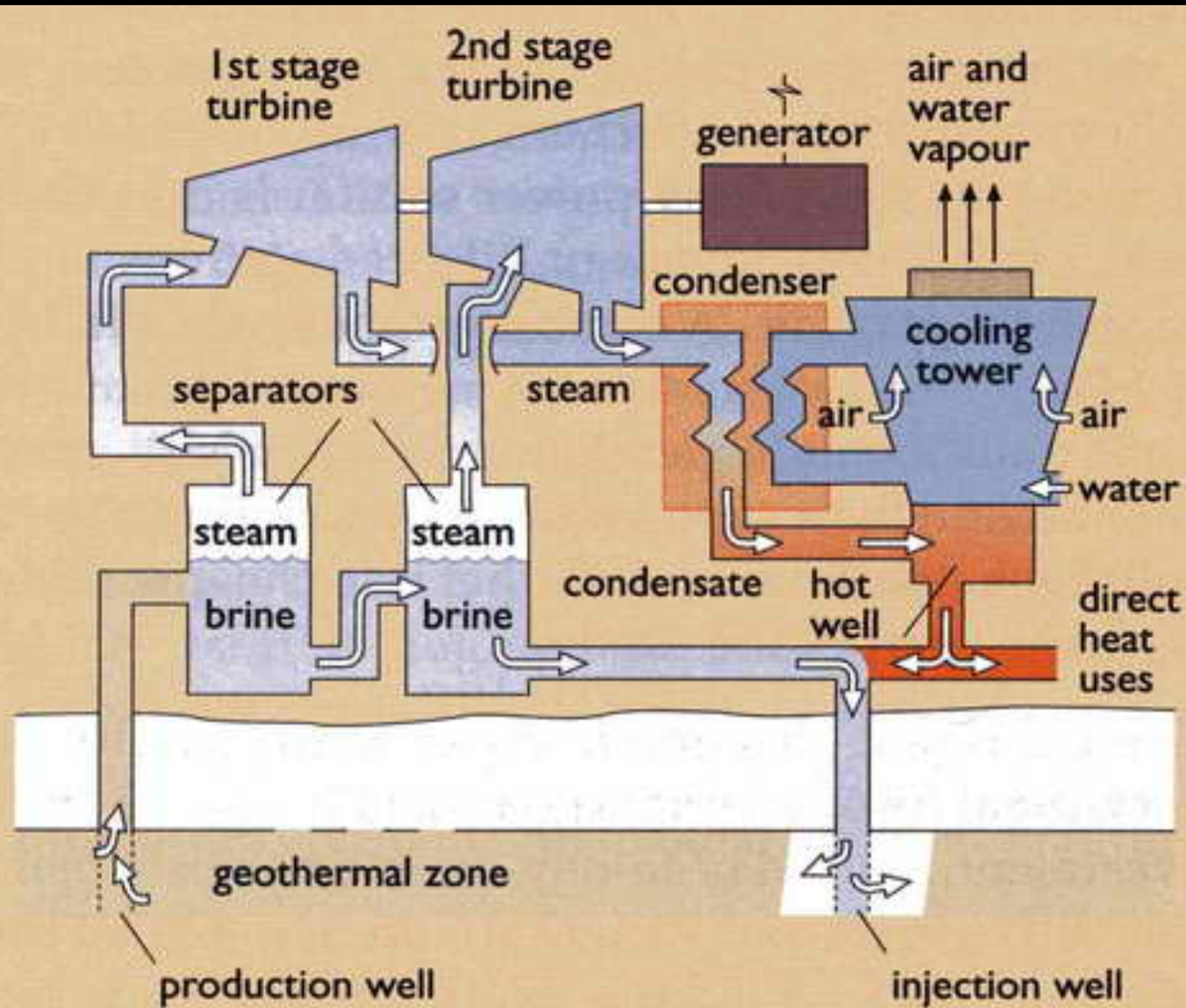


# Single Flash Steam

- Fluido sui 180 °C.
- Processo:
  - Il fluido è immesso in un contenitore tenuto ad una pressione più bassa di quella del fluido.
  - Questo comporta che parte del fluido vaporizzi o "flash."
  - Il vapore va in turbina che alimenta un generatore.
  - Se rimane del liquido nel contenitore questo può essere ancora "flashato" in un secondo contenitore per produrre più energia.



# Double Flash







(d) double flash power plant






# Trasformatore



S

-  Pozzo di produzione
-  Alternatore
-  Condensatore
-  Pozzo di reiniezione

-  Turbina
-  Trasformatore
-  Torre di Raffreddamento

Pozzo di Produzione



Collettore del vapore a monte della turbina



Turbina – sezione aperta



Condensatore



Torre a tiraggio indotto

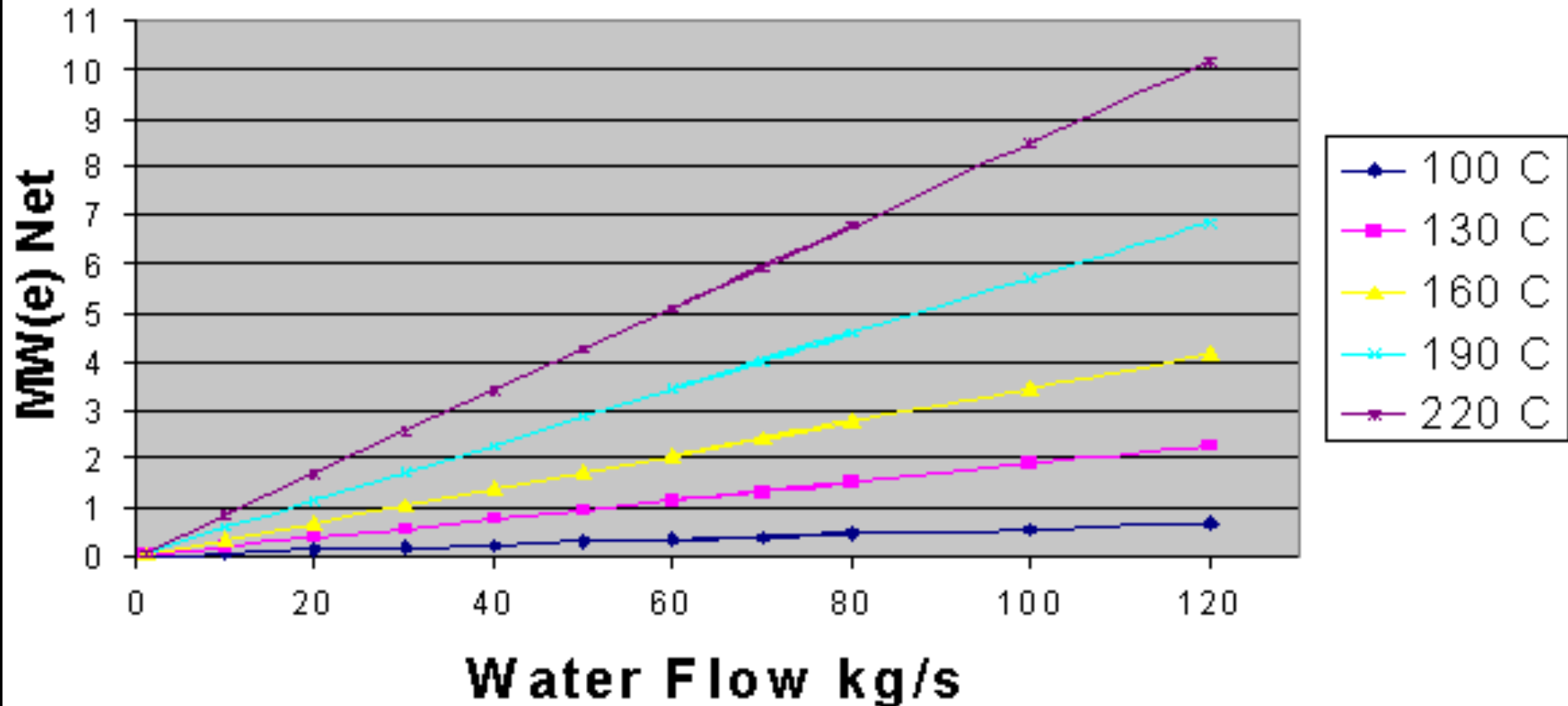


Torre a tiraggio naturale



# Binary Plant Power Output

## Power From Moderate - Low Temperature Fluids



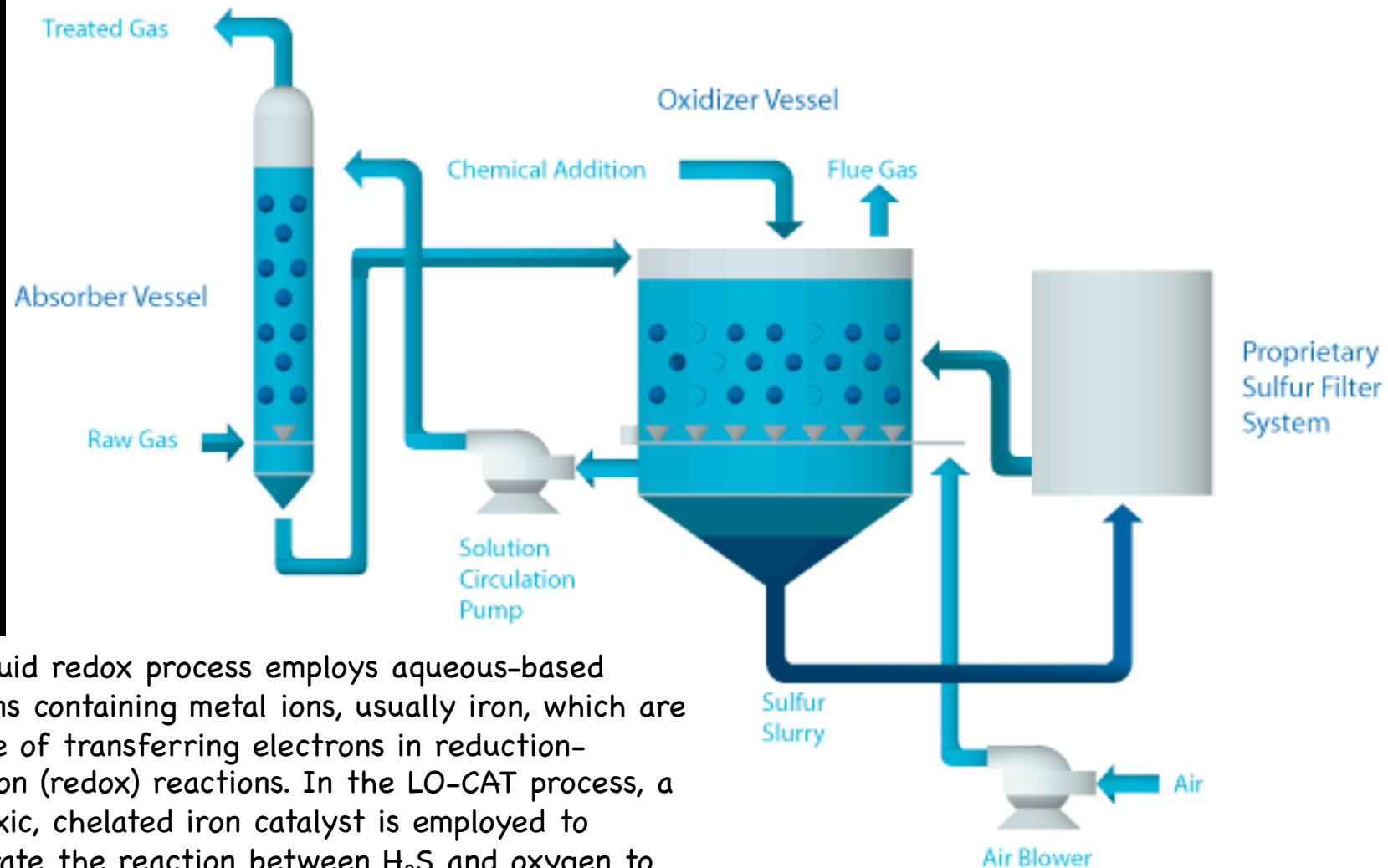
# Soluzione per evitare le emissioni

- Design a circuito chiuso (ground-source heat pumps)
- Tecnologia a emission scrubber
  - Processo LO-CAT® per ossidare H<sub>2</sub>S in una forma solida.
  - $\text{H}_2\text{S} + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{S}^0$
  - 99% di efficienza per la rimozione di H<sub>2</sub>S
  - 15 anni di efficacia comprovata a China Lake Naval Weapons Center, SE California





# LO-CAT Function Diagram



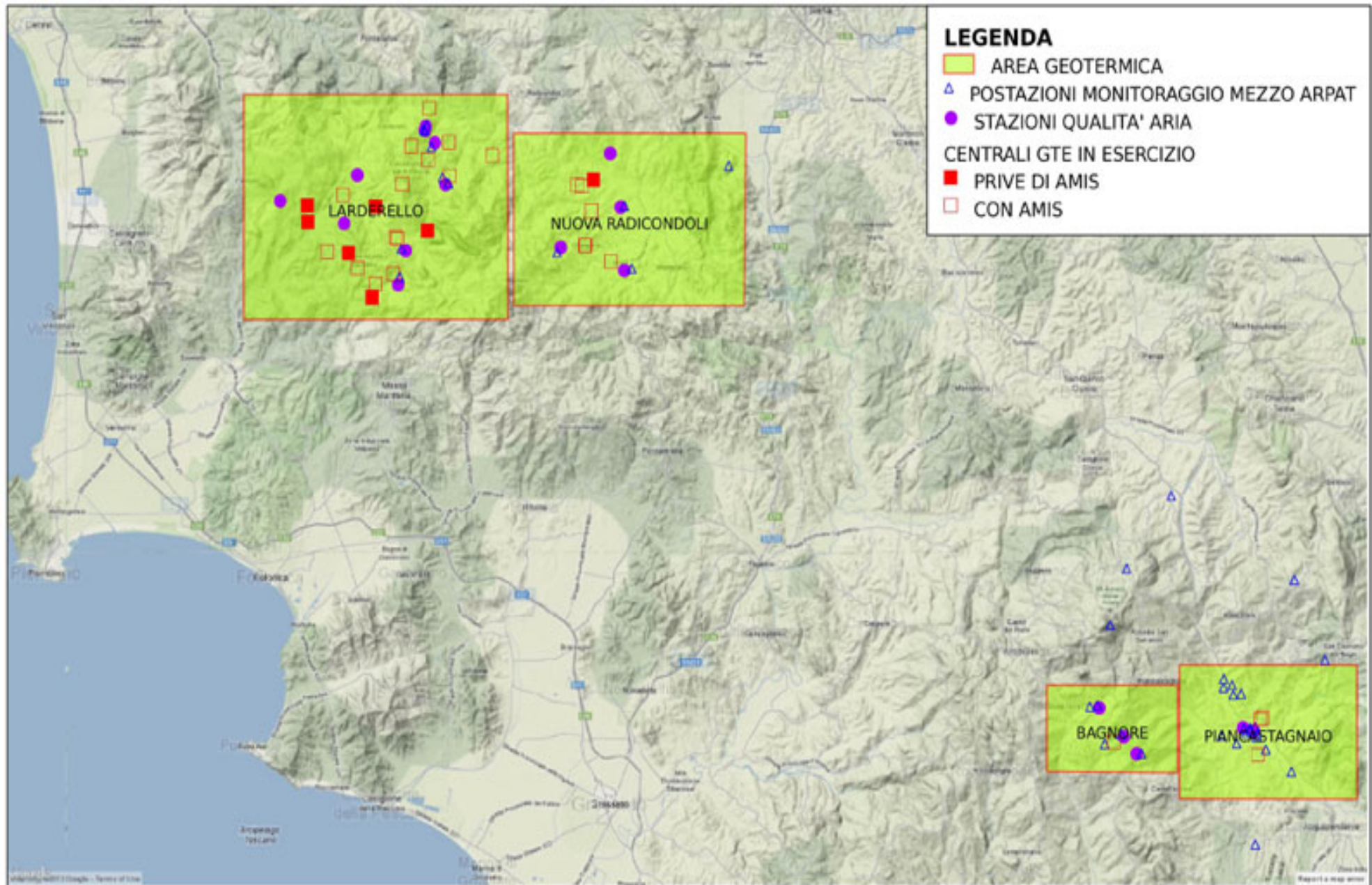
The liquid redox process employs aqueous-based solutions containing metal ions, usually iron, which are capable of transferring electrons in reduction-oxidation (redox) reactions. In the LO-CAT process, a non-toxic, chelated iron catalyst is employed to accelerate the reaction between  $\text{H}_2\text{S}$  and oxygen to form elemental sulfur.



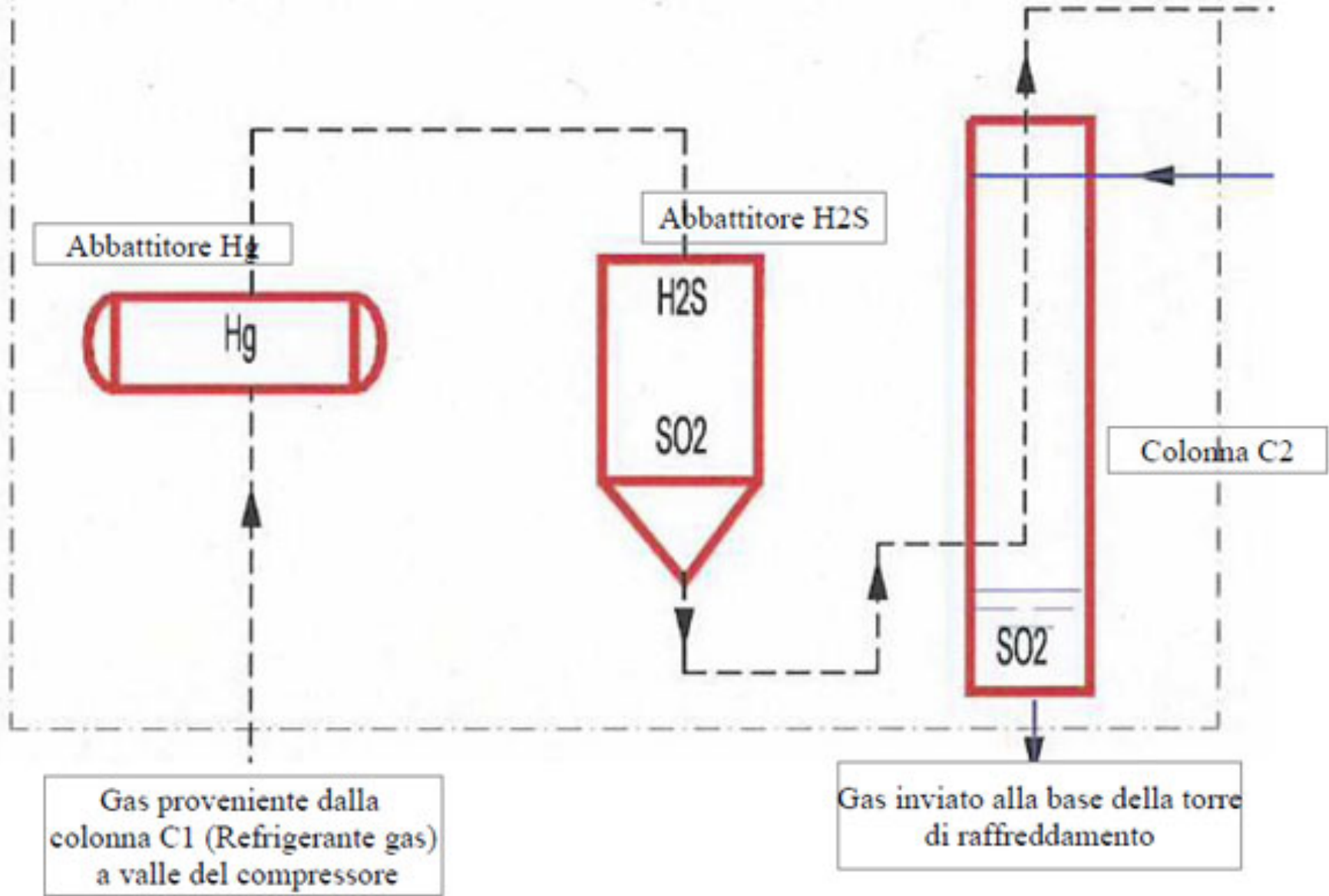
# Emissione di sostanze tossiche

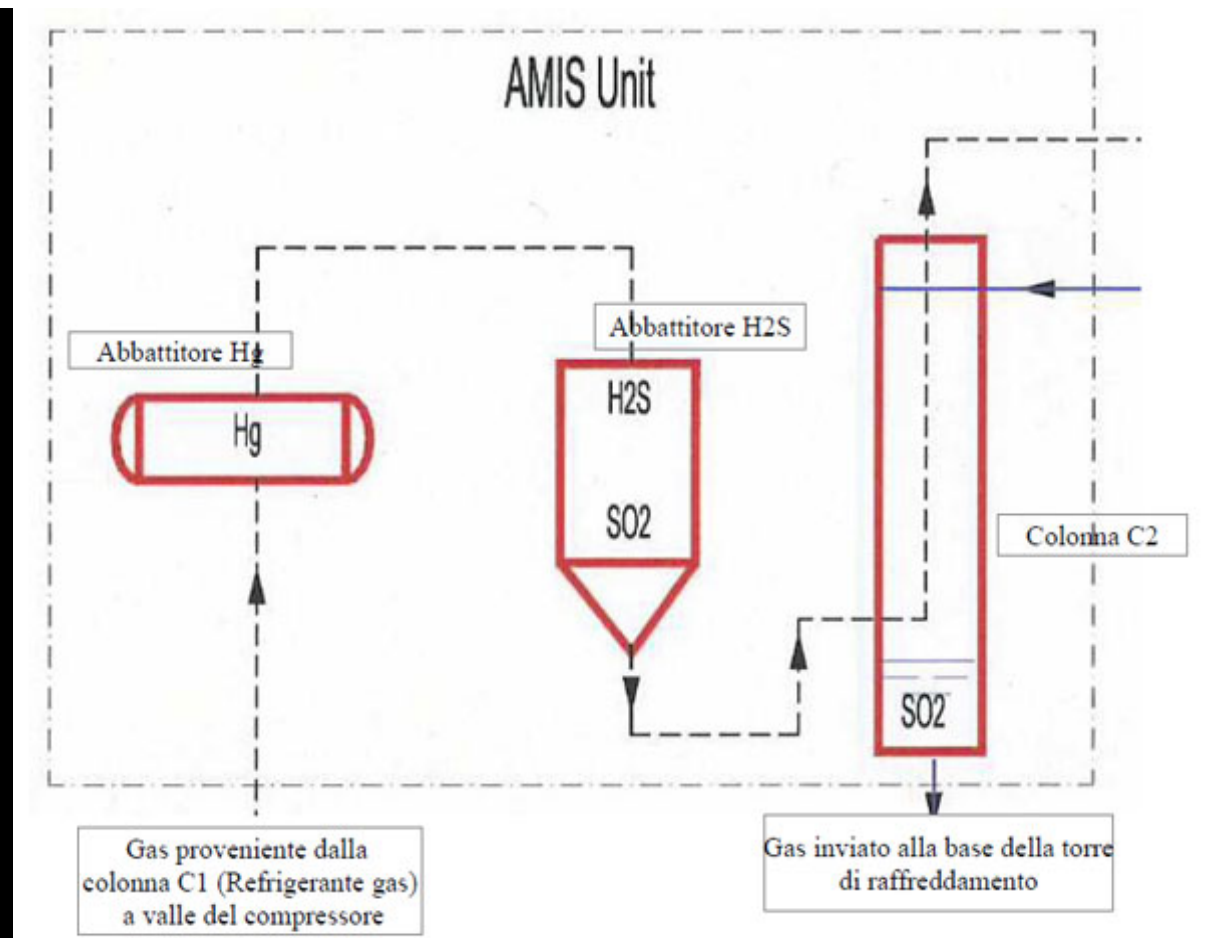
- Le acque da sorgenti geotermiche possono contenere boro, arsenico, mercurio, antimonio, e sali.
- Una volta estratta l'energia, l'acqua raffreddata può presentare arricchimenti in elementi tossici.
- Alte concentrazioni di sostanze tossiche → impatto ambientale.
- Soluzione: iniezione del fluido geotermico nel sottosuolo
  - Questo circuito chiuso di riciclaggio previene l'emissione di sostanze tossiche e prolunga la vita della risorsa.

34 Centrali GTE (GEOTERMoeLETTRICA) ENEL di queste, l'82% sono dotate di impianto di abbattimento AMIS (Abbattitore Mercurio Idrogeno Solforato); in sostanza, su 34 CGTE, solo 6 centrali sono ancora senza



# AMIS Unit



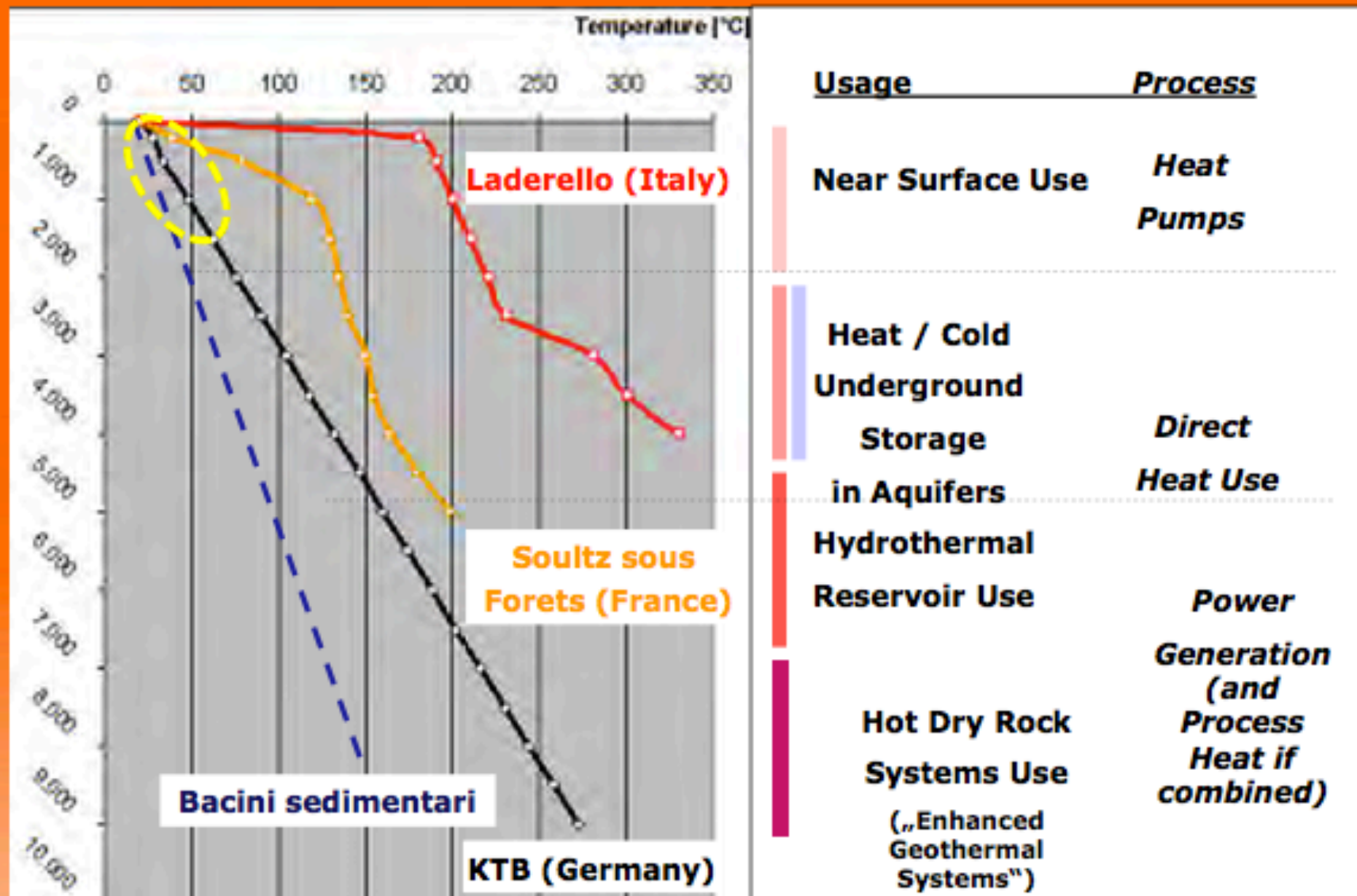


- 1) Rimozione di Hg mediante sorbenti specifici (letti al selenio o filtri di carbone attivo impregnato di zolfo).
- 2) Rimozione di H<sub>2</sub>S mediante ossidazione catalitica → SO<sub>2</sub>;
- 3) Rimozione di SO<sub>2</sub> (Colonna C2) per lavaggio del gas che entra in contatto in controcorrente con la condensa geotermica;

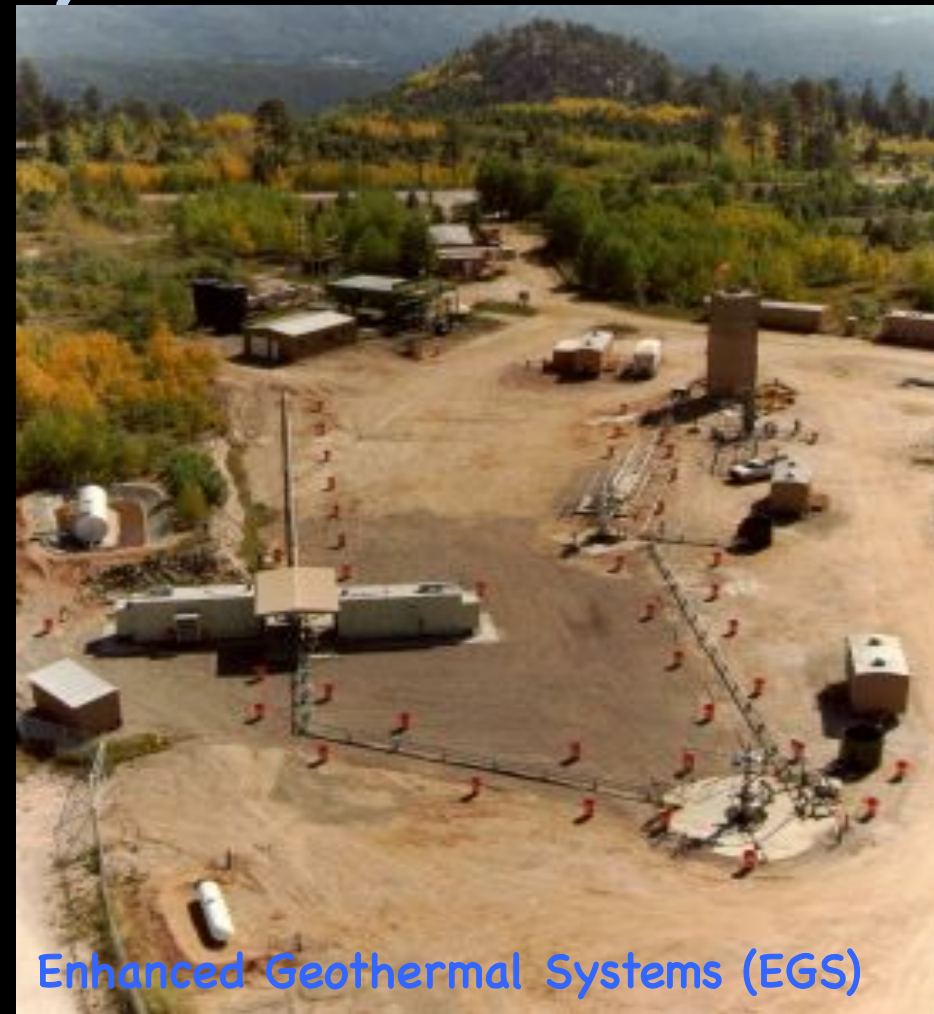
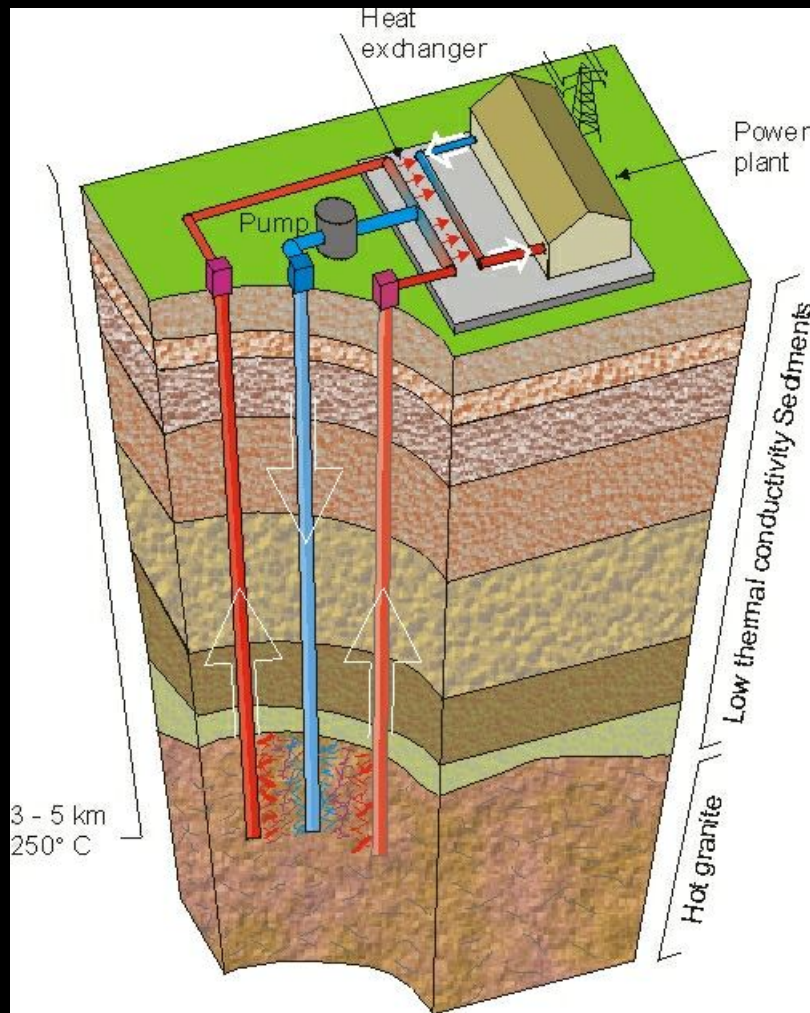
- 4) Raccolta della condensa di lavaggio colonna C1 e C2 ed invio al condensatore.
- 5) Acidificazione delle condense circolanti in centrale favorendo così la ripartizione dell'H<sub>2</sub>S, nel condensatore, verso la frazione di gas incondensabili.
- 6) In uscita dall'AMIS, si registrano flussi di massa di circa 0.2 kg/h per l'H<sub>2</sub>S e di 0.7 g/h di Mercurio.
- 7) Il gas trattato, in uscita dall'AMIS, è inviato alla torre di raffreddamento e disperso con l'aeriforme.



# Risorse e sistemi geotermici



# Hot Dry Rock



Enhanced Geothermal Systems (EGS)

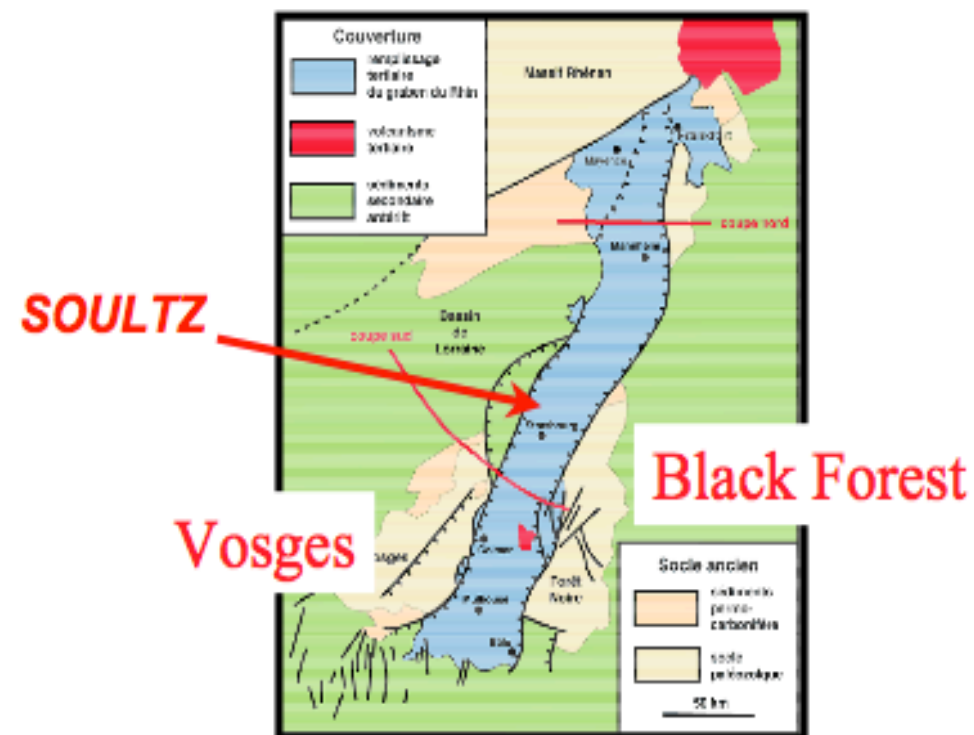
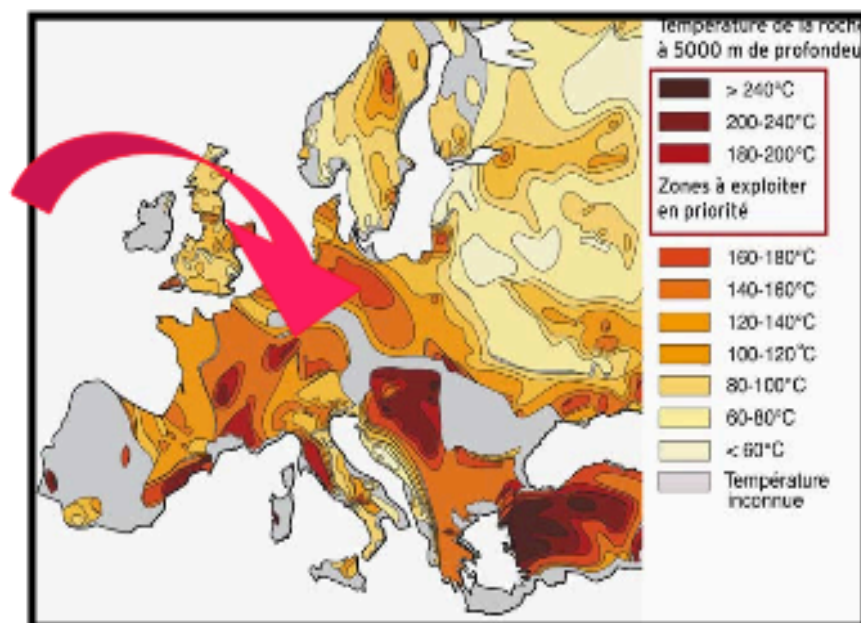
## "Artificial Systems" in Hot Dry Rocks (HDR)

Per accrescimento dell'efficienza di un reservoir geotermale, tramite acidi ed esplosivi. Acqua superficiale fredda viene inserita in rocce calde, secche, porose e fratturate. Quest'acqua è successivamente ri-estratta a più alte temperature.



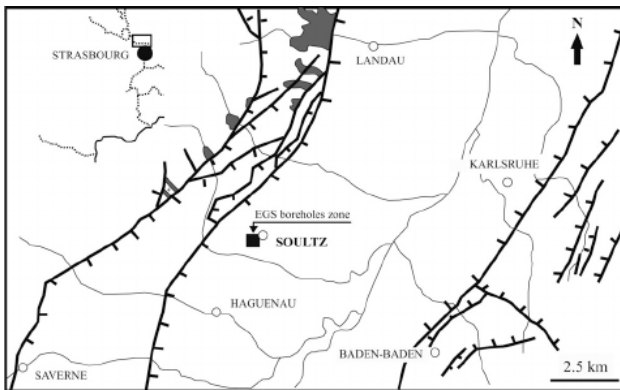


# The European Test Site Soultz-sous-Forêts

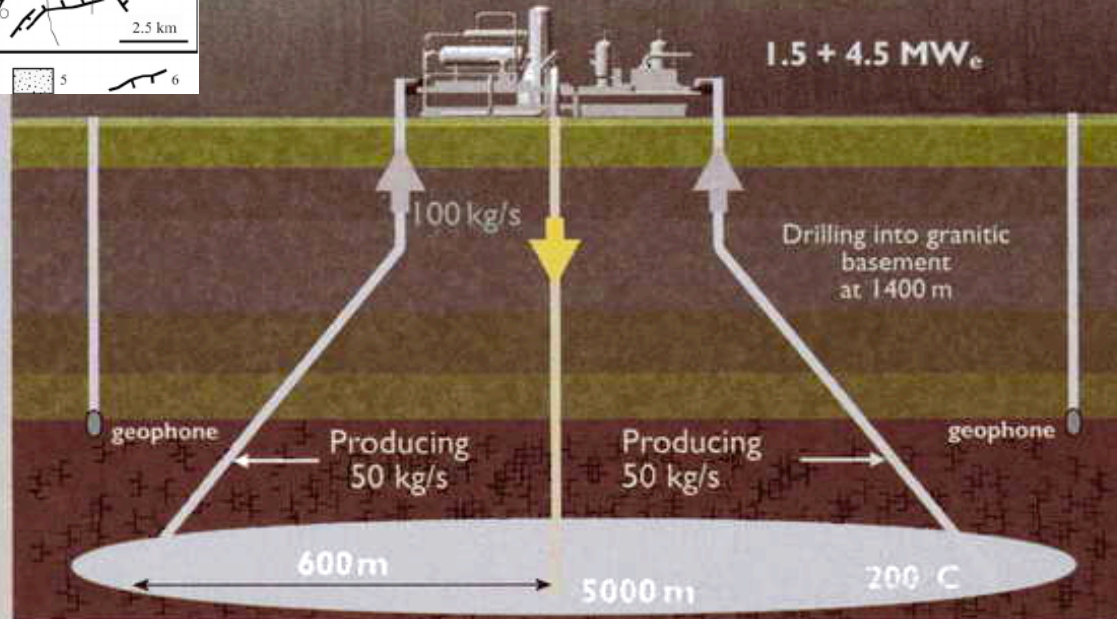


The "Graben"

# Soultz Hot Fractured Rock



The planned 5-year HFR Pilot at Soultz (2001)  
The HDR base module

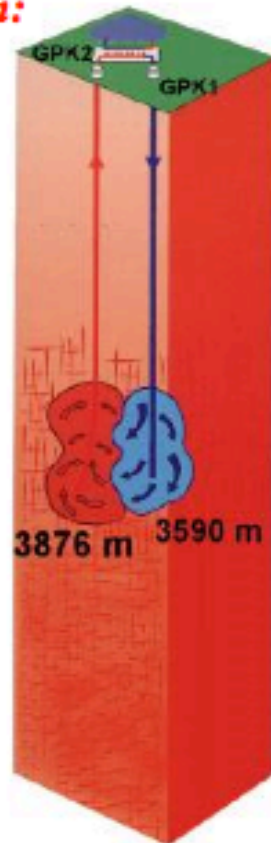


**Figure 9.14** The planned 5-year HFR Pilot at Soultz. Note: the term HFR refers to Hot Fractured Rock – a specific type of hot dry rock

- 1 km<sup>3</sup> di HR ha il contenuto di energia di 70.000 ton di carbone: se raffreddato di 1 °C
- I primi 10 km di crosta degli US hanno una quantità di energia >600.000 volte maggiore dell'energia annualmente usata dagli States
- Tra 19-138 GW di potenza disponibile nei siti idrotermali esistenti:
  - Usando la enhanced technology

**1997 circulation:  
> 10 MW(th)**

**3600 m  
150 °C**



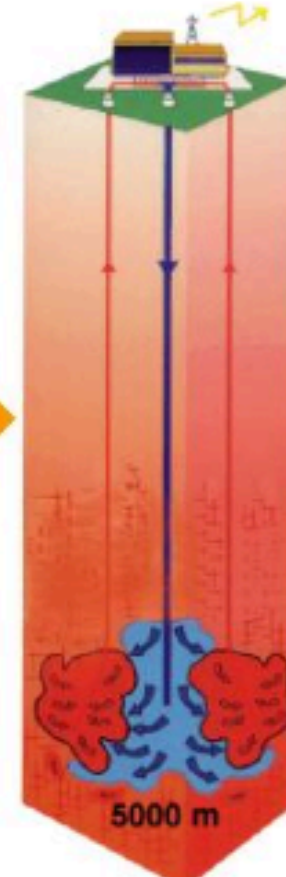
Early experimental  
phase 1987-1997

**5000 m  
200 °C**

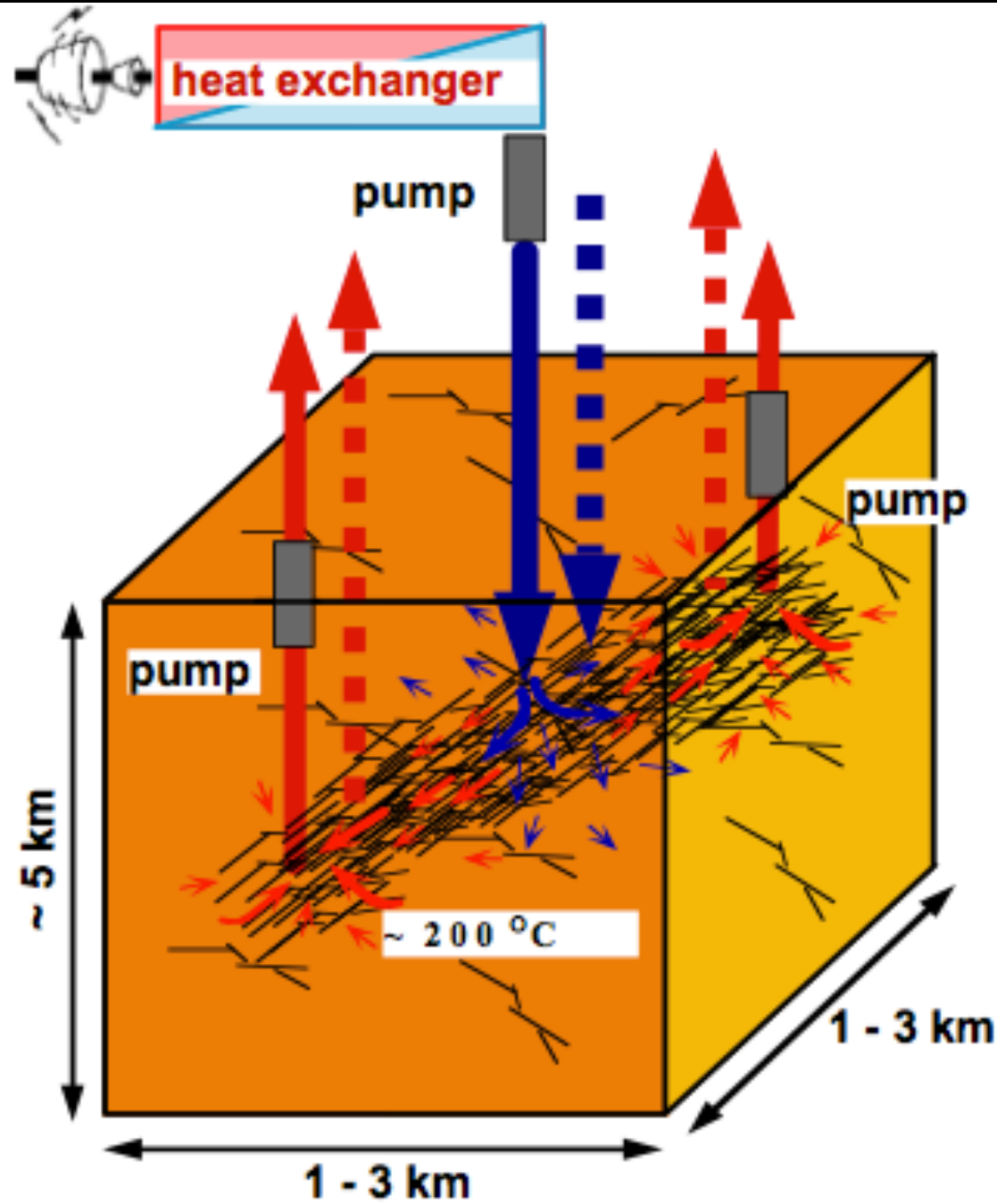


Exploration of deep  
reservoir 1998-2000

**5000 m  
200 °C**



**Scientific Pilot Plant  
2001 - 2007**



# 2-Well HDR System Parameters

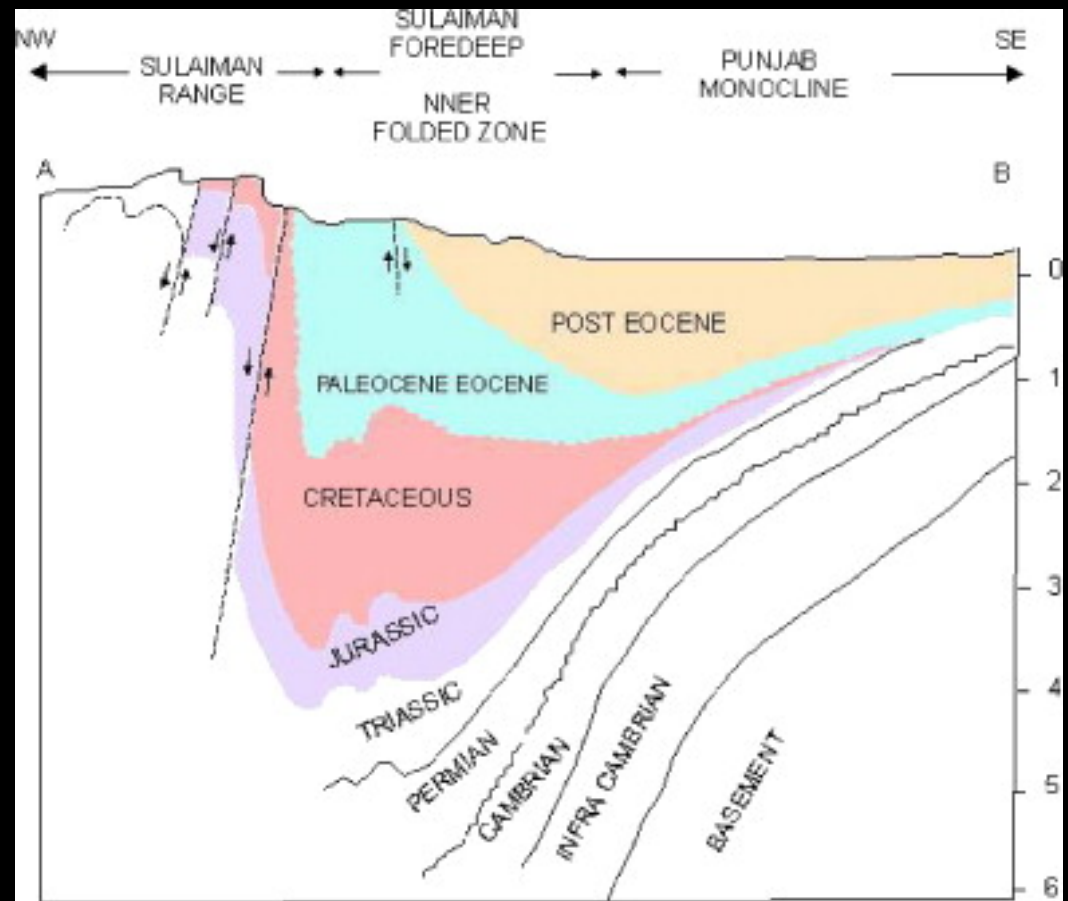
**Table 9.6** Target parameters for a 2-well HDR system

Flow rate	75–100 kg s <sup>-1</sup>
Effective heat exchange area	> 2 × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>
Accessible rock volume	> 2 × 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
Impedance *	0.1 MPa l <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Water losses	< 10%

\* Note: strictly, impedance is not a constant, but varies with flow rate (pressure). The specified figure is the resistance to flow at the operating rate

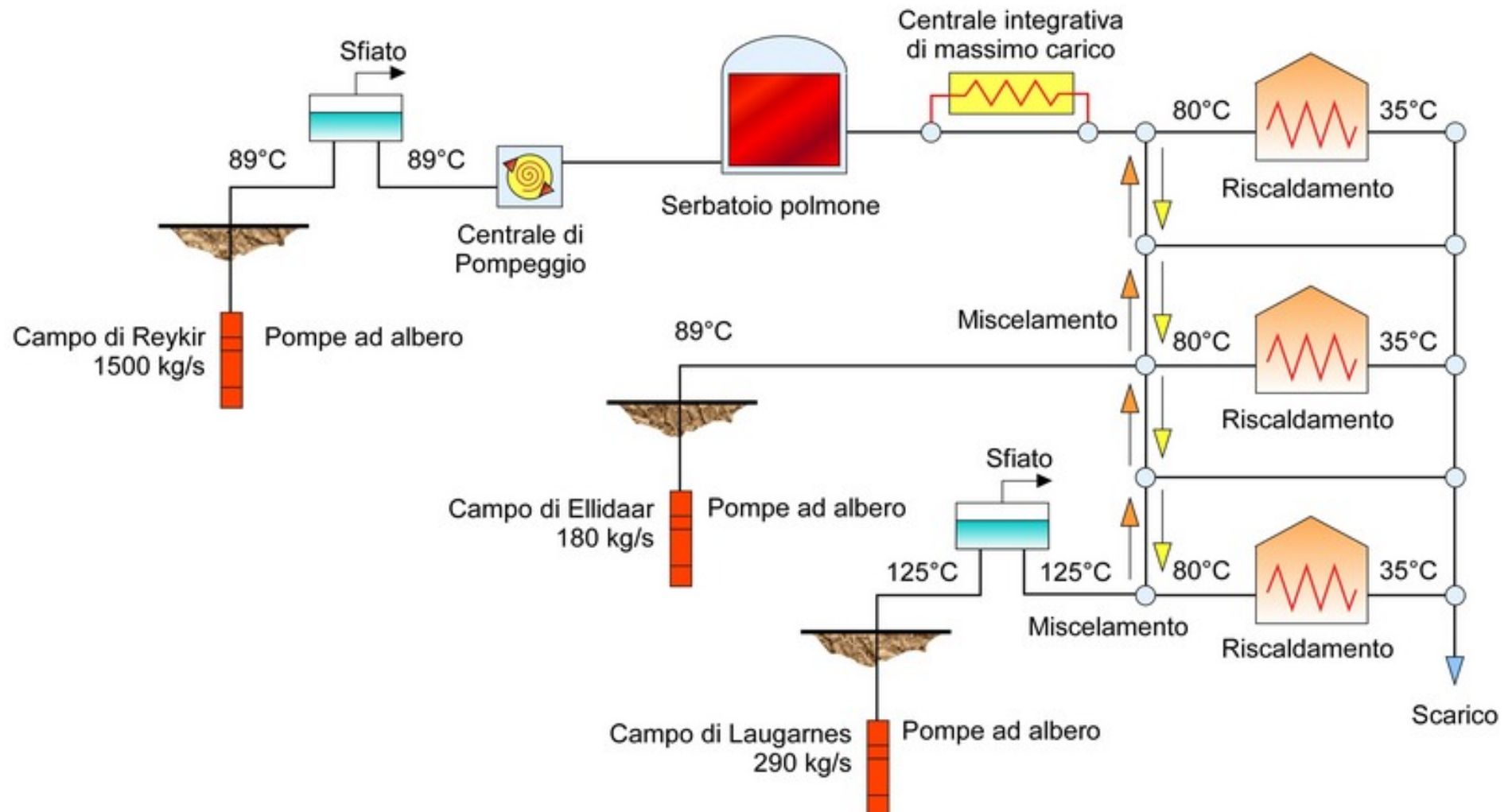
# Sistemi geopressurizzati

Una risorsa geopressurizzata consiste in hot-brine soggetta ad elevate pressioni a causa di acqua catturata durante il processo di seppellimento dei sedimenti ove è racchiusa. Queste risorse sono spesso associate con metano e sono relative ad acquiferi di grosse dimensioni. I pozzi perforati all'interno di queste risorse fluiscono in pressione in superficie. Le temperature variano fra 90 e 200 °C. Tre sono le forme di energia utilizzabili con questi pozzi geopressurizzati: 1. termale per le elevate temperature; 2. idraulica per l'elevata pressione con la quale fuoriescono; 3. chimica per il metano disciolto nei fluidi.



**Non si usa solo il vapore ma anche l'acqua!!!**

## Serbatoi di stoccaggio di acqua calda a Rejkjavik (Islanda)



# Geotermia a bassa entalpia:

- ✓ Riscaldamento e condizionamento di edifici
- ✓ Produzione di acqua calda sanitaria (ACS) o industriale
- ✓ Basso impatto ambientale
- ✓ Alto risparmio energetico/economico



# La temperatura del sottosuolo è discriminante per l'utilizzo a fini geotermici

Produzione di energia elettrica:  $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Teleriscaldamento:  $T$  fra  $80$  e  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

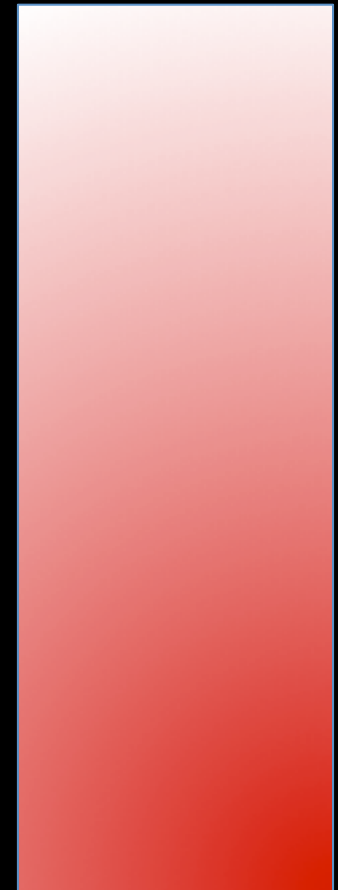
Riscaldamento di case serre ed impianti industriali:  $50$  e  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Geotermia a bassa entalpia:  $T \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

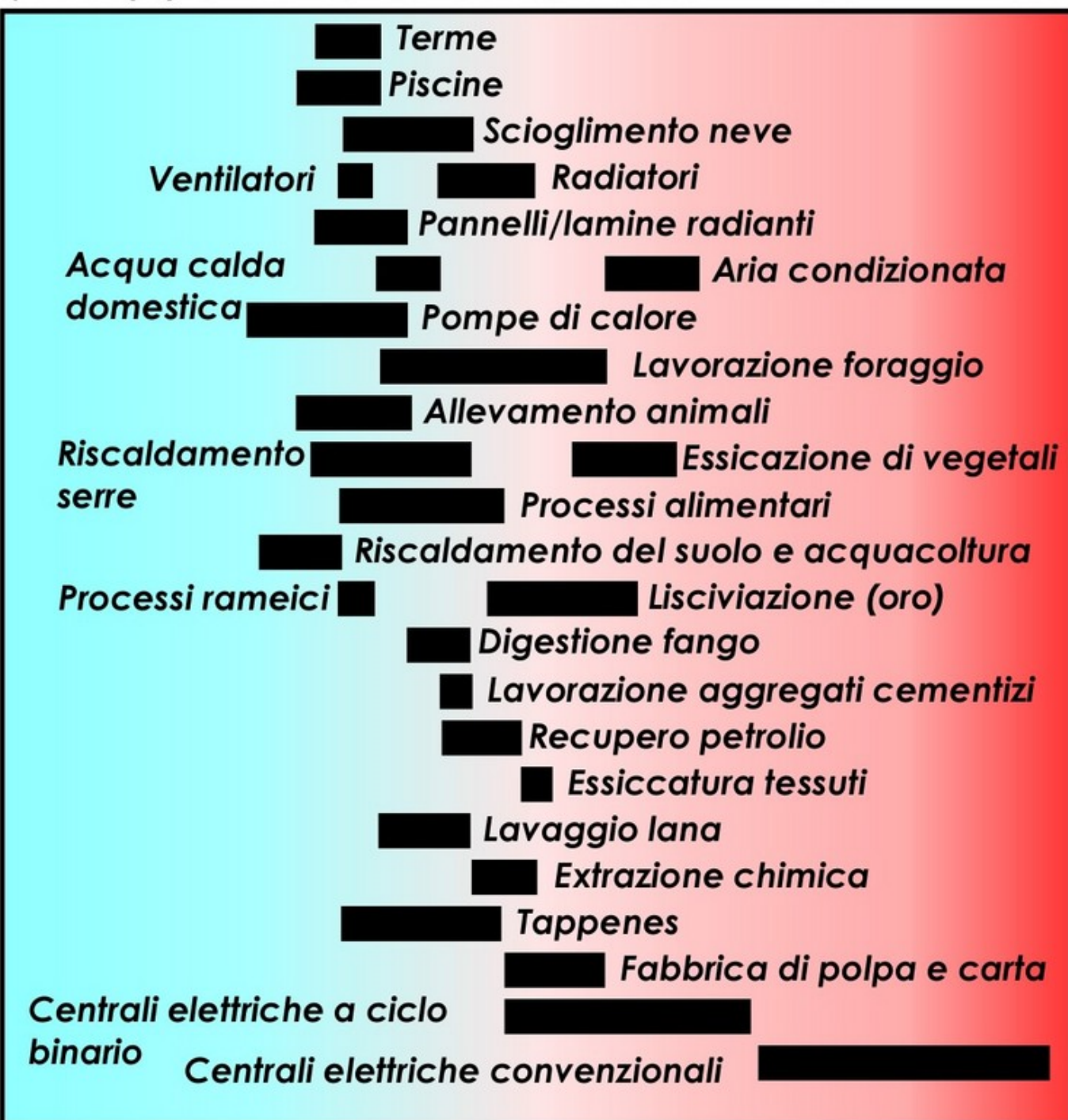
0 -10 m (escursioni diurne e stagionali)

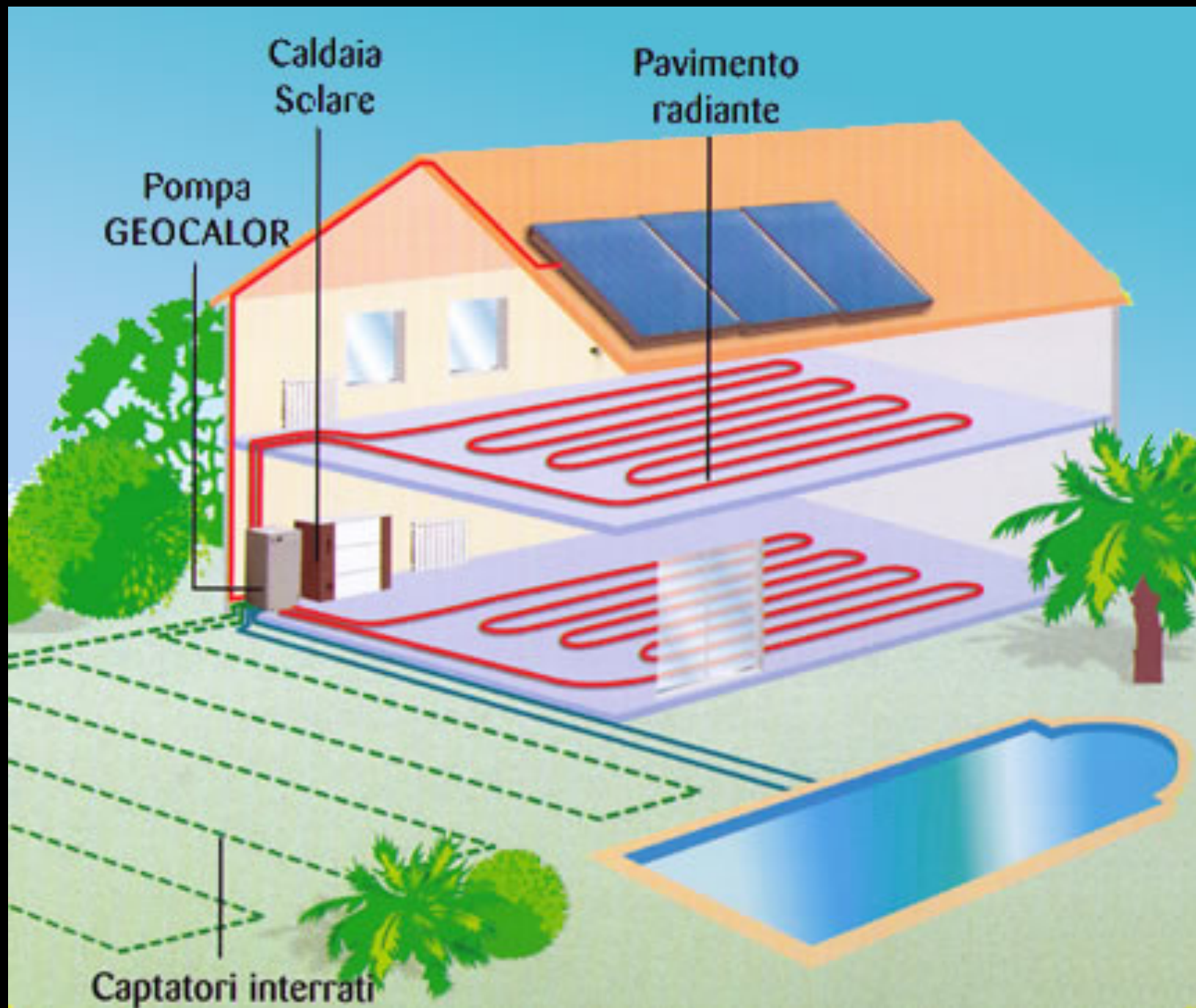
12-14  $^{\circ}\text{C}$ : sino a 100 m

15-17  $^{\circ}\text{C}$ : sino a 200 m

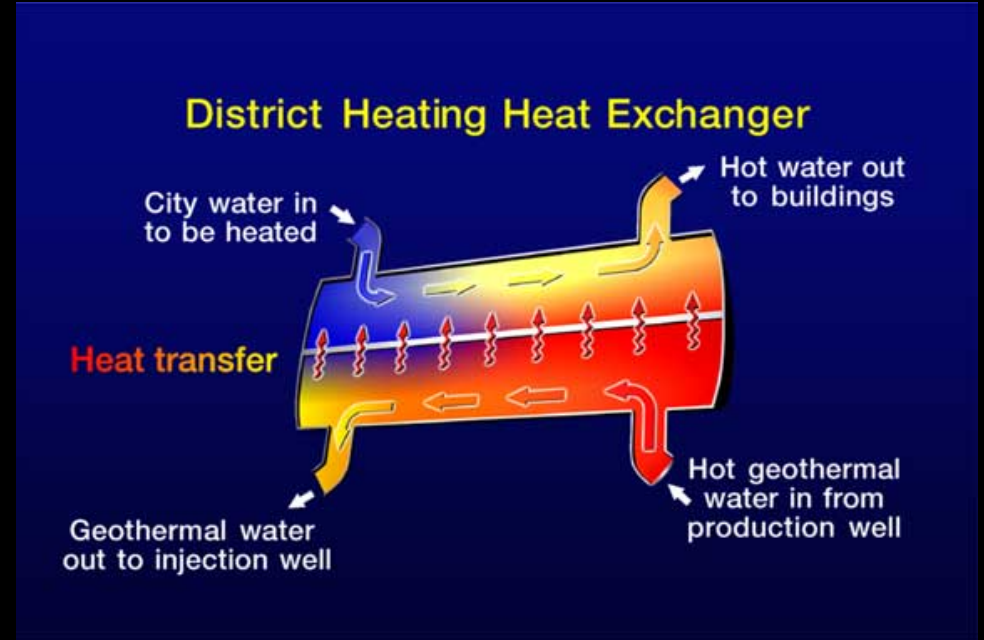
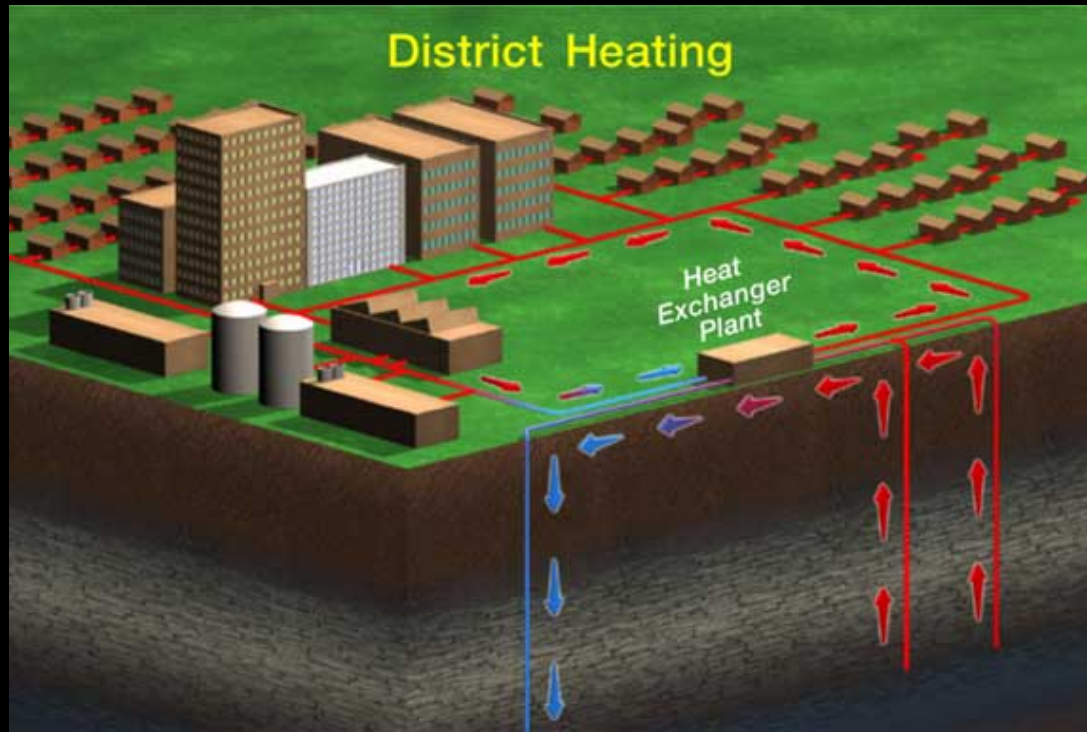


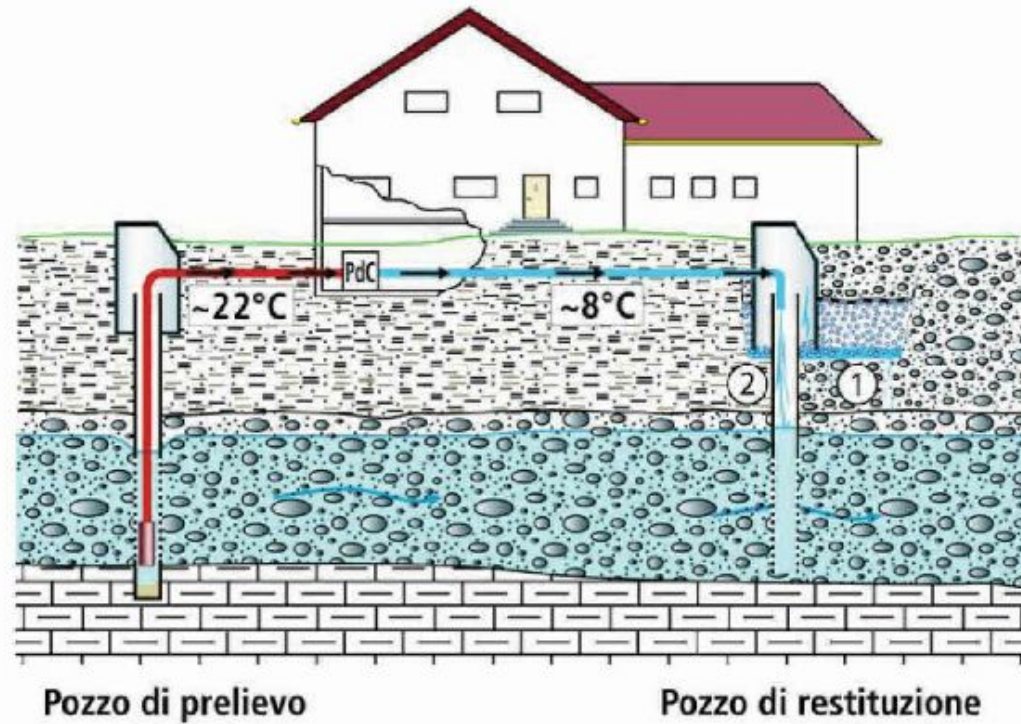
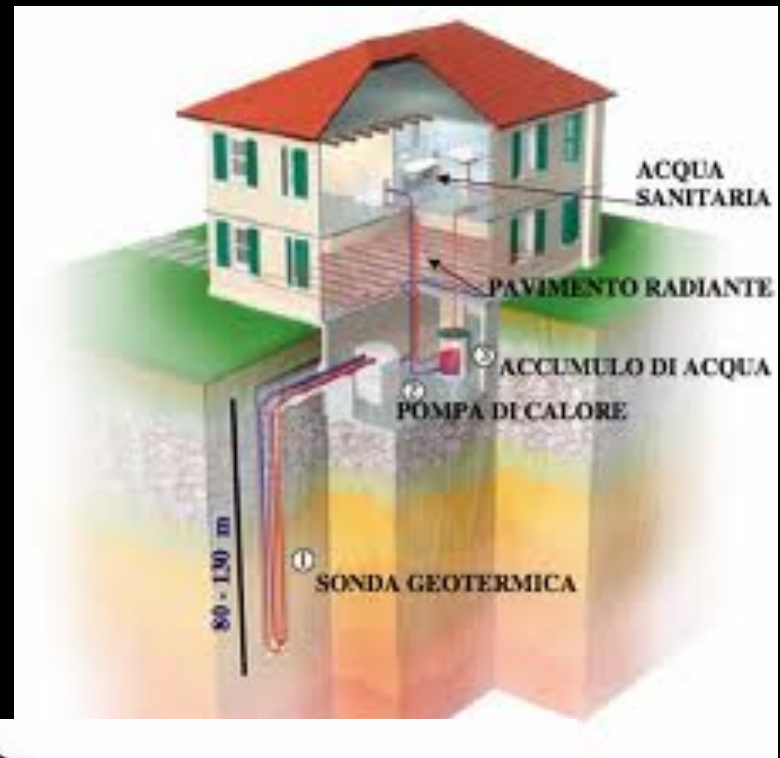
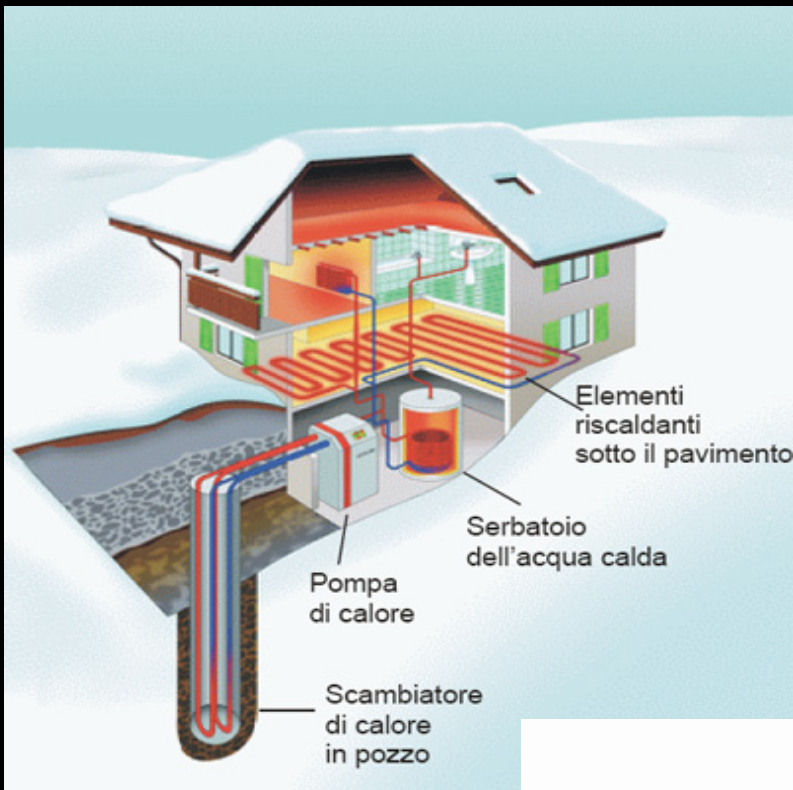
Temperatura (°C) 0 20 40 60 80 100 120 140 200 350

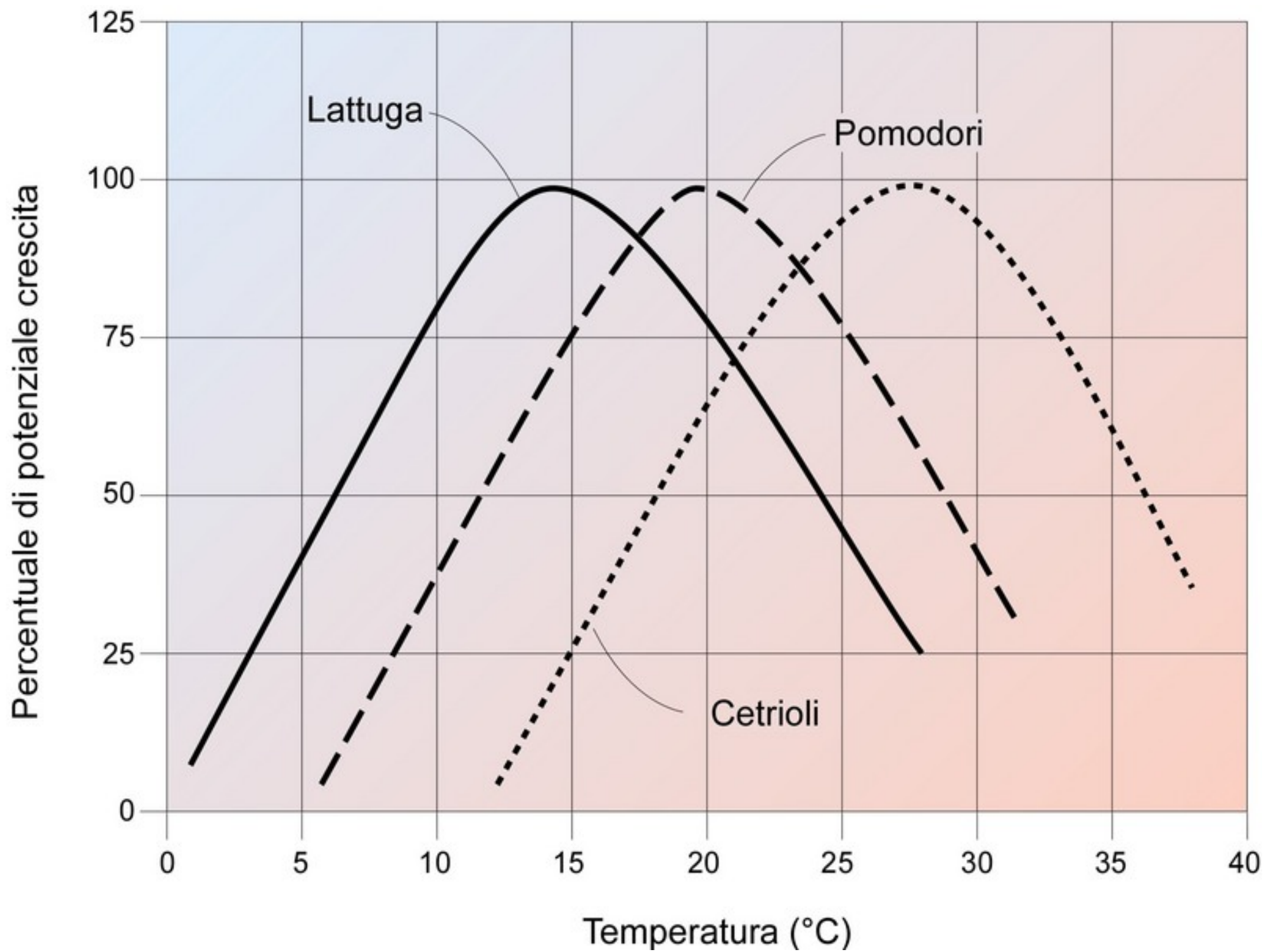


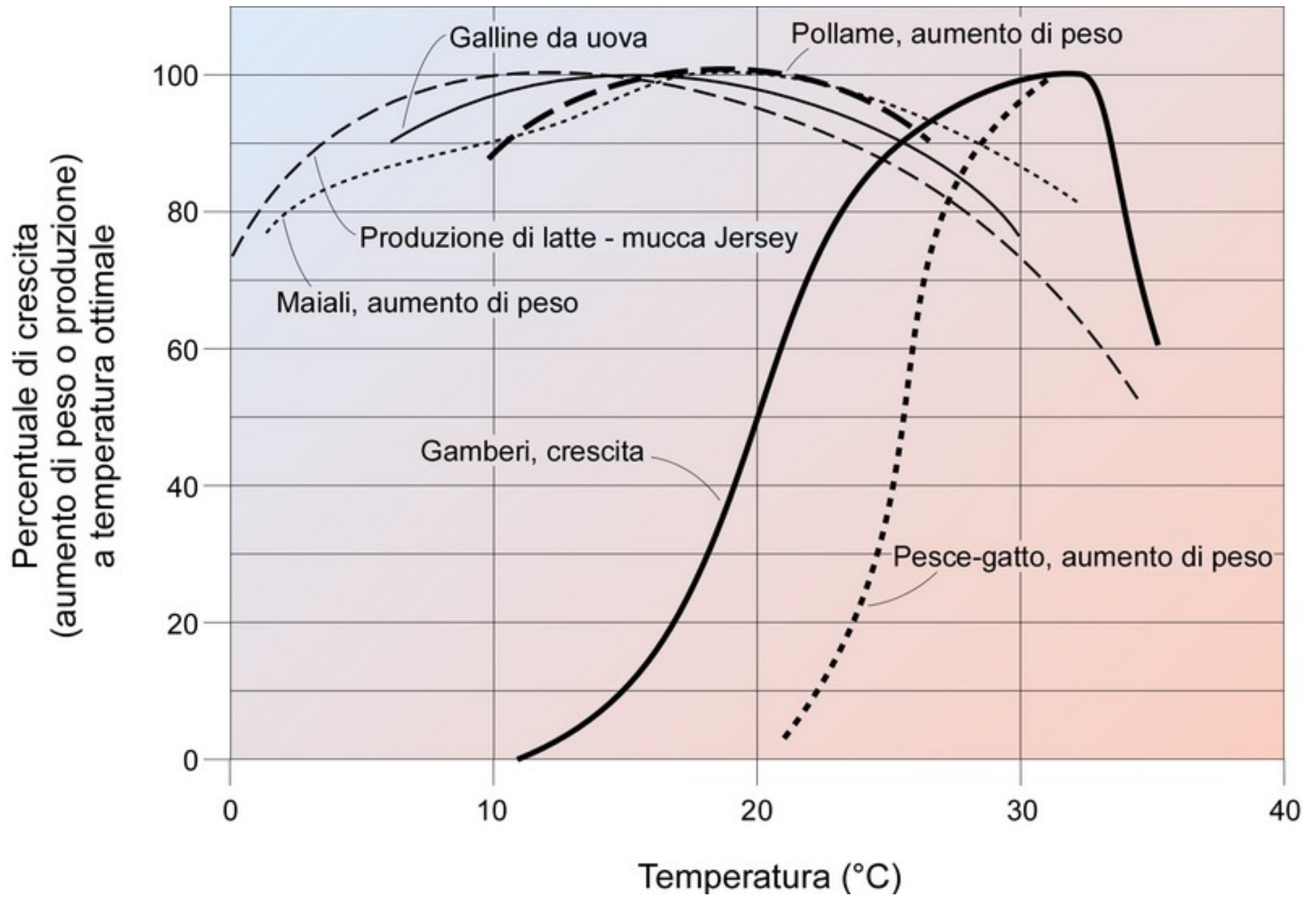


# Riscaldamento









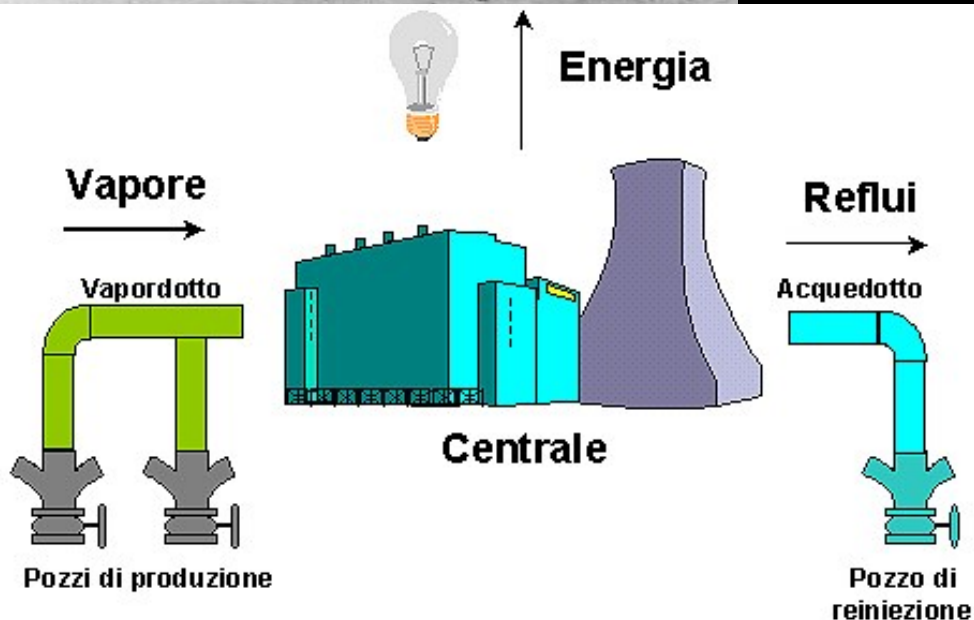
# Energia endogena e sfruttamento energetico



Un campo geotermico può essere economicamente sfruttabile

Questo dipende da:

- entalpia nel sistema
- dimensioni del serbatoio
- **composizione dei fluidi**
- richiesta d'energia





## Perché, malgrado la grande potenzialità dell'Italia, l'energia geotermica è ancora poco sviluppata?

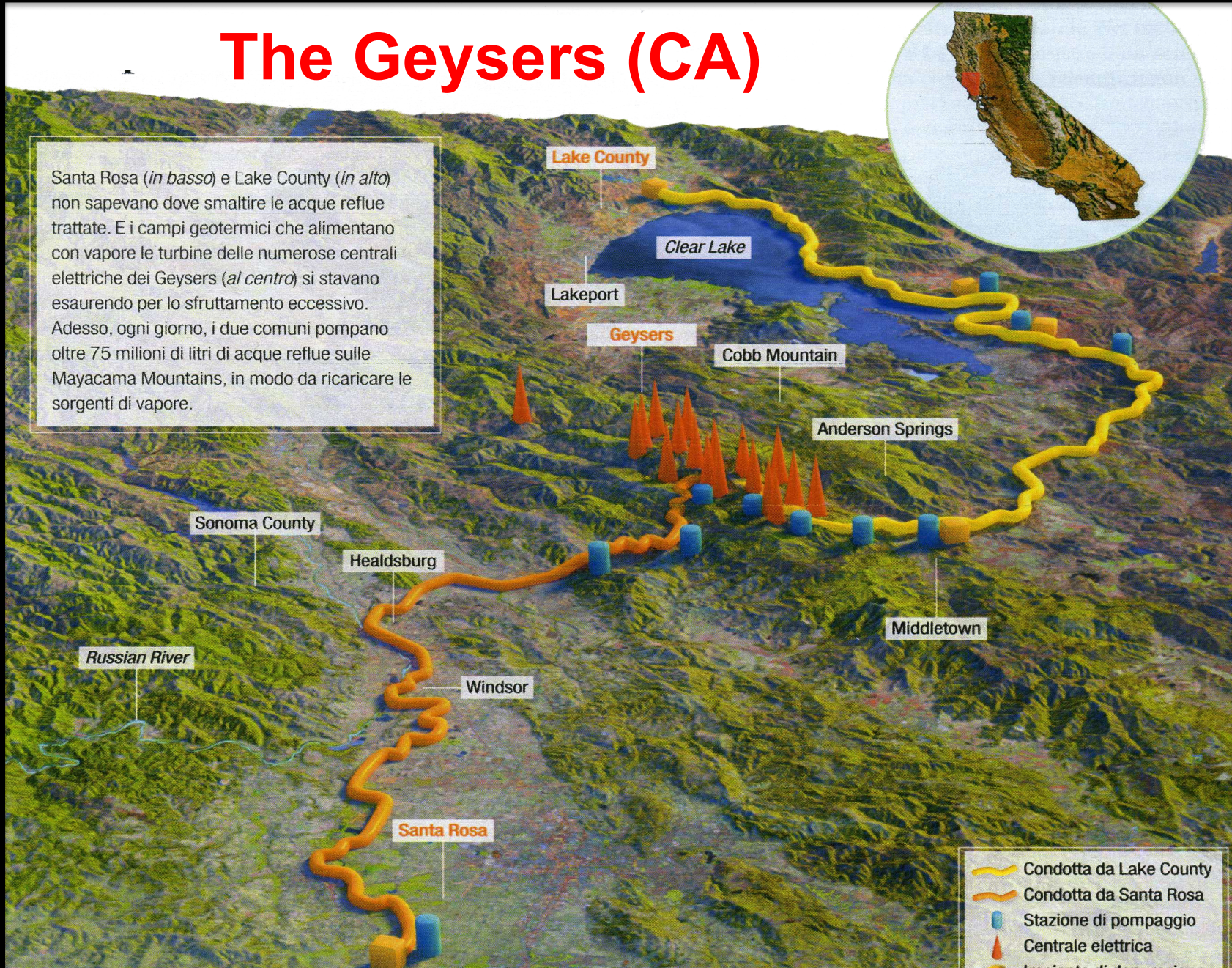
- 1) monopolio dell'ENEL?
- 2) errori negli anni '80 (Campi Flegrei)
- 3) scarso sviluppo dei sistemi a bassa temperatura
- 4) alto rischio minerario
- 5) scarsa promozione da parte delle autorità competenti

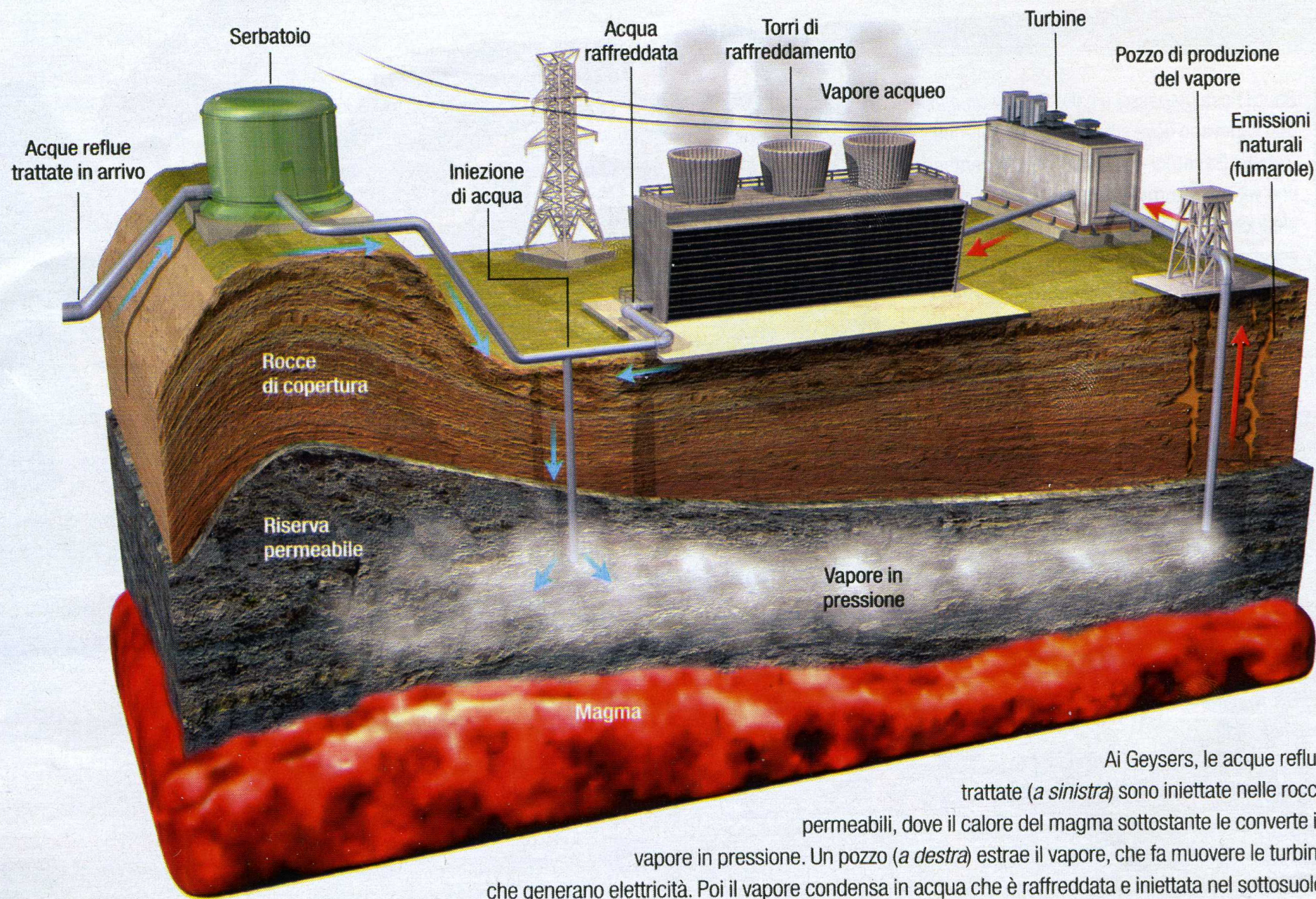


955 MW

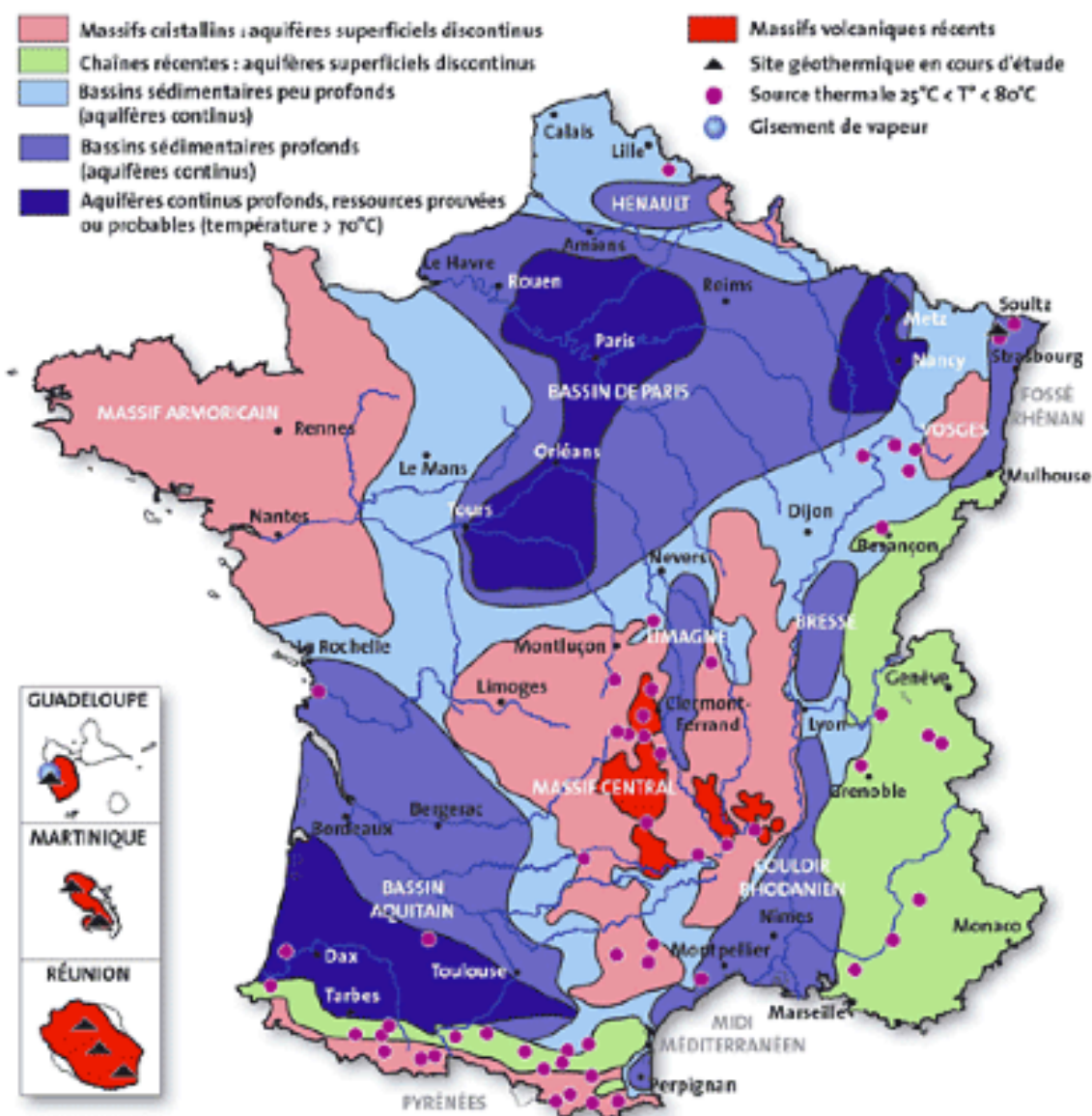
# The Geysers (CA)

Santa Rosa (*in basso*) e Lake County (*in alto*) non sapevano dove smaltire le acque reflue trattate. E i campi geotermici che alimentano con vapore le turbine delle numerose centrali elettriche dei Geysers (*al centro*) si stavano esaurendo per lo sfruttamento eccessivo. Adesso, ogni giorno, i due comuni pompano oltre 75 milioni di litri di acque reflue sulle Mayacama Mountains, in modo da ricaricare le sorgenti di vapore.





# French geothermal resources



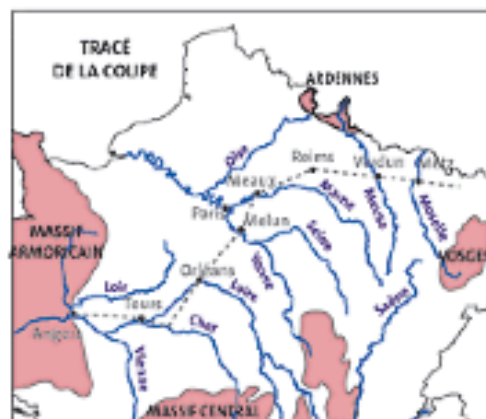
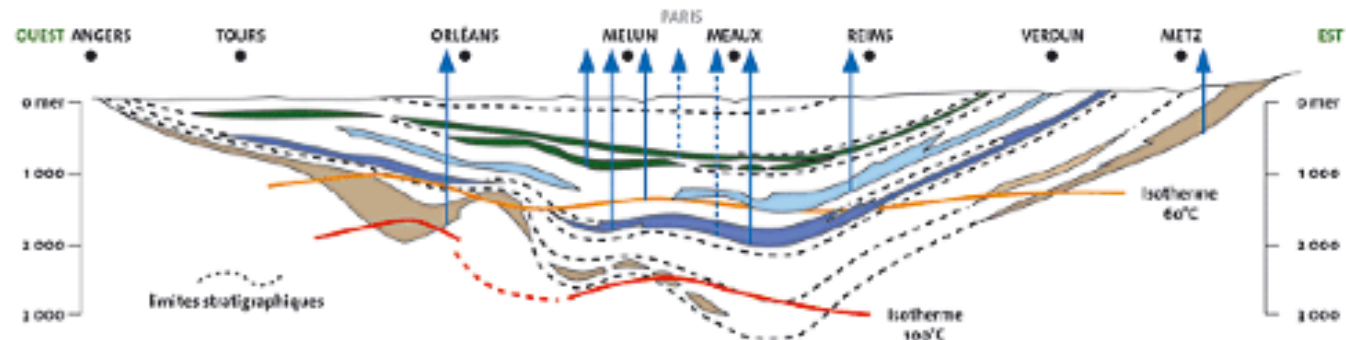
## DIRECT HEATING

**geothermal plants**  
 31 in Paris basin  
 18 in Aquitaine basin

**2007 (without GHP)**  
**total thermal power**  
 307,0 MWth  
**produced energy**  
 130 ktoe

around 200,000 flats  
 connected by district  
 heating

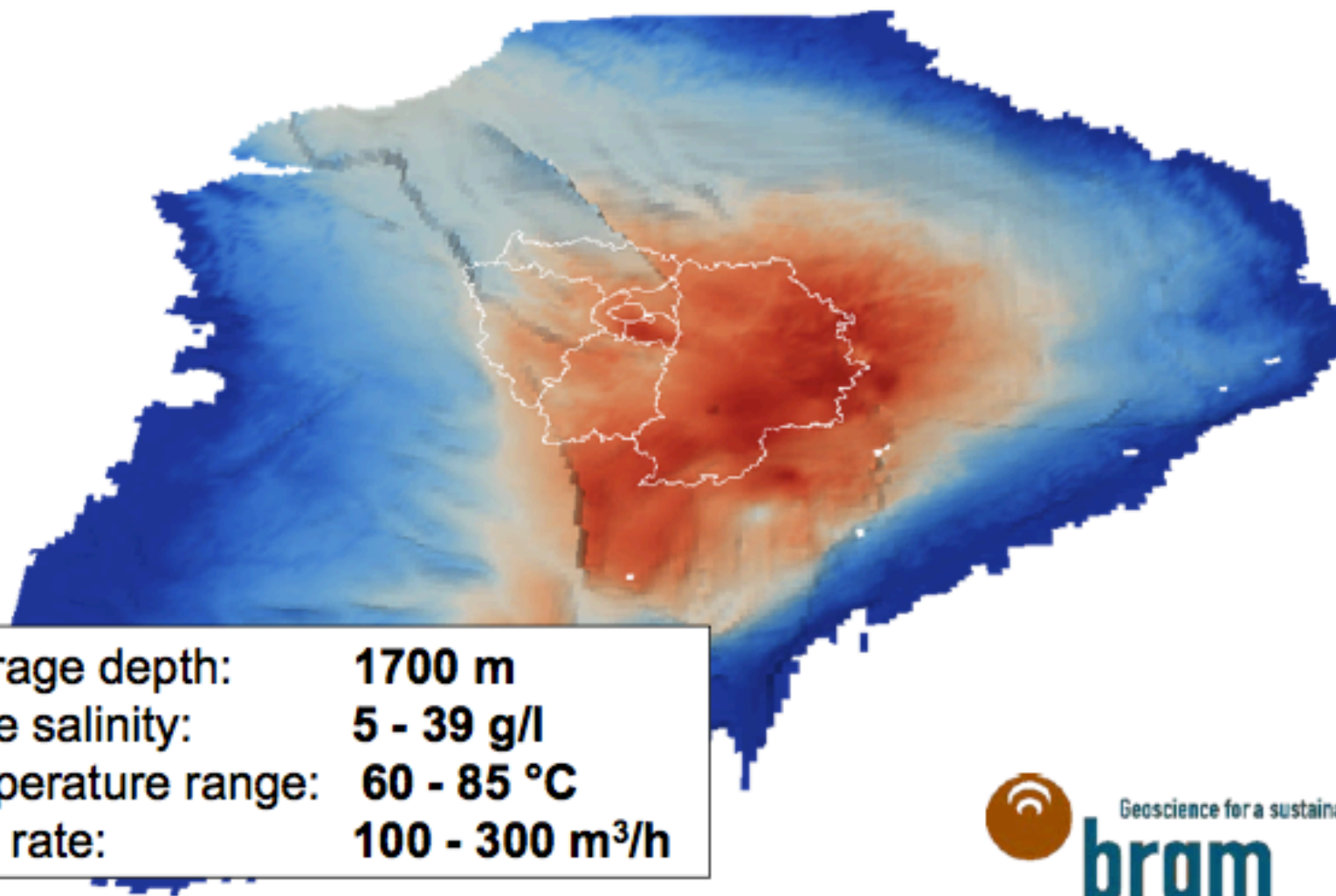
# Paris basin



PÉRIODES		AQUIFÈRES
SECONDAIRE	TERTIAIRE 65 millions d'années	
	CRÉTACÉ 140 millions d'années	MÉOCRÉTACÉ Sables de l'Albien Sables du Néocomien
		ÉOCRÉTACÉ
	JURASSIQUE 195 millions d'années	MALM Calcaires du Lusitanien
		DOGGER Calcaires du Dogger
LIAS	Grès du Retien	
TRIAS 225 millions d'années	TRIAS Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest	
PRIMAIRE		

fresh water  
 saline water

# the « Dogger » aquifer



average depth:	<b>1700 m</b>
brine salinity:	<b>5 - 39 g/l</b>
temperature range:	<b>60 - 85 °C</b>
flow rate:	<b>100 - 300 m<sup>3</sup>/h</b>

# the « doublet » technology

## advantages of reinjection

- no brine disposal
- limited drawdown and hydraulic impact
- high density of implantation

## constraints of reinjection

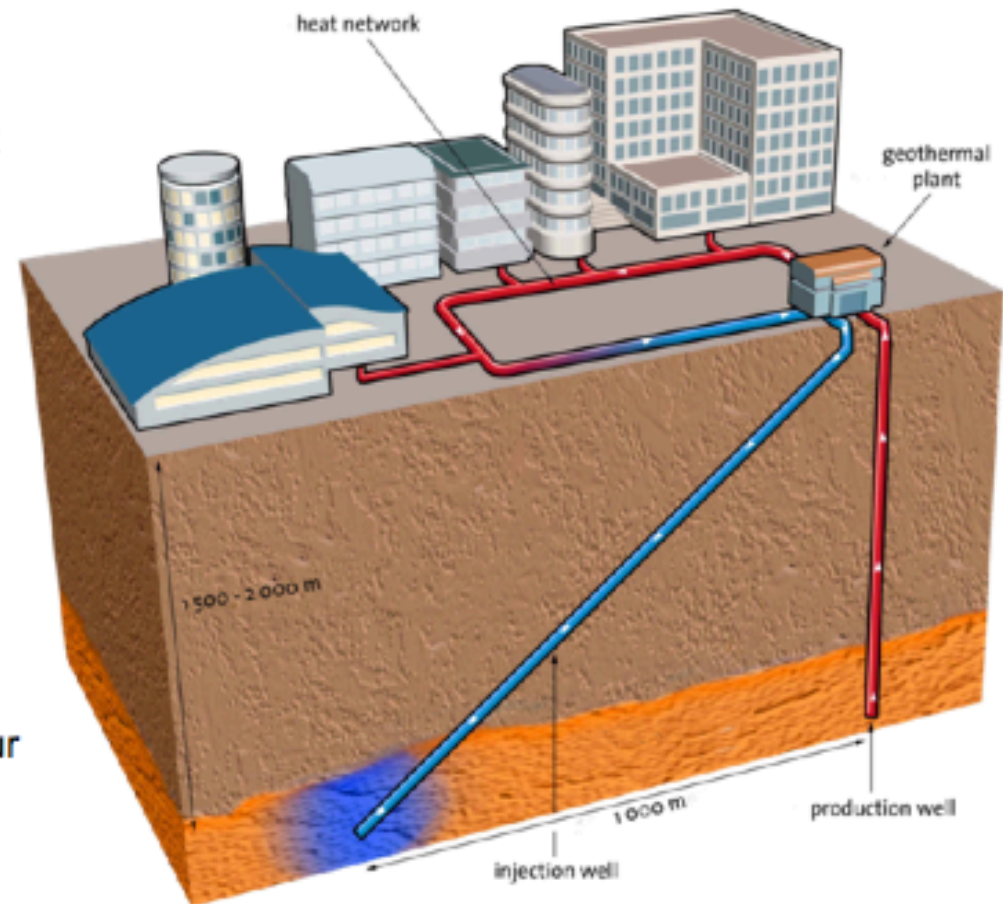
- pumping power
- recycling of cooled brine
- limited life span
- geological risk (reservoir shortcuts)
- systems need to be carefully planed

## 3 interacting systems

### reservoir, tubings, surface

- transfer time in geothermal loop : 1 hour
- transfer time in reservoir : 10 years

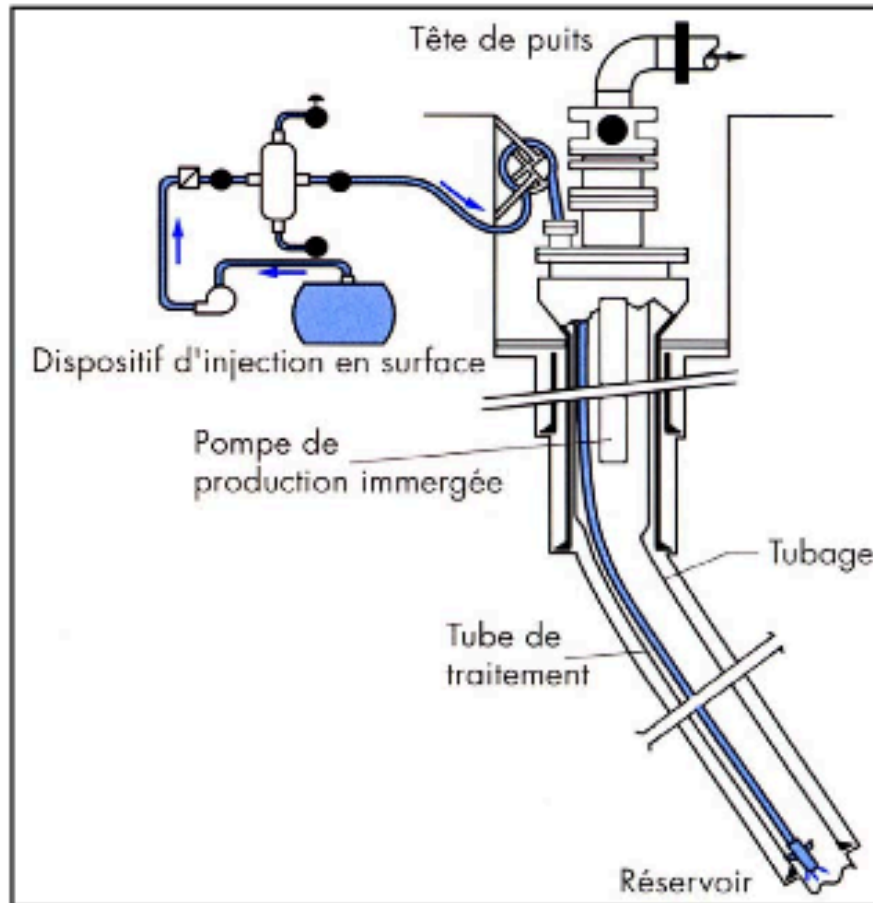
**reservoir is piloted by the  
production (=injection) flowrate**



Geoscience for a sustainable Earth

**brgm**

## corrosion & scaling



© GEOPRODUCTION CONSULTANTS GPC SA

# Clogging

corrosion and scaling issues  
seriously damaged first  
plants

injection of corrosion inhibitor at  
the bottom of the production  
well allows to protect the  
whole geothermal loop

protective film, slow down  
corrosion kinetics



corrosion & scaling

# Clogging

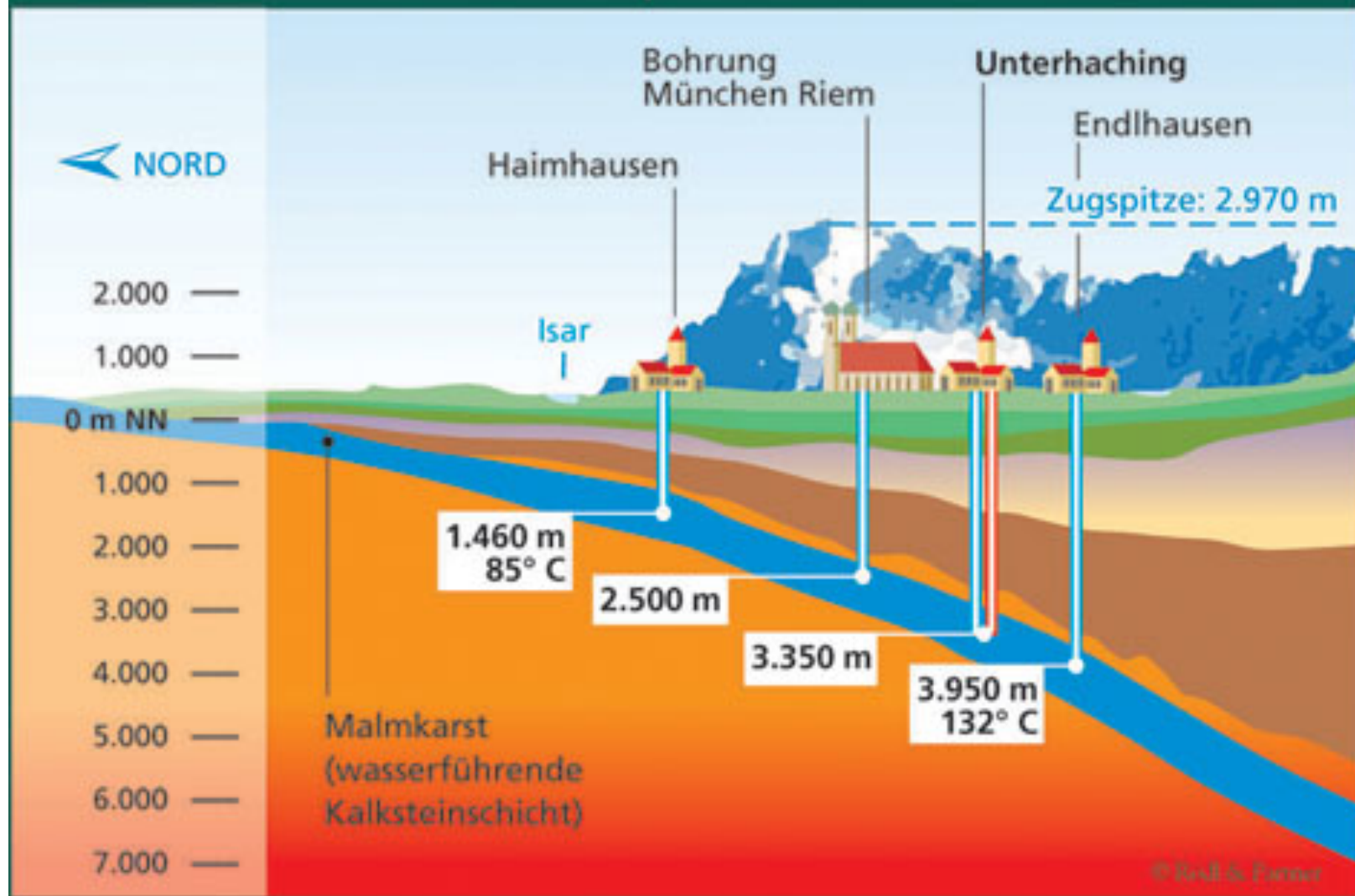
... but never stop pumping...



**impact of 2 years exploitation at artesian flow rates**

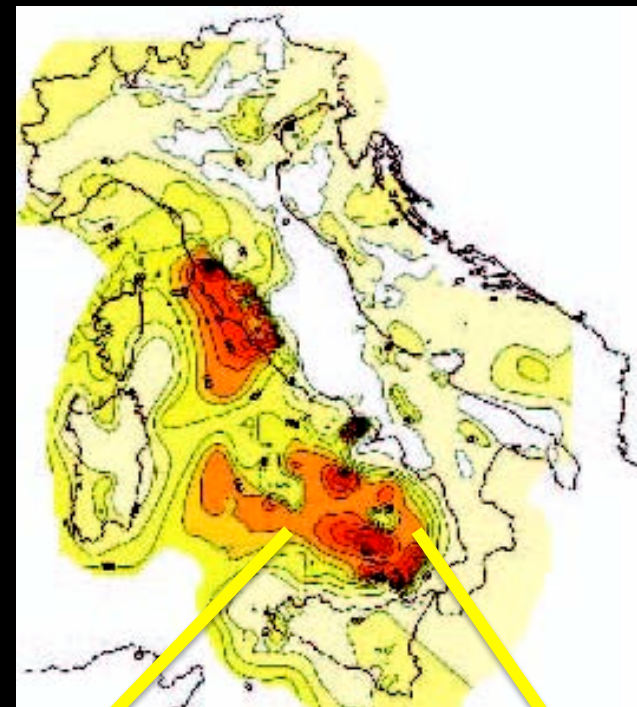
- La Francia è il paese leader del riscaldamento geotermico con 74 progetti realizzati nei bacini di Parigi e dell'Aquitania.
- Sistema "doublet" fin dal 1969: coppia di pozzi di cui uno produttore e l'altro reiniettore. Dopo l'estrazione del calore, reiniezione in serbatoio dei fluidi geotermici raffreddati, permettendo così, sia lo smaltimento dei reflui che la ripressurizzazione e ripavimentazione dell'acquifero. No inquinamento e no subsidenza. Utilizzo degli acquiferi profondi, inquinanti e subsidenti del "bacino di Parigi".
- Il maggiore complesso di teleriscaldamento del mondo è proprio a Parigi con 3 operazioni, 4 doublets profondi 1.900 metri con acqua a 79° C che riforniscono 15.000 alloggi.
- Rilevante è anche lo sfruttamento, con pompe di calore, delle risorse superficiali a bassa temperatura (12-25° C), per il riscaldamento di oltre 35.000 alloggi.
- Anche in Germania (397 MWt al 2000) ed in Svizzera ( 547,3 MWt al 2000) sono molto sviluppate le utilizzazioni a bassissima temperatura con pompe di calore, per una potenza di 160 MWt nel primo paese e 5.000 installazioni nel secondo; molto interessante è poi il progetto di riscaldamento urbano della città di Lund in Svezia (377 MWt al 2000) con 2 maxipompe di calore da 13 MWt che sfruttano due pozzi di 670 e 800 metri di profondità con acque a 23-28° C.

# Nord-Süd-Schnitt durch das Voralpenland



## Energia Geotermica Sottomarina

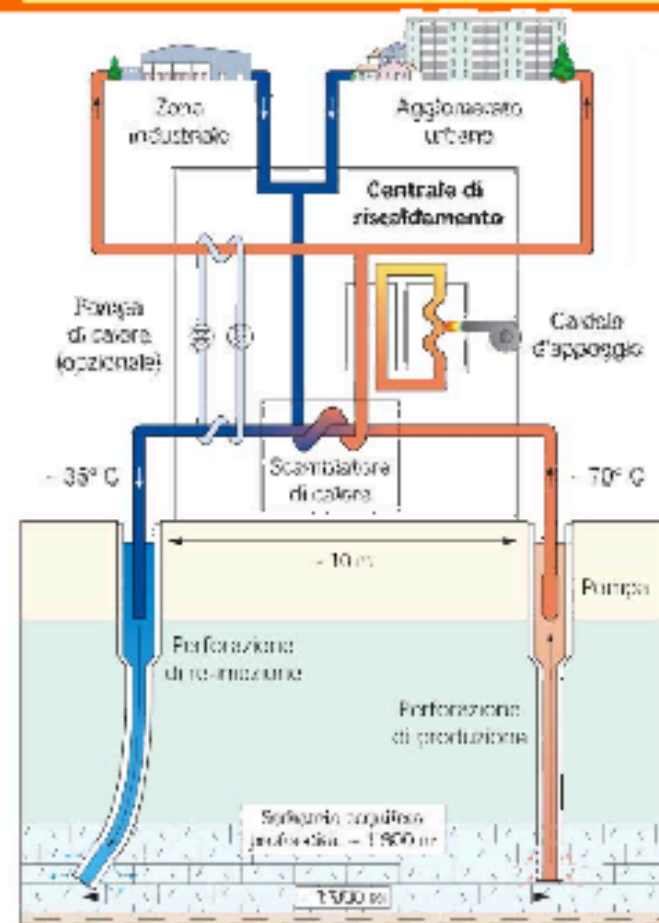
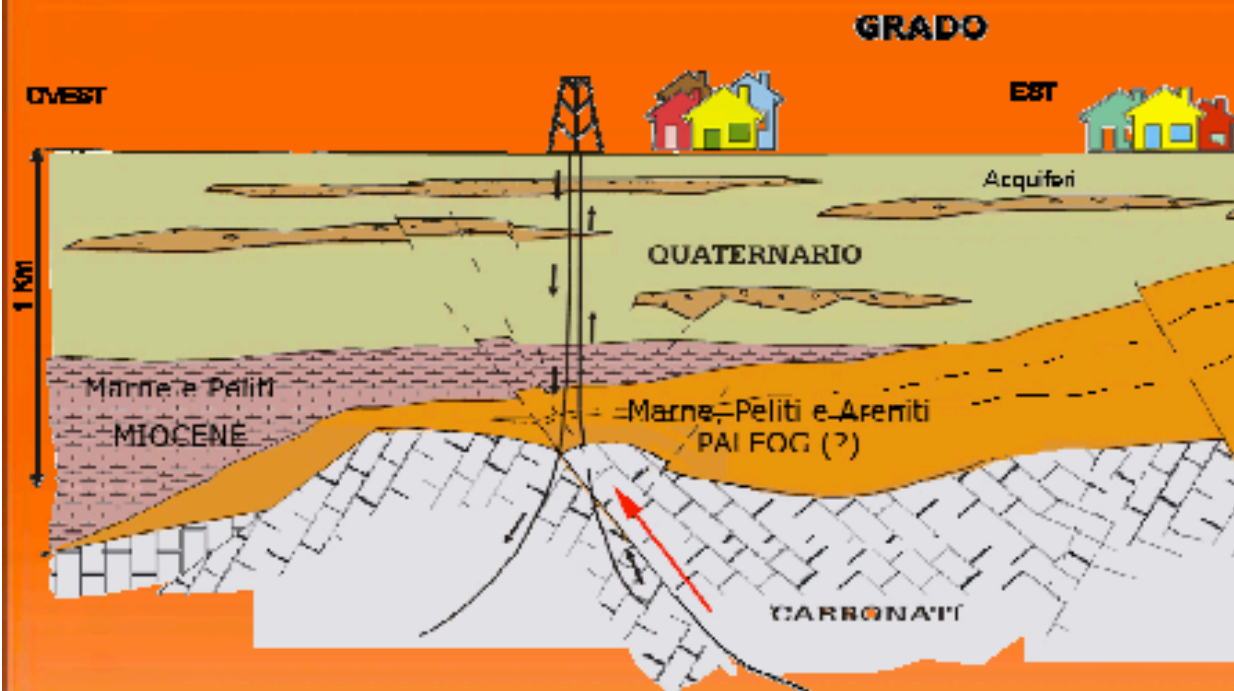
La porzione del Mar Tirreno sud-orientale è sede di un importante distretto vulcanico sottomarino che può diventare la prima importante fonte di approvvigionamento di energia geotermica off-shore della storia. Gli enormi flussi di calore che si concentrano in quest'area hanno permesso la creazione di enormi giacimenti di fluidi geotermici ad alta T. INGV; CNR-Ismar, UNICH e POLIBA. Obiettivo: energia elettrica dal primo campo geotermico a mare, ubicato nell'area del Marsili. Il progetto "Marsili" è il primo esempio al mondo di valorizzazione di Energia Geotermica Sottomarina. L'acqua marina che s'infiltra al loro interno si surriscalda (può raggiungere temperature di 400 °C e pressioni superiori a 200 bar) e acquista un potenziale calorifero che può essere trasformato in energia elettrica.



# Progetto di teleriscaldamento a Grado

(European funding DOCUP-2, 2002-08):

Doppio geotermico nel bacino di Parigi



**Doppio geotermico a GRADO**

**1° pozzo verticale (1110 m) completato**

**2° pozzo di re-iniezione + rete? ... 2010 →?**



# Risorsa da Grado-1

**Portata artesianiana: 100 ton/h (28 l/s)**

**Pressione: 2.8 bar**

**Portata max.: 150 ton/h (42 l/s)**

**Temp.: 42-45°C**

**Salinità: 16-18 ‰ NaCl**

**Se ... $\Delta T = 15 \text{ °C}$ ....**

**Potenza equivalente:  $P = Q \cdot c \cdot \Delta T$**

**$P \approx 2 \text{ MWt}$**

**Equivalente in olio: 1500 TEP/a**

**(8800 barili/a)**

**Sono necessarie applicazioni diversificate  
per massimizzare uso dell'energia termica**