



Energia geotermica e fonti rinnovabili - Sistemi geotermici, pompe di calore geotermiche e tipologie di scambiatori in edilizia

Massimo Verdoya

Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita Università di Genova
Polo regionale NW Unione Geotermica Italiana

Alessandria 26/10/2018

**Impianti Geotermici: Utilizzo del Sottosuolo Come Fonte Energetica -
Progettazione Sostenibilità Economica e Quadro Normativo**

- Per *risorse energetiche rinnovabili* si intendono quelle risorse che, in misura varia, hanno la possibilità di rinnovarsi o ricostituirsi in tempi brevi, grazie alla presenza, più o meno continua, dei fenomeni naturali che stanno alla base della loro origine
- Diverse forme di energia rinnovabile hanno assunto progressivamente un ruolo importante nella produzione di energia a scala globale e sono a pieno titolo considerate *fonti primarie*, al pari delle risorse convenzionali, non rinnovabili (fonti fossili: petrolio, gas, carbone)



Sorgenti termali di
Cisukaramé (Indonesia)



Sorgenti primarie d'energia (ovvero presenti in natura e non derivanti dalla trasformazione di altra forme di energia)

-Fonti non rinnovabili:

-Petrolio

-Gas naturale

-Carbone

-Nucleare

Fonti fossili

-Rinnovabili

-A) dal sole (direttamente o indirettamente):

-Biomassa

-Idraulica

-Solare

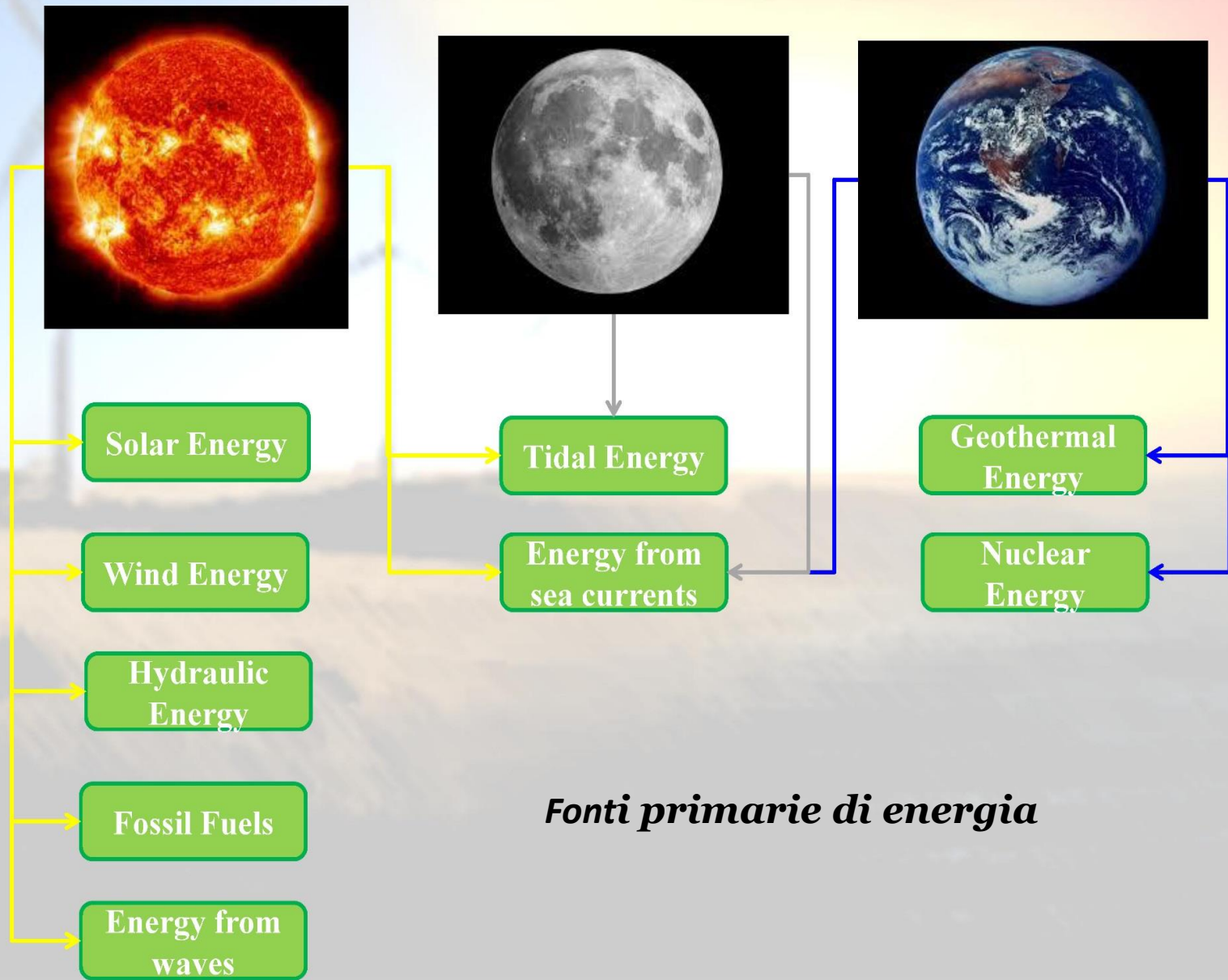
-Eolica

-Moto ondoso

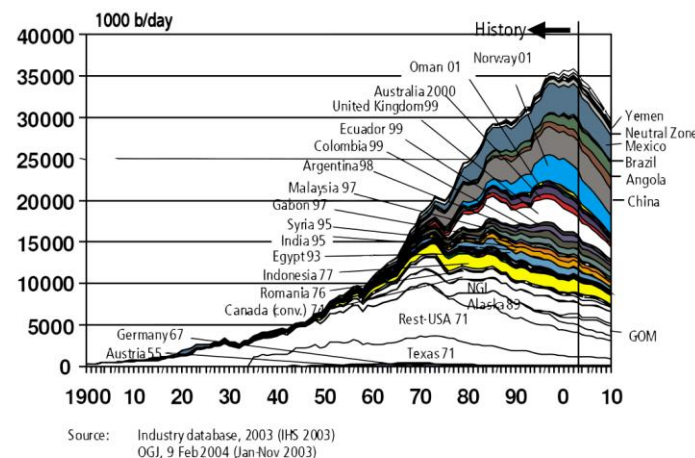
-B) da altri processi naturali

-Geotermica

-Correnti di Marea



- *Petrolio, gas, carbone, nucleare* : hanno tutte almeno tre problematiche in comune
- **Esaurimento della risorsa**
- **Impatto sull'ambiente**

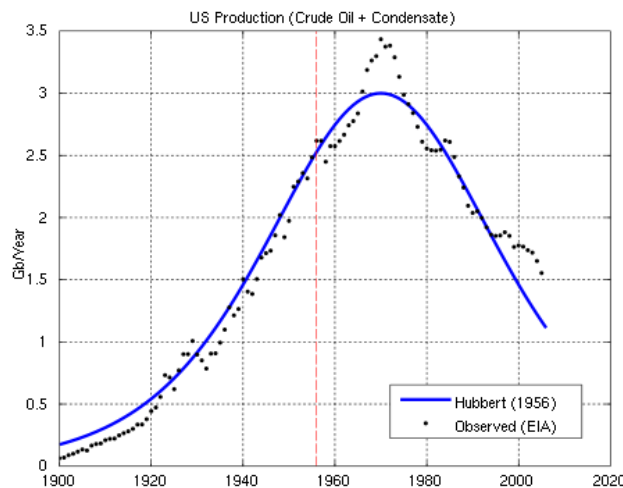


- **Fattore di recupero (Recovery factor)**



Fonti non rinnovabili: esaurimento della risorsa

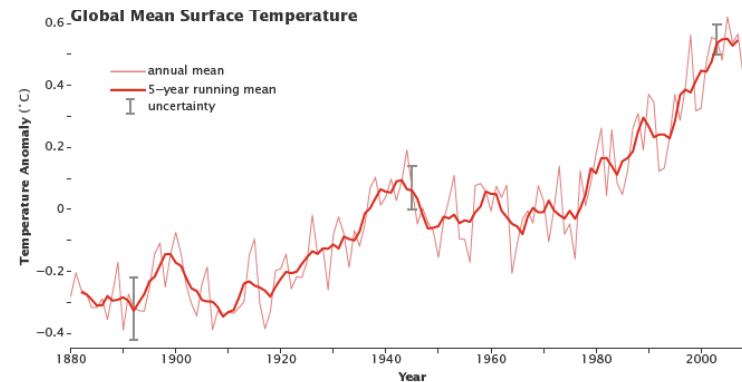
- La **teoria del picco di Hubbert**, originariamente proposta dal geofisico americano Hubbert (1956) e successivamente modificata e rivista da diversi autori, rappresenta l'evoluzione temporale della produzione di una qualsiasi risorsa minerale o fonte energetica fossile con una funzione matematica
- La curva descritta da tale funzione ha una particolare forma a campana, (curva di Hubbert), e descrive una fase iniziale di lenta crescita della produzione, fino ad un punto di flesso (*picco*) per poi cominciare un declino dapprima lento, e quindi sempre più rapido



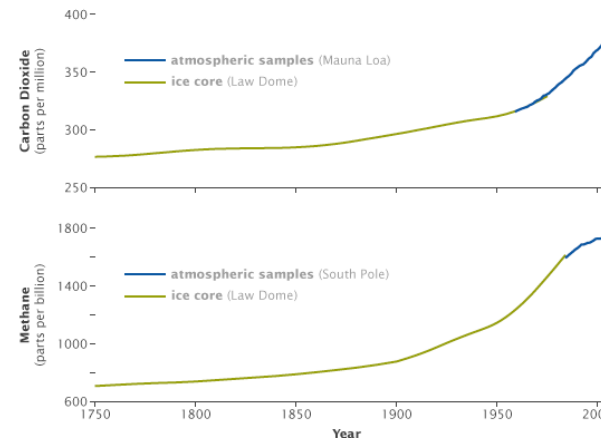
After U.S. Energy Information Administration

<https://www.eia.gov/>

- **Cambiamento climatico e emissioni di gas serra (CO_2 e CH_4)**
- I cambiamenti di temperatura e le emissioni di combustibili fossili sono inequivocabilmente collegati. il cambiamento della temperatura globale media della superficie della Terra è correlato alla somma di tutte le emissioni di carbonio
- Alla conferenza di Parigi 2015 sui cambiamenti climatici (COP 21) si è convenuto che con le attuali emissioni mondiali (36 miliardi di tonnellate all'anno), in meno di 30 anni si raggiungerà un livello di riscaldamento ritenuto rischioso di 2°C
- se le emissioni venissero ridotte a 20 miliardi di tonnellate/anno ci sarebbe un cambiamento di temperatura di “solo” 1.5°C



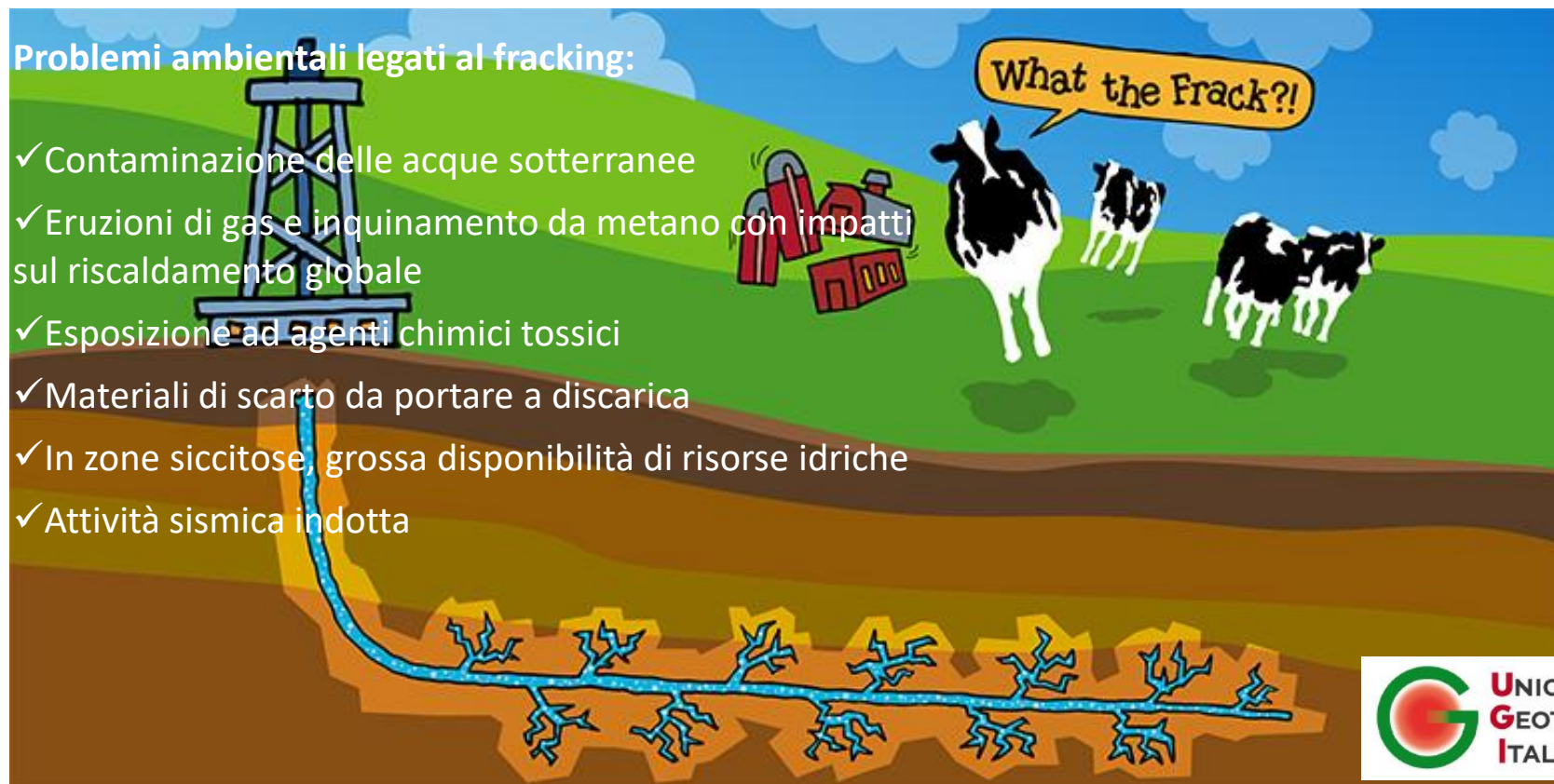
Fonte dati: NOAA, [Paleoclimatology](#) and [Earth System Research Laboratory](#)
<https://www.ncdc.noaa.gov/>



Per incrementare il “recovery factor” dei giacimenti di idrocarburi negli ultimi anni si è avuto lo sviluppo della controversa tecnica del *fracking*

Problemi ambientali legati al fracking:

- ✓ Contaminazione delle acque sotterranee
- ✓ Eruzioni di gas e inquinamento da metano con impatti sul riscaldamento globale
- ✓ Esposizione ad agenti chimici tossici
- ✓ Materiali di scarto da portare a discarica
- ✓ In zone siccitose, grossa disponibilità di risorse idriche
- ✓ Attività sismica indotta

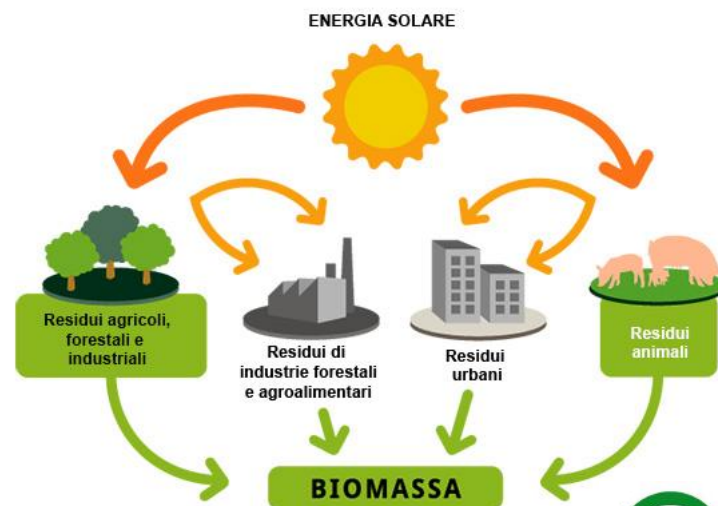


Il **grado di rinnovabilità** esprime la capacità e la rapidità di una fonte energetica di ricostituirsi nel tempo

- **Energie da biomasse**
- Utilizzata largamente sottoforma di legna da ardere e ancora oggi fornisce un notevole contributo al fabbisogno energetico mondiale.
- Altri usi tecnologicamente più avanzati come il biogas o i biocarburanti
- **L'energia da biomasse può essere classificata come "rinnovabile a ciclo lento" (stagionale/pluriennale)**

Paese	Consumi <i>pro capite</i> tep	<i>pro capite</i> m ² equivalenti	Italia =100
Finlandia	1,209	5,75	2628
Svezia	0,922	4,39	2004
Lettonia	0,772	3,67	1678
Estonia	0,560	2,67	1217
Austria	0,468	2,23	1017
Portogallo	0,286	1,36	622
Danimarca	0,258	1,23	561
Lituania	0,248	1,18	539
Slovenia	0,199	0,95	433
Rep.Ceca	0,187	0,89	407
Ungheria	0,153	0,73	333
Francia	0,151	0,72	328
Romania	0,150	0,71	326
Germania	0,137	0,65	298
Polonia	0,136	0,65	296
Slovacchia	0,119	0,57	259
Bulgaria	0,106	0,50	230
Spagna	0,094	0,45	204
Belgio	0,074	0,35	161
Grecia	0,070	0,33	152
Lussemburgo	0,068	0,32	148
Olanda	0,061	0,29	133
Italia	0,046	0,22	100
Irlanda	0,041	0,20	89
Regno Unito	0,021	0,10	46
Cipro	0,014	0,07	30
Malta	0,001	0,00	2
UE (media)	0,145	0,69	315

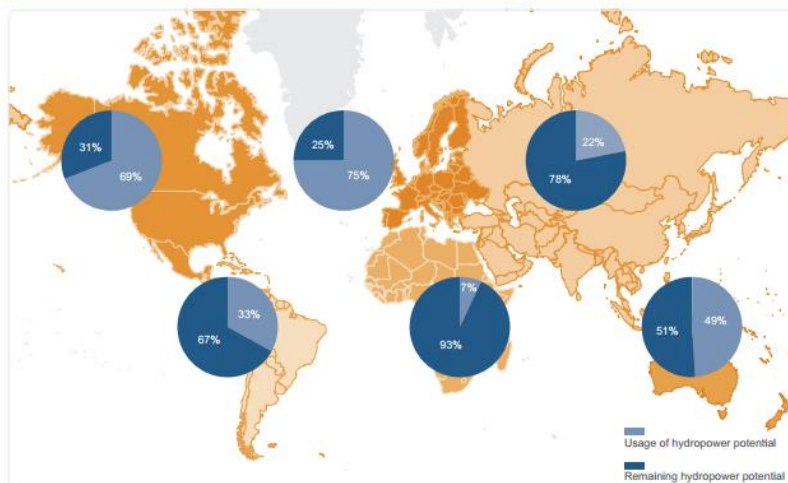
Consumi di legna da ardere - Dati EurObserver (2010)



- **Energia idrica (idroelettrica)**
- Utilizza la forza dell'acqua (fonti primarie sono il sole e la gravità)
- Lo sviluppo oggi sembra abbia raggiunto una stasi per carenza di siti idonei alla costruzione dei grandi bacini di raccolta
- L'apporto energetico è relativamente alto (> del 20% della produzione mondiale)

Global usage and potential of hydropower

Source: WEC, 2010: Survey of Energy Resources



World Energy Council 2010



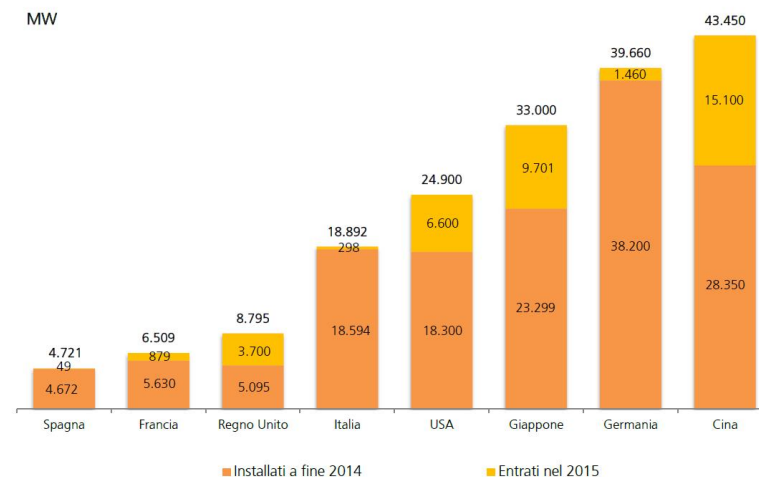
L'energia idrica può essere considerata rinnovabile in forma praticamente continua

- **Energia solare (termica ed elettrica)**
- Tuttora in fase di sviluppo, almeno per quanto riguarda il settore elettrico (solare fotovoltaico/termodinamico)
- Per il fotovoltaico, il principale ostacolo è l'alto costo delle cellule fotovoltaiche che rende poco competitivo il kWh elettrico solare con quello generato da altre fonti. La produzione elettrica fotovoltaica è comunque in forte espansione
- Decisamente competitivo è invece l'uso diretto del calore solare (solare termico)
- **E' rinnovabile in maniera ciclica (giornaliera/stagionale) e discontinua (condizioni meteo)**; il problema della ciclicità può essere ben mitigato con la promettente tecnologia solare termodinamica (o solare a concentrazione)



Centrale solare termodinamica “Archimede”,
inaugurata nel luglio [2010](#) a [Priolo Gargallo \(SR\)](#)

Potenza degli impianti fotovoltaici nei principali Paesi nel 2015



- **Energia eolica**
- E' in forte incremento, grazie anche allo sviluppo tecnologico. Da eolico possibile 20% elettricità globale nel 2030
- Il campo di impiego riguarda prevalentemente la produzione di energia elettrica.
- **L'energia eolica è un'energia rinnovabile in forma discontinua.**



Con 9 GW di potenza installata, l'Italia è il quinto paese in Europa per capacità di produrre energia eolica dopo Germania (44.9 GW), Spagna (23 GW), Regno Unito (13,6 GW) e Francia (10 GW).

(Rapporto Global Wind Energy 2016)

• Energia geotermica - Calore terrestre fonte primaria

Si intende quella parte di calore terrestre che può essere estratto e utilizzato come fonte energetica rinnovabile e sostenibile sia per **usi elettrici** sia **usi diretti**

In genere, si ottiene sfruttando il calore del sottosuolo che si può accumulare nelle rocce in corrispondenza di particolari condizioni geologiche (ad es. rift continentali, aree vulcaniche, hotspot), ma con alcune applicazioni (pompe di calore geotermiche) anche in condizioni “normali”

Classificazione in base all'utilizzo

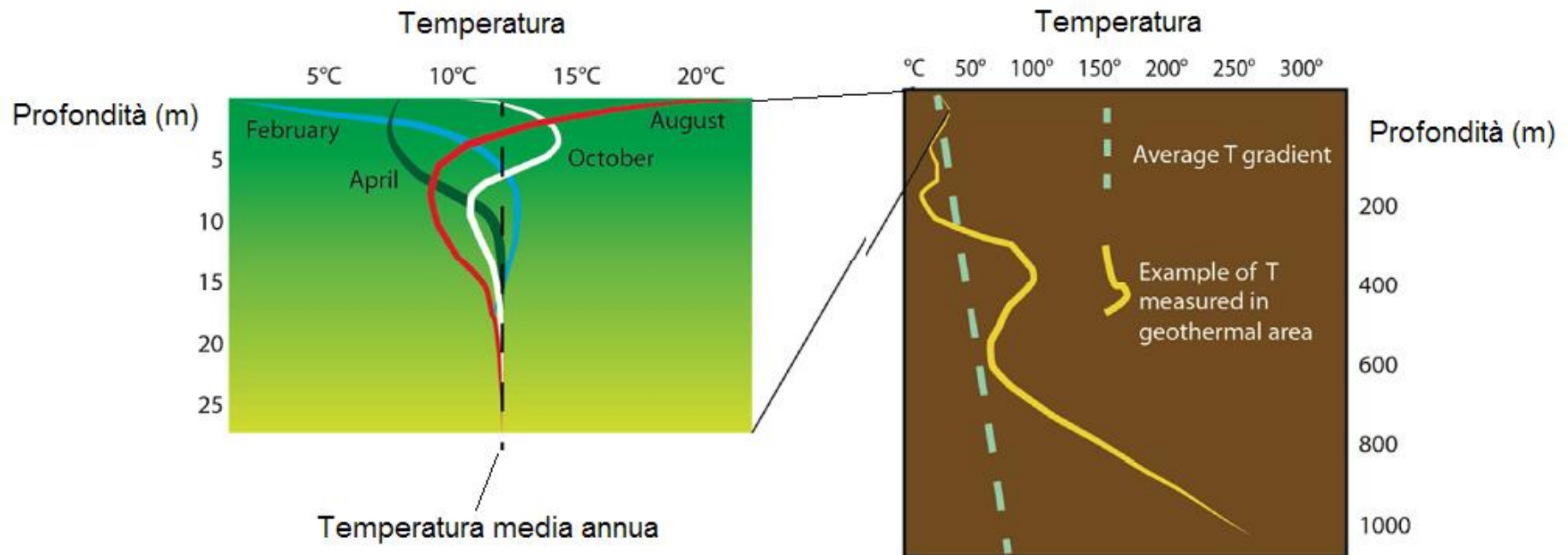
L'utilizzo dell'energia geotermica si suddivide classicamente in due categorie principali:

- produzione di energia elettrica (risorse ad alta temperatura/entalpia) $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (in alcuni casi anche per T dell'ordine di $100\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- usi diretti del calore (risorse a bassa-media-alta temperatura/entalpia; $T < 100\text{-}150^{\circ}\text{C}$). Usi diretti: riscaldamento/climatizzazione (pompe di calore geotermiche), usi termali (terapeutici e ricreativi) e agricoli-industriali




La tipologia di risorsa geotermica è legata anche alla profondità:

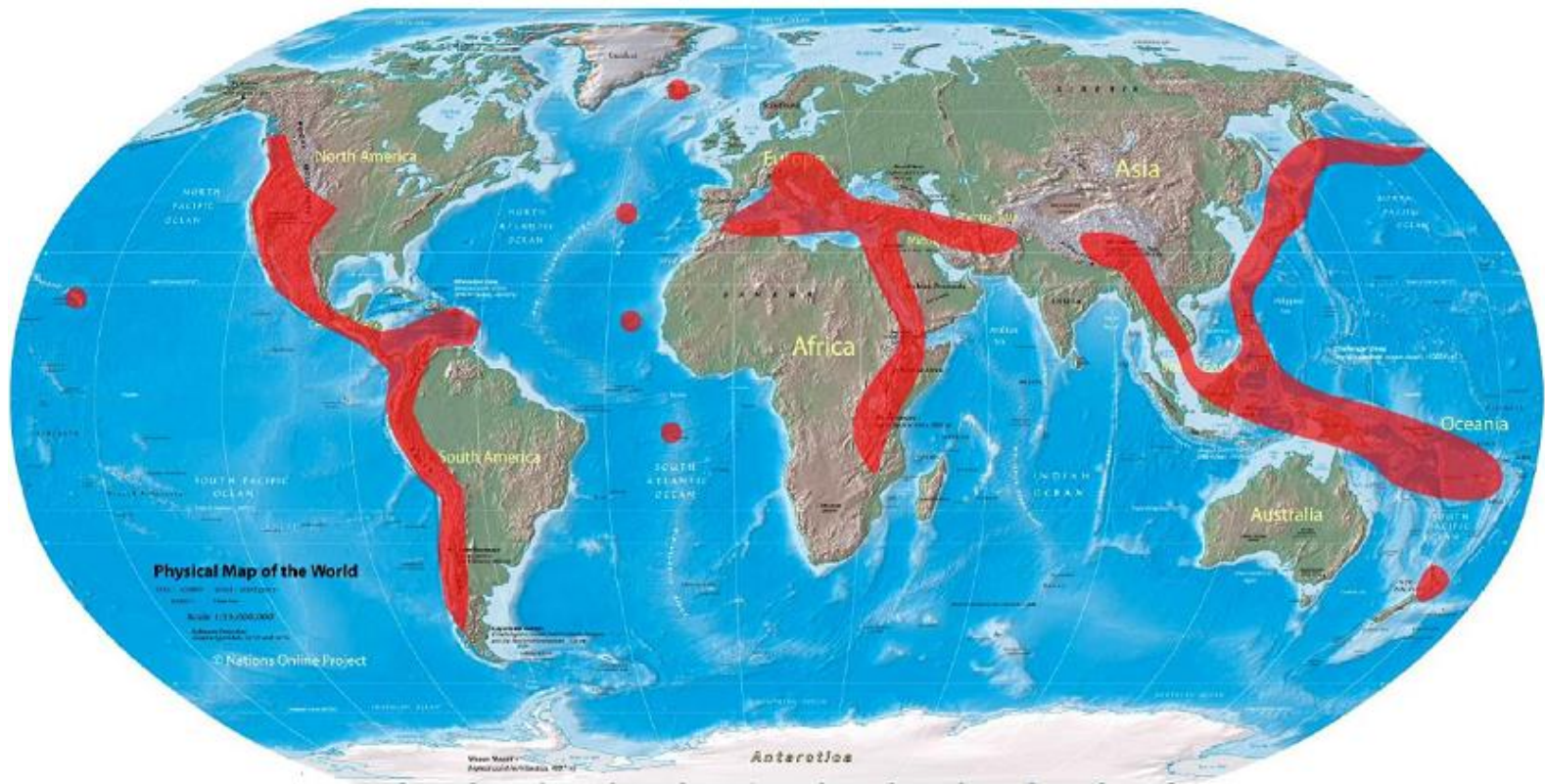
- Geotermia superficiale o di bassa temperatura (shallow geothermal res.)
- Geotermia profonda o di alta temperatura (deep geothermal res.)



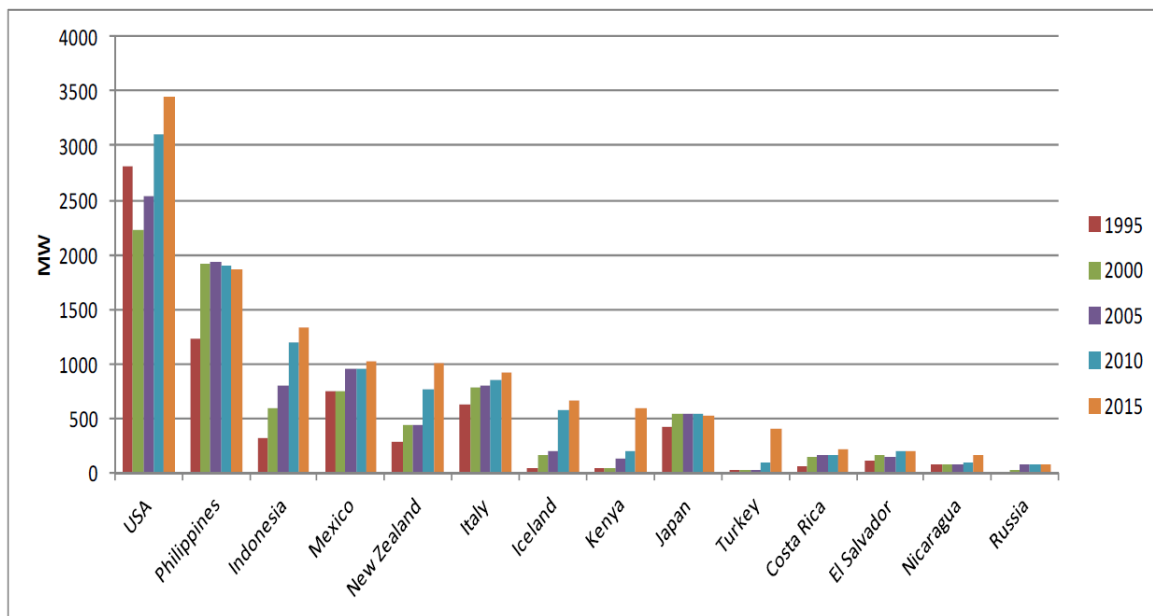
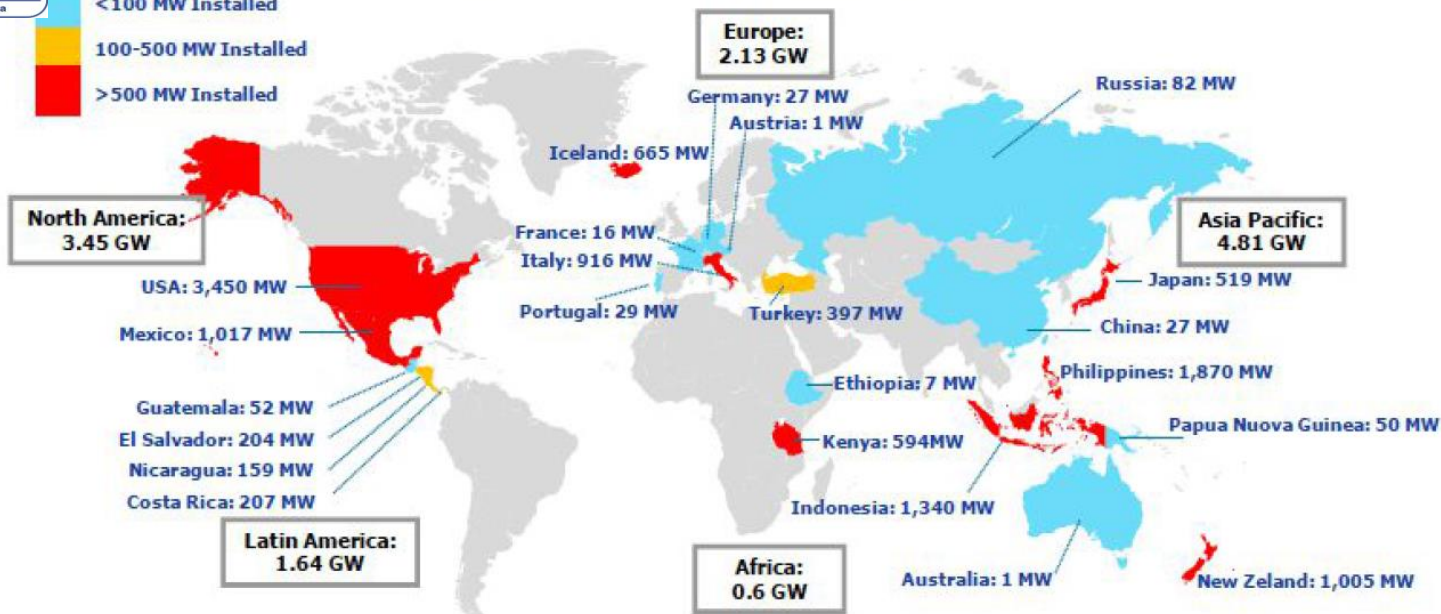
Shallow geothermal resources

Deep geothermal resources

- **Rinnovabilità: alla scala temporale umana, il calore terrestre può essere considerato praticamente inesauribile e utilizzabile ovunque in modo continuativo**
- 
- Per estrarre il calore terrestre occorre tuttavia la presenza un fluido (*fluido vettore*), generalmente di origine naturale, che trasporta il calore e da cui viene estratta l'energia
 - La rinnovabilità dipende dalla reintegro del fluido vettore, dato che il bilancio tra fluido geotermico estratto e alimentazione idrica della roccia-serbatoio non è sempre in pareggio, e la possibilità di utilizzo dipende da quanto il calore terrestre è concentrato
 - In sintesi, la risorsa geotermica è una risorsa disponibile in continuo il cui grado di rinnovabilità dipende dalle condizioni idro-geologiche locali e dal tipo di applicazione (elettrica o non elettrica)

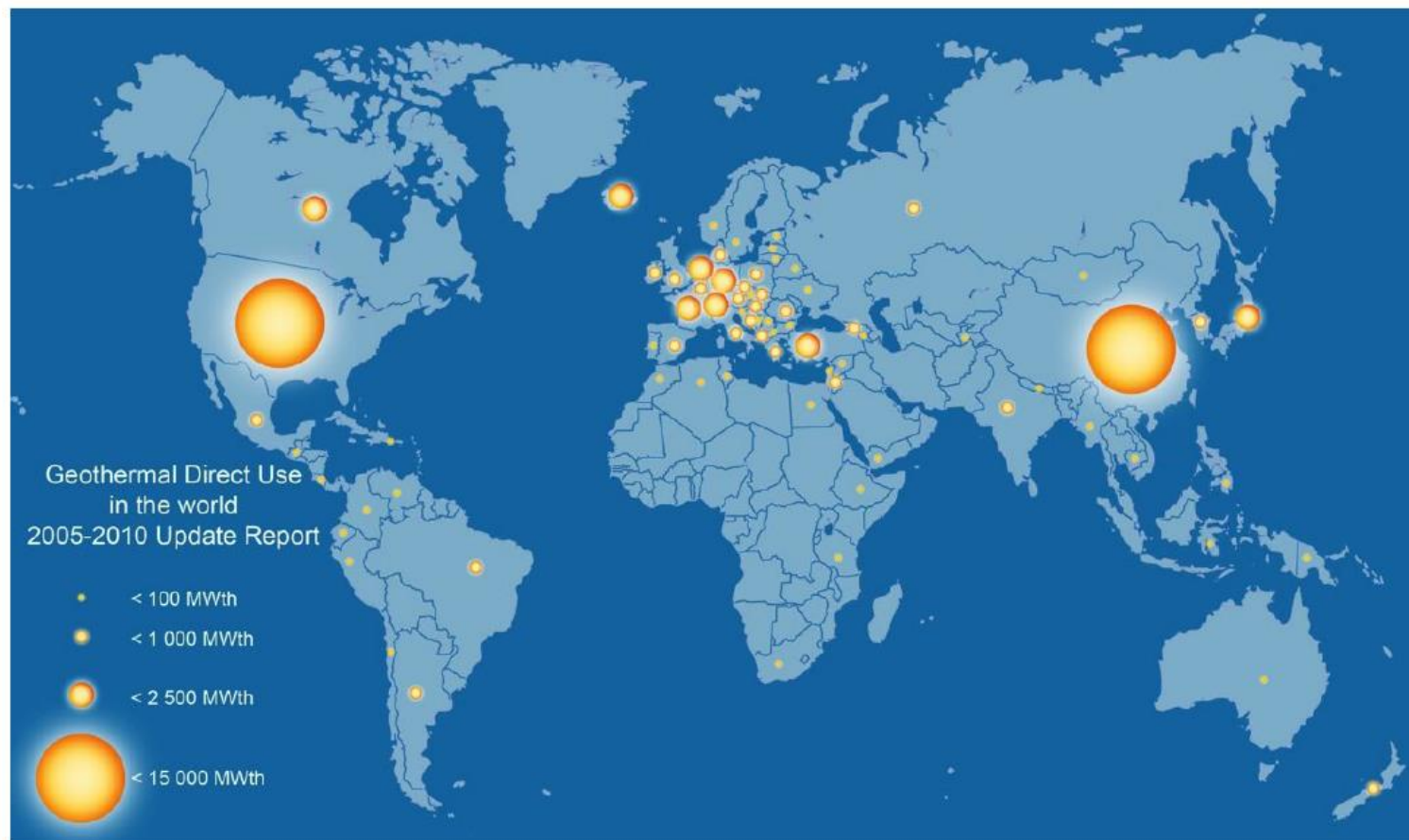


La concentrazione di calore e la genesi di sistemi **sistemi geotermici** sfruttabili in genere si ha in corrispondenza dei margini di placca, dove il valore del gradiente geotermico e conseguentemente del flusso di calore terrestre può essere anche 10 volte superiore a quello medio. Le temperature a profondità economicamente accessibili (2-5 km) possono essere fino 400 °C



Ventisette nazioni
producono energia
elettrica dalla geotermia

Produzione di calore da energia geotermica



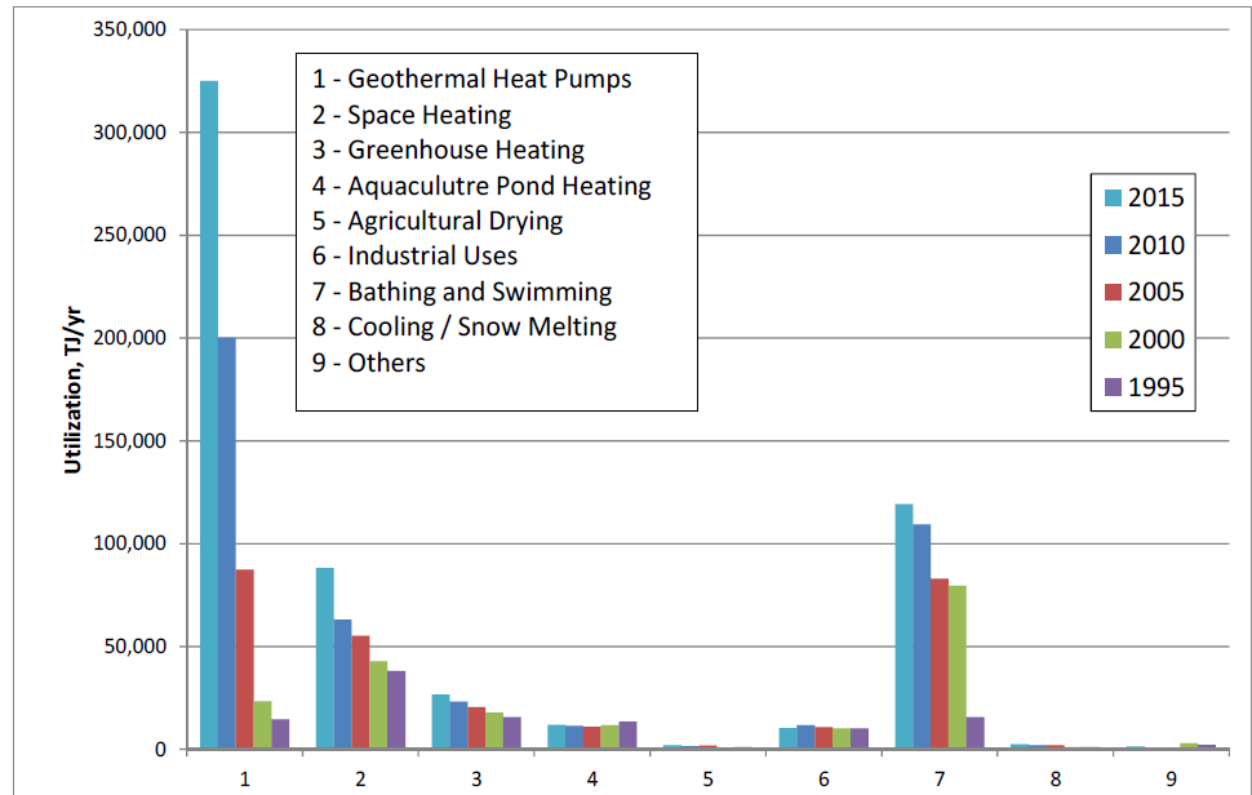
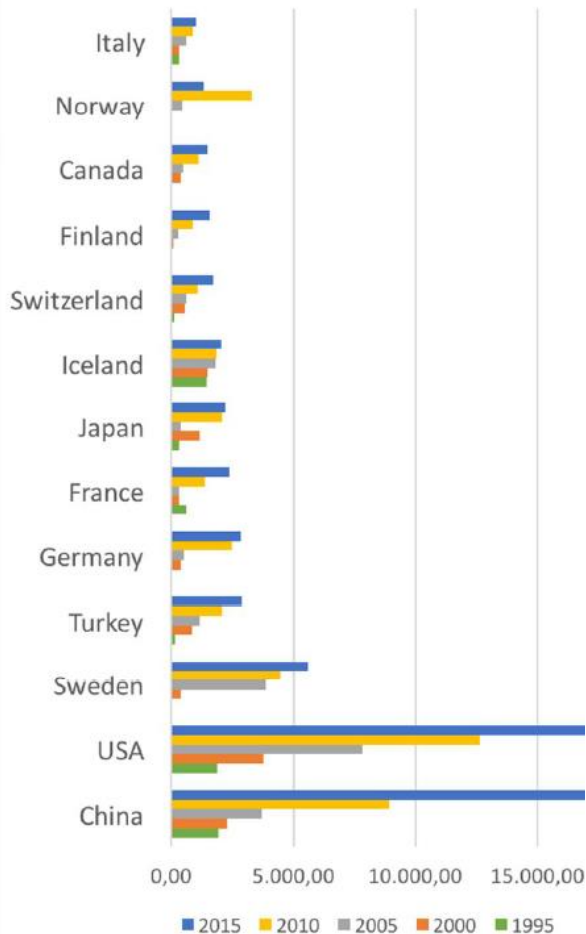
Capacità installata stimata in **79 paesi: 43 GWt (anno 2010)**

Produzione di calore da energia geotermica

Direct Uses

Power MWt

(countries with more than 1 GWt on 2015)

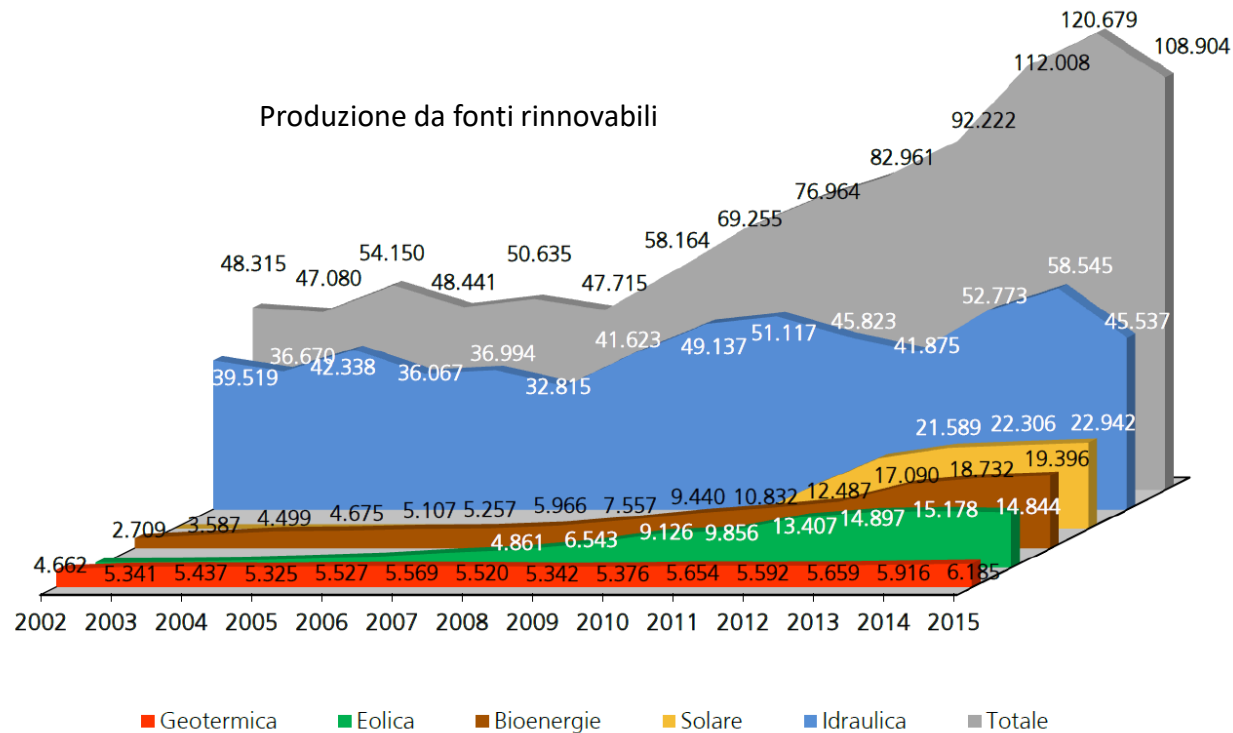


Contributo dell'energia geotermica al risparmio energetico

- A livello mondiale, l'energia geotermica (termica+elettrica) contribuisce a un risparmio > 20 Mtep
- In Italia, il contributo geotermico al fabbisogno elettrico totale è sufficiente per una città con una popolazione di oltre un milione di abitanti
- La situazione italiana appare discreta per l'alta temperatura/entalpia. Altrettanto buona è per le attività termali, che movimentano un giro d'affari annuo (diretto e indotto) di diverse centinaia di milioni di euro
- Decisamente esiguo, rispetto alle potenzialità accertate, è l'utilizzo delle risorse a bassa temperatura e in particolare dei sistemi a pompa di calore geotermica

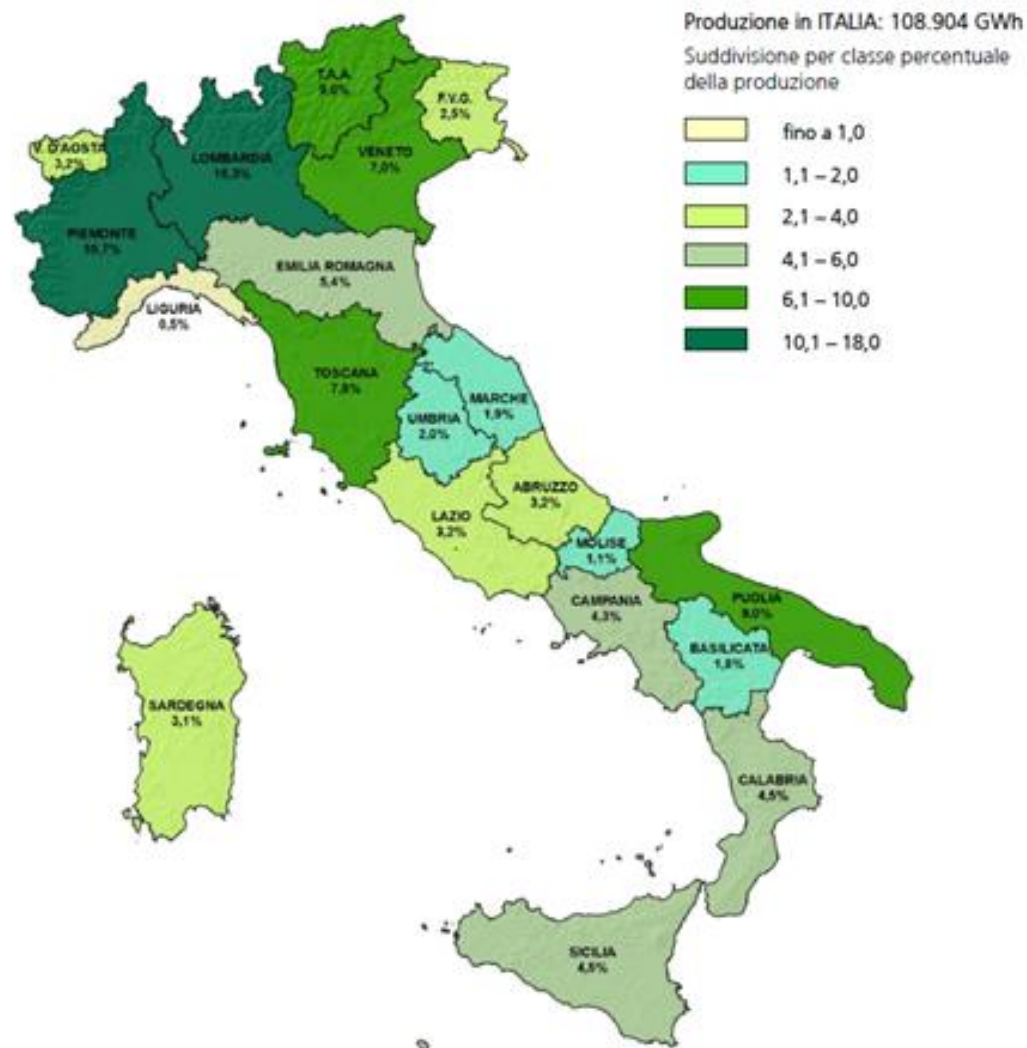


GWh



Produzione da fonti rinnovabili nelle regioni nel 2015

Distribuzione regionale della produzione

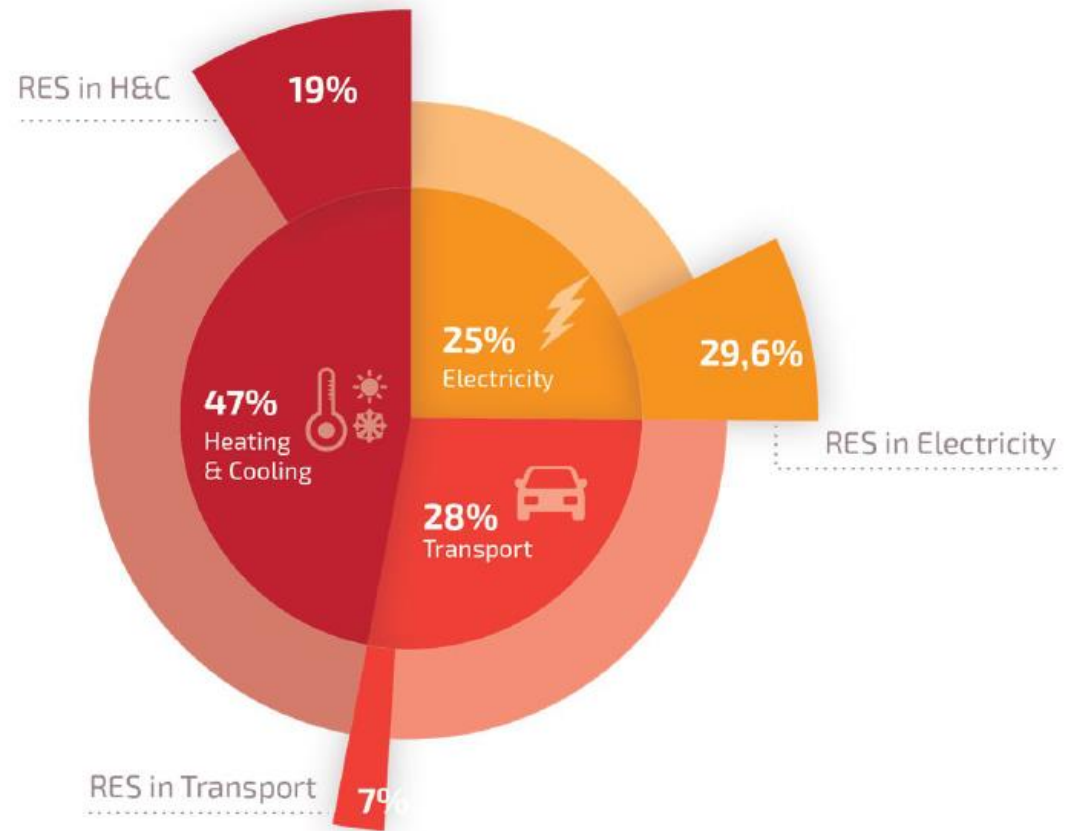


Perché geotermia?

Consumo finale di energia in
EU-28 per settore e contributo
relativo da fonti rinnovabili

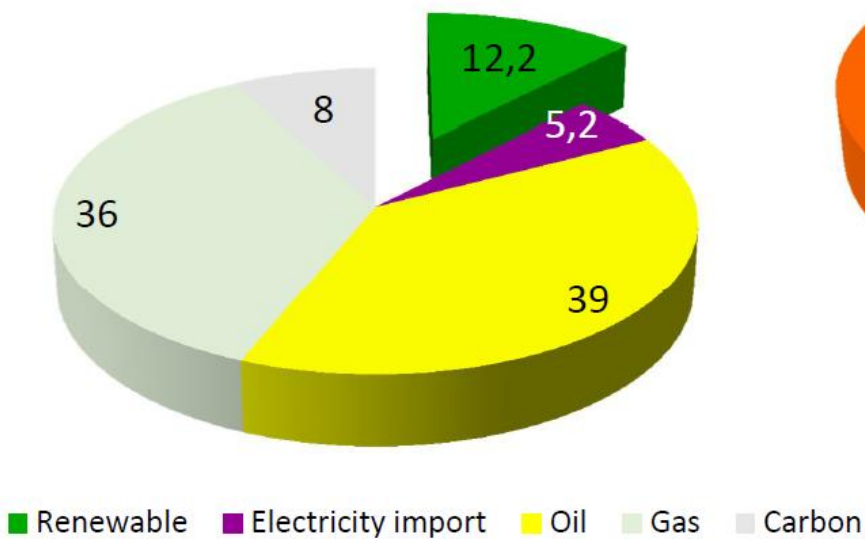
H&C= heating and cooling

RES=Renewable energy sources

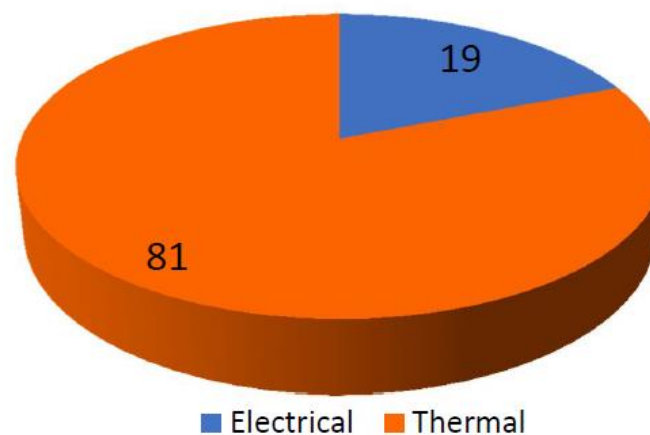


Perché geotermia?

Energia Primaria in Italia nel 2010



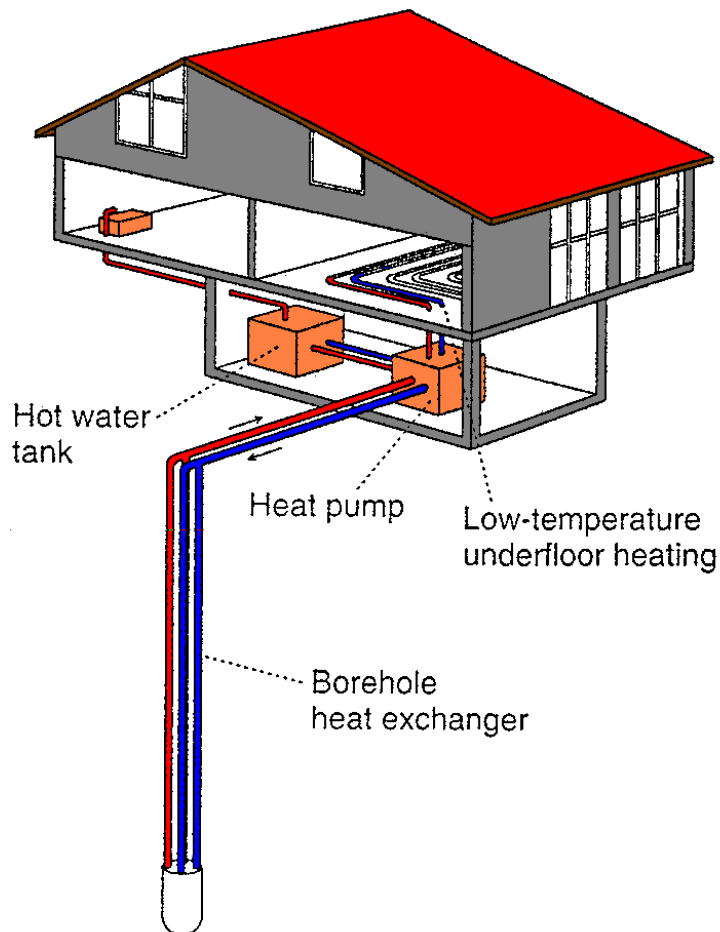
Uso di Energia Finale in Italia nel 2010



Perché geotermia?

- Quando l'energia geotermica non è disponibile in forma concentrata (usi elettrici), il sottosuolo può essere comunque visto come “serbatoio” da cui estrarre energia termica durante l'inverno e a cui cederne durante la stagione estiva.
- Queste applicazioni rientrano nella geotermia bassa temperatura (“shallow geothermal resources”), è sono basate su tecnologie “ground source heat pumps” (GSHP) ovvero “geothermal heat pumps”(GHP) – pompe di calore geotermiche
- Le GSHP rendono possibile la climatizzazione di edifici e strutture in modo teoricamente indipendente dai combustibili fossili, caratteristica vantaggiosa sia per l'ambiente che per l'economia, visto che il settore H&C copre comunque un ampia settore del mercato dell'energia

Tipologie e funzionamento delle GSHP



La sorgente termica più comunemente utilizzata per le pompe di calore è l'aria atmosferica, ma questa è termodinamicamente poco efficiente, visto che il carico termico da soddisfare cresce proprio quando la temperatura diminuisce, facendo calare il rendimento energetico della macchina

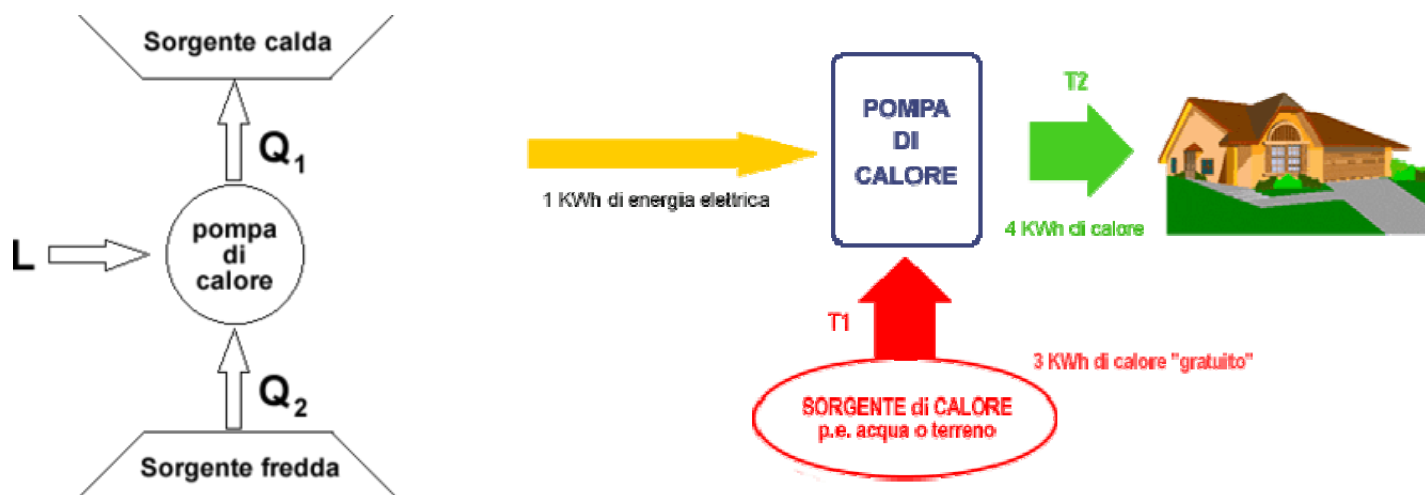
Il terreno offre un'efficace alternativa all'aria come sorgente di calore; le caratteristiche fisiche del terreno fanno sì che risenta poco delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali, al punto da poter assumere che sia una sorgente di calore a temperatura pressoché costante

Coefficiente di prestazione

L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione (COP) che misura il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata

$$COP_{pc} = \frac{|Q_1|}{|L|}$$

Il COP sarà tanto maggiore quanto minore è l'energia consumata per innalzare la temperatura della sorgente da cui viene assorbito



Un ulteriore vantaggio delle pompe di calore è la reversibilità, ovvero lo stesso sistema può essere usato per la climatizzazione estiva

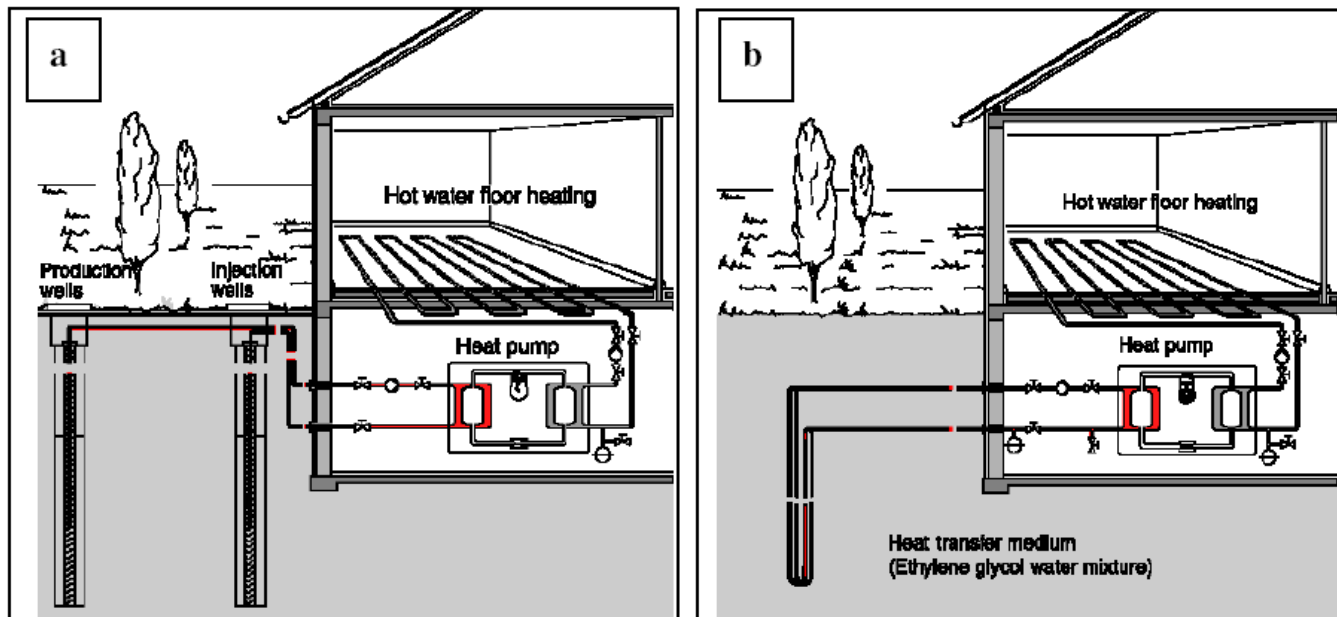
Il COP di una macchina frigorifera è definito come il rapporto fra il calore assorbito dalla sorgente a temperatura più bassa e il lavoro speso:

$$COP_f = \frac{|Q_2|}{|L|}$$

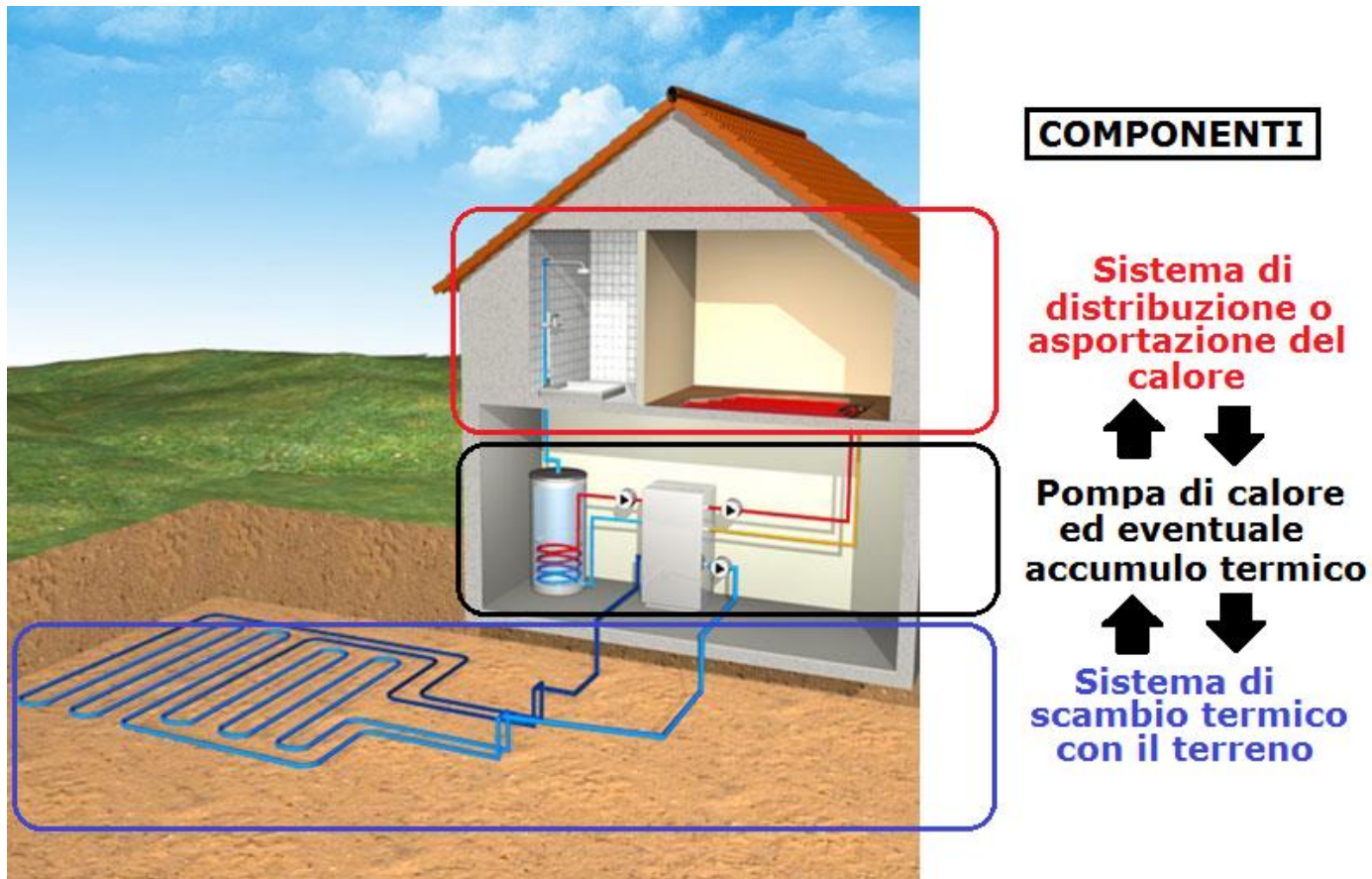
Sistemi a pompe di calore geotermiche: tipologie

(a) circuito aperto; la sorgente di calore è costituita direttamente da un terreno acquifero da cui viene estratta acqua e successivamente iniettata

(b) circuito chiuso, dove il calore viene estratto dal terreno o da rocce attraverso un fluido termovettore circolante in un foro di sonda (BHE borehole heat exchanger) chiamato anche sonda geotermica verticale o in un circuito chiuso orizzontale

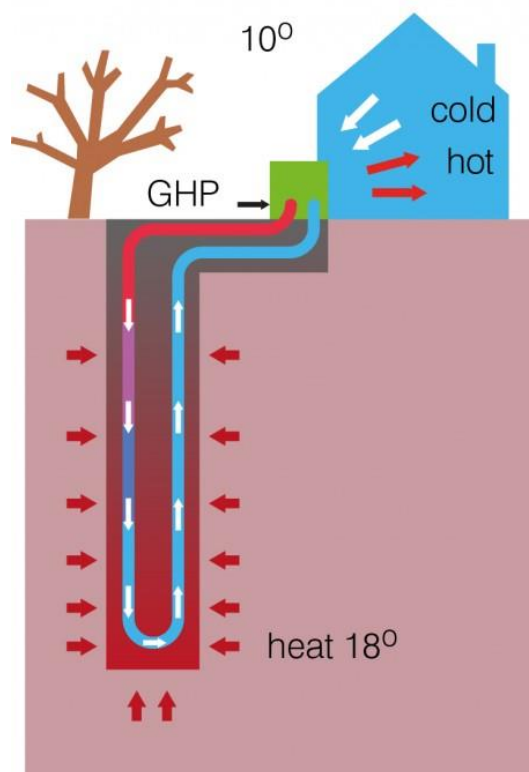


Alternativamente le GSHP possono essere accoppiate a scambiatori a sviluppo orizzontale (a serpentina, a canestri, ad anelli ecc) che richiedono scavi di piccola profondità

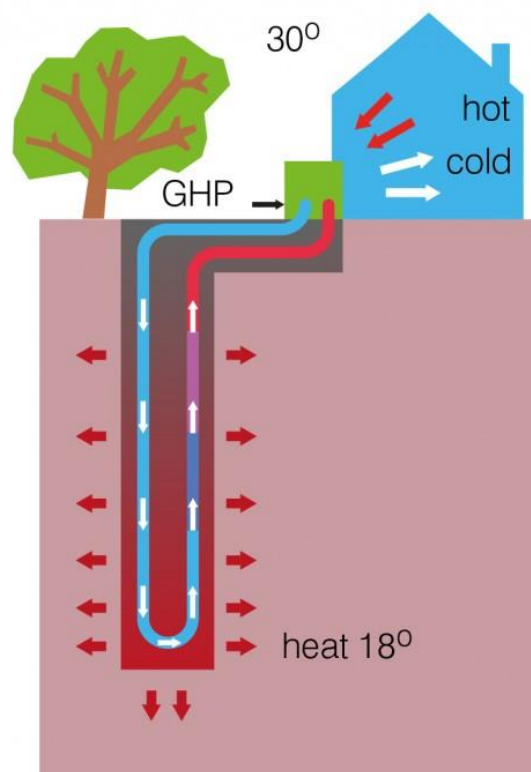


I sistemi **BHE** stanno avendo un forte sviluppo, per l'impatto pressoché nullo che hanno sugli acquiferi. Si utilizzano fori normalmente del diametro di 10-25 cm, perforati nel terreno a profondità comprese tra i 30-400 m (di norma 100 m); un fluido termovettore (acqua o acqua e glicol) viene fatto circolare all'interno dei fori, solitamente in un circuito chiuso, assorbendo/cedendo calore dal/al terreno e portandolo alle unità utenti

Winter



Summer



- **Caratteristiche:** le sonde geotermiche verticali (BHE) sono classificate in base al diametro e a come avviene lo scambio di calore. Esistono diversi tipi di sonde: a tubi coassiali, a U singoli o doppia
- Il più comune è il tubo a U singolo, ma i tubi a U doppia stanno diventando sempre più diffusi, grazie alla loro miglior capacità di assorbire/cedere calore (inferiore resistenza termica) e minor perdita di carico

• In ogni caso, perché le pompe di calore abbiano un COP migliore ci si orienta verso sistemi a pannelli radianti, che possono fornire calore operando a temperature dell'ordine dei 35°C anziché a 60°C come nei sistemi tradizionali



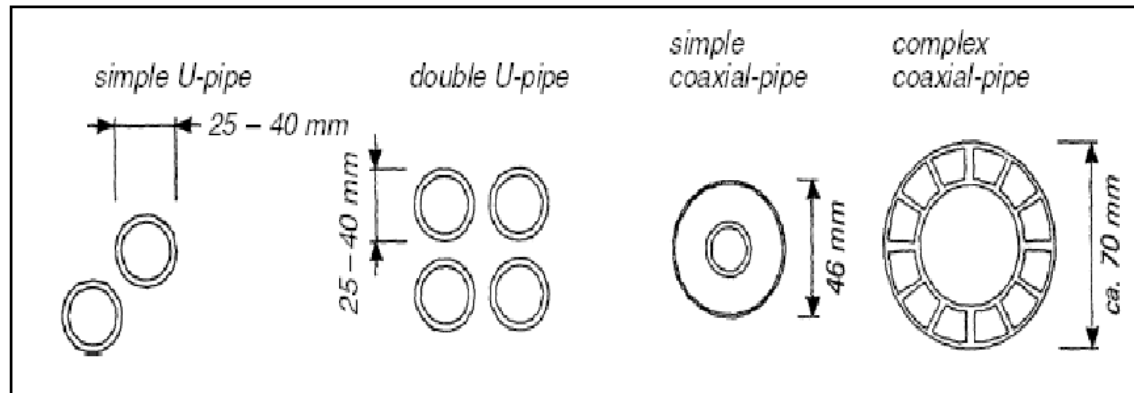


Fig.2.2 Differenti tipologie di scambiatori verticali



Riempimento del foro

Nel BHE a circuito chiuso occorre che venga usato del materiale (malte o grouting), per riempire lo spazio tra i tubi e le pareti del foro. La ragione è di offrire un buon contatto termico con il terreno circostante ed evitare il miscelamento di acquiferi, se presenti a livelli di profondità diversi (evitare il disturbo delle caratteristiche idrauliche delle formazioni)

Le malte cementizia comuni, come la bentonite, hanno basse conducibilità termiche; cementi speciali sono stati recentemente sviluppati per migliorare la conducibilità del grouting.

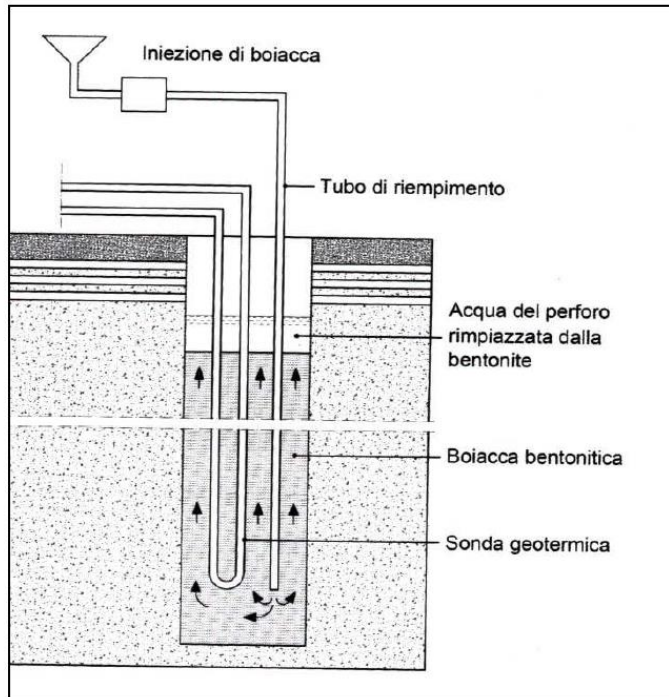
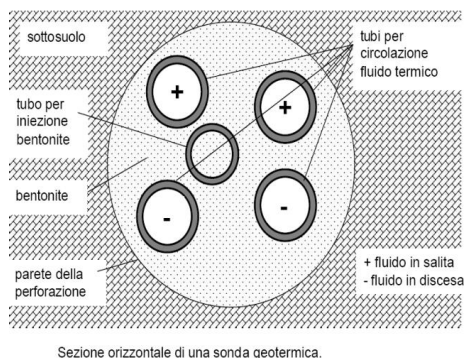


Fig.2.3 Schema del procedimento per il riempimento foro



In Svezia e in Norvegia è comune non cementare i fori, che sono riempiti con acqua di falda. I fori, solitamente, sono perforati in rocce compatte dove la superficie piezometrica risulta a pochi metri di profondità dal piano campagna. Benché l'acqua abbia bassa conducibilità termica, i gradienti termici che si hanno nei BHE, generano convezione naturale, così migliorando il trasferimento di calore tra lo scambiatore ed il terreno circostante.

GSHP: un utilizzo dell'energia geotermica applicabile pressoché ovunque

- Tuttavia i costi (dimensionamento, rendimento, ammortamento, ecc) e quindi la convenienza economica dipendono in gran parte da fattori geologici che non possono essere trascurati
- Gli aspetti da valutare per lo sfruttamento della risorsa geotermica, sono diversi e coinvolgono aspetti multidisciplinari
- Caratteristiche geologiche del sottosuolo (temperatura e del gradiente geotermico, la situazione idro-geologica, le proprietà termofisiche delle rocce)
- Gli aspetti tecnico-ingegneristici legati al tipo di impianto
- Gli aspetti legati alle caratteristiche degli edifici (struttura, materiali coibentazione)
- Questi fattori risultano fondamentali per decidere le caratteristiche degli impianti geotermici e l'ammortamento di un impianto e l'ammortamento di un



Il sostegno alle energie rinnovabili per lo sviluppo sostenibile del territorio è divenuto internazionalmente un tema prioritario per i *policy maker* per numerose ragioni:

Rappresenta uno strumento per

- l'abbattimento dei gas serra e la riduzione dell'inquinamento atmosferico
- aumentare la sicurezza nazionale in tema di approvvigionamenti energetici
- aumentare lo sviluppo economico e occupazionale grazie alla ricerca scientifica e tecnologica associata allo sviluppo delle rinnovabili

La consapevolezza dell'importanza strategica dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili e di preservare l'ambiente porta anche di un indotto nel settore del turismo all'insegna della sostenibilità (*energy tourism*)



Considerazioni finali

- La gran parte degli impianti che utilizzano il calore di processo o riscaldare ambienti sono costruiti per lavorare con fluidi ad alta temperatura forniti da caldaie a combustione.
- La riconversione degli impianti è propedeutica all'efficienza energetica e alla produzione di calore da (gran parte di) energie rinnovabili
- La geotermia, sia tramite prelievo d'acqua calda da grande profondità che da prelievo e restituzione di calore a bassa profondità richiede quindi non solo l'intervento di tecnici (geometri, geologi, ingegneri ed architetti) di elevato profilo professionale

Considerazioni finali

- La formazione di operatori di alto profilo professionale diventa imprescindibile, in qualunque settore di applicazione geotermica
- Benché il rischio di insuccesso dei sistemi “shallow” sia relativamente basso, al tempo stesso è di fondamentale importanza stabilire un quadro normativo a livello nazionale e regionale che tuteli la committenza e che metta i professionisti di operare secondo regole di “best practice” adeguate al livello attuale di conoscenza scientifica



Missione

L'UGI, Unione Geotermica Italiana, è un'Associazione indipendente, apartitica, apolitica, e senza fini di lucro.

Il suo scopo è quello di **promuovere l'utilizzazione, la ricerca, la semplificazione della normativa e delle procedure amministrative al fine di consentire un maggiore sviluppo della geotermia in Italia**, in tutte le sue forme di applicazione: produzione geotermoelettrica, usi diretti e applicazioni di tipo pompa di calore.

UGI diffonde tra il pubblico, gli operatori e gli opportuni livelli politici ed amministrativi la **corretta conoscenza della tecnologia e delle conseguenze economiche, ambientali e sociali** connesse all'intero ciclo di vita dei sistemi geotermici: **la caratterizzazione e l'esplorazione della risorsa; la progettazione, il miglioramento tecnologico e la gestione degli impianti, al fine di garantire un'utilizzazione efficiente e sostenibile della risorsa.**

UGI stimola il collegamento e la comunicazione tra gli operatori del settore attraverso la divulgazione in Italia e all'estero di ricerche, contenuti, esperienze, notizie, nonché la comunicazione di eventi, occasioni di formazione e di lavoro nel

Cerca nel sito



UGI Activities

