



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Geoscienze e Georisorse

Il calore della terra la Geotermia

Istituto di Geoscienze e Georisorse, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Via Moruzzi 1 – 56124 PISA
manzella@igg.cnr.it

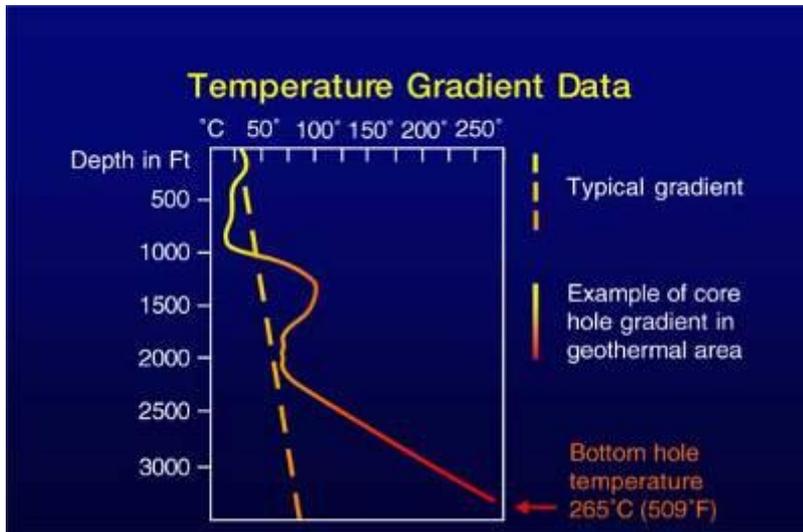
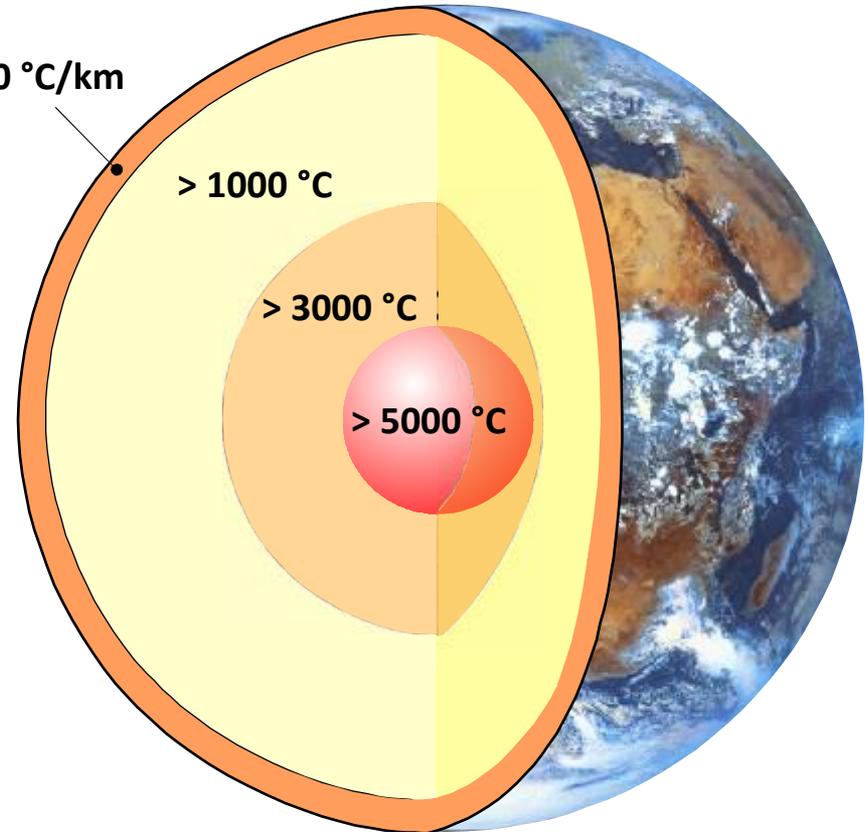


Concetti principali

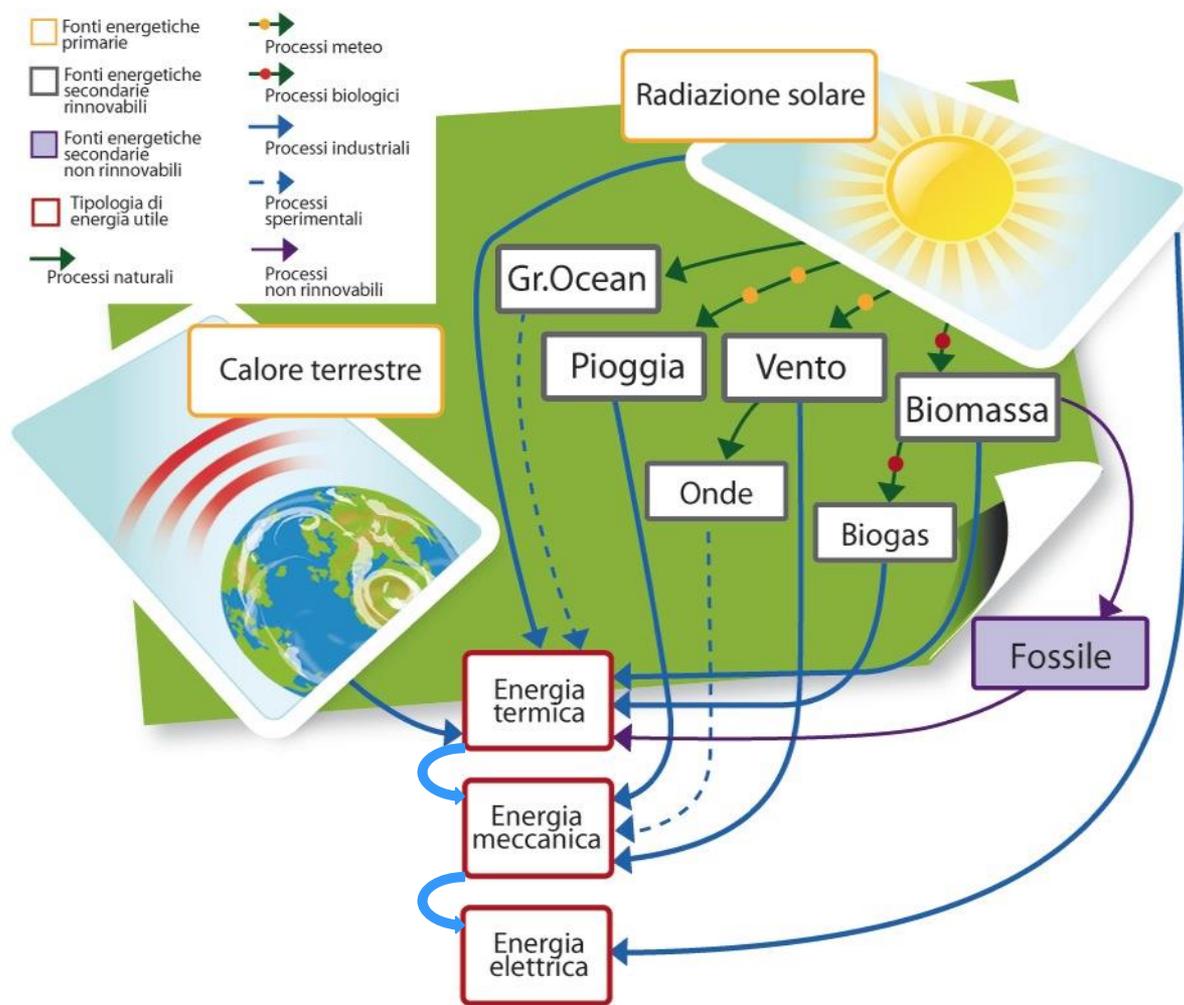
L'energia geotermica, nella sua accezione completa, è l'energia termica immagazzinata sotto la superficie terrestre.

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

$\sim 30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$

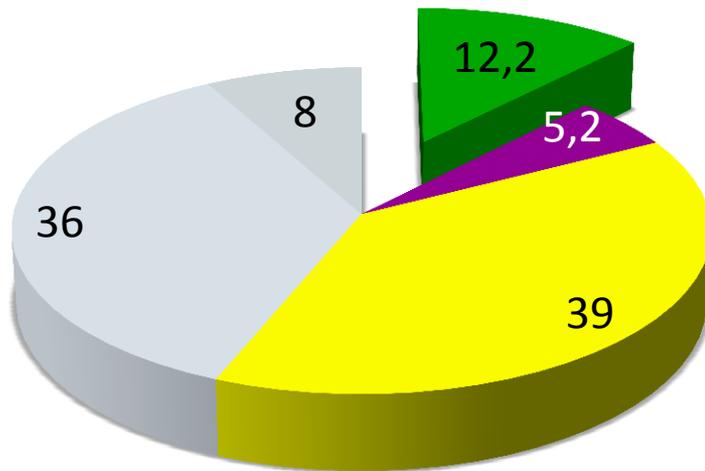


GEOTERMIA: PERCHÉ



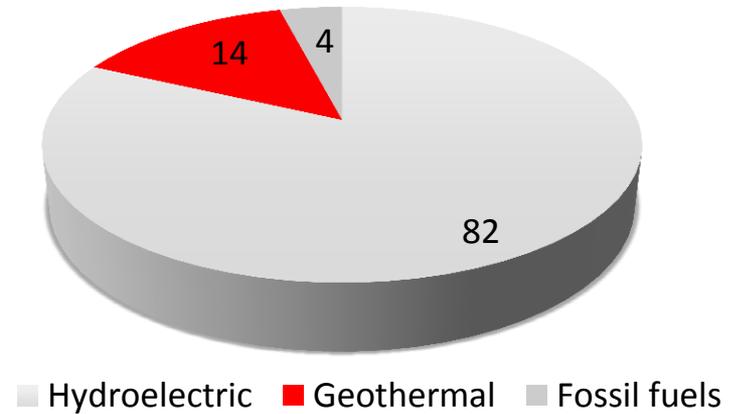
GEOTERMIA: PERCHÉ

Energia Primaria in Italia nel 2010



■ Renewable ■ Electricity import ■ Oil ■ Gas ■ Carbon

Energia Primaria in Italia nel 1960

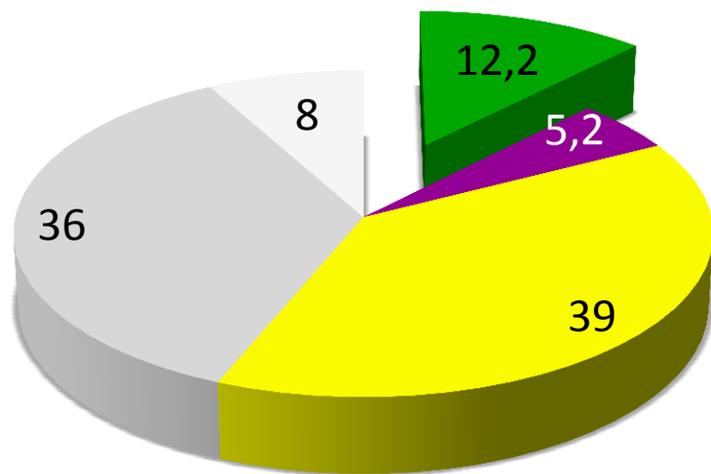


■ Hydroelectric ■ Geothermal ■ Fossil fuels



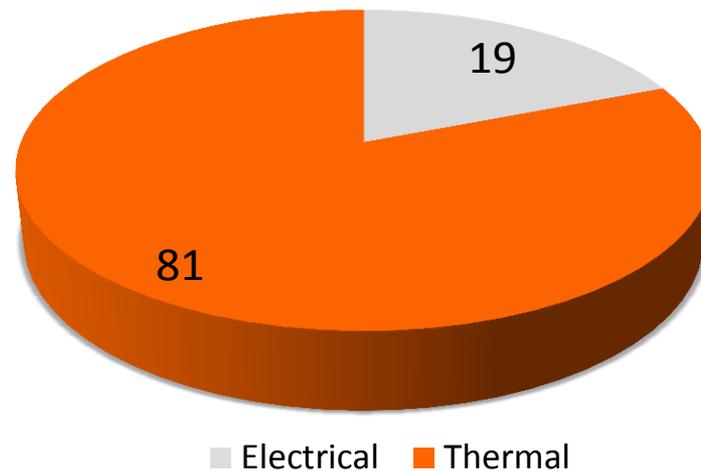
GEOTERMIA: PERCHÉ

Energia Primaria in Italia nel 2010

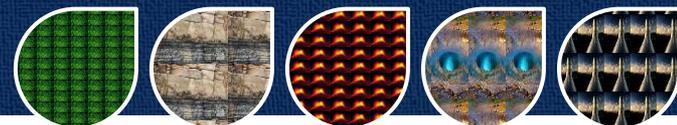


■ Renewable ■ Electricity import ■ Oil ■ Gas ■ Carbon

Uso di Energia Finale in Italia nel 2010

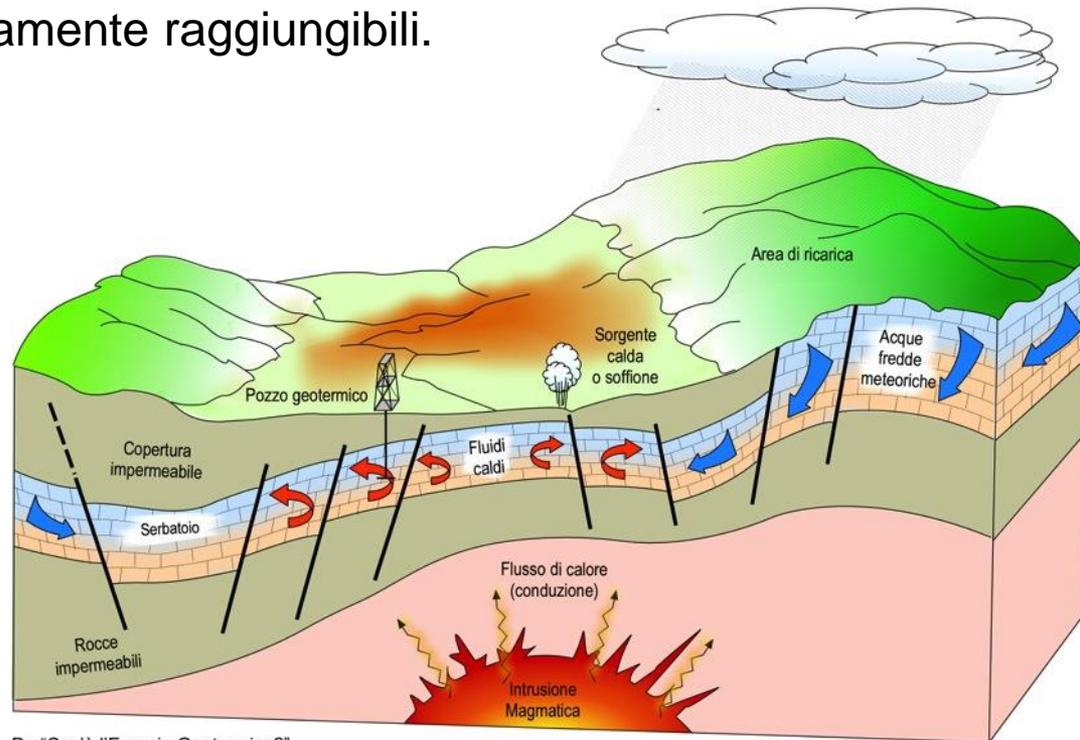


■ Electrical ■ Thermal

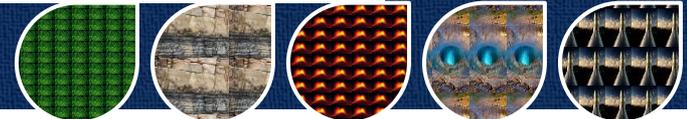


Concetti principali

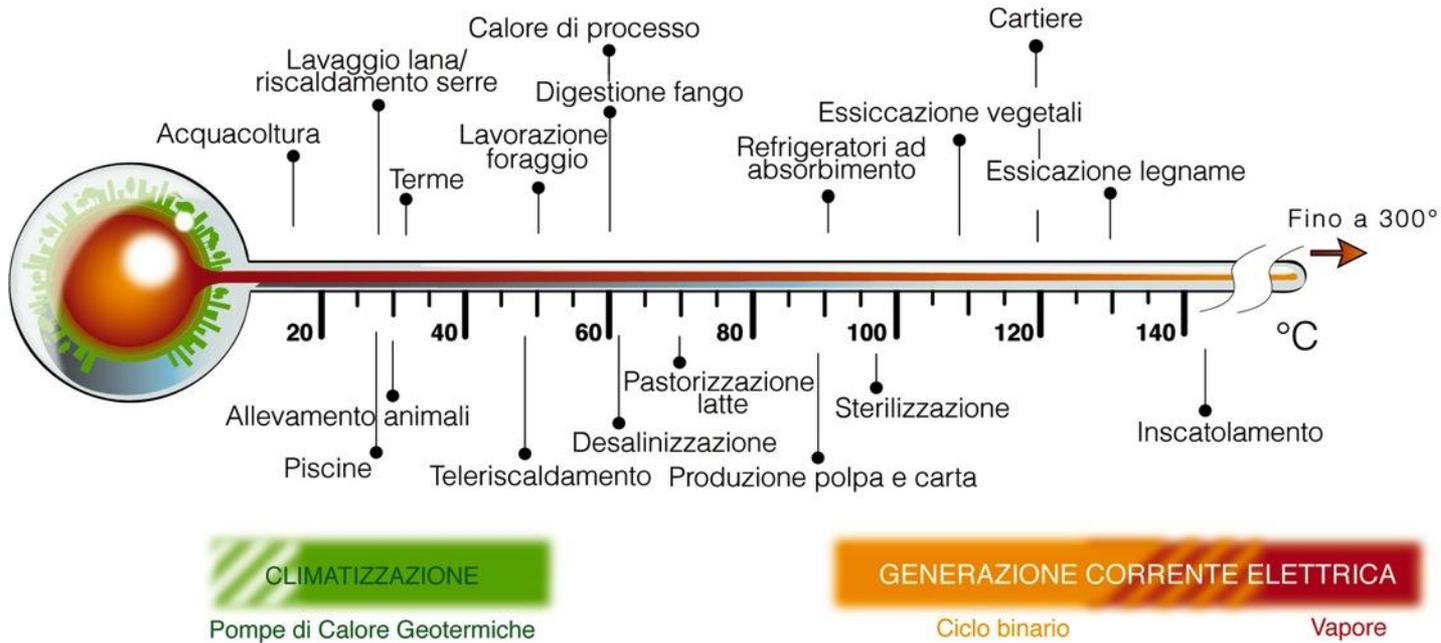
Nella gran parte dei casi la geotermia utilizzata, cosiddetta **convenzionale**, è quella dei sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua, la quale muovendosi a partire dalla superficie della crosta terrestre all'interno di uno spazio confinato raggiunge zone calde profonde caratterizzate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



Da "Cos'è l'Energia Geotermica?"
IGA
<http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=it>



USI DEL CALORE GEOTERMICO



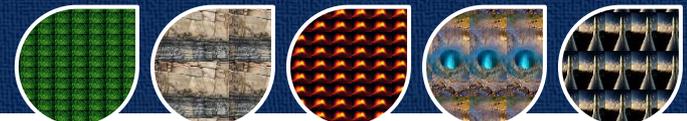
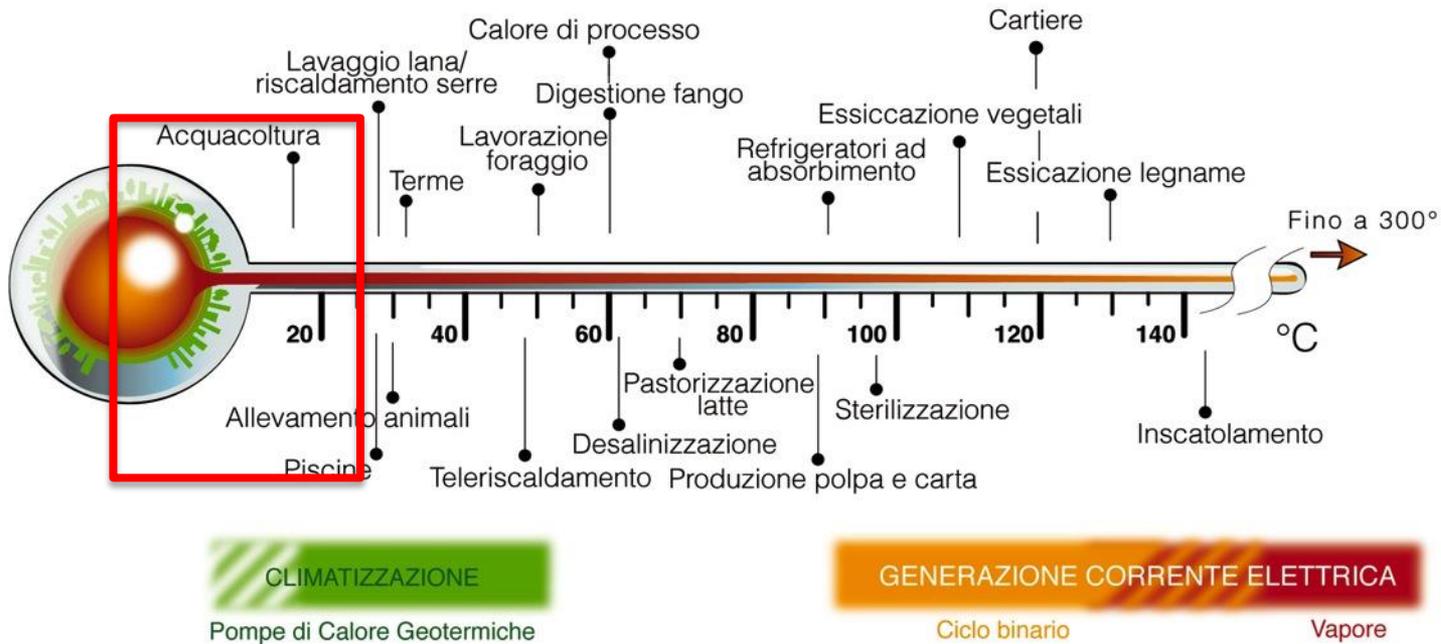
L'utilizzo convenzionale dell'energia geotermica è identificato dalla suddivisione in due categorie principali: **per produzione di energia elettrica** (risorse ad alta-media entalpia) e **per usi diretti del calore** (risorse a bassa-media entalpia). Le possibilità di utilizzo dell'energia geotermica a temperature inferiori a quelle comunemente utilizzate per la produzione geotermoelettrica sono notevoli e spaziano dalle comuni terme ai sempre più frequenti utilizzi diretti per scopi agroalimentari, florovivaistici ed industriali.



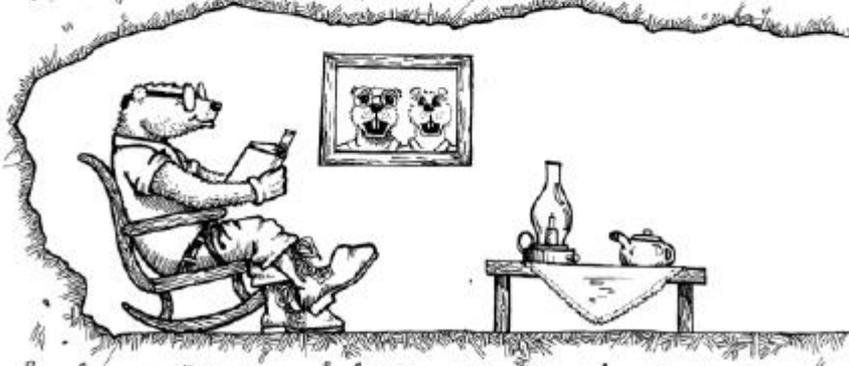
Geotermia superficiale

Grazie all'energia termica del terreno e dei fluidi in esso contenuti, è possibile climatizzare, ovvero riscaldare e raffreddare gli ambienti.

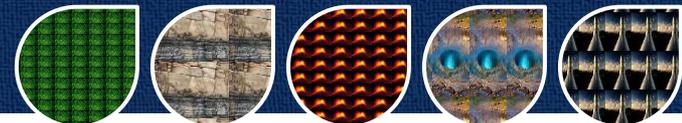
USI DEL CALORE GEOTERMICO



In estate ed in inverno, nel sottosuolo la temperatura costante
di mantenere temperature



**Non è necessario vivere nel sottosuolo,
ma scambiare calore con la superficie!!!!**



Climatizzazione geotermica degli ambienti

pompe di calore geotermiche

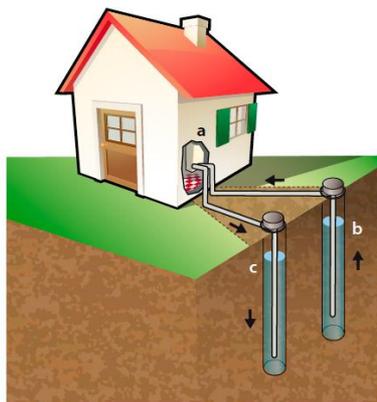
La *climatizzazione di ambienti* (riscaldamento e raffreddamento) con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80, a seguito dell'introduzione nel mercato e della diffusione delle *pompe di calore*. I diversi sistemi di pompe di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, ecc.



Climatizzazione geotermica degli ambienti

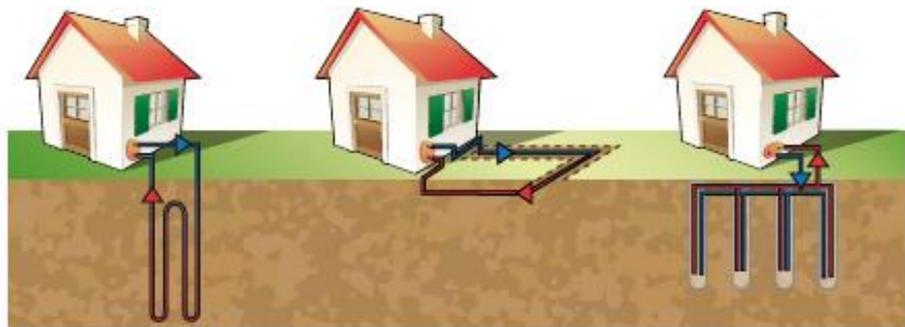
pompe di calore geotermiche

Sistema a ciclo aperto



Il trasporto di calore dal sottosuolo alla superficie avviene mediante pozzi per l'estrazione di acqua (nei **sistemi aperti**)

o **sonde geotermiche (sistemi chiusi)**, ovvero tubi di polietilene o altro materiale infissi o sepolti nel sottosuolo, attraversati da un fluido vettore (acqua o altro) che scambia calore con il terreno.



Verticale

Orizzontale

Geostrutture

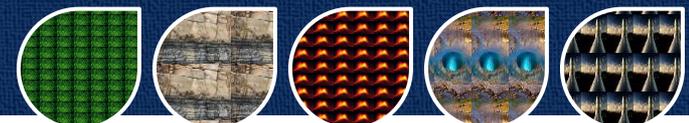


Climatizzazione geotermica degli ambienti

pompe di calore geotermiche

Il fluido, una volta riscaldato/raffreddato in contatto con il sottosuolo e riportato in superficie non è, da solo, in grado di riscaldare/raffrescare l'ambiente a sufficienza.

Si ricorre allora a una **pompa di calore**, una macchina in grado di spostare calore da un corpo più freddo ad uno più caldo a spese di energia elettrica



Climatizzazione geotermica degli ambienti

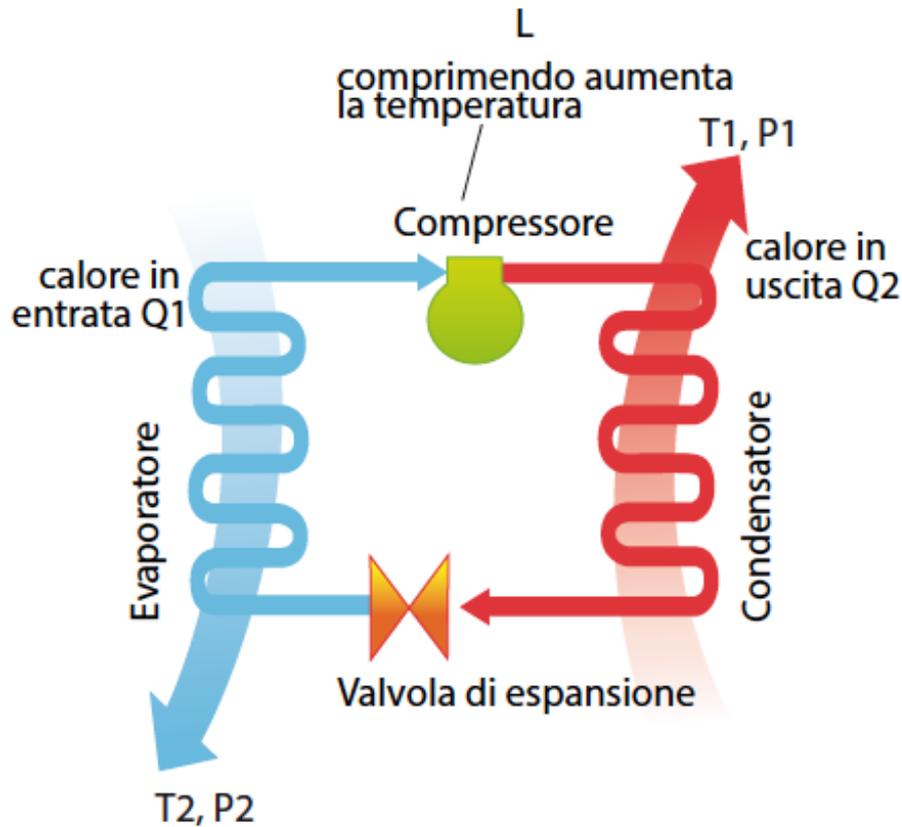
pompe di calore geotermiche

La **pompa di calore** è un'installazione che, operando con continuità, preleva energia termica da una sorgente a temperatura più bassa e la rende disponibile per l'utilizzo esterno a una temperatura mediamente superiore, facendo fluire il calore in senso opposto alla sua tendenza naturale.

Se l'impianto è reversibile, invertendo semplicemente il ciclo termodinamico la pompa di calore serve per la climatizzazione estiva, poiché utilizza il terreno per raffreddare l'abitazione

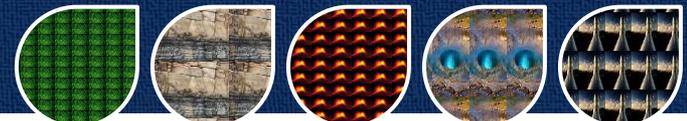


Pompe di calore geotermiche



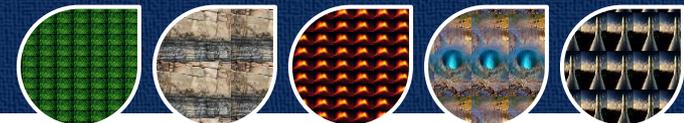
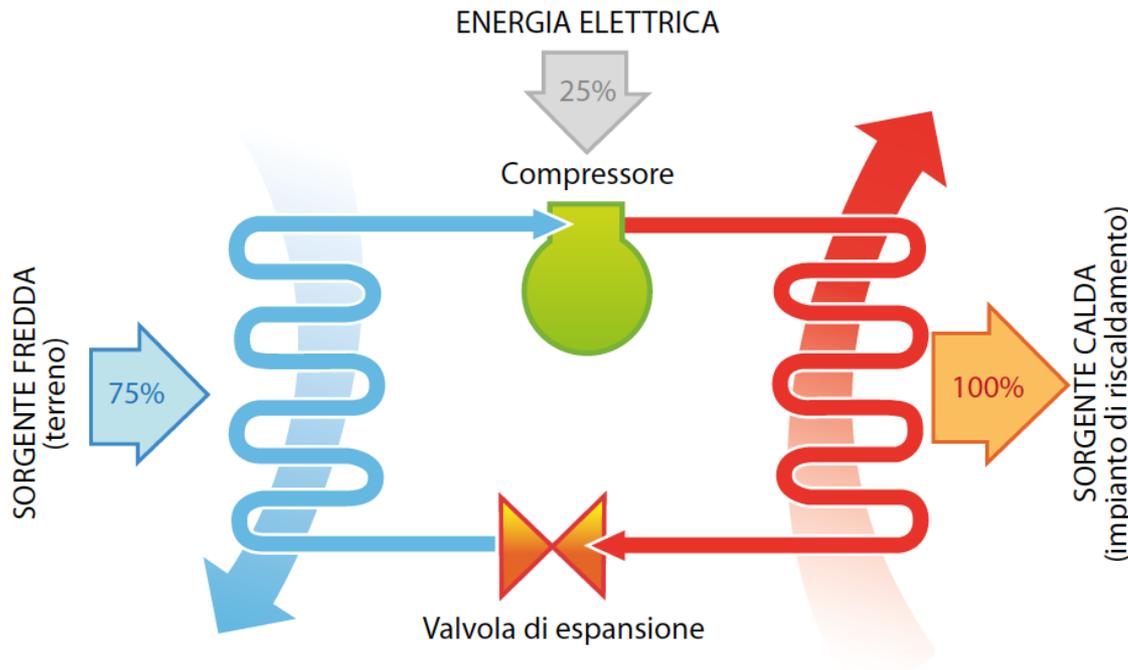
Componenti principali:

- **evaporatore** (assorbe il calore (Q_1) dal terreno e fa evaporare il fluido refrigerante)
- **compressore** (utilizza l'energia elettrica che fornisce il lavoro (L), aspira e comprime il fluido allo stato di gas elevandone temperatura e pressione)
- **condensatore** (riporta il fluido da vapore a liquido, fornendo il calore ($Q_2=Q_1+L$) alla sorgente calda, ovvero all'impianto di riscaldamento)
- **valvola di espansione** (riducendo la pressione del fluido, riporta la temperatura e il fluido allo stato iniziale, chiudendo il ciclo)



Pompe di calore geotermiche

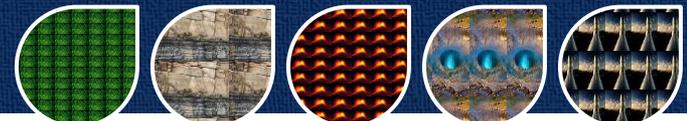
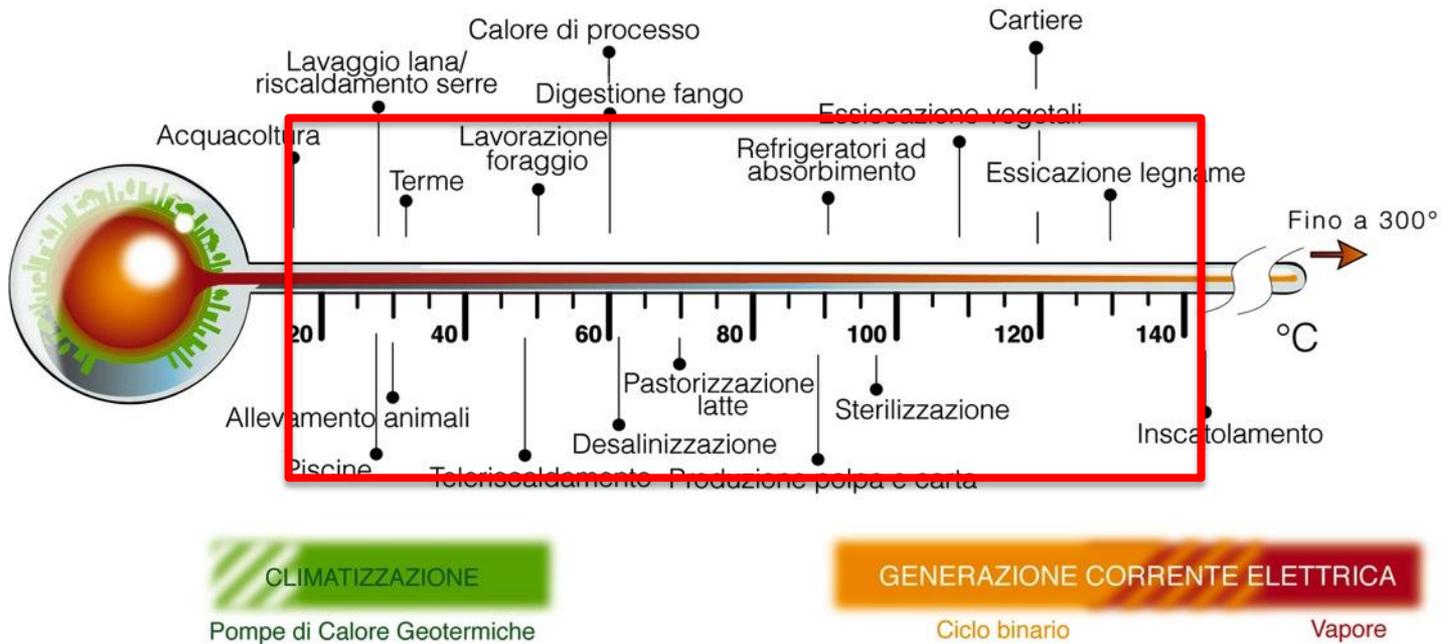
La pompa di calore offre il grande vantaggio di fornire energia in modo efficiente: infatti, per produrre il 100% dell'energia per il riscaldamento è necessario consumarne solo il 25% (elettricità), mentre il restante 75% viene ricavato dal terreno.



Usi diretti del calore

L'energia termica del terreno e dei fluidi in esso contenuti può essere utilizzati in molti processi

USI DEL CALORE GEOTERMICO



Terme

La balneologia è probabilmente l'uso più antico di acque geotermiche, presente in tutte le culture



Teleriscaldamento

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

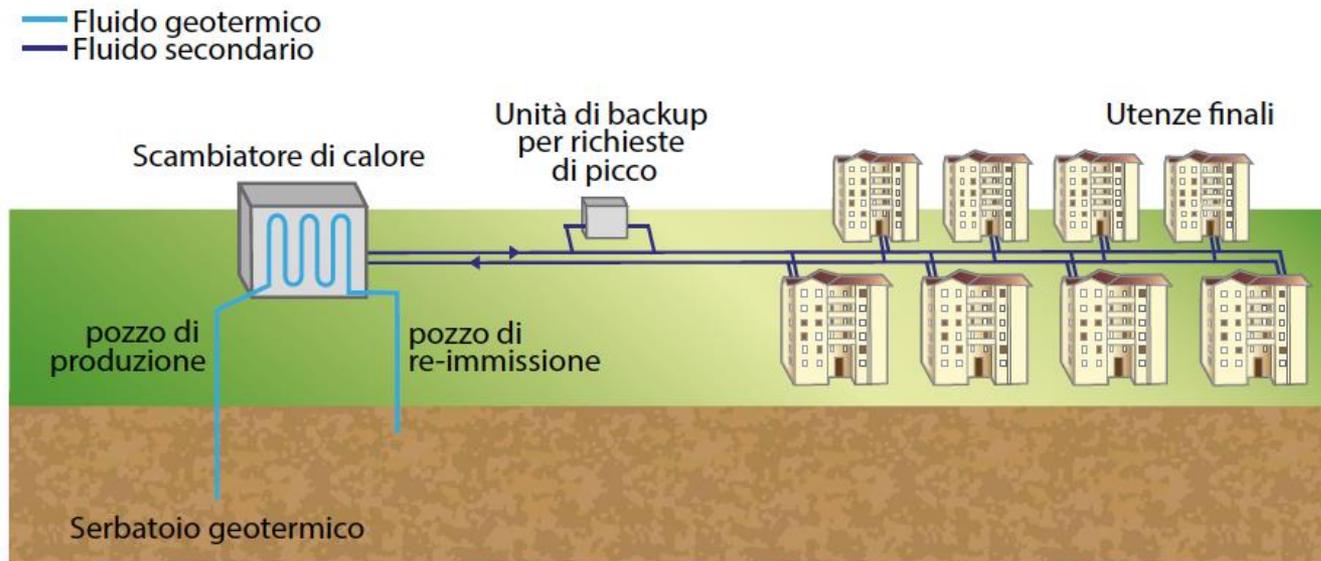
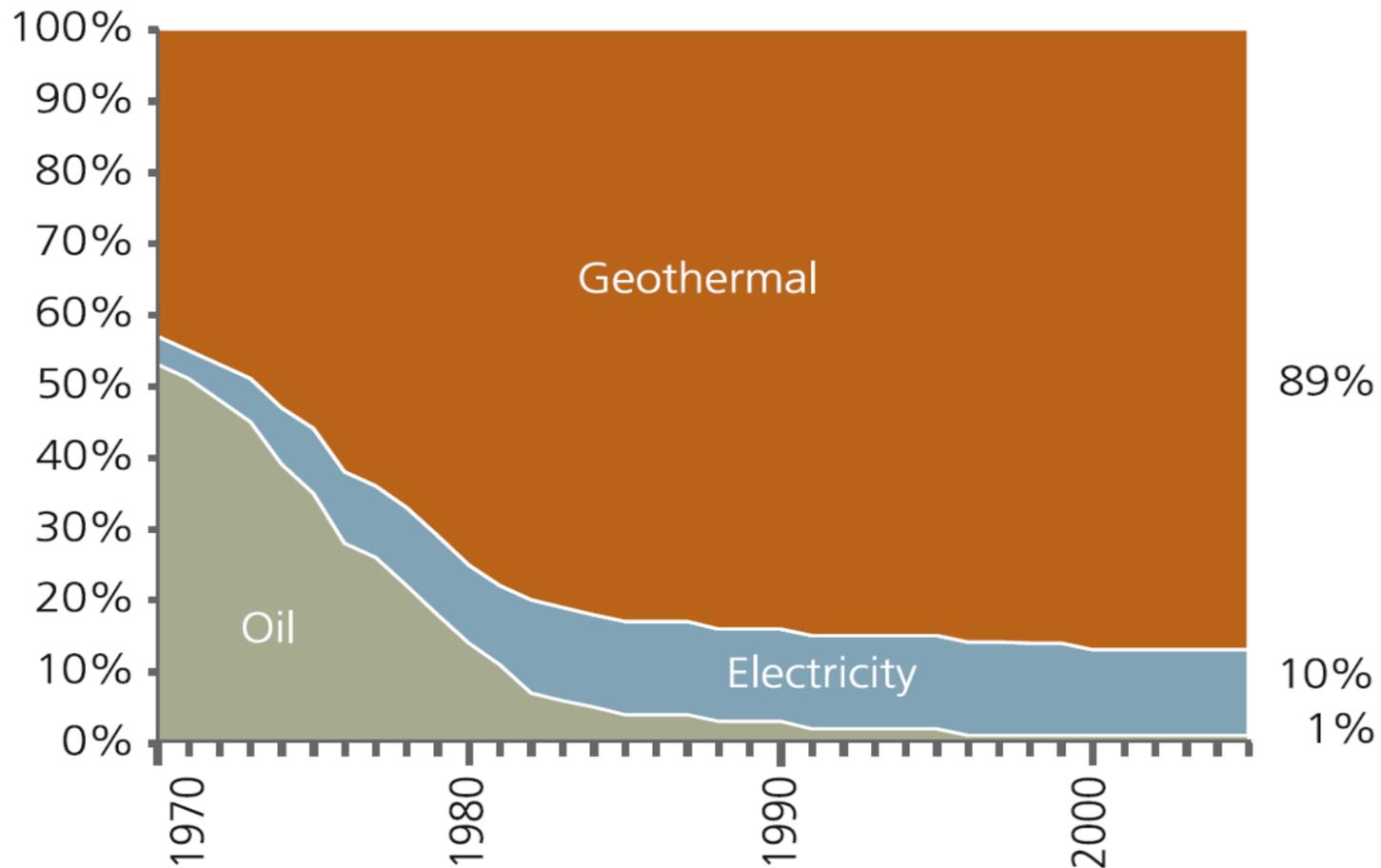


Figura 25. Schema di un impianto geotermico per la teleriscaldamento.

Teleriscaldamento in Islanda



Sorgenti di energia utilizzate in Islanda per il riscaldamento

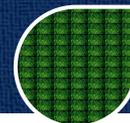




Reykjavik Using F



Reykjavik Using Geothermal





Riscaldamento urbano a Ferrara

Una trivellazione petrolifera ha evidenziato nel 1965 una risorsa geotermica a 102 °C ad una profondità di 1.1 km. Sono attualmente in funzione tre pozzi, due di produzione e uno di reiniezione. Dopo gli scambiatori di calore situati a prossimità dei pozzi, una condotta isolata di 2 km trasporta l'acqua di riscaldamento a 95 °C verso la centrale: questa è composta da serbatoi di stoccaggio, da caldaie a gas per i picchi di domanda e da un inceneritore. La rete di distribuzione, di una lunghezza totale di 30 km, alimenta una parte importante della città di Ferrara. *Il contributo della geotermia sulla rete rappresenta circa il 60 % del fabbisogno di calore e permette di sostituire 5'000 tonnellate di petrolio all'anno.*



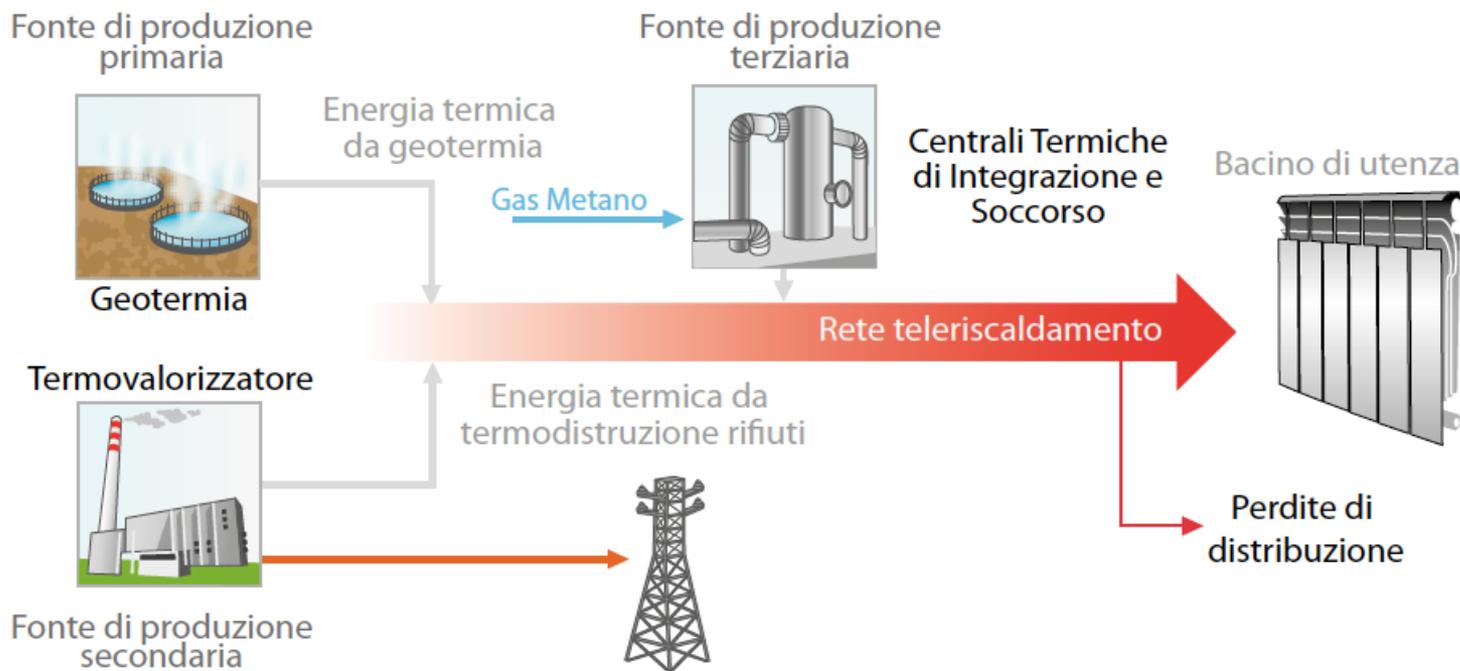
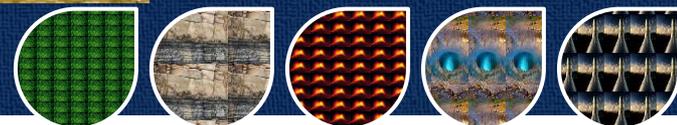


Figura 27. Schema del sistema di teleriscaldamento integrato della città di Ferrara.

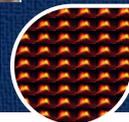
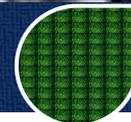
Gli *usi agricoli* dei fluidi geotermici comprendono l'agricoltura a cielo aperto ed il riscaldamento di serre. L'acqua calda può essere usata nell'agricoltura a cielo aperto per irrigare e/o riscaldare il suolo.

Nell'agricoltura a cielo aperto, il controllo della temperatura può consentire di:

- prevenire i danni derivanti dalle basse temperature ambientali,
- estendere la stagione di coltivazione
- aumentare la crescita delle piante ed incrementare la produzione
- sterilizzare il terreno

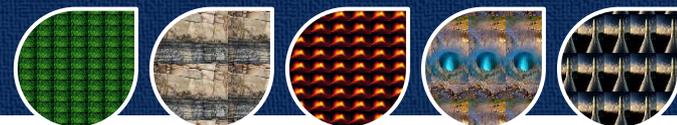
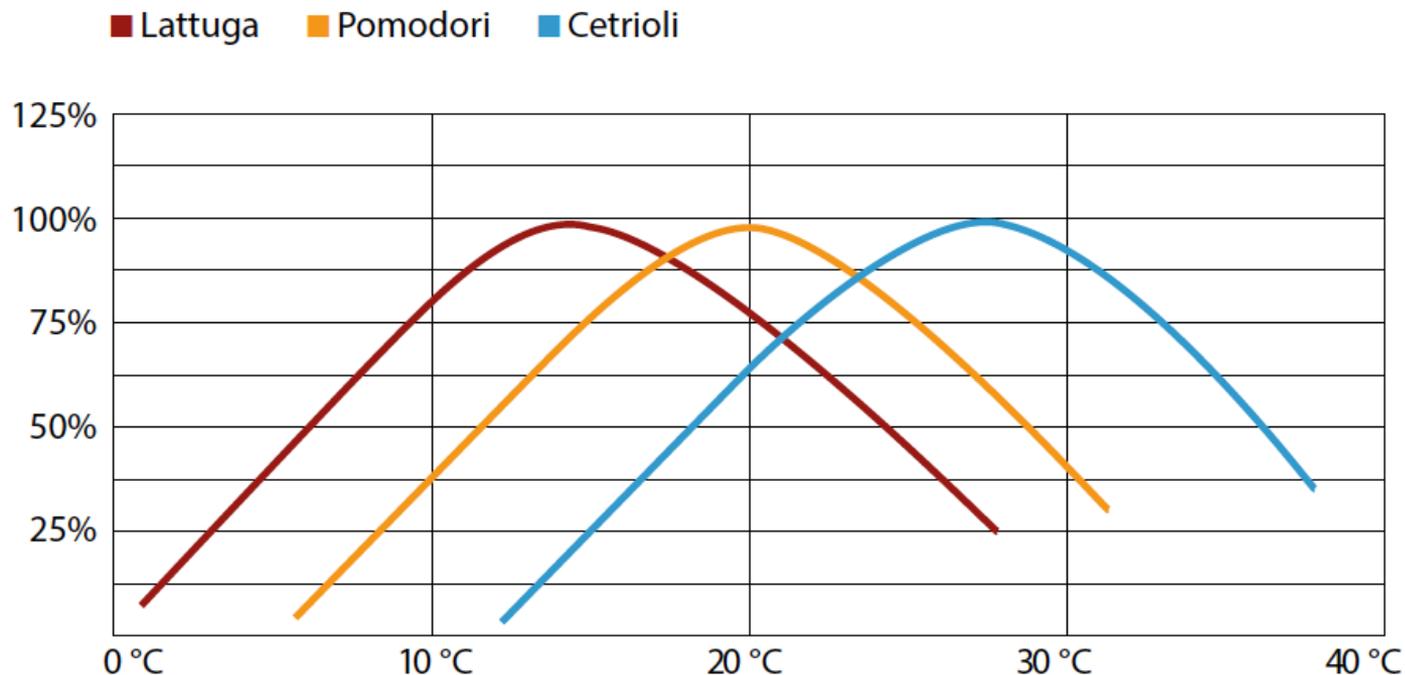


L'utilizzazione più comune dell'energia geotermica in agricoltura è, comunque, il *riscaldamento di serre*, che è stato sviluppato su larga scala in molti paesi. La coltivazione di verdure e fiori fuori stagione o in climi non propri può essere realizzata avendo a disposizione una vasta gamma di tecnologie.



Sono disponibili molte soluzioni per avere ottime condizioni di crescita, basate sulla miglior temperatura di sviluppo di ciascuna pianta e sulla quantità di luce, sulla concentrazione di CO₂ nell'ambiente della serra, sull'umidità del terreno e dell'aria, e sul movimento dell'aria.

Figura 17.
Orticoltura.
Incremento
produttivo
e livelli di
temperatura.

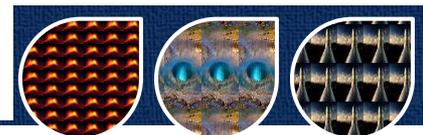




Peppers, tomatoes, and flowers are commonly grown in geothermally heated greenhouses.

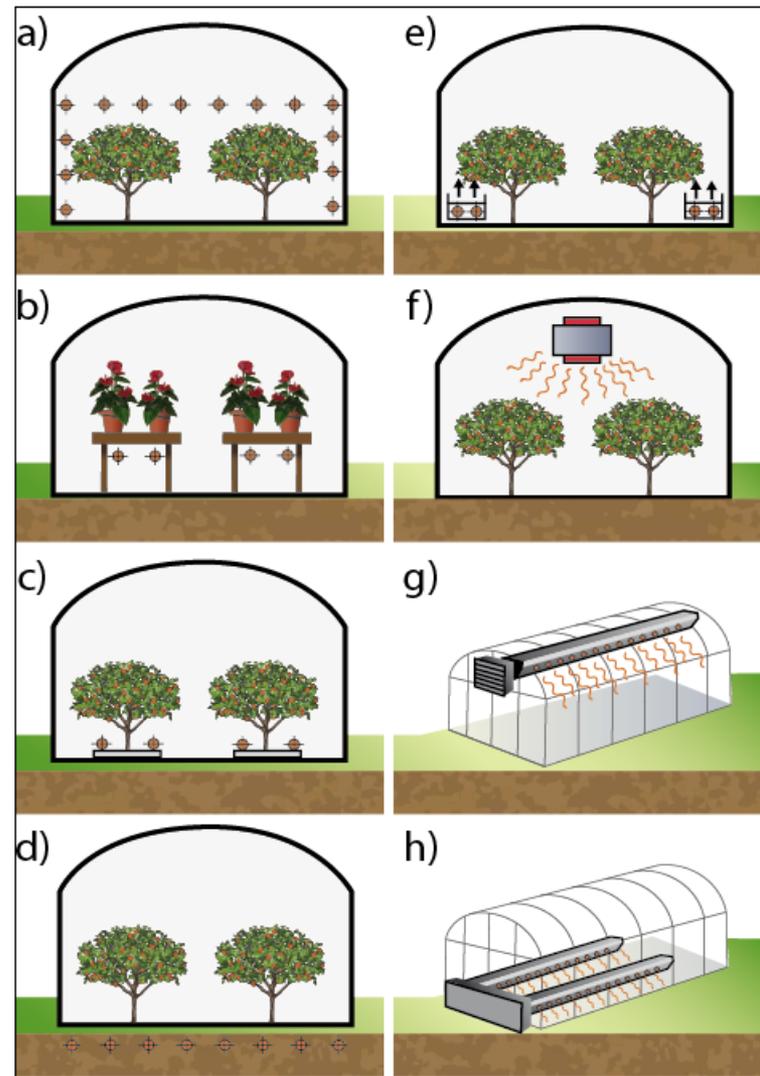


IG
Co



Il riscaldamento delle serre può essere

- a circolazione forzata d'aria in scambiatori di calore,
- a circolazione d'acqua calda in tubi posti sopra o nel terreno, o anche in condotte alettate situate lungo le pareti o sotto i pancali,
- con una combinazione di questi sistemi.

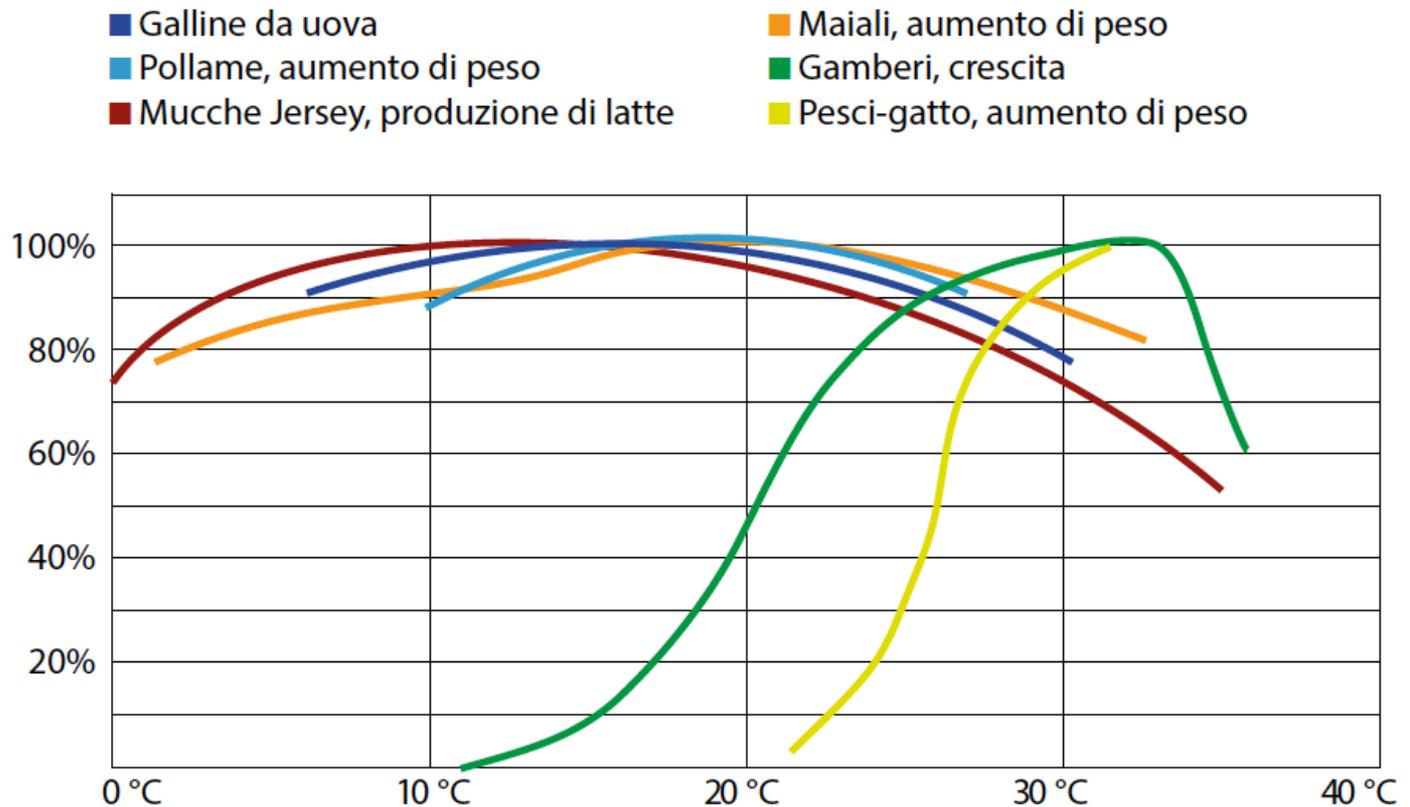


L'uso dell'energia geotermica per il riscaldamento delle serre può ridurre significativamente i costi operativi, che in alcuni casi rappresentano il 35% del costo dei prodotti (verdure, fiori, piante da appartamento, piantine da sviluppo).



Gli animali da fattoria e le specie acquatiche, come anche i vegetali, possono migliorare in qualità e quantità, se sono cresciuti in ambienti a temperatura controllata

Figura 16.
Allevamento.
Incremento
produttivo
e livelli di
temperatura.



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.

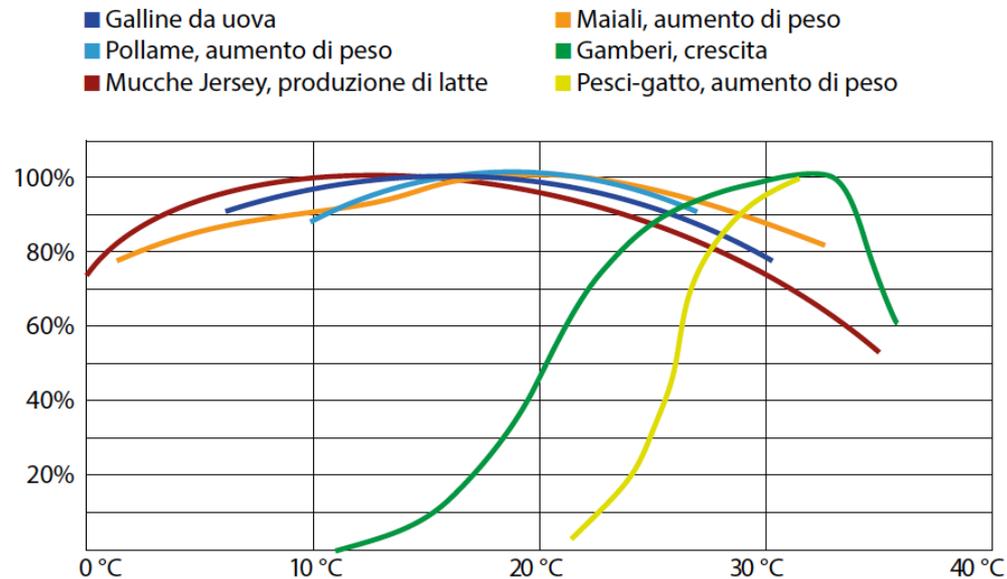
L'allevamento a temperatura controllata migliora le condizioni sanitarie degli animali; inoltre, i fluidi caldi possono essere utilizzati per pulire, sterilizzare e deumidificare gli ambienti e per trattare i rifiuti



L'**acquacoltura**, vale a dire l'allevamento controllato di forme di vita acquatiche, in questi ultimi tempi si è diffuso notevolmente in campo mondiale, a seguito dell'ampliamento del mercato.

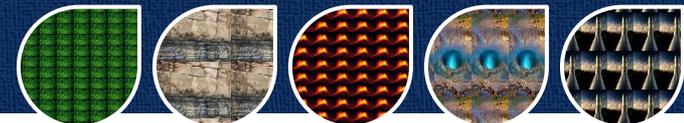
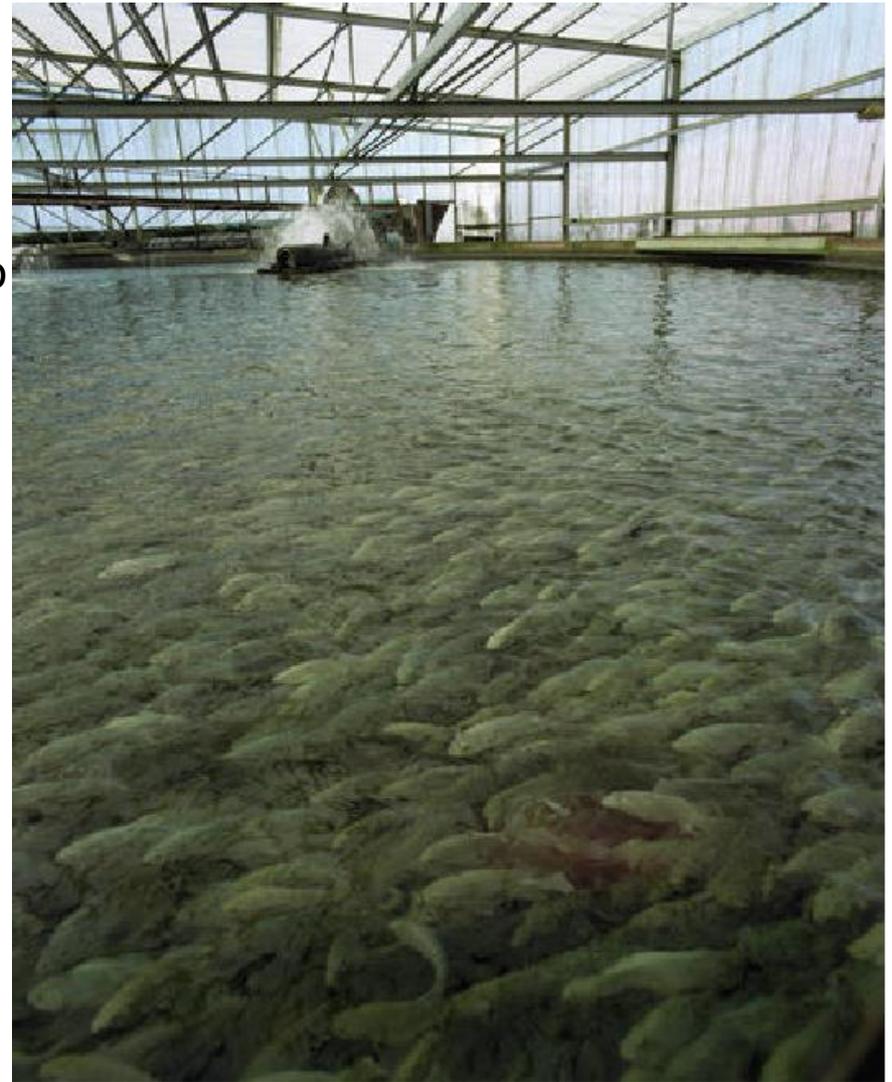
Il controllo della temperatura di crescita per le specie acquatiche è molto più importante che per le specie terrestri, come si può osservare nella Figura, che mostra che l'andamento della curva di crescita per forme acquatiche è molto diverso da quello delle forme terrestri.

Figura 16.
Allevamento.
Incremento
produttivo
e livelli di
temperatura.



Mantenendo artificialmente la temperatura ottimale, si possono allevare specie esotiche, aumentare la produzione e anche, in qualche caso, raddoppiare il ciclo riproduttivo.

Le specie allevate più comunemente sono carpa, pesce gatto, branzino, tilapia, muggine, anguilla, salmone, storione, gambero, aragosta, gambero d'acqua dolce, granchio, ostrica, e mitilo.

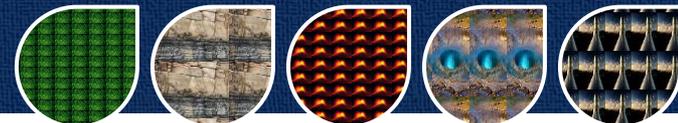
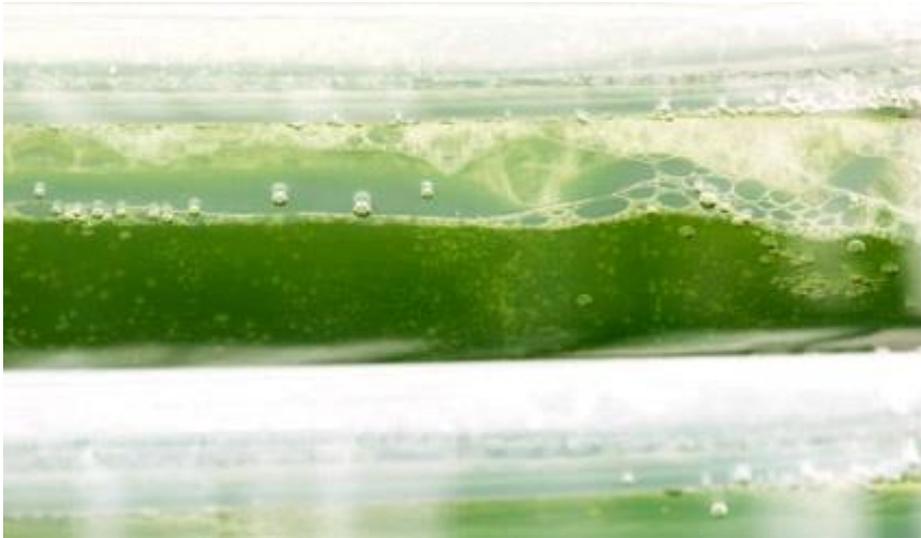


La temperatura richiesta da molte forme acquatiche è compresa tra 20° e 30° C. Le dimensioni delle installazioni dipendono dalla temperatura dei fluidi geotermici, dalla temperatura richiesta nelle vasche di allevamento e dalle perdite di calore da queste ultime.

Allevamento di pesci a destinazione alimentare o ornamentale.

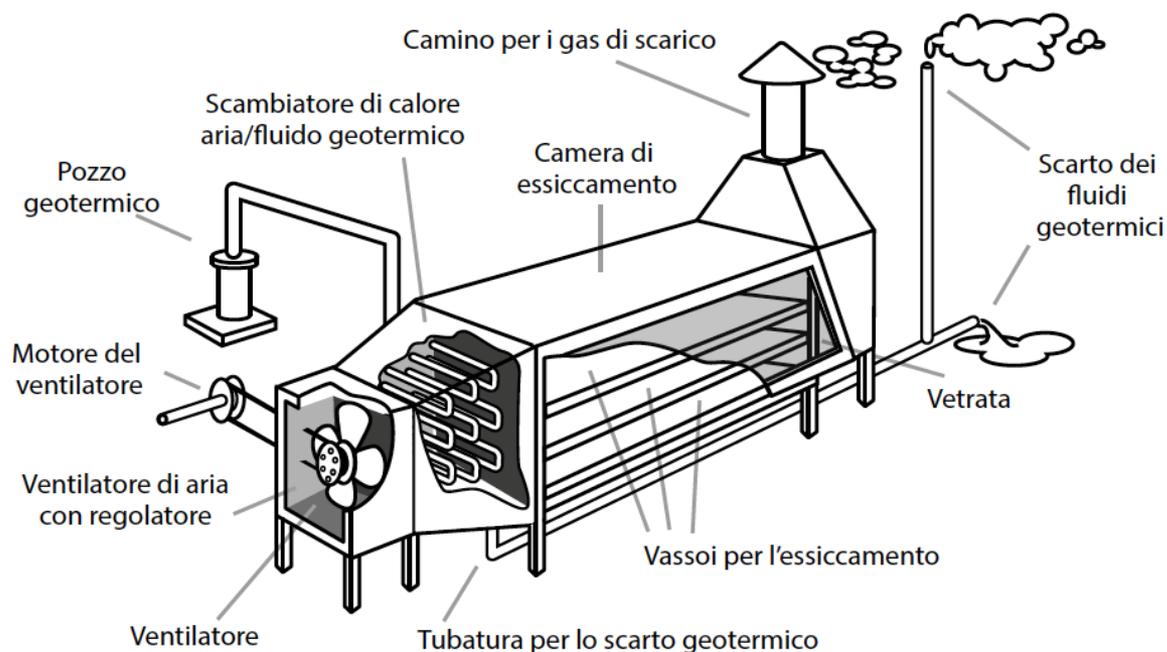


Coltivazione e Produzione di Alghe per l'estrazione di oli essenziali e la produzione di biocombustibili

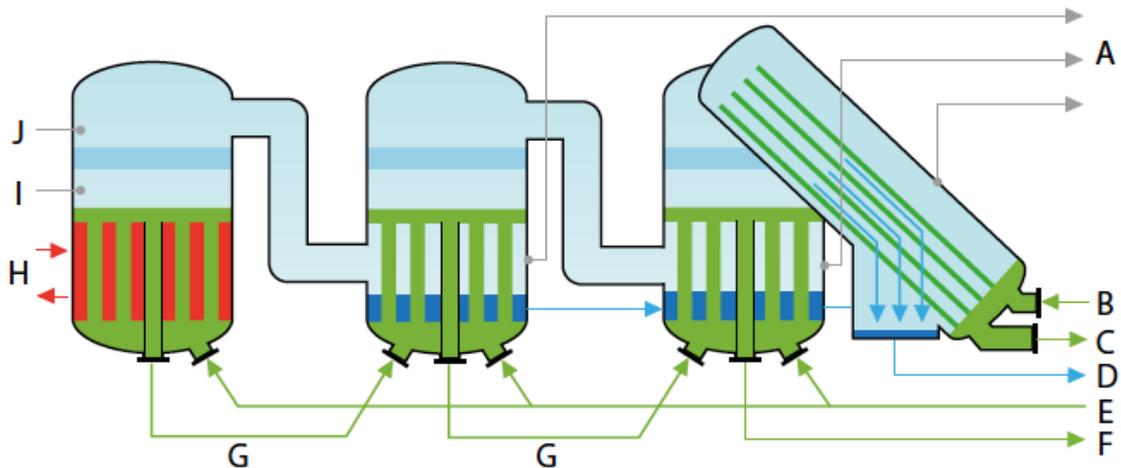


Tutto l'intervallo di temperatura dei fluidi geotermici, vapore o acqua, può essere sfruttato in *usi industriali*. Le diverse possibili forme di utilizzazione comprendono processi a caldo, evaporazione, essiccamento, distillazione, sterilizzazione, lavaggio, decongelamento, ed anche estrazione di idrocarburi.

Figura 21.
Rappresentazione
di un impianto
industriale
di essiccamento
(Sumotarto, 2007).



Tutto l'intervallo di temperatura dei fluidi geotermici, vapore o acqua, può essere sfruttato in *usi industriali*. Le diverse possibili forme di utilizzazione comprendono processi a caldo, evaporazione, essiccamento, distillazione, sterilizzazione, lavaggio, decongelamento, ed anche estrazione di idrocarburi.



- A. Aspirazione espulsioni
- B. Condensatore in ingresso per il raffreddamento dell'acqua marina
- C. Condensatore in uscita per il raffreddamento dell'acqua marina
- D. Uscita dell'acqua dolce
- E. Ingresso acqua di alimentazione
- F. Uscita dell'acqua salata
- G. Recupero del calore dell'acqua salata
- H. Scambiatore
- I. Vapore umido generato
- J. Vapore secco

Figura 24. Schema di funzionamento dell'impianto di desalinizzazione MED di Kimolos.

Comunità del Cibo a Energia Rinnovabile

- **Caseificio San Martino**, prodotti caseari, Monterotondo M.mo
- **Tanda**, prodotti caseari, Monterotondo M.mo
- **Fattoria dell'Antica Filiera**, prodotti caseari, Castelnuovo di V.Cecina
- **Arcadia**, lavorazione carni e insaccati, Monterotondo M.mo
- **Parvus Flos**, prodotti orticoli e floricoltura, Radicondoli



- **Birra Amiata** birrificio, Arcidosso (M.Amiata)



Fluidi geotermici possono essere utilizzate anche per scongelare suoli ghiacciati.

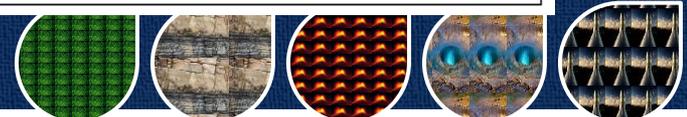
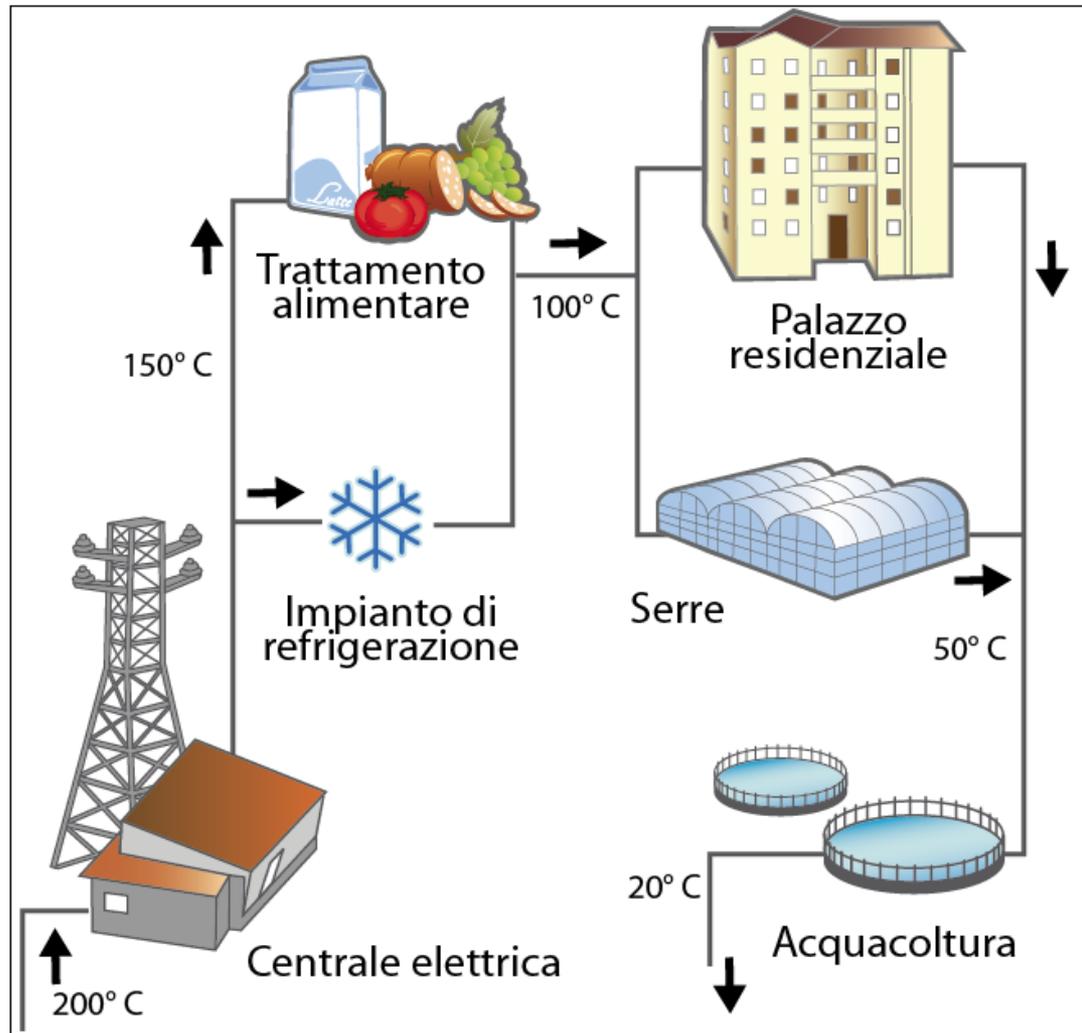


Pipes of geothermal water can be installed under sidewalks and roads to keep them from icing over in winter, like this sidewalk.

Slide 88 of 122, © 2000 Geothermal Education Office

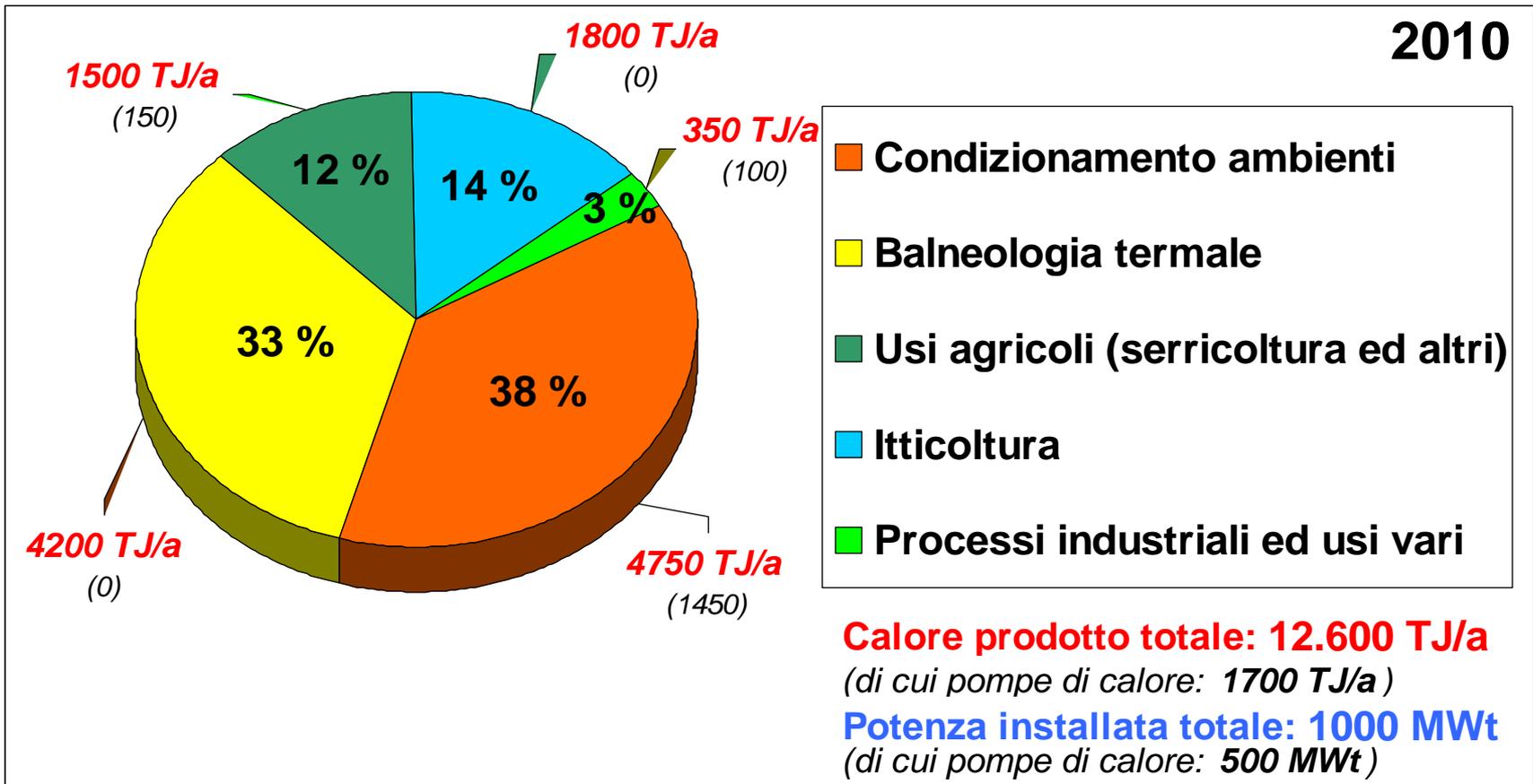


Usi in cascata del calore geotermico

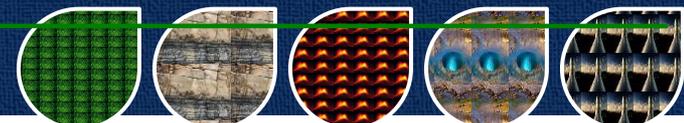


Usi diretti in Italia

2010

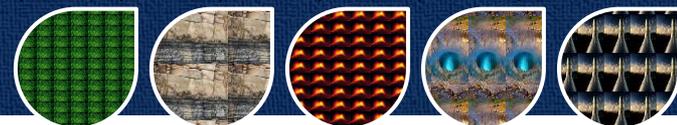
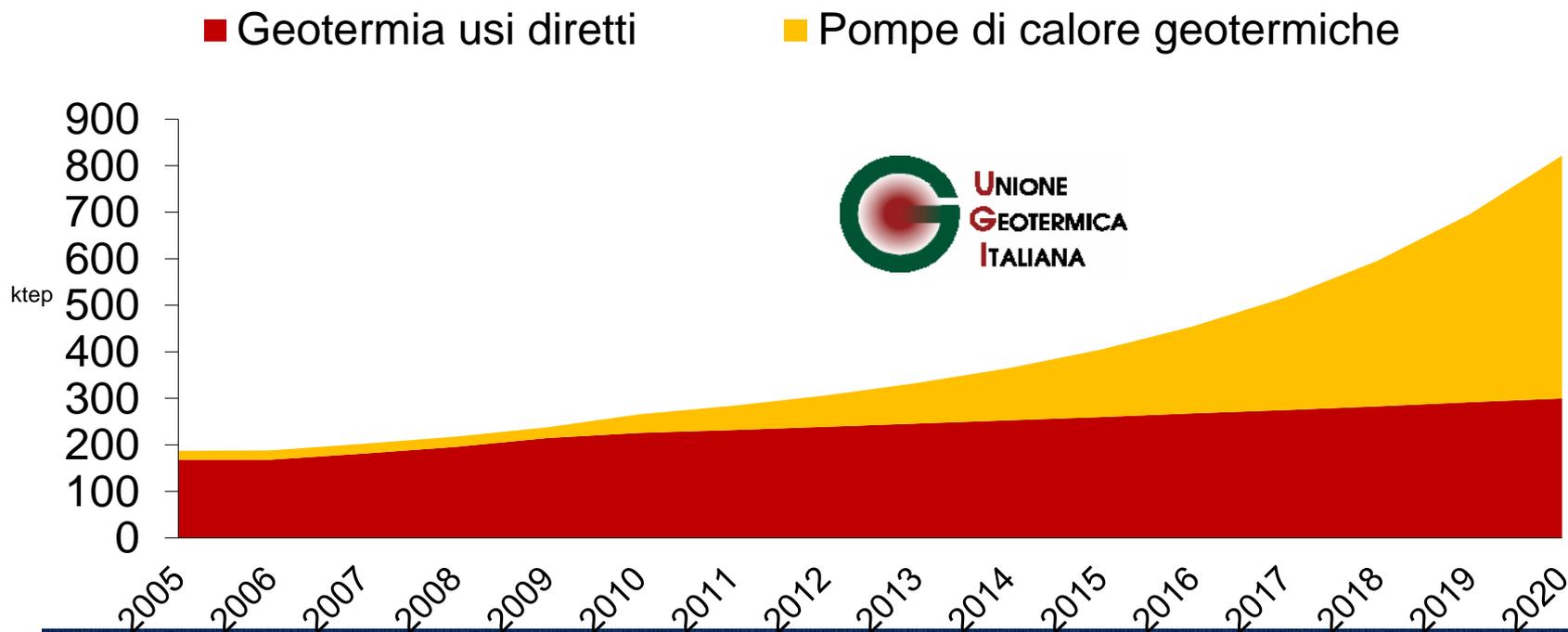


Stime UGI, Previsioni di crescita della geotermia in Italia fino al 2030



PROGRAMMAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SVILUPPO: *Piano di Azione Nazionale per le FER (PAN)*

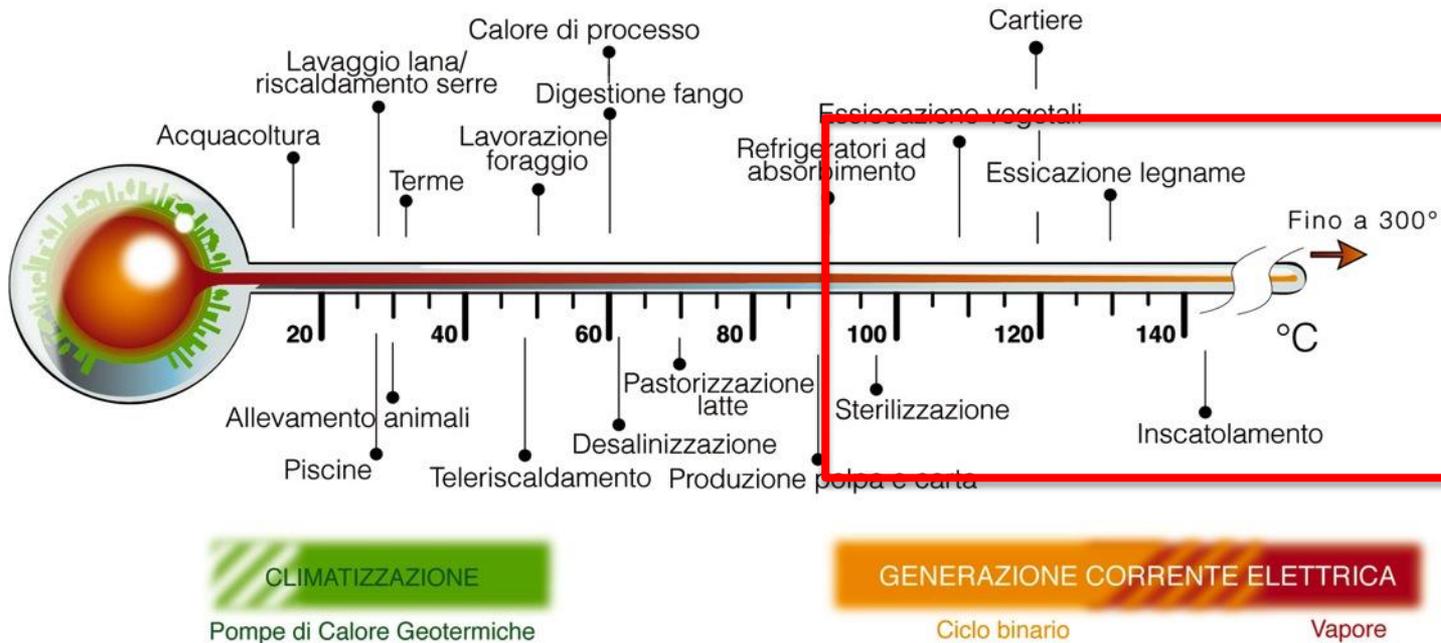
Stime del PAN Italia per il contributo per il 2020 delle risorse geotermiche (usi diretti pompe di calore) all'obiettivo nazionale riscaldamento raffreddamento



La produzione di energia elettrica

L'energia termica del terreno e dei fluidi in esso contenuti può essere utilizzati in molti processi

USI DEL CALORE GEOTERMICO



Produzione di energia elettrica

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

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





Sistemi a vapore dominante: normalmente coesistono nel serbatoio acqua liquida e vapore, che è la fase continua che controlla la pressione. Sono sistemi ad alta temperatura e normalmente producono **vapore secco** o **surriscaldato**. I sistemi geotermici di questo tipo sono molto rari (Larderello in Italia, The Geysers in California, Matsukawa in Giappone, Kamojang e Darajat in Indonesia).

Sistemi ad acqua dominante: l'acqua liquida è la fase continua, che controlla la pressione. Vapore può essere presente, in forma di bolle. Questi sistemi geotermici ($125^{\circ} \text{C} < 225^{\circ} \text{C}$) sono i più diffusi nel mondo. Essi possono produrre, in funzione dalla loro temperatura e pressione, **acqua calda**, una **miscela di acqua e vapore**, **vapore umido** e, in alcuni casi, **vapore secco**. Sono i più diffusi (es. Wairakei in Nuova Zelanda, Tongonan nelle Filippine, e Cerro Prieto in Messico).



Produzione di energia elettrica

Sistemi a vapore dominante

Impianti a vapore secco

Sistemi ad acqua dominante

Impianti a separazione di vapore (singolo o doppio flash)

Impianti binari

Impianti combinati



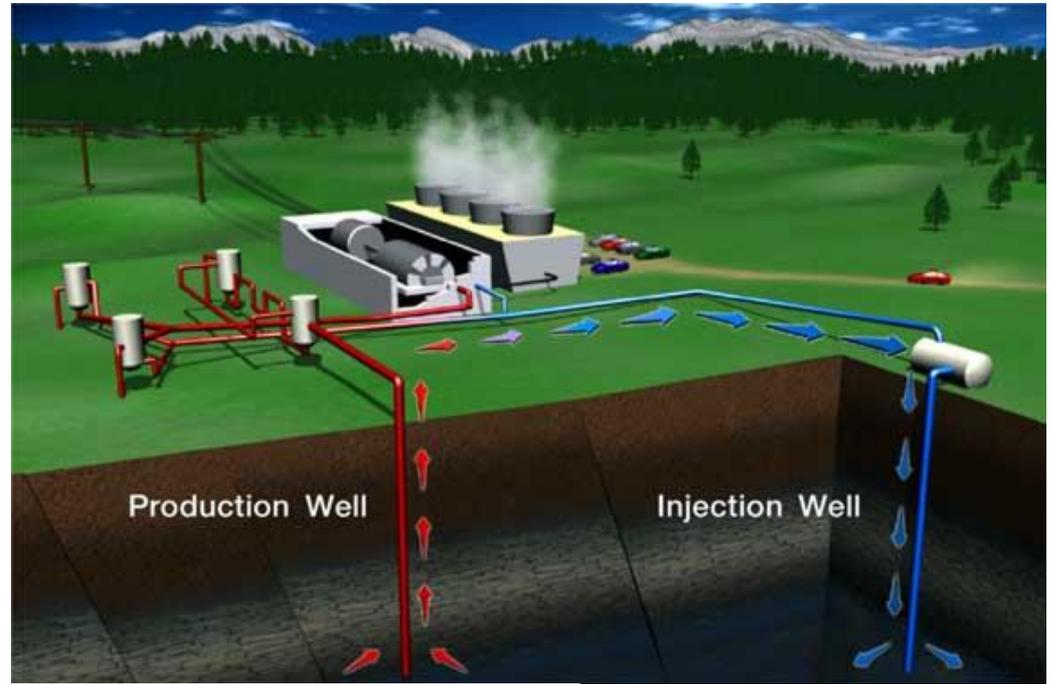
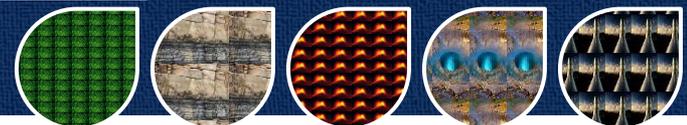
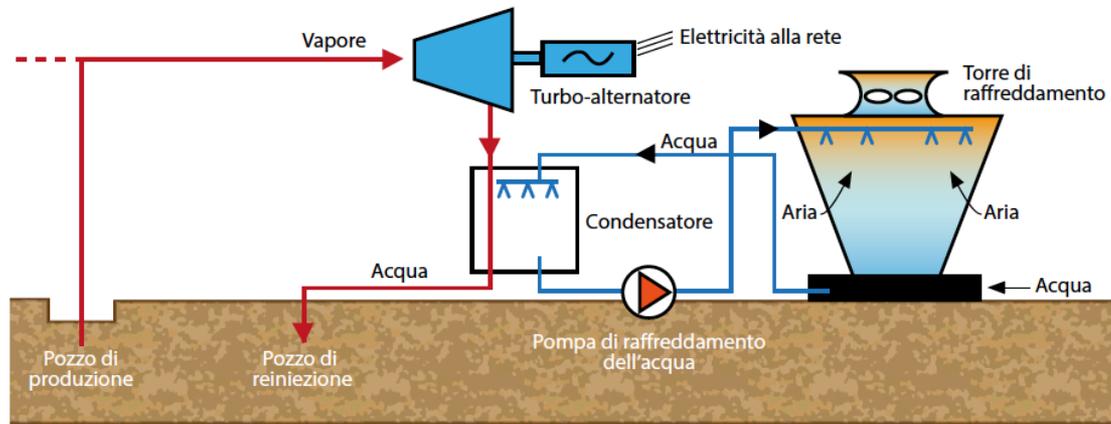


Figura 32.
Schema di un impianto
a vapore
dominante a
condensazione.



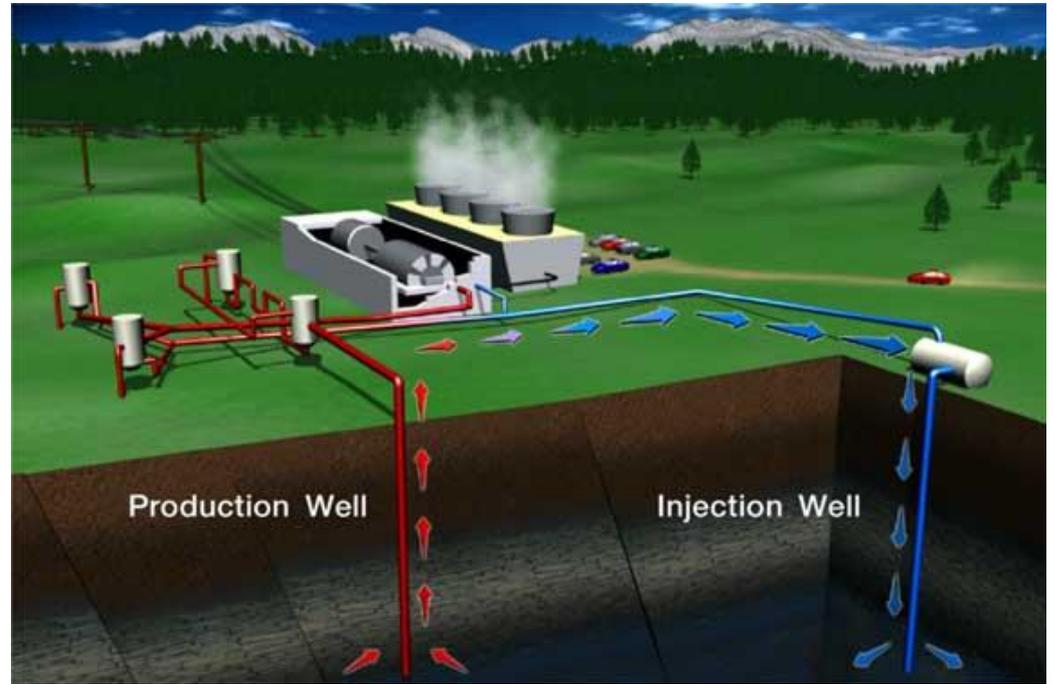
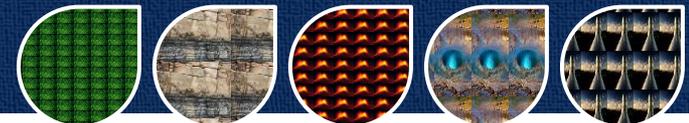
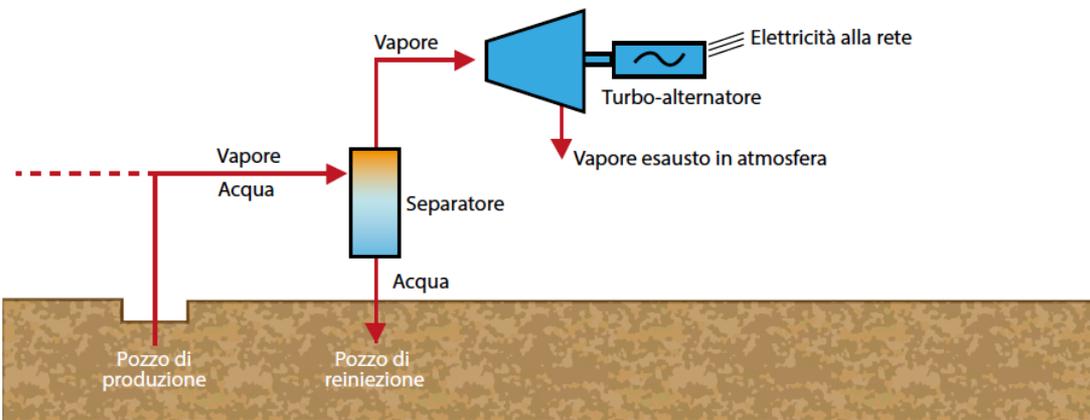


Figura 33.
 Schema di
 un impianto
 a vapore
 dominante a
 contropressione.



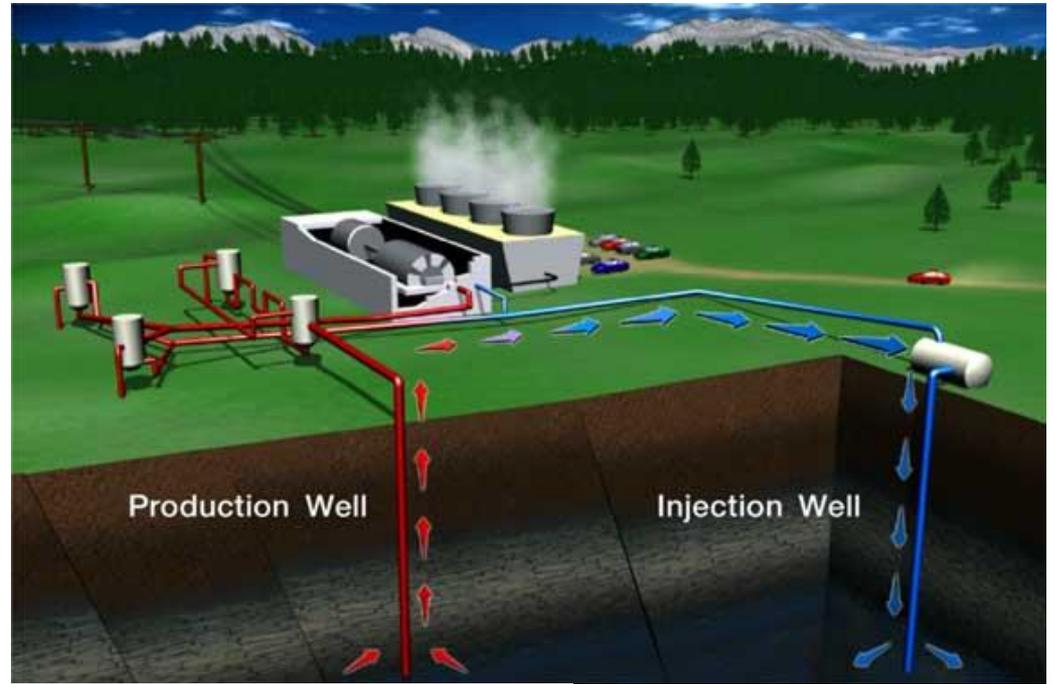
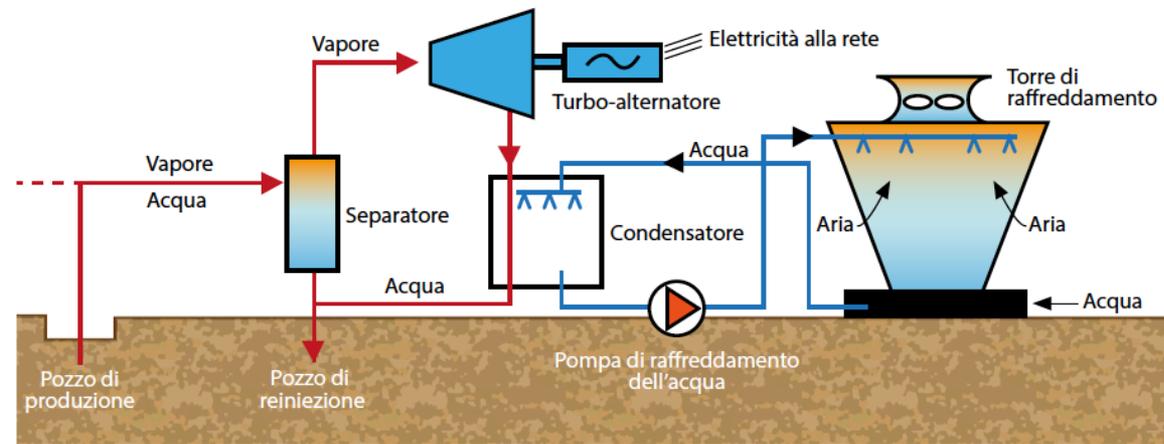


Figura 34. Schema di un impianto ad acqua dominante con ciclo di flash.



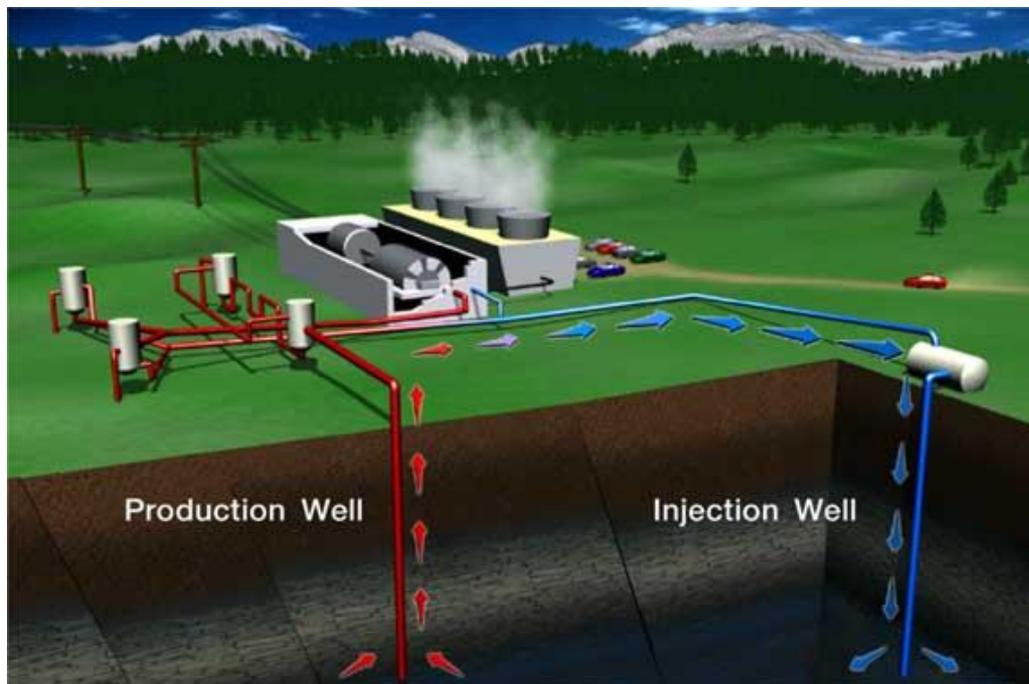
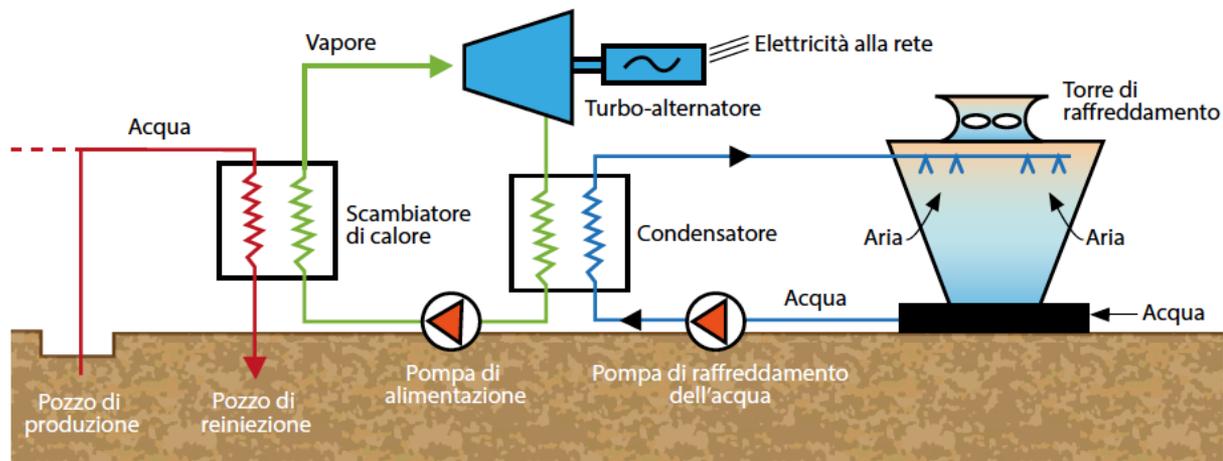
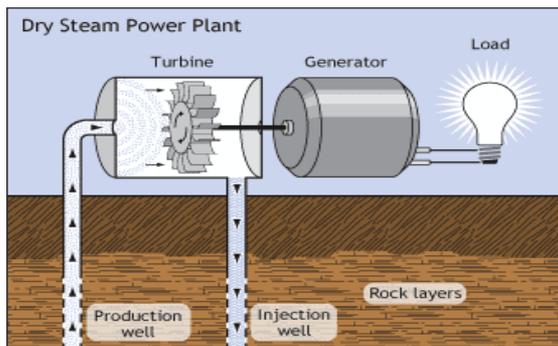


Figura 35.
Schema di
un impianto
ad acqua
dominante con
ciclo binario.

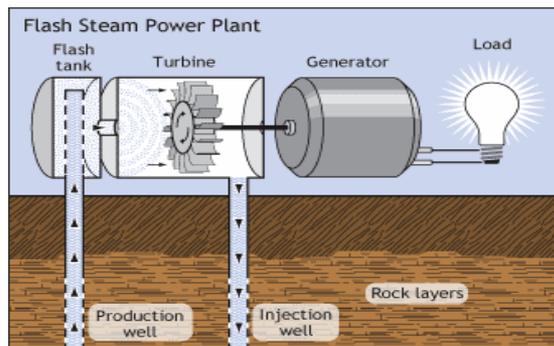


Produzione di energia elettrica nel mondo



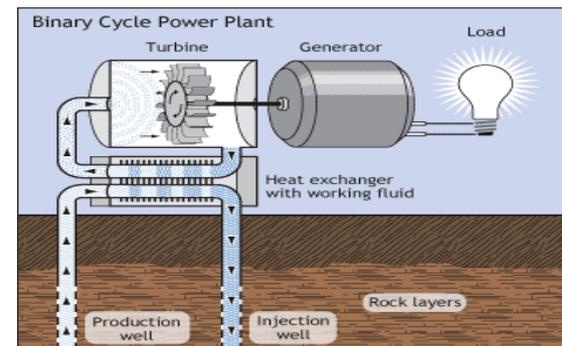
Impianti a vapore secco

Molto efficiente ma scarsa distribuzione



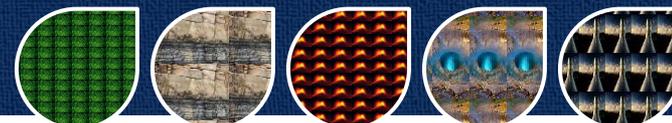
Impianti a separazione di vapore $T > 180^{\circ}\text{C}$

Più importante in termini di potenza installata



Impianti a ciclo binario $T = 105-180^{\circ}\text{C}$

Risorsa più diffusa

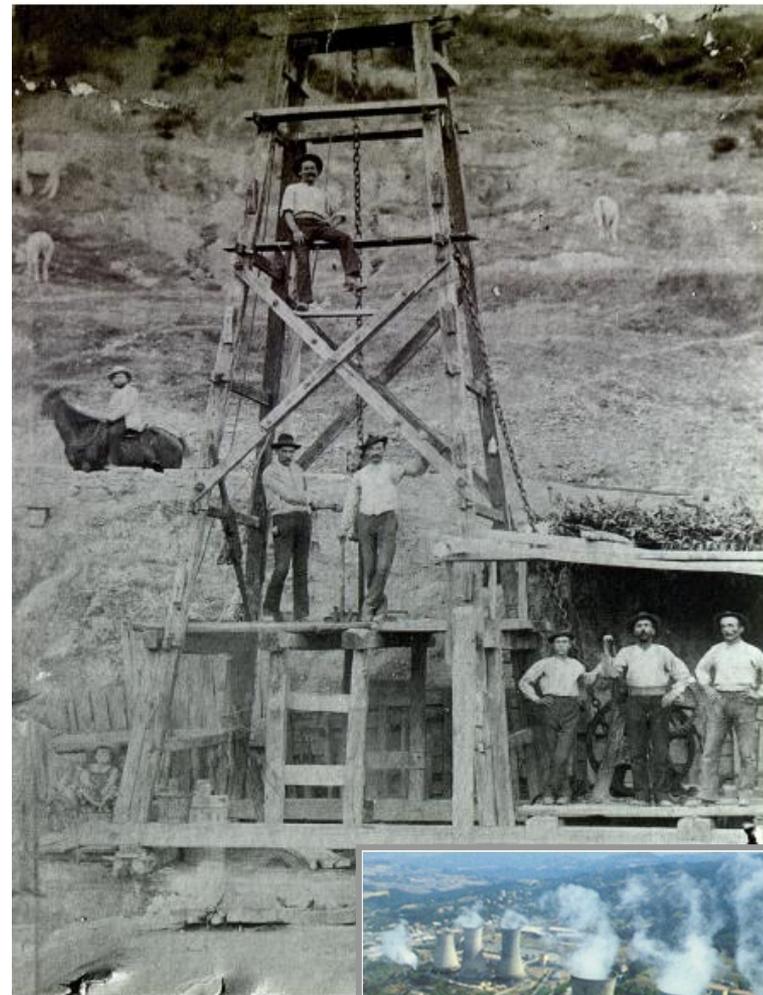


Produzione di energia elettrica

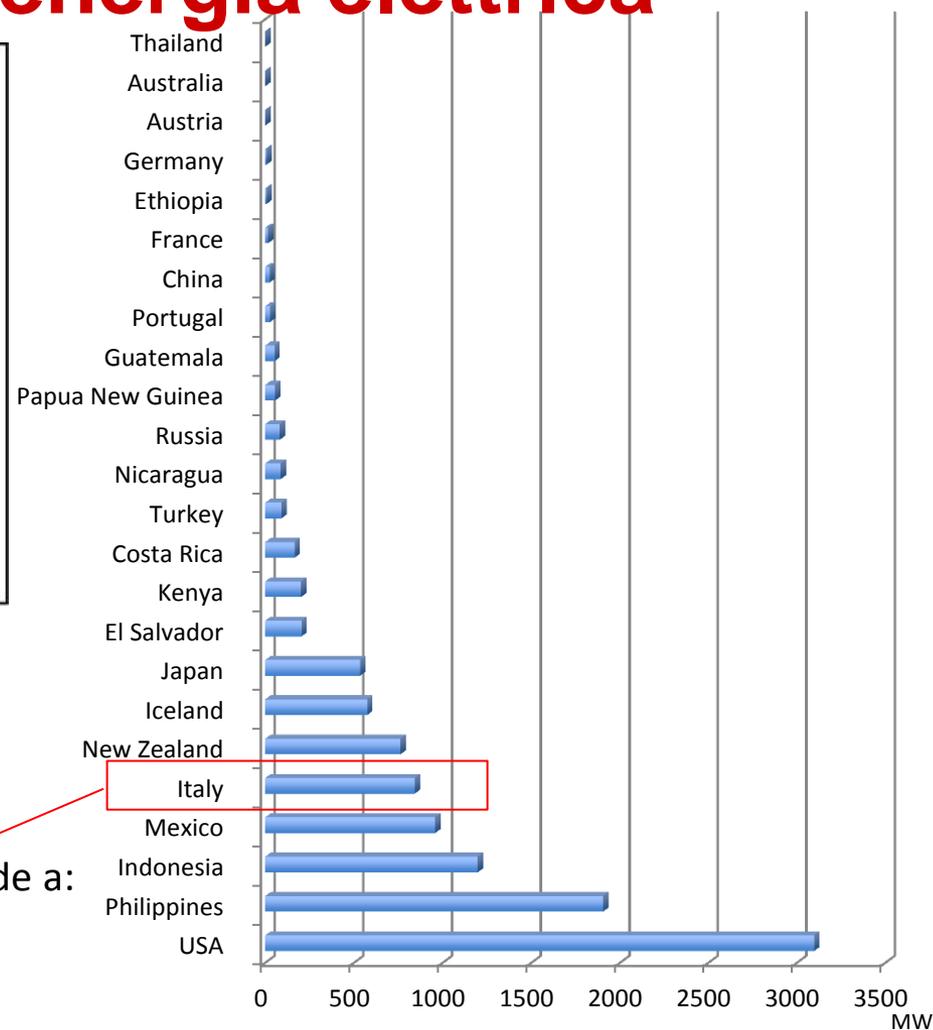
L'Italia può vantare nella geotermia non soltanto un primato storico, essendo stata la prima nazione a produrre energia elettrica da fluidi geotermici, ma anche un bagaglio di conoscenze e competenze riconosciuto in tutto il mondo.



Larderello, 1904



Produzione di energia elettrica



La generazione geotermoelettrica italiana corrisponde a:

- 8,5 % di quella mondiale,
- 1,9 % della generazione nazionale
- 25 % dei consumi elettrici della Toscana.



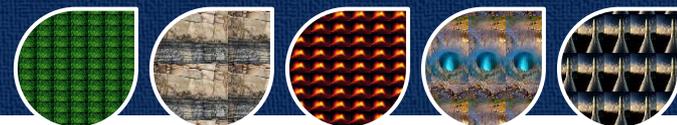
Produzione di energia elettrica



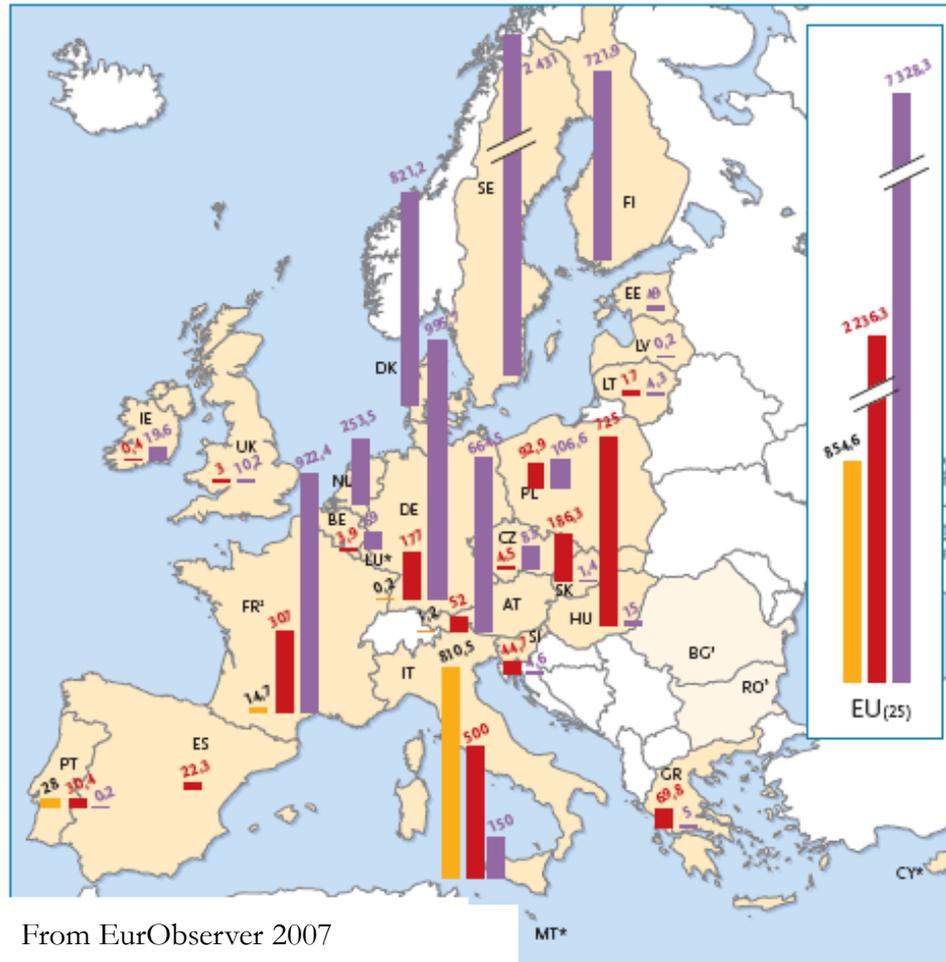
- Potenza installata (MW) 842
- Generazione elettrica 5520 GWh/a
- Centrali 32
- Pozzi 510
- Linee trasporto fluido (km) 481



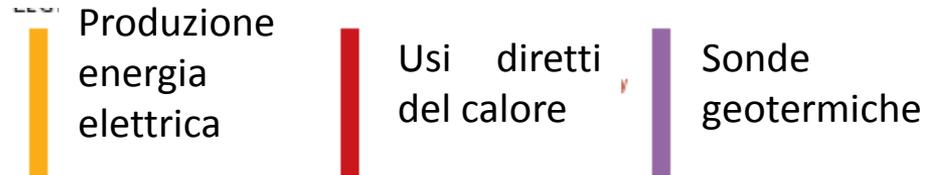
Figura 31. Andamento della produzione di energia elettrica da fonte geotermica in Italia.



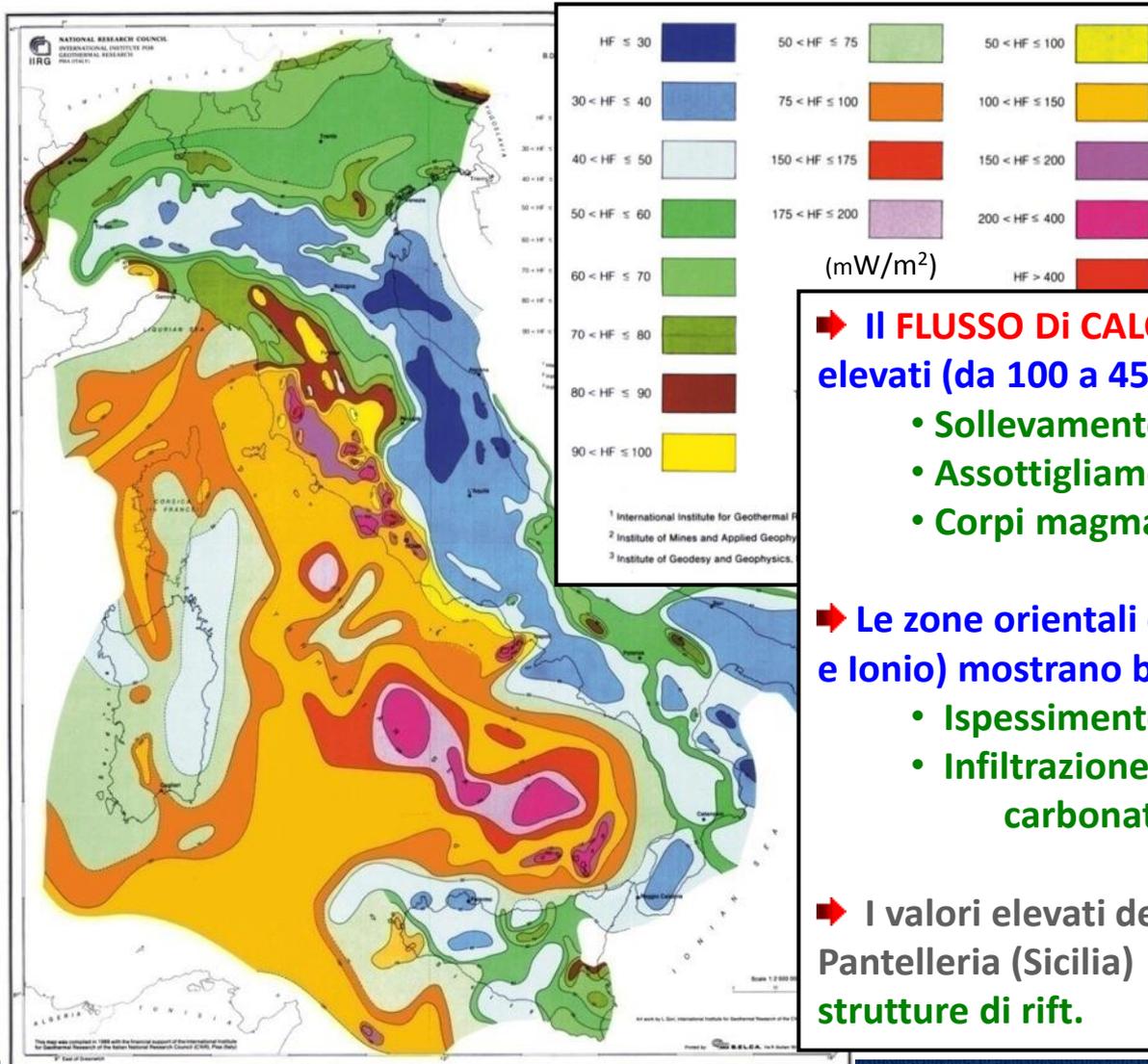
CUMULATED CAPACITY OF GEOTHERMAL ENERGY IN THE EU COUNTRIES'



From EurObserver 2007



L'Italia ha una geologia favorevole



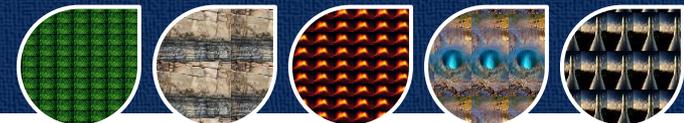
➔ Il **FLUSSO Di CALORE** nel settore tirrenico ha valori elevati (da 100 a 450 mWatt/m²), causati da:

- Sollevamento del mantello terrestre
- Assottigliamento della crosta
- Corpi magmatici a bassa profondità.

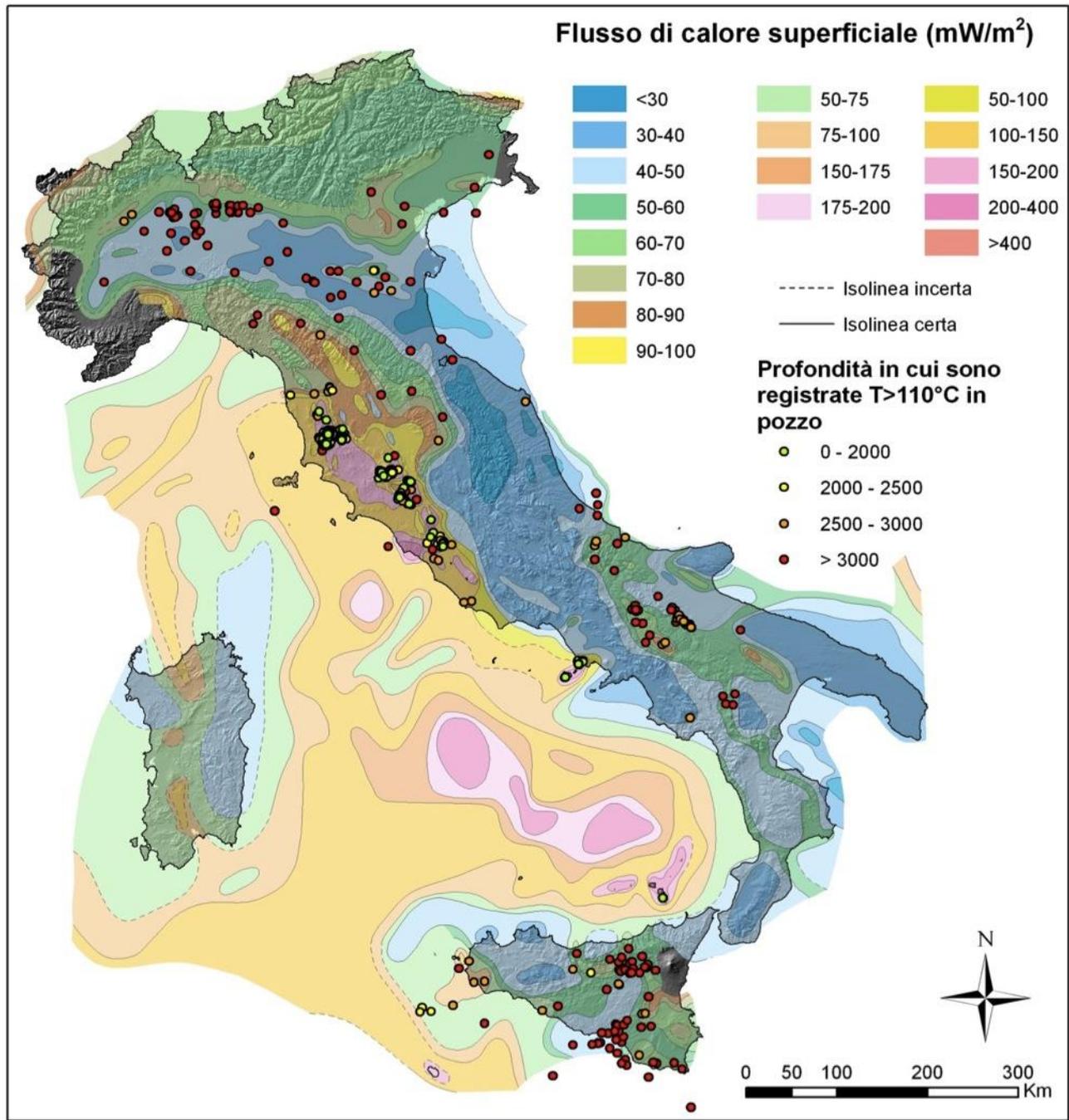
➔ Le zone orientali e meridionali (Apennini, Adriatico e Ionio) mostrano bassi valori (20 - 80 mWatt/m²):

- Ispessimento crostale
- Infiltrazione di acque meteoriche in rocce carbonatiche permeabili affioranti.

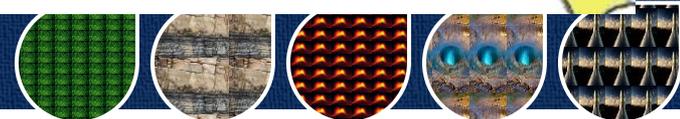
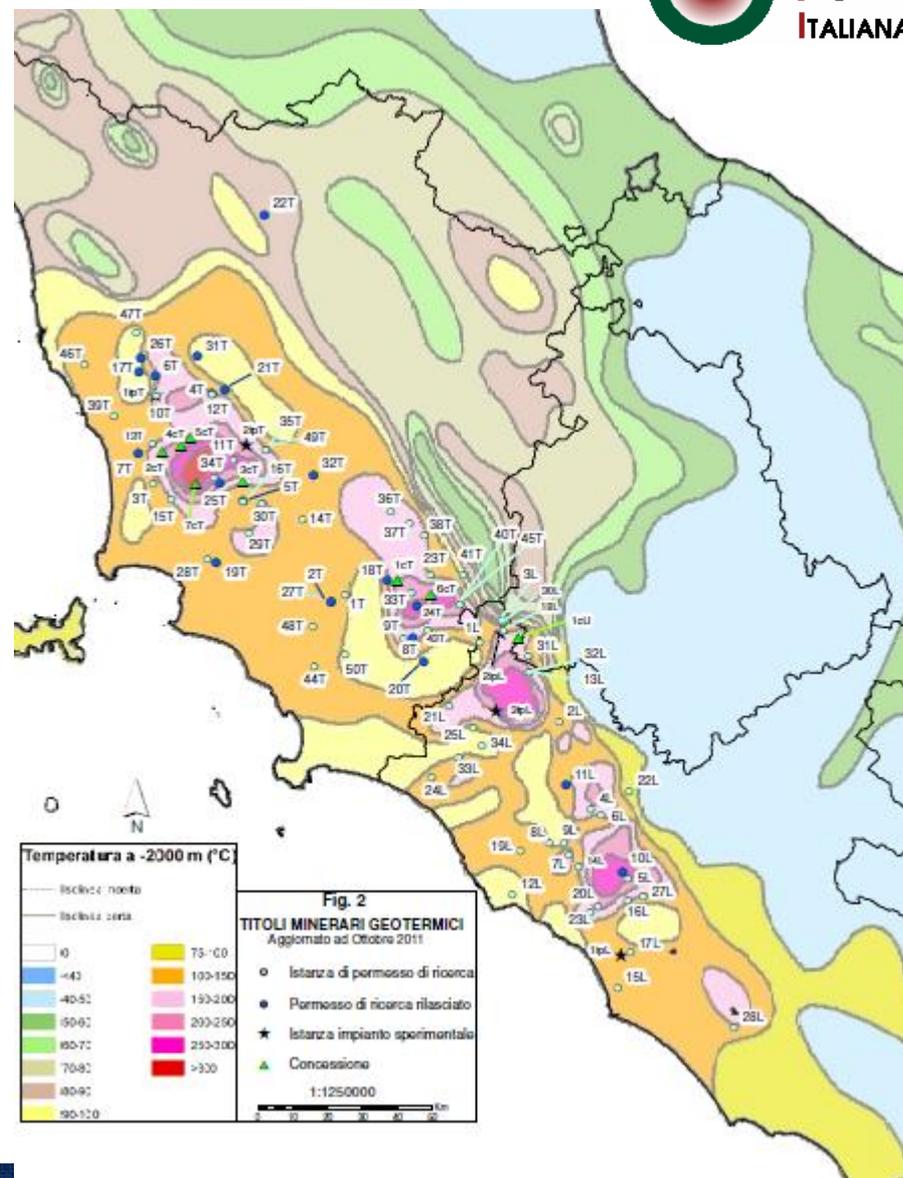
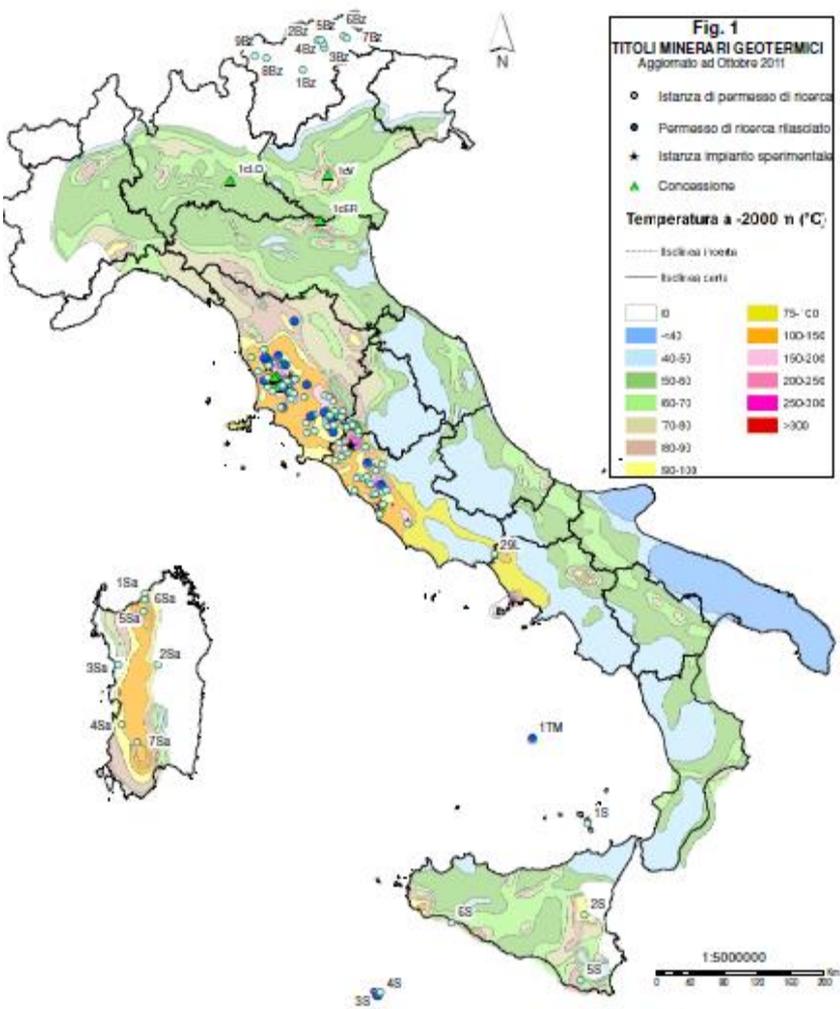
➔ I valori elevati del Campidano (Sardegna) e Pantelleria (Sicilia) sono dovuti alla **apertura di strutture di rift**.



Flusso di calore superficiale (mW/m^2)



Permessi di ricerca negli ultimi 3 anni (a Ott. 2011)

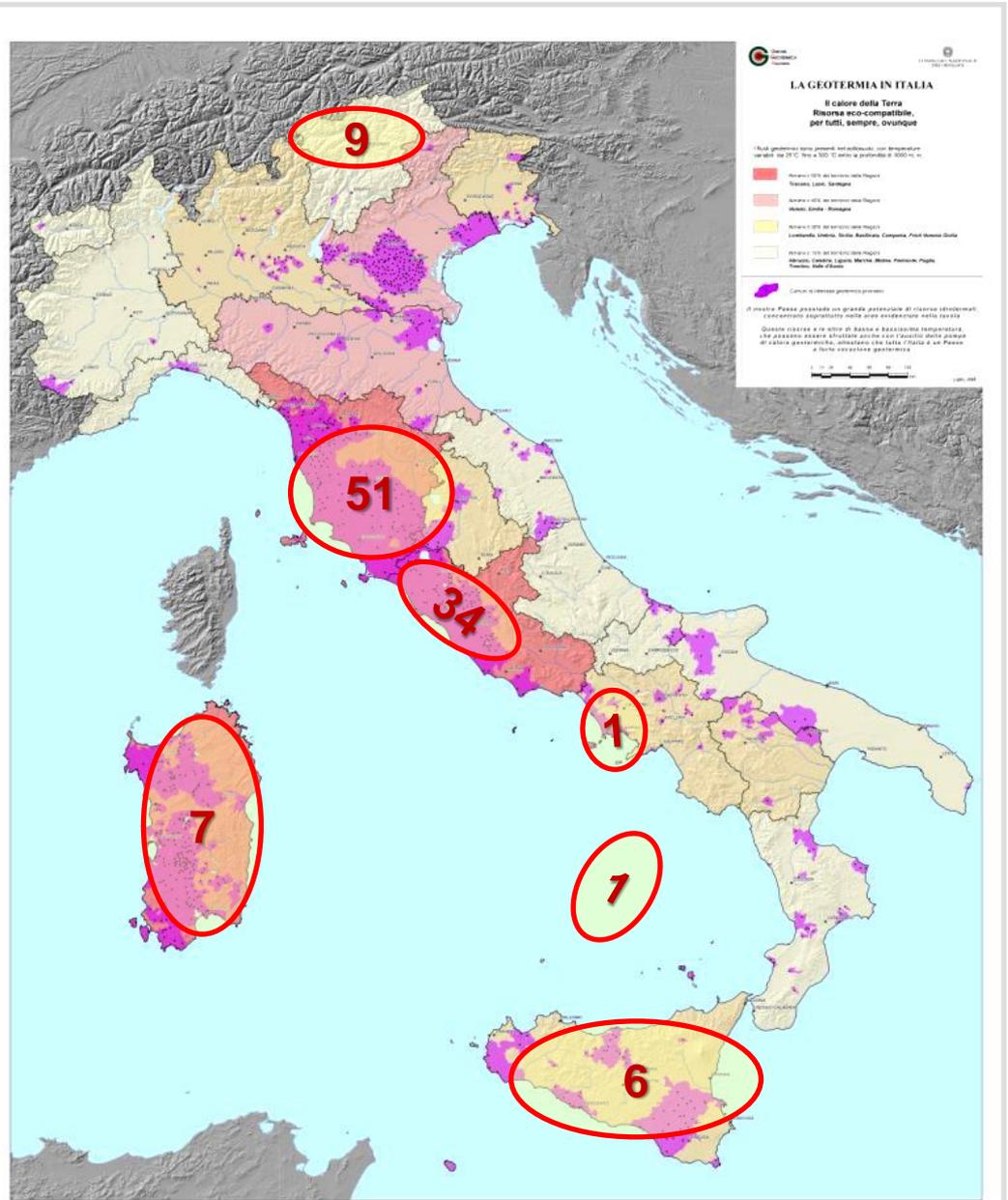


Permessi di ricerca negli ultimi 3 anni (a Ott. 2011)

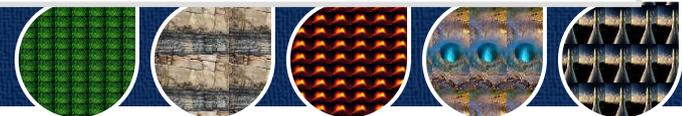
Richiesti: 109

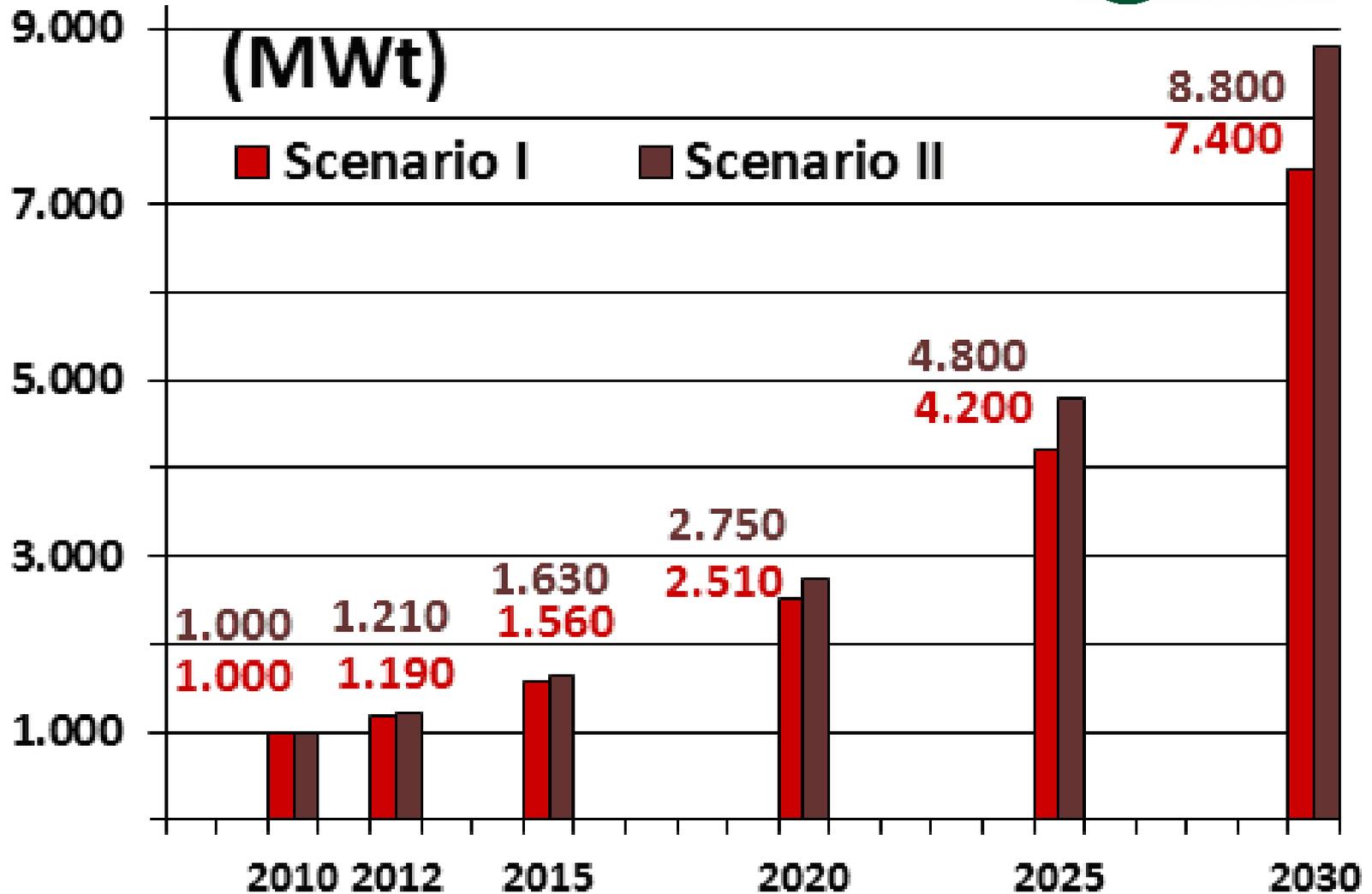
Rilasciati: 29

Respinti: 10



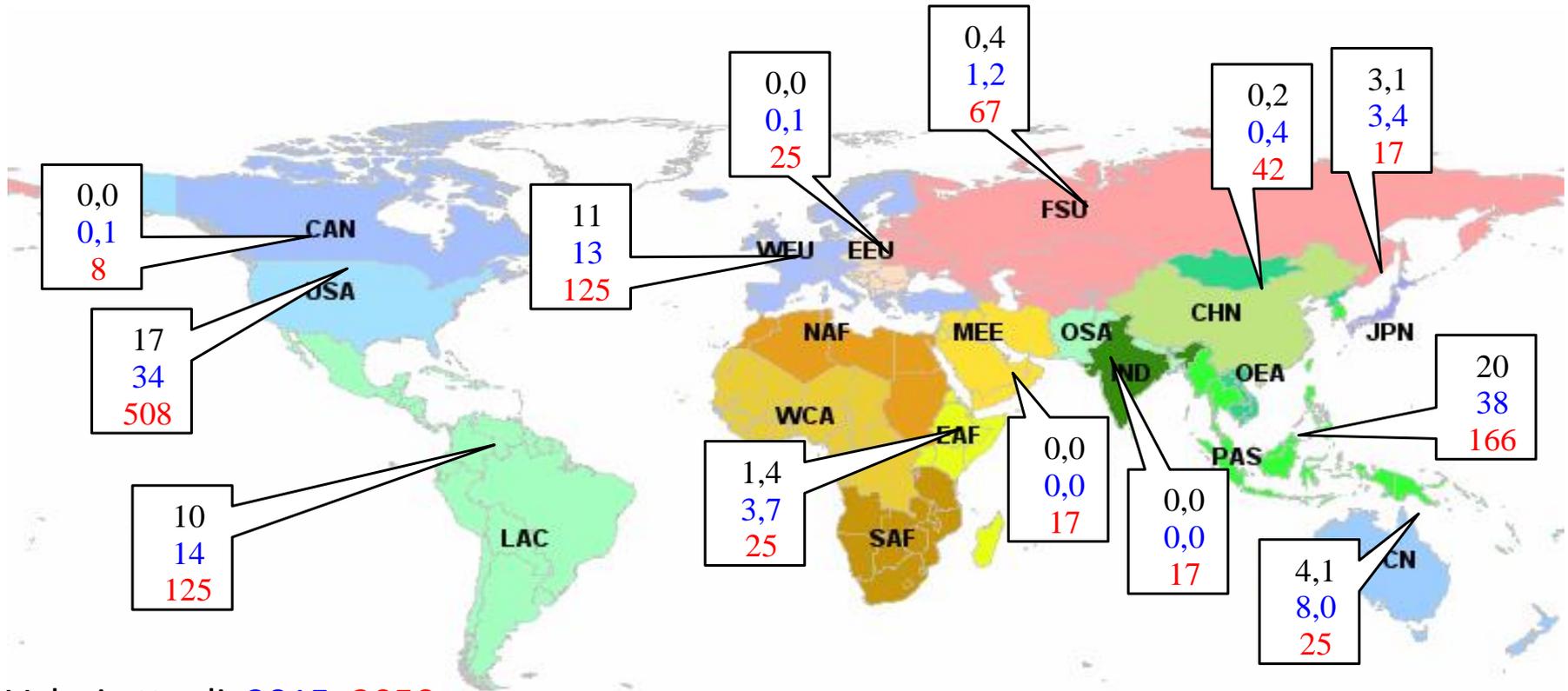
IGG – Istituto di Geoscienze e Georisorse
Consiglio Nazionale delle Ricerche





Prospettive di sviluppo

Aumento previsto per produzione di energia elettrica (TWh/a)



Valori attuali, 2015, 2050

Corrisponde a 10.7 GW nel 2010, 18.5 GW nel 2015 e 140 GW nel 2050

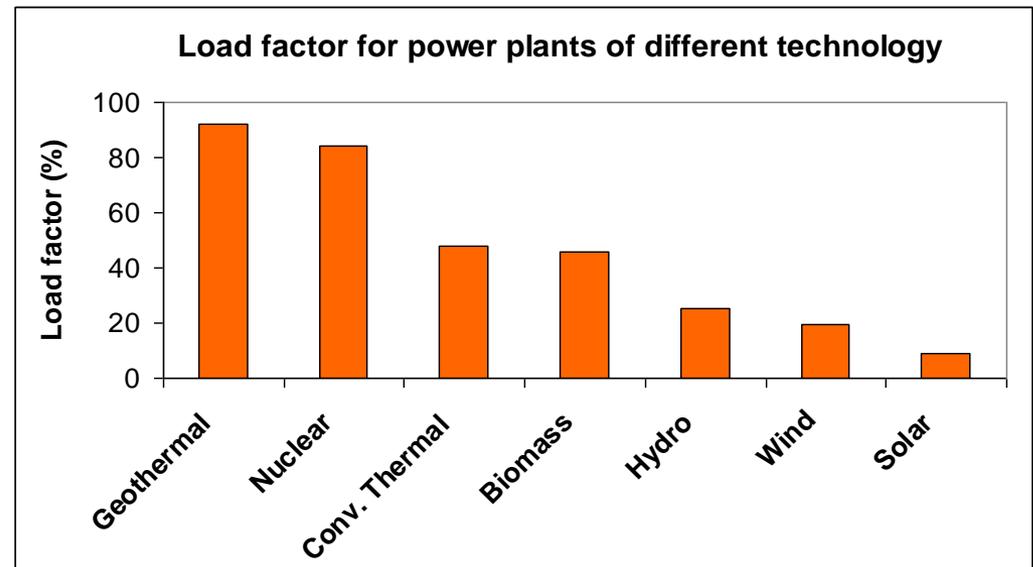
Da Bertani, WGC 2010



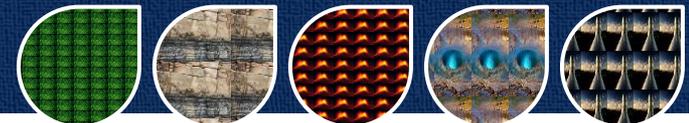
I vantaggi del geotermico

L'aumento della temperatura nel sottosuolo è ubiquitaria, quindi in principio si può utilizzare ovunque

Produce per gran parte del tempo, utilizzando quasi totalmente la sua capacità installata



% di capacità ore / anno - Load factor of power plants in EU-27 (Eurostat 2007)



Gli svantaggi del geotermico ma...

Tecnologia	Costi investimento €/kW _e	Tecnologia	Costi investimento €/kW _e
EGS	12000	Eolico off-shore	3000
Binario	6300	Solare CSP	2150
Flash steam	5000	Nucleare	1540
Dry steam	4000	Eolico on-shore	1400
Solare PV	4700	Biomasse	1150
Maree	3690	Mini-idro	1150

I costi di investimento sono molto elevati, fortemente condizionati da quelli della perforazione, e variano a seconda del numero di pozzi necessari e della profondità di investigazione, dal sito e dalla tecnologia utilizzata, e non sono ancora comparabili con quelli di altre energie rinnovabili



...non poi così tanto

Fonte	CF (%)	LCOE (€/MWh)
Solare PV (fotovoltaico)	17	350
Solare CSP (a concentrazione)	24	250
Maree	60	122
Eolico off-shore	35	110
Geotermia convenzionale	>90	50-90
Geotermia a bassa temperatura	>90	85-150
Geotermia EGS	>90	200-300
Biomasse	83	70-80
Eolico on-shore	27	70-80
Mini-idro	35	45-55

Il *fattore capacitativo* (*Capacity Factor* CF) dell'impianto è il rapporto tra l'energia prodotta e la massima energia che si potrebbe produrre con quell'impianto, riferite alla stessa unità di tempo

Gli impianti geotermici richiedono un costo iniziale molto elevato, ma grazie al diverso CF producono molta più energia degli impianti di altre energie rinnovabili a pari *potenza installata*, rendendolo competitivo rispetto ad altre fonti.



Geotermia: per chi



Jigokudani Hot Springs – Giappone

Dagli usi più semplici a quelli più tecnologici, la geotermia è proprio per tutti: singoli cittadini, amministrazioni pubbliche, piccola, media e grande industria.

E non solo...



IGG – Istituto di Geoscienze e Georisorse
Consiglio Nazionale delle Ricerche

