



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# Fisica Terrestre

Geotermia

Veronica Pazzi - [veronica.pazzi@units.it](mailto:veronica.pazzi@units.it)

# Argomenti del corso

Il corso è suddiviso in diverse unità didattiche.

In particolare:

- Introduzione alla materia (docente: Prof. V. Pazzi)
- Teoria delle placche (docente: Prof. V. Pazzi)
  - Esercitazioni in aula (docente: Prof. V. Pazzi)
- Terremoti (docente: Prof. G. Costa)
  - Matrici (docente: Prof. G. Costa)
  - Equazioni del moto armonico e teoria delle onde (docente: Prof. G. Costa)
  - Esercitazioni in aula (docente: Prof. G. Costa)
- Gravimetria (docente: Prof. G. Costa)
- Magnetismo (docente: Prof. V. Pazzi)
- **Geotermia (docente: Prof. V. Pazzi)**

# Cosa sono la Fisica Terrestre e la Geofisica

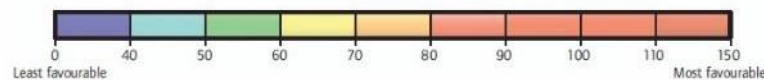
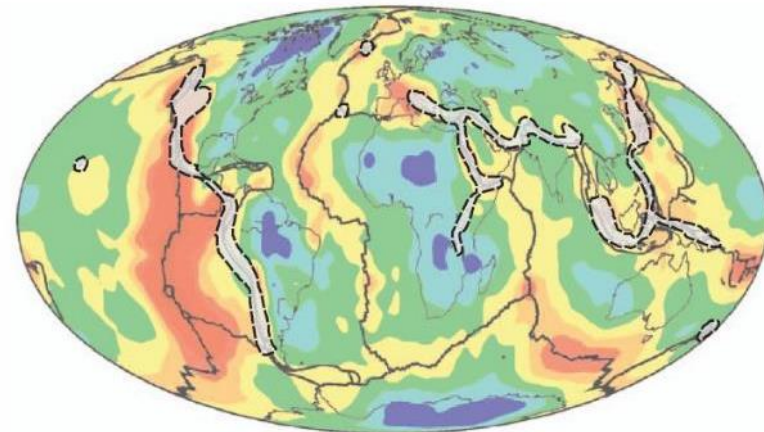
Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica

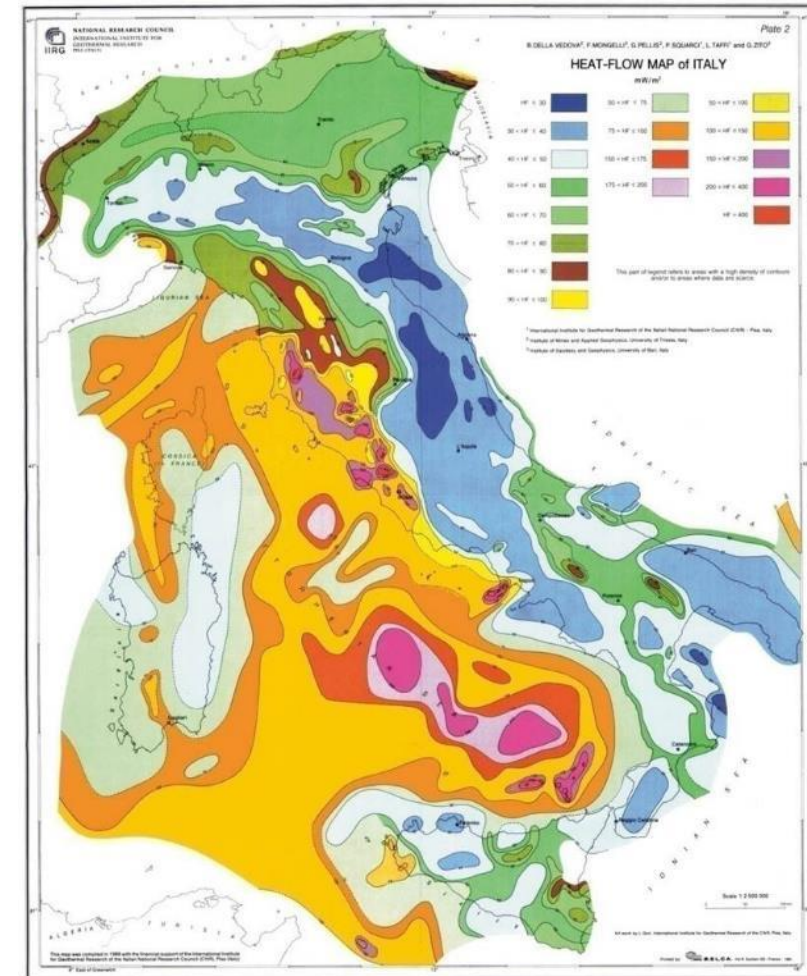
Geomagnetismo

Gravimetria e Gradiometria gravimetrica

Geotermia



Note: Convective hydrothermal reservoirs are shown as light grey areas, including heat flow and tectonic plates boundaries.  
Source: Background figure from (Hamza *et al.*, 2008), adjustments from (IPCC, forthcoming).



# Indice

- Il concetto di temperatura
- Il calore della Terra
- L'energia geotermica
- L'esplorazione geotermica
- Impieghi delle risorse geotermiche
- La centrale geotermica di Reykjavík
- Il progetto Carfix

# L'energia geotermica

# L'esplorazione geotermica

# L'esplorazione geotermica

Gli obiettivi dell'*esplorazione geotermica* sono (Lumb, 1981):

1. Identificare i fenomeni geotermici
2. Accertare l'esistenza dei campi con produzione geotermica sfruttabile
3. Valutare la dimensione delle risorse
4. Determinare il tipo dei campi geotermici
5. Localizzare le zone produttive
6. Determinare il contenuto termico dei fluidi
7. Compilare una base di dati, che possa servire di confronto per i futuri monitoraggi
8. Determinare, prima di iniziare lo sfruttamento, i parametri sensibili per l'ambiente
9. Individuare le caratteristiche che potrebbero creare problemi durante lo sfruttamento del campo

# L'esplorazione geotermica

Per raggiungere gli obiettivi si dispone di **numerosi metodi e tecnologie**, molte delle quali sono **di uso comune** e sono state **ampiamente sperimentate in altri settori** della ricerca.

È necessario tener presente, comunque, che le tecniche e le metodologie che si sono dimostrate utili nella ricerca mineraria o per idrocarburi non sono necessariamente la miglior soluzione per l'esplorazione geotermica.

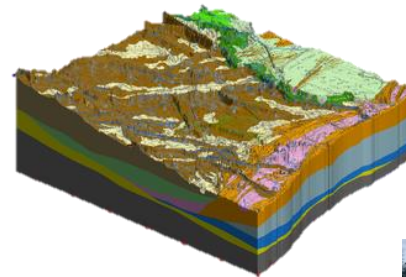
Inventario manifestazioni superficiali

Studi geologici ed idrogeologici

Prospezioni geochemiche

Prospezioni geofisiche

Pozzi esplorativi





# L'esplorazione geotermica

## Studi geologici ed idrogeologici

Sono il punto di partenza di ogni programma di esplorazione. Il loro scopo principale è quello di **definire la posizione e l'estensione delle aree da investigare con maggiore dettaglio e di suggerire i metodi di esplorazione più adatti per queste aree**. Gli studi geologici ed idrogeologici hanno una grande importanza per tutte le fasi successive della ricerca geotermica, sino alla localizzazione dei pozzi esplorativi e di produzione. Essi inoltre forniscono le **informazioni di base** per interpretare i dati forniti dagli altri metodi di esplorazione e, infine, per costruire un **modello realistico del sistema** geotermico e valutare il potenziale della risorsa. I dati ottenuti dagli studi geologici ed idrogeologici sono utili anche nella fase di sfruttamento perché forniscono informazioni utilizzabili dagli ingegneri del serbatoio e di produzione. La durata ed il costo dell'esplorazione possono essere sensibilmente ridotti se il programma di lavoro è coordinato da geologi con vasta esperienza geotermica.

# L'esplorazione geotermica

## Prospezioni geochemiche

Comporta il **campionamento e l'analisi chimica e/o isotopica delle acque e dei gas** prodotti dalle manifestazioni geotermiche (sorgenti termali, fumarole, ecc.) o dai pozzi che si trovano nell'area in studio.

Sono un ottimo mezzo per **stabilire se un sistema geotermico è ad acqua o a vapore dominante**, per **prevedere la temperatura minima del serbatoio**, per **stimare l'omogeneità dell'apporto di acqua**, per determinare le **caratteristiche chimiche** del fluido profondo e per individuare **l'origine dell'acqua di ricarica** (Combs e Muffler, 1973), per **individuare possibili problemi** durante l'utilizzazione (corrosione ed incrostazione nei tubi e negli impianti, impatto sull'ambiente) e ipotizzare soluzioni per evitarli o ridurli. Fornisce anche dati utili per programmare le successive fasi dell'esplorazione ed ha un costo relativamente basso in confronto ad altri metodi più sofisticati, come quelli geofisici; per questa ragione, essa dovrebbe essere impiegata, per quanto possibile, prima di altri metodi più costosi.

# L'esplorazione geotermica

## Prospezioni geofisiche

Ha lo scopo di **ottenere indirettamente**, dalla superficie o da intervalli di profondità vicini alla superficie, i **parametri fisici delle formazioni geologiche profonde**. Questi parametri fisici comprendono la temperatura (prospezione termica), la conducibilità elettrica (metodi elettrici ed elettromagnetici), la velocità di propagazione delle onde elastiche (prospezione sismica), la densità (prospezione gravimetrica) e la suscettibilità magnetica (prospezione magnetica).

I metodi sismici, gravimetrici e magnetici possono dare **molte informazioni sulla forma, dimensioni, profondità** e altre importanti caratteristiche delle strutture geologiche profonde, che potrebbero costituire un serbatoio geotermico, **ma danno poche, o nessuna, indicazioni sulla presenza all'interno di queste strutture dei fluidi**, che costituiscono l'obiettivo della ricerca geotermica. Essi sono pertanto i più utili per definire i dettagli nelle fasi finale dell'esplorazione, prima che siano posizionati i pozzi esplorativi.

# L'esplorazione geotermica

## Prospezioni geofisiche

**Informazioni sull'esistenza di fluidi geotermici** nelle strutture geologiche si possono ottenere dalle **prospezioni elettriche ed elettromagnetiche**, che sono più sensibili di altri metodi alla presenza di questi fluidi ed alle variazioni di temperatura; queste tecniche sono state ampiamente applicate con soddisfacenti risultati.

Il **metodo magnetotellurico**, in particolare, è stato notevolmente perfezionato negli ultimi anni e attualmente offre una vasta gamma di applicazioni, anche se richiede una strumentazione sofisticata ed è sensibile al rumore di fondo nelle aree abitate. Il principale vantaggio del metodo magnetotellurico sta nella sua capacità di definire strutture più profonde di quelle raggiungibili con i metodi elettrici e gli altri elettromagnetici. I metodi termici (misure di temperatura, determinazione del gradiente geotermico e del flusso di calore terrestre) spesso possono dare con buona approssimazione la temperatura della parte superiore del serbatoio geotermico

# L'esplorazione geotermica

## Pozzi esplorativi

La perforazione dei pozzi esplorativi è la fase finale di ogni programma di esplorazione ed è il solo metodo che permette di definire con certezza le caratteristiche di un serbatoio geotermico e di valutarne il potenziale.

I dati forniti dai sondaggi esplorativi hanno lo scopo di verificare le ipotesi ed i modelli elaborati con i risultati dell'esplorazione di superficie.

Essi inoltre devono confermare che il serbatoio è produttivo e contiene fluidi in quantità adeguata e con caratteristiche adatte all'utilizzazione prevista. Posizionare i pozzi esplorativi è pertanto un'operazione molto delicata.

# L'esplorazione geotermica

Un **programma d'esplorazione** si sviluppa normalmente in fasi successive:

- *riconoscimento*
- *prefattibilità*
- *fattibilità*.

Durante ciascuna di queste fasi, vengono gradualmente eliminate le aree meno interessanti, mentre la ricerca si concentra in quelle più promettenti.

I metodi di investigazione applicati, inoltre, diventano progressivamente più sofisticati e forniscono maggiori dettagli man mano che il programma procede.

Prima di definire un programma d'esplorazione geotermica è necessario raccogliere tutti i dati geologici, geofisici e geochimici già esistenti.

# L'esplorazione geotermica

I **requisiti** più importanti per una **buona risorsa geotermica** possono essere riassunti come segue:

- alta **temperatura** per una buona efficienza di conversione elettrica;
- grandi quantità di **calore stoccato** per la longevità della risorsa;
- un **basso rapporto** tra quantità di **liquido utilizzato ed energia elettrica prodotta**;
- siti di **reiniezione disponibili** a quote minori rispetto ai siti di produzione per poter smaltire per gravità;
- produzione di fluidi con **pH quasi neutro** per ridurre la velocità di corrosione nel pozzo e nell'impianto;
- adeguata **permeabilità**;
- **bassa** tendenza all'**incrostazione** nel pozzo e nelle condutture;
- bassa quota e terreni facili per le strade di **accesso**;
- basso rischio di **attività vulcanica** ed eruzioni idrotermali;
- **prossimità** alle **linee elettriche**.

# L'esplorazione geotermica

Pertanto:

Condizioni necessarie e sufficienti:

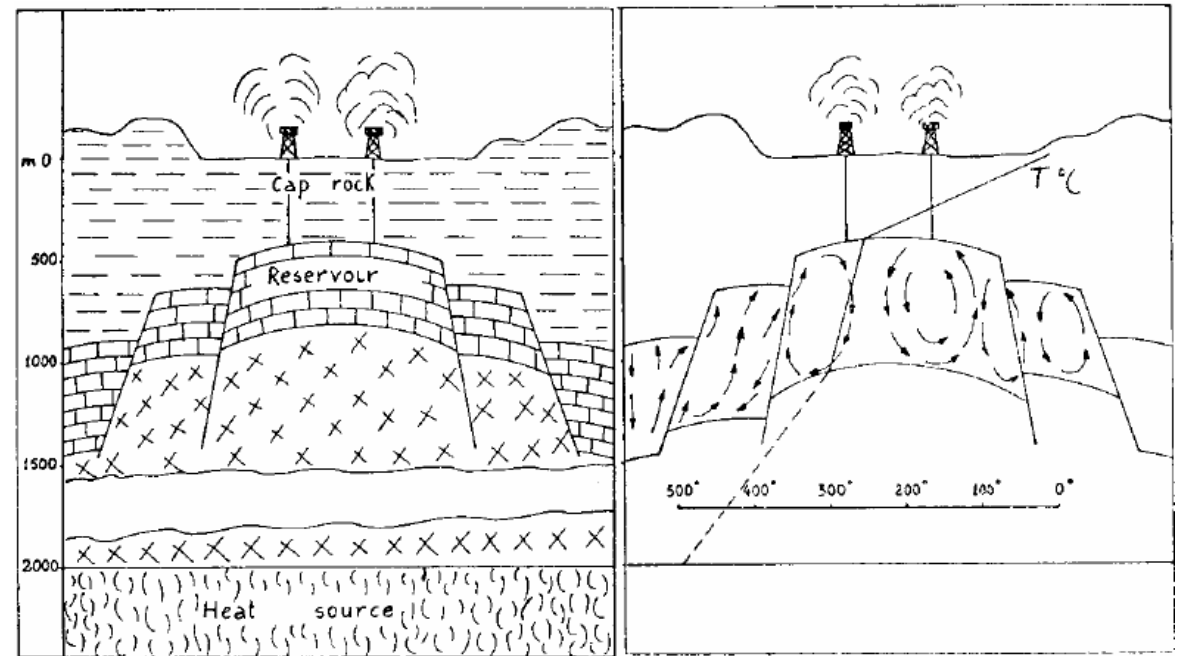
- Sorgente eccezionale di calore (heat-source)
- Presenza di un serbatoio (strato altamente permeabile)
- Strato impermeabile (caprock)

Condizioni ottimali:

- Serbatoio poroso
- Produzione di vapore surriscaldato\*

Fonte rinnovabile se e solo se:

- l'asportazione di calore non eccede il tasso di ripristino del serbatoio





# La centrale geotermica di Reykjavík



# Impieghi delle risorse geotermiche

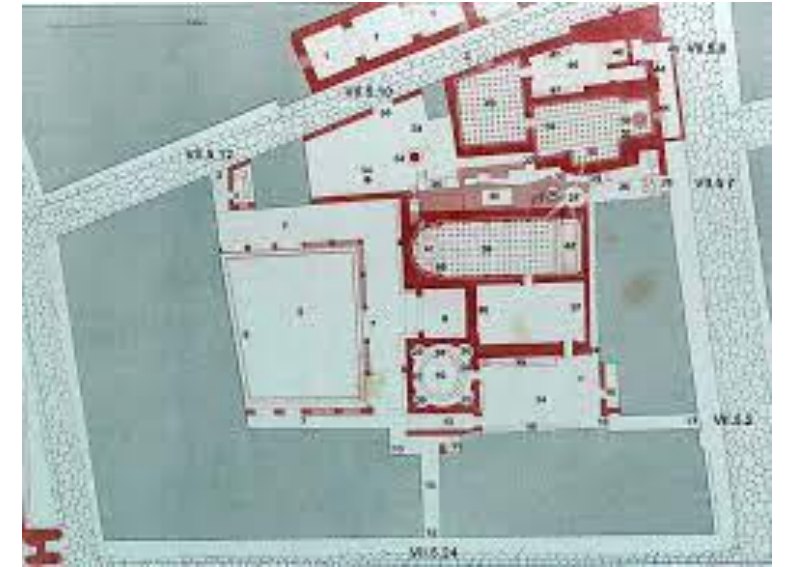
# Impieghi delle risorse geotermiche

Da sempre i popoli hanno usato l'acqua geotermica che fluiva liberamente alla superficie dalle sorgenti calde.

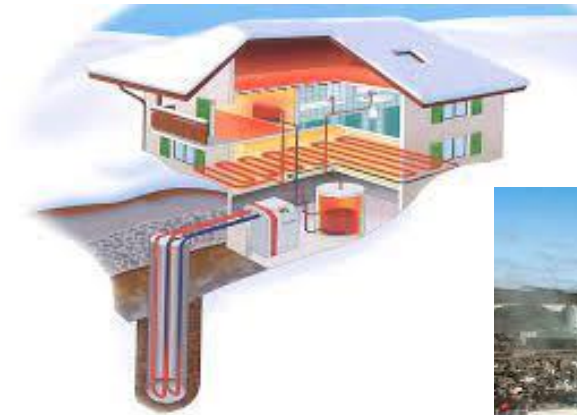
L'uso più antico e diffuso è stato, naturalmente, quello **termale**. Poi questa "acqua magica" fu impiegata anche per altri scopi.

I Romani **curavano** con l'acqua proveniente dal centro della Terra i disturbi della **pelle** e degli **occhi** e **riscaldavano gli edifici** di Pompei, ma già alcuni millenni prima gli Indiani d'America la usavano per **cucinare**, oltre che per **scopi medicinali**, così come facevano i Maori della Nuova Zelanda.

Più di recente, è usata per il riscaldamento di abitazioni e serre e per la produzione di **energia elettrica**.



Terme del foro di Pompei



# Impieghi delle risorse geotermiche

È stato valutato che il calore totale contenuto nella Terra, assumendo una temperatura superficiale media di  $15^{\circ}\text{C}$ , sia dell'ordine di  $12,6 \times 10^{24}$  MJ e che quello contenuto nella crosta sia dell'ordine di  $5,4 \times 10^{21}$  MJ (Armstead, 1983).

L'energia termica della Terra è quindi enorme, ma **soltanto una parte di essa può essere sfruttata**.

Sino ad oggi, **l'utilizzazione** di questa **energia** è stata **limitata** a quelle **aree** nelle quali le condizioni geologiche permettono ad un **vettore (acqua in fase liquida o vapore)** di **“trasportare” il calore** dalle formazioni calde profonde alla superficie o vicino ad essa, formando quelle che chiamiamo risorse geotermiche.

# Impieghi delle risorse geotermiche

I fluidi geotermici erano già utilizzati, per il loro contenuto energetico, nella prima parte del XIX secolo. In quel periodo, nella zona che poi ha avuto il nome di **Larderello** (Toscana), era stata costruita una **piccola industria chimica per estrarre l'acido borico dalle acque calde**, che sgorgavano naturalmente dal suolo o erano estratte da pozzi di piccola profondità.

L'acido borico era ottenuto facendo evaporare i fluidi caldi ricchi di boro in bollitori metallici, usando, come combustibile, il legname ricavato dei boschi vicini. Nel 1827 Francesco Larderel, proprietario di questa industria, ideò un sistema per **sfruttare il calore degli stessi fluidi borici** nel processo di evaporazione, invece di bruciare il legname dei boschi, che si andavano esaurendo rapidamente.



*Pietro Ginori Conti, i primi impianti geotermici di Larderello (Fonte: Unione Geotermica Italiana)*

# Impieghi delle risorse geotermiche

Nello stesso periodo si cominciò anche ad **utilizzare l'energia meccanica del vapore naturale**. Questo venne usato per sollevare l'acqua in semplici sistemi a "gas lift" e, in seguito, per il funzionamento di pompe ed argani impiegati nelle operazioni di perforazione o nell'industria dell'acido borico. L'industria chimica di Larderello detenne, tra il 1850 ed il 1875, il monopolio della produzione dell'acido borico in Europa.

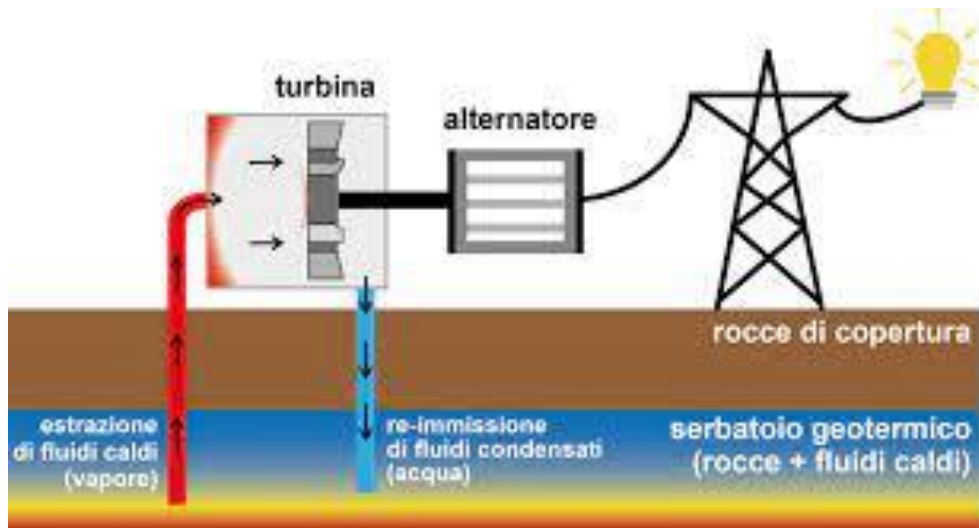
Nella medesima area geotermica, tra il 1910 ed il 1940, si avviò, ampliandosi progressivamente, l'utilizzazione del **vapore a bassa pressione** per il **riscaldamento di edifici** residenziali ed industriali, e di serre.

Nel 1928 anche **l'Islanda**, un altro paese all'avanguardia nell'utilizzazione dell'energia geotermica in Europa, cominciò a sfruttare i fluidi geotermici, soprattutto acqua calda, per il **riscaldamento di edifici**.



# Impieghi delle risorse geotermiche

Il primo tentativo di **produrre elettricità** dall'energia contenuta nel vapore geotermico è stato fatto a Larderello nel 1904. Il successo di questo esperimento mostrò il valore industriale dell'energia geotermica e segnò l'inizio di una forma di sfruttamento, che è ora diffuso in molti paesi. La produzione di elettricità a Larderello fu un successo commerciale, oltre che della tecnica, tanto che, nel 1942, la potenza geotermoelettrica installata aveva raggiunto 127.650 kW.



L'esempio italiano fu seguito da numerosi altri paesi.

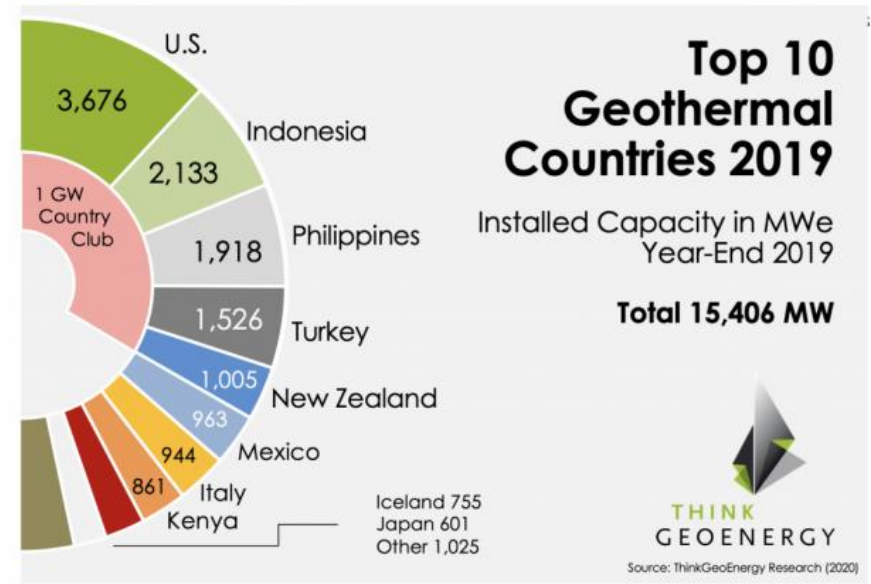
Nel 1919 venne perforato il primo pozzo geotermico in Giappone, a Beppu, e, nel 1921, negli Stati Uniti, a The Geysers in California. Nel 1958 un primo impianto geotermoelettrico entrò in esercizio in Nuova Zelanda, nel 1959 in Messico, nel 1960 negli Stati Uniti e negli anni seguenti in molti altri paesi.

# Impieghi delle risorse geotermiche

Dopo la seconda Guerra Mondiale, molti paesi furono attirati dall'energia geotermica, considerandola economicamente competitiva rispetto ad altre forme di energia. Oltre ad essere un'energia "indigena", in numerose aree è l'unica localmente disponibile.

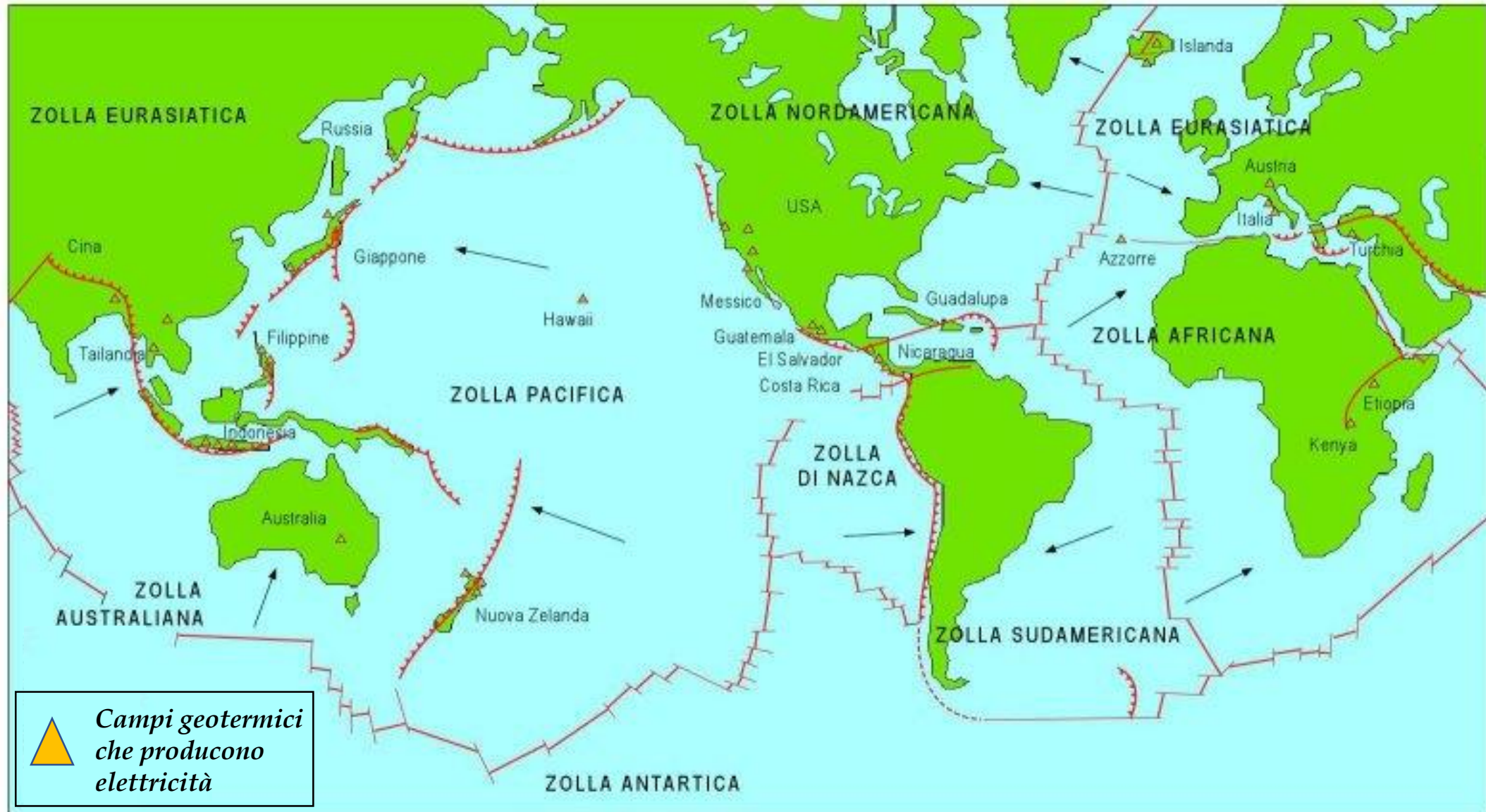
Produzione geotermoelettrica nel mondo (GWh<sub>e</sub>)

Dati World Geothermal Conference (WGC)



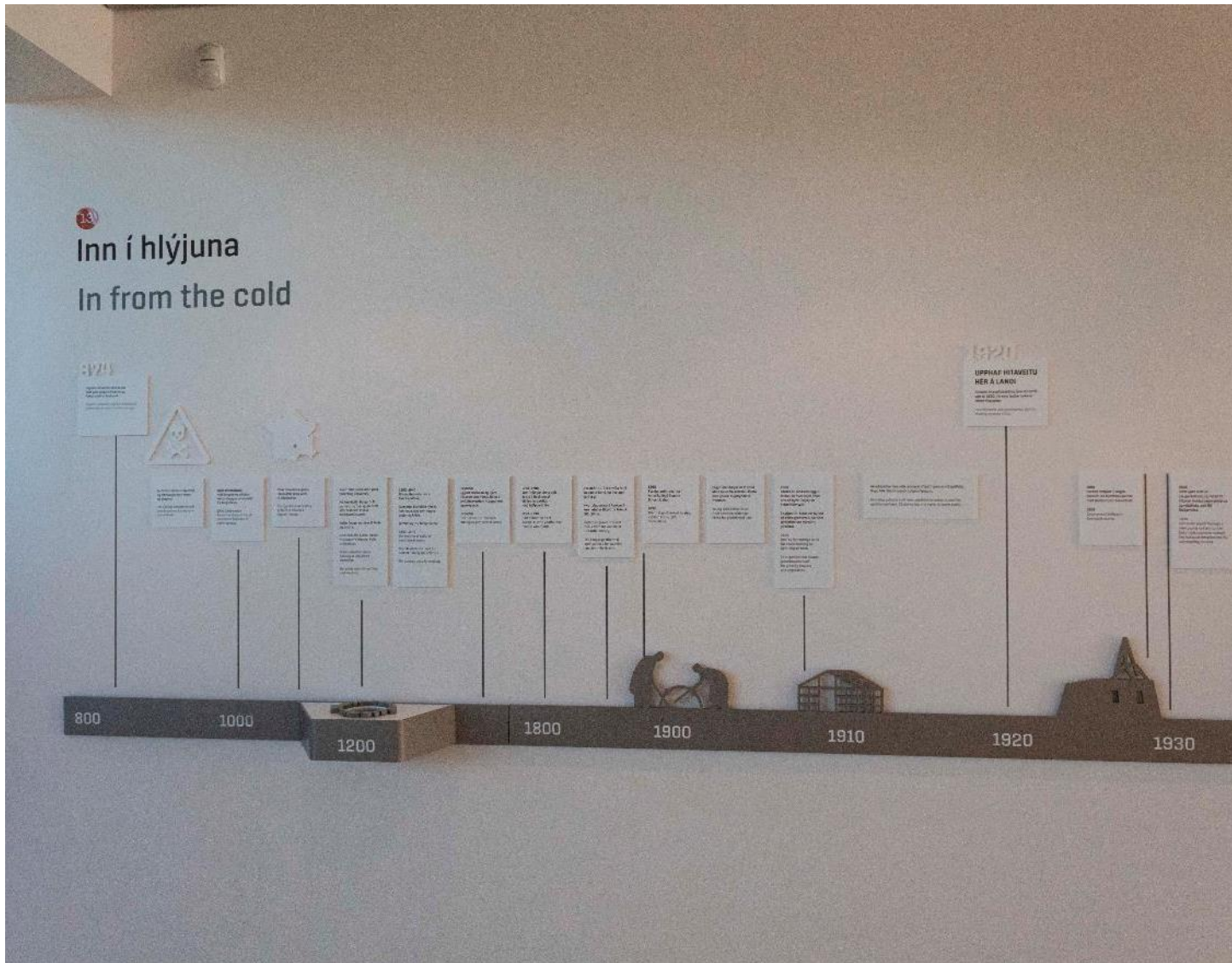


# Impieghi delle risorse geotermiche

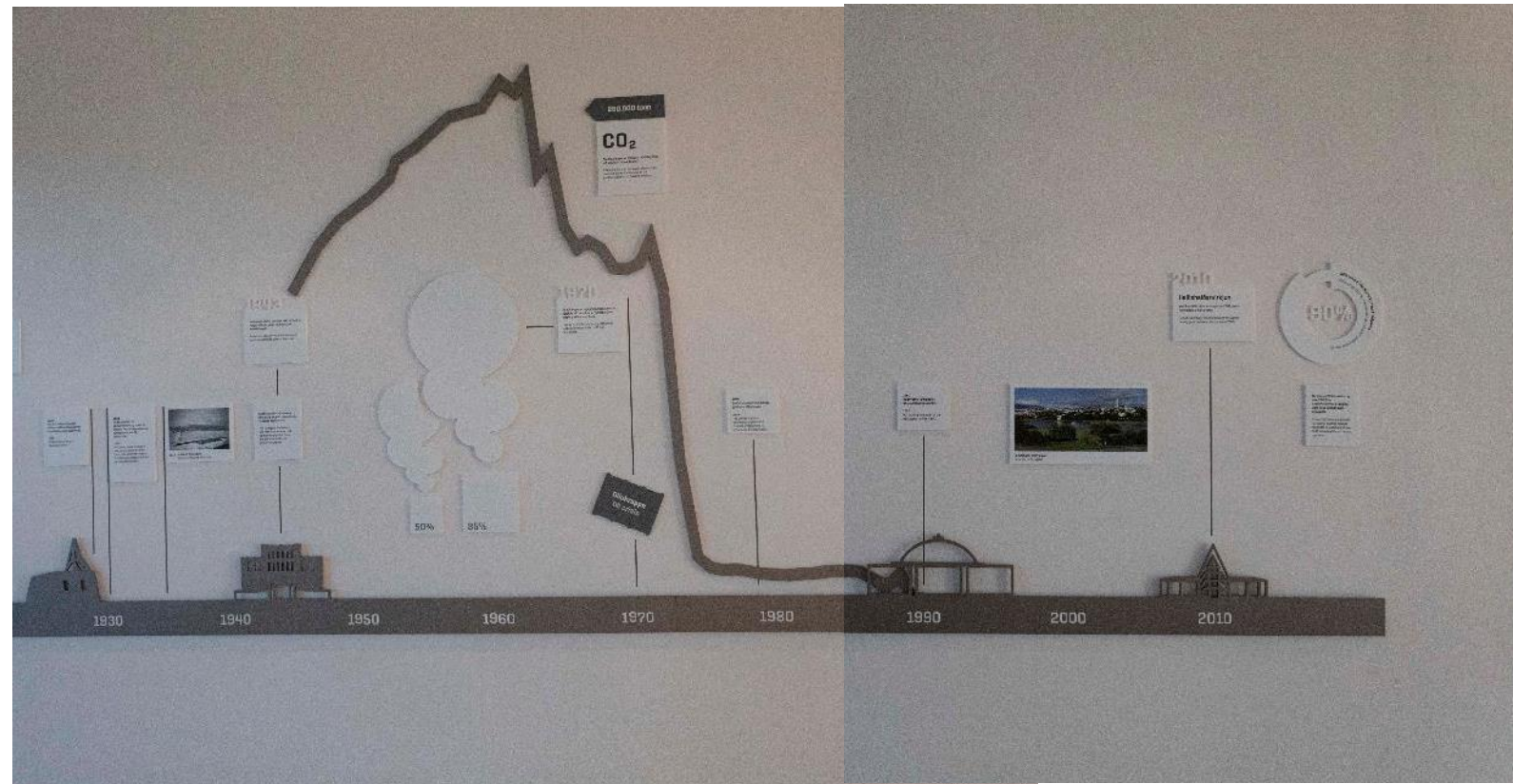


# Impieghi delle risorse geotermiche

A partire dai primi insediamenti in **Islanda** (risalenti all'874 AC) fino alla metà del XX secolo le risorse geotermiche sono state utilizzate a piccola scala per usi domestici. La perforazione dei primi pozzi di acqua calda alla periferia di Reykjavík nel 1928 segna l'inizio dell'uso sistematico su larga scala delle risorse geotermiche. Nel 1930, l'acqua calda scorreva attraverso un sistema di tubi che collegava la scuola elementare del lato est, l'ospedale di Reykjavík e circa 60 altri edifici a un nuovo sistema di teleriscaldamento geotermico.



# Impieghi delle risorse geotermiche

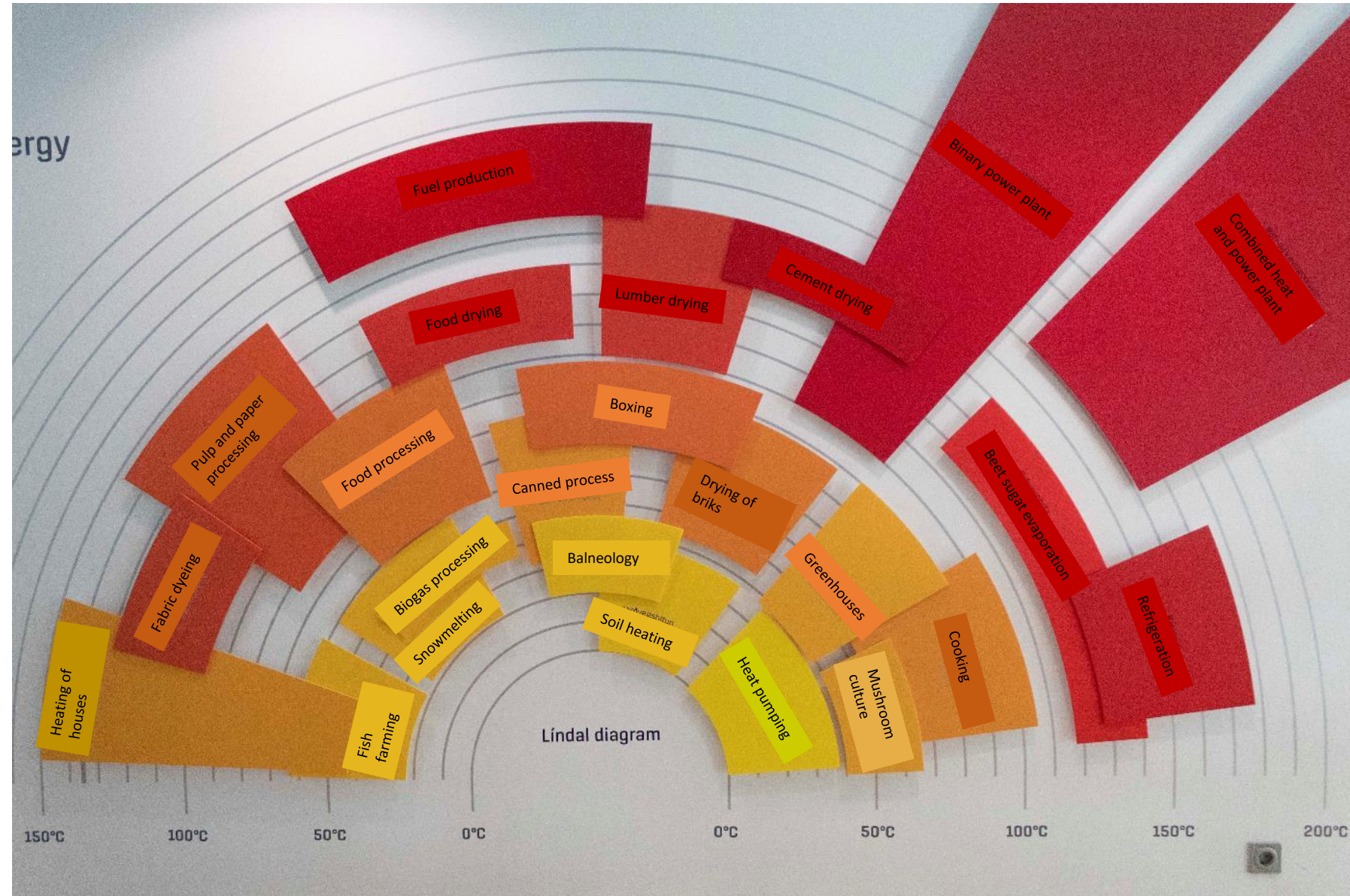


Durante e dopo la crisi petrolifera dei primi anni '70, il sistema di teleriscaldamento è stato rapidamente ampliato in pochi anni e ora copre il 99,9% degli edifici nell'area della capitale. La città era stata precedentemente riscaldata con carbone e petrolio importati.

Oltre ai pozzi di acqua calda a Reykjavík, il sistema di riscaldamento è alimentato con acqua dolce riscaldata dalle centrali geotermiche Hellisheiði e Nesjavellir. Il passaggio dai combustibili fossili al riscaldamento geotermico delle abitazioni ha ridotto drasticamente le emissioni di CO<sub>2</sub> in Islanda,

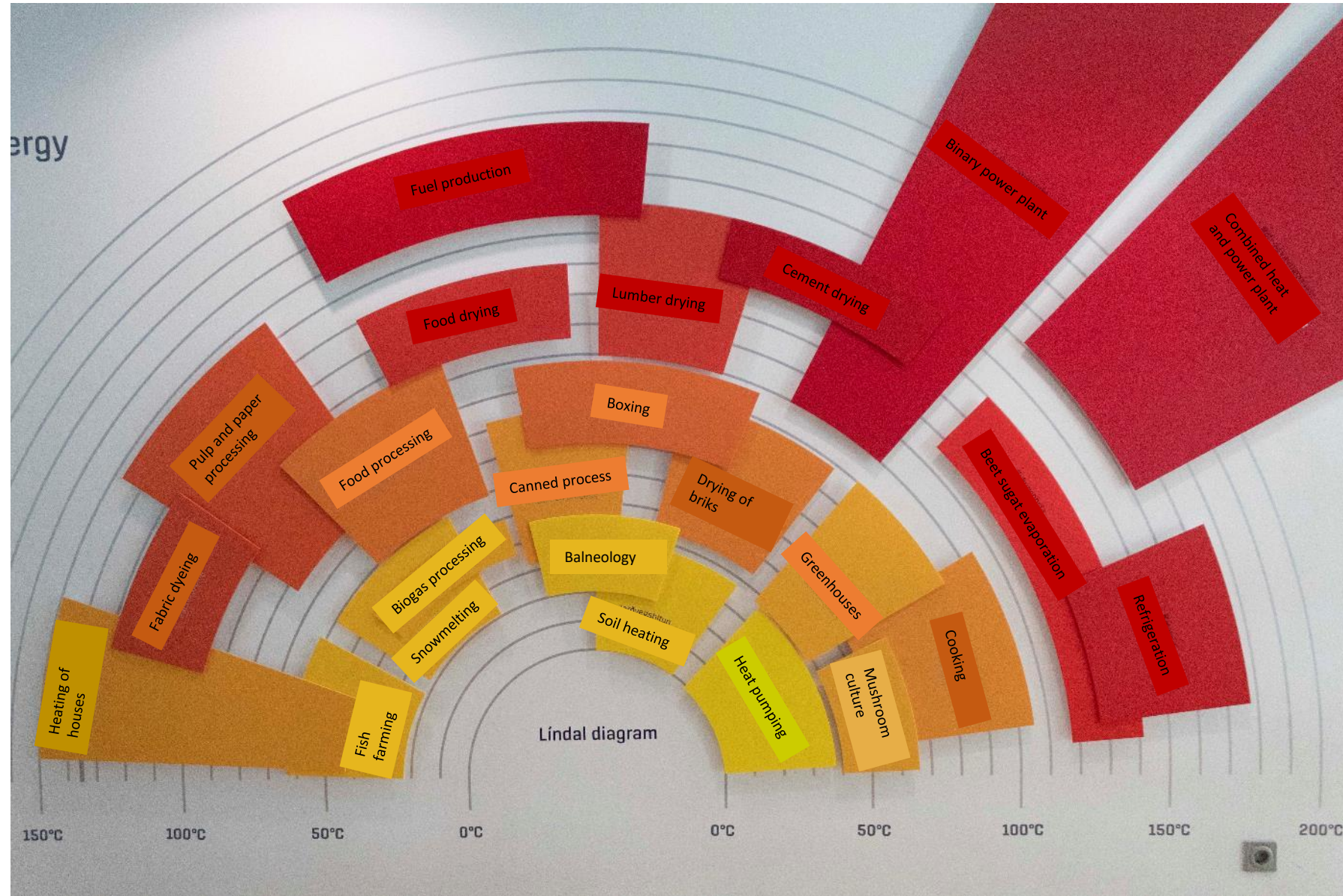
# Impieghi delle risorse geotermiche

Il **diagramma di Lindal** (e le sue numerose variazioni) sono stati utilizzati per illustrare le **numerose applicazioni dei geofluidi in termini di temperatura delle risorse geotermiche.**



# Impieghi delle risorse geotermiche

Nel 1973, un ingegnere islandese Baldur Lindal, presentò la prima versione del diagramma in un documento di revisione dell'UNESCO sull'energia geotermica (sezione VI, Applicazioni industriali e altre applicazioni dell'energia geotermica). Prima del 1973, il lavoro di Lindal copriva **le applicazioni industriali e agricole dell'energia geotermica.**



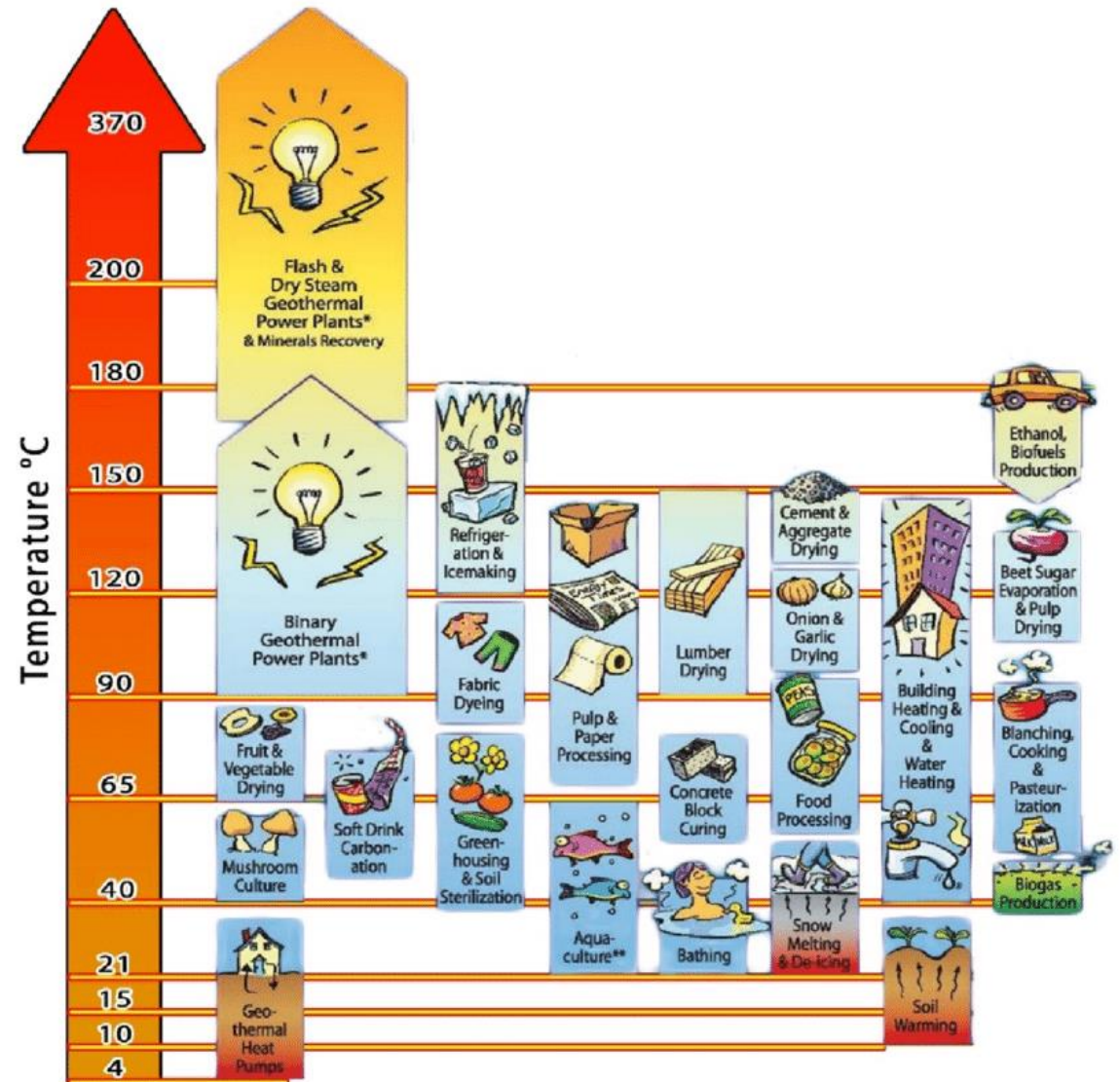
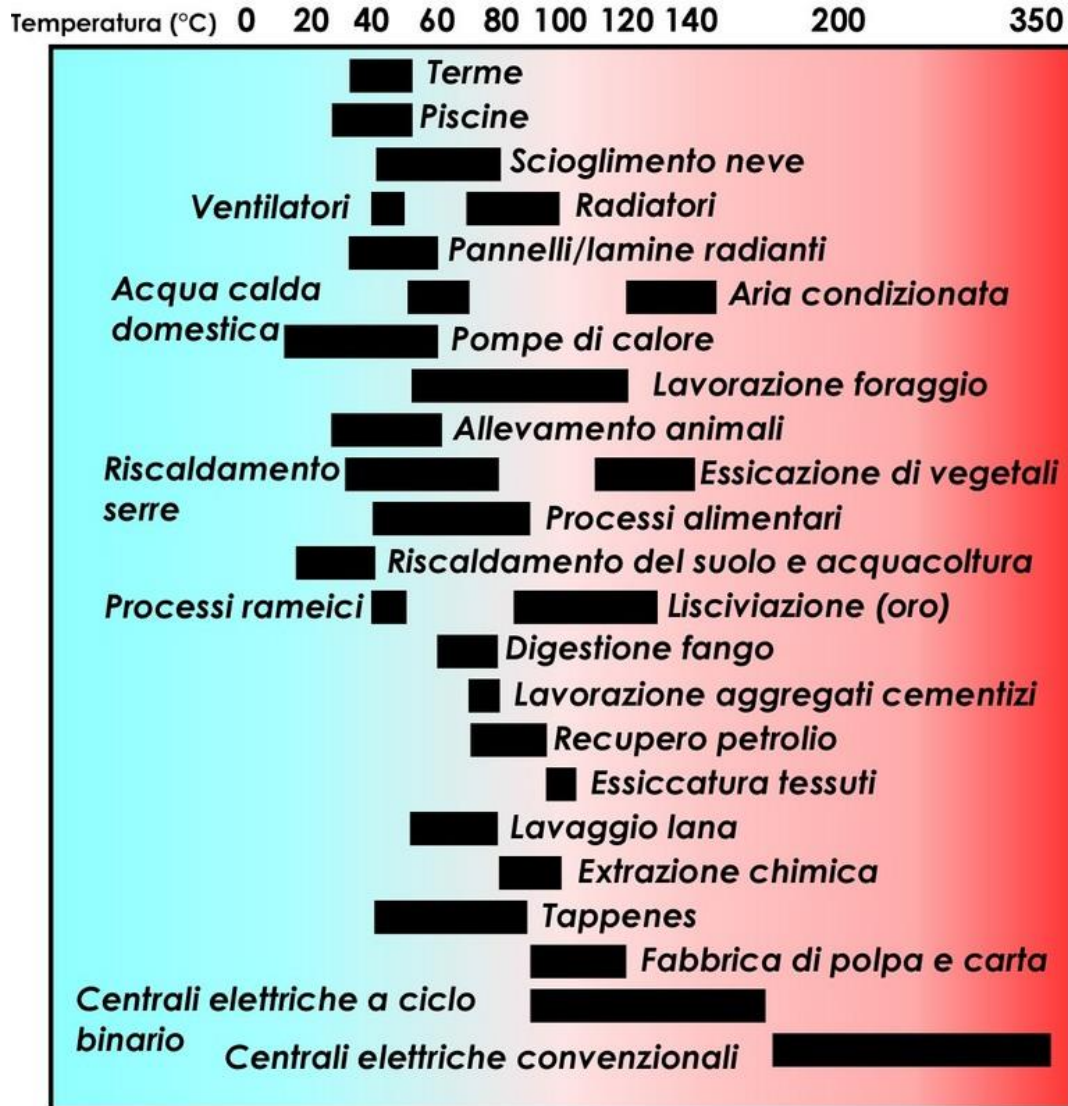
# Impieghi delle risorse geotermiche

Il **diagramma Lindal** illustra la **varietà di usi di una risorsa geotermica in base alla temperatura**.

Quello originale aveva un design generico ed era onnicomprensivo per fornire informazioni a persone di diversa estrazione. Comprende: applicazioni consolidate (tranne la produzione di energia e il teleriscaldamento), come lo sbrinamento e il riscaldamento del suolo; allevamento di pesci; piscine e balneologia; riscaldamento degli ambienti di edifici e serre; essiccazione, evaporazione e conserve alimentari di sostanze organiche; così come la digestione della polpa di carta e la refrigerazione mediante assorbimento di ammoniaca.

Le versioni recenti del diagramma non sono più limitate alle applicazioni ad uso diretto e sono state ampliate per includere la produzione di energia elettrica da cicli di alimentazione a vapore secco, vapore flash e cicli binari (sopra gli 85°C).

# Impieghi delle risorse geotermiche



# Impieghi delle risorse geotermiche

Storicamente le tipologie di utilizzo della fonte geotermica sono due: la **generazione elettrica** (se  $T > 150^{\circ}\text{C}$  o impiego di cicli binari) e **l'utilizzo diretto** (la temperatura ideale è di  $80^{\circ}\text{C}$ , ma con pompe di calore si può abbassare tale valore).

Attualmente si conoscono usi non elettrici dell'energia geotermica in 58 paesi, mentre nel 1995 il loro numero era limitato a 28 e a 24 nel 1985.

L'uso non elettrico più diffuso nel mondo (come potenza installata) è rappresentato da:

- pompe di calore (34,80%),
- balneologia (26,20%),
- riscaldamento di ambienti (21,62%),
- serre (8,22%),
- acquacoltura (3,93%)
- impieghi industriali diversi (3,13%)

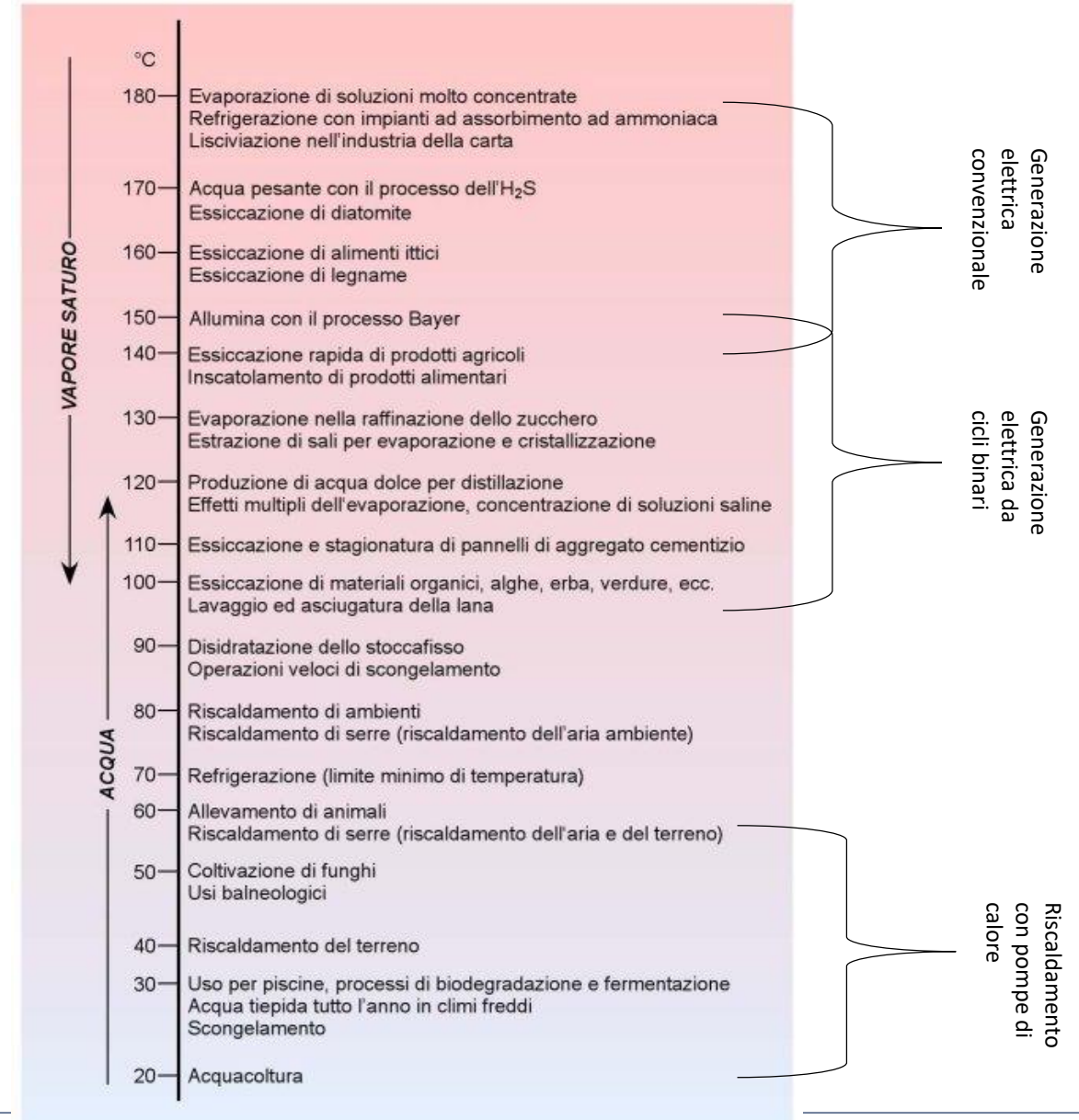
(fonte Lund e Freeston, 2001)



# Impieghi delle risorse geotermiche

Il diagramma di Lindal mette in evidenza due aspetti importanti dell'utilizzazione delle risorse geotermiche (Gudmundsson, 1988):

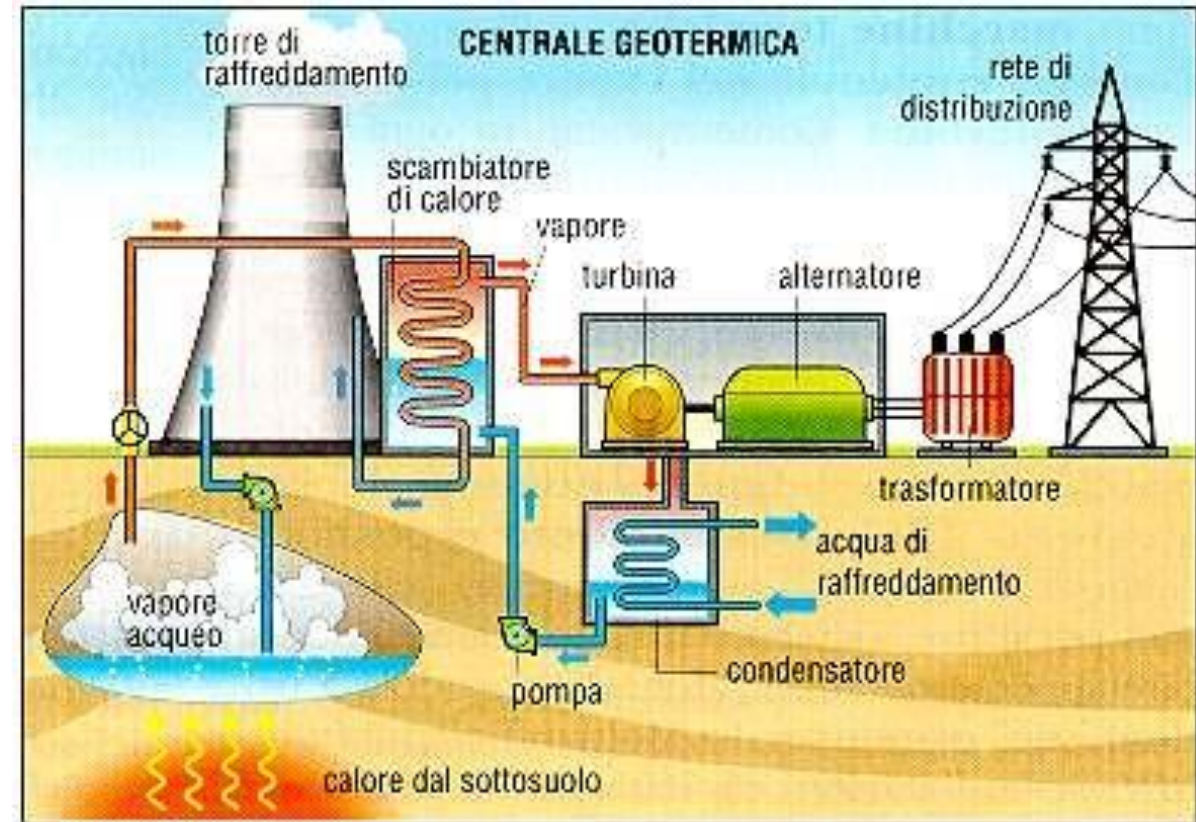
- con **progetti a cascata** o combinati è possibile **estendere lo sfruttamento** delle risorse
- la **temperatura dei fluidi** costituisce il principale **fattore limitante** la possibile utilizzazione.



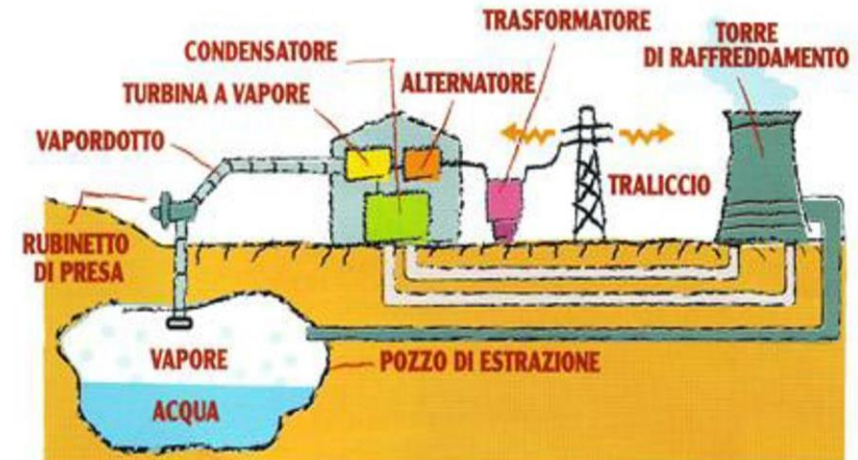
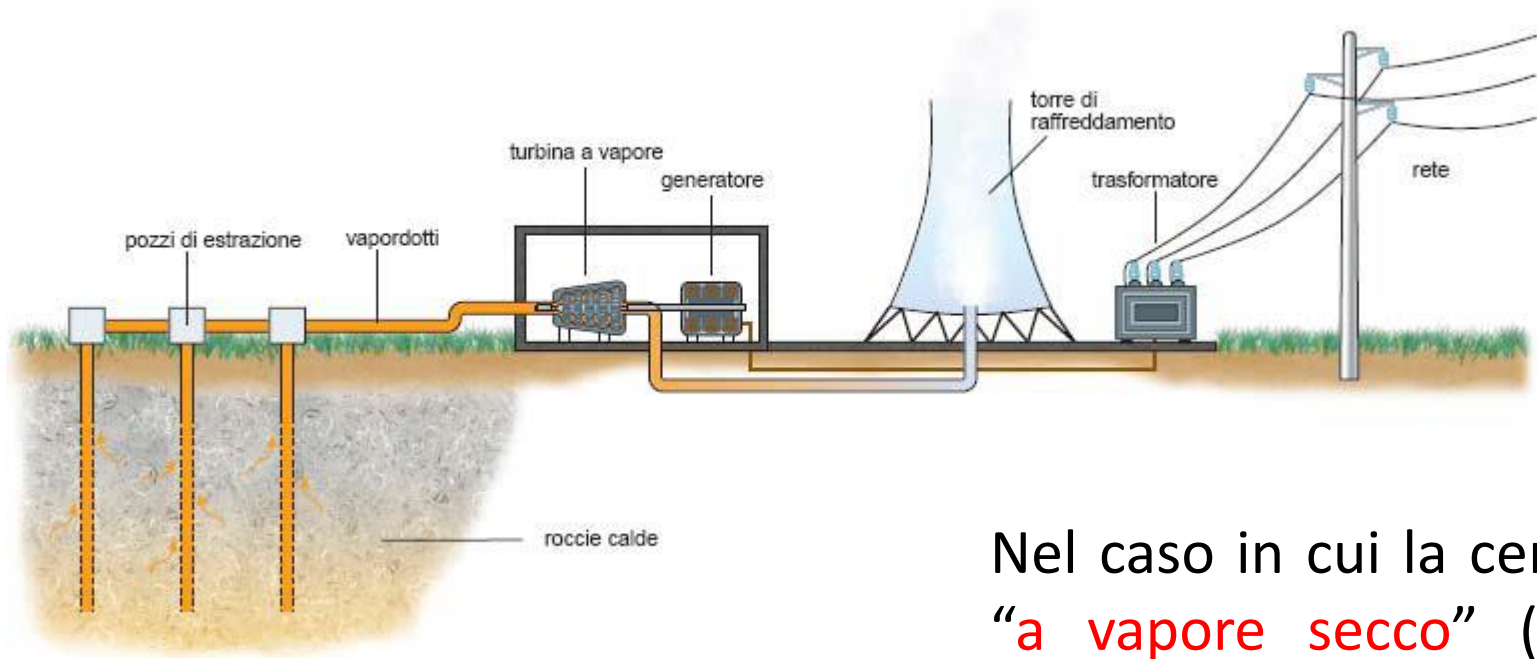
# Impieghi delle risorse geotermiche

## Centrali geotermoelettriche

Oltre agli elementi presenti in una tradizionale centrale termoelettrica, quali: il **generatore di vapore** (fonte energetica), la **turbina**, l'**alternatore** (per la generazione di energia elettrica) ed il **condensatore** (per la condensazione del vapore esausto), sono presenti: gli apparati necessari al **trattamento del fluido naturale** proveniente dal sottosuolo e quelli per **l'estrazione dei gas incondensabili** (soprattutto  $\text{CO}_2$ ) sempre presenti nel vapore



# Impieghi delle risorse geotermiche

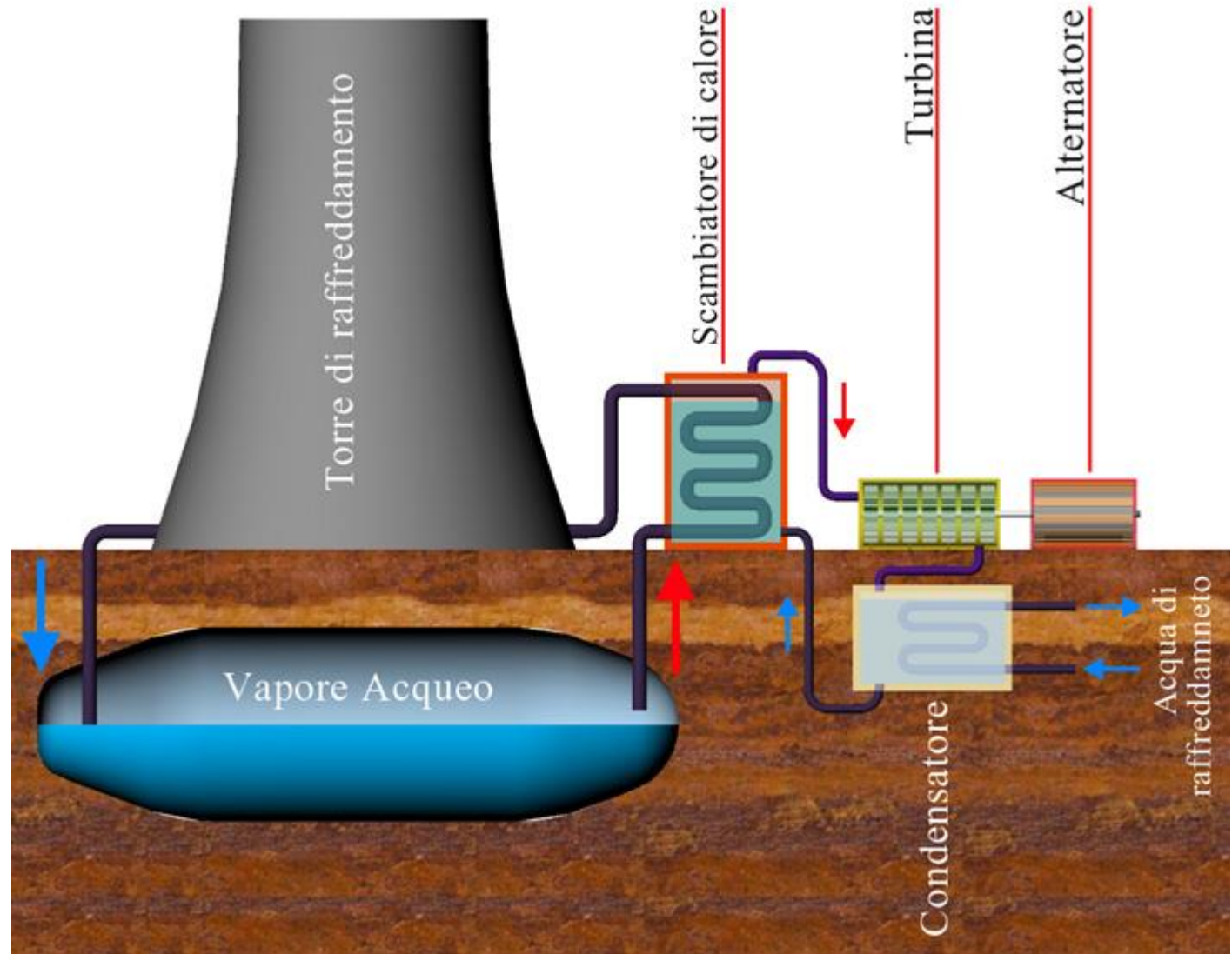


**Impianto a controcompressione:** più semplice, meno costoso, necessario ca. il doppio di vapore per kW/h rispetto ad un impianto a condensazione, usati come impianti pilota o temporanei

Nel caso in cui la centrale sia installata in un campo “a vapore secco” (come quello di Larderello), il vapore è inviato direttamente alla turbina; all’uscita da questa, il vapore esausto viene condensato e depurato dei gas incondensabili, mentre l’acqua di condensa può venir dispersa in superficie o reiniettata nel sottosuolo.

# Impieghi delle risorse geotermiche

Quando invece, si tratta di campi “**ad acqua dominante**”, la miscela acqua/vapore che fuoriesce dal pozzo geotermico, è sottoposta ad un **processo di separazione** dal quale si ottiene il vapore che sarà inviato alla turbina ed un’alta percentuale di acqua (30-80% del totale) che verrà dispersa o reiniettata.



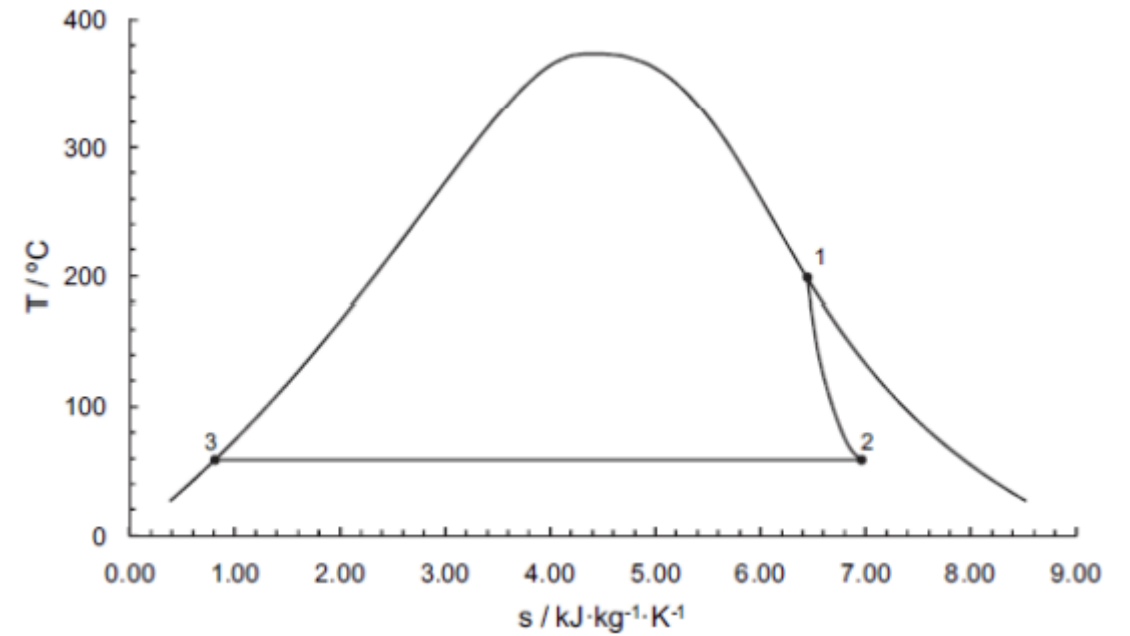
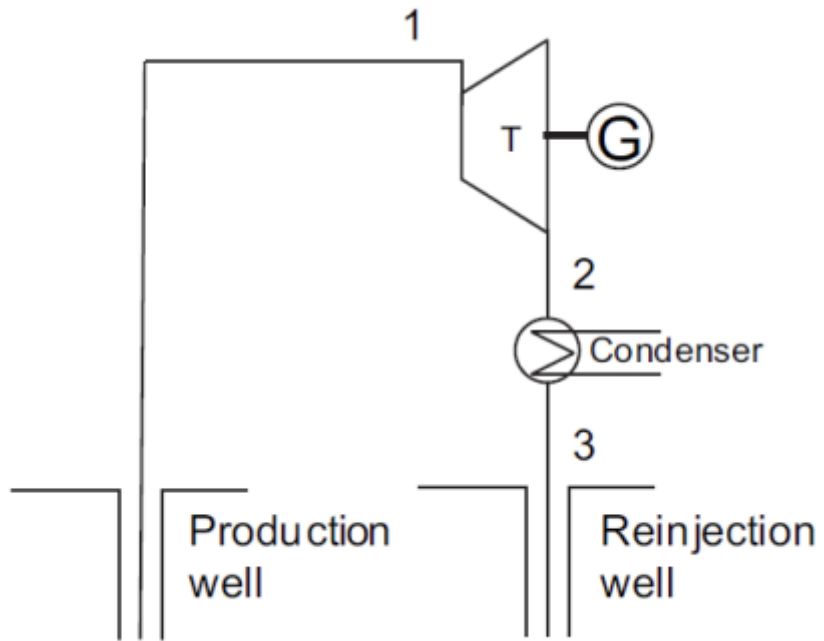
# Impieghi delle risorse geotermiche

Le centrali in uso in geotermia sono di diversi tipi:

a) **Centrale a scarico libero** (a contropressione): il vapore proveniente direttamente dal pozzo o da un separatore (campo ad “acqua dominante”) è inviato alla turbina e dopo la generazione di energia elettrica, viene scaricato in aria a pressione atmosferica; le acque reflue sono reiniettate o disperse in superficie.

b) **Centrale a condensazione**: il vapore esausto che esce dalla turbina, viene inviato ad una “camera di condensazione/depressione” raffreddata da acqua derivante da una torre di raffreddamento o da acque correnti. I gas incondensabili vengono estratti meccanicamente e scaricati all’esterno, mentre i reflui dei condensatori o dei separatori sono incanalati in pozzi di reiniezione o dispersi in superficie.

# Impieghi delle risorse geotermiche



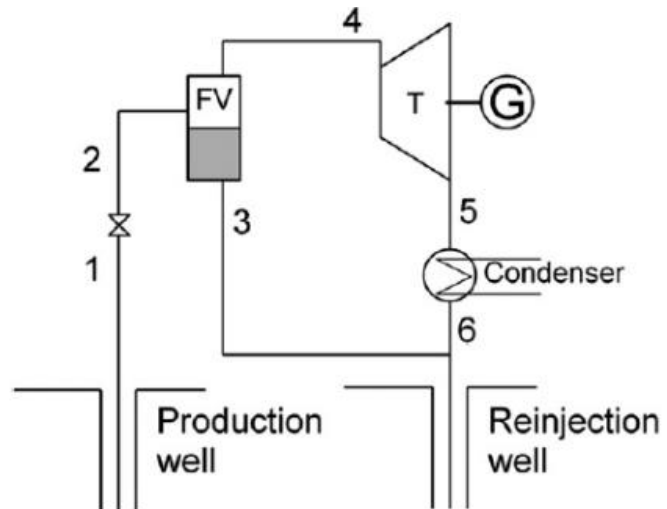
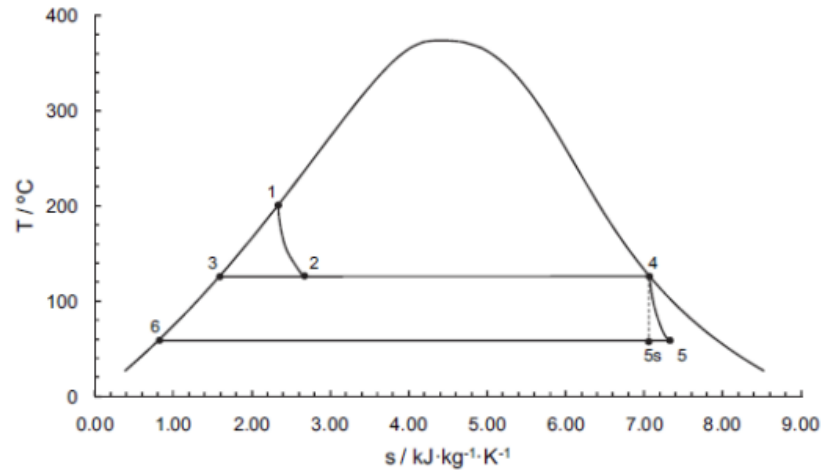
# Impieghi delle risorse geotermiche

c) **Centrale a flash singolo**: usata nei campi “ad acqua dominante”. Il fluido geotermico erogato da un pozzo, viene inviato ad un separatore che riduce la pressione e separa le due fasi acqua/vapore. Il vapore entra poi nella turbina e dopo la generazione di elettricità è condensato ed inviato ai pozzi di reiniezione o smaltito in altro modo.

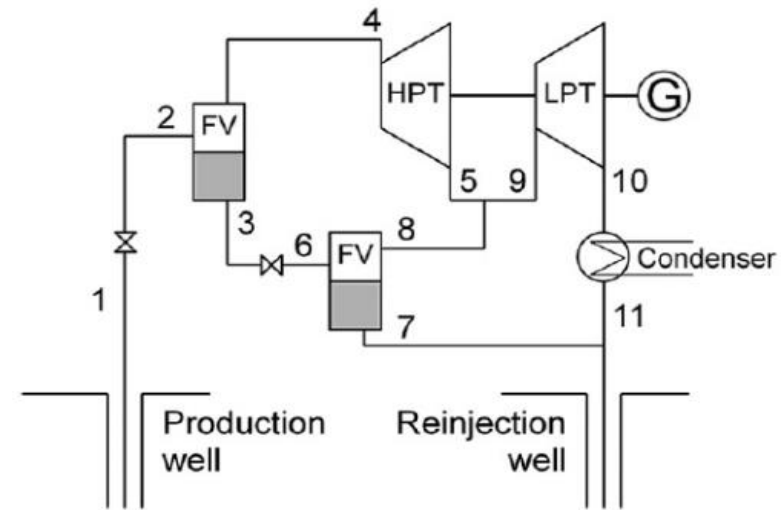
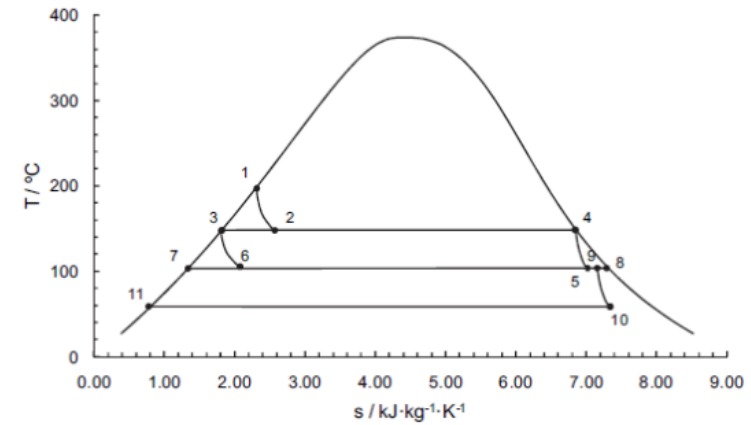
d) **Centrale a doppio flash**, usata nei campi “ad acqua dominante”. Il fluido, proveniente dal pozzo, entra in un primo separatore dove si genera il primo flash di vapore ad alta pressione (a  $160^{\circ}\text{C}$ ). Poi è inviato ad un secondo separatore dove si genera un secondo flash di vapore a bassa pressione (a  $120^{\circ}\text{C}$ ). I flussi di vapore ottenuti, ad alta e bassa pressione, sono inviati a turbine distinte.

# Impieghi delle risorse geotermiche

## Single flash



## Double flash

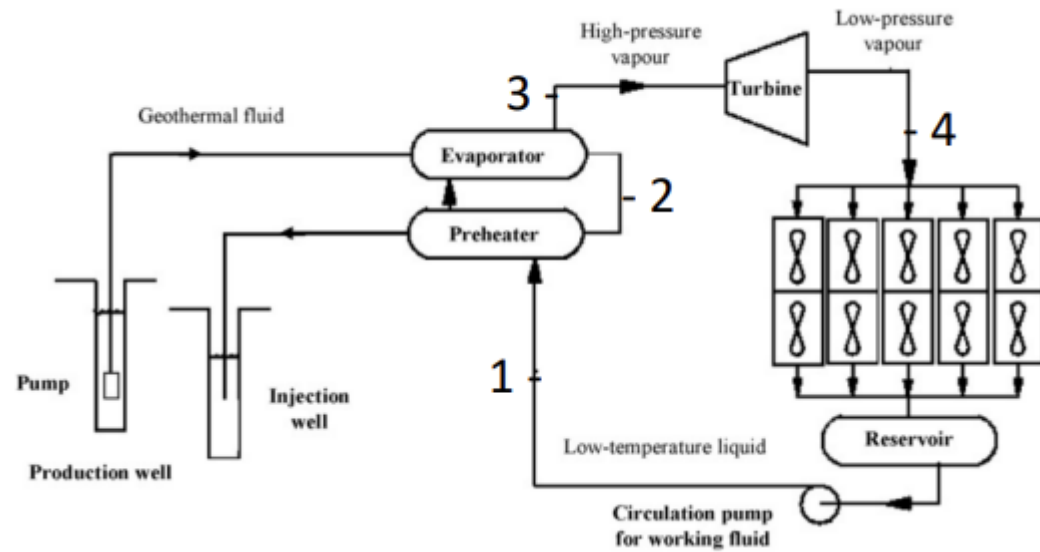




# Impieghi delle risorse geotermiche

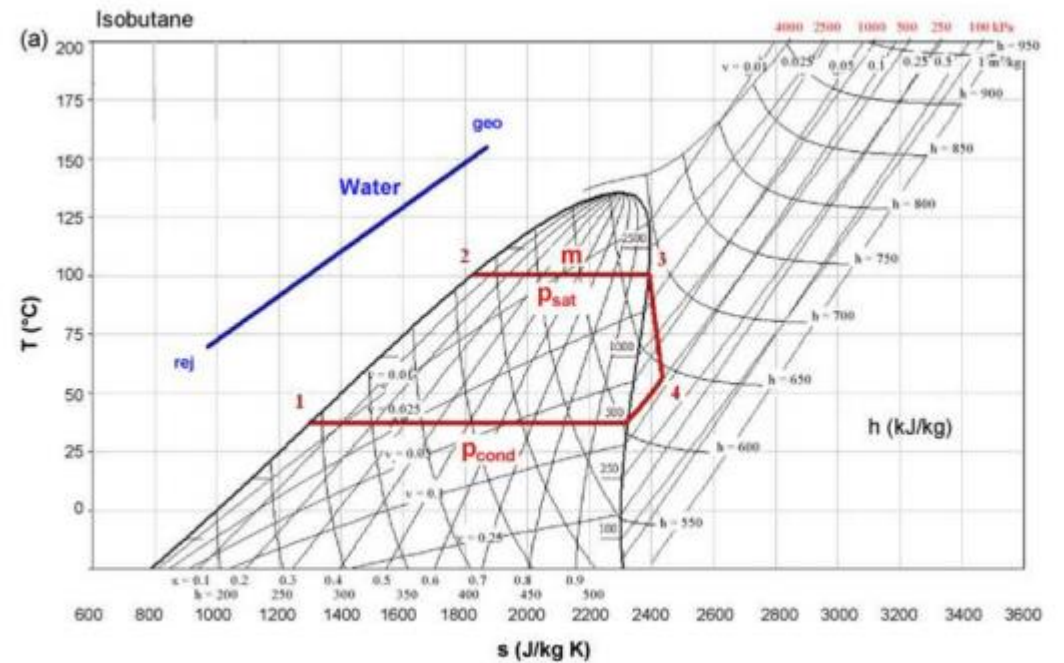
- e) **Centrale a ciclo binario**, usata soprattutto per fluidi a medio-bassa entalpia o per “salamoie” da non lasciare vaporizzare perché incrostanti. Il fluido geotermico è inviato, in pressione, ad uno scambiatore dove cede il calore ad un fluido di lavoro (freon, cloruro d’etile). Successivamente i reflui geotermici vengono reiniettati nell’acquifero; il vapore del fluido secondario, dopo esser passato alla turbina, viene condensato e ritorna allo scambiatore per vaporizzare nuovamente.
- f) **Centrale a flusso totale**, funziona col fluido bifase (miscela acqua/vapore e gas associati) direttamente erogato dal pozzo. Dopo la generazione di energia elettrica il fluido è condensato e reiniettato nell’acquifero.
- g) **Minicentrale a condensazione**, centrale a condensazione di potenza limitata che utilizza fluidi a temperatura anche inferiore ai 100°C.

# Impieghi delle risorse geotermiche



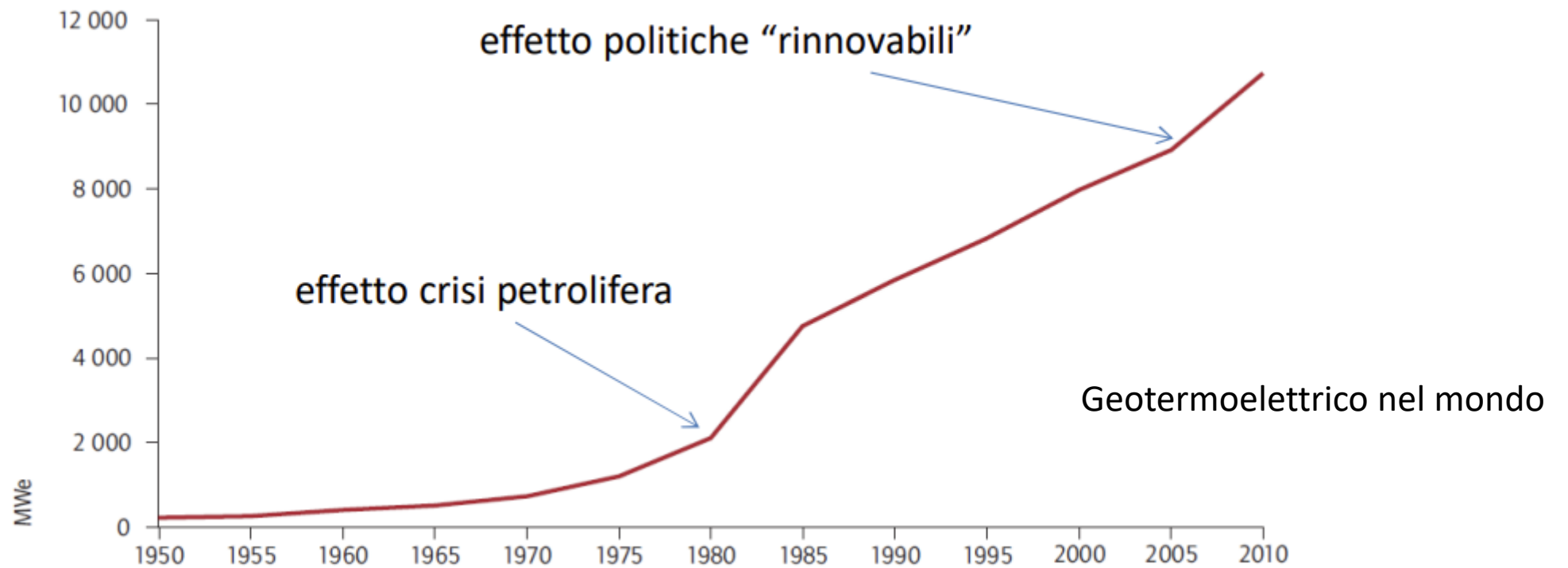
Binary power plant

Dry cooler



# Impieghi delle risorse geotermiche

L'efficienza elettrica varia dal 10 % al 17 %, questa **bassa** efficienza è dovuta al fatto che la temperatura massima del ciclo è bassa (generalmente inferiore a 250 °C).



# Impieghi delle risorse geotermiche

Inoltre il vapore geotermico non è vapore d'acqua puro, ma contiene **gas incondensabili** (anidride carbonica, acido solfidrico, ammoniaca, metano, azoto ed idrogeno) che devono essere estratti dal condensatore dell'impianto mediante più stadi di compressione. Questi gas (presenti generalmente fino al 5 % del vapore in massa) riducono l'efficienza di generazione.

Generalmente impianti che utilizzano direttamente il vapore richiedono 6 kg/kWh, mentre gli impianti binari che utilizzano acqua (85-150 °C) richiedono 400 kg/kWh.

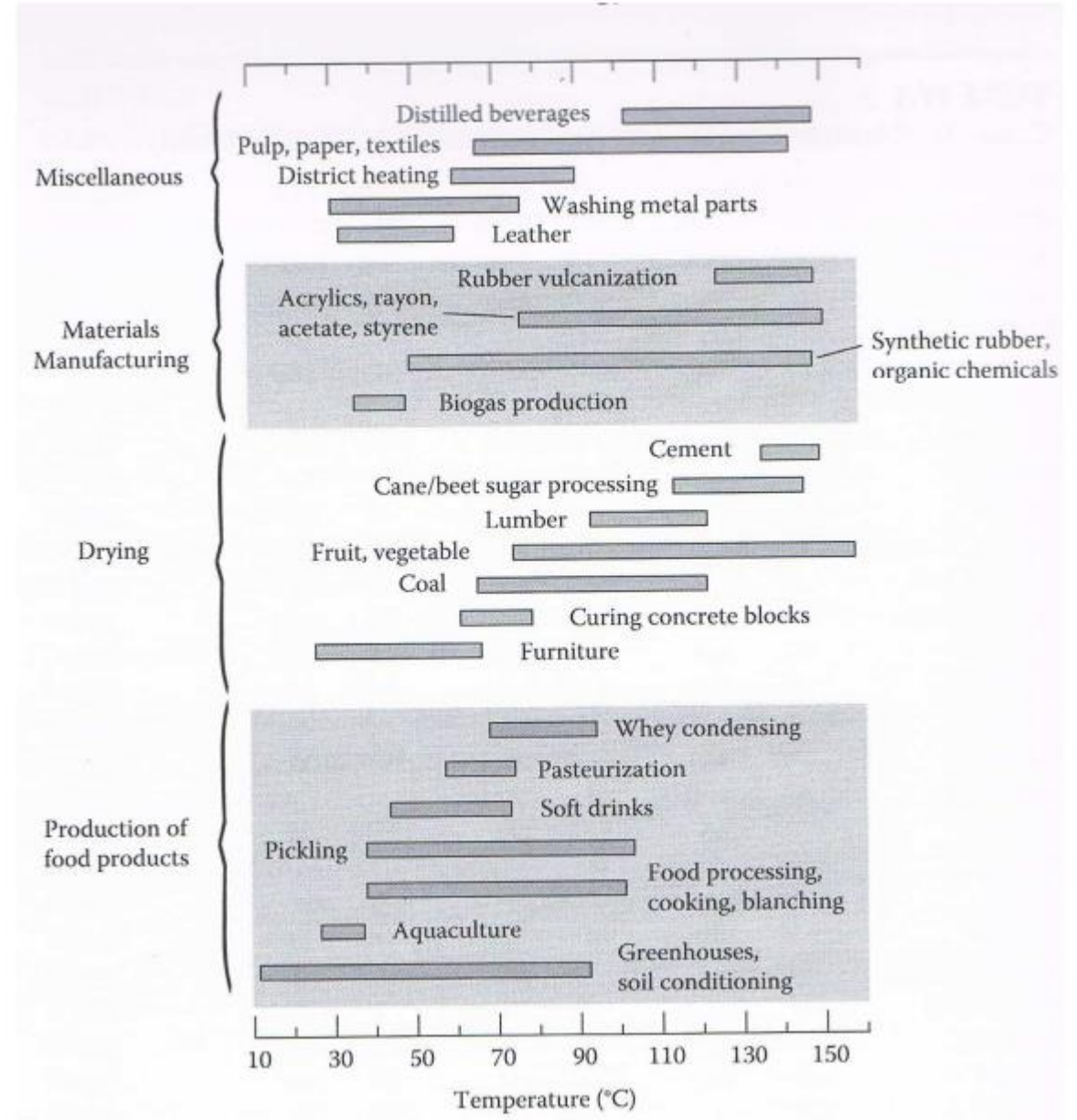


# Impieghi delle risorse geotermiche

## Utilizzo diretto del calore geotermico

Il riscaldamento urbano e di ambienti, gli usi agricoli, l'acquacoltura, l'impiego in allevamenti e gli impieghi industriali sono le utilizzazioni meglio conosciute e più diffuse.

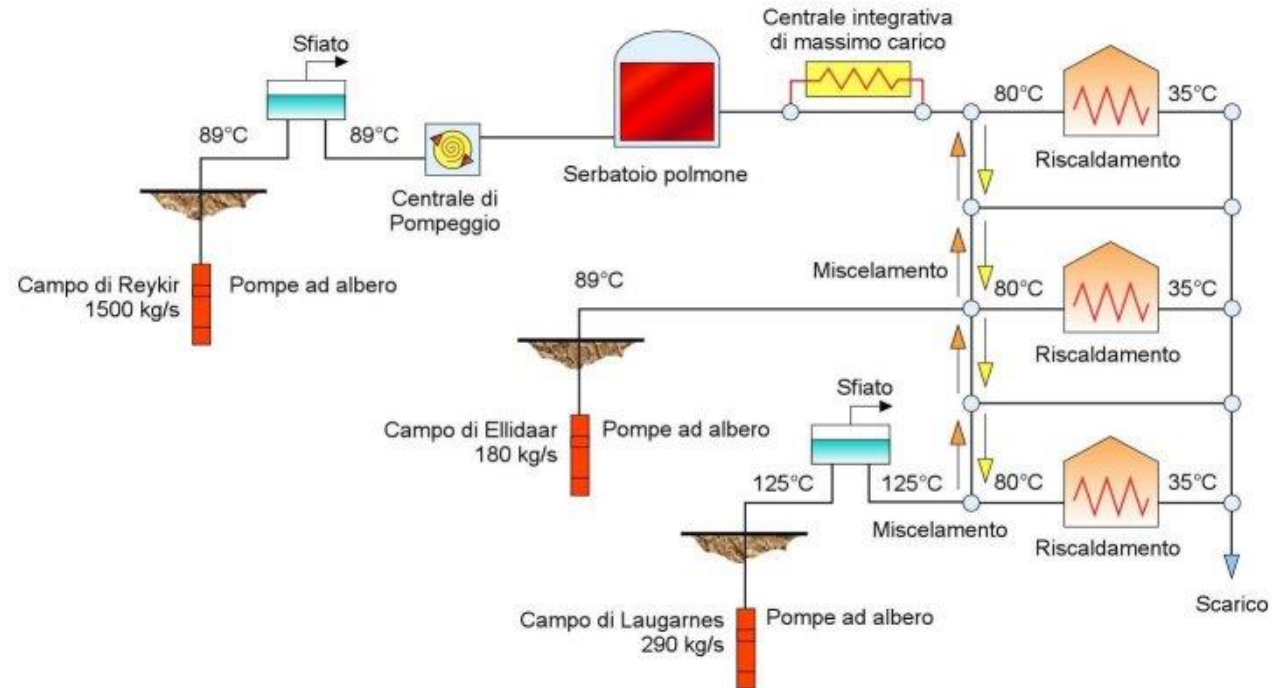
A seconda della tipologia di impiego diverse temperature sono richieste.



# Impieghi delle risorse geotermiche

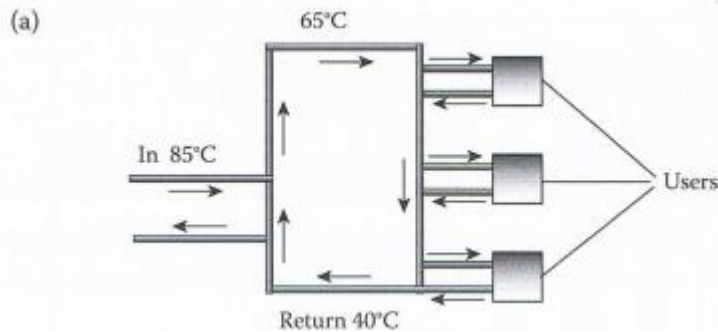
In Islanda è stato fatto un largo utilizzo diretto del calore per il **riscaldamento urbano**, dove, per l'abbondanza dei fluidi caldi disponibili, il 97% della popolazione della capitale è servita da riscaldamento geotermico urbano.

Analoga situazione si ha anche in Francia, paese poco geotermico, negli Stati Uniti, in Cina ed in Giappone. In Italia le realizzazioni più importanti sono quelle di Ferrara, Vicenza, Castelnuovo Val di Cecina, Acqui, Bagno di Romagna e Grosseto.

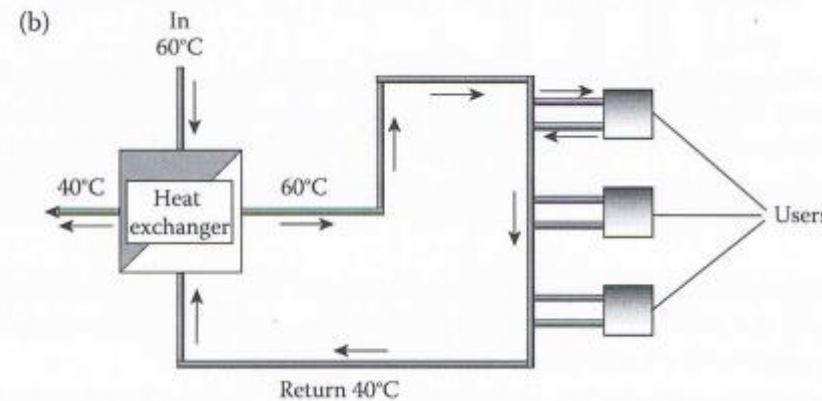


# Impieghi delle risorse geotermiche

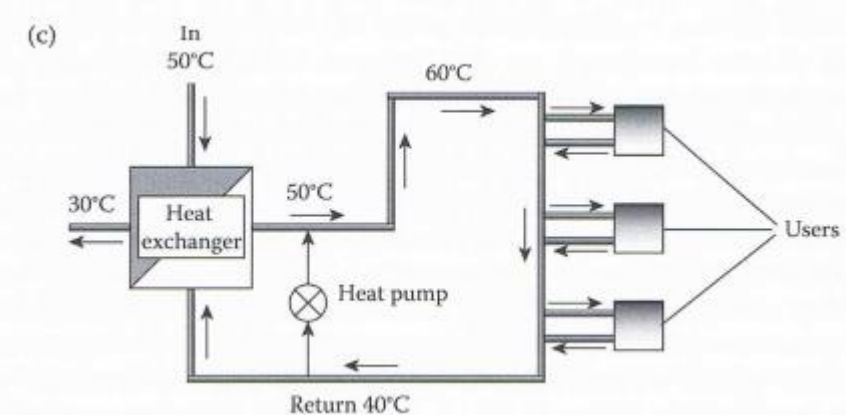
Gli stati leader nell'utilizzo del **teleriscaldamento** sono Islanda, Cina, Turchia e Russia, mentre Turchia, Italia, Stati Uniti, Giappone e Georgia sono i maggiori fruitori della geotermia per il **riscaldamento diretto di ambienti**.



Sistemi ad **alta temperatura e alte portate**: il fluido geotermico è direttamente mandato alle utenze dopo miscelamento con l'acqua di ritorno.



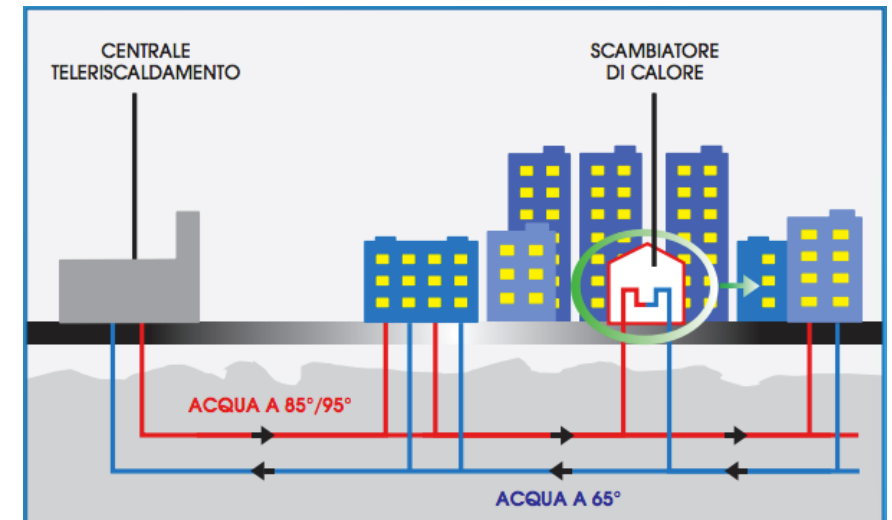
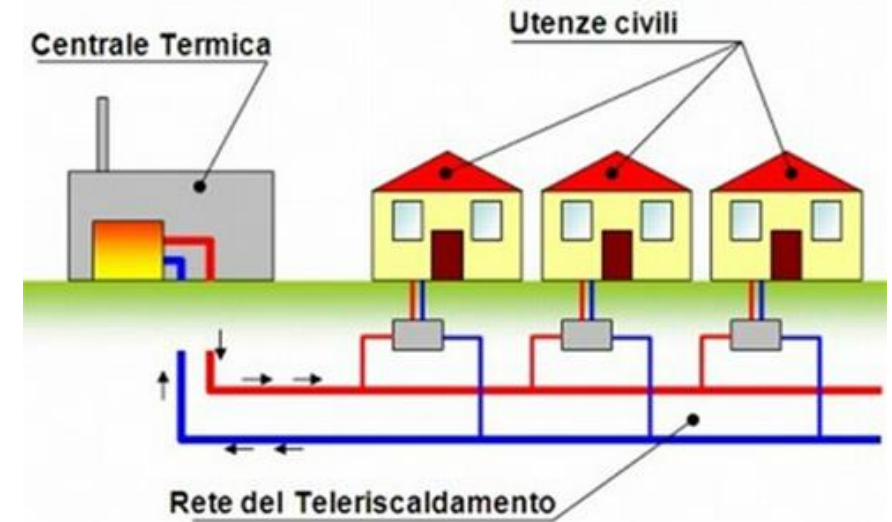
Sistemi a **temperatura moderata**: il fluido geotermico è mandato ad uno scambiatore che alimenta un circuito chiuso delle utenze.



Sistemi a **temperatura bassa**: il fluido geotermico è mandato ad uno scambiatore che alimenta un circuito chiuso delle utenze, il calore è integrato dal calore estratto dal fluido di ritorno tramite pompa di calore.

# Impieghi delle risorse geotermiche

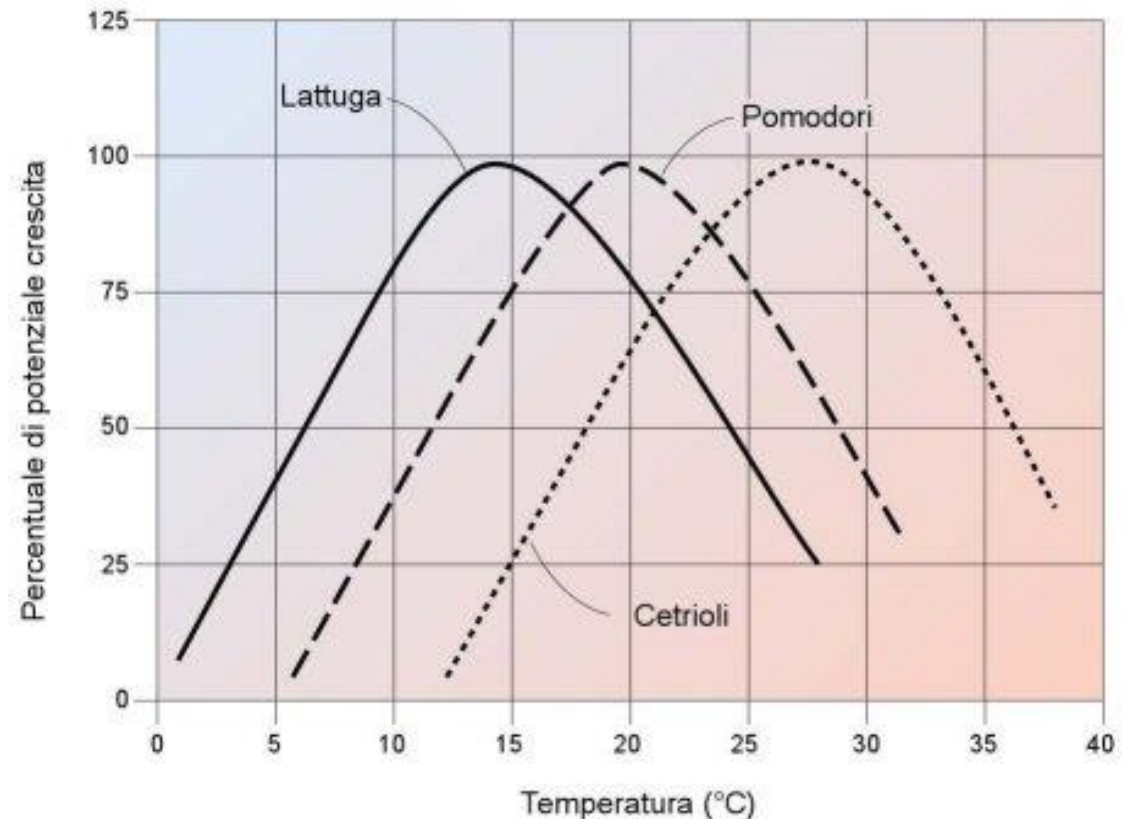
Un impianto di **teleriscaldamento** può provvedere anche alla fornitura di acqua calda sanitaria; se le acque geotermiche sono dolci, come nel caso di Vicenza, possono essere distribuite direttamente agli utenti, se invece, sono salate, come a Ferrara, si provvede immettendo nella rete sanitaria una parte dell'acqua di acquedotto circolante nello scambiatore di calore.





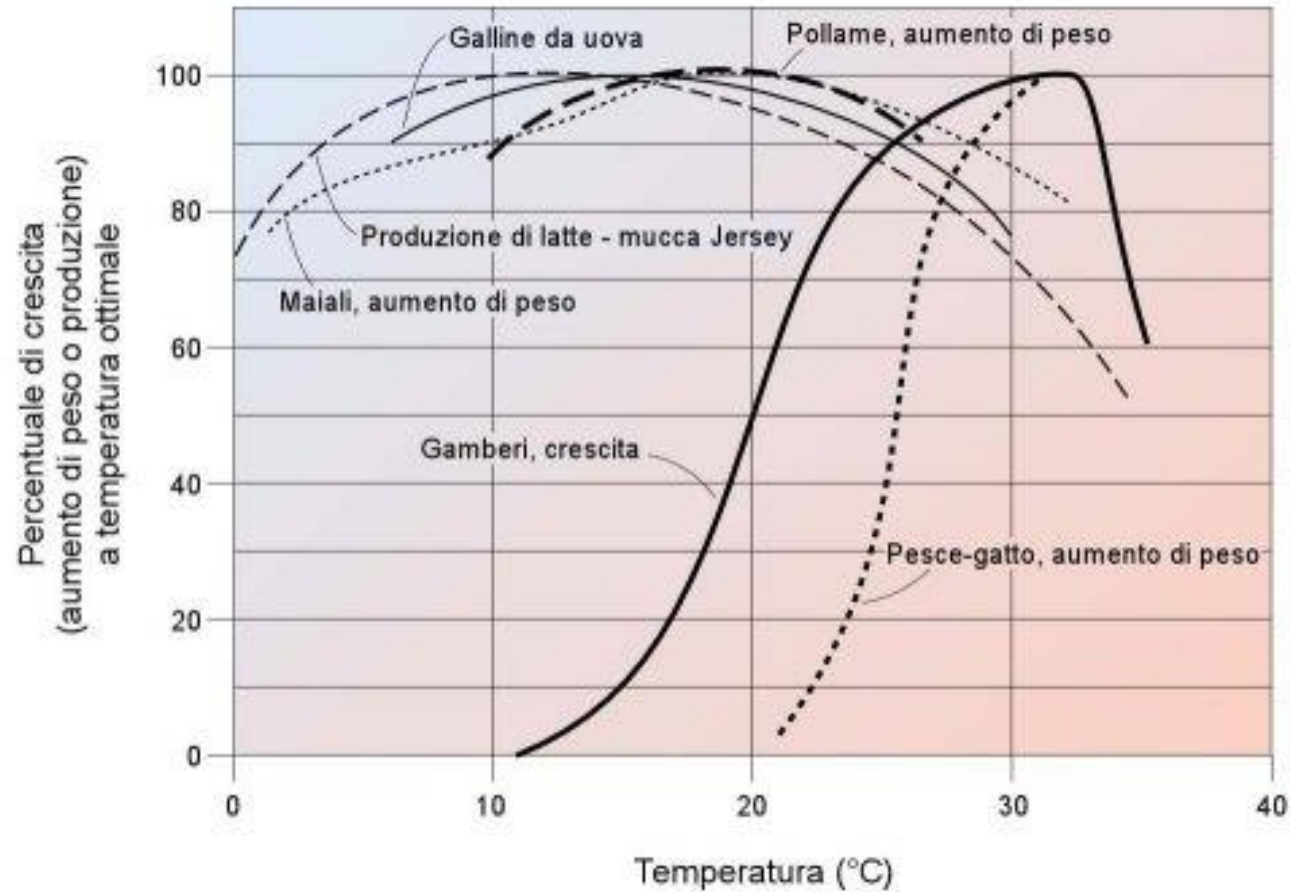
# Impieghi delle risorse geotermiche

Gli **usi agricoli** dei fluidi geotermici comprendono l'agricoltura a cielo aperto ed il riscaldamento di serre. L'acqua calda può essere usata nell'agricoltura a cielo aperto per irrigare e/o riscaldare il suolo. La composizione chimica delle acque geotermiche usate per l'irrigazione deve essere sempre controllata attentamente per evitare effetti dannosi sulle piante.



# Impieghi delle risorse geotermiche

In molti casi le acque geotermiche possono essere sfruttate convenientemente combinando **l'allevamento di animali** con il riscaldamento di serre. L'energia richiesta per riscaldare un impianto di allevamento è circa il 50% di quella necessaria ad una serra della stessa superficie, rendendo possibile la costruzione di un sistema a cascata. L'allevamento **a temperatura controllata** migliora le condizioni sanitarie degli animali; inoltre, i fluidi caldi possono essere utilizzati per pulire, sterilizzare e deumidificare gli ambienti e per trattare i rifiuti (Barbier e Fanelli, 1977).



# Impieghi delle risorse geotermiche

Negli anni '60, l'energia geotermica era ancora considerata un'energia 'pulita'. In realtà, **non c'è modo di produrre o trasformare energia in una forma utilizzabile dall'uomo senza causare un impatto**, diretto od indiretto, sull'**ambiente**.

Lo sfruttamento dell'energia geotermica produce un impatto sull'ambiente, anche se si può dire che questa forma di energia è una delle meno inquinanti.

**Efficienza**, tempo di vita e **inquinamento** sono gli aspetti da tenere in conto quanto si costruiscono centrali che sfruttano l'energia geotermica

Potenziale impatto sull'ambiente degli usi diretti dell'energia geotermica		
Impatto	Probabilità	Intensità
Inquinamento <b>atmosferico</b>	B	M
Inquinamento delle <b>acque</b> superficiali	M	M
Inquinamento delle acque sotterranee	B	M
<b>Subsidenza</b>	B	B-M
Inquinamento <b>acustico</b>	E	B-M
Esplosione di pozzi	B	B-M
<b>Danni all'ambiente</b> culturale o archeologico	B-M	M-E
Problemi socio-economici	B	B
Inquinamento <b>chimico</b> o <b>termico</b>	B	M-E
Produzione di <b>residui</b> solidi	M	M-E
B = Bassa; M = Moderata; E = Elevata		
(Lunis e Breckenridge, 1991)		

# Impieghi delle risorse geotermiche

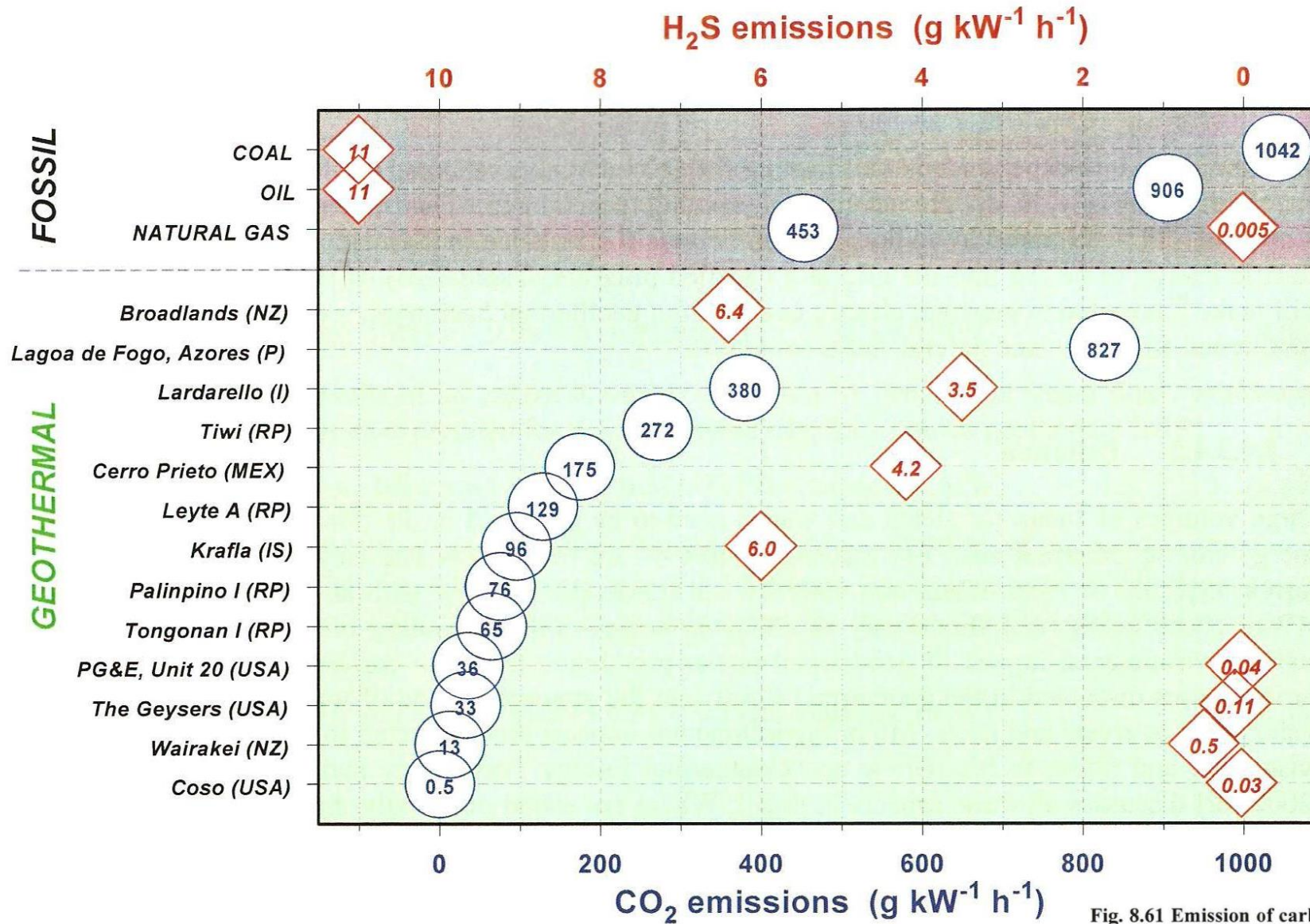


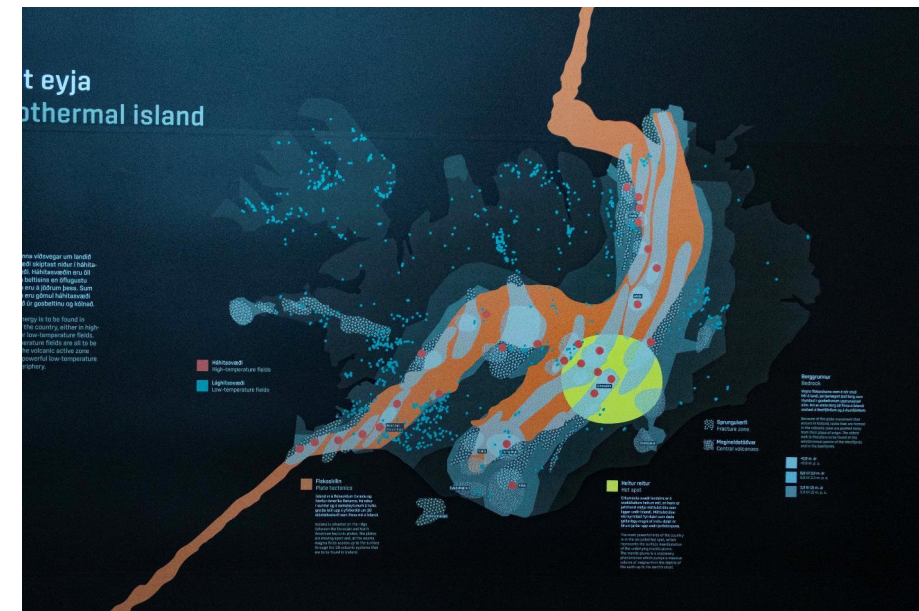
Fig. 8.61 Emission of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) per kW h produced electric energy reported for geothermal power plants in Asia, Europe, North America and typical fossil power plants (I: Italy, IS: Iceland, MEX: Mexico, NZ: New Zealand, P: Portugal, RP: The Philippines; data: [1997Bar; 1998Ren; 2002Bar]).

# La centrale geotermica di Reykjavík

# La centrale geotermica di Reykjavík

L'Islanda è una delle aree vulcaniche più attive del pianeta. L'isola è situata sulla **dorsale oceanica medio-atlantica**, che è un confine di placca divergente dove le placche tettoniche eurasiatiche e nordamericane si allontanano rispettivamente a ovest e ad est a una velocità di circa 2 cm all'anno. Tuttavia, in Islanda esiste un'altra fonte di magma non collegata all'attività del confine della placca. Quella sorgente è un **plume di mantello** molto attivo situato sotto il centro dell'isola. L'attività combinata del confine della placca e del plume del mantello provoca numerosi **terremoti e un'elevata attività vulcanica**. In Islanda si verifica in media un'eruzione ogni quattro anni.

La maggior parte dei vulcani attivi si trova all'interno del confine della placca o in prossimità del centro del plume, dove il **substrato roccioso è il più giovane e il più caldo**. Le acque sotterranee che scorrono attraverso strati caldi di roccia si riscaldano, determinando **aree geotermiche**.



# La centrale geotermica di Reykjavík

Le aree geotermiche (la posizione delle quali è il risultato dell'età e della temperatura del substrato roccioso) sono classificate, in base alla temperatura dell'acqua nel substrato roccioso, in **aree ad alta o bassa temperatura**. Al centro dell'isola il magma scorre verso la superficie, all'interno del confine della placca stessa. Nelle regioni più orientali e più occidentali il substrato roccioso è più antico e più freddo. Il più antico substrato roccioso trovato sulla terraferma si trova nei fiordi occidentali, con circa 16 milioni di anni.

La produzione nelle aree ad **alta temperatura** si concentra sull'utilizzo del **vapore per produrre elettricità**, mentre nelle aree **a bassa temperatura l'acqua calda** geotermica può essere utilizzata per il **riscaldamento degli ambienti**. Circa il 90% delle persone che vivono in Islanda utilizza l'energia geotermica a tale scopo. Otto centrali geotermiche in Islanda producono il 30% dell'elettricità del Paese mentre il 70% proviene da centrali idroelettriche. L'Islanda produce quindi un'elettricità rinnovabile al 100%.



# La centrale geotermica di Reykjavík

## Flekaskilinn Plate tectonics

Ísland er á flekaskilum Evrasíu og Norður-Ameríku flekanna. Þá rekur í sundur og á samskeytunum á kvika greiða leið upp á yfirborðið um 30 eldstöðvakerfi sem finna má á Íslandi.

Iceland is situated on the ridge between the Eurasian and North American tectonic plates. The plates are moving apart and, at the seams, magma finds access up to the surface through the 30 volcanic systems that are to be found in Iceland.

## Heitur reitur Hot spot

Orkumesta svæði landsins er á svokölluðum heitum reit, en hann er jafnframt miðja möttulstróks sem liggur undir Íslandi. Möttulstrókar eru kyrrstæð fyrirbæri sem dæla gríðarlegu magni af kviku djúpt úr lörum jarðar upp undir jarðskorpuna.

The most powerful area of the country is in the so-called hot spot, which represents the surface manifestation of the underlying mantle plume. The mantle plume is a stationary phenomenon which pumps a massive volume of magma from the depths of the earth up to the earth's crust.

al island

Háhitasvæði  
High-temperature fields

Lághitasvæði  
Low-temperature fields

Flekaskilinn  
Plate tectonics

Ísland er á flekaskilum Evrasíu og Norður-Ameríku flekanna. Þá rekur í sundur og á samskeytunum á kvika greiða leið upp á yfirborðið um 30 eldstöðvakerfi sem finna má á Íslandi.

Iceland is situated on the ridge between the Eurasian and North American tectonic plates. The plates are moving apart and, at the seams, magma finds access up to the surface through the 30 volcanic systems that are to be found in Iceland.

Heitur reitur  
Hot spot

Orkumesta svæði landsins er á svokölluðum heitum reit, en hann er jafnframt miðja möttulstróks sem liggur undir Íslandi. Möttulstrókar eru kyrrstæð fyrirbæri sem dæla gríðarlegu magni af kviku djúpt úr lörum jarðar upp undir jarðskorpuna.

The most powerful area of the country is in the so-called hot spot, which represents the surface manifestation of the underlying mantle plume. The mantle plume is a stationary phenomenon which pumps a massive volume of magma from the depths of the earth up to the earth's crust.

Háhitasvæði  
High-temperature fields

Lághitasvæði  
Low-temperature fields

Sprungukerfi  
Fracture zone

Megineldstöðvar  
Central volcanoes

Berggrunnur  
Bedrock

Vegna flekareksins sem á sér stað hér á landi, þá fjarlægist það berg sem myndast í gosbeltunum upprunastað sinn. Því er elsta berg að finna á Íslandi vestast á Vestfjörðum og á Austfjörðum.

Because of the plate movement that occurs in Iceland, rocks that are formed in the volcanic zone are pushed away from their place of origin. The oldest rock is therefore to be found at the westernmost points of the Westfjords and in the Eastfjords.

Berggrunnur  
Bedrock

Vegna flekareksins sem hér á landi, þá fjarlægist það berg sem myndast í gosbeltunum upprunastað sinn. Því er elsta berg að finna á Íslandi vestast á Vestfjörðum og á Austfjörðum.

Because of the plate movement that occurs in Iceland, rocks that are formed in the volcanic zone are pushed away from their place of origin. The oldest rock is therefore to be found at the westernmost points of the Westfjords and in the Eastfjords.

<0,8 m. ár  
<0,8 m. p. a.

0,8 til 3,3 m. ár  
0,8 til 3,3 m. p. a.

3,3 til 15 m. ár  
3,3 til 15 m. p. a.

<0,8 m. ár  
<0,8 m. p. a.

0,8 til 3,3 m. ár  
0,8 til 3,3 m. p. a.

3,3 til 15 m. ár  
3,3 til 15 m. p. a.



# La centrale geotermica di Reykjavík

Centrale geotermica di Hellisheiði

Google Play

geothermal

App e giochi Film Libri

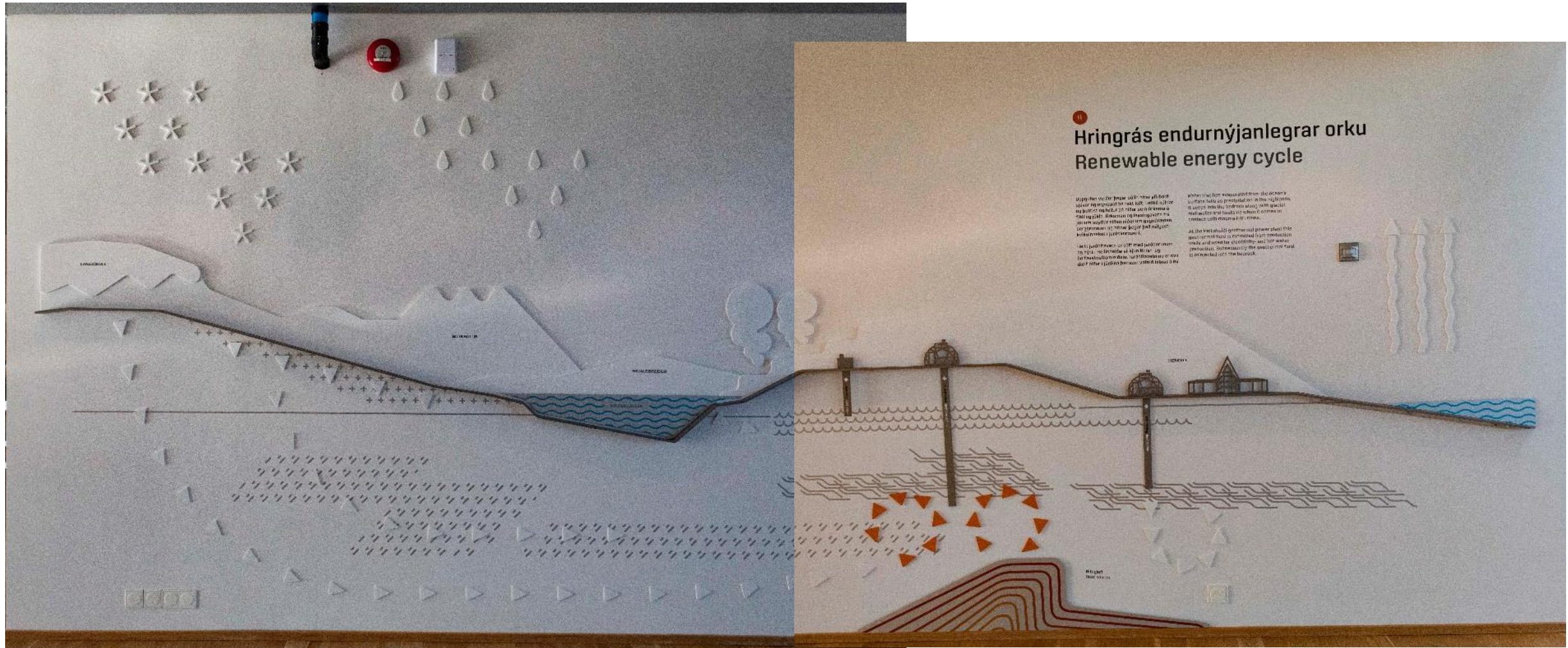
Informazioni su questi risultati  
App



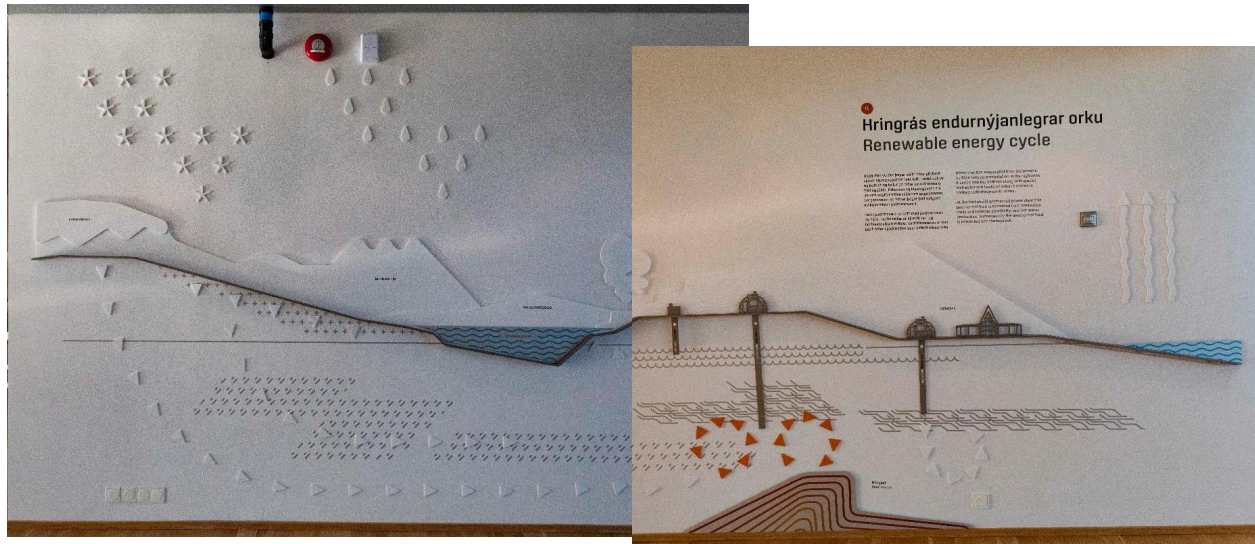
on Geothermal Exhibition  
Locatify



# La centrale geotermica di Reykjavík



# La centrale geotermica di Reykjavík

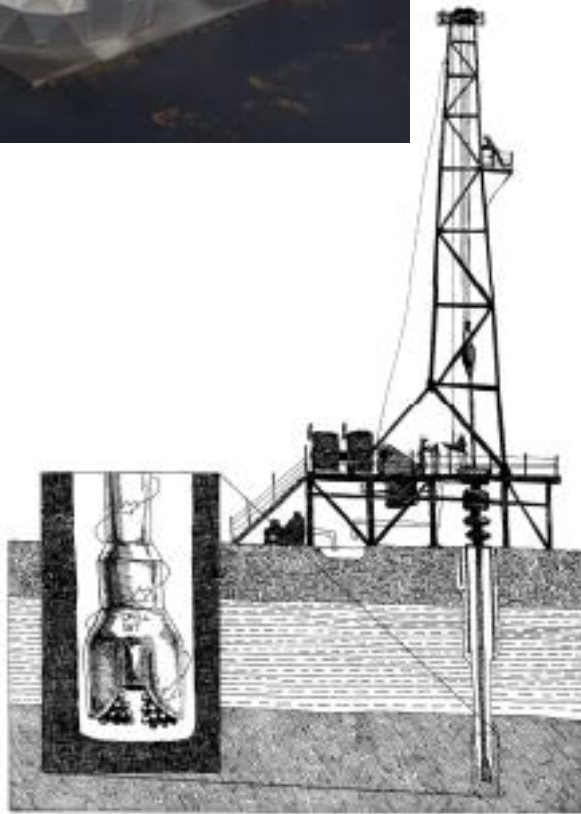
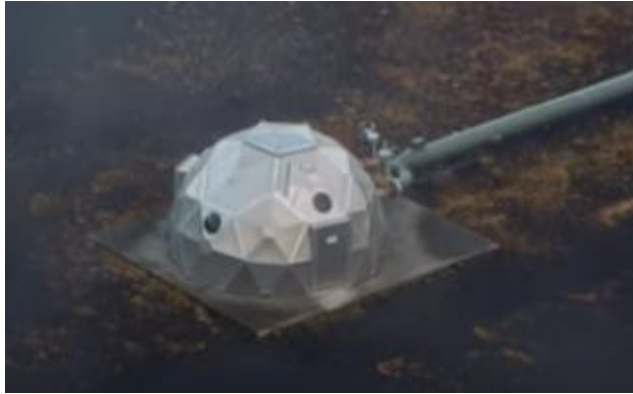


All'interno dell'area di produzione sono presenti **tre diverse tipologie di pozzi, profondi 1.5-3.0 km** che consentono al fluido geotermico di risalire verso la superficie per differenza di pressione. I **pozzi d'acqua dolce sono profondi circa 100-300 m** e forniscono acqua fredda proveniente dalle precipitazioni locali.

I **pozzi di reiniezione** restituiscono il fluido geotermico nel giacimento e sono profondi al **massimo 2.0 km**.

Nella centrale geotermica di Hellisheiði questo fluido geotermico viene estratto dai pozzi di produzione e utilizzato per la produzione di elettricità e acqua calda. Il vapore viene separato dal fluido e inviato alle turbine per produrre elettricità.

# La centrale geotermica di Reykjavík

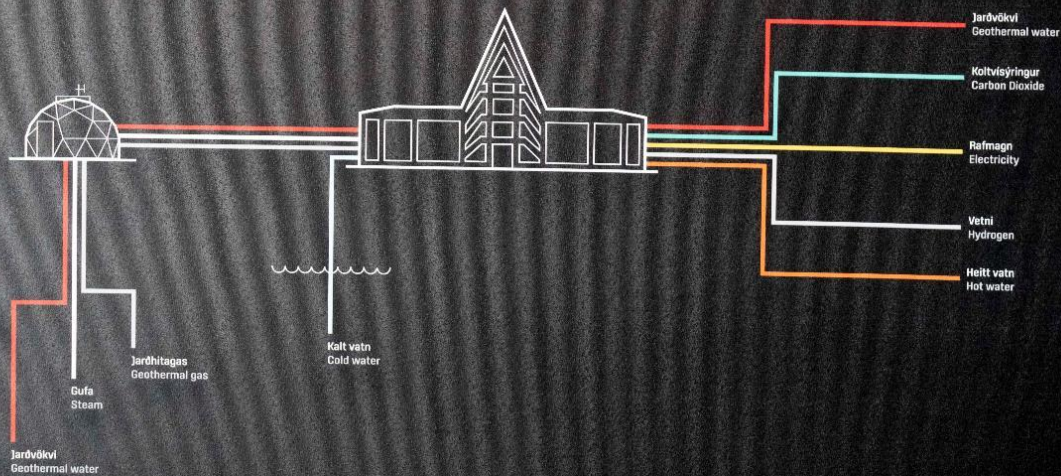


# La centrale geotermica di Reykjavík



# La centrale geotermica di Reykjavík

Geothermal Park encompasses a wide range of operations, which aim to utilize the resources of the Hellisheidi Power Plant in the best way possible, benefit the environment and create value.



Il fluido geotermico estratto è troppo ricco chimicamente per essere utilizzato direttamente per il teleriscaldamento, pertanto viene utilizzato un metodo chiamato scambio di calore. L'acqua dolce e il fluido geotermico caldo fluiscono attraverso tubi paralleli in uno scambiatore di calore, determinando il riscaldamento dell'acqua dolce fino a 86°C.

## Heitavatsframleiðsla Hot water production

Í heitavatsframleiðslu virkjunarinnar er kalt vatn hitað upp í 80° C með hjálp jarðhitans.

In the hot water production of the power plant, cold water is heated to 80° C with the help of geothermal energy.

## Rafmagnsframleiðsla Electricity production

Rafmagn er framleitt með því að láta 300° C heita gufu úr jarðhitasvæðinu knýja hverfil sem tengdur er við rafala.

Electricity is produced by allowing 300° C steam from the geothermal production fields to power a turbine that is connected to a generator.

## Fullnýting Maximum utilisation

Við hönnun virkjunarinnar var lögð mikil áhersla á umhverfisvæna vinnslu og að nýting orkunnar yrði sem allra best.

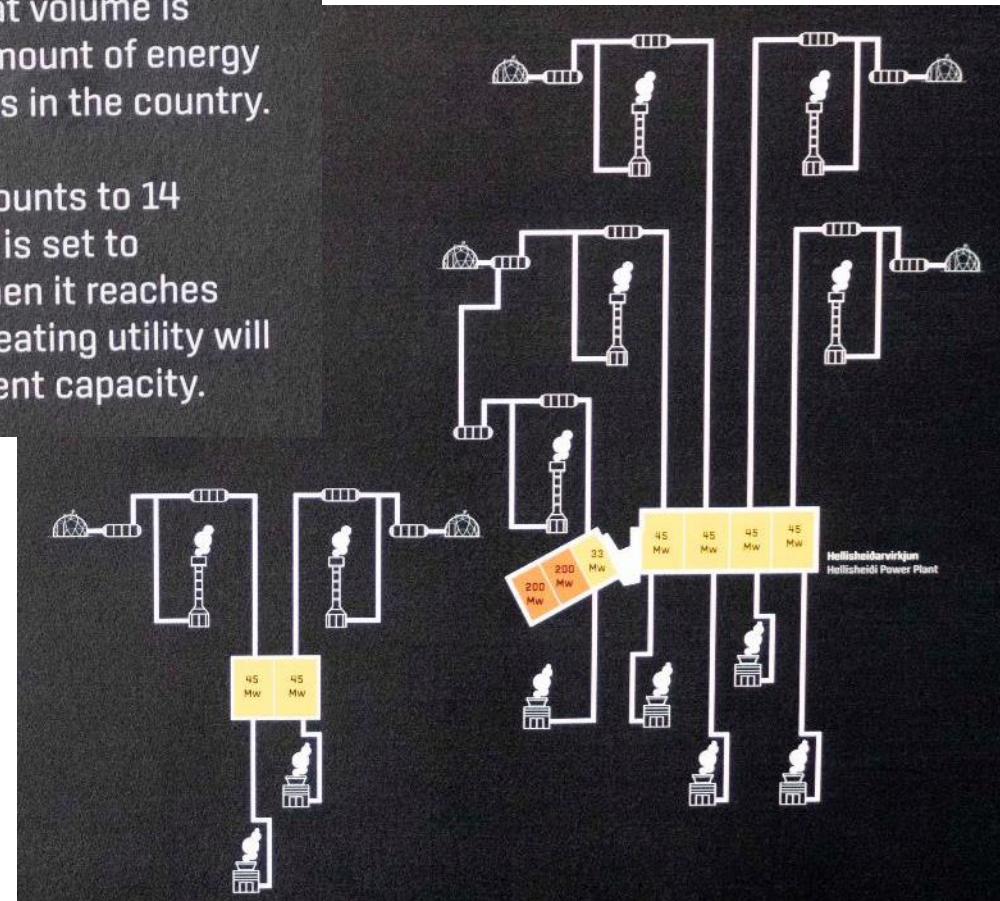
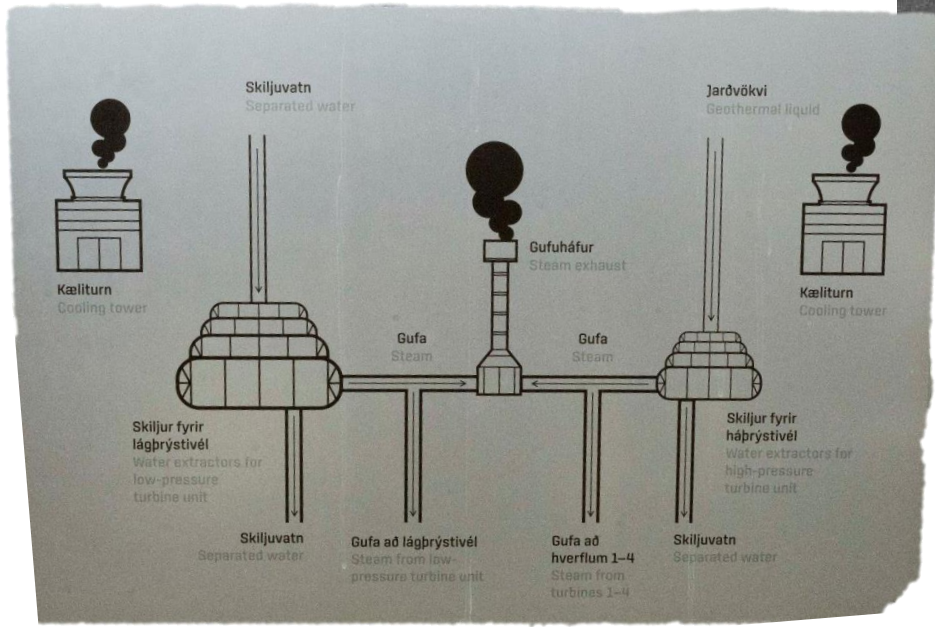
In designing the power plant, a great deal of emphasis was placed on eco-friendly production and the best possible utilisation of energy.

# La centrale geotermica di Reykjavík

La centrale geotermica di Hellisheiði ha **sette turbine**, sei turbine ad alta pressione di Mitsubishi e una turbina a bassa pressione di Toshiba.

The Hellisheiði Geothermal Power Plant comprise seven turbine units which produce over 2,300 gigawatt hours of electricity per annum. That volume is almost three times the amount of energy used by all the households in the country.

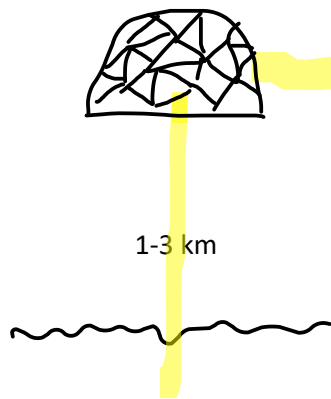
Hot water production amounts to 14 million tonnes a year and is set to increase even further. When it reaches its full size, the district heating utility will have three times its current capacity.



# La centrale geotermica di Reykjavík

## La produzione di elettricità

**Borehole** – The production process starts with boreholes drilled for hot geothermal fluid which stores immense energy



**Steam separator** – From the borehole the geothermal fluid is passed into the steam separator, which separates the steam from the water



steam

**Water extractor** – In the water extractor there are drops that have condensed from the separated steam



Separated water

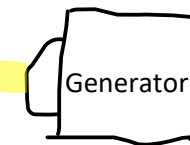


**Steam hood** – The pressure in the production process is controlled with this steam hood



**Turbine units** – Each turbine unit comprises a turbine and a generator. The steam powers the turbine which spins the generator which then produces electricity

Electricity



**Electricity** – Generators in the turbine units produce electricity by spinning magnets inside a large coil which generates an electric current

**Condensers** – The condenser condenses the steam which cools when cold water flows into it



**Cooling towers** – The cooling tower cools the heated water again, which once more runs into the condenser

**Underground cables** – The electricity is transported through underground cables to transformer plants and from these to populated areas



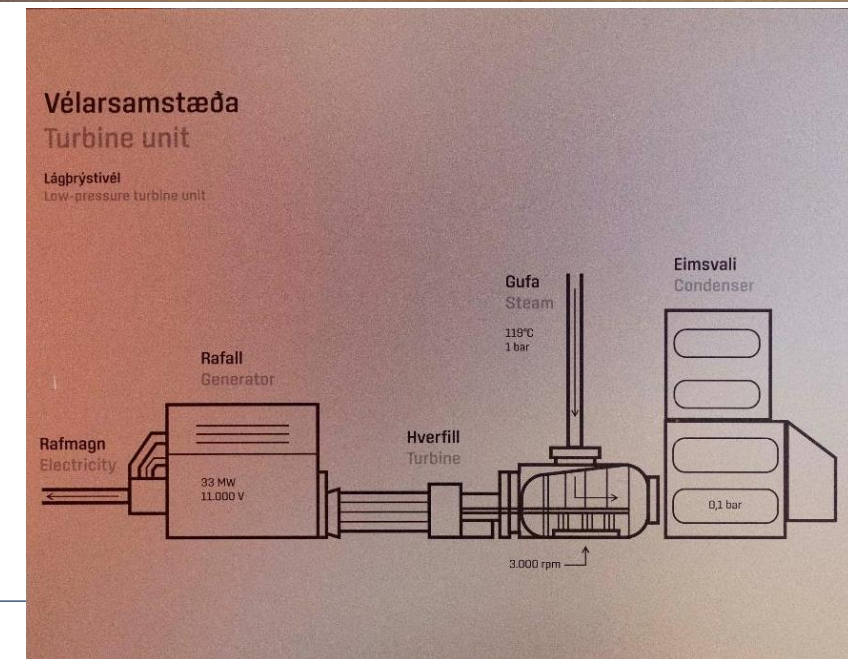
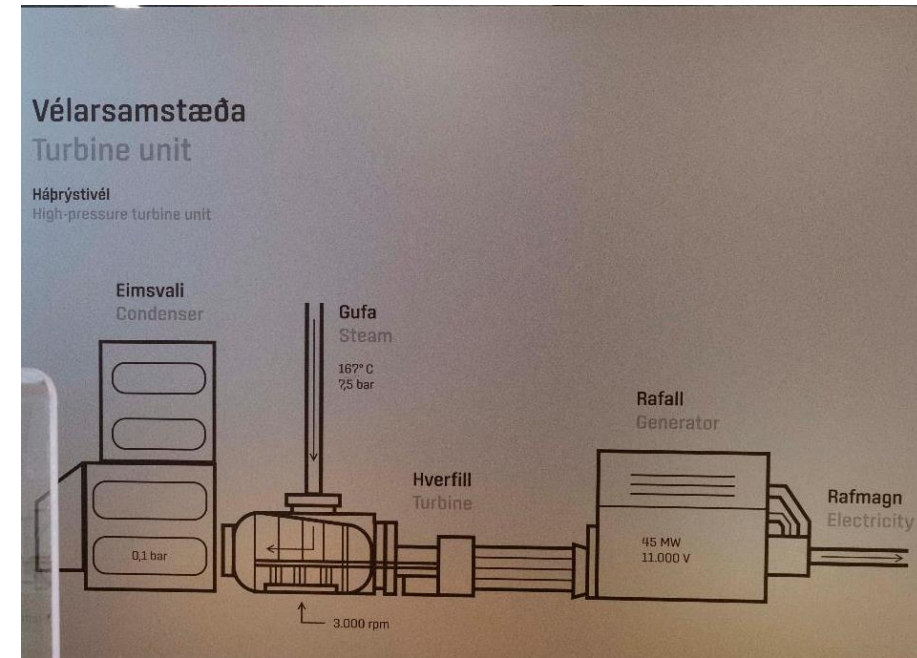
**Transformers** – In these transformers the electricity is transformed up to 220 kV



# La centrale geotermica di Reykjavík

La potenza massima di queste turbine è di 303 MW e l'intero sistema di produzione di energia elettrica è azionato dal vapore pressurizzato. La pressione scende dal pozzo alla turbina dove la temperatura di ingresso è di  $175^{\circ}\text{C}$  a 8 bar nelle turbine ad alta pressione e all'esterno della turbina, nel condensatore di vapore, la pressione è di 0,1 bar assoluti creando il vuoto.

Il vapore nella turbina a bassa pressione è generato da vapore flash. Questo abbassa la pressione da 8 bar a 1 bar, producendo circa 84 kg/s di vapore e circa 550 kg/s di acqua a  $120^{\circ}\text{C}$ . Il vapore entra nella turbina che ha una potenza nominale di 33,6 MW e l'acqua separata va nello scambiatore di calore

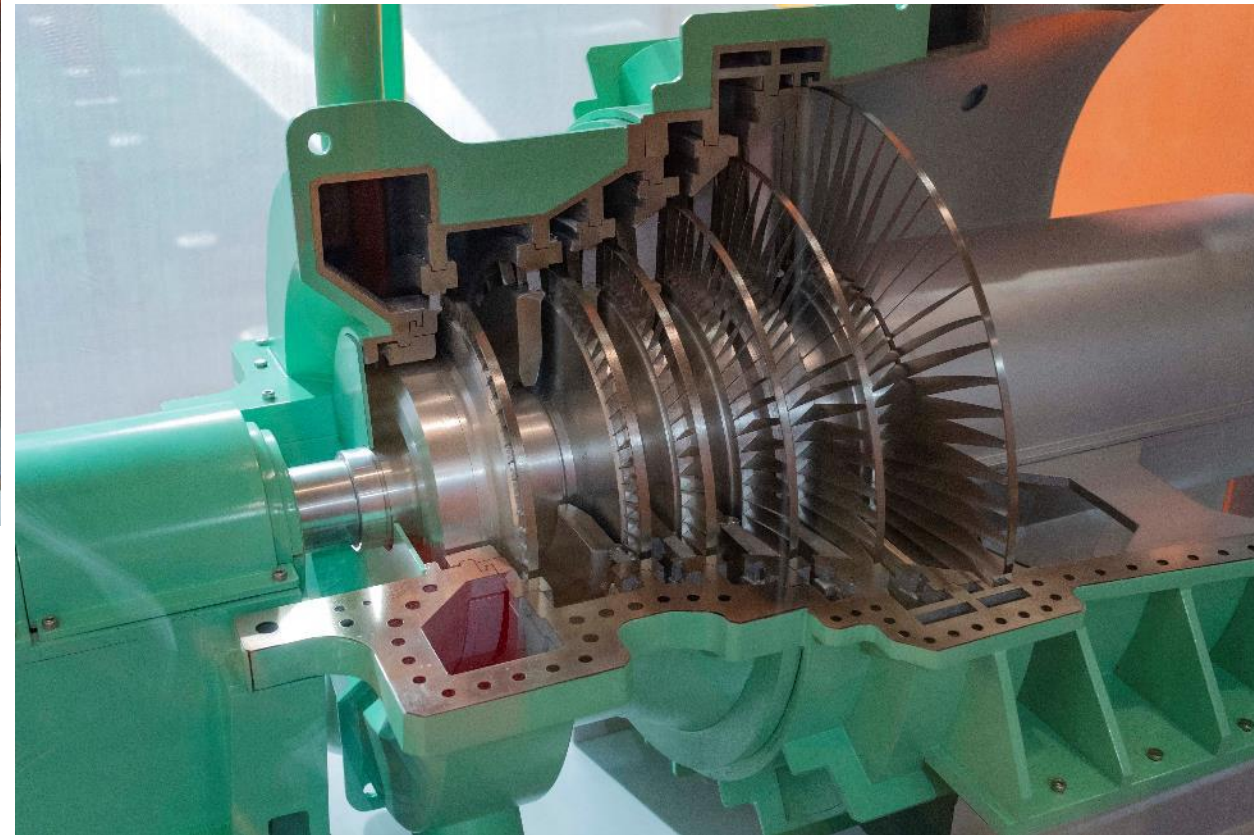
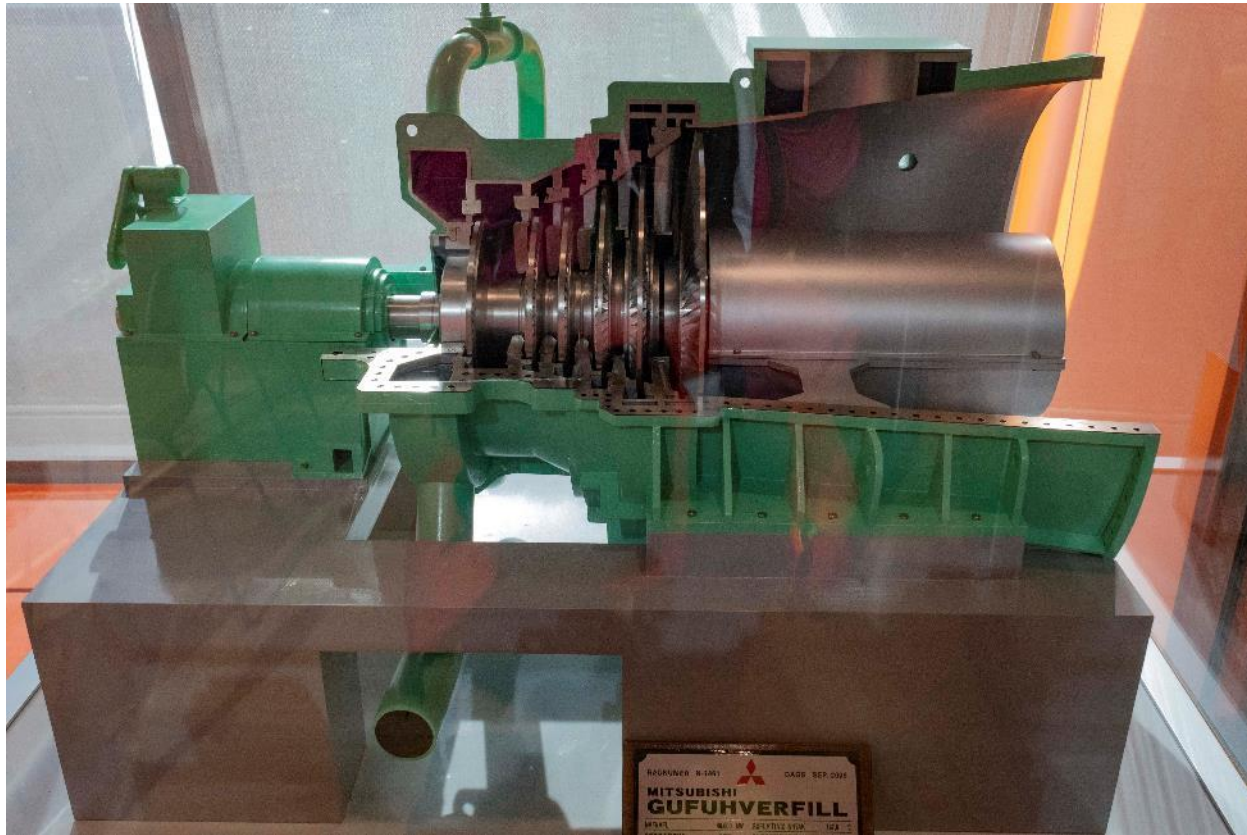


# La centrale geotermica di Reykjavík

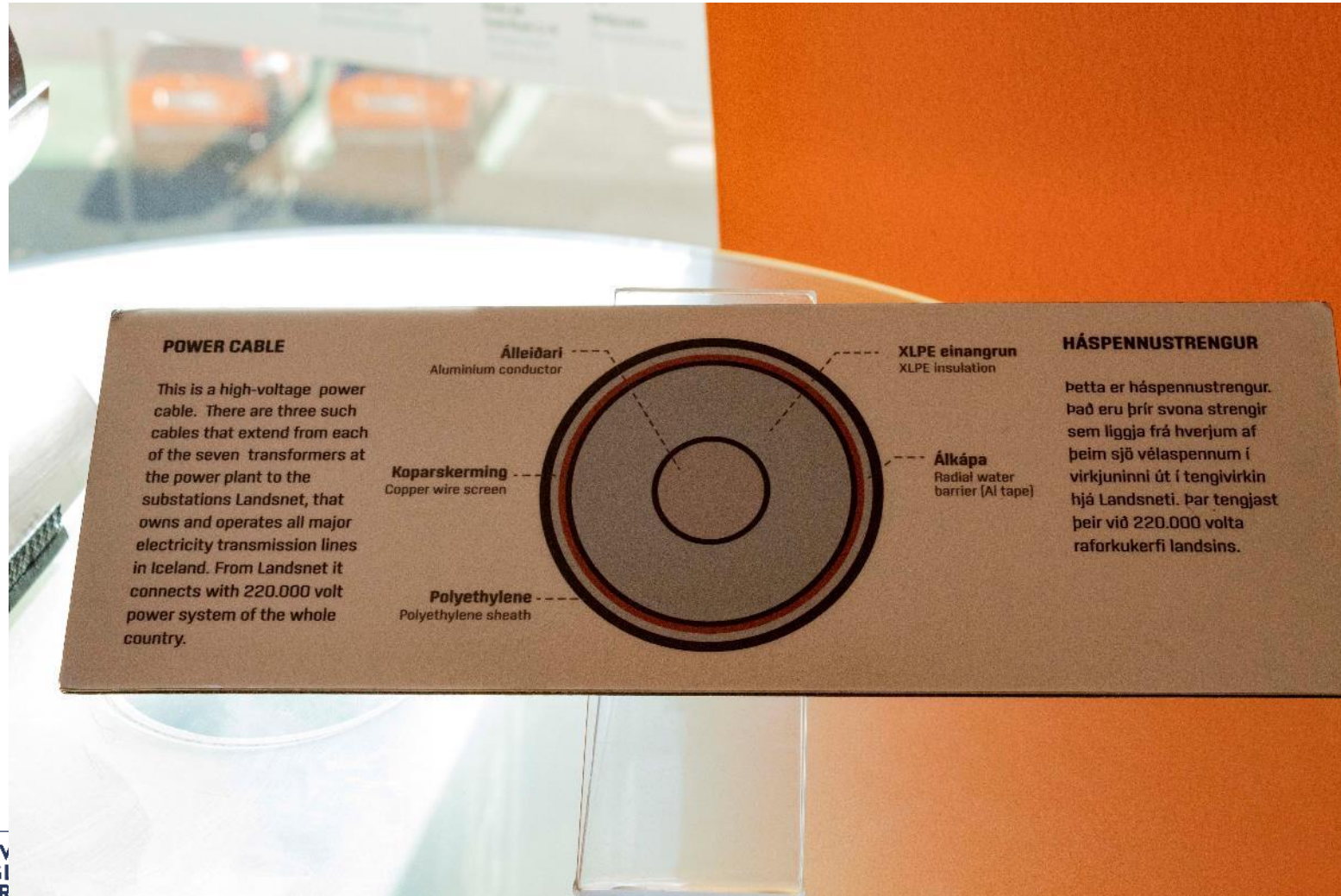


Il moto rotatorio di 3000 giri/min viene trasferito dalle turbine ai generatori che producono l'elettricità.

# La centrale geotermica di Reykjavík

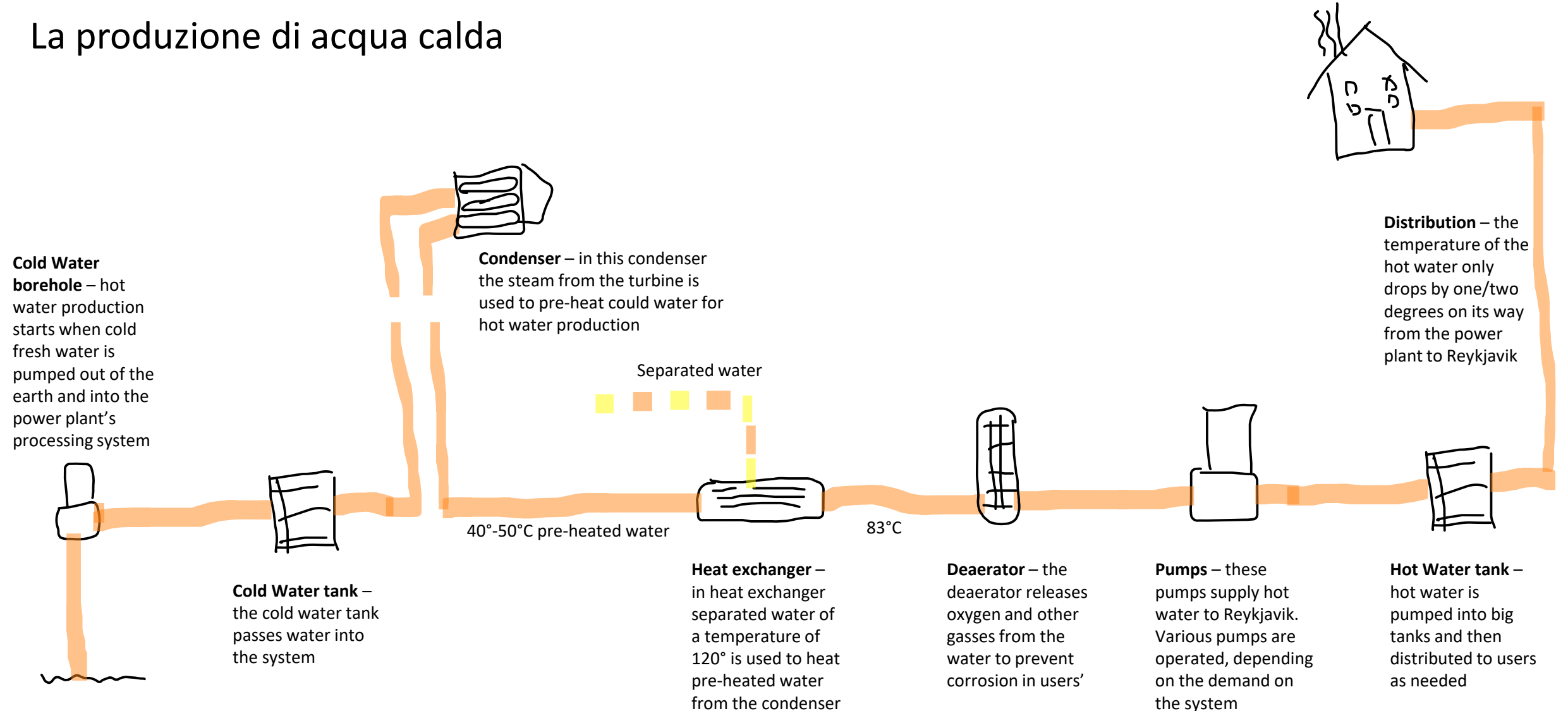


# La centrale geotermica di Reykjavík



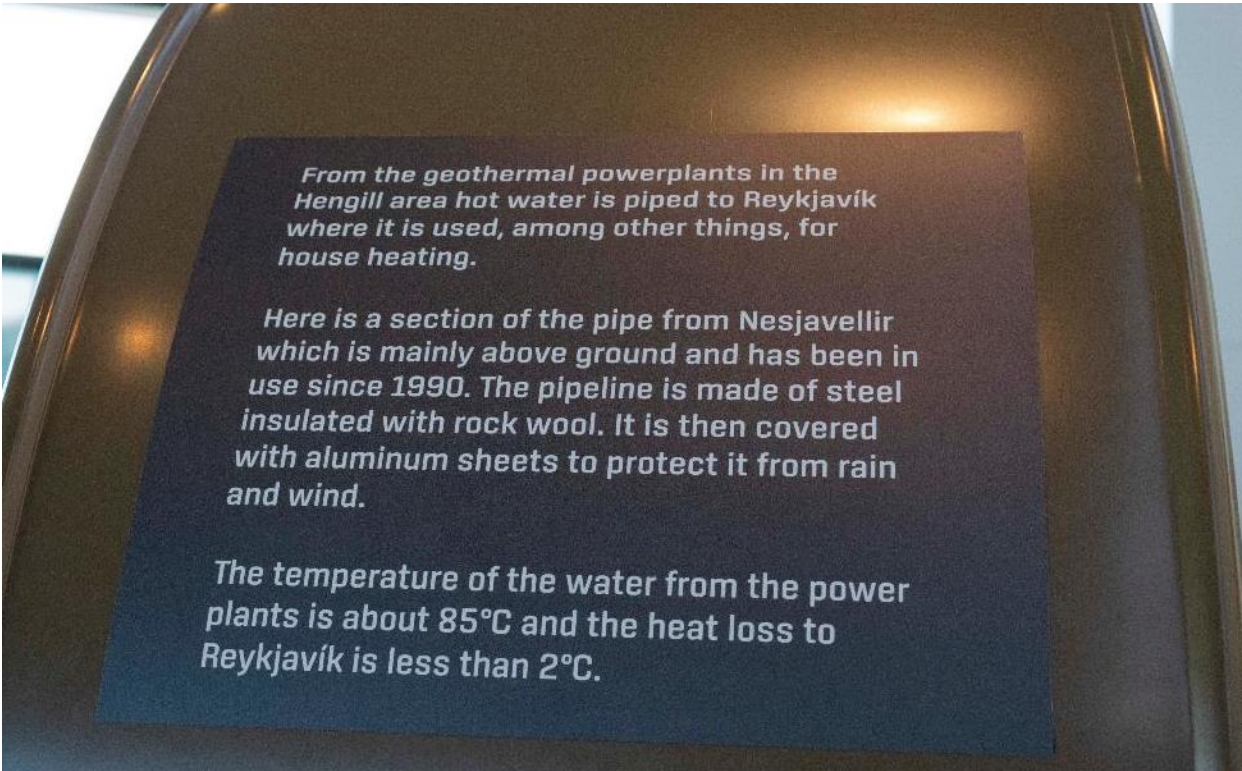
# La centrale geotermica di Reykjavík

## La produzione di acqua calda



# La centrale geotermica di Reykjavík

Centinaia di litri di quest'acqua vengono inviati a Reykjavík ogni secondo attraverso una condotta sotterranea




*From the geothermal powerplants in the Hengill area hot water is piped to Reykjavík where it is used, among other things, for house heating.*

*Here is a section of the pipe from Nesjavellir which is mainly above ground and has been in use since 1990. The pipeline is made of steel insulated with rock wool. It is then covered with aluminum sheets to protect it from rain and wind.*

*The temperature of the water from the power plants is about 85°C and the heat loss to Reykjavík is less than 2°C.*

L'acqua scorre fino a Reykjavik grazie del dislivello di quota, quindi non è necessario spendere energia per pomparla. La perdita di calore media durante il periodo di trasporto di 8 ore è di 2°C.



*From the geothermal powerplants in the Hengill area hot water is piped to Reykjavík where it is used, among other things, for house heating.*

*Here is a section of the pipe from Nesjavellir which is mainly above ground and has been in use since 1990. The pipeline is made of steel insulated with rock wool. It is then covered with aluminum sheets to protect it from rain and wind.*

*The temperature of the water from the power plants is about 85°C and the heat loss to Reykjavík is less than 2°C.*

*Frá virkjunum DN á Hengillssvæði er heitt vatn leitt til höfuðborgarsvæðisins þar sem það er meðal annars notað til húshitunar.*

*Hér er þversnið af lögnum frá Nesjavöllum sem er að mestu ofnjarðar og hefur verið í notkun frá árinu 1990. Löggin er úr stáli einangruð með steinull. Yst er síðan kápa úr áli sem ver löggin gegn veðri og vindum.*

*Hittin á vatninu frá virkjununum er um 85°C og er hitatapit innan við 2°C.*

# La centrale geotermica di Reykjavík

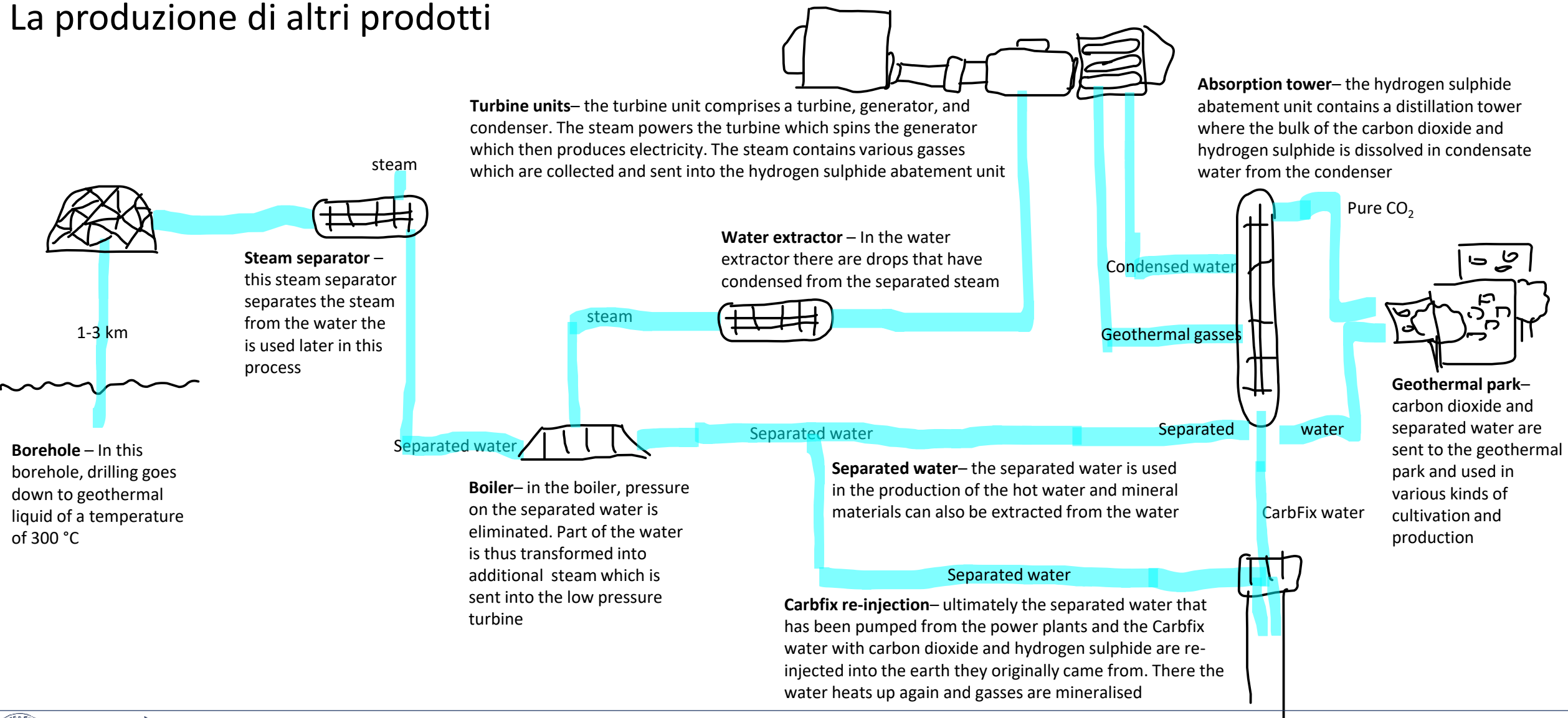


Questo tubo è realizzato con lamiere di alluminio all'esterno, acciaio inossidabile all'interno e lana minerale nel mezzo. L'acqua calda prodotta dalla centrale elettrica viaggia per oltre 20 km fino a Reykjavík.

L'acqua calda prodotta nell'area geotermica di Hengill fornisce oltre il 50% dell'acqua calda nell'area della capitale.

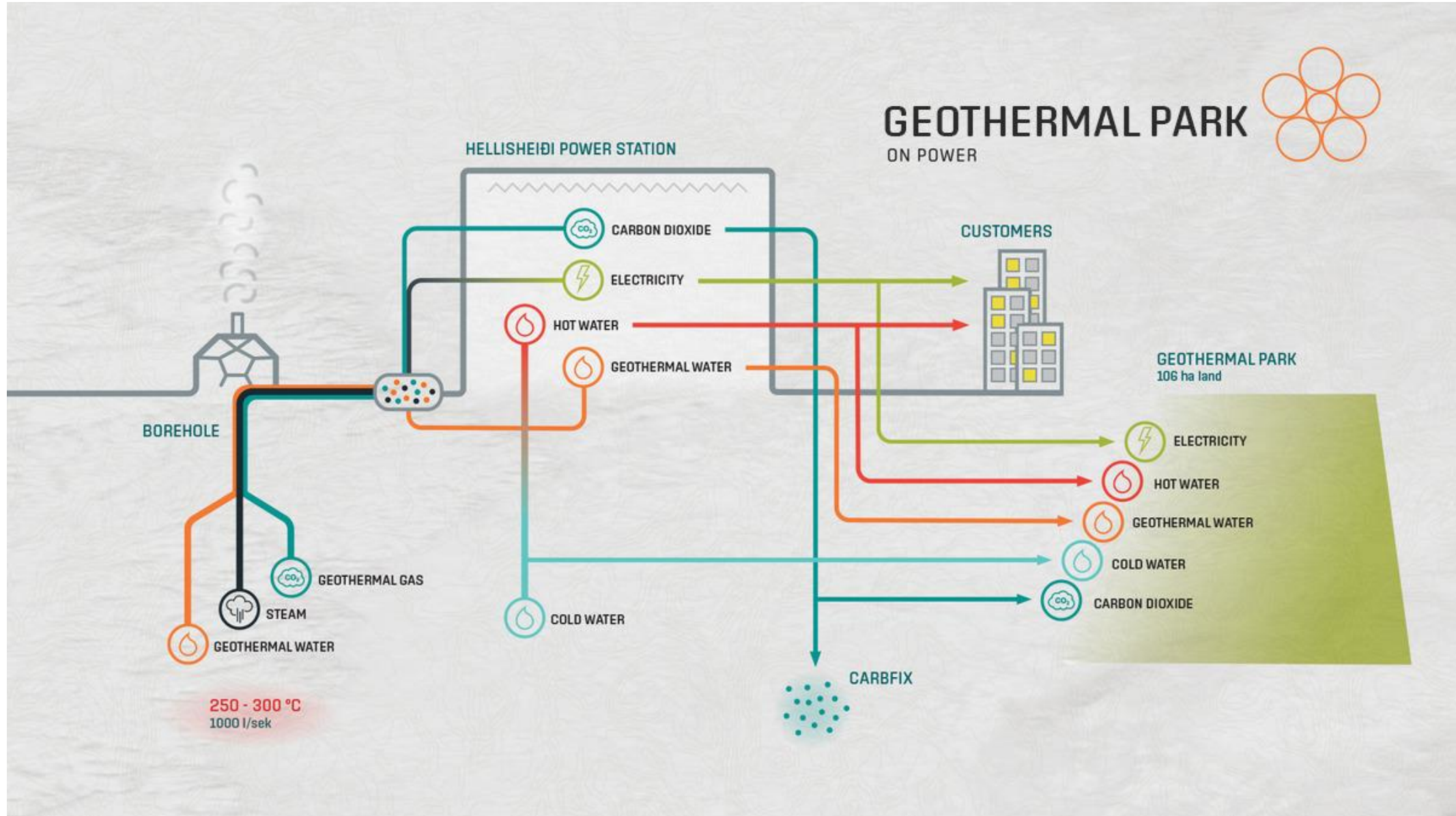
# La centrale geotermica di Reykjavík

## La produzione di altri prodotti





# La centrale geotermica di Reykjavík



# Il progetto CarbFix

# Il progetto CarbFix

L'utilizzo della fonte geotermica implica l'estrazione di grandi quantità di vapore o acqua. Questi fluidi hanno una composizione sito specifica e molto dipendente dalla natura delle rocce di ogni serbatoio. Il maggiore **impatto ambientale** riguarda **l'inquinamento dell'aria** e dei corpi idrici.

Il vapore geotermico può contenere grosse quantità di **anidride carbonica** e acido solfidrico. L'anidride carbonica è **un gas serra**, mentre l'acido solfidrico si trasforma in acido solforico e genera piogge acide.

A dark blue banner with white text. The main headline reads "We turn CO<sub>2</sub> into stone". Below it, in smaller white text, it says "Carbfix provides a natural and permanent storage solution by turning CO<sub>2</sub> into stone underground in less than two years." data-bbox="213 668 728 747"/>

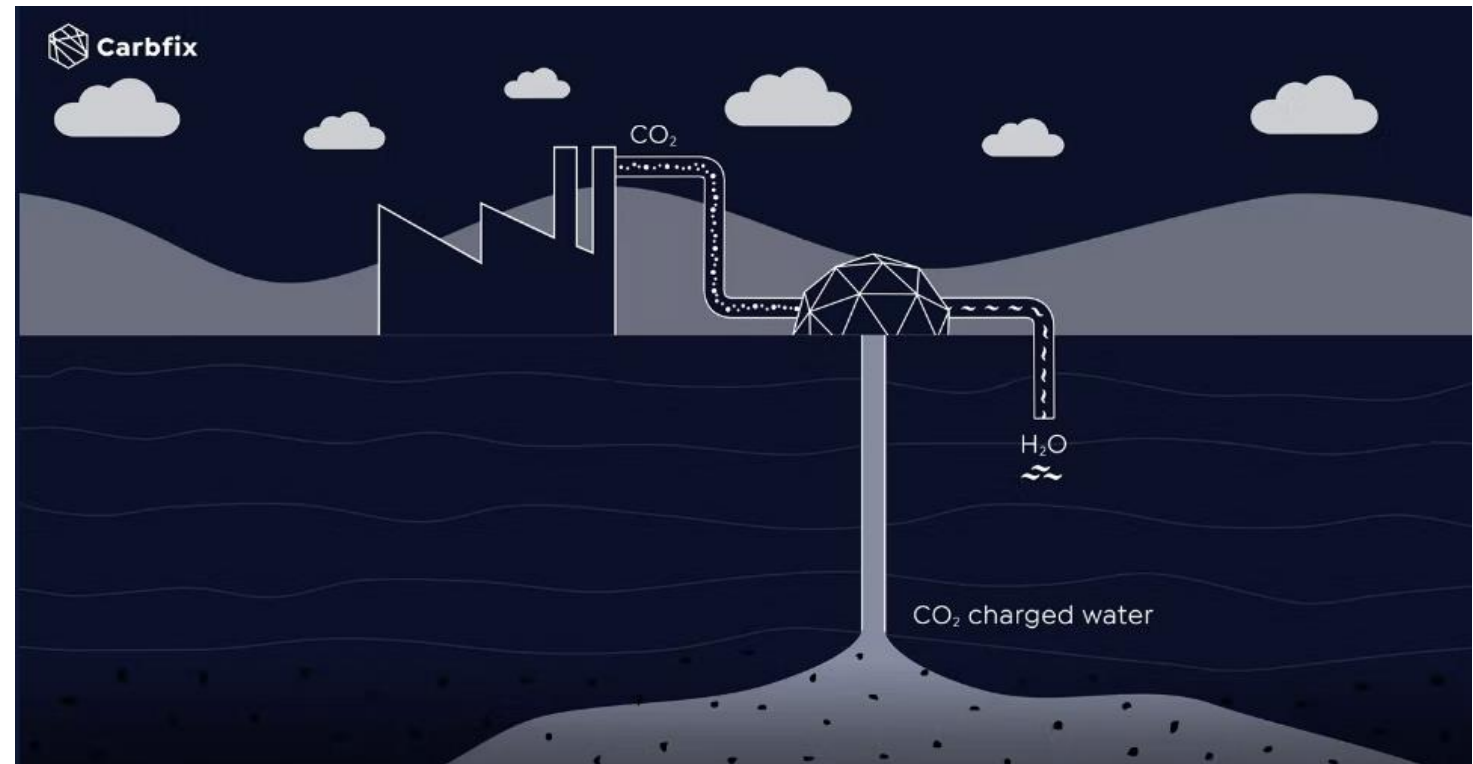
## We turn CO<sub>2</sub> into stone

Carbfix provides a natural and permanent storage solution by turning CO<sub>2</sub> into stone underground in less than two years.

<https://www.cosvig.it/carbfix-raddoppia-in-islanda-nascono-nuovi-orizzonti-per-lo-stoccaggio-della-co2-geotermica/>

# Il progetto CarbFix

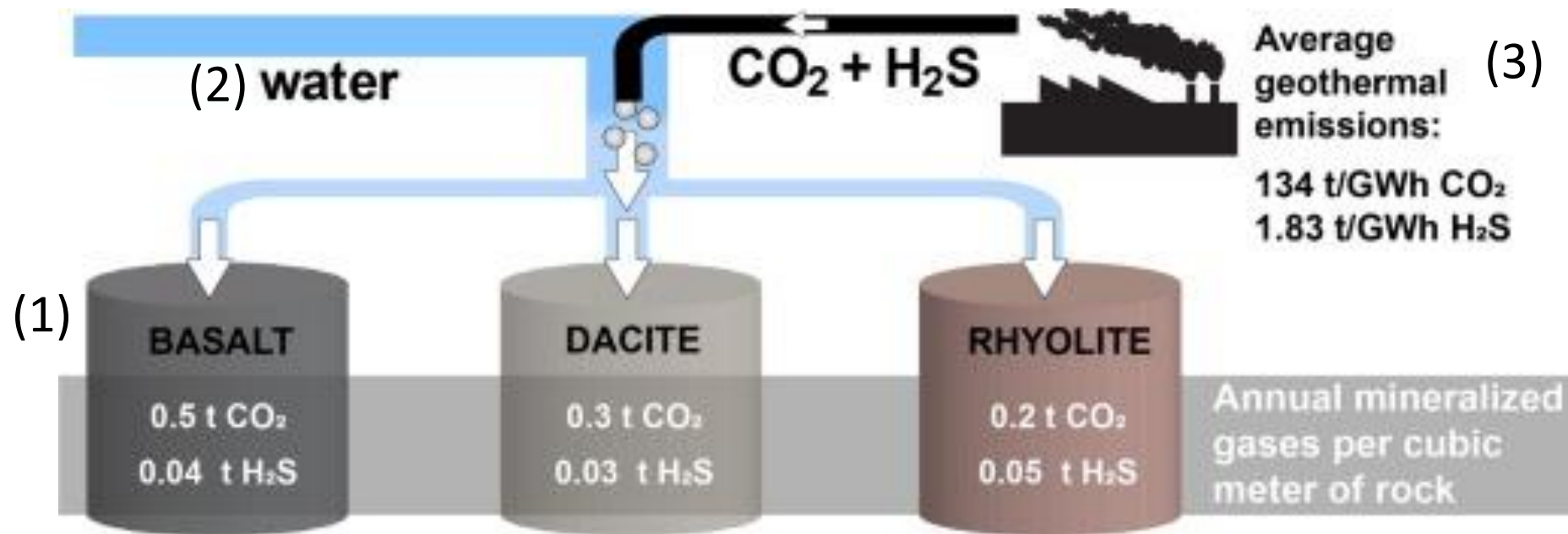
Gli alberi e la vegetazione non sono l'unica forma di prelievo di carbonio dall'atmosfera. Grandi quantità di carbonio sono immagazzinate naturalmente nelle rocce. **Carbfix imita e accelera questi processi naturali**, in cui l'anidride carbonica viene disciolta nell'acqua e interagisce con le formazioni rocciose reattive, come i basalti, per formare minerali stabili che forniscono un pozzo di carbonio permanente e sicuro. Il processo Carbfix cattura e rimuove permanentemente la CO<sub>2</sub>.



# Il progetto CarbFix

Affinché la tecnologia Carbfix funzioni, è necessario soddisfare tre requisiti:

- 1) **rocce favorevoli**
- 2) **acqua e**
- 3) una fonte di **anidride carbonica (CO<sub>2</sub>)**.



<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.07.011>

# Il progetto CarbFix

**L'acqua gassata è acida.** Più carbonio puoi impacchettare nell'acqua, più acido diventerà il fluido.

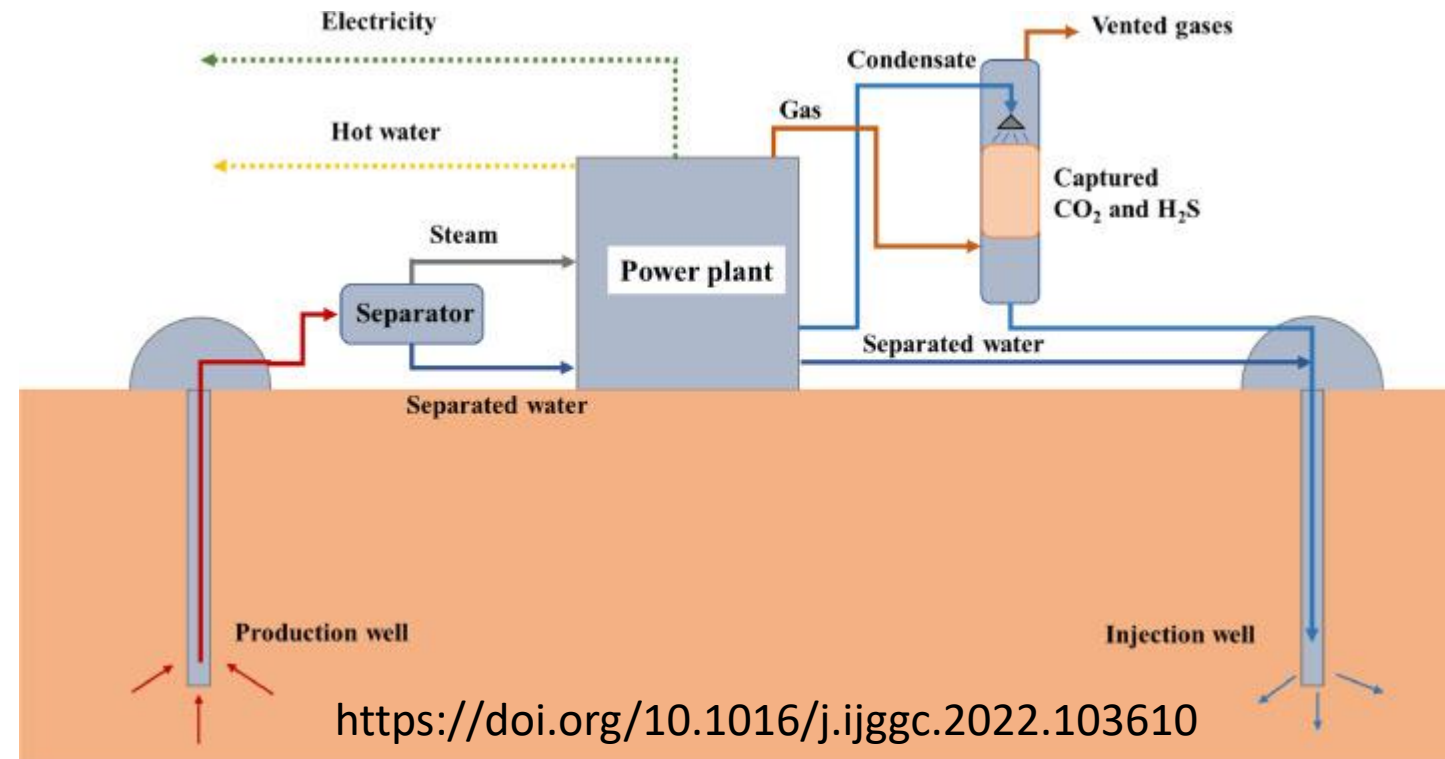
L'acqua gassata di Carbfix **reagisce con le rocce sotterranee e rilascia cationi** disponibili come calcio, magnesio e ferro nel flusso d'acqua. Nel tempo, **questi elementi si combinano con la CO<sub>2</sub>** disciolta e **formano carbonati che riempiono lo spazio vuoto** (pori) all'interno delle rocce. I carbonati sono stabili per migliaia di anni e possono quindi essere considerati stoccati in modo permanente.



# Il progetto CarbFix

L'acqua gassata iniettata è **più densa** dell'acqua circostante nella formazione geologica e quindi **tende ad affondare** dopo essere stata iniettata. Ciò differisce dai metodi più convenzionali di cattura e stoccaggio del carbonio, che dipendono dalla roccia di copertura per prevenire possibili perdite di CO<sub>2</sub> gassosa iniettata nelle formazioni profonde.

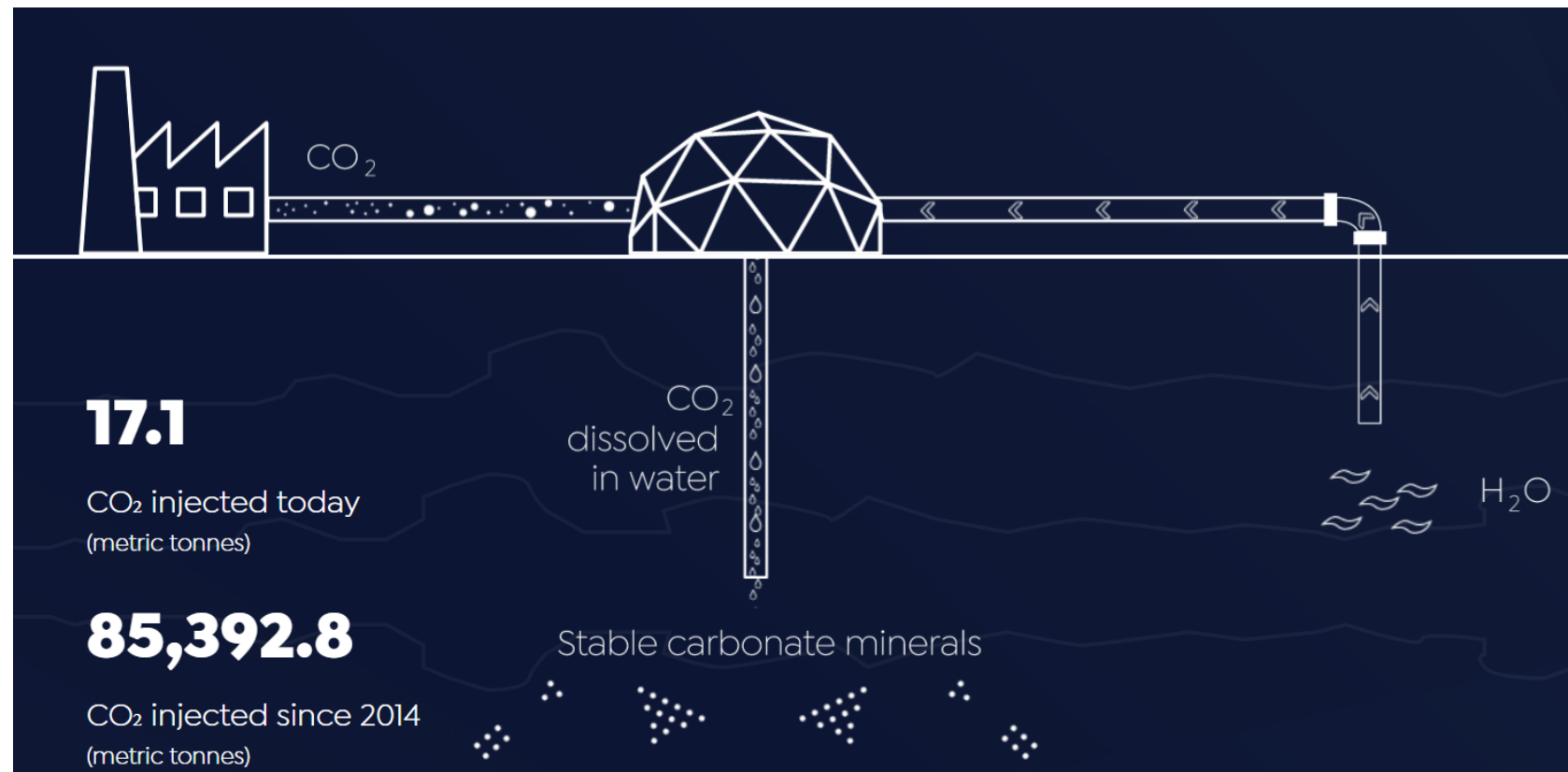
Le giovani rocce basaltiche sono altamente fratturate e porose in modo tale che l'acqua filtra facilmente attraverso le fessure interconnesse e gli spazi vuoti sotterranei.



# Il progetto CarbFix

La tecnologia fornisce una soluzione completa di **cattura e iniezione del carbonio**, in cui la  $\text{CO}_2$  disciolta nell'acqua, una sorta di acqua frizzante, viene iniettata nel sottosuolo dove reagisce con formazioni rocciose favorevoli per **formare minerali di carbonato solido attraverso processi naturali in circa 2 anni**.

La tempistica di questo processo inizialmente ha sorpreso gli scienziati. Nel progetto pilota CarbFix, è stato determinato che almeno il 95% della  $\text{CO}_2$  iniettata si mineralizza entro due anni, molto più velocemente di quanto si pensasse.





# Il progetto CarbFix

Perché la mineralizzazione è così rapida?

La dissoluzione della  $\text{CO}_2$  prima o durante l'iniezione assicura che le reazioni chimiche tra la roccia ospite e il fluido iniettato avvengano immediatamente dopo l'iniezione.

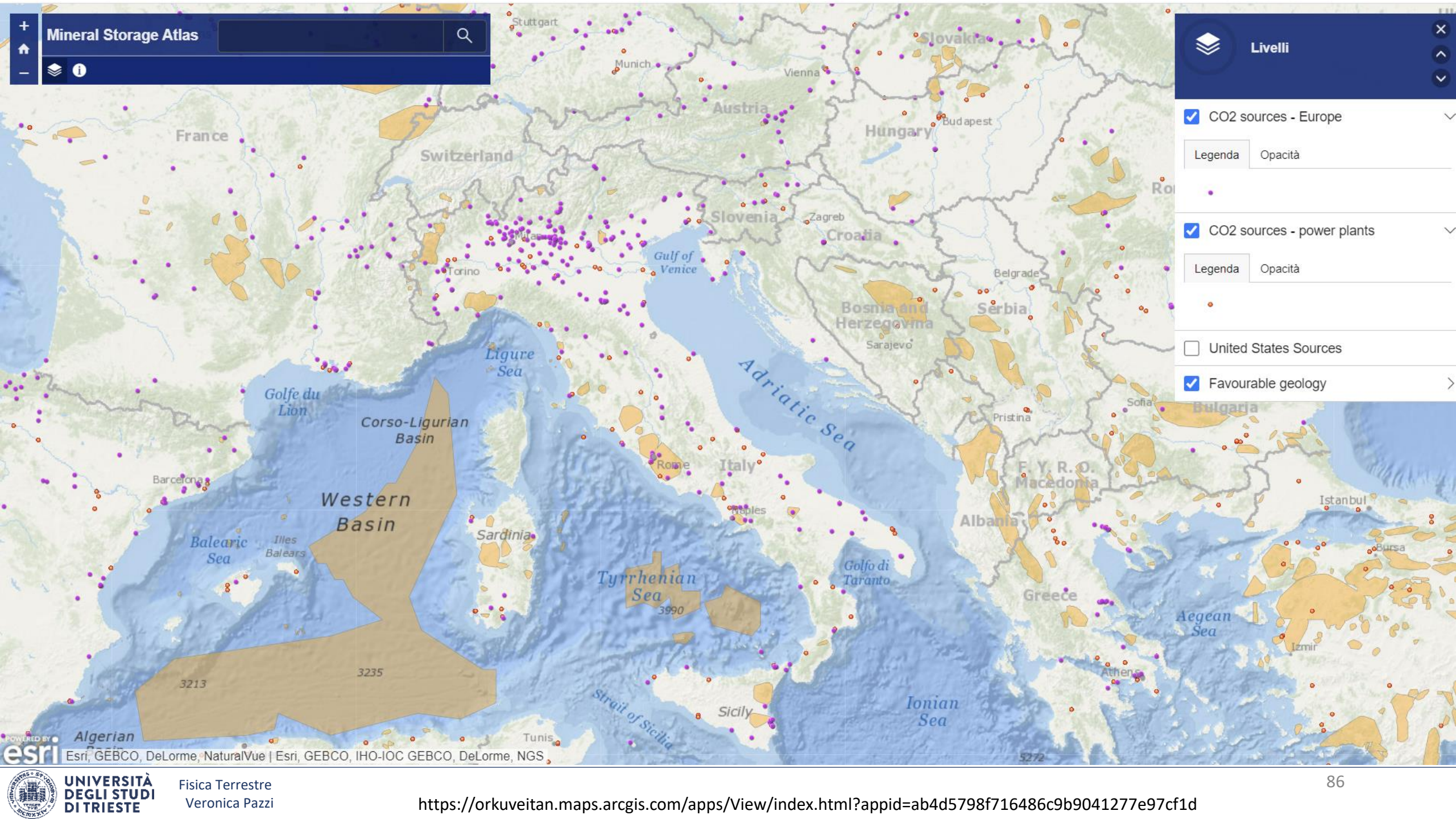
Le **rocce basaltiche** sono altamente reattive e contengono gli elementi (fino al 25% del peso di calcio, magnesio e ferro) necessari per immobilizzare permanentemente la  $\text{CO}_2$  attraverso la formazione di minerali carbonatici. Sono spesso fratturate e porose, e contengono spazio di immagazzinamento per la  $\text{CO}_2$  mineralizzata. Inoltre, il basalto è il tipo di roccia più comune sulla superficie della Terra, coprendo circa il 5% dei continenti e la maggior parte del fondo oceanico.

Potrebbero essere adatte **anche altre rocce** (andesiti, peridotiti, breccie e formazioni sedimentarie) contenenti minerali silicati ricchi di calcio, magnesio e ferro. Gli studi sull'idoneità allo stoccaggio di queste rocce sono intrapresi nel relativo progetto GECO.

- CO2 sources - Europe
- CO2 sources - power plants
- United States Sources
- Favourable geology



La mappa funge da primo indicatore della fattibilità geologica della tecnologia Carbfix, ma non considera altri fattori necessari come la disponibilità di acqua o la permeabilità del substrato roccioso, che possono variare notevolmente tra le regioni. La mappa va interpretata tenendo conto di questo.

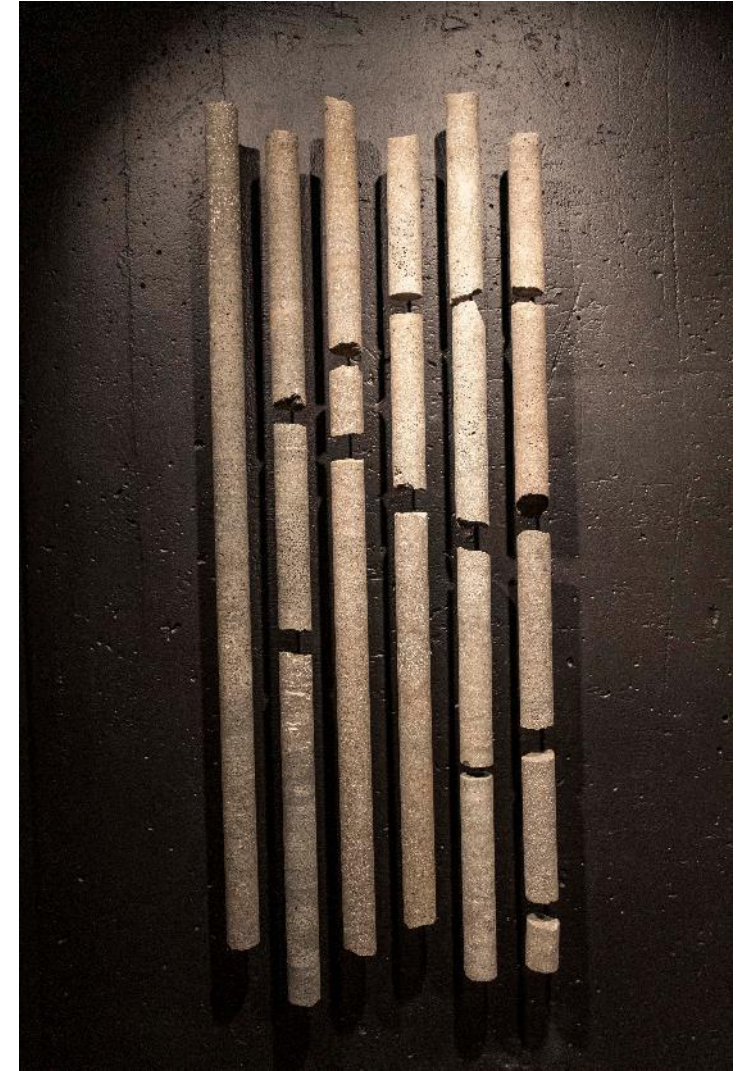


- CO2 sources - Europe
- CO2 sources - power plants
- United States Sources
- Favourable geology

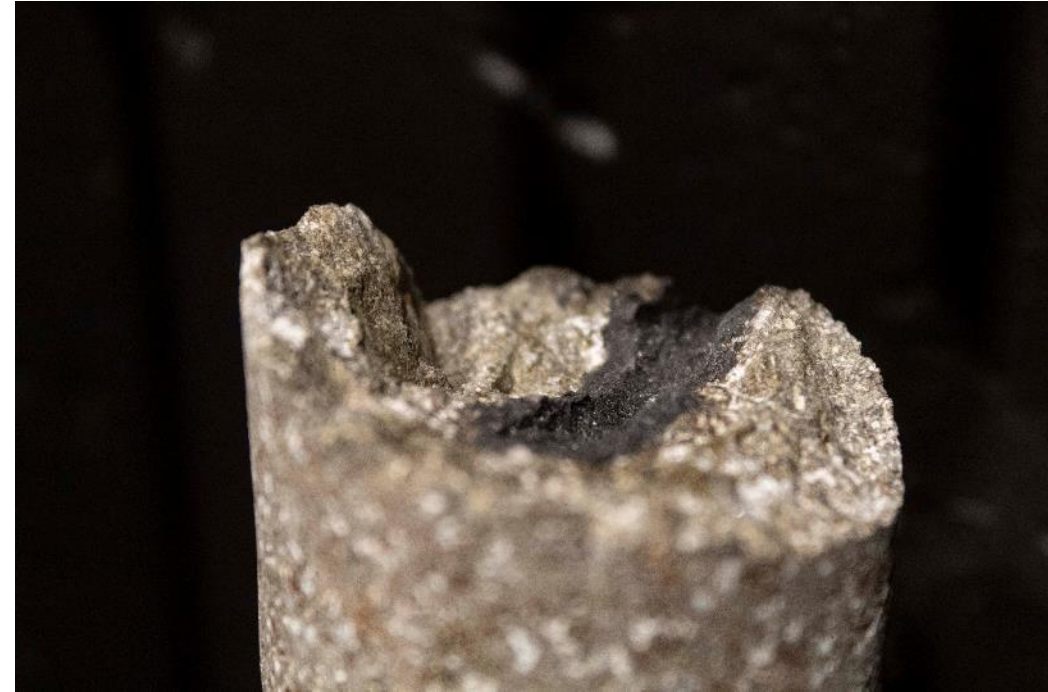
# Il progetto CarbFix

## Basalt

This basaltic drill core was retrieved from a depth of 550 meters at the site of the first Carbfix pilot injection, which took place in 2012. Basalt is the perfect rock for CO<sub>2</sub> mineral storage, not only because of its chemical properties but also because it is very porous and fractured, which creates a lot of storage space for the solidified CO<sub>2</sub>. The white minerals filling the pores of the drill core are mostly carbonate minerals (calcite, CaCO<sub>3</sub>).



# Il progetto CarbFix



# Il progetto CarbFix



<https://www.youtube.com/watch?v=60mxSf3OPbw>

e <https://www.youtube.com/watch?v=jG7nH2WLxiE>

# Overview of projects around the globe

Carbfix has numerous ongoing projects! From the geothermal sector to heavy industry, we aim to expand the application of our climate change mitigating technology across various emitting sectors.

*Click and explore current Carbfix operations across the globe.*

<https://www.carbfix.com/currentoperations>

# Il progetto CarbFix



Riproduci (k)



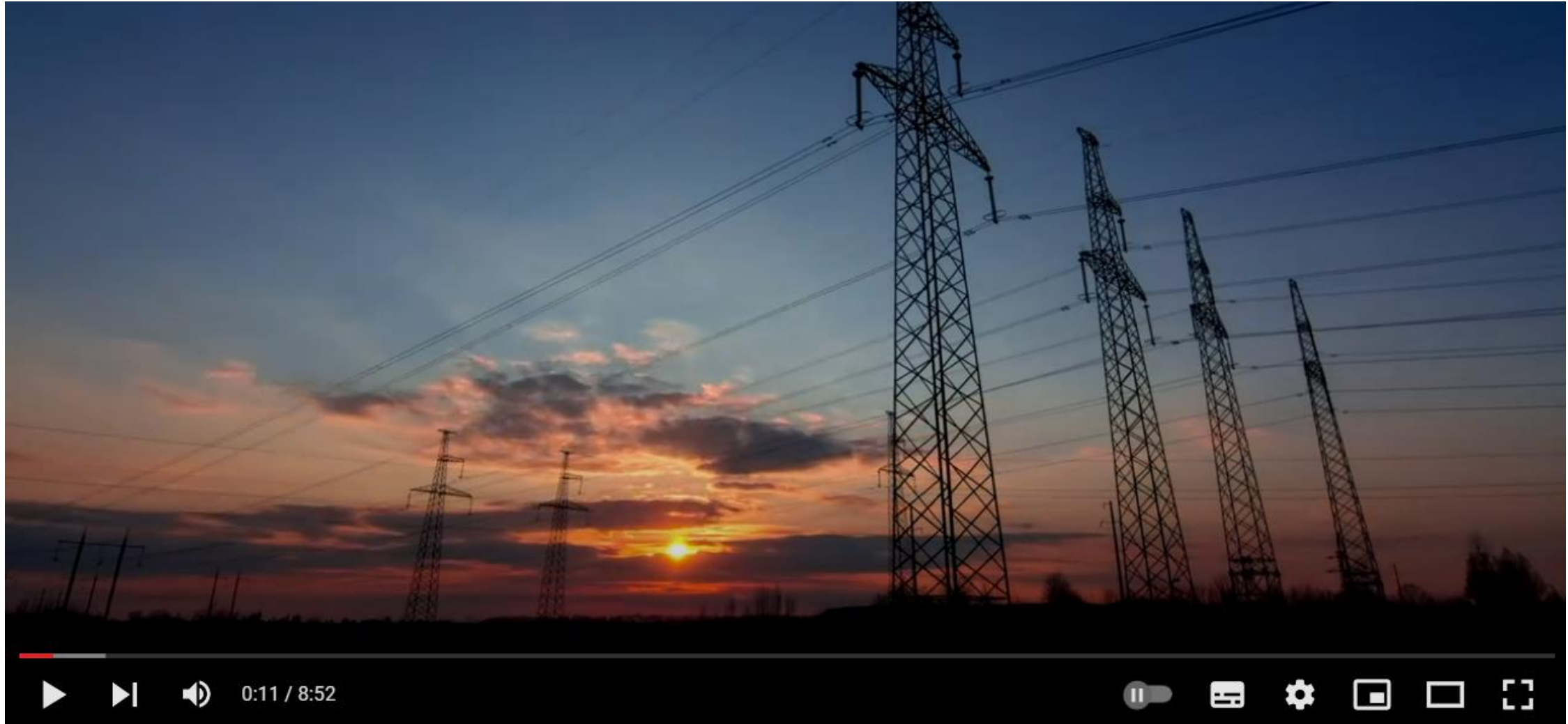
0:07 / 3:18



<https://www.youtube.com/watch?v=G0fi7KZdDDU>



# Il progetto CarbFix



<https://www.youtube.com/watch?v=QOtFxVAfCT8>



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# Veronica Pazzi

Dipartimento di Matematica e Geoscienze

[veronica.pazzi@units.it](mailto:veronica.pazzi@units.it)

[www.units.it](http://www.units.it)