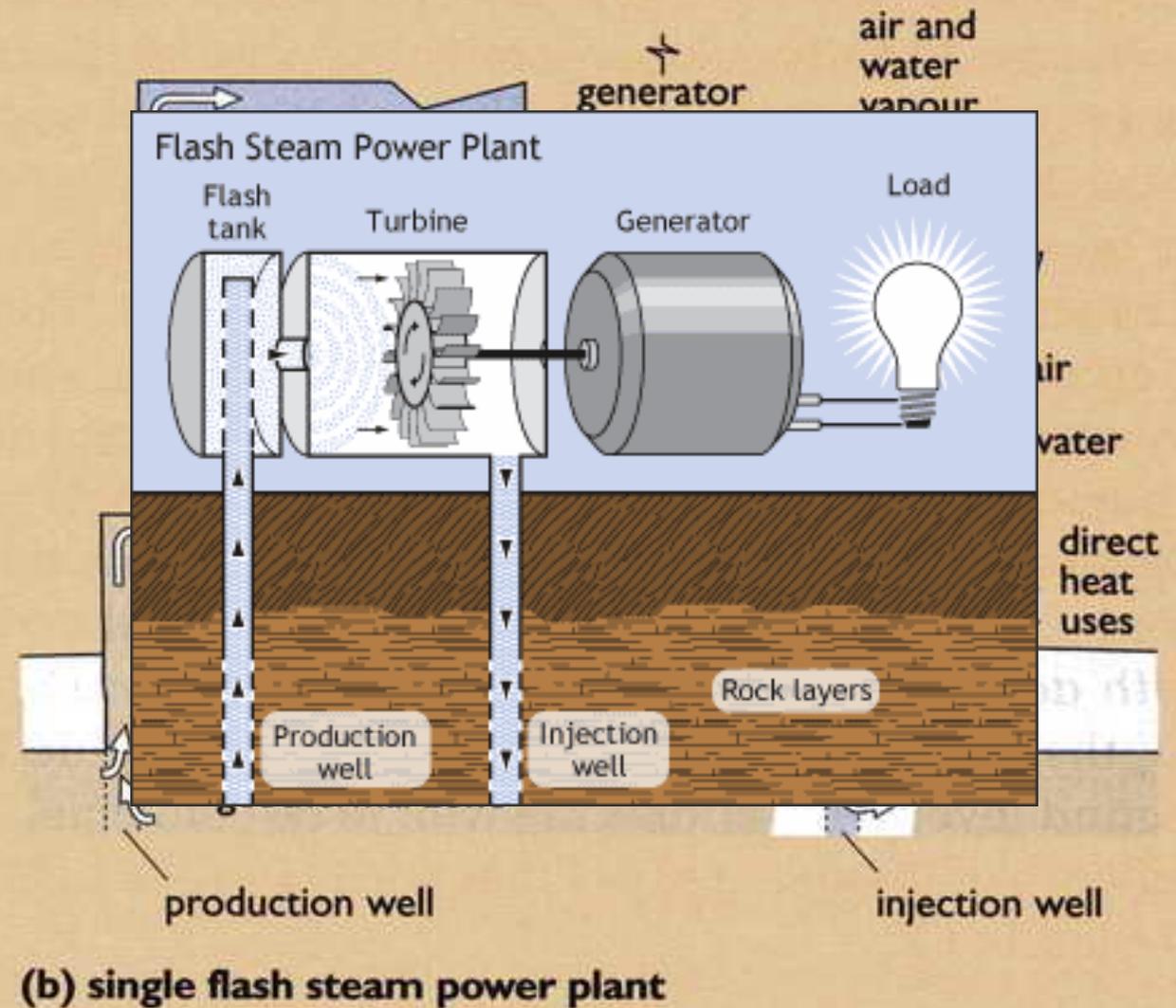
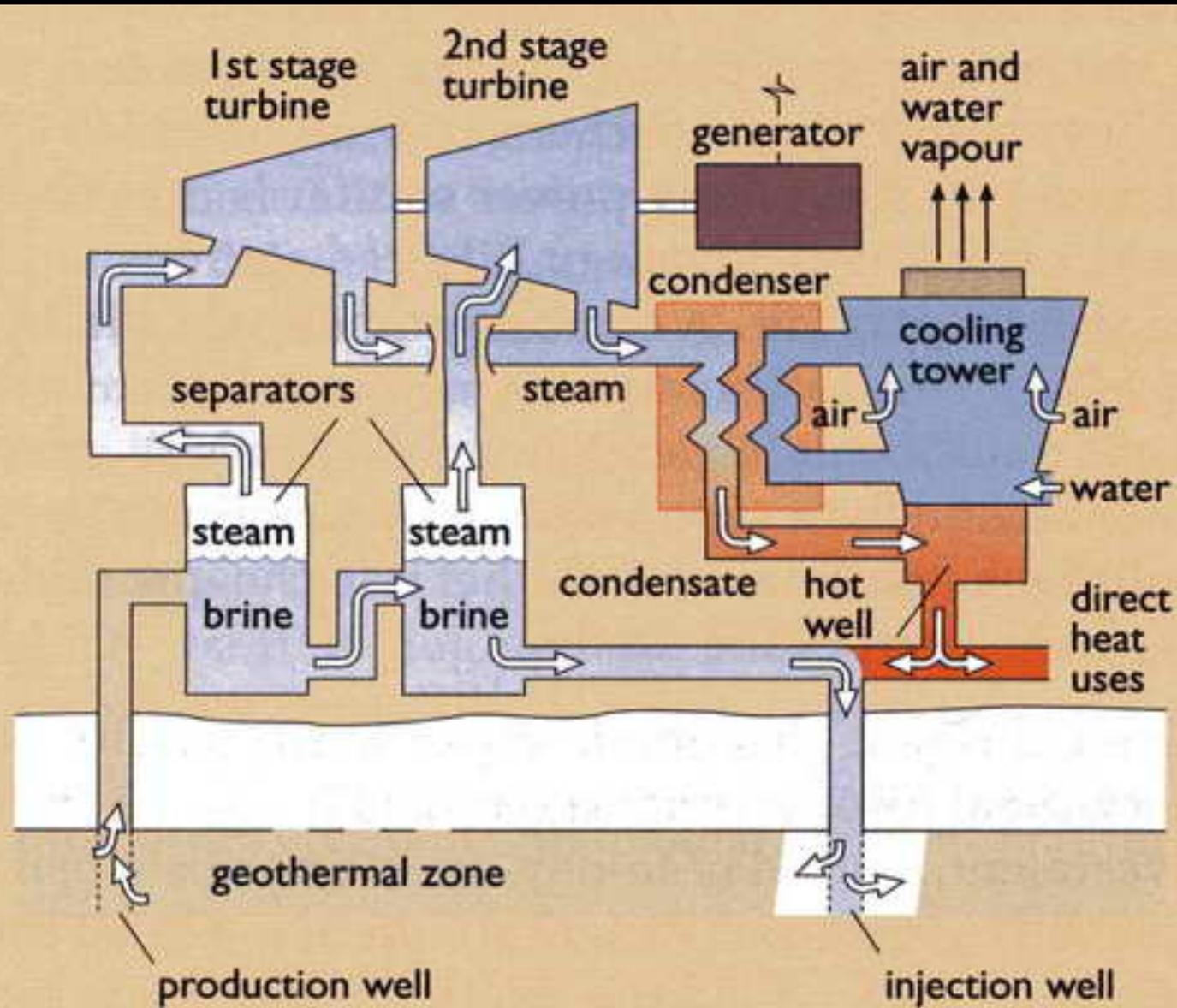


Single Flash Steam

- 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.



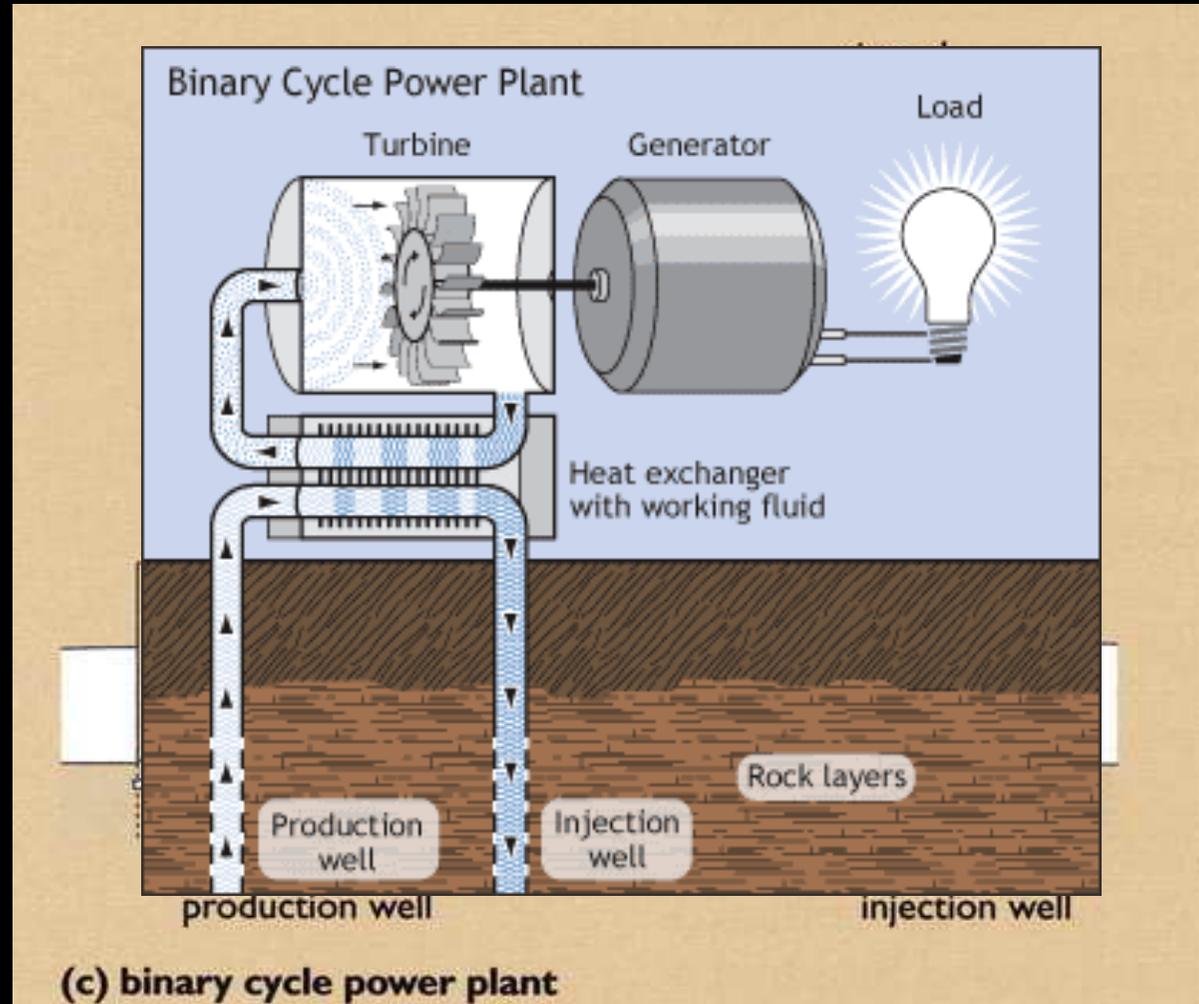
Double Flash



(d) double flash power plant

Binary Cycle

- La maggior parte dei fluidi geotermici sono a $T < 200$ °C).
- L'energia è estratta in sistemi a ciclo binario.
- Processo:
 - Il fluido geotermico e un fluido secondario a punto di ebollizione più basso di quello dell'acqua passano attraverso uno scambiatore di calore.
 - Il calore "geotermico" permette al fluido secondario di flashare a vapore che poi viene immesso in turbina.
- È un sistema a circuito chiuso e quindi, emissioni praticamente assenti



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

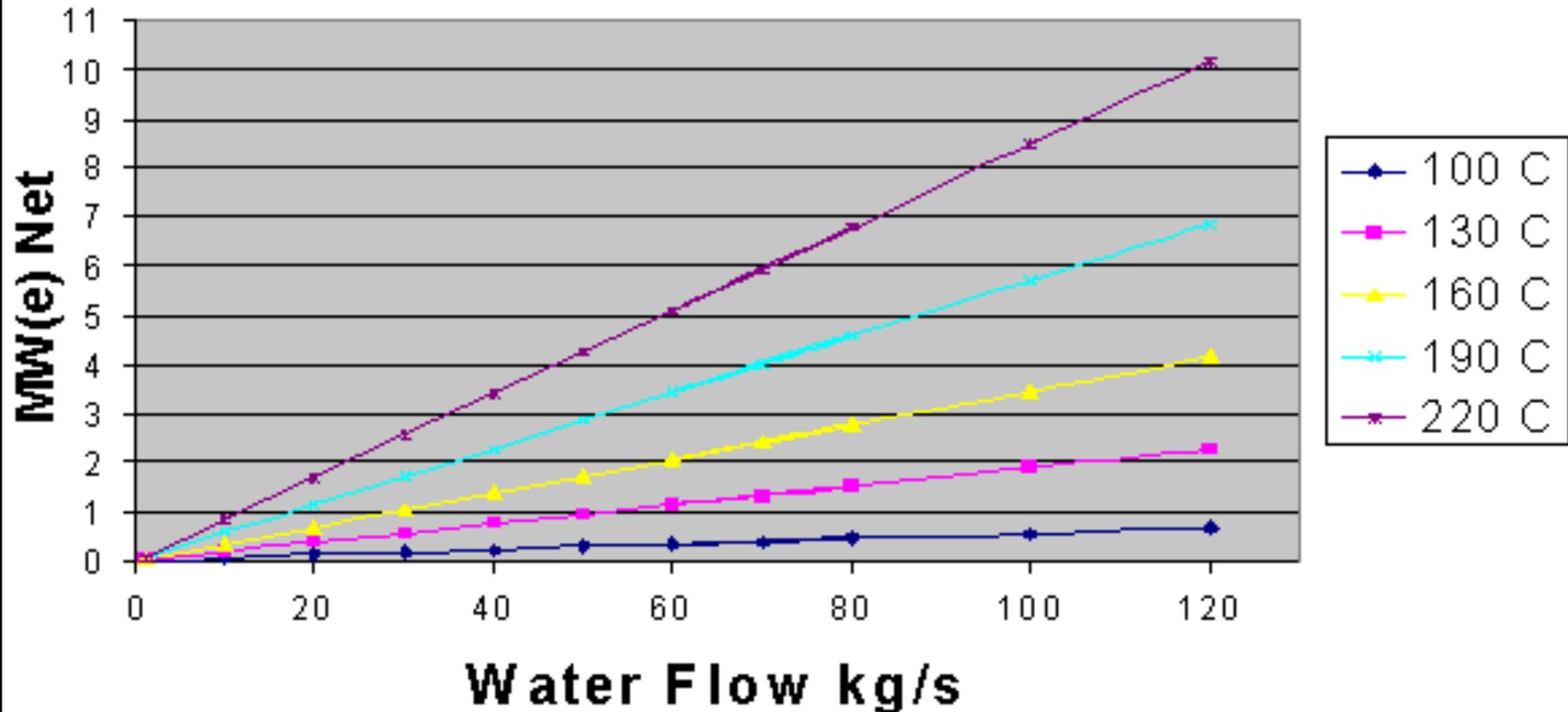


Torre a tiraggio naturale



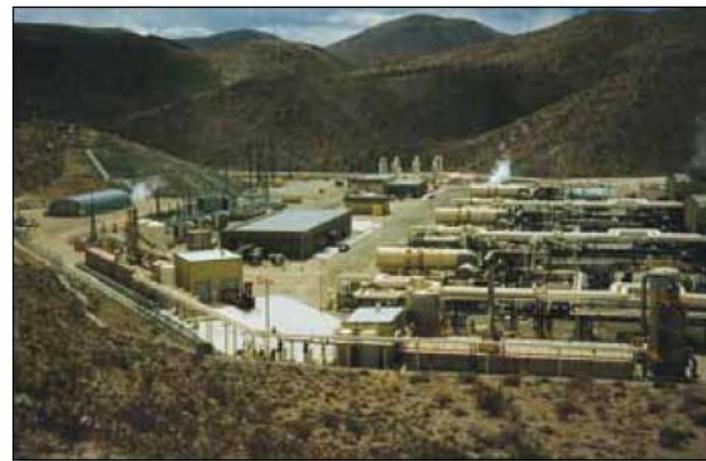
Binary Plant Power Output

Power From Moderate - Low Temperature Fluids

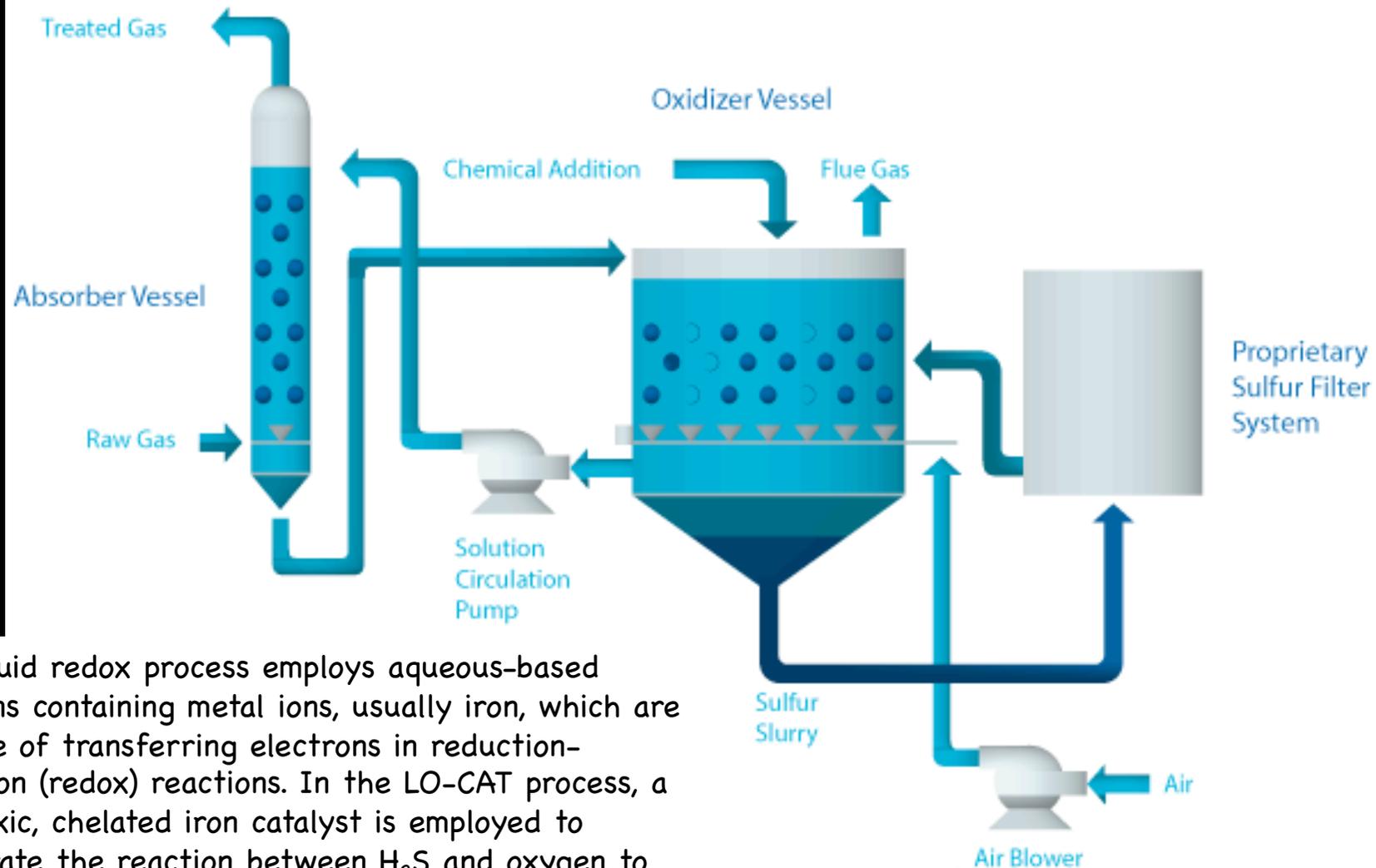


Soluzione per evitare le emissioni

- Design a circuito chiuso (ground-source heat pumps)
- Tecnologia a emission scrubber
 - Processo LO-CAT® per ossidare H₂S 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 H₂S
 - 15 anni di efficacia comprovata a China Lake Naval Weapons Center, SE California



LO-CAT Function Diagram



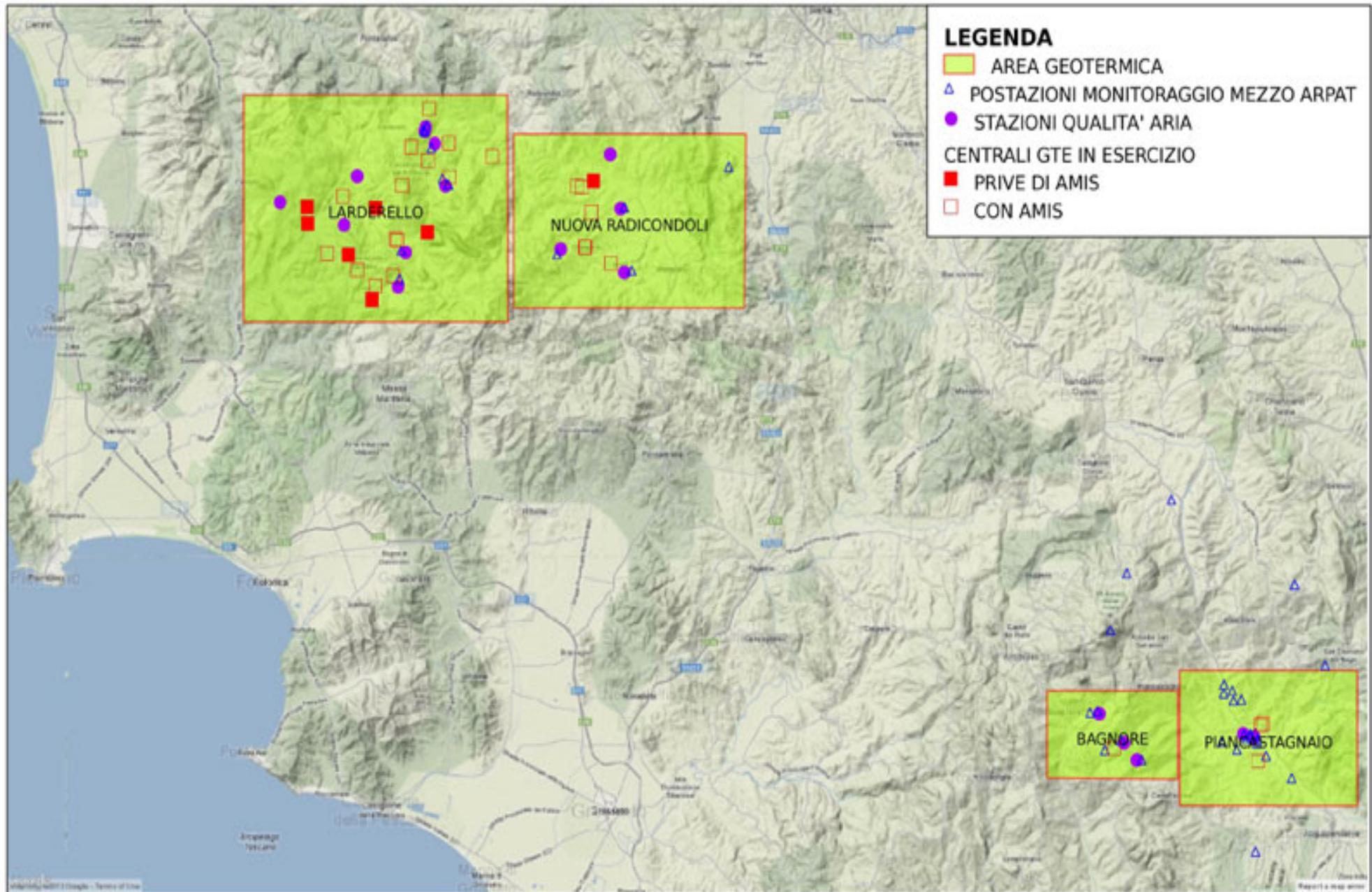
The liquid redox process employs aqueous-based solutions containing metal ions, usually iron, which are capable of transferring electrons in reduction-oxidation (redox) reactions. In the LO-CAT process, a non-toxic, chelated iron catalyst is employed to accelerate the reaction between H_2S and oxygen to form elemental sulfur.



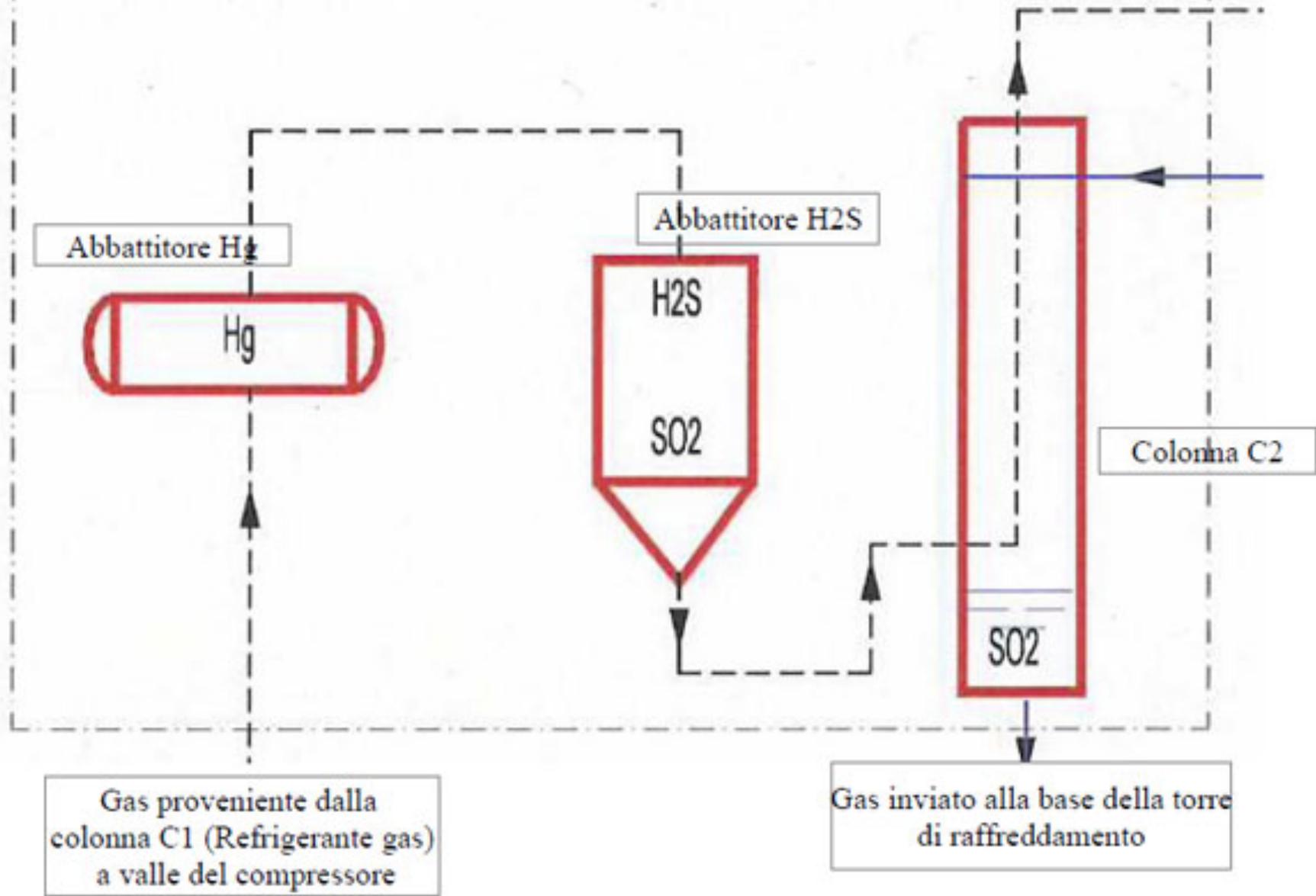
Emissione di sostanze tossiche

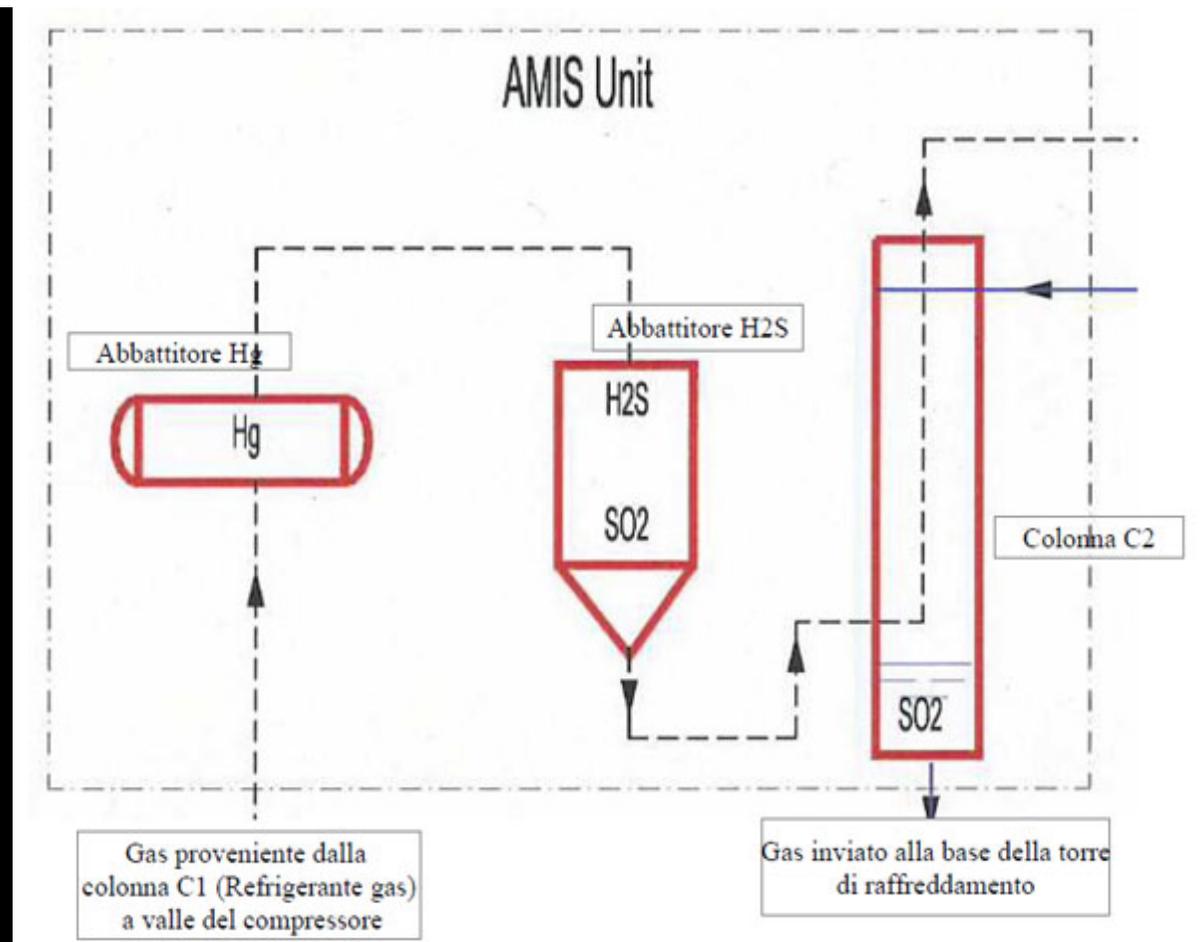
- Le acque da sorgenti geotermiche possono contenere boro, arsenico, mercurio, antimonio, e sali.
- Una volta estratta l'energia, l'acqua raffreddata può presentare arricchimenti in elementi tossici.
- Alte concentrazioni di sostanze tossiche → impatto ambientale.
- Soluzione: iniezione del fluido geotermico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

34 Centrali GTE (GEOTERMoeLETRICA) 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



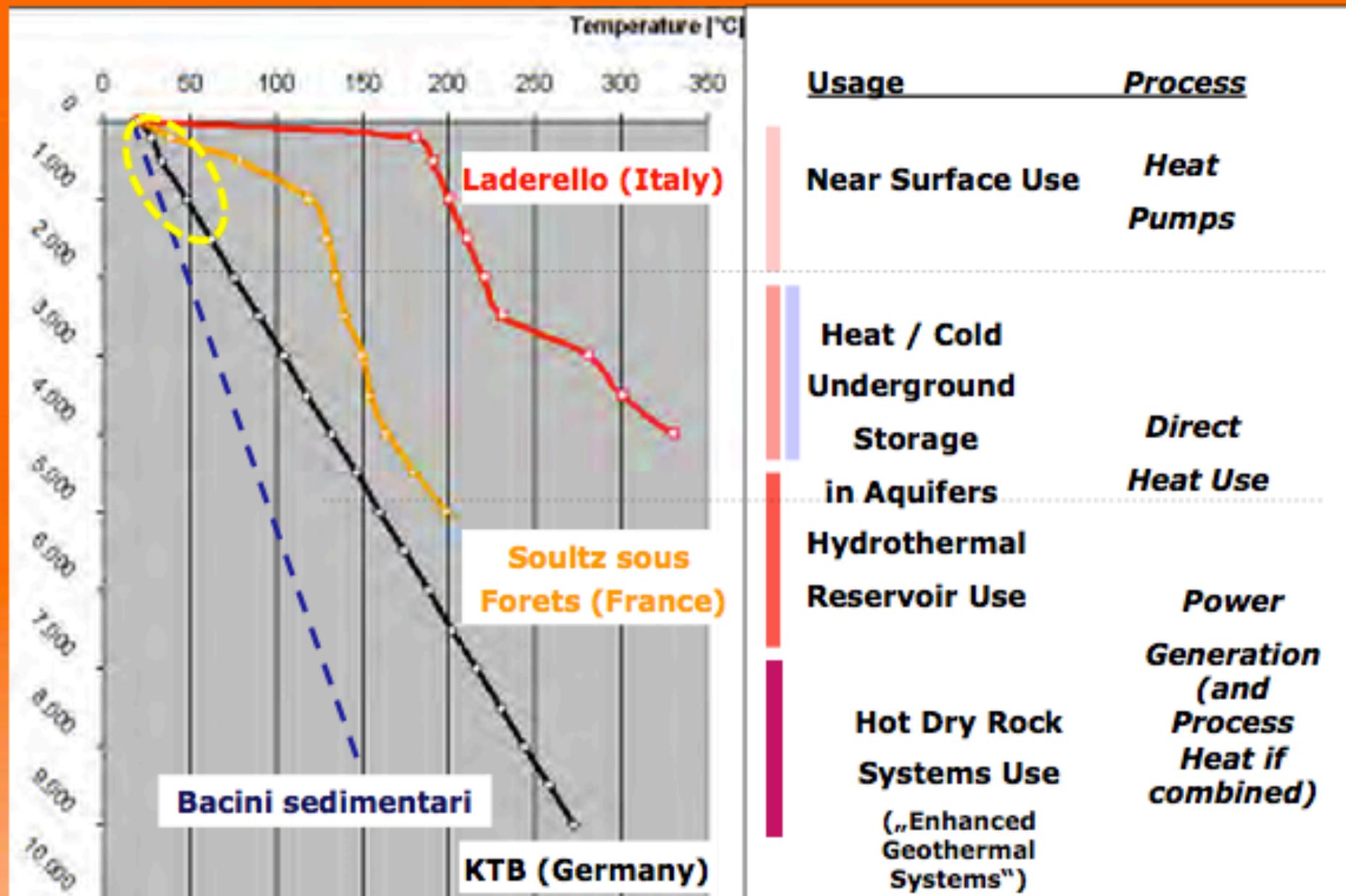


- 1) Rimozione di Hg mediante sorbenti specifici (letti al selenio o filtri di carbone attivo impregnato di zolfo).
- 2) Rimozione di H₂S mediante ossidazione catalitica → SO₂;
- 3) Rimozione di SO₂ (Colonna C2) per lavaggio del gas che entra in contatto in controcorrente con la condensa geotermica;

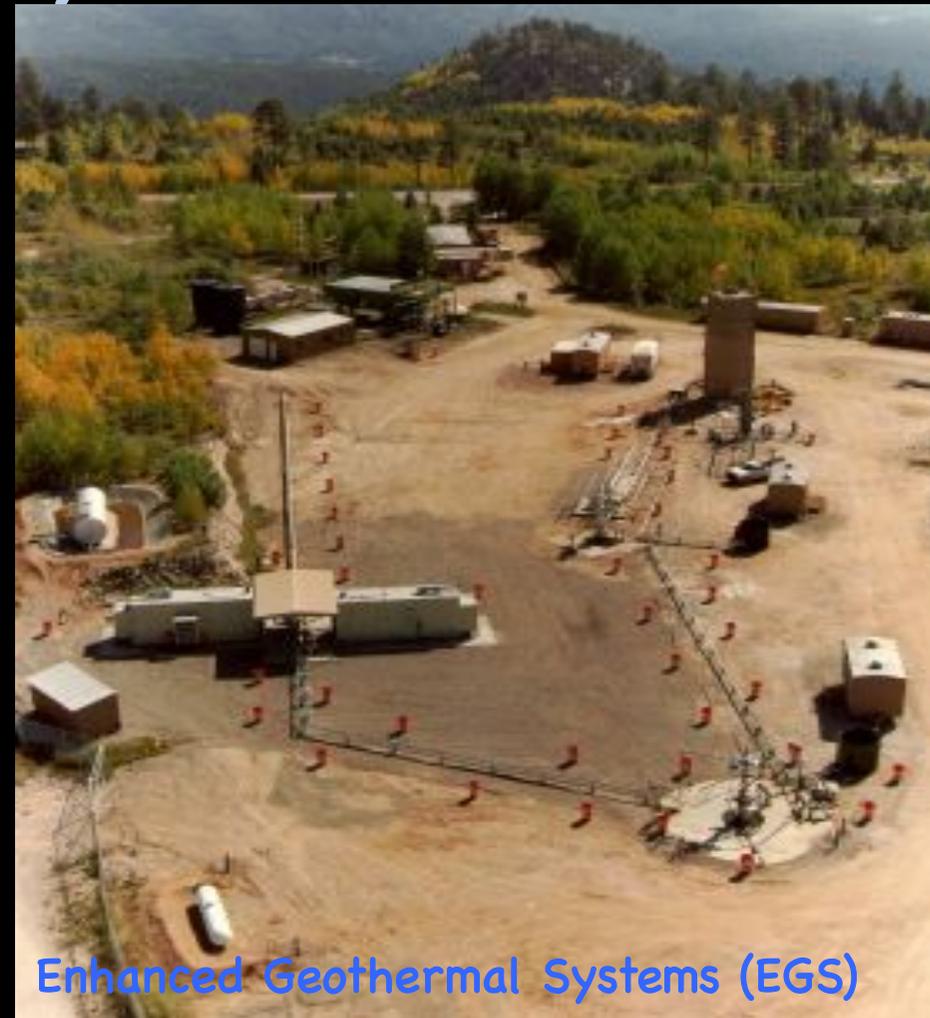
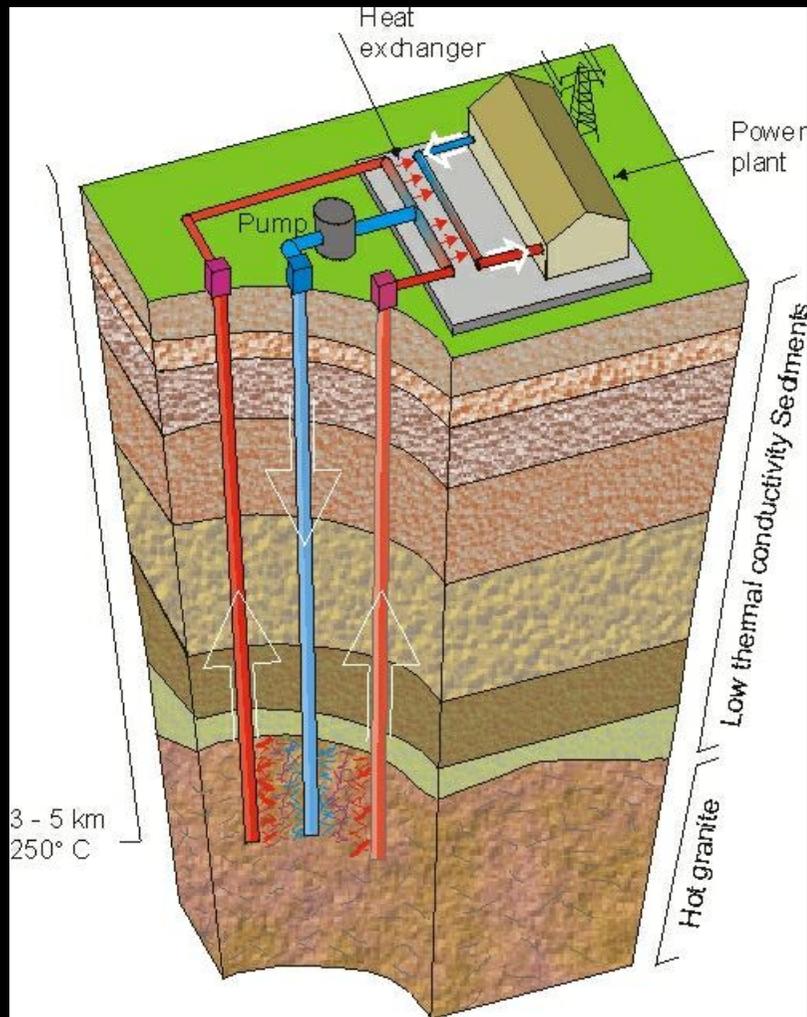
- 4) Raccolta della condensa di lavaggio colonna C1 e C2 ed invio al condensatore.
- 5) Acidificazione delle condense circolanti in centrale favorendo così la ripartizione dell'H₂S, nel condensatore, verso la frazione di gas incondensabili.
- 6) In uscita dall'AMIS, si registrano flussi di massa di circa 0.2 kg/h per l'H₂S 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



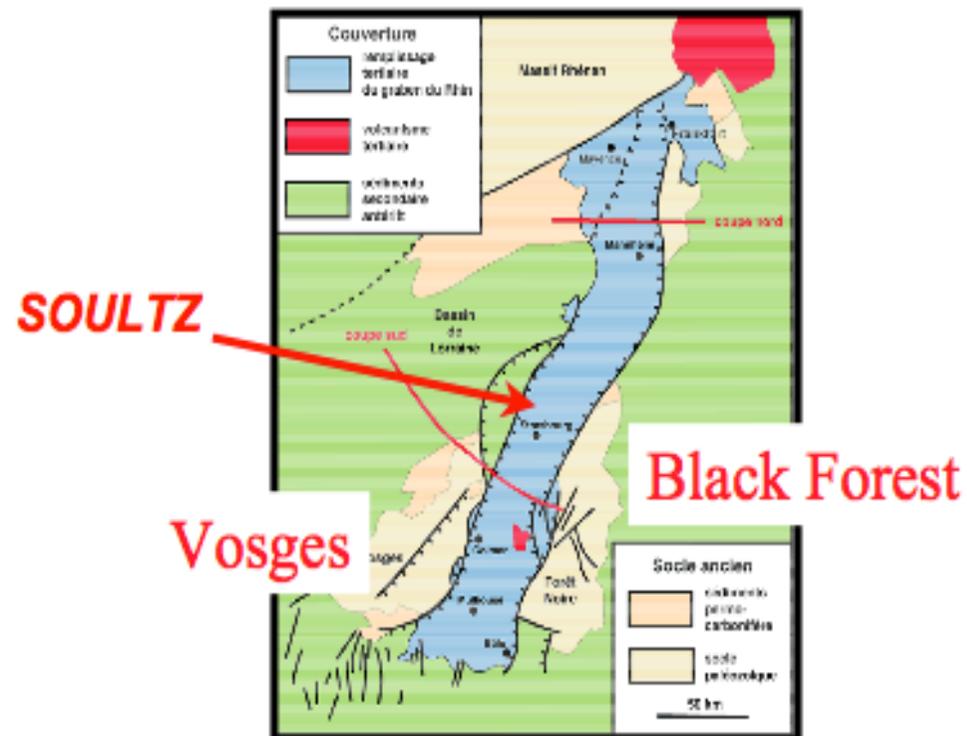
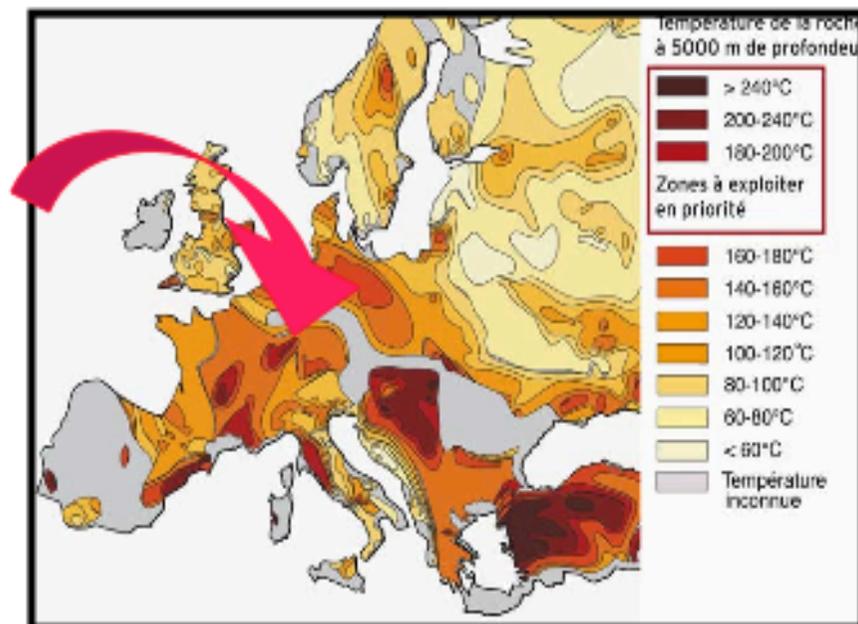
Enhanced Geothermal Systems (EGS)

"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



Soultz Hot Fractured Rock

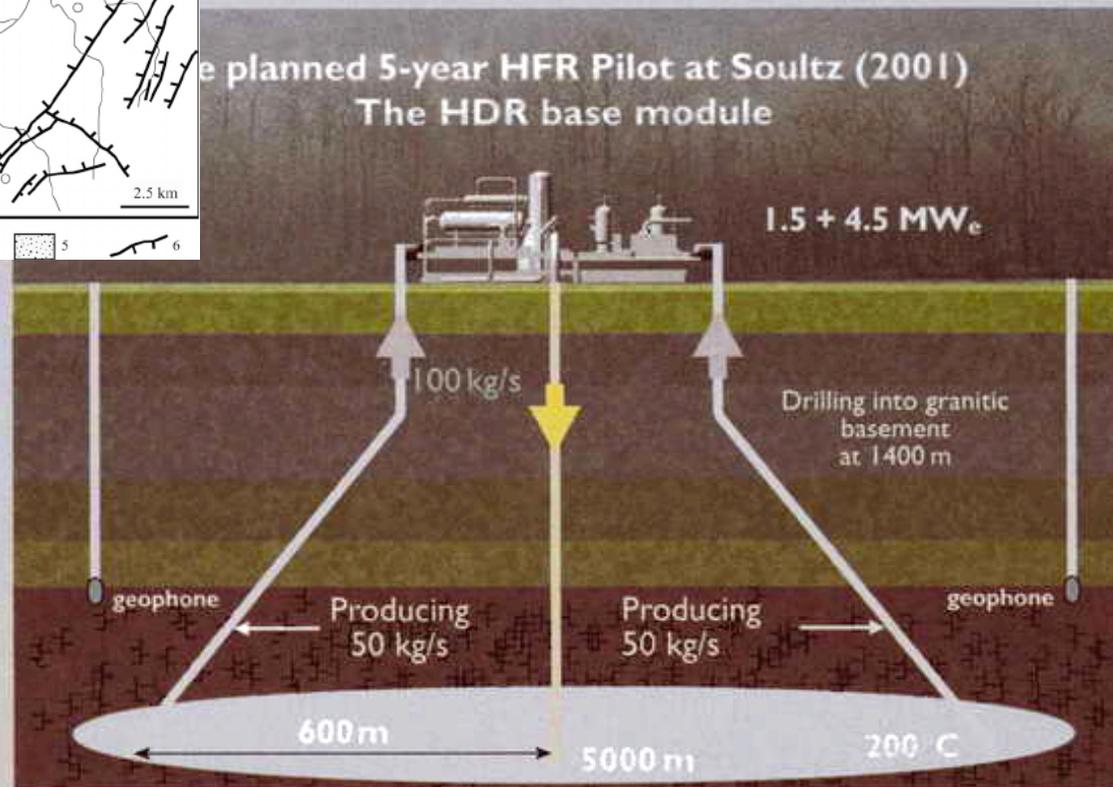
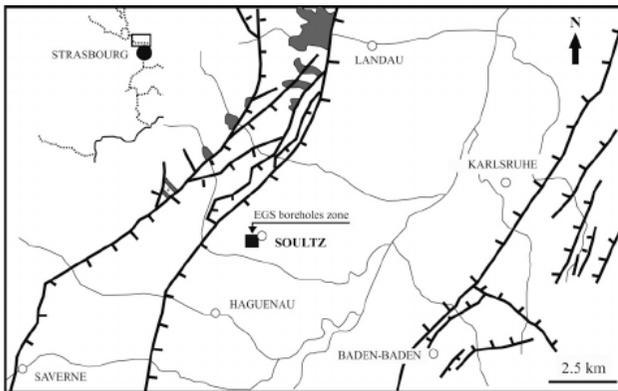
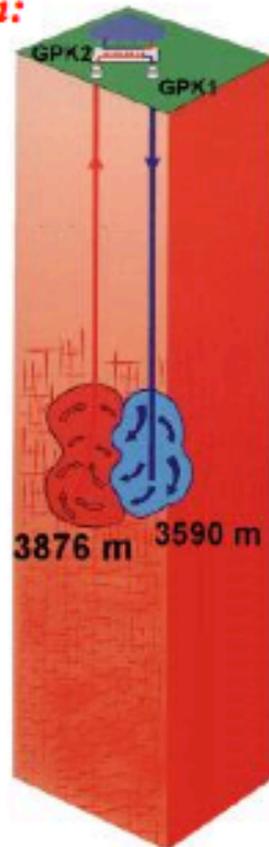


Figure 9.14 The planned 5-year HFR Pilot at Soultz. Note: the term HFR refers to Hot Fractured Rock – a specific type of hot dry rock

- 1 km³ 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

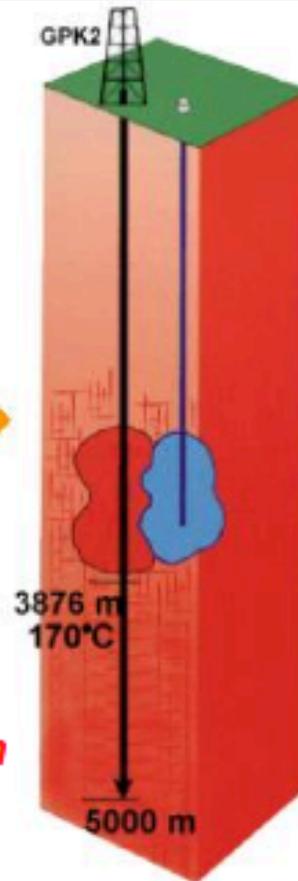
**1997 circulation:
> 10 MW(th)**

**3600 m
150 °C**



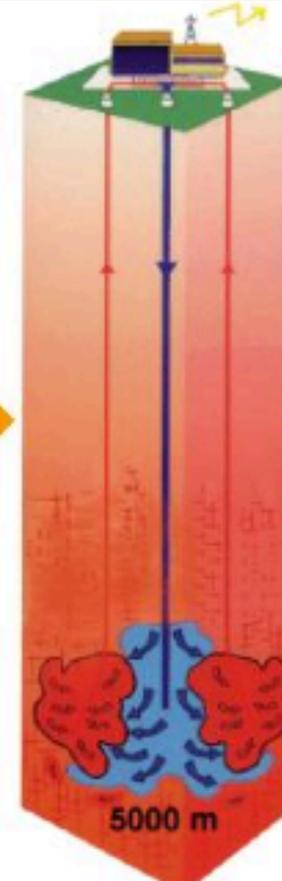
Early experimental
phase 1987-1997

**5000 m
200 °C**

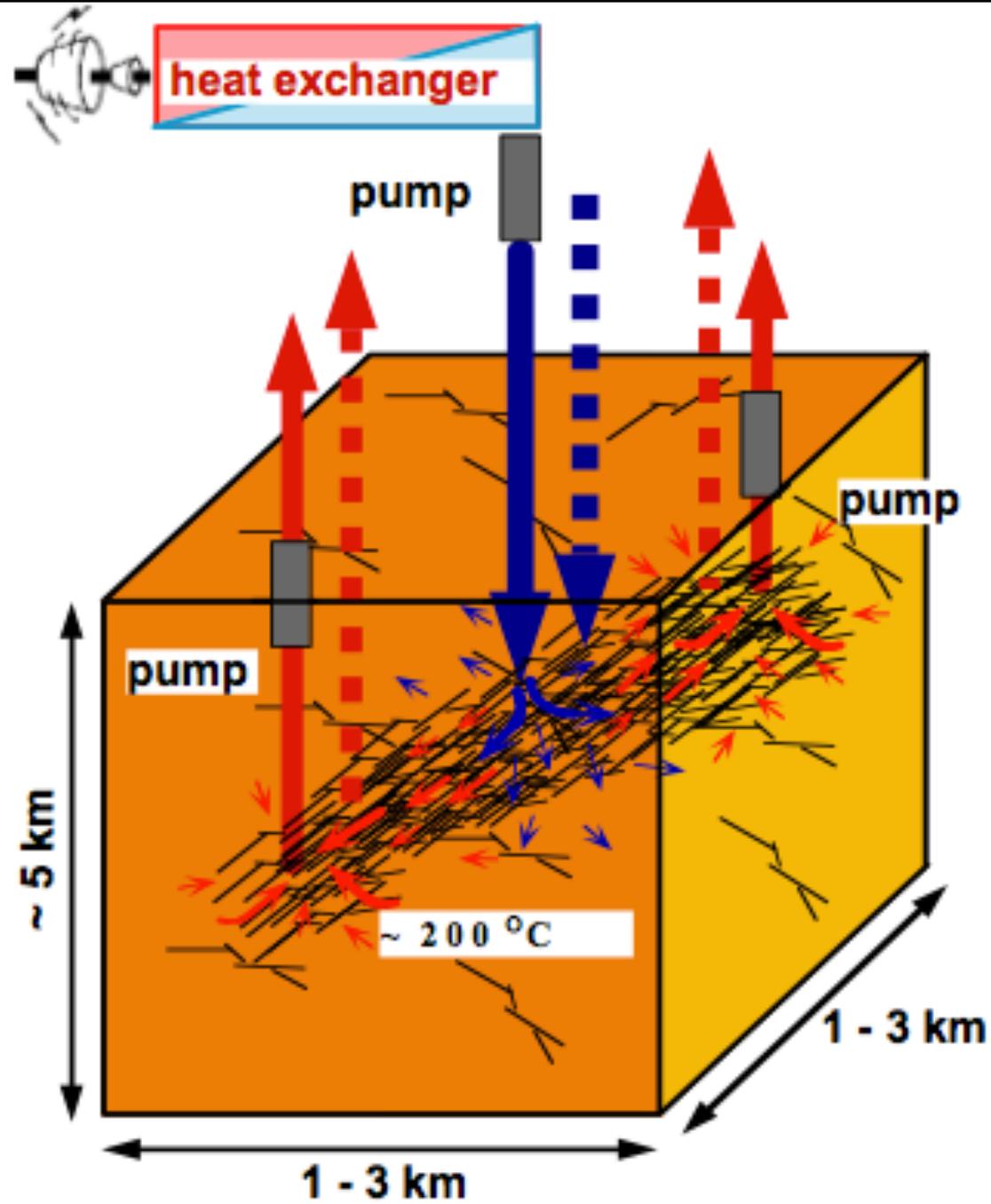


Exploration of deep
reservoir 1998-2000

**5000 m
200 °C**



**Scientific Pilot Plant
2001 - 2007**



2-Well HDR System Parameters

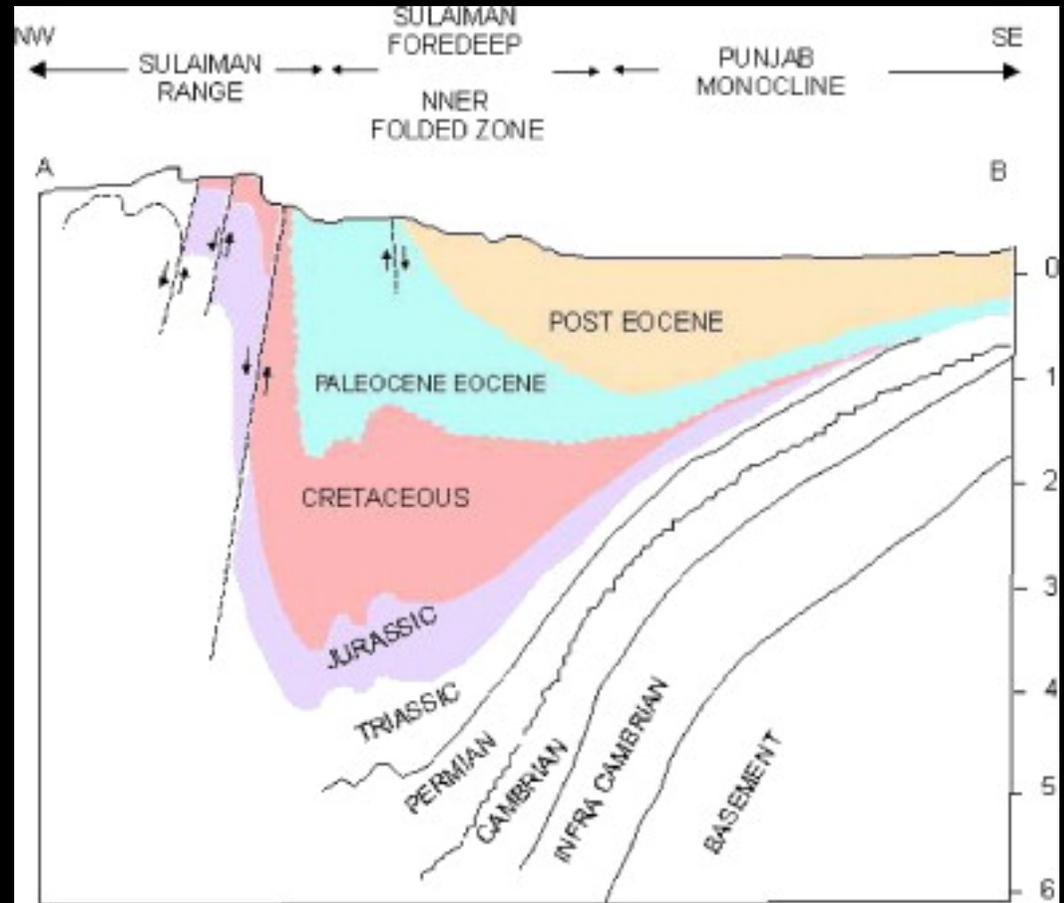
Table 9.6 Target parameters for a 2-well HDR system

Flow rate	75–100 kg s ⁻¹
Effective heat exchange area	> 2 × 10 ⁶ m ²
Accessible rock volume	> 2 × 10 ⁸ m ³
Impedance *	0.1 MPa l ⁻¹ s ⁻¹
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

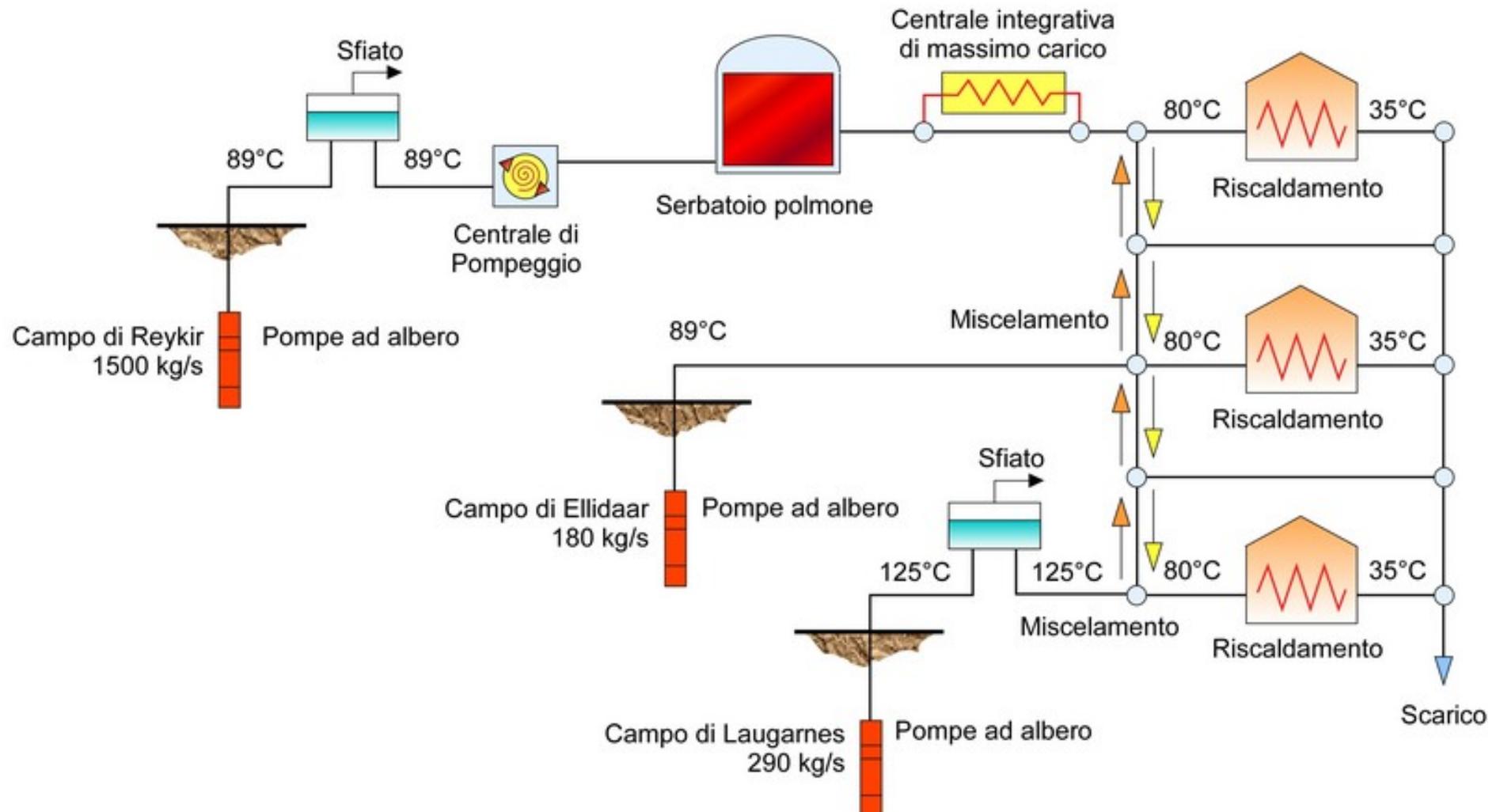
Sistemi geopressurizzati

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: $T = 150\text{ °C}$;

Teleriscaldamento: T fra 80 e 100 °C ;

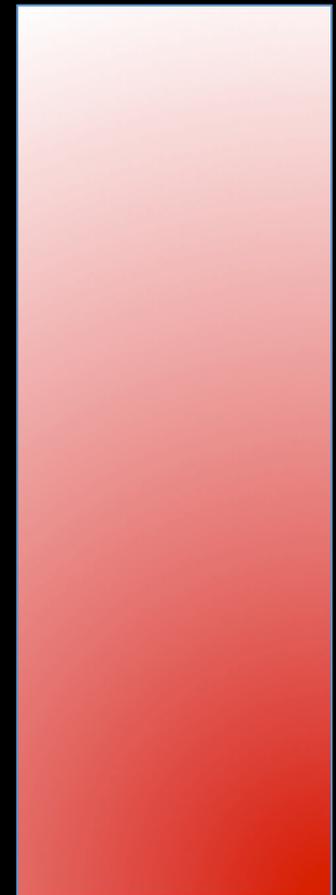
Riscaldamento di case serre ed impianti industriali: 50 e 80 °C ;

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

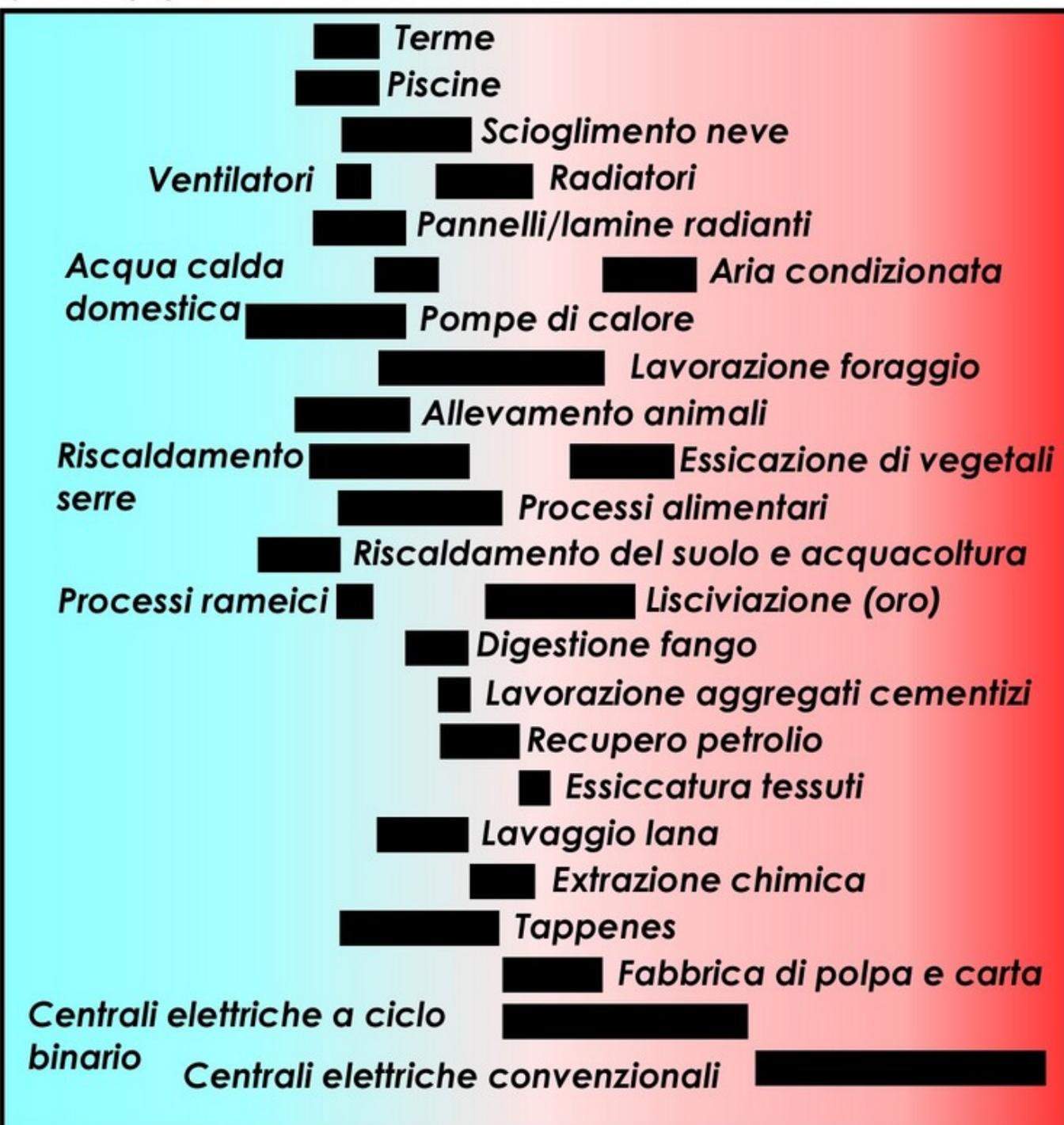
0 -10 m (escursioni diurne e stagionali)

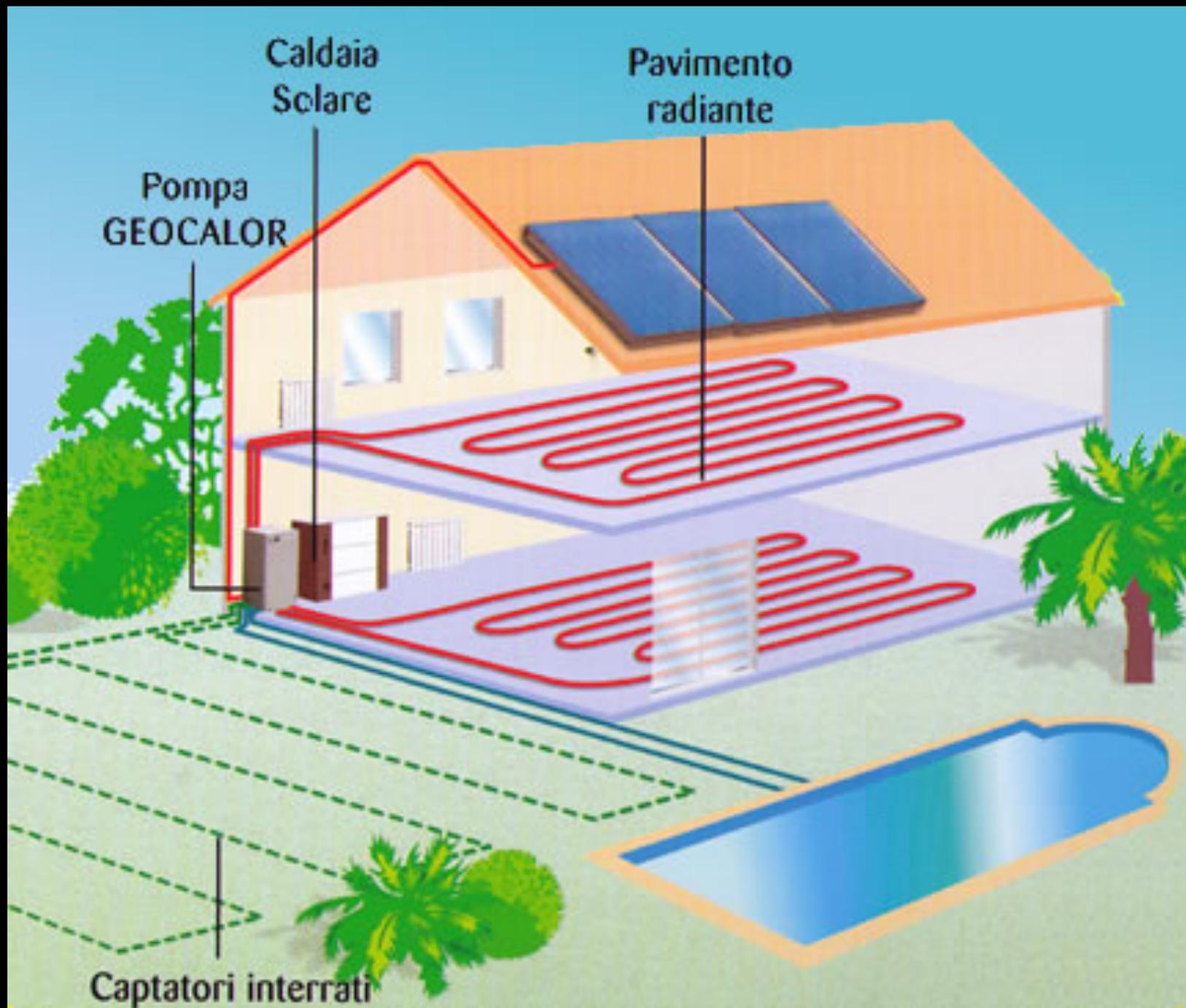
12-14 °C: sino a 100 m

15-17 °C: sino a 200 m

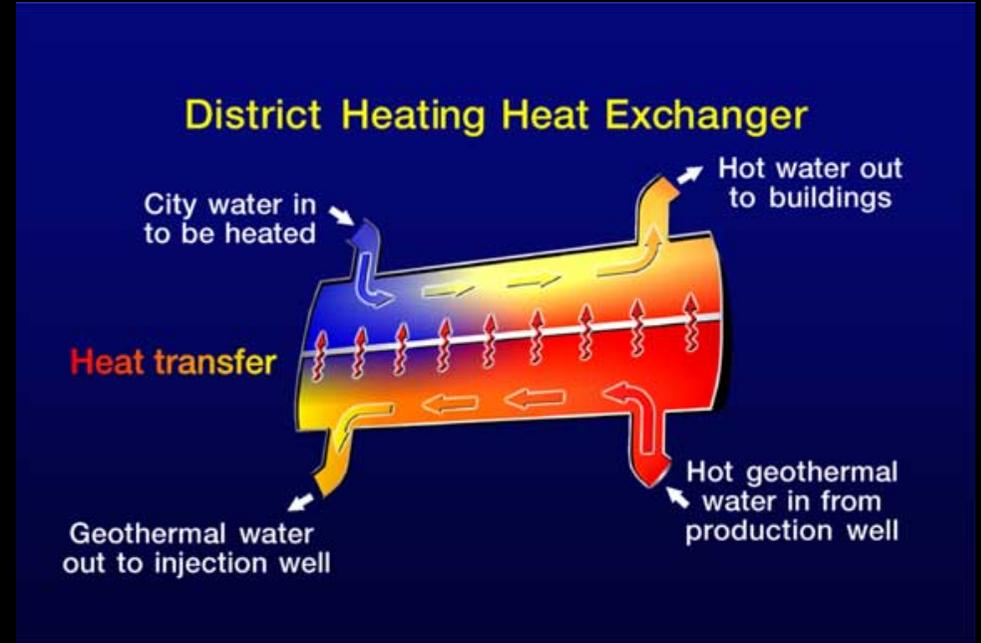
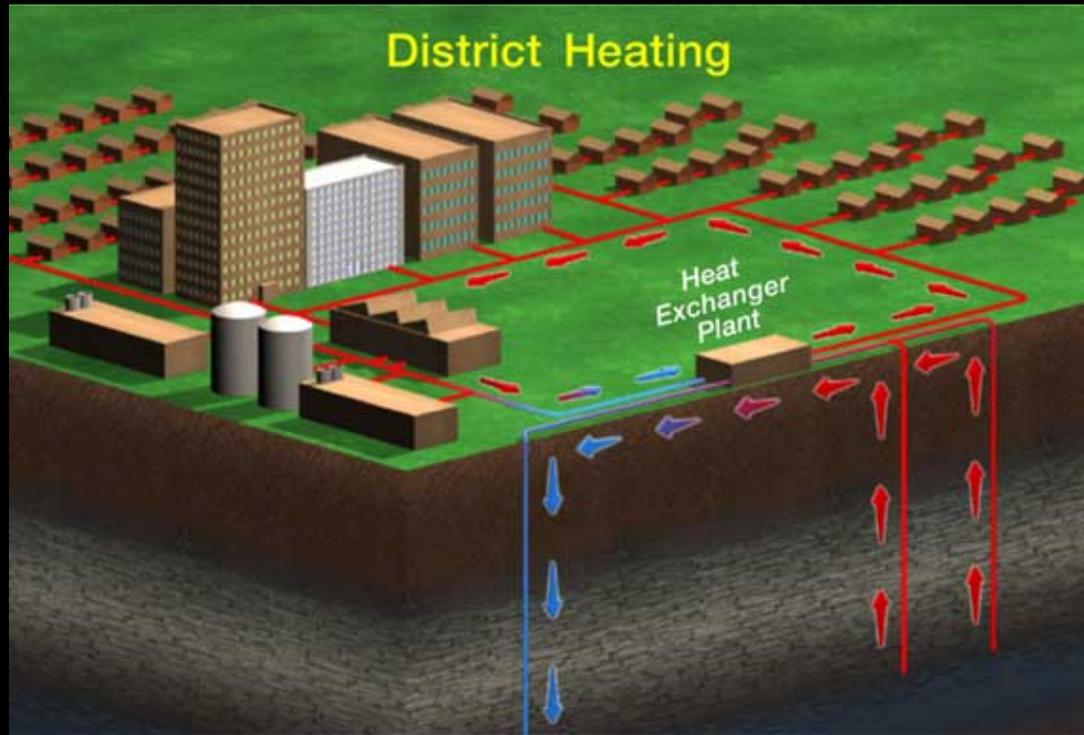


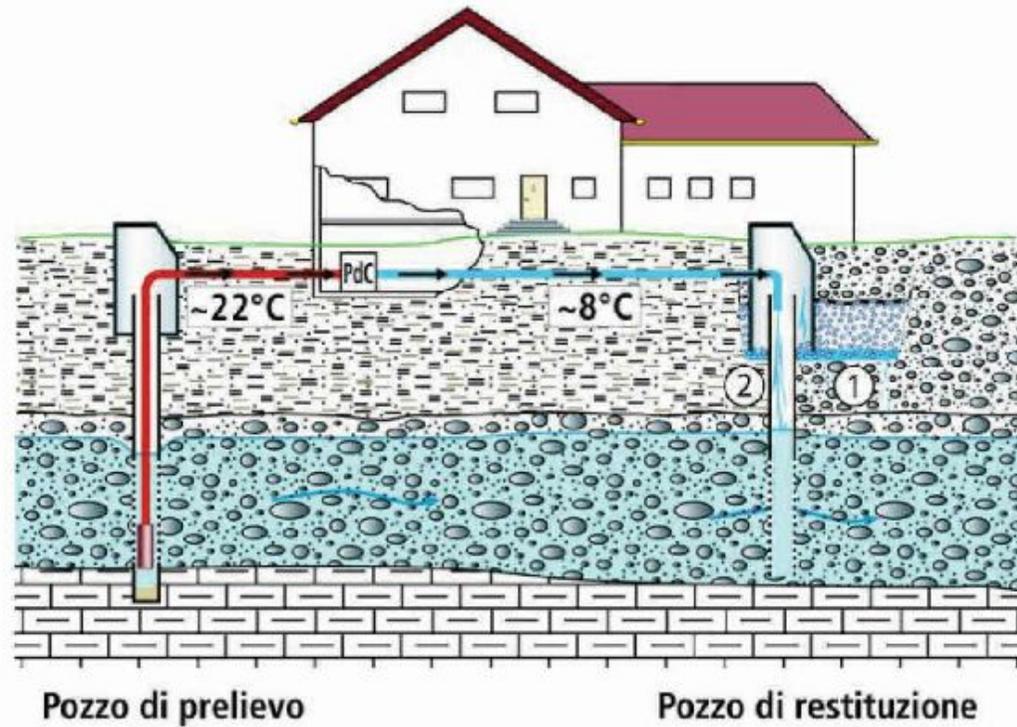
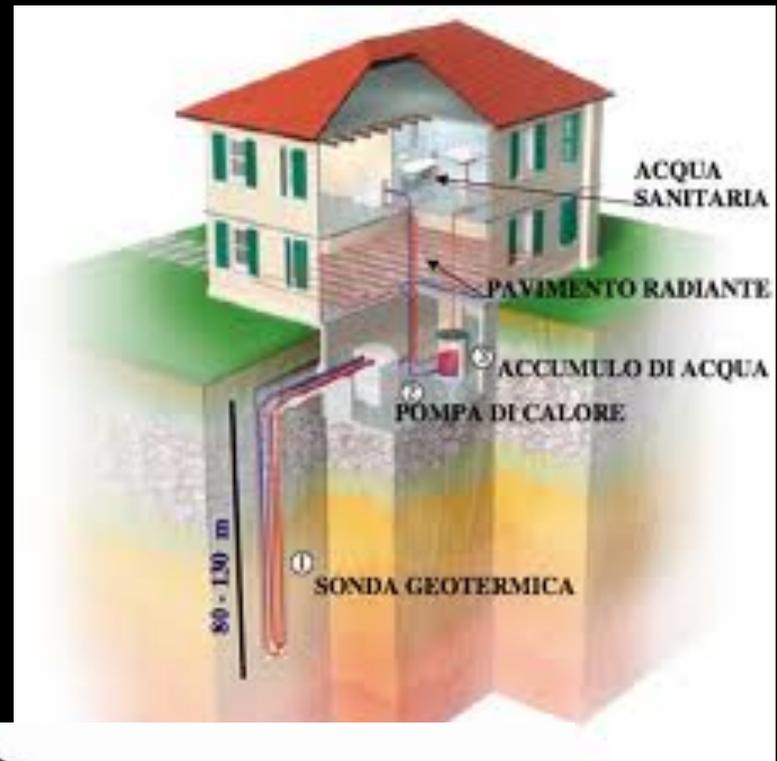
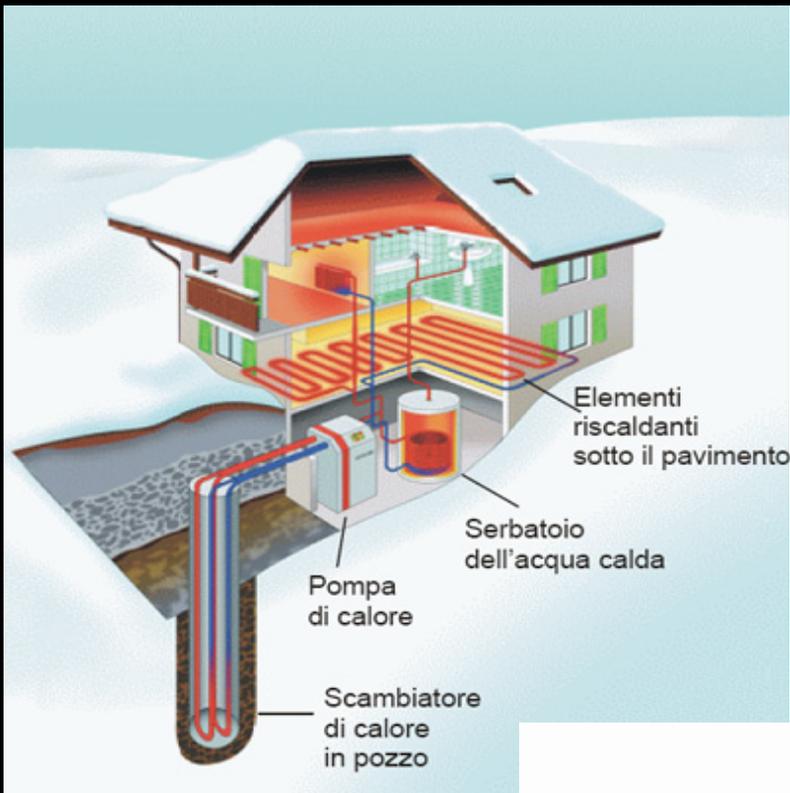
Temperatura (°C) 0 20 40 60 80 100 120 140 200 350

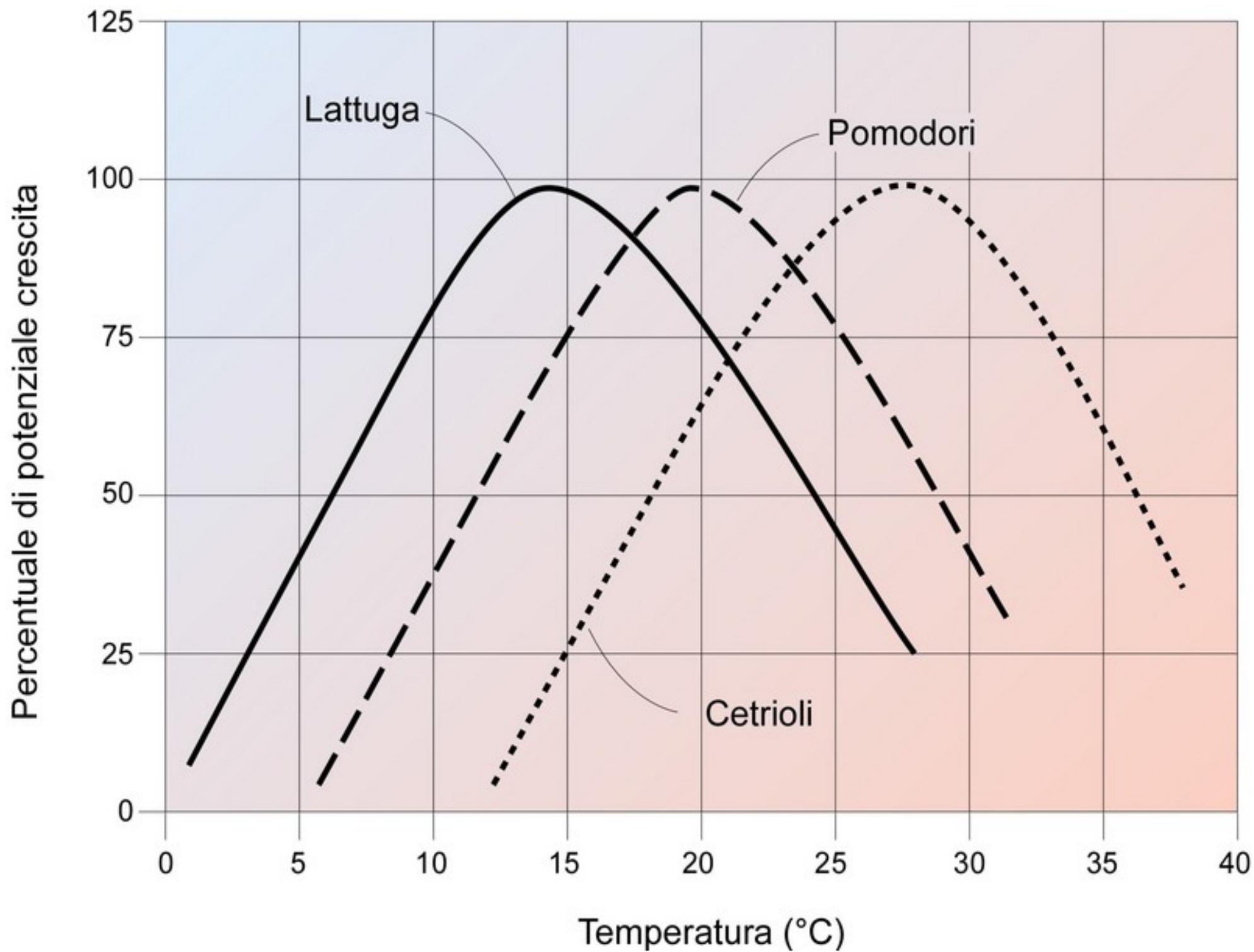


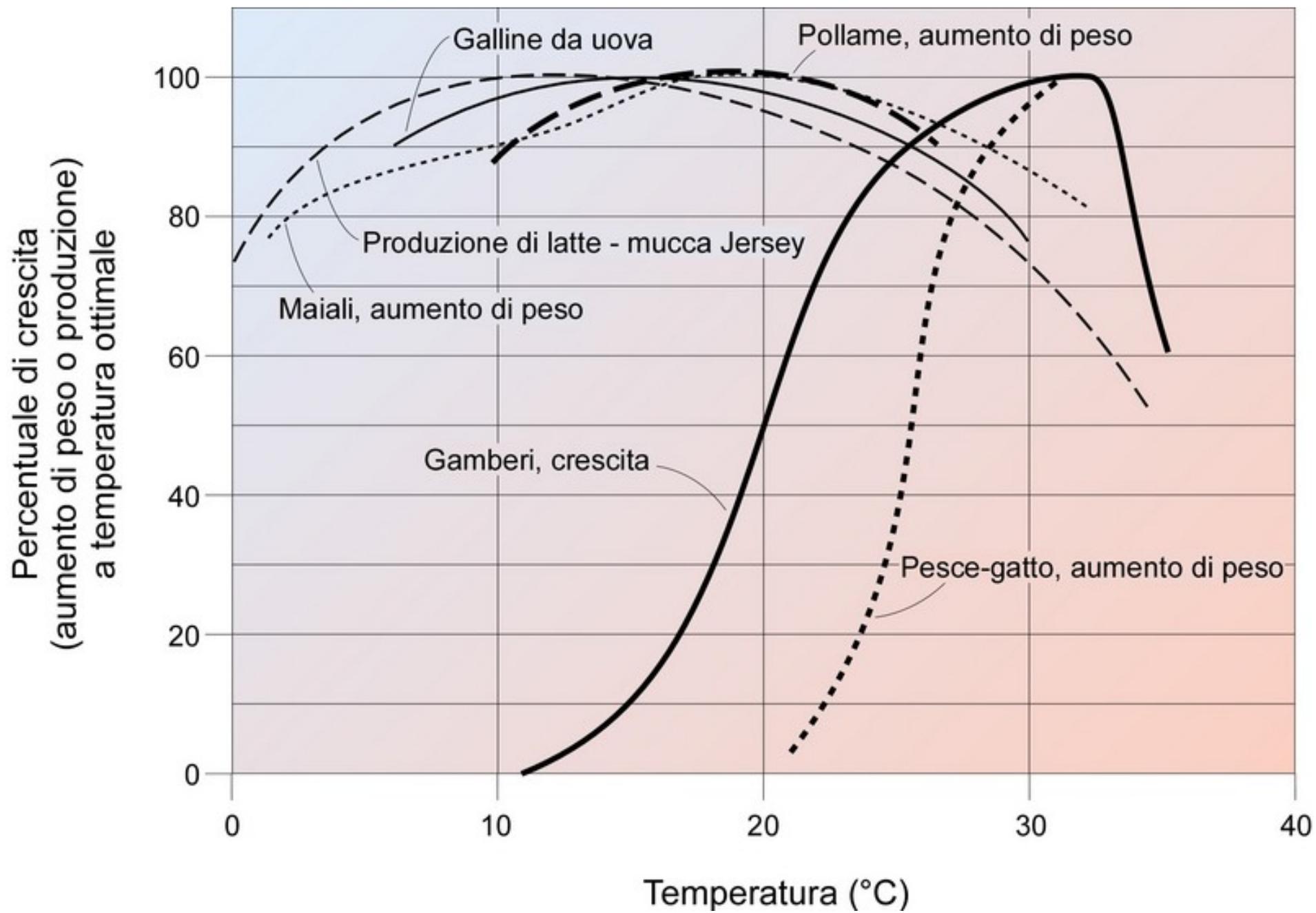


Riscaldamento









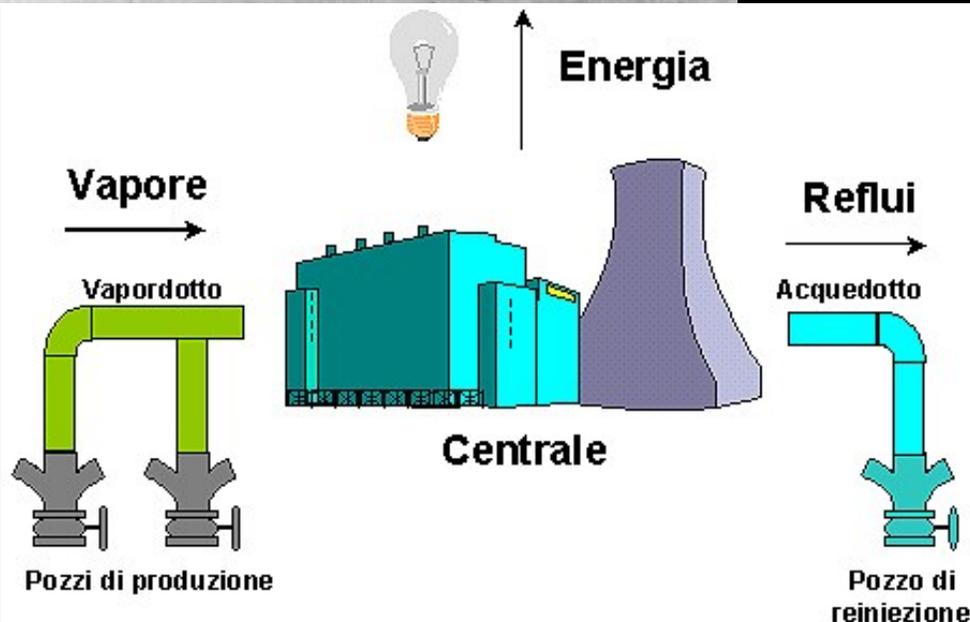
Energia endogena e sfruttamento energetico



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?

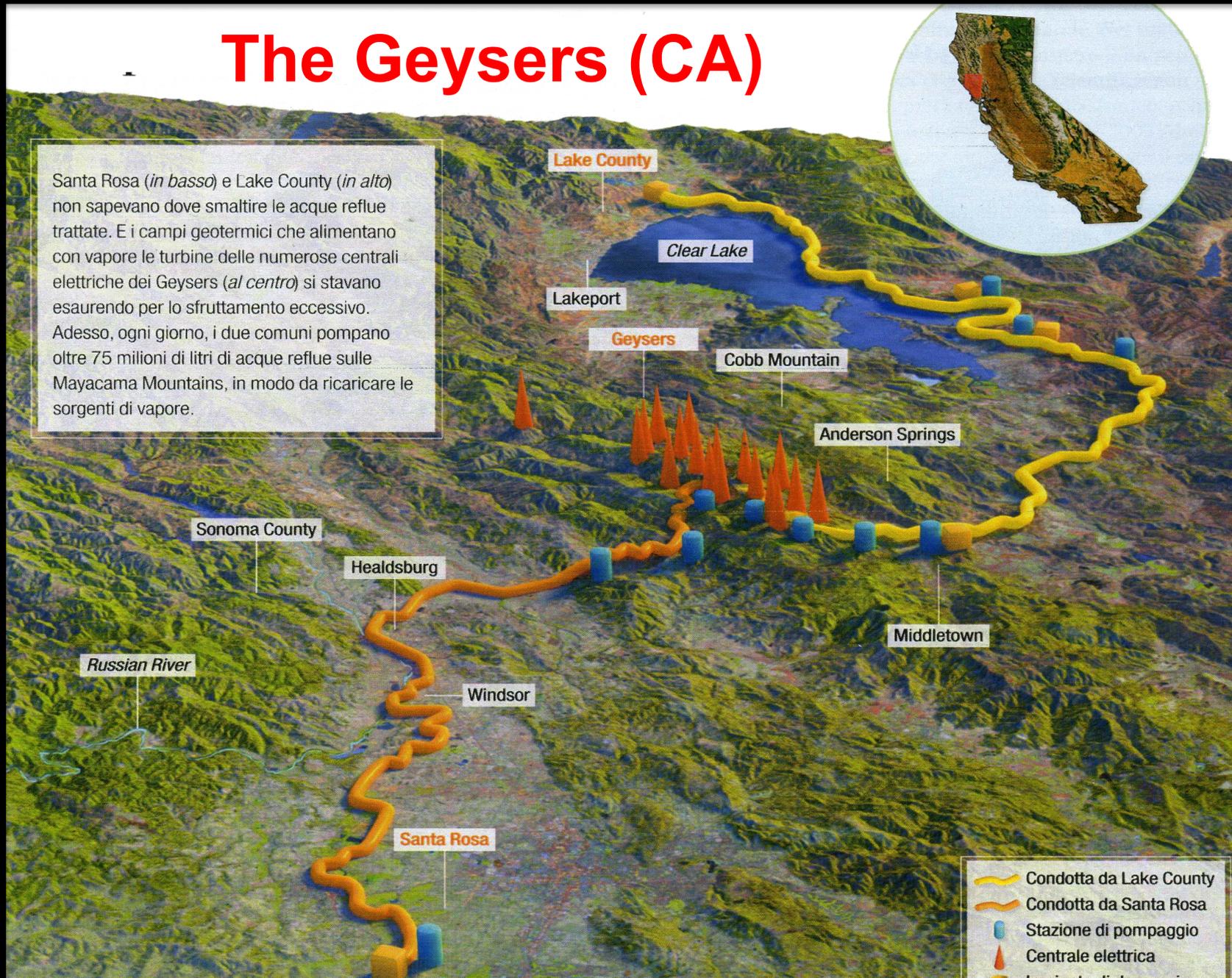
- 1) monopolio dell'ENEL?
- 2) errori negli anni '80 (Campi Flegrei)
- 3) scarso sviluppo dei sistemi a bassa temperatura
- 4) alto rischio minerario
- 5) scarsa promozione da parte delle autorità competenti



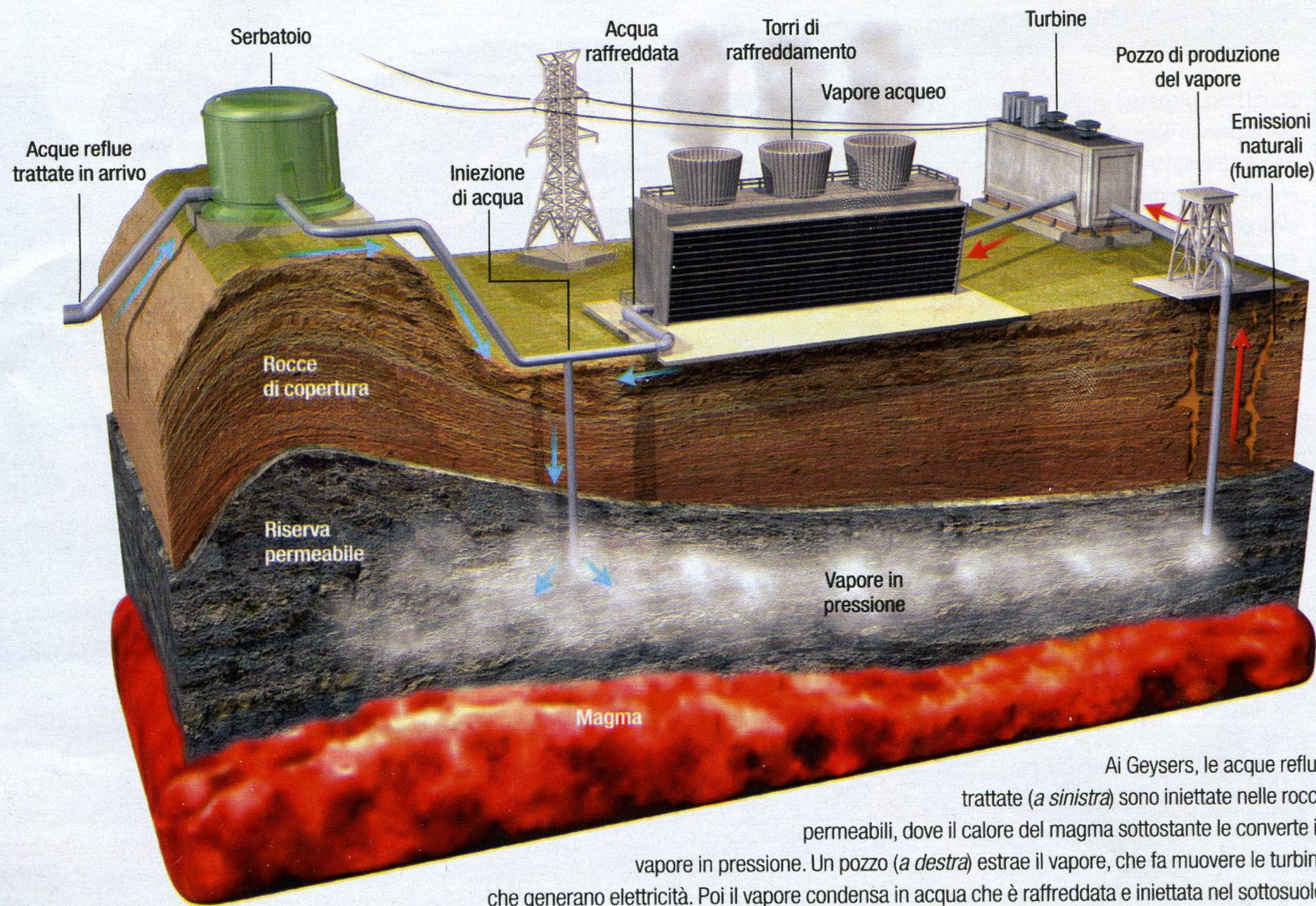
955 MW

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.

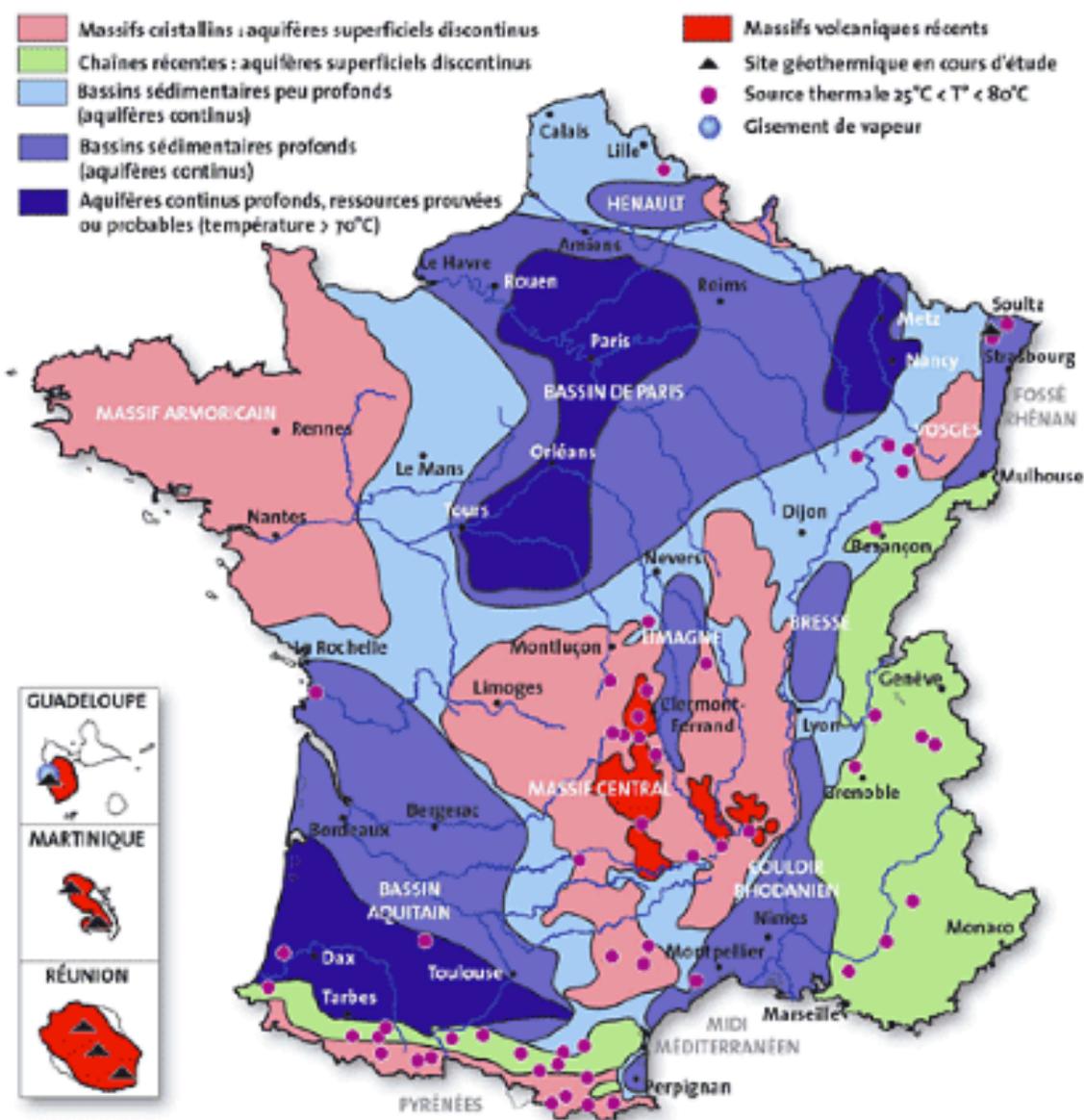


- Condotta da Lake County
- Condotta da Santa Rosa
- Stazione di pompaggio
- Centrale elettrica
- Impianto di depurazione



Ai Geysers, le acque reflue trattate (*a sinistra*) sono iniettate nelle rocce permeabili, dove il calore del magma sottostante le converte in vapore in pressione. Un pozzo (*a destra*) estrae il vapore, che fa muovere le turbine che generano elettricità. Poi il vapore condensa in acqua che è raffreddata e iniettata nel sottosuolo.

French geothermal resources



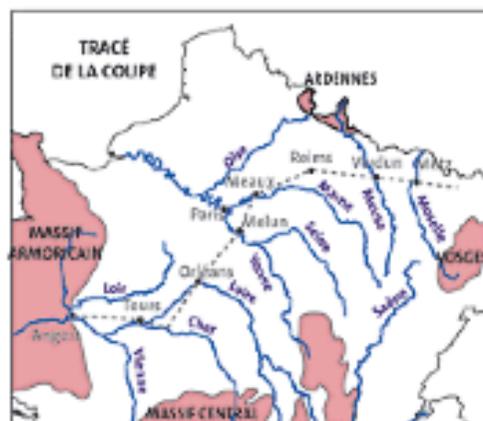
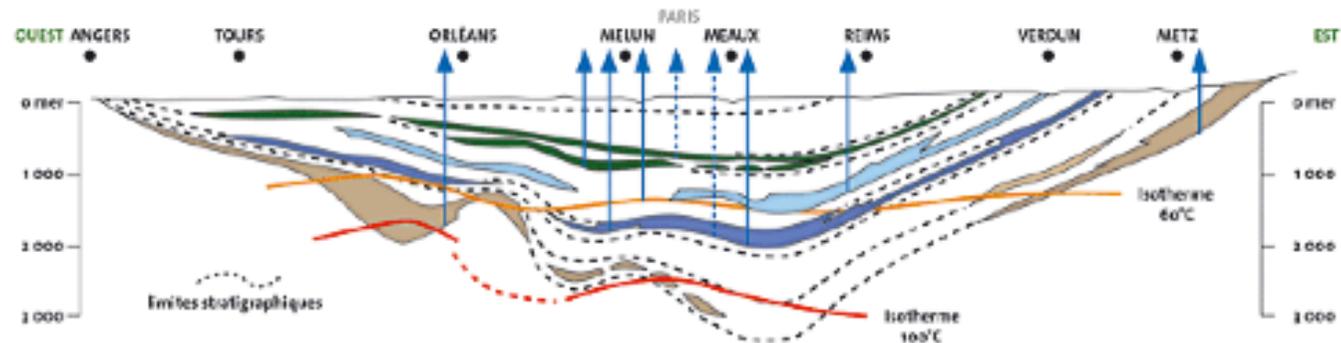
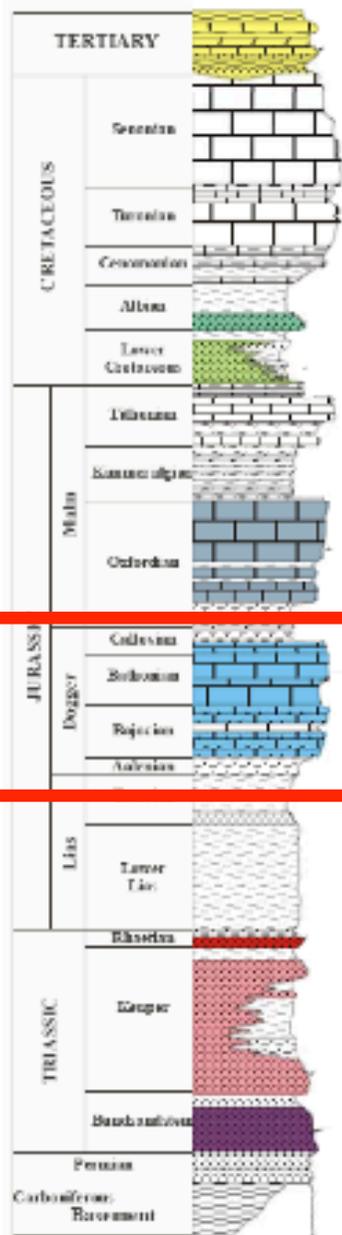
DIRECT HEATING

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

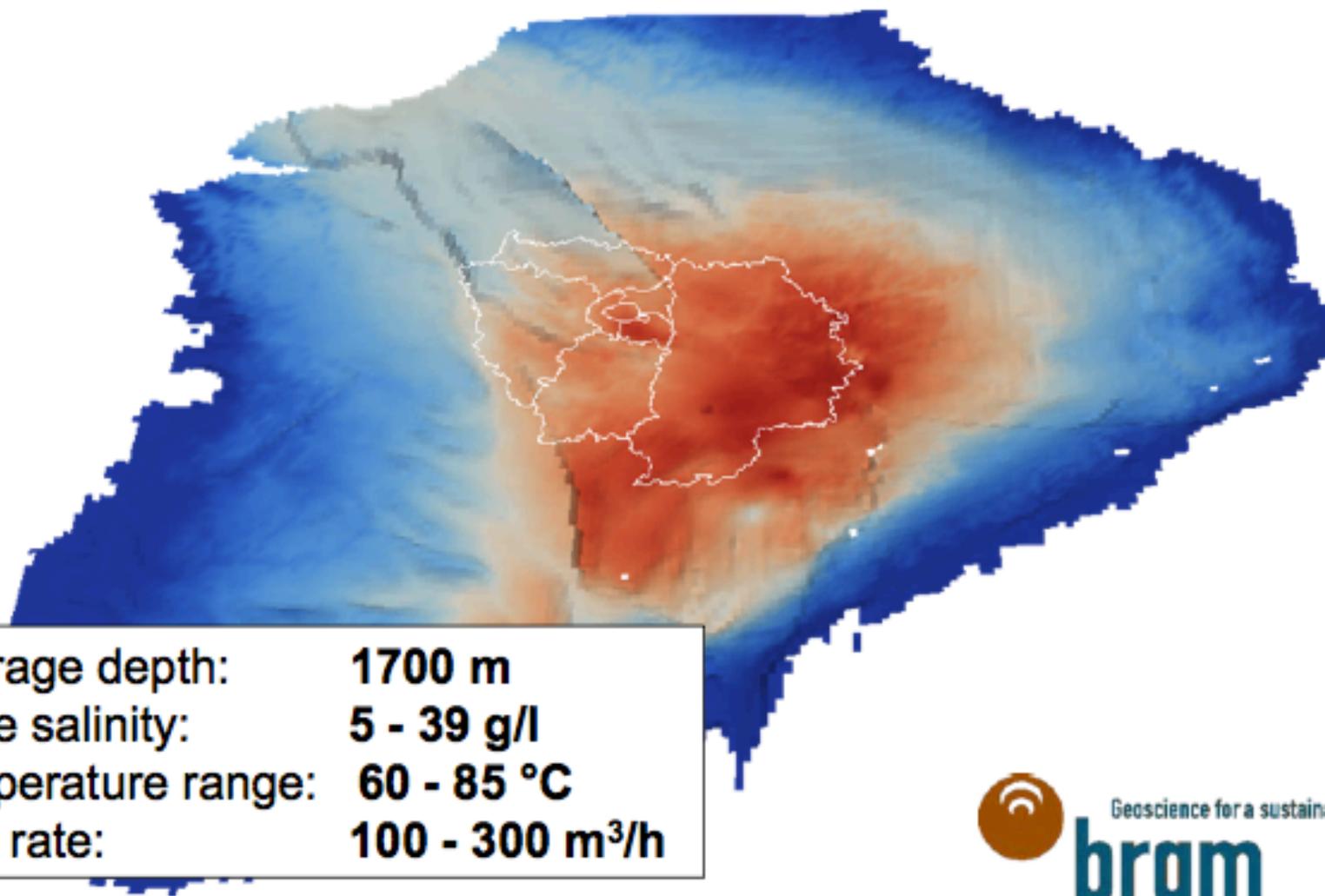
Paris basin



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

fresh water
 saline water

the « Dogger » aquifer



average depth:	1700 m
brine salinity:	5 - 39 g/l
temperature range:	60 - 85 °C
flow rate:	100 - 300 m³/h

the « doublet » technology

advantages of reinjection

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

constraints of reinjection

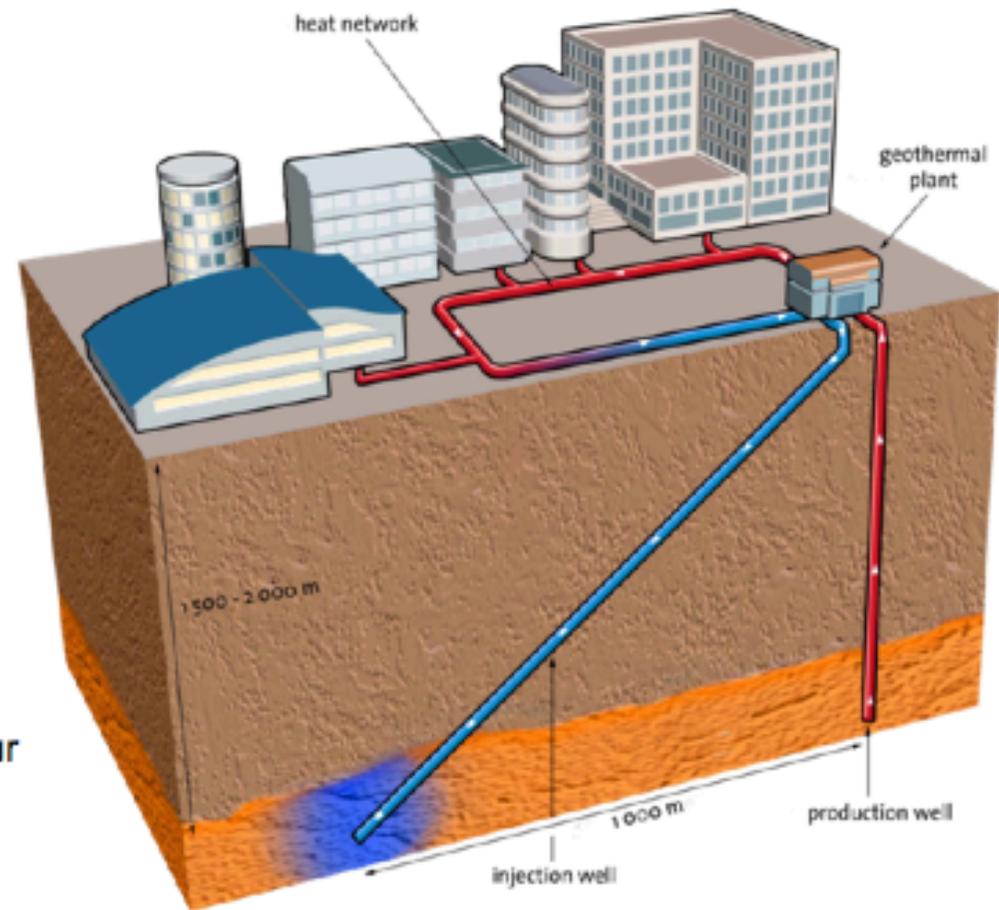
- pumping power
- recycling of cooled brine
- limited life span
- geological risk (reservoir shortcuts)
- systems need to be carefully planed

3 interacting systems

reservoir, tubings, surface

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

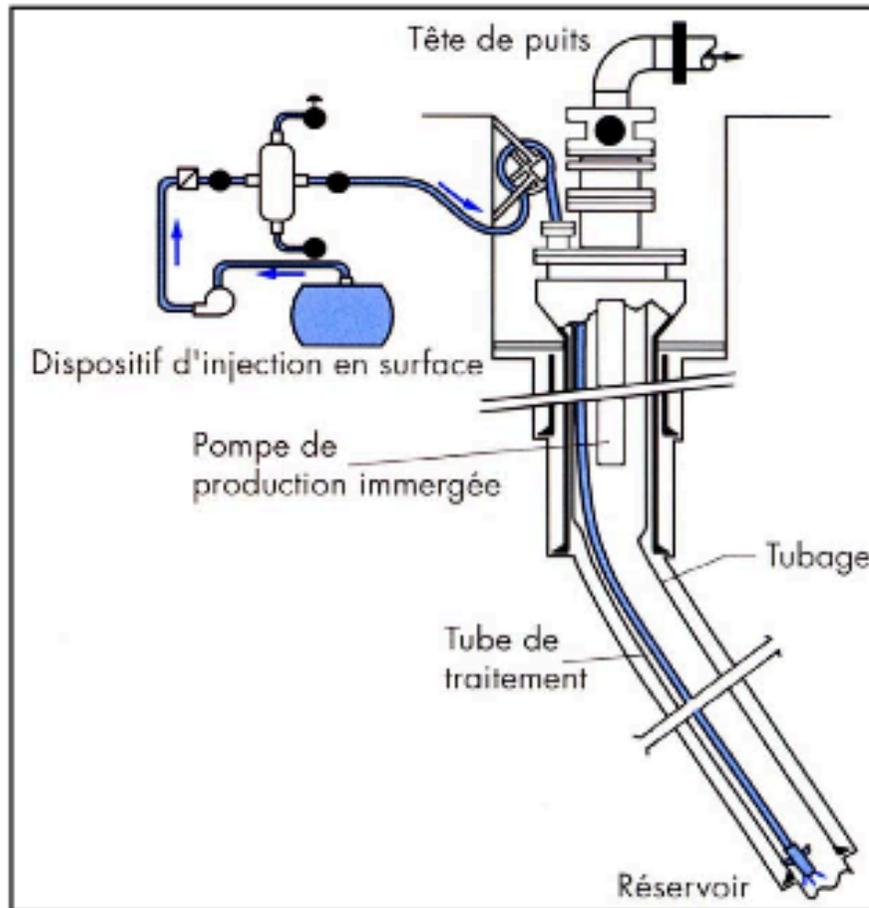
reservoir is piloted by the production (=injection) flowrate



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

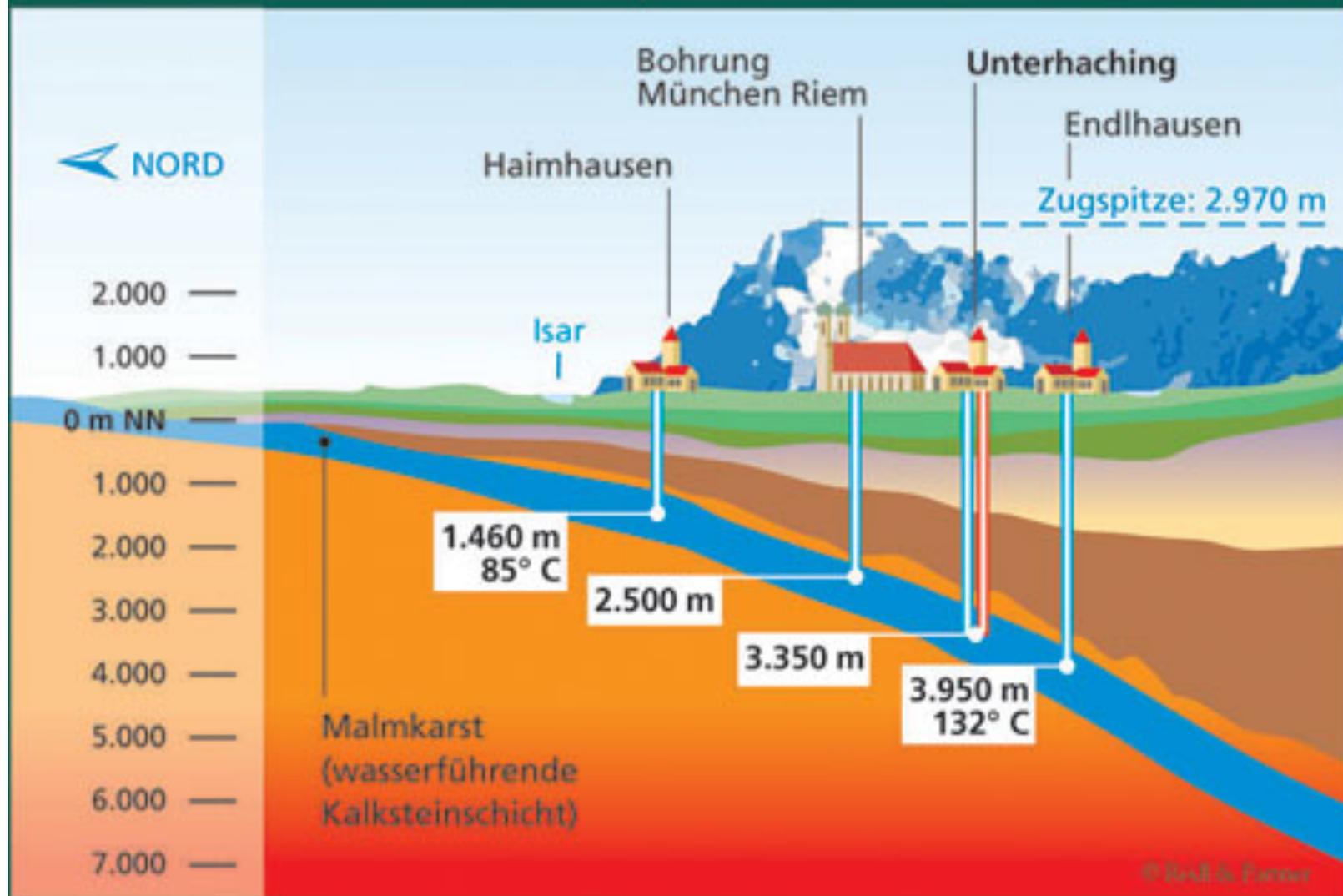
... but never stop pumping...



impact of 2 years exploitation at artesian flow rates

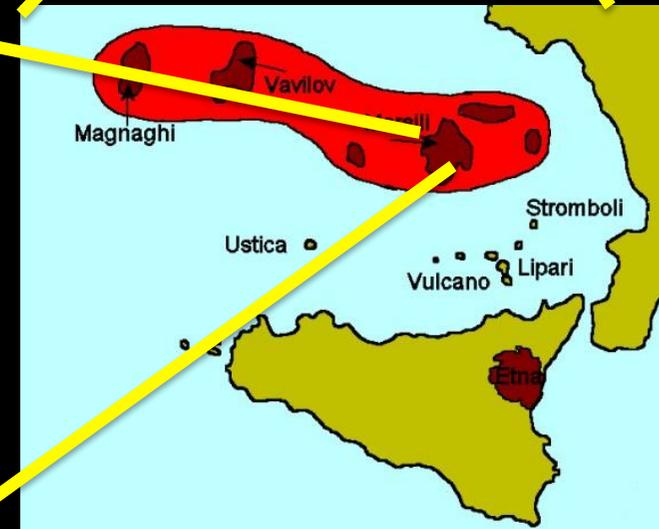
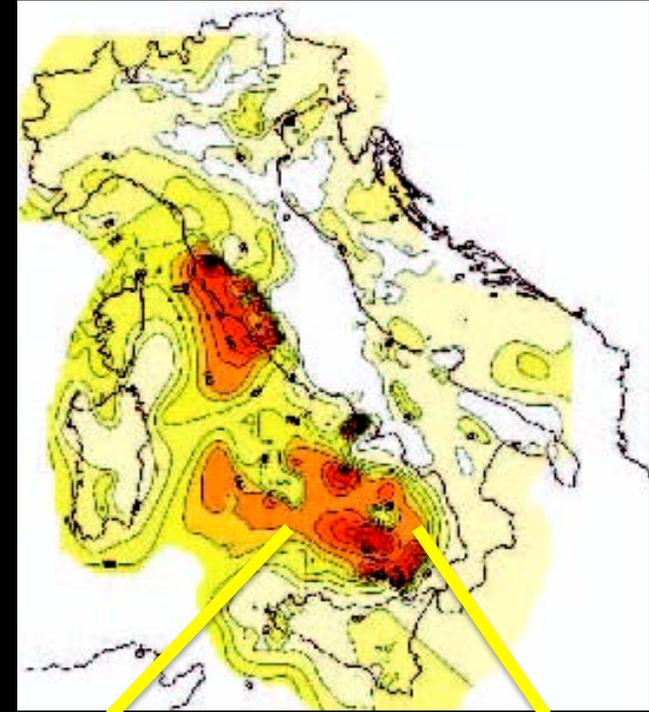
- La Francia è il paese leader del riscaldamento geotermico con 74 progetti realizzati nei bacini di Parigi e dell'Aquitania.
- Sistema "doublet" fin dal 1969: coppia di pozzi di cui uno produttore e l'altro reiniettore. Dopo l'estrazione del calore, reiniezione in serbatoio dei fluidi geotermici raffreddati, 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

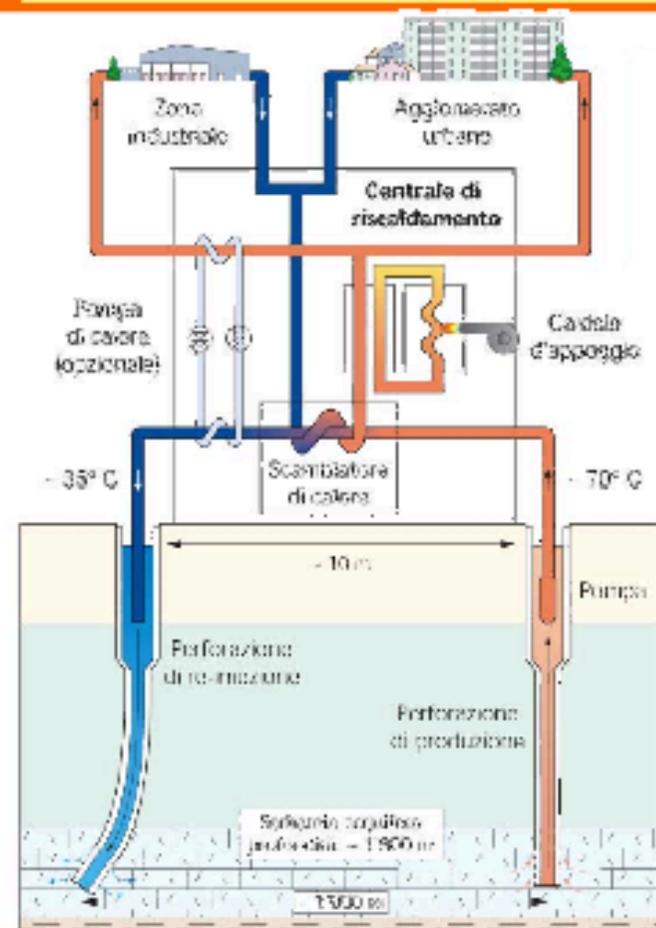
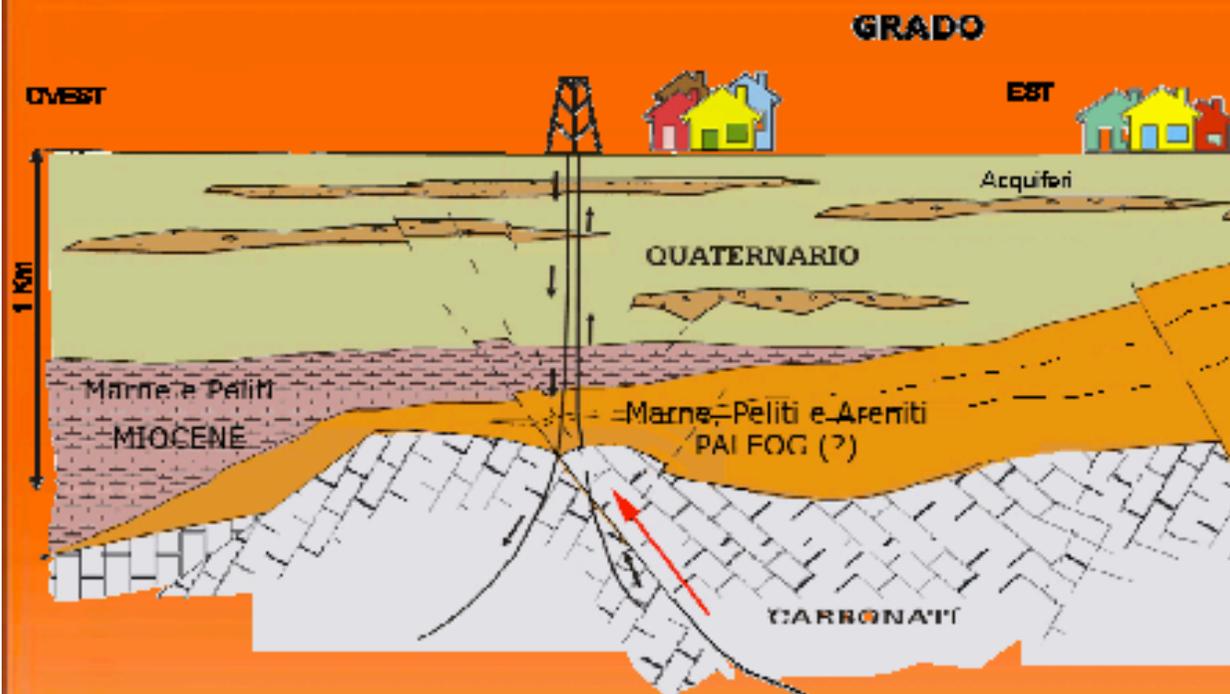
La porzione del Mar Tirreno sud-orientale è sede di un importante distretto vulcanico sottomarino che può diventare la prima importante fonte di approvvigionamento di energia geotermica off-shore della storia. Gli enormi flussi di calore che si concentrano in quest'area hanno permesso la creazione di 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**