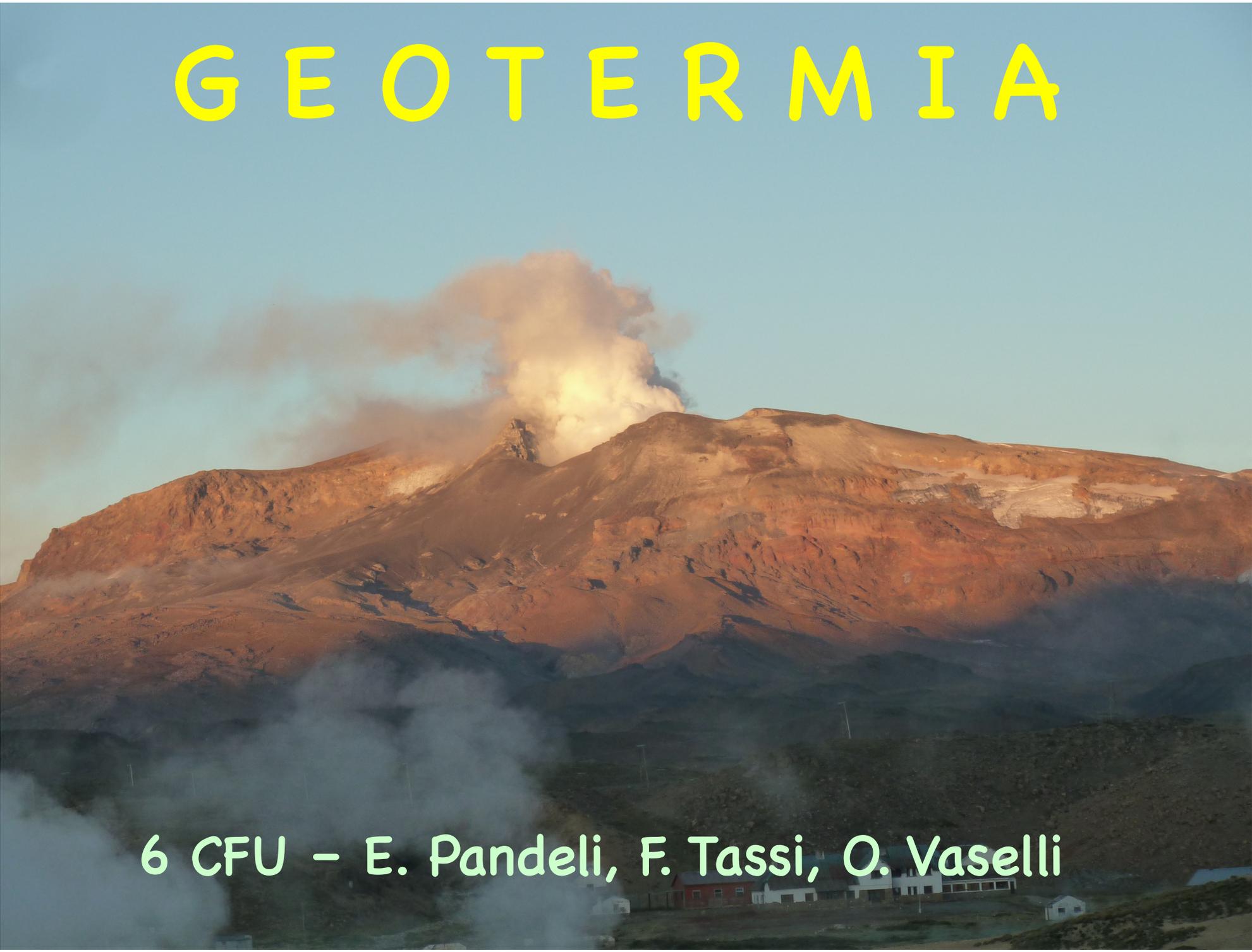


GEOTERMIA

6 CFU – E. Pandeli, F. Tassi, O. Vaselli



Orario

Mercoledì 10.30-13.30 (Aula E)

Giovedì 11.30-13.30 (Aula E)



Energia geotermica o geotermia



Il termine "geotermia" deriva dal greco "gê" e "thermòs" ed il significato letterale è "calore della Terra".

Tale calore è presente in quantità enorme ed inesauribile.

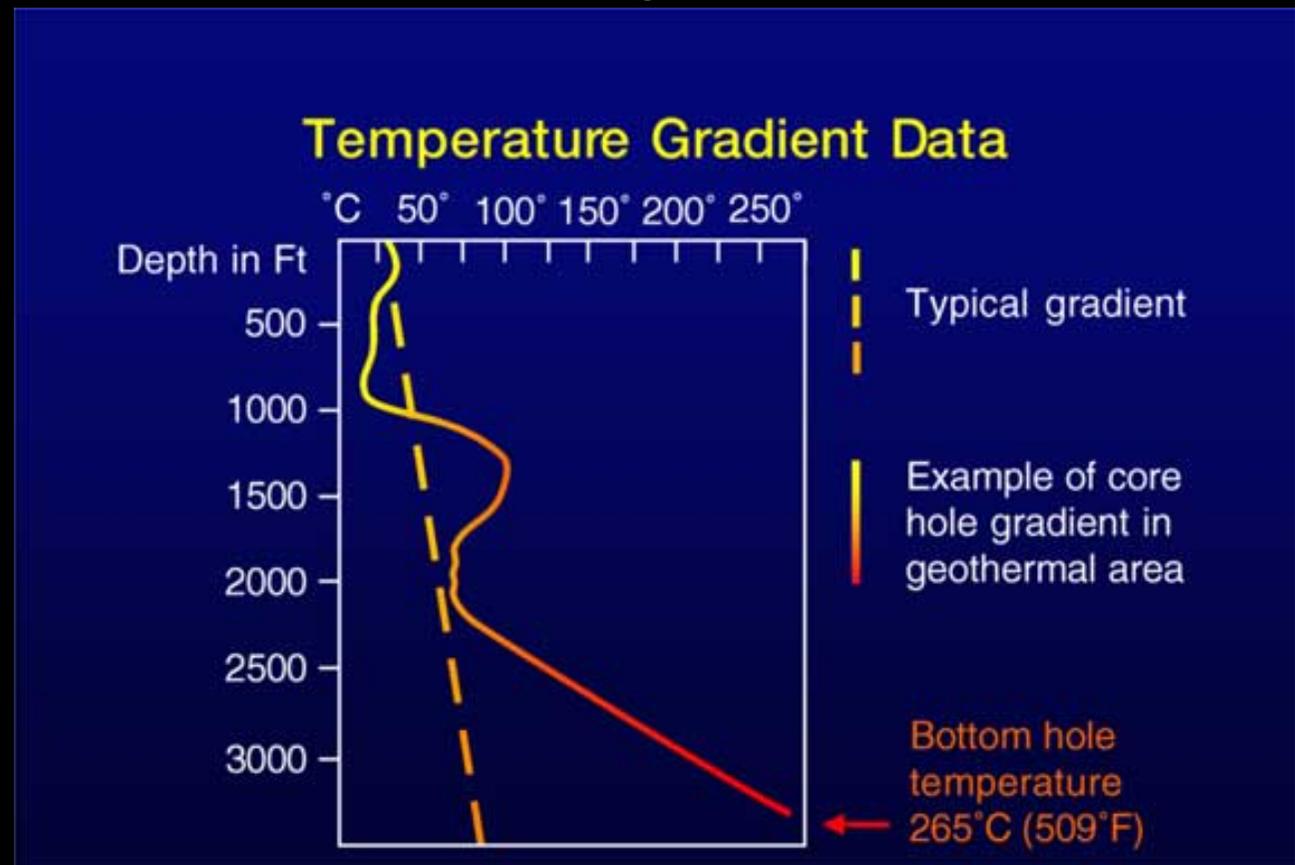
Il calore interno si dissipa verso la superficie della terra, la quale emana calore nello spazio quantificabile in una corrente termica media di 0.065 Watt per metro quadrato.

...terre emerse: ca. 150 Mkm²

L'energia geotermica è generata dall'estrazione del calore terrestre.

In aree con elevate temperature a bassa profondità, i pozzi sono perforati in fratture naturali nelle rocce del basamento o in rocce sedimentarie permeabili. Le acque calde o il vapore fluiscono attraverso i pozzi sia per pompaggio che per boiling (flashing) flow. Esiste anche la possibilità di sfruttare il sistema HDR ("hot dry rocks"). Il calore del magma, pur fornendo risorse geotermiche di HT, non è sfruttabile per via di una mancanza di natura tecnologica.

Il gradiente geotermico superficiale è di ca. 30 °C/km



La graduale perdita di calore attraverso la superficie della Terra è detta flusso di calore

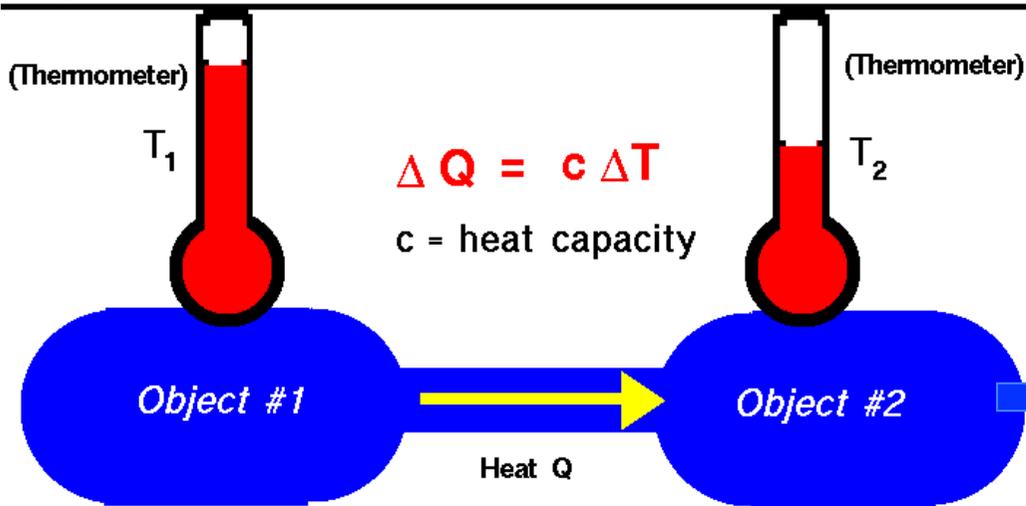
Flusso di calore

Misura della quantità di calore che sfugge verso l'esterno per secondo da una certa area



Heat Transfer

Glenn Research Center



Si misura in Heat Flow Unit (hfu):

$$1\text{hfu} = 10^{-6} \text{ cal/cm}^2/\text{sec}$$

Spazio

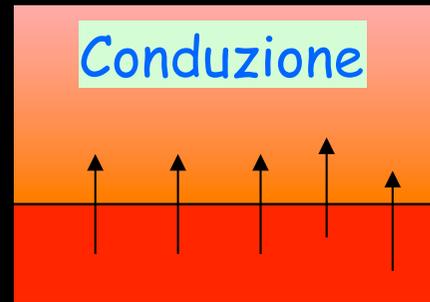
$$\text{mW m}^{-2}$$

$$C = m \times c$$

$m = \text{massa}$; $c = \text{calore specifico}$ (quantità di calore necessaria per innalzare/diminuire la temperatura di 1 K)

Flusso di calore: rilascio di calore dall'interno verso la superficie.

- Conduzione



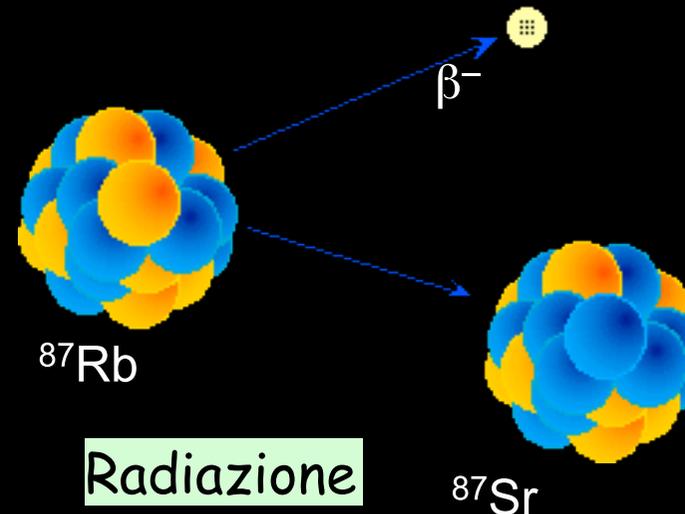
- Convezione



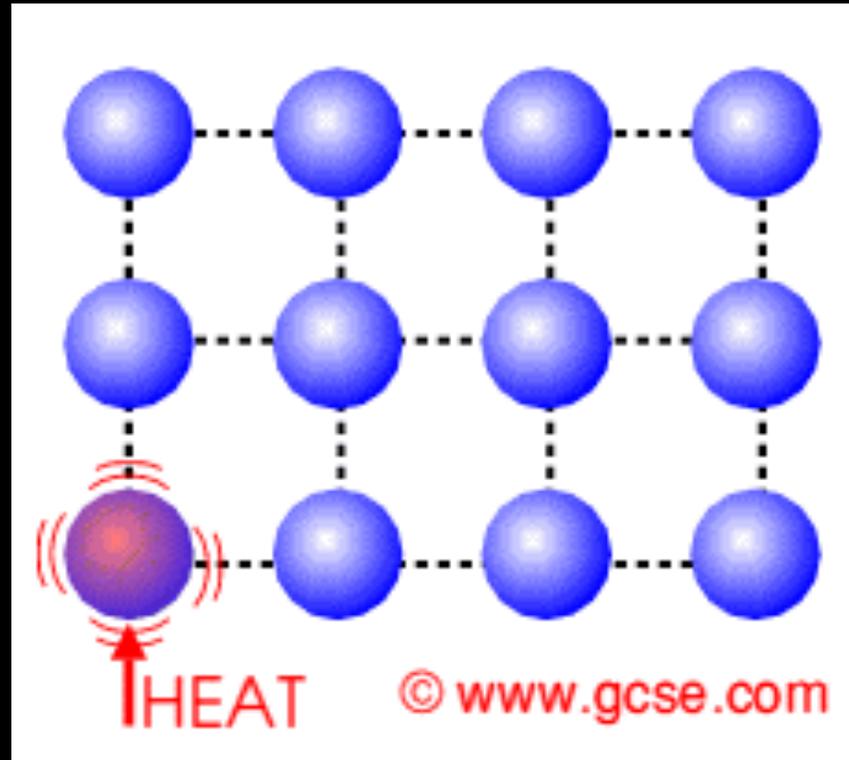
- Advezione



- Decadimento radioattivo



Conduzione



Propagazione dell'energia solo per contatto diretto delle varie parti del sistema.

→ Flusso di calore per conduzione

Caldo

Freddo

Rocce e suoli sono scarsi conduttori di calore

((•))((•))((•)) . . .

((•)) ((•))((•)) . . .

Prima Legge di Fourier

$$q = \lambda \frac{dT}{dz}$$

1 hf u = 10^{-6} cal/cm²/sec

mW/m²

q: flusso di calore

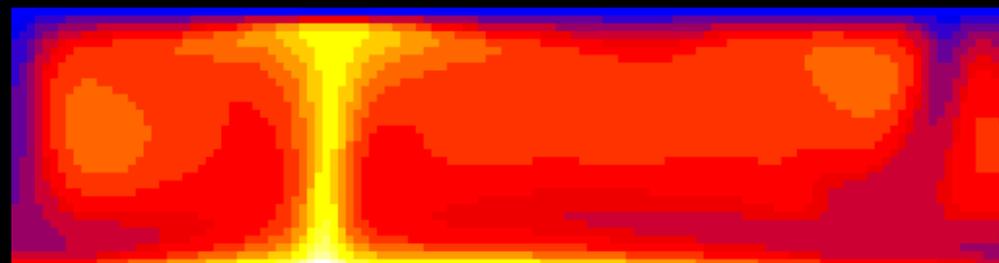
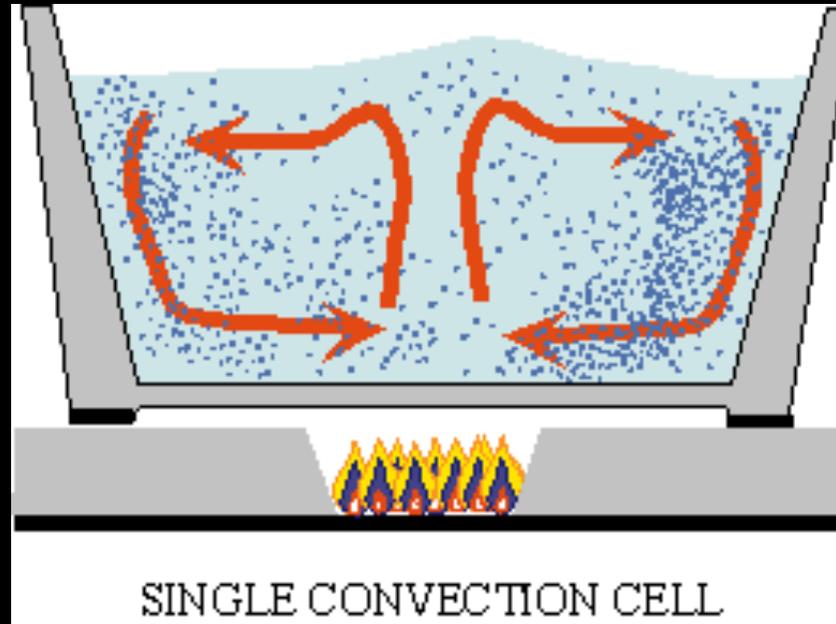
dT/dz: Gradiente di temperatura (geotermico)

λ: Conducibilità termica (attitudine di una sostanza a trasmettere calore)

Conducibilità termiche (λ) di alcuni minerali:

Metalli nativi (grafite e diamante)	120 W m ⁻¹ K ⁻¹
Solfuri	19
Ossidi	11.8
Fluoruri e cloruri	6
Carbonati	4
Silicati e Solfati	3.3
Nitrati	2.1
Metalli nativi / non metalli (selenio, zolfo)	0.85

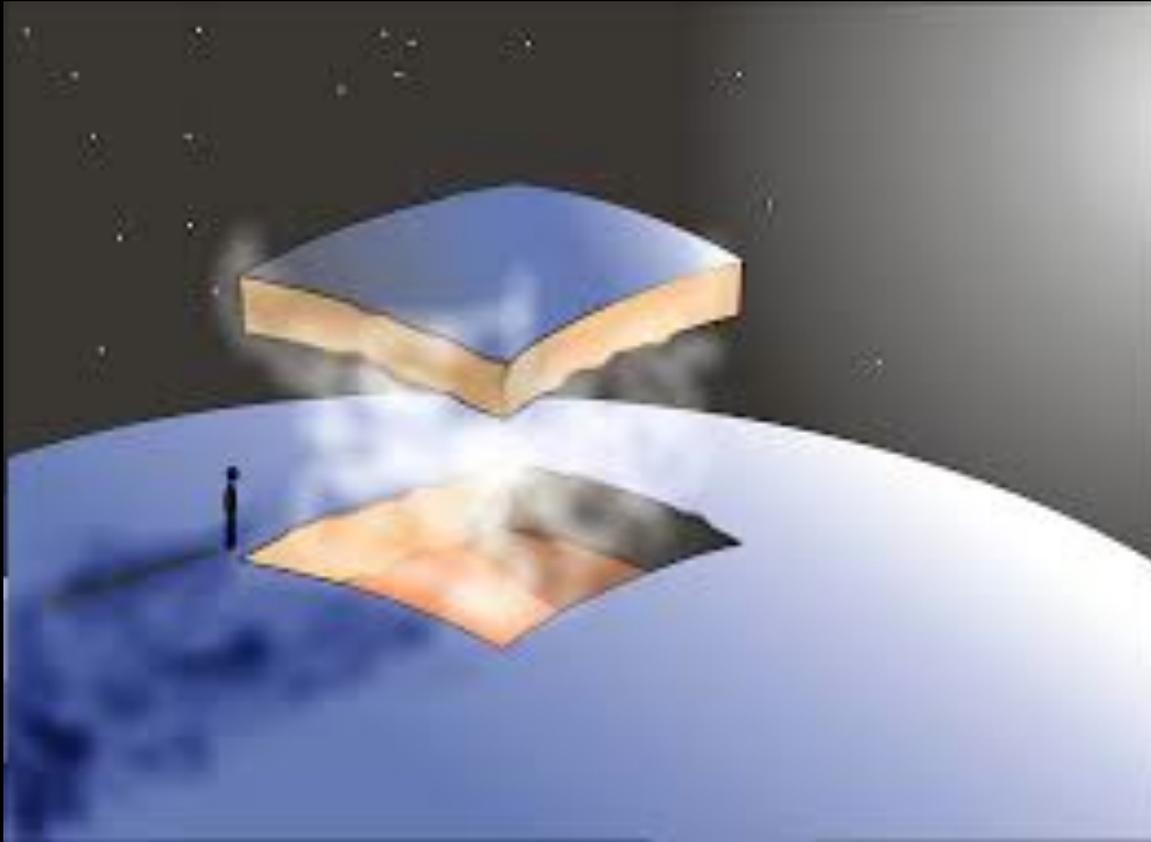
Convezione



Circolazione verticale in cui un fluido (acqua-gas-magma) caldo sale e raffreddandosi scende.

La convezione comprende l'advezione (avvezione) e la diffusione!

Advezione



In aree giovani e tettonicamente attive della Terra, dove le acque meteoriche si infiltrano e circolano in profondità, il flusso di calore advettivo è probabilmente la forma dominante di trasferimento di calore.

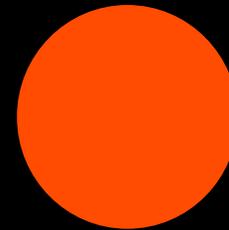
Nelle Scienze della Terra, l'advezione è un meccanismo di trasporto di una sostanza da parte di un fluido. Un esempio di advezione è il trasporto di inquinanti in un fiume da parte dell'acqua. Un'altra quantità che si muove per advezione è l'energia o l'entalpia. In questo caso il fluido può essere qualsiasi materiale che contiene energia termica, come acqua o gas.

NON INCLUDE LA DIFFUSIONE

H₂O è il miglior "stoccatore di calore" fra le
sostanze comuni



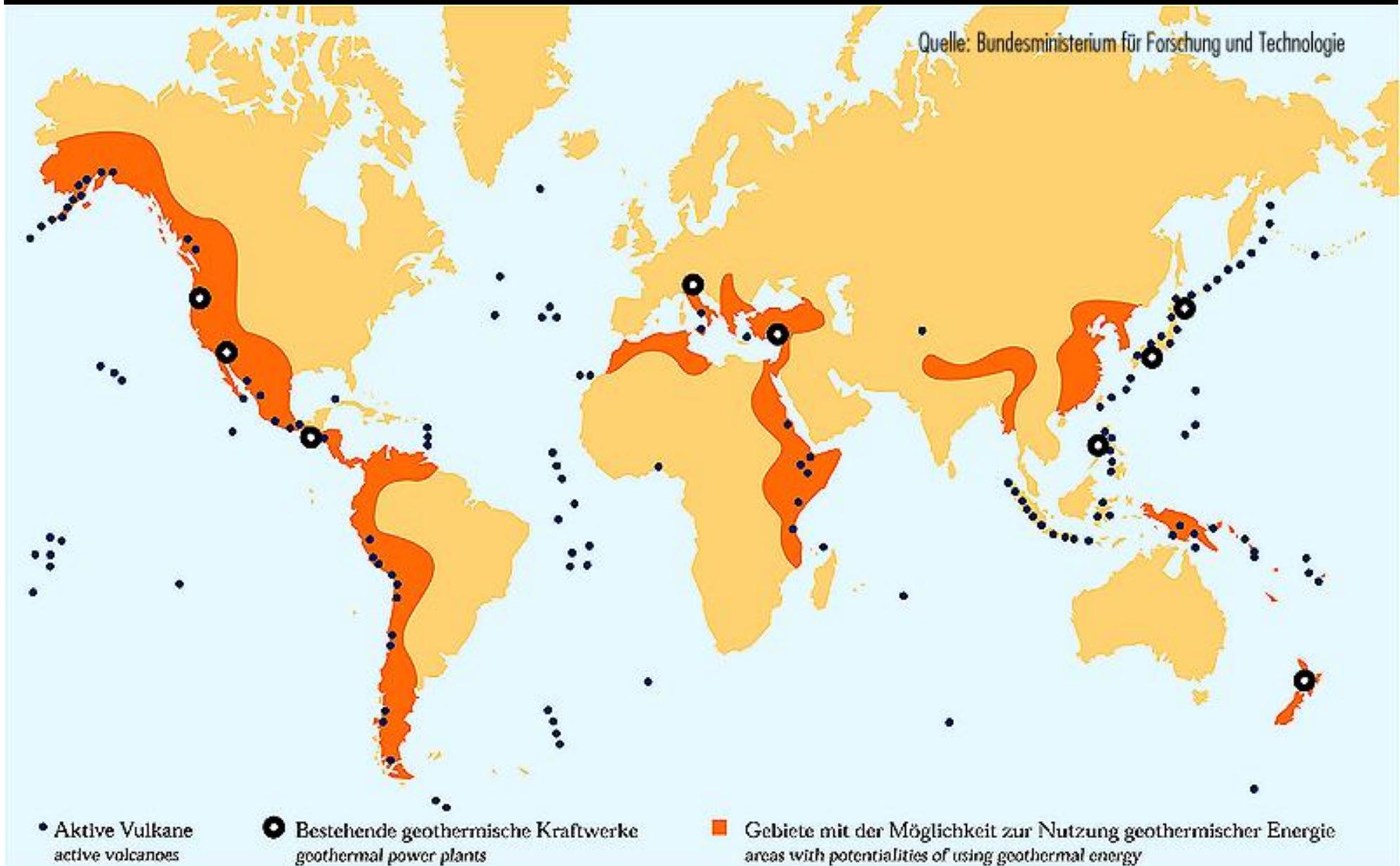
1 lb (0.45kg) Pb 23°C = 1 lb Lead 4 °C + 1 BTU

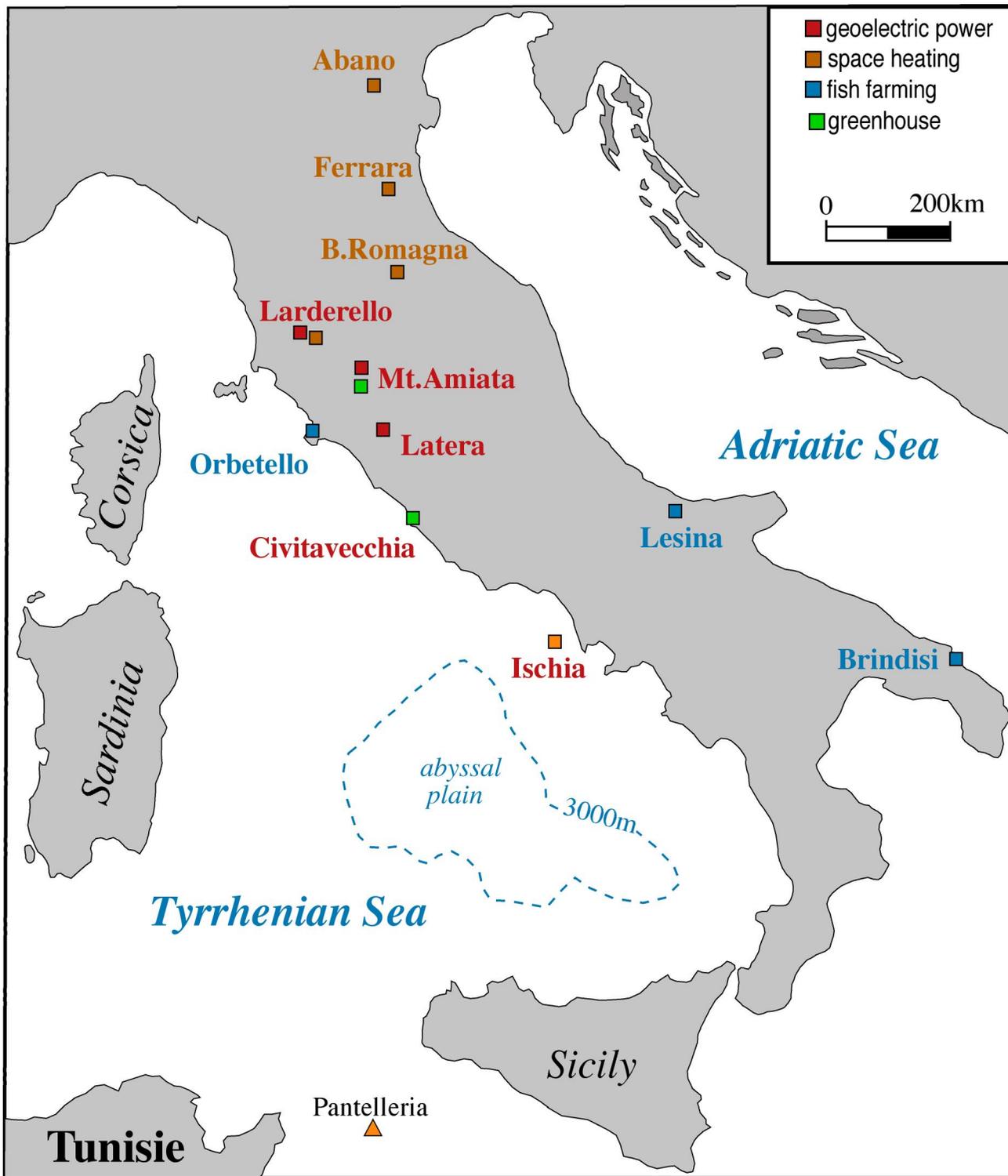


1 lb (0.45kg) H₂O 23°C = 1 lb H₂O 4 °C + 34 BTU

British thermal unit (BTU or Btu): corrisponde a circa
1055 J. È (circa) la quantità di energia necessaria a
riscaldare 1 pound (0.45 kg) di H₂O da 3.8 a 4.4 °C.

Are geotermiche



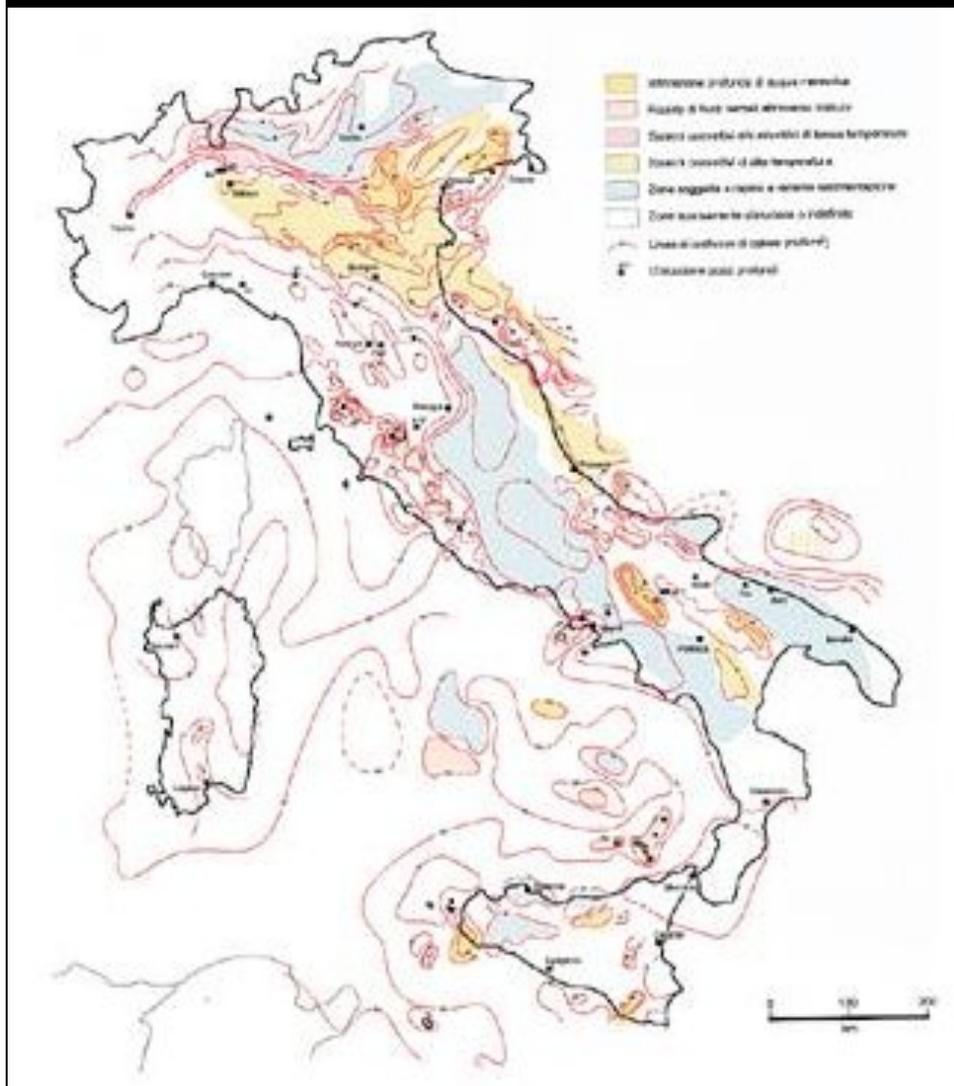


La geotermia in Italia

- geoelectric power
- space heating
- fish farming
- greenhouse

0 200km

La geotermia



Sfruttamento del calore della Terra allo scopo di produrre energia

L'Italia è il paese pioniere dello sfruttamento delle risorse geotermiche. In Toscana oltre il 20% del fabbisogno energetico è coperto dall'energia geotermica



Principe Piero Ginori Conti









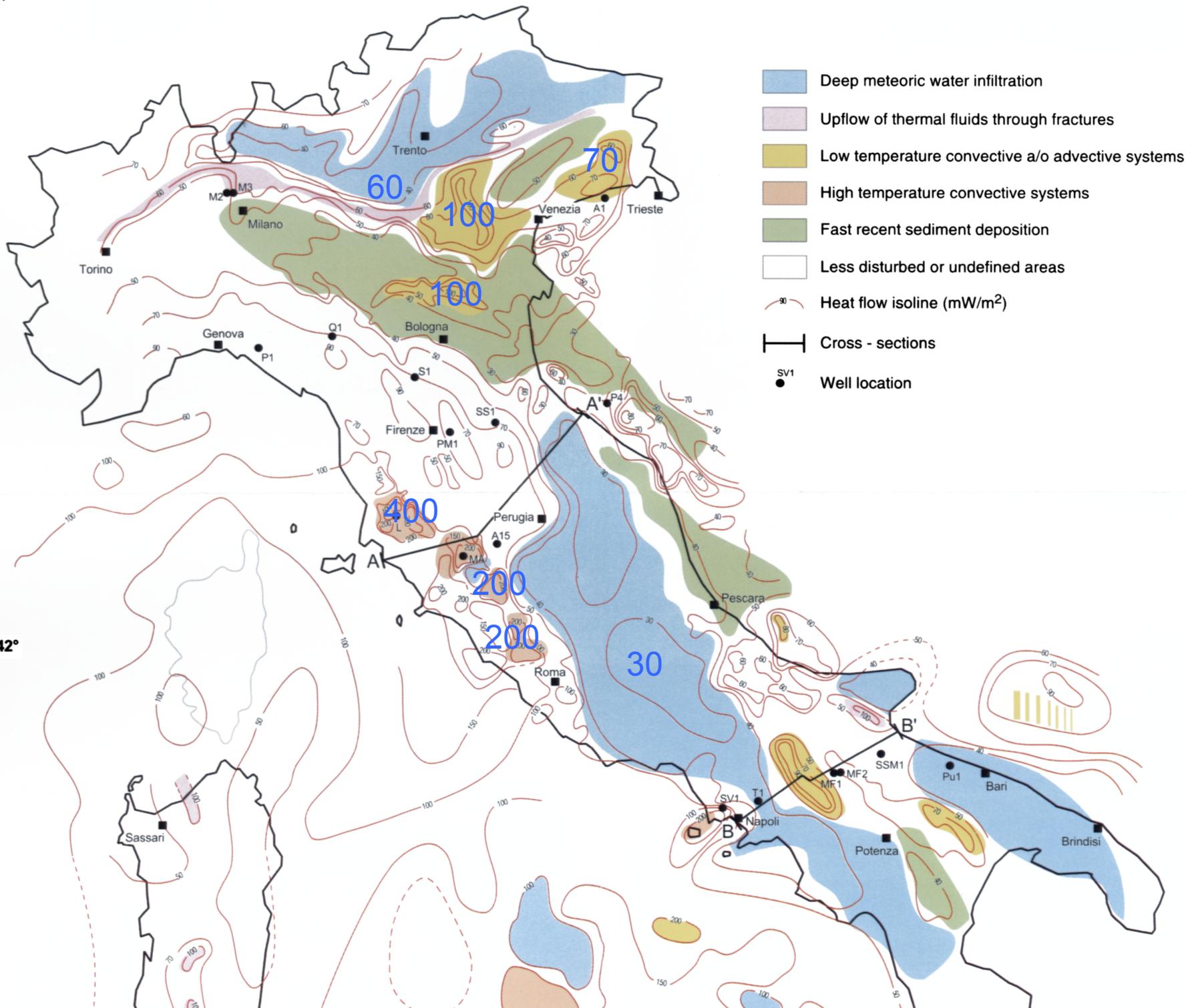






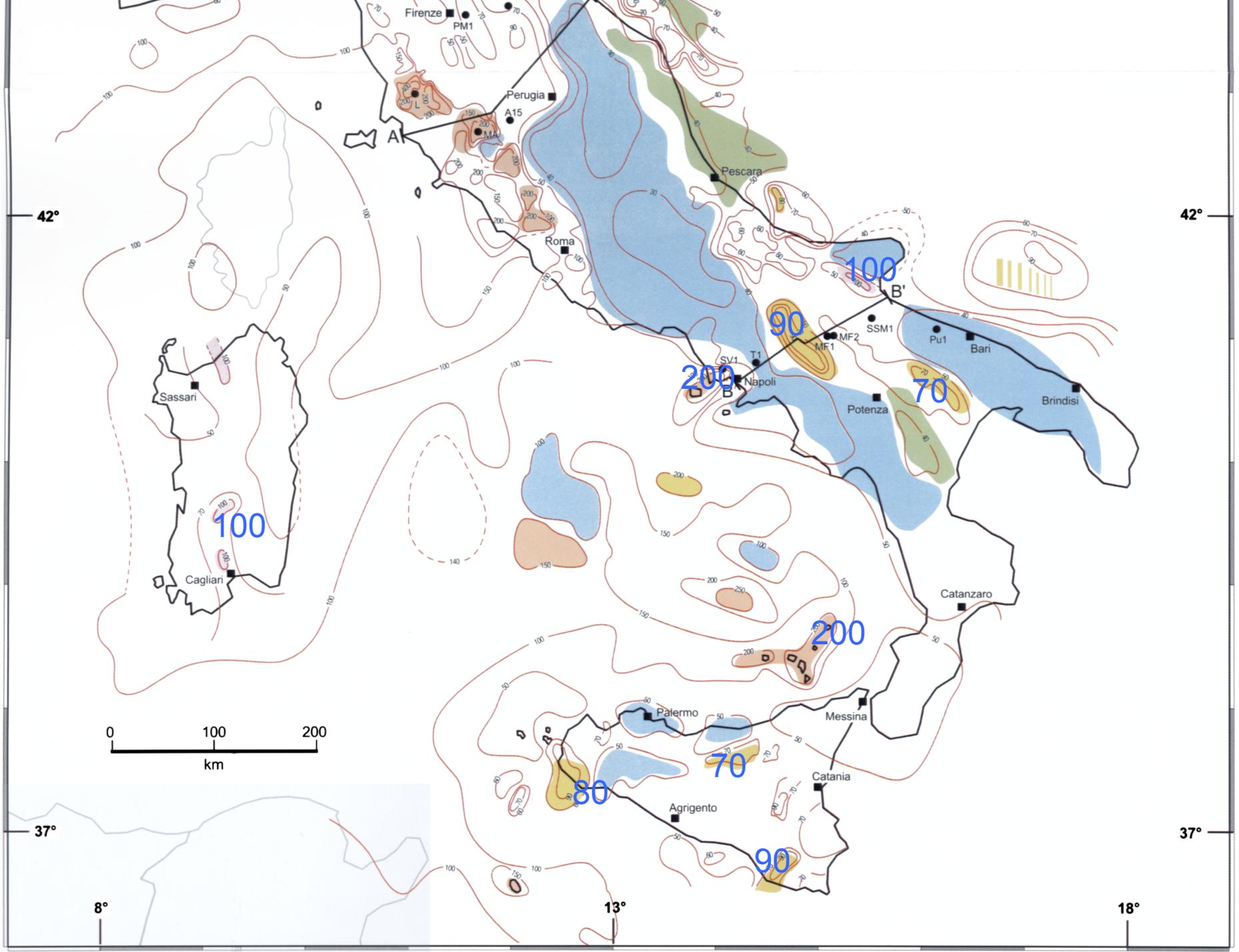
47°

47°



42°

42°



Art.1 - Ambito di applicazione della legge e competenze

1. La ricerca e la coltivazione a scopi energetici delle risorse geotermiche effettuate nel territorio dello Stato, nel mare territoriale e nella piattaforma continentale italiana, quale definita dalla legge 21 luglio 1967, n.613, sono considerate di pubblico interesse e di pubblica utilità e sottoposte a regimi abilitativi ai sensi del presente decreto.

2. Ai sensi e per gli effetti del presente decreto legislativo, valgono le seguenti definizioni:

- a) sono risorse geotermiche ad alta entalpia quelle caratterizzate da una temperatura del fluido reperito superiore a 150 °C;
- b) sono risorse geotermiche a media entalpia quelle caratterizzate da una temperatura del fluido reperito compresa tra 90 °C e 150 °C;
- c) sono risorse geotermiche a bassa entalpia quelle caratterizzate da una temperatura del fluido reperito inferiore a 90 °C.

3. Sono d'interesse nazionale le risorse geotermiche ad alta entalpia, o quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico, riferito all'insieme degli impianti nell'ambito del titolo di legittimazione, tale da assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20 MW termici, alla temperatura convenzionale dei reflui di 15 gradi centigradi; sono inoltre di interesse nazionale le risorse geotermiche economicamente utilizzabili rinvenute in aree marine.

TITOLI MINERARI VIGENTI

Il Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 ha delegato alle regioni le funzioni relative al conferimento di titoli minerari per risorse geotermiche nella terraferma, lasciando allo Stato, oltre che il compito di rilasciare solo quelli in mare, le funzioni di inventario, i relativi aggiornamenti, l'acquisizione di dati e la promozione di nuove tecnologie. Le recenti modifiche al Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n. 22 apportate dall'art.9 del Decreto Legislativo 3 marzo 2011 n. 28, hanno stabilito che il Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Ministero dell'ambiente e per la tutela del territorio e del mare, d'intesa con la Regione interessata, sia l'autorità competente per il conferimento di particolari titoli geotermici finalizzati alla sperimentazione di impianti pilota ad emissioni nulle. Con la Direttiva Direttoriale 1 luglio 2011 sono state fornite indicazioni per la prima attuazione delle modifiche introdotte dal Decreto legislativo 28/2011 al Decreto legislativo 22/2010.

Permessi di ricerca in terraferma (normalmente <200 km², ca. 100 € a km²)

BOCCHEGGIANO
CATABBIO
CINIGIANO
FRANCIACORTA (LOMBARDIA)
LA QUERCE
MAZZOLLA
MENSANO
MONTE LABBRO
MONTE SANTA CROCE
MONTE BAMBOLI
MONTEGEMOLI
MURCI
MURLO
ORCIATICO
PANTELLERIA (SICILIA)
PITIGLIANO
POGGIO MONTONE
RIPARBELLA
ROCCASTRADA
ROMA OVEST (LAZIO)
SAN CIPRIANO

Operatori

ENEEXERGIA TOSCANA
L GREEN POWER
GESTO ITALIA
COGEME
MAGMA ENERGY ITALIA
GEOENERGY
SORGENIA GEOTHERMAL
GEOTERMICA
DER
GARDA UNO
TOSCOGEO

Due anni fa!

BAGNOLO
BOCCHEGGIANO
CAMPIGLIA D'ORCIA
CASTIGLIONE D'ORCIA
CELLERE
CINIGIANO
FRANCIACORTA
GUARDISTALLO
IGIA RISORSE GEOTERMICHE
LA GRASCETA
LA VEDUTA
LAGO DI VICO
LE CASCINELLE
MALPAGA
MAZZOLLA
MENSANO
MONTALCIN
OMONTE LABBRO
MONTE SANTA CROCE
MONTEBAMBOLI
MONTEGEMOLI
MONTORIO

MURCI
PANTELLERIA
PERETA
PIANA DEL DIAVOLO
POGGIO MONTONE
POMONTE
RIPA D'ORCIA
ROCCASTRADA
ROMA OVEST
SAN GAVINO
MONREALE
SARDARA
SCANSANO
TOBIA
VALLE DI SUIO

2017

Operatori

AIM
COGEME
DER
ERGA
ENEL GREEN POWER
ENI
FUTURO ENERGIA
GEOTERMICA
GEOTHERMICS ITALY
GESTO ITALIA
LA R.E.P. AMBIENTE
MAGMA ENERGY ITALIA
MALPAGA
RENEWEM
SARAS
SORGENIA GEOTHERMAL
TERRA ENERGY
TOSCO GEO

Lazio (8)
Lombardia (2)
Sardegna (3)
Sicilia (1)
Toscana (23)

CONCESSIONI DI COLTIVAZIONE DI RISORSE GEOTERMICHE IN TERRAFERMA

BAGNORE

AD OGGI

CANNETO

CHIUSDINO

FERRARA

LARDERELLO

LUSTIGNANO

PIANCASTAGNAIO

RIO SECCO

TRAVALE

VALENTANO

VICENZA

Emilia Romagna (1)

Lazio (1)

Toscana (8)

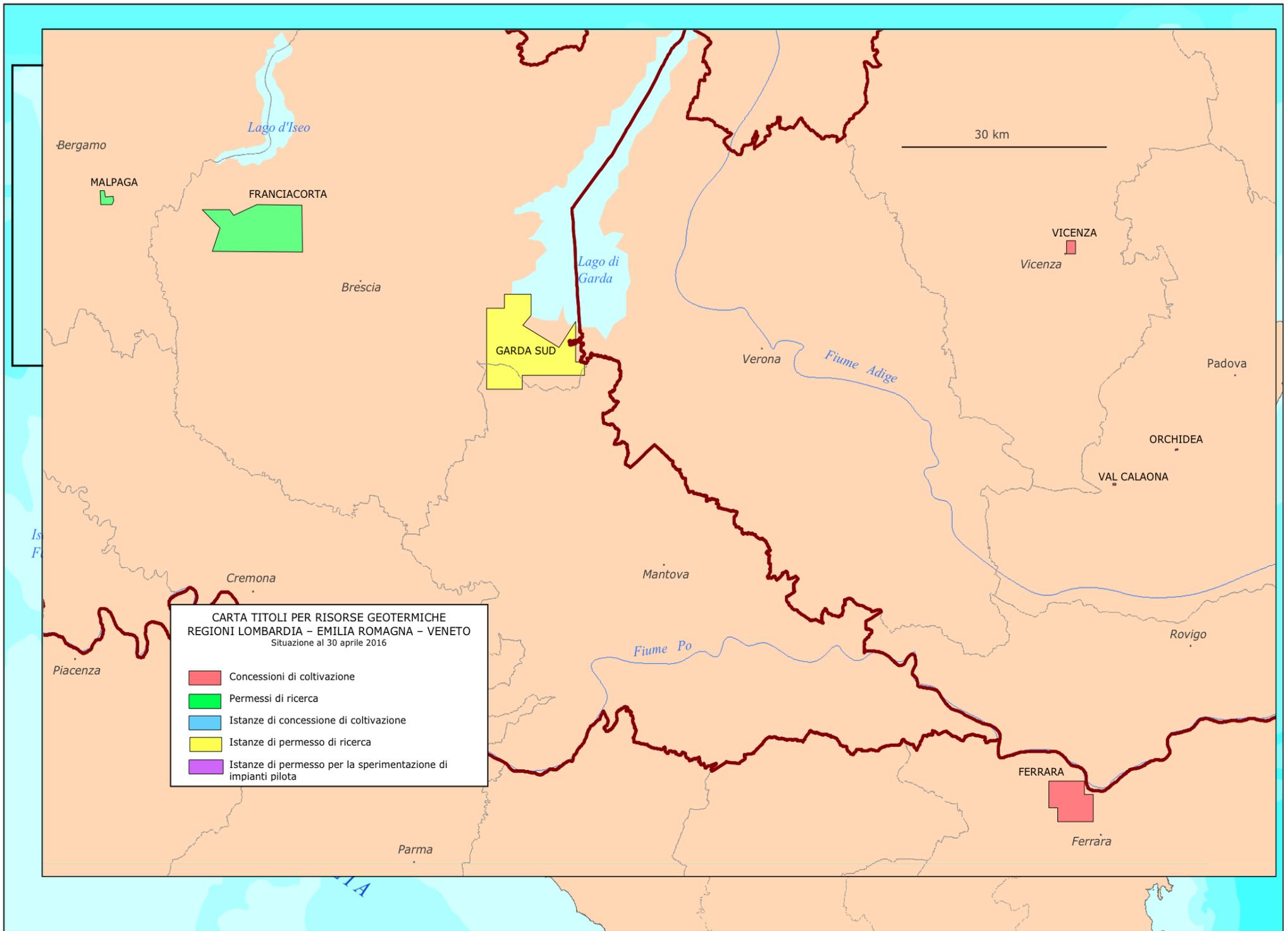
Veneto (1)

Istanze di Permesso di Ricerca

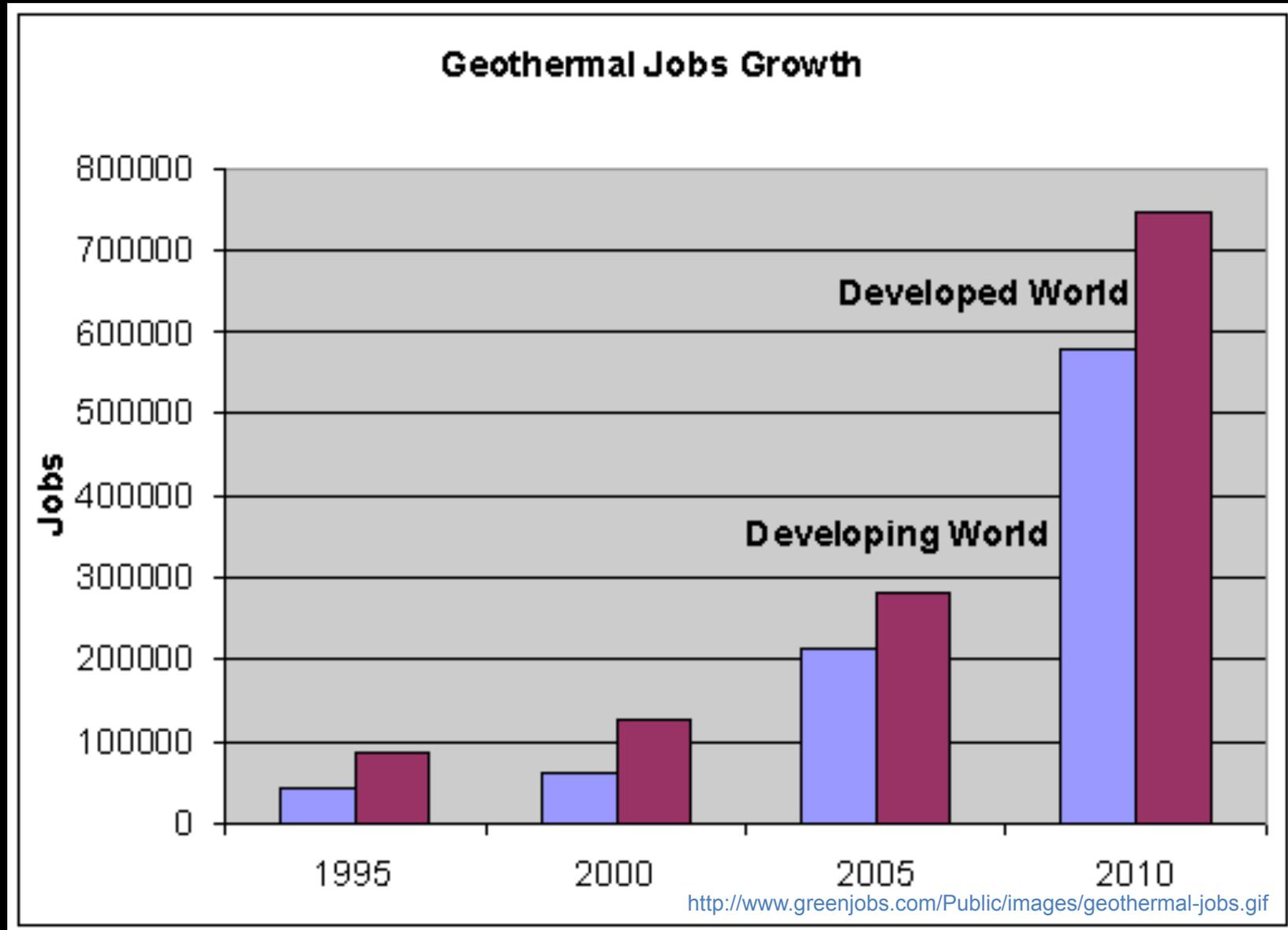
1. ANGLONA
2. ARLENA DI CASTRO
3. BAGNI ODDINI
4. BOCCEA
5. CAMPO GEOTERMICO EOLIANO
6. CAMPO GEOTERMICO GERBINI
7. CAMPO GEOTERMICO
PANTELLERIA
8. CAMPO GEOTERMICO SCIACCA
9. CASALINO
10. CASANOVA
11. CASTRO
12. CELLENO
13. CENTENO
14. COLLI ALBANI
15. CUGLIERI
16. FIUMICINO
17. FORMELLO
18. GARDA SUD
19. GROTTI DI CASTRO

20. LA PIANACCIA
21. LA RICCIA
22. LAGO DI ALBANO
23. LAGO DI BOLSENA
24. LAGO DI BRACCIANO
25. MARTIS
26. MOLETTA **AD OGGI**
27. MONTALFINA
28. MONTE AGUZZO
29. MONTE FUMAIOLO
30. MONTE RUBIAGLIO
31. MONTEROSI
32. PONTE RIGO
33. S. MARIA DI SALA
34. SABATINI SUD
35. SACROFANO A
36. SACROFANO B
37. SEDINI
38. SUTRI
39. TUSCANIA

1. Lazio (25)
2. Lombardia (1)
3. Sardegna (5)
4. Sicilia (4)
5. Toscana (4)
6. Umbria (3)



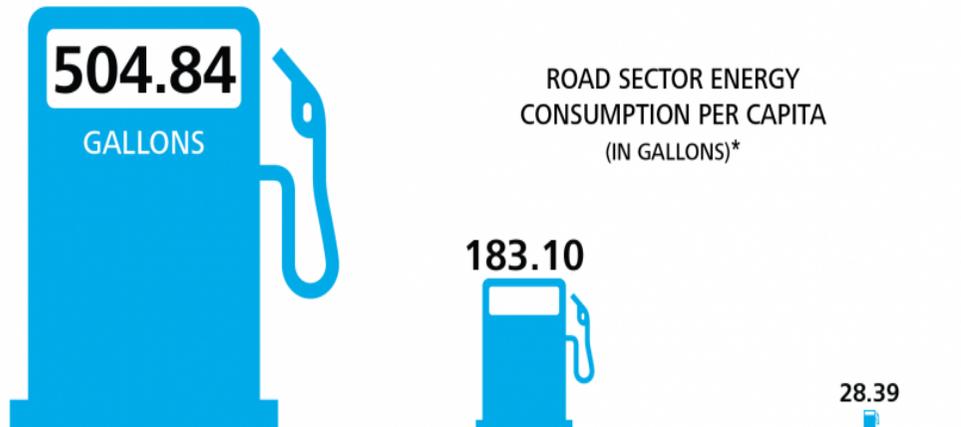
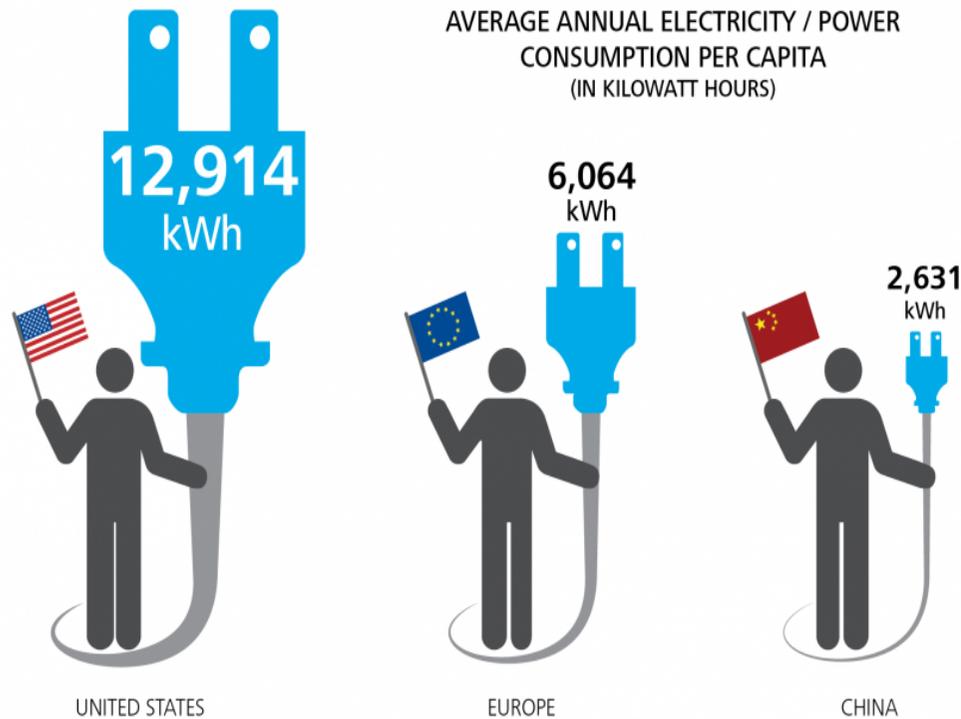
Impiego in campo geotermico!



E' l'energia che fa girare il mondo!



The energy intensive American



*Note: Road sector energy consumption is the total energy used in the road sector including petroleum products, natural gas, electricity, and combustible renewable and waste.
Sources: www.google.com/publicdata (World Development Indicators),
http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators?cid=GPD_WDI

Kilowatt (kW): 1000 watt

Kilowattora (kWh): Misura dell'elettricità definita come un'unità di lavoro o energia, misurata come 1 kilowatt (1,000 watt) di potenza spesa per 1h!!

Una lampadina a 40 watt che opera per 25h usa 1 kwh!

Se l'energia è trasmessa o usata ad un tasso costante (potenza) per un periodo di tempo, l'energia totale è il prodotto della potenza in Kw per il tempo in ore.

Oil fields will tumble

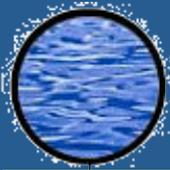
Coal and gas will crumble

But heat from

mother earth

is here to stay

Nel 2008, l'energia geotermica rappresentava circa lo 0.1 % del global primary energy supply, anche se stime recenti predicono una copertura di richiesta di energia elettrica sino al 3%. Nel 2050....5%!!!



Idro



Eolico



Bioenergia



Geotermale



Solare



Efficienza



Idrogeno

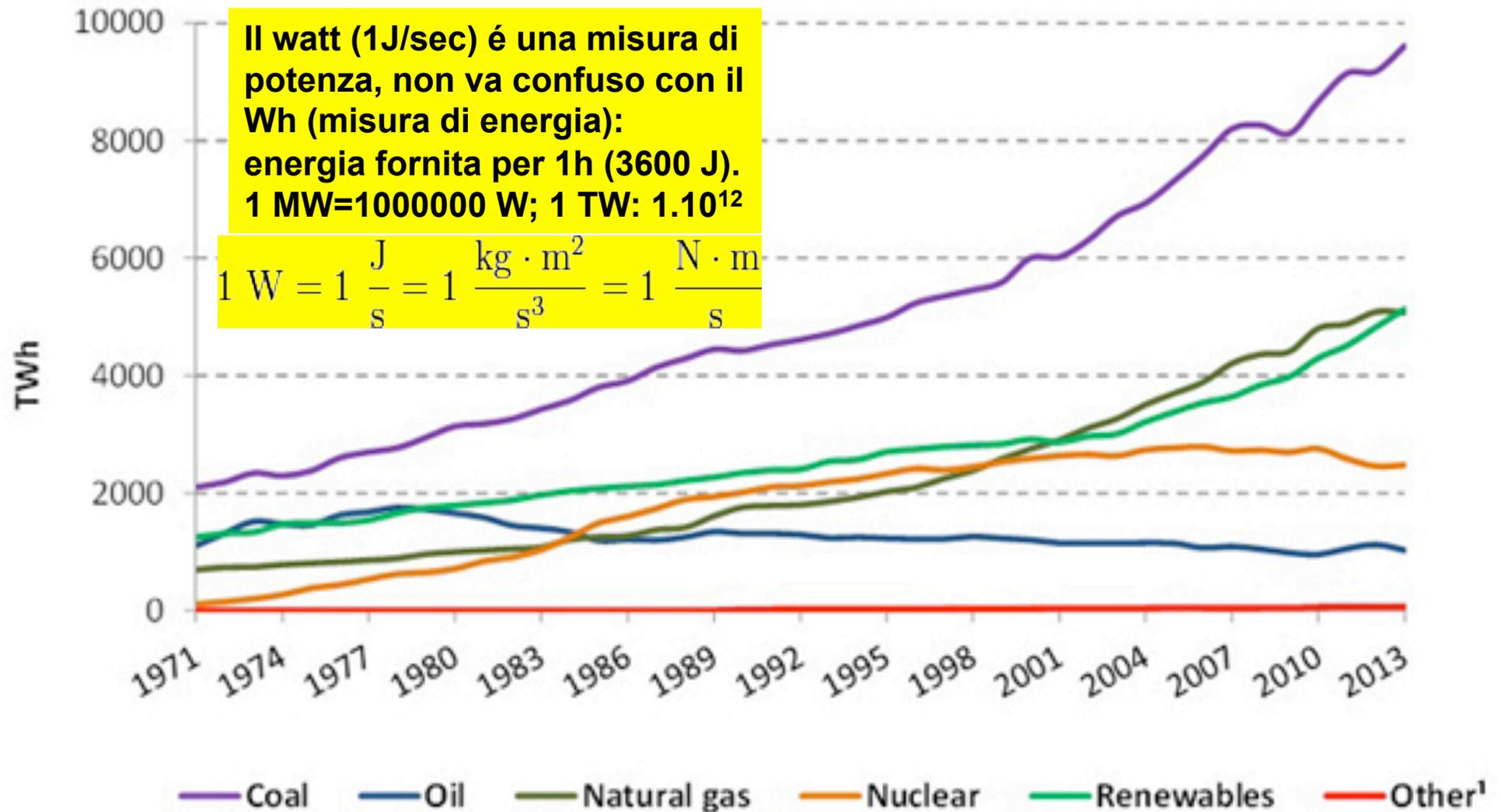
Energie convenzionali ed energie rinnovabili

Le fonti di energia rinnovabile non dipendono da combustibili le cui riserve sono limitate. La fonte di energia rinnovabile più sfruttata è l'energia idroelettrica; altre fonti rinnovabili sono l'energia da biomassa, l'energia solare, l'energia dalle maree, l'energia dalle onde e l'energia eolica. L'energia da biomassa non esclude il pericolo dell'effetto serra

CO₂ e composti organici

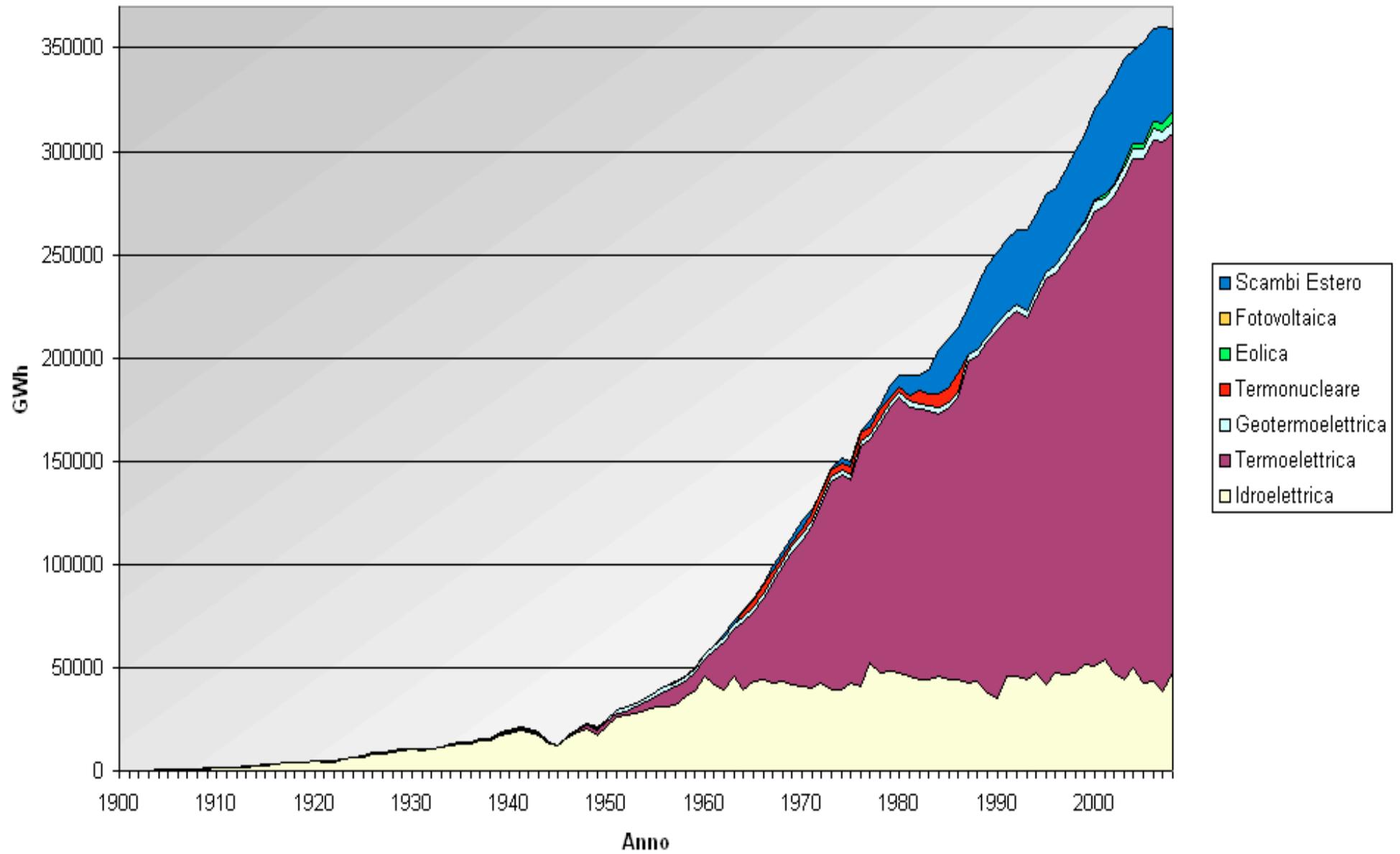
A tale proposito si deve ricordare che il 99% dell'energia presente sul nostro pianeta proviene dall'esterno e soprattutto dal sole, sottoforma di radiazione, il resto è dato dall'energia derivante dall'attrazione gravitazionale della luna; **il modesto 1% di energia prodotta dal nostro pianeta nasce dal suo interno e si manifesta come vulcanismo, geotermia ed energia nucleare.**

World electricity production by source from 1973 to 2013

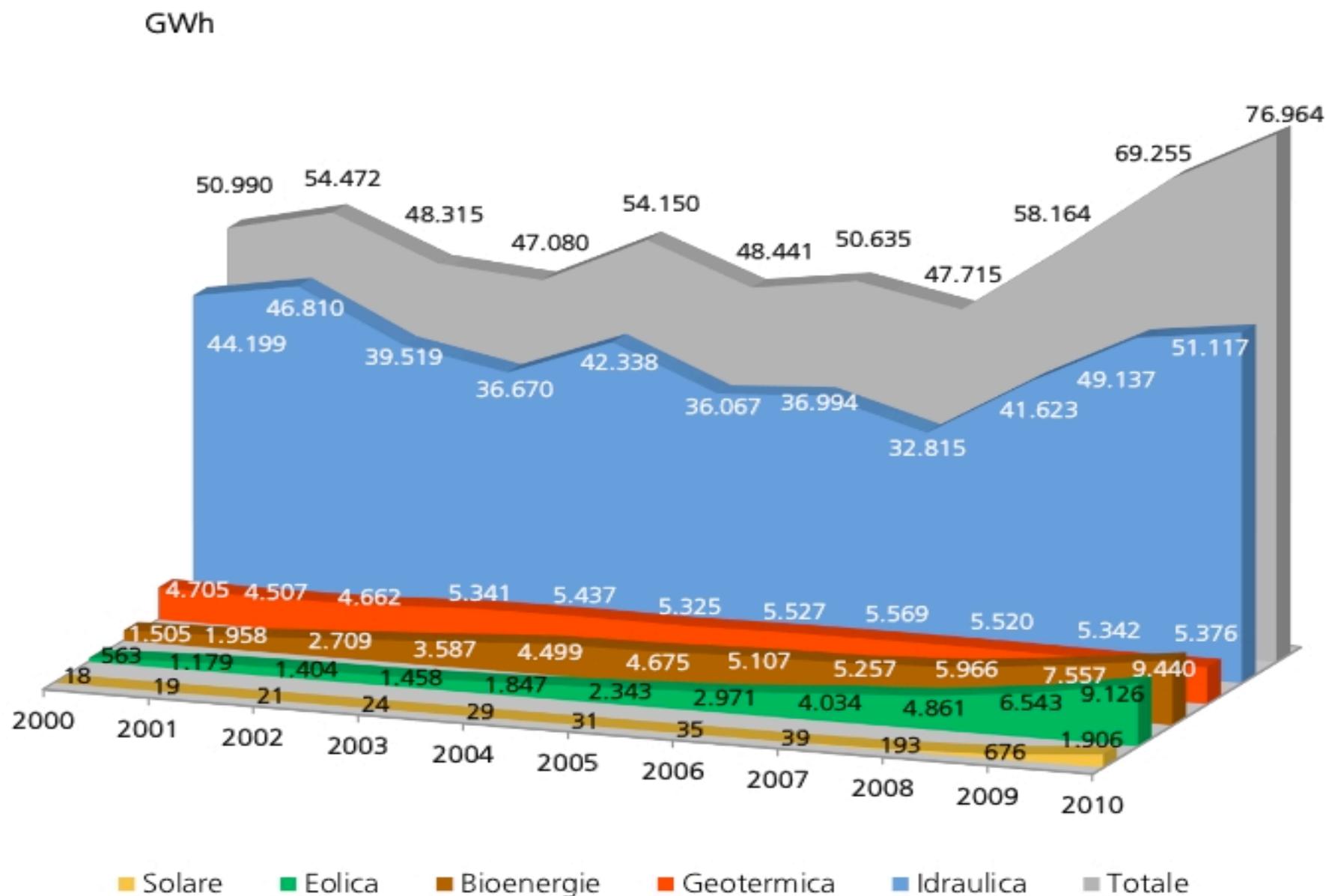


1. Includes non-renewable wastes, electricity from chemical heat and other sources (e.g. fuels cells)

Riepilogo Storico della Produzione di Energia in Italia



La produzione rinnovabile in Italia dal 2000 al 2010



fonte: rapporto GSE ottobre 2011

Geothermal in Context

Energy Source	2000	2001	2002	2003	2004 _P
Total_a	98.961	96.464	97.952	98.714	100.278
Fossil Fuels	84.965	83.176	84.070	84.889	86.186
Coal	22.580	21.952	21.980	22.713	22.918
Coal Coke Net Imports	0.065	0.029	0.061	0.051	0.138
Natural Gas _b	23.916	22.861	23.628	23.069	23.000
Petroleum _c	38.404	38.333	38.401	39.047	40.130
Electricity Net Imports	0.115	0.075	0.078	0.022	0.039
Nuclear Electric Power	7.862	8.033	8.143	7.959	8.232
Renewable Energy	6.158	5.328	5.835	6.082	6.117
Conventional Hydroelectric	2.811	2.242	2.689	2.825	2.725
Geothermal Energy	0.317	0.311	0.328	0.339	0.340
Biomass_d	2.907	2.640	2.648	2.740	2.845
Solar Energy	0.066	0.065	0.064	0.064	0.063
Wind Energy	0.057	0.070	0.105	0.115	0.143

U.S. Energy Consumption by Energy Source, 2000-2004 (Quadrillion Btu)

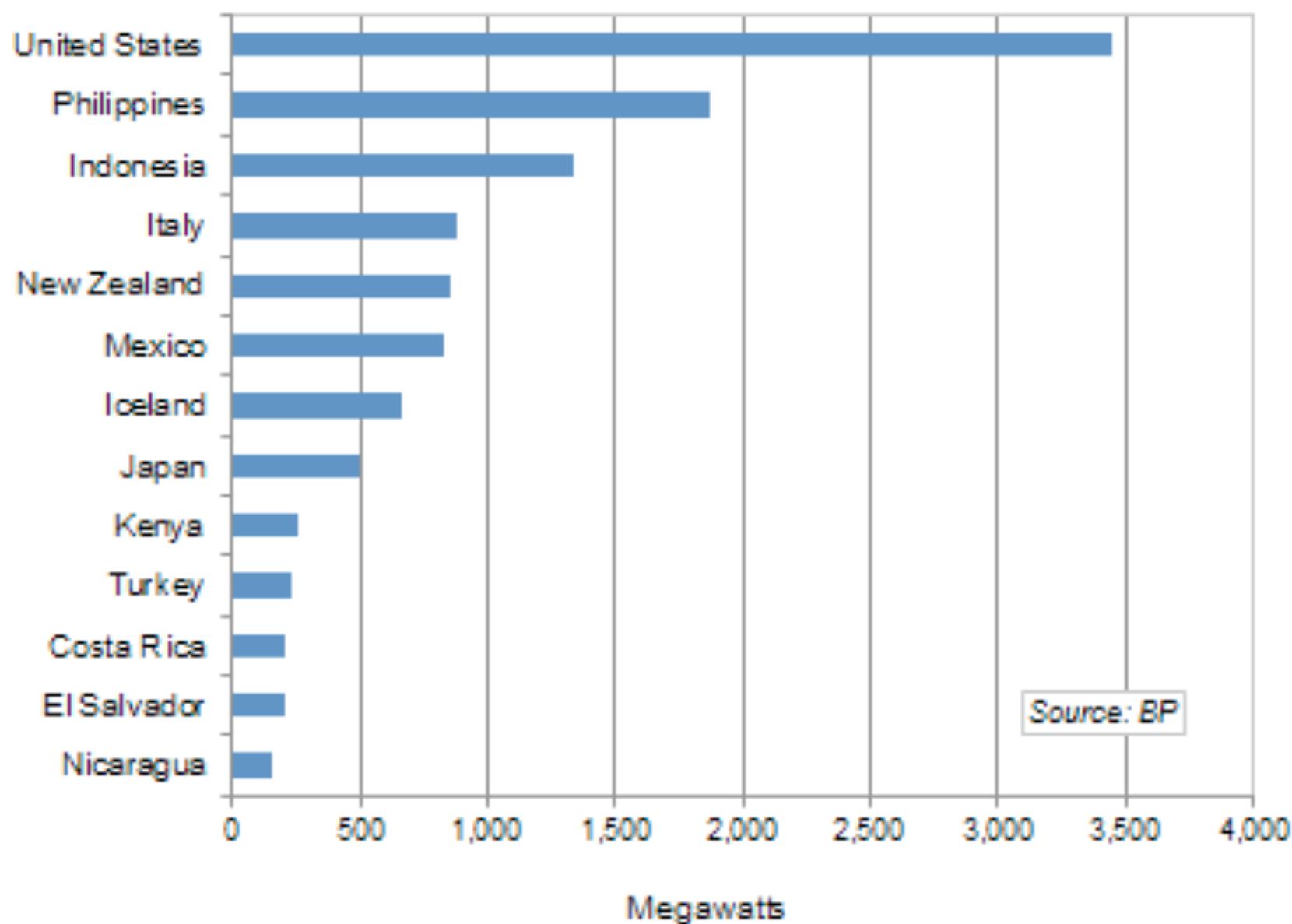
British thermal unit (BTU or Btu): corrisponde a circa 1055 J. È (circa) la quantità di energia necessaria a riscaldare 1 pound (0.45 kg) di H₂O da 3.8 a 4.4 °C.
 Un quadrillion è un biliardo (10¹⁵). Per noi un quadrilione è 10²⁴.

Table 9.1 Geothermal power generation around the end of the twentieth century

Nation	1995 MW_e	2000 MW_e	2005 (est. MW_e)
Argentina	0.67	0	n/a
Australia	0.17	0.17	n/a
China	28.78	29.17	n/a
Costa Rica	55.0	142.5	161.5
El Salvador	105.0	161	200
Ethiopia	0	8.52	8.52
France	4.2	4.2	20
Guatemala	0	33.4	33.4
Iceland	50.0	170	186
Indonesia	309.75	589.5	1987.5
Italy	631.7	785	946
Japan	413.7	546.9	566.9
Kenya	45.0	45	173
Mexico	753.0	755	1080
New Zealand	286.0	437	437
Nicaragua	70.0	70	145
Philippines	1227.0	1909	2673
Portugal	5.0	16	45
Russia	11.0	23	125
Thailand	0.3	0.3	0.3
Turkey	20.4	20.4	250
USA	2816.7	2228	2376
Totals	6833	7974	11 414

(from Hutterer, 2000)

Geothermal Electricity-Generating Capacity in Leading Countries, 2013

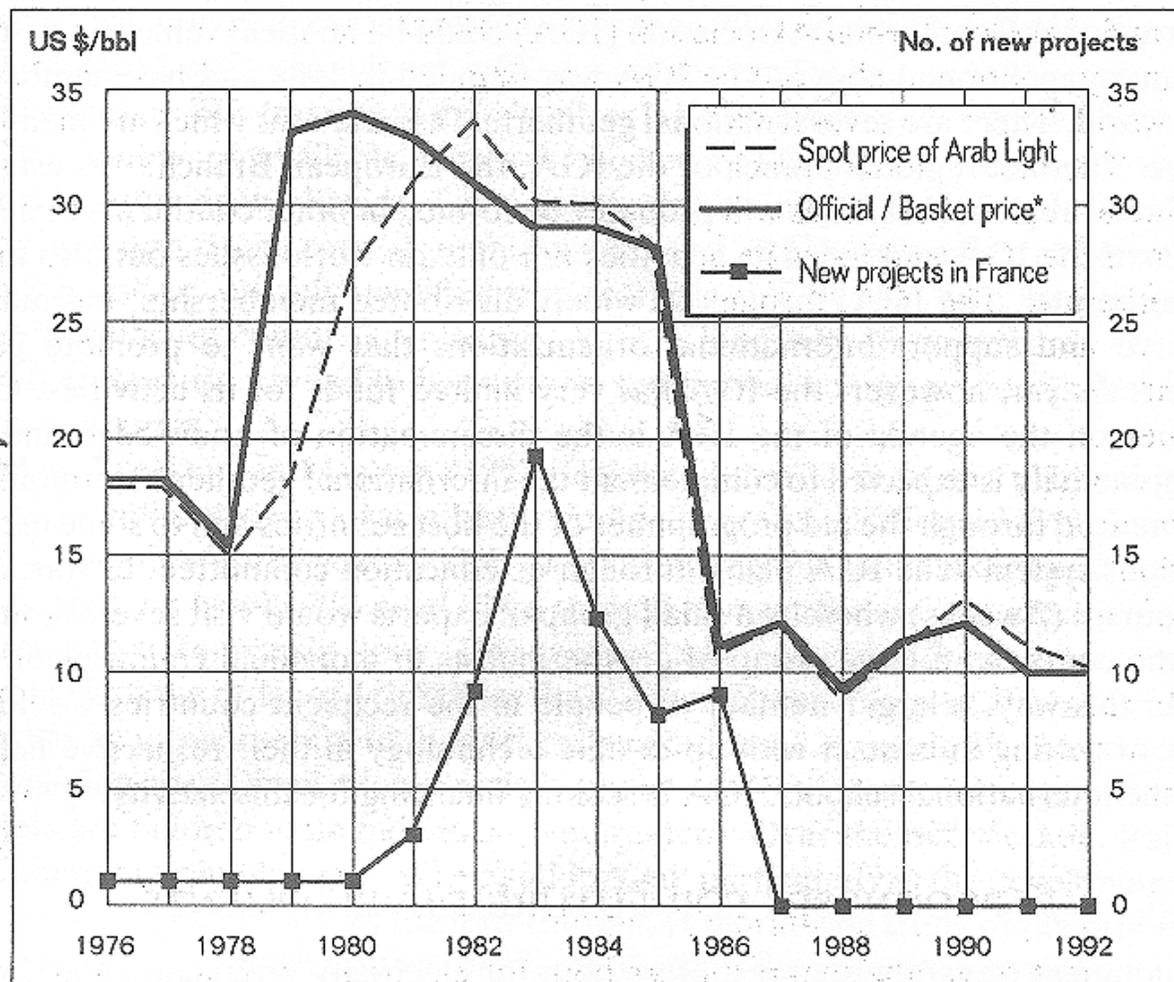


Most impact

% of total energy

- **Iceland** >50%
- Hungary 10%
- Slovakia 7%
- Romania 6%
- Poland 5%
- Bulgaria 5%
- **Turkey** 5%
- Slovenia 4%
- **Greece** 3%
- Austria 3%
- Germany 2%



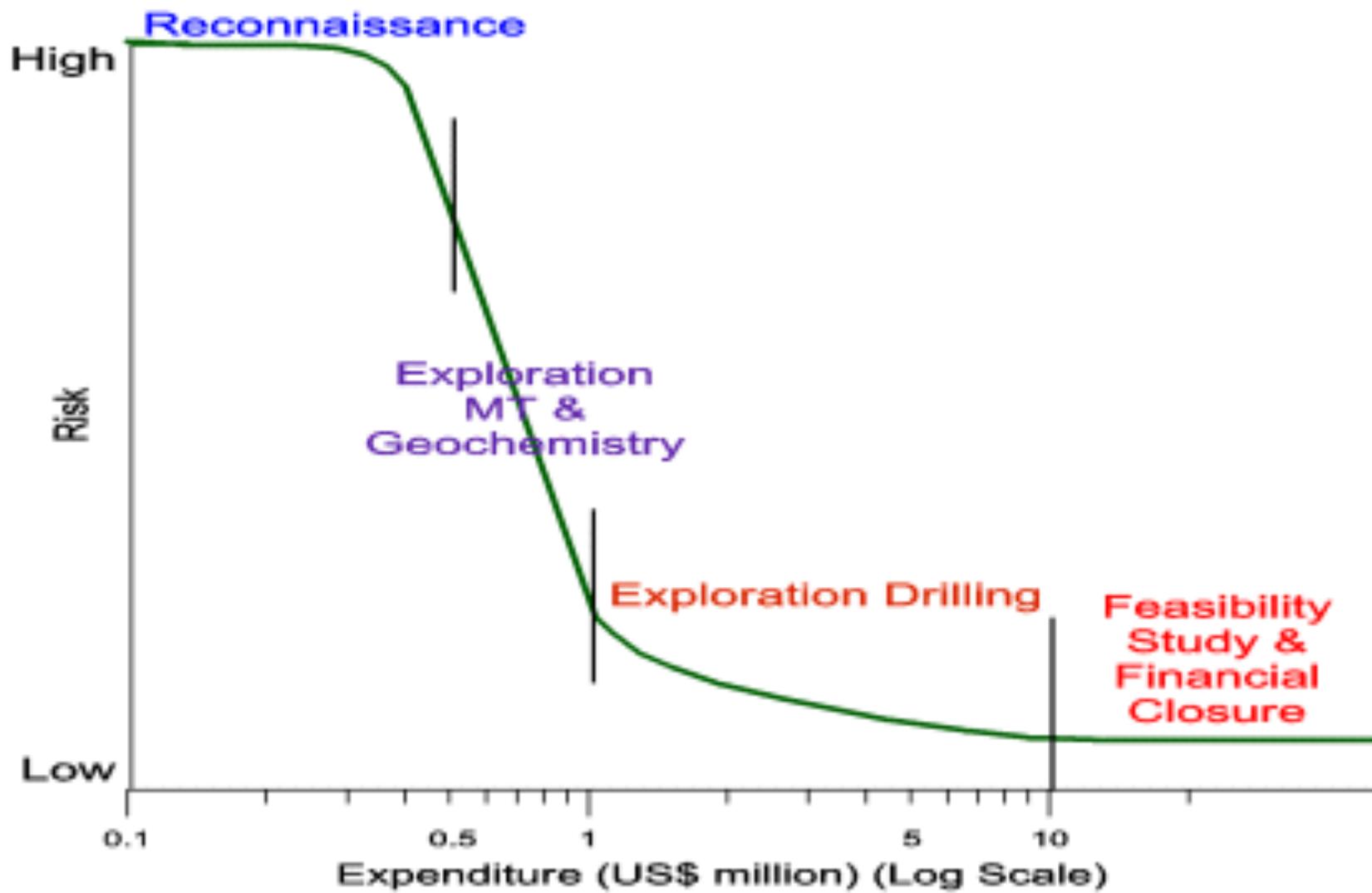


* Arabian light up to 1984. OPEC Reference Basket from 1985.

Source: OPEC Secretariat, Data Service Department.

(from Fridleifsson and Freeston, 1994)

Gli investimenti in progetti geotermici sono fortemente condizionati dal prezzo del petrolio e da altre fonti energetiche. Esempio: progetti francesi degli '80 (*riscaldamento dell'area urbana di Parigi*), iniziati a seguito dell'aumento del prezzo del petrolio e terminati a causa della sua diminuzione.



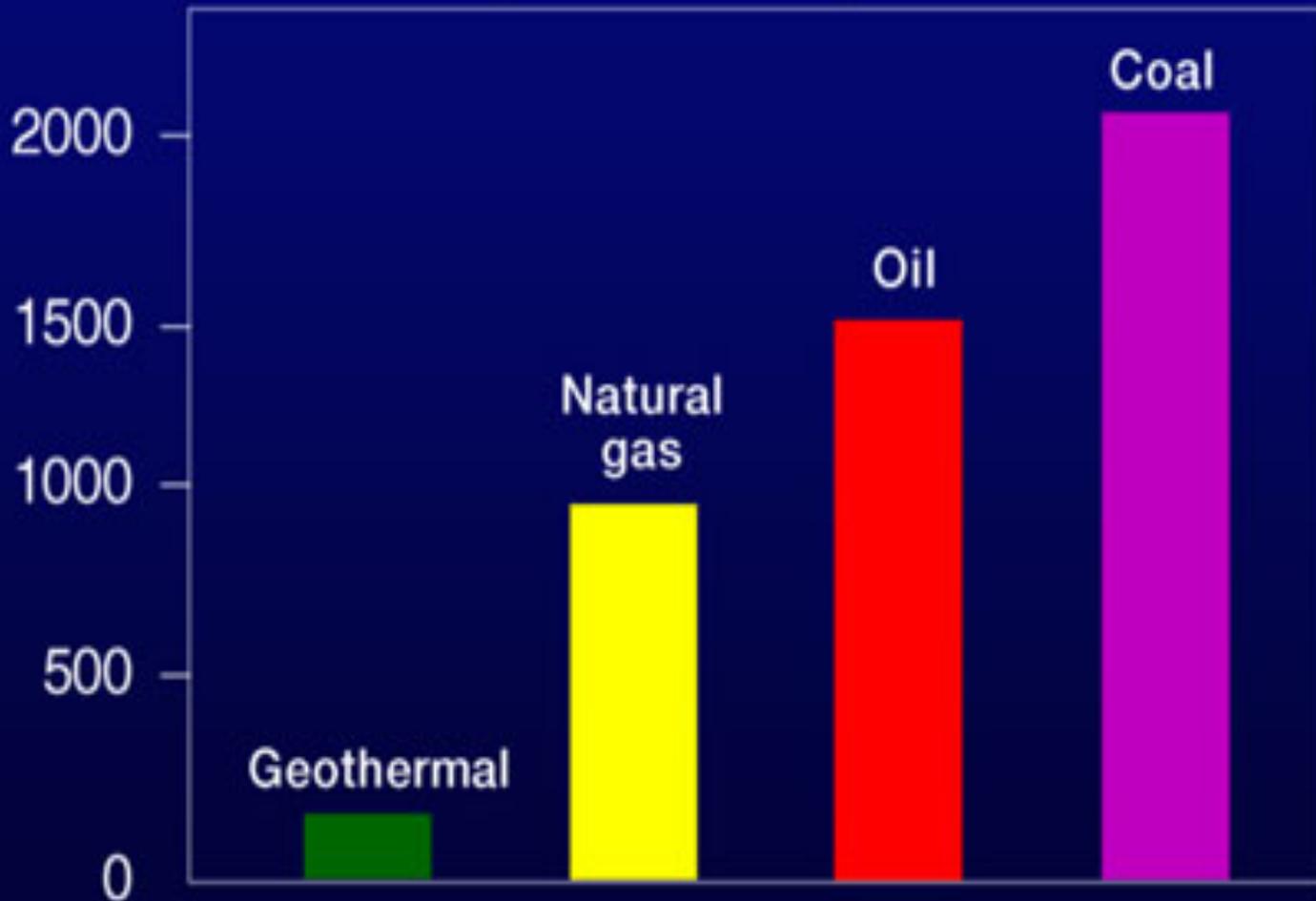
***Expenditure and Risk
prior to Geothermal Development***

Economia geotermica

- Quanto costa l'energia geotermica kWh?
 - A The Geysers l'energia è venduta a \$0.03 - \$0.035 per kWh.
 - Un impianto costruito oggi richiederebbe circa \$0.05 per kWh.
 - Carbone: \$0.07-0.14 , Gas naturale: \$0.07 -\$0.10, Nucleare \$0.15+ per kWh
- Quanto costa pianificare e costruire un impianto geotermico?
 - Alti costi iniziali per
 - Acquisto del terreno
 - Sviluppo del terreno ed analisi dell'area
 - Costruzione dei gasdotti e dell'impianto
 - Il costo iniziale per il terreno e l'impianto è di circa \$2500 per installed kW negli U.S.A.
 - O circa \$3000 to \$5000/kW per impianti <1 Mwe.
 - Costi operativi e di manutenzione da \$0.01 to \$0.03 per kWh.

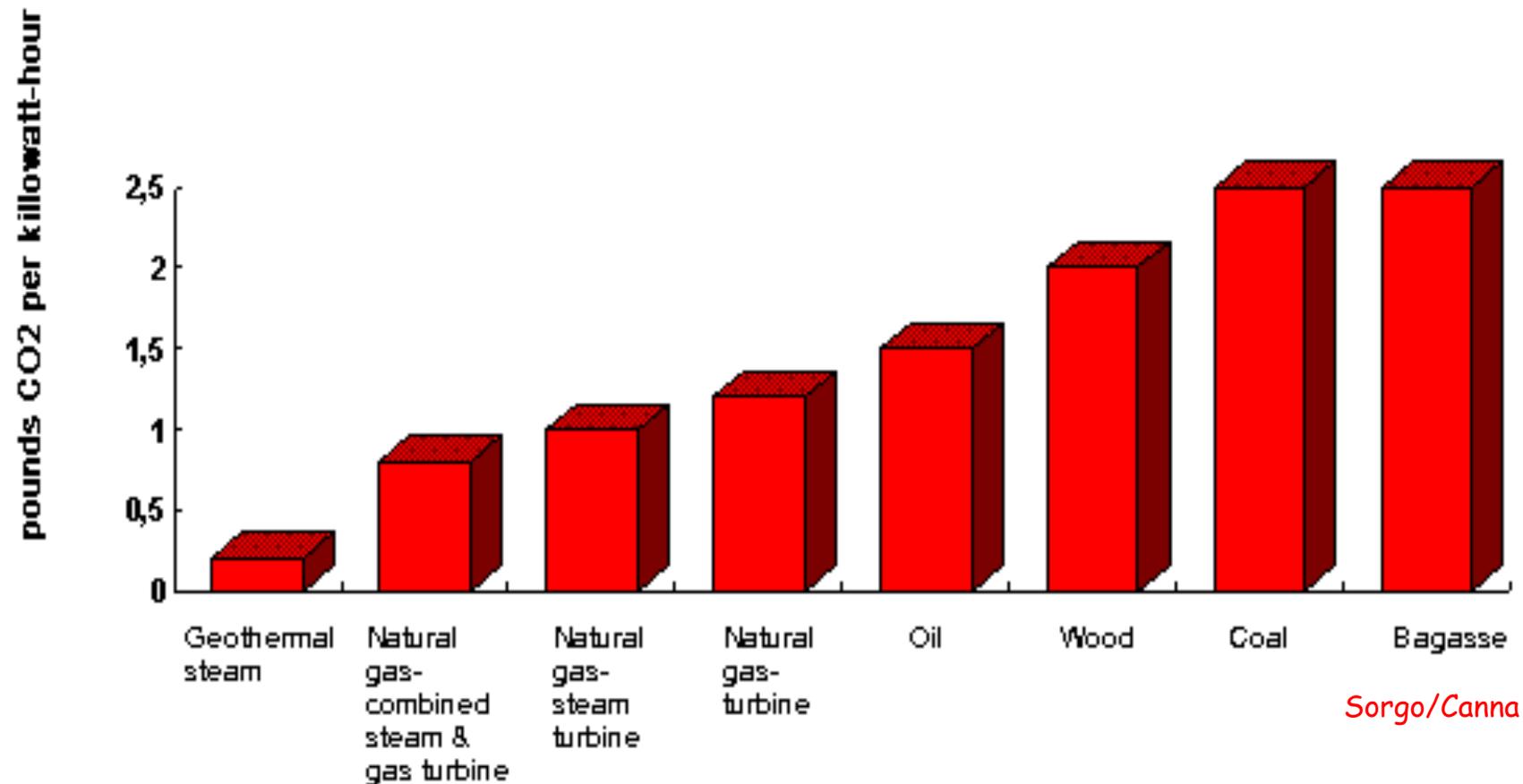
1 libbra = 16 once = 0.45 kg

CO₂ Emissions Comparison (lbs/MW-hr)

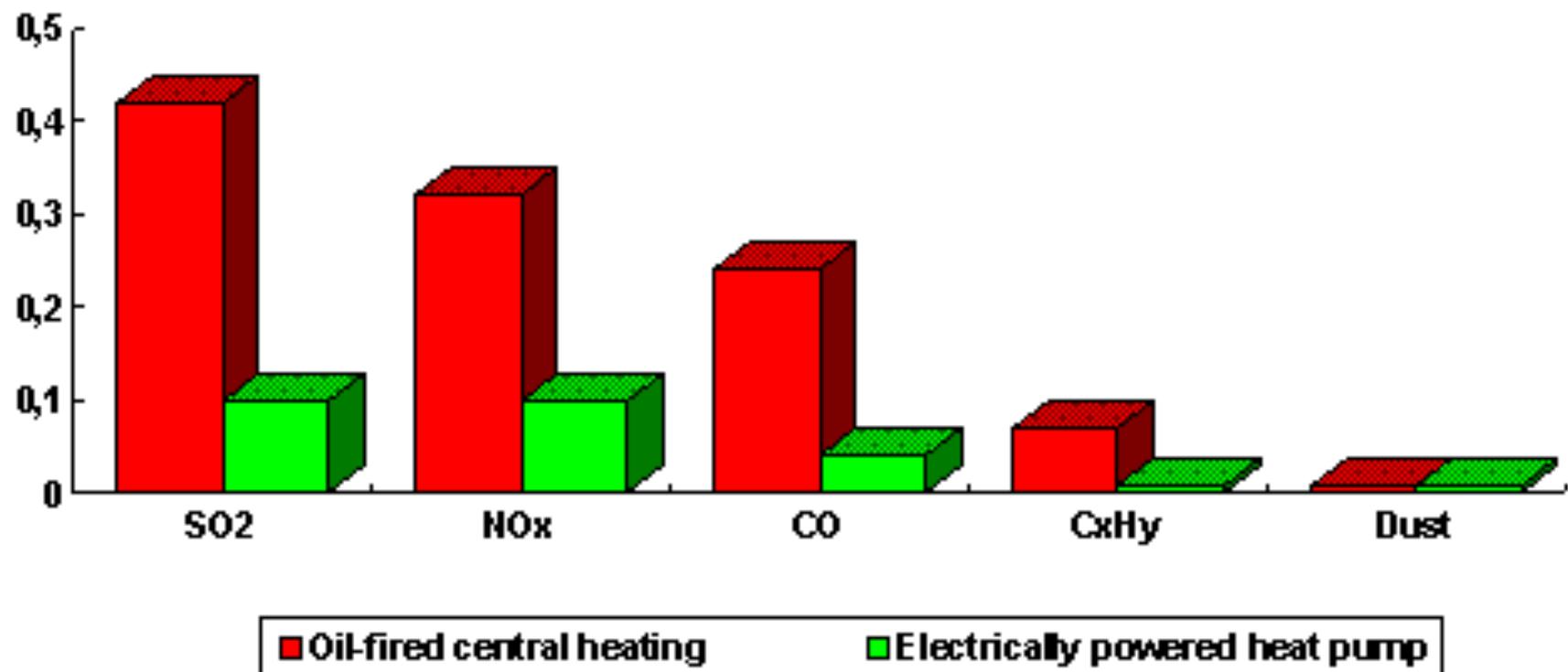


Source EIA 1998; Bloomfield and Moore 1999

CARBON DIOXIDE EMISSIONS per unit of energy produced



Comparison of CO₂ emissions between conventional energy systems and geothermal plants to generate electricity



Comparison of harmful emissions between a conventional oil fired central heating system and water/water based heat pumps.

Altre emissioni in aria

Le emissioni di Hg variano da 45 a 900 $\mu\text{g}/\text{kWh}$ e sono paragonabili a quelle degli impianti a carbone combustibile.

Le emissioni di Rn sono stimabili in 3700-78,000 Bq/kWh.

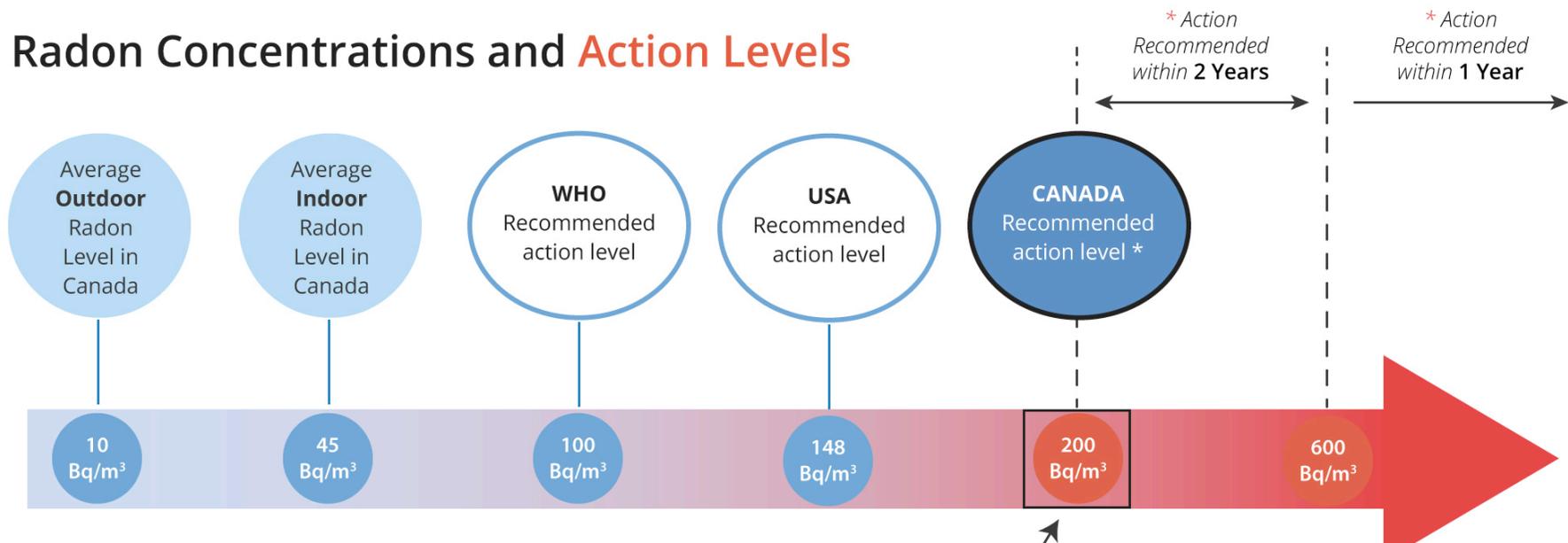
Concentrazioni tipiche di Rn in aria al livello del suolo:

- 5.5 Bq/m³ a Larderello
- 6.0 Bq/m³ a The Geysers (California)

contro il valore medio di 3.0 Bq/m³ in aree non geotermiche.

Gli impianti geotermoelettrici, contrariamente a quelli termoelettrici, non scaricano NO_x.

Radon Concentrations and **Action Levels**



La radioattività del radon si misura in Becquerel (Bq), dove un Becquerel corrisponde alla trasformazione di un nucleo atomico al secondo. La concentrazione nell'aria si esprime in Bq/m³.

Bq/m³. Becquerels per cubic meter

Action Level is the level at which remedial action (mitigation) is recommended to reduce radon levels

* **Canadian action level recommendations** developed by Health Canada

Information Provided by **Radontech Solutions Inc.**

<http://www.RadonTech.ca>

La **re-iniezione** sia dei liquidi separati (nei campi a liquido dominante) sia del vapore condensato è ormai una pratica consolidata che offre i seguenti vantaggi:

- annullamento dello impatto ambientale su fiumi e/o laghi
- mantenimento della pressione di serbatoio
- estrazione di calore addizionale dal serbatoio geotermico
- riduzione della subsidenza dovuta alla estrazione
- aumento della microsismicità e riduzione dello stress accumulato dalle rocce

Altri impatti ambientali

Uso del territorio: a Larderello 10,000 m² per una centrale da 20 MW_e.

Rumore

Lo scarico di fluidi dai pozzi determina un rumore di:

- 90-122 dB a scarico libero
- 75-90 dB attraverso i silenziatori

(decollo di un aereo: 125 dB a 60 m di distanza).

Rifiuti solidi

Un impianto geotermico da 50 MW_e, alimentato da un serbatoio a liquido dominante, può produrre 24 ton di silice al giorno. La silice può contenere metalli tossici.

Fenomeni di subsidenza a Wairakei (N.Z.) e Staufen (D). Terremoti per fratturazione idraulica: Basilea (CH). Attività sospesa a causa di oltre 10.000 eventi sismici sino a 3.4 M per l'iniezione di acqua.

1932



Reykjavik Using Fossil Fuels

2000



Reykjavik Using Geothermal