

Workshop Nazionale Progetto GEOELEC

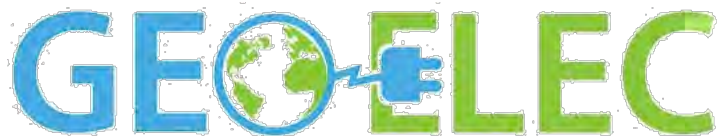
CNR, Roma - 6 novembre 2013

***Valutazione della risorsa in Europa e in Italia:
GEOELEC GIS, VIGOR e Atlante Geotermico***

Eugenio Trumpy



CNR-IGG



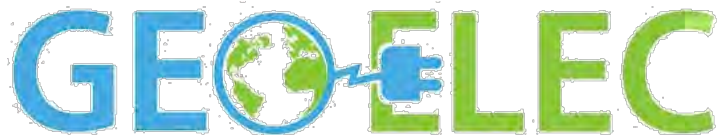
WP2 resource assessment

A Methodology for Resource assessment and application to core countries

Writing team:

Jan-Diederik van Wees, Thijs Boxem (TNO)
Phillipe Calcagno, Chrystel Dezayes (BRGM),
Christian Lacasse (Mannvitt),
Adele Manzella (CNR)

WEBGIS: J.D. Van Wees, T. Boxem, J. Limberger, M. Pluymaekers



The resource assessment: **3D** hexahedral grid resolution = horizontal **20 km** and vertical **250m**. Voxet areas covers the **EU-28** countries

Beardsmore et al., 2011.
philosophy used In IPCC and IEA
roadmap

Subvolume results are vertically summed, and subsequently divided over the area of the grid cell in km²

Practical potential

Realistic **Technical Potential** [MW]

Theoretical **Technical Potential** [MW]

UR1=12.5%

**Theoretical
Capacity** [PJ/km²]

(energy which theoretically be used for an application)

Economic potential

$$TP_{\text{volume}} = \frac{TC}{\text{lifetime}} UR1, \text{ if } LCOE < c$$

$$TP_{\text{playlevel}} = \frac{TC}{\text{lifetime}} UR1$$

$$TC = V * \rho_{\text{rock}} * C_{p\text{rock}} * (T_x - T_r) * \eta$$

Used here

Theoretical potential



parameter	Name	Unit
HIP	Heat in place	PJ/km ²
TC	Theoretical capacity	PJ/km ²
TPtheory	Theoretical Technical Potential (R=1)	MW/km ²
TPbm	Technical Potential according to Beardsmore et al., 2010 (R=0.01)	MW/km ²
TPreal	Technical Potential (R=0.125)	MW/km ²
TPlcoe_c	Economic Technical Potential (LCOE<c) C=50,100,150,200 €/MWh	MW/km ²
LCOE_c	Minimum Levelized Cost of Energy	€/MWh (electricity)
DEPTHLCOE_c	Minimum depth of LCOE_c	km

Levelized Cost Of Energy

Costo livellato dell'energia (LCOE) [€/MWe, €/JG]

Calcolato per l'energia elettrica, teleriscaldamento e usi diretti

Dipende da:

Costi perforazione (profondità, stimolazione, pompe, ...)

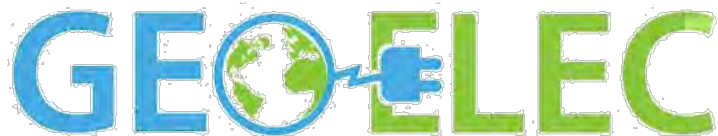
Ciclo di vita economico

Portata & temperatura

Impianto di produzione di superficie (O&M, investimento impianto, ...)

Costo di **vendita** energia/calore

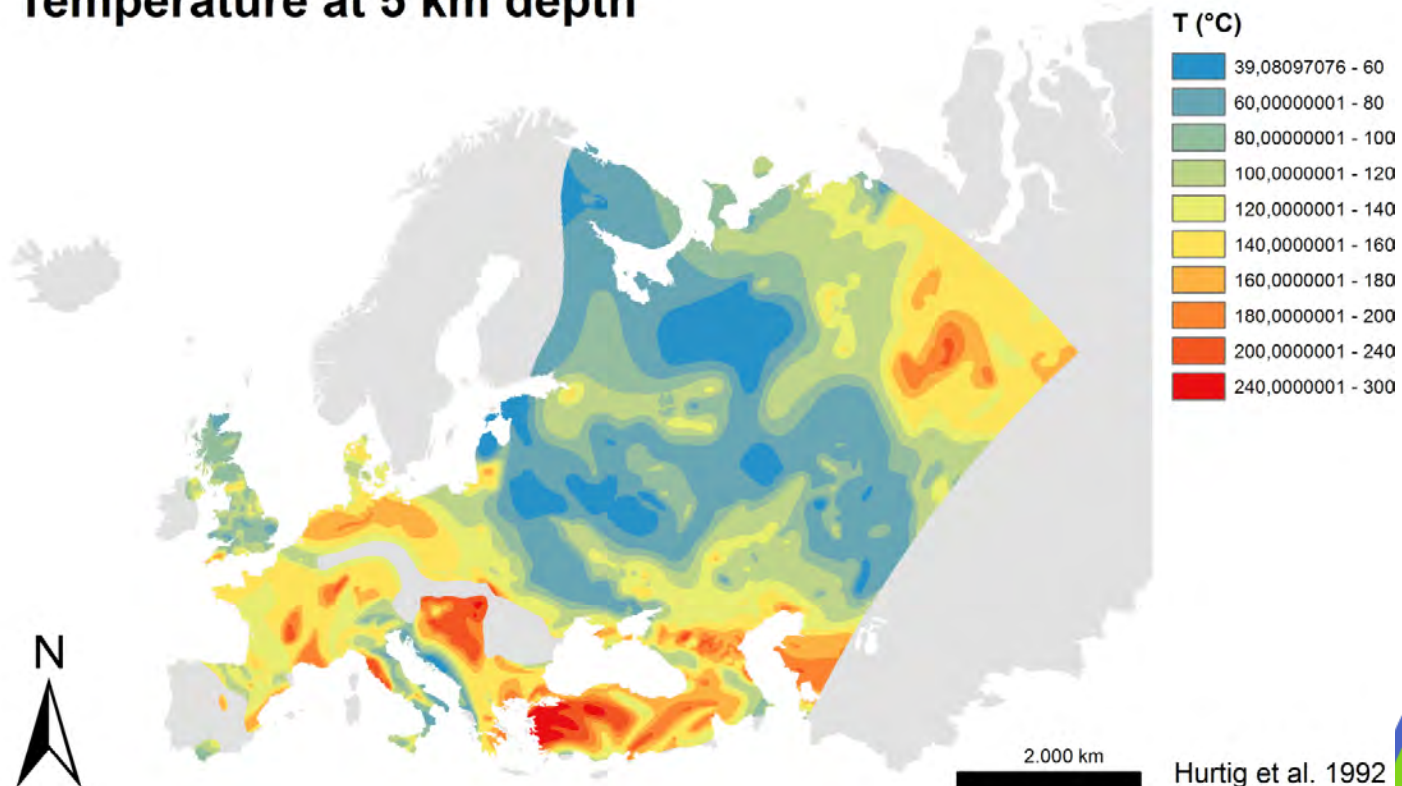
Fattori **Economici** (inflazione, tasso d'interesse sul debito, tasse)



Do we have access to key information?

Temperature compilations date from over 20 years ago,
only exists in a paper report

Temperature at 5 km depth



Data acquisition sheets

Geoelec



- ~40 countries invited to/ participated on the workshops

21 countries
data acquisition

Submitted

Not yet submitted

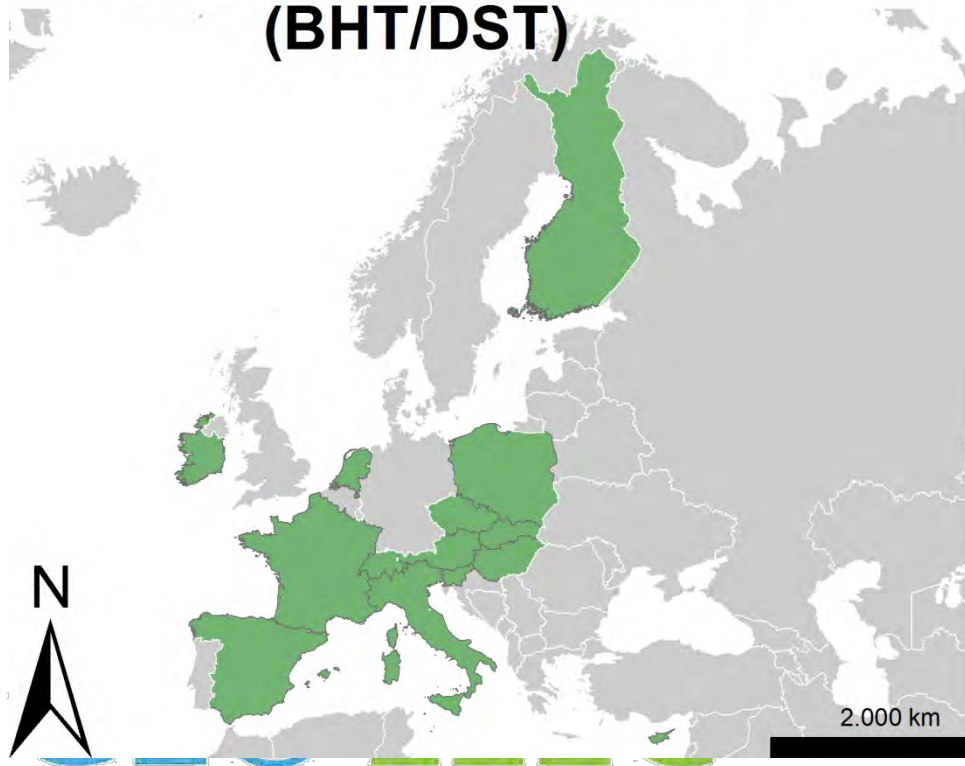
2.000 km

- Submitted
- Not yet submitted

Can stakeholders access key information?

Legislation to access key information differs. In many countries temperature measurements are not public

Temperature Measurements (BHT/DST)



- 14 countries have indicated that temperature measurements are publically available at no cost

- Access is hampered by lack of digital data repositories in most countries

Data acquisition sheets

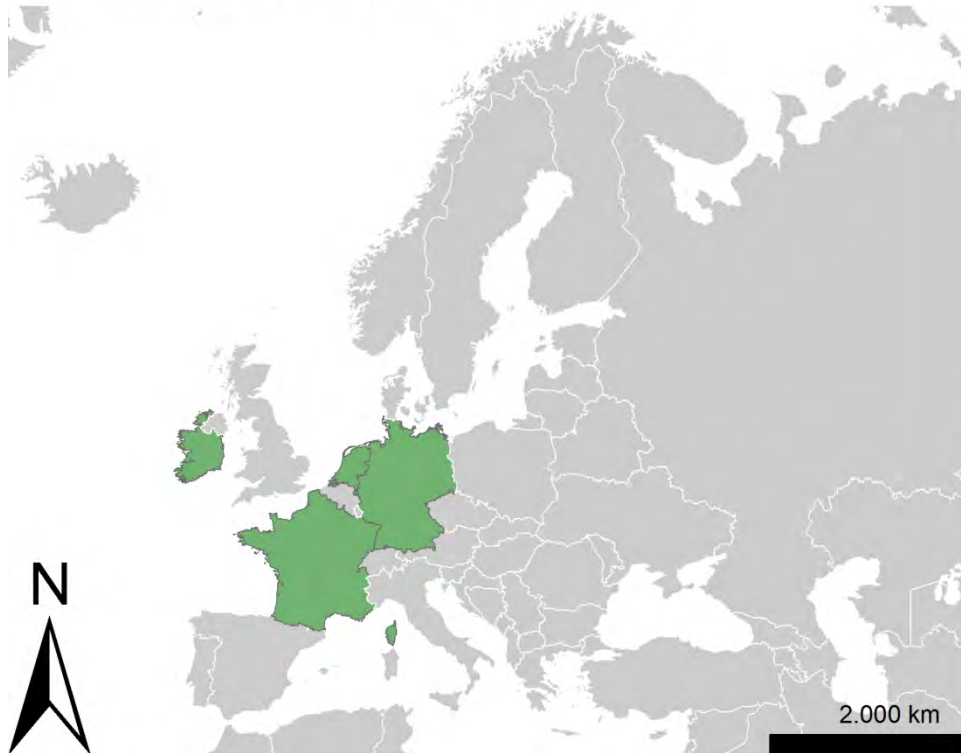
Temperature maps at depth



- 17 countries have (partial) maps of the temperature at depth
- Different data formats:
 - Paper
 - Webviewer
 - Digital (shapefile/grid)

Data acquisition sheets

3D temperature models



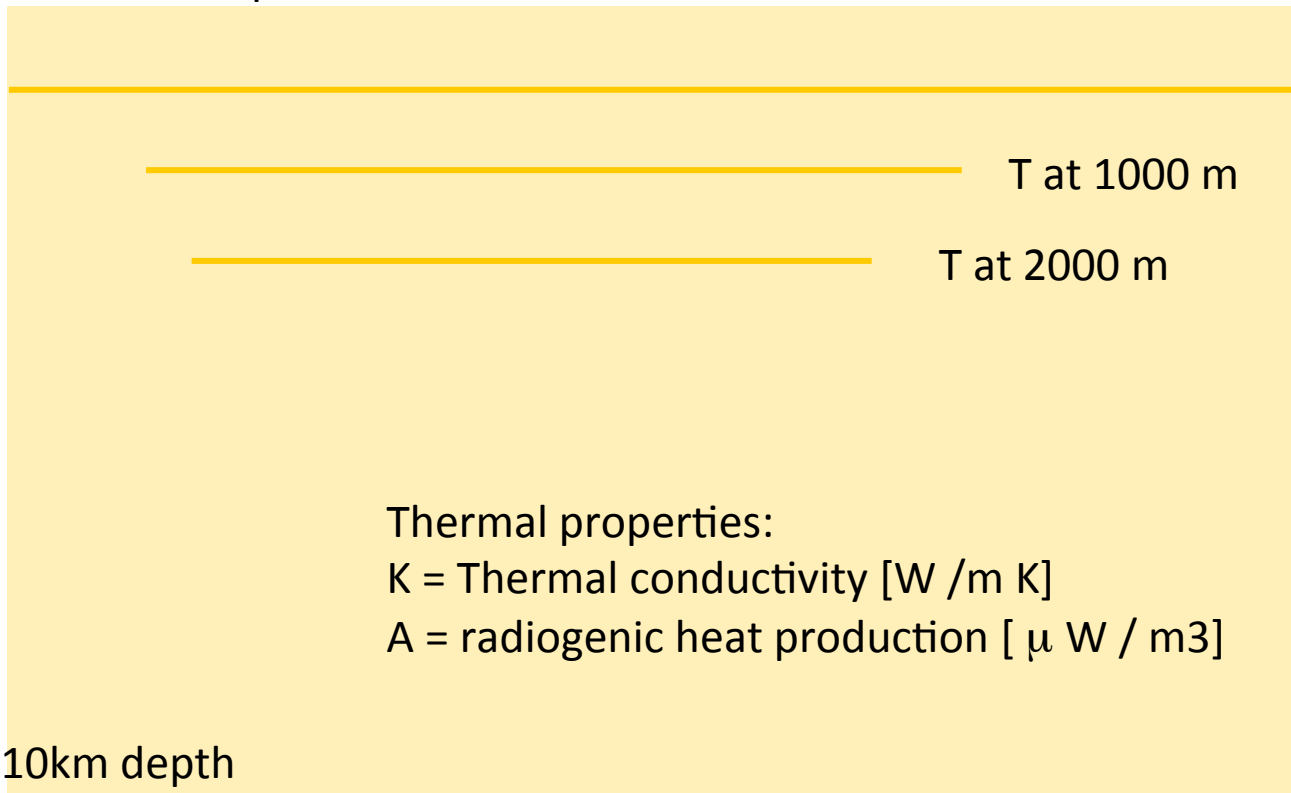
- Only four countries provide 3D temperature models

Findings

- There are a lot of geothermal data available, however:
 - Fragmented
 - Different format
 - Different correction methods used for BHT
 - Different methodology construction of maps
- Centralised and unified database recommended

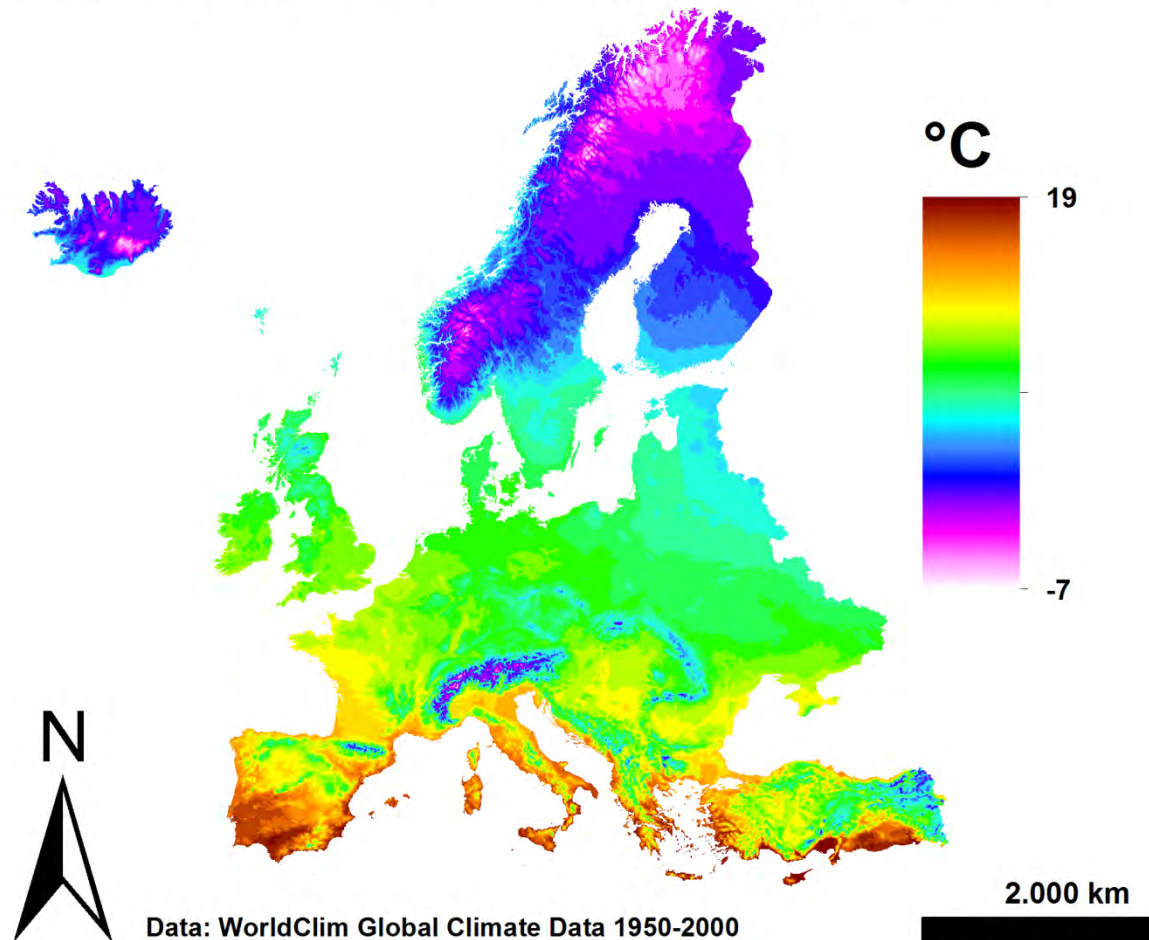
How to construct a temperature model?

Surface temperature

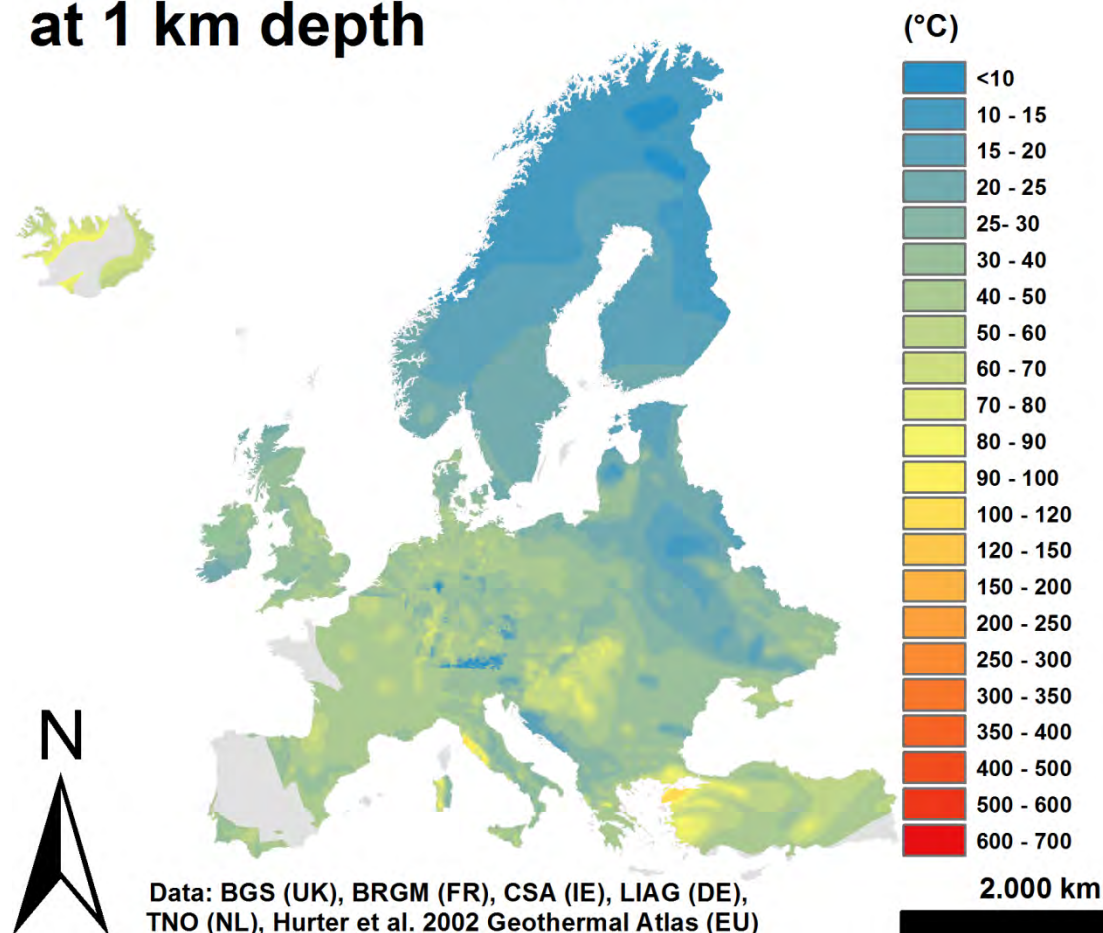


Boundary conditions

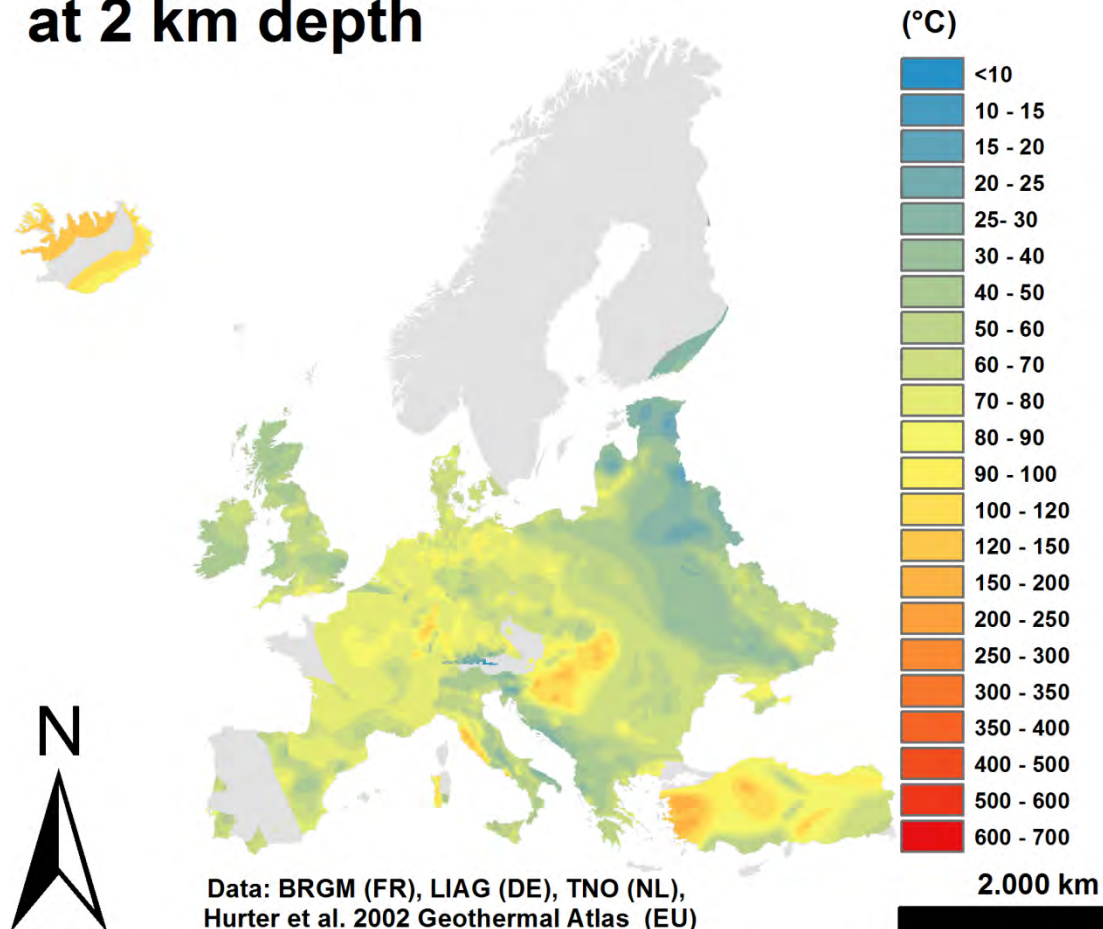
Mean Annual Surface Temperature



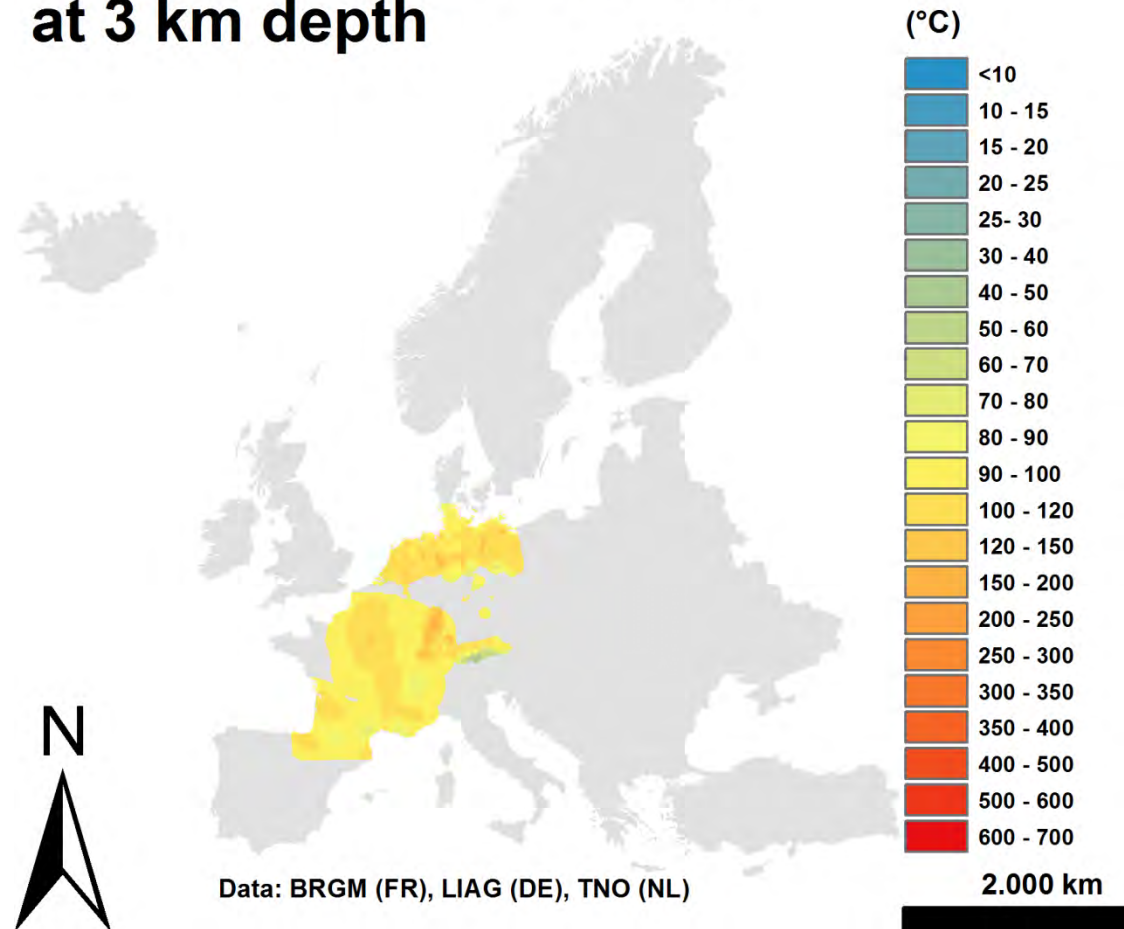
Temperature Constraints at 1 km depth



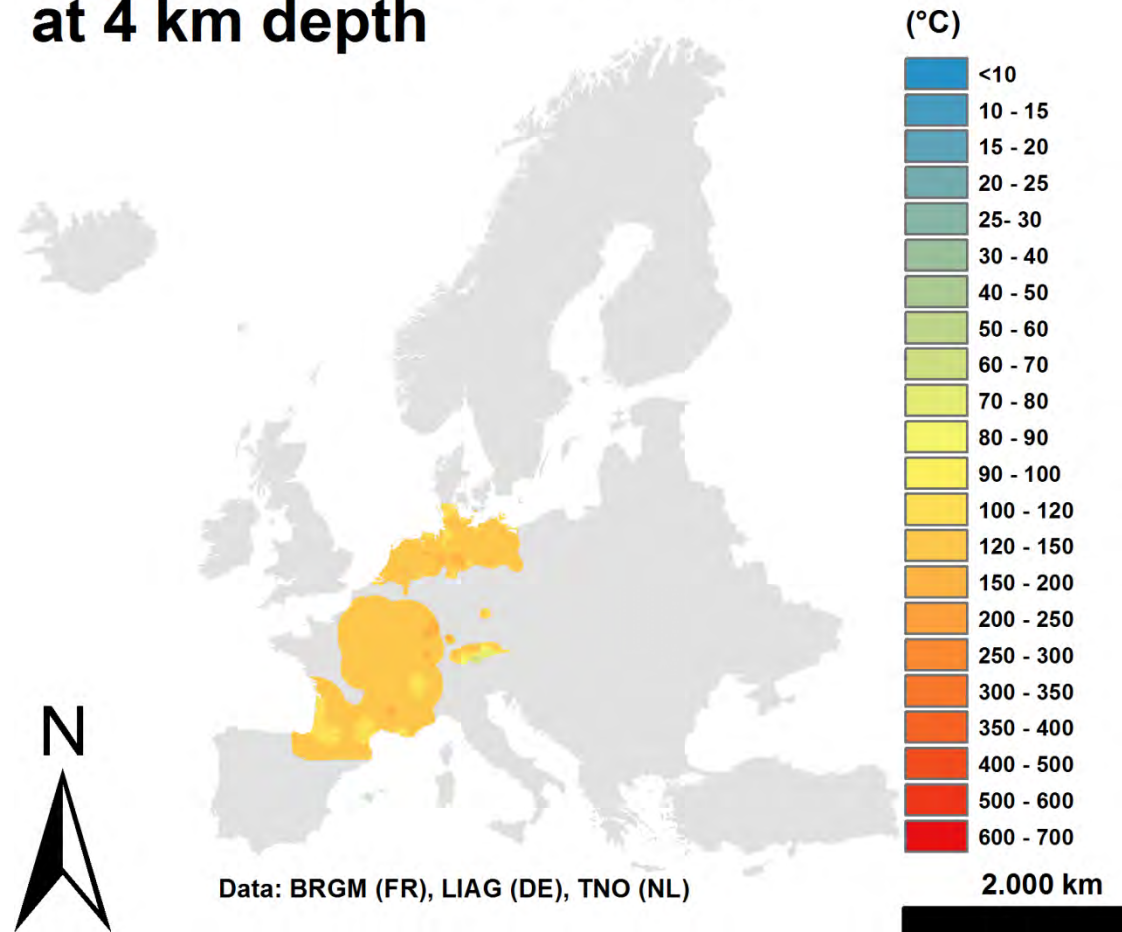
Temperature Constraints at 2 km depth



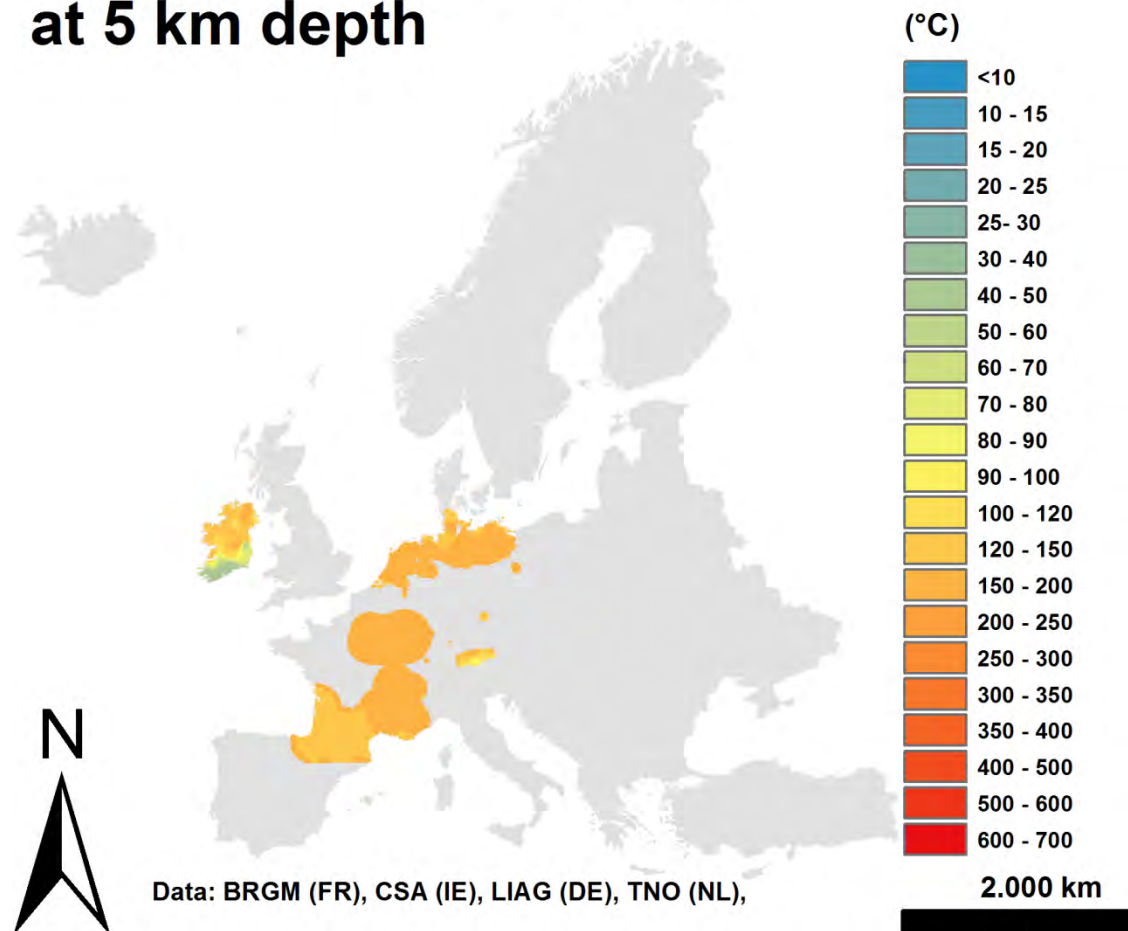
Temperature Constraints at 3 km depth



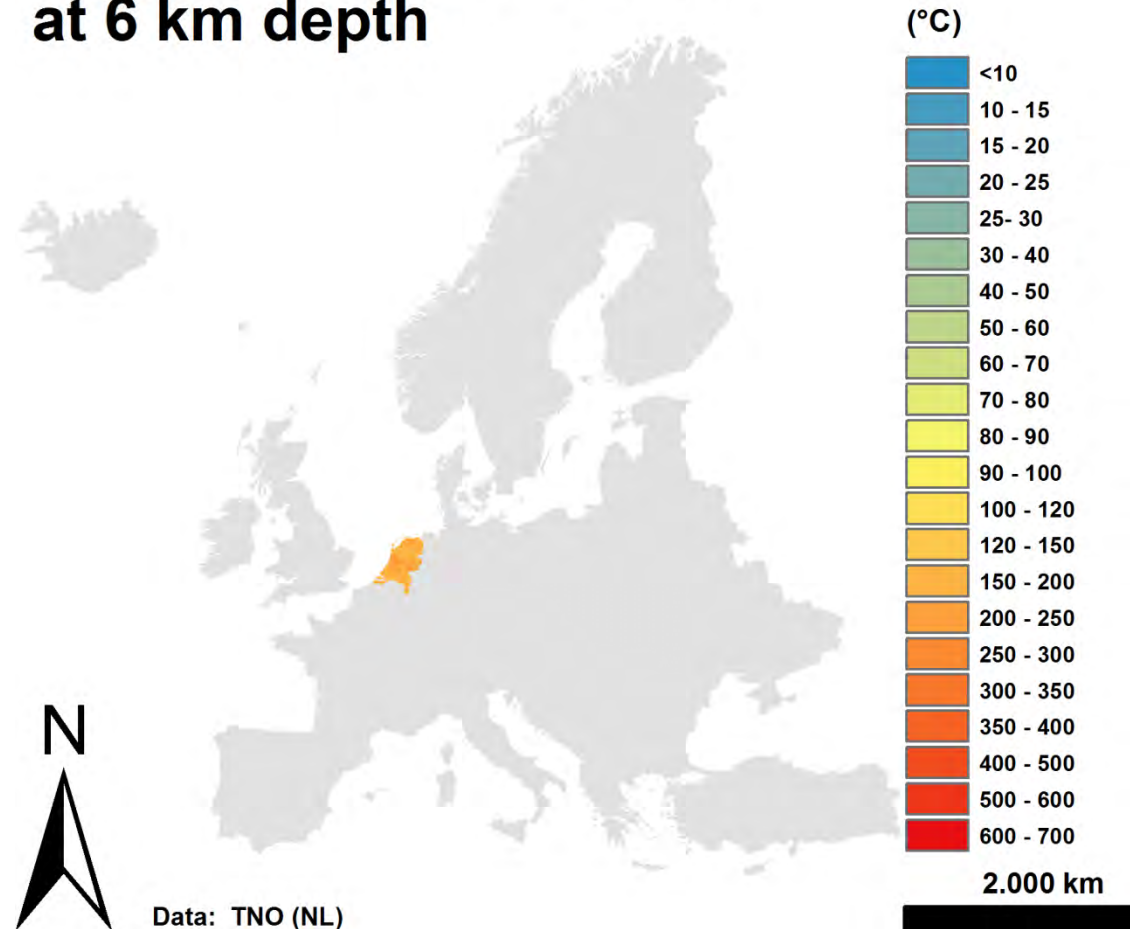
Temperature Constraints at 4 km depth



Temperature Constraints at 5 km depth

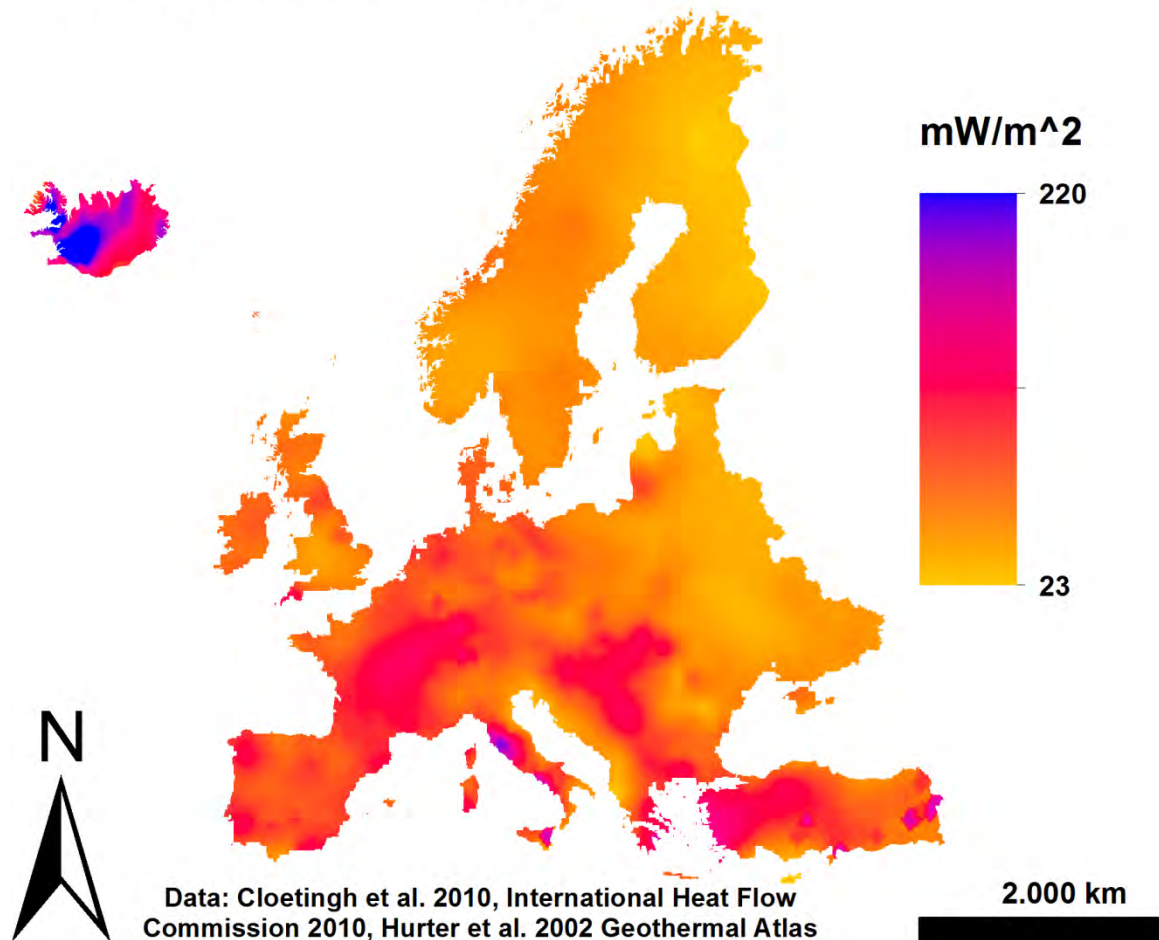


Temperature Constraints at 6 km depth



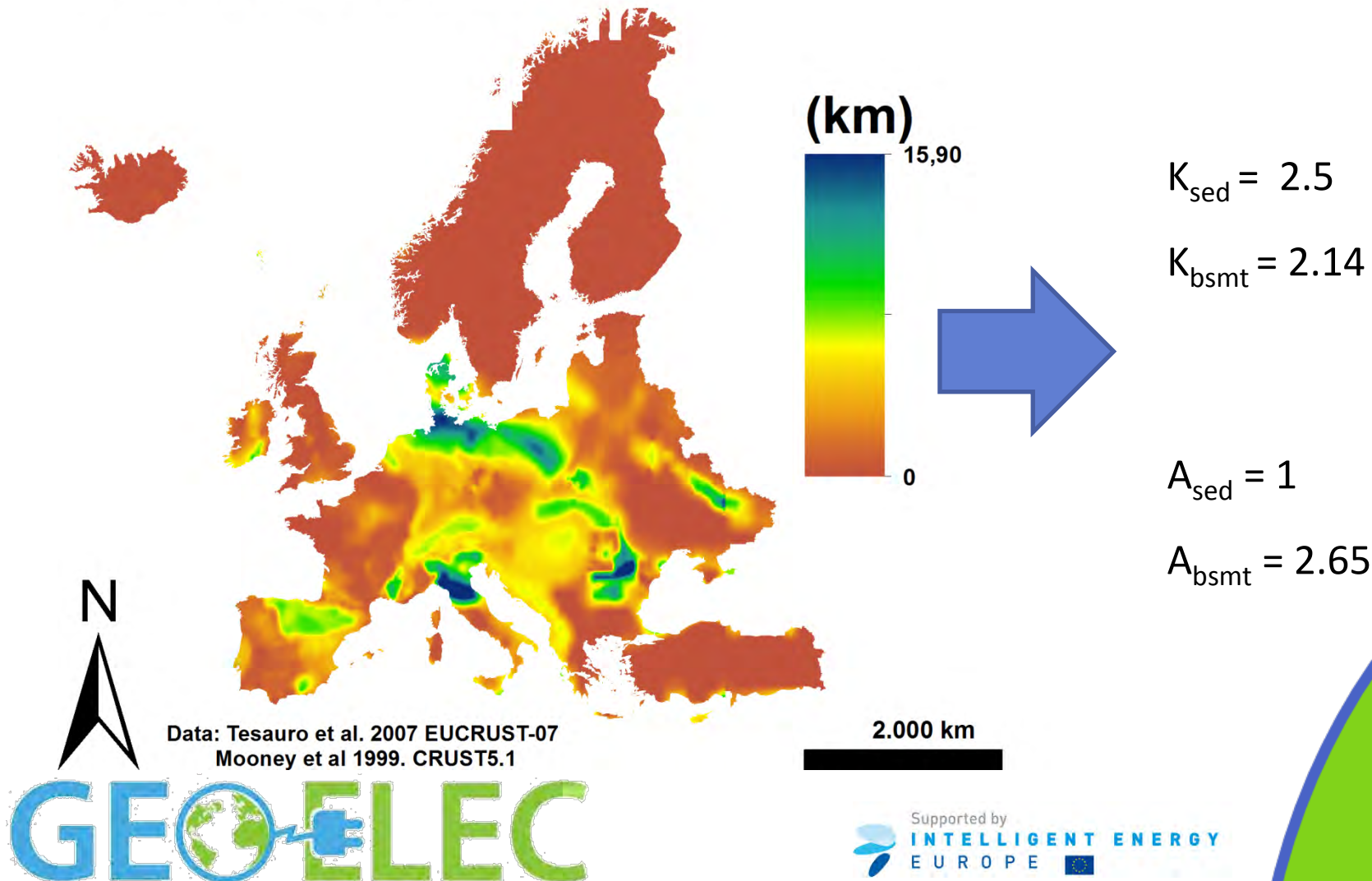
Boundary condition at Base -->

Surface Heat Flow



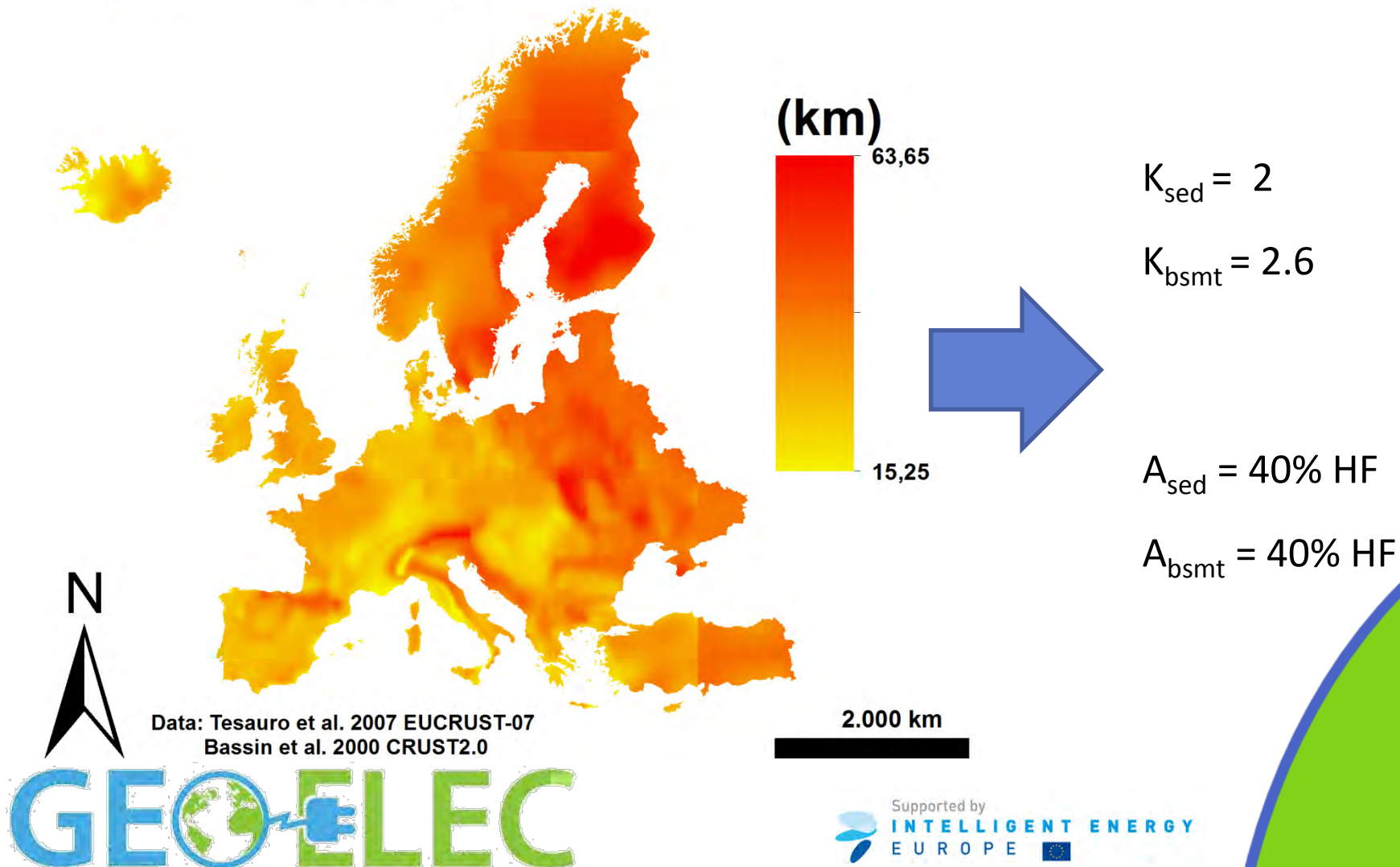
Populating model with thermal properties (cf. beardsmore, 2011)

Sediment Thickness

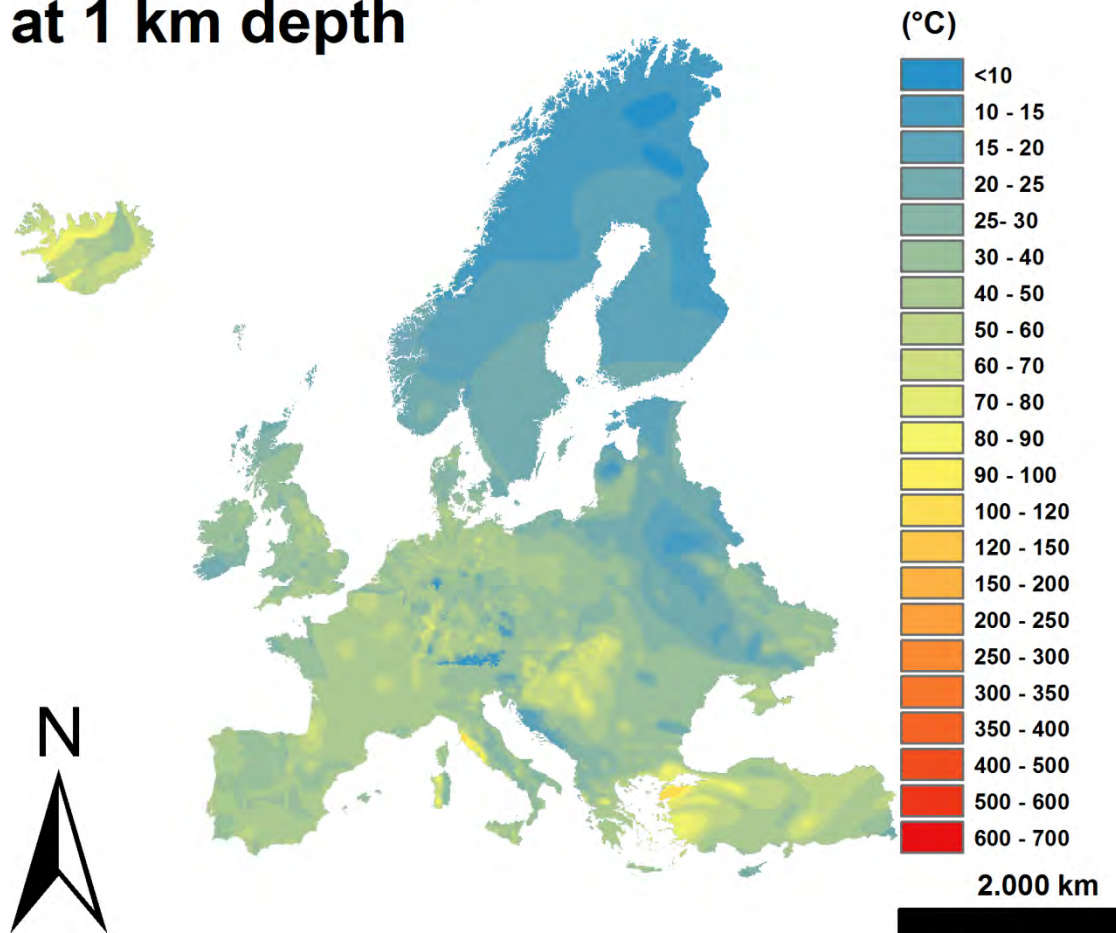


Populating model with thermal properties (cf. Cloetingh et al., 2012)

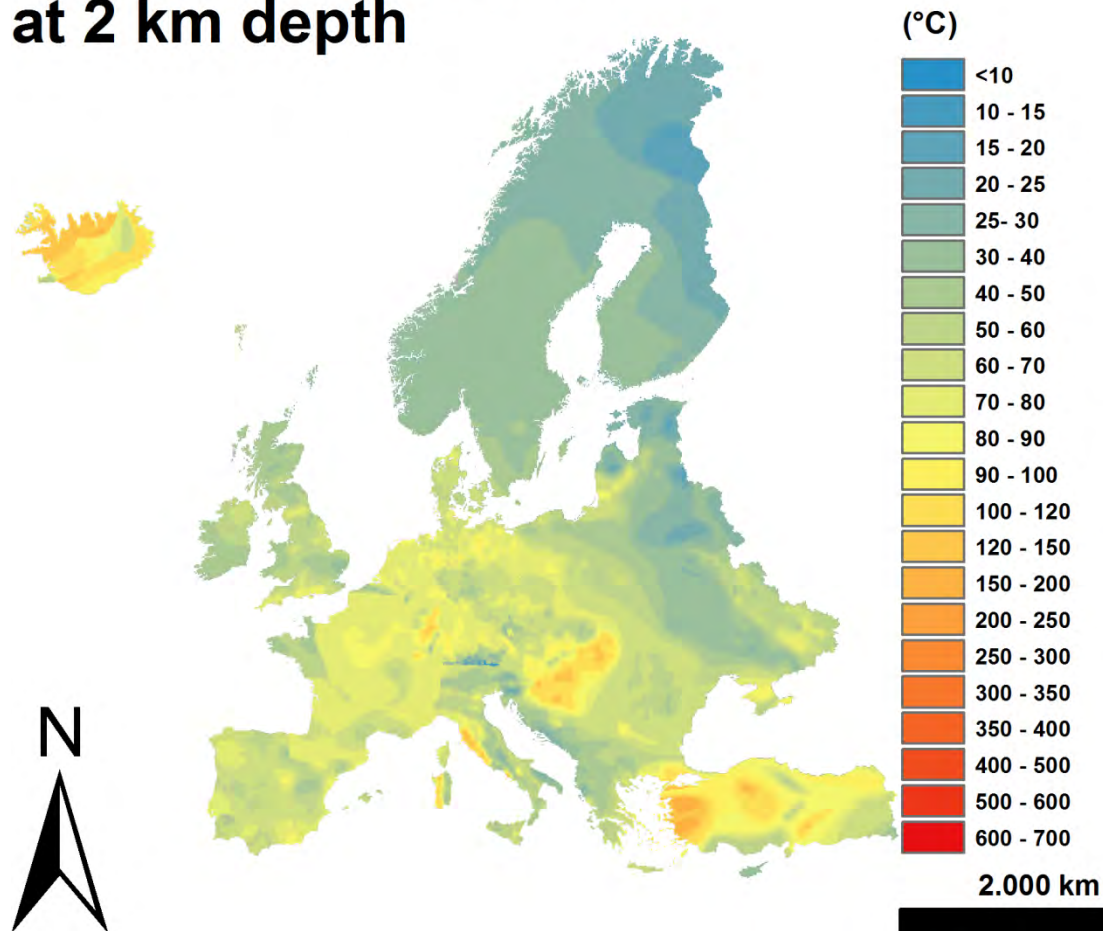
Depth of the Moho



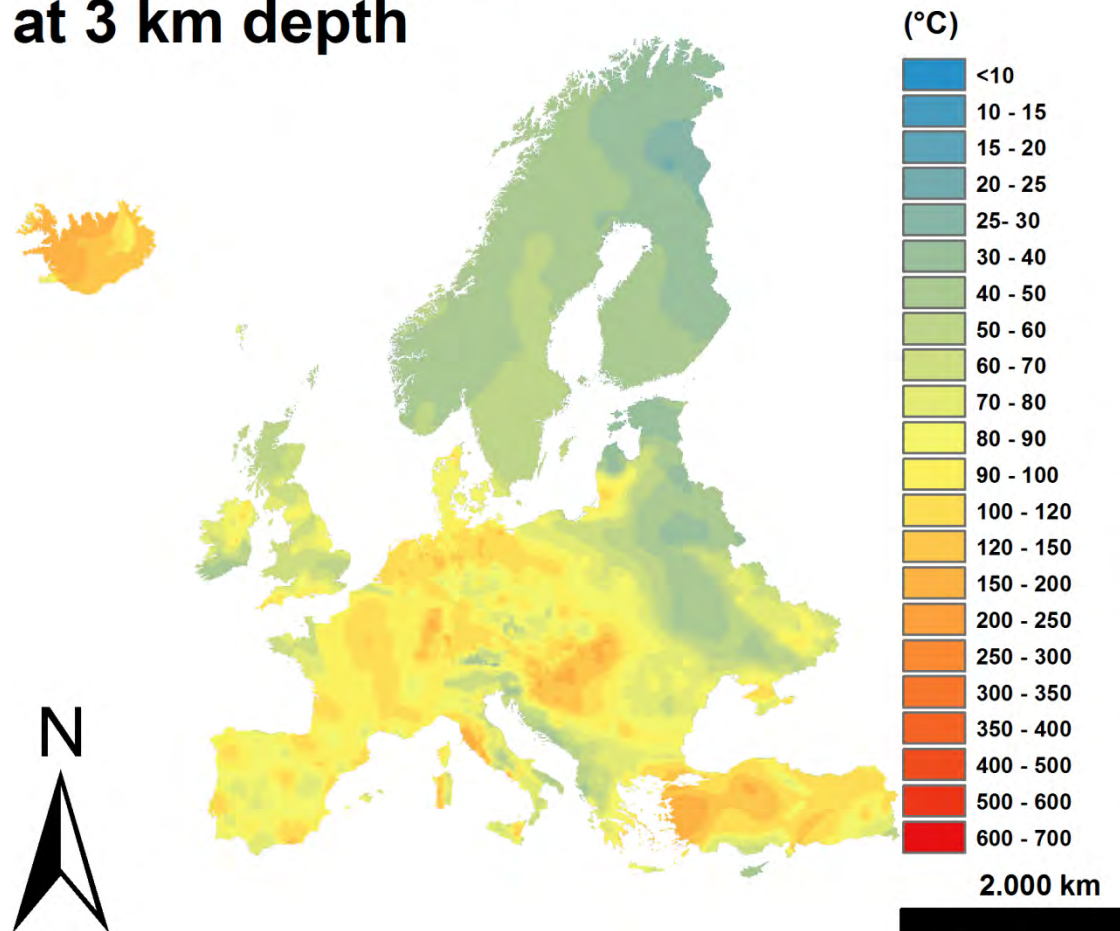
Modeled Temperature at 1 km depth



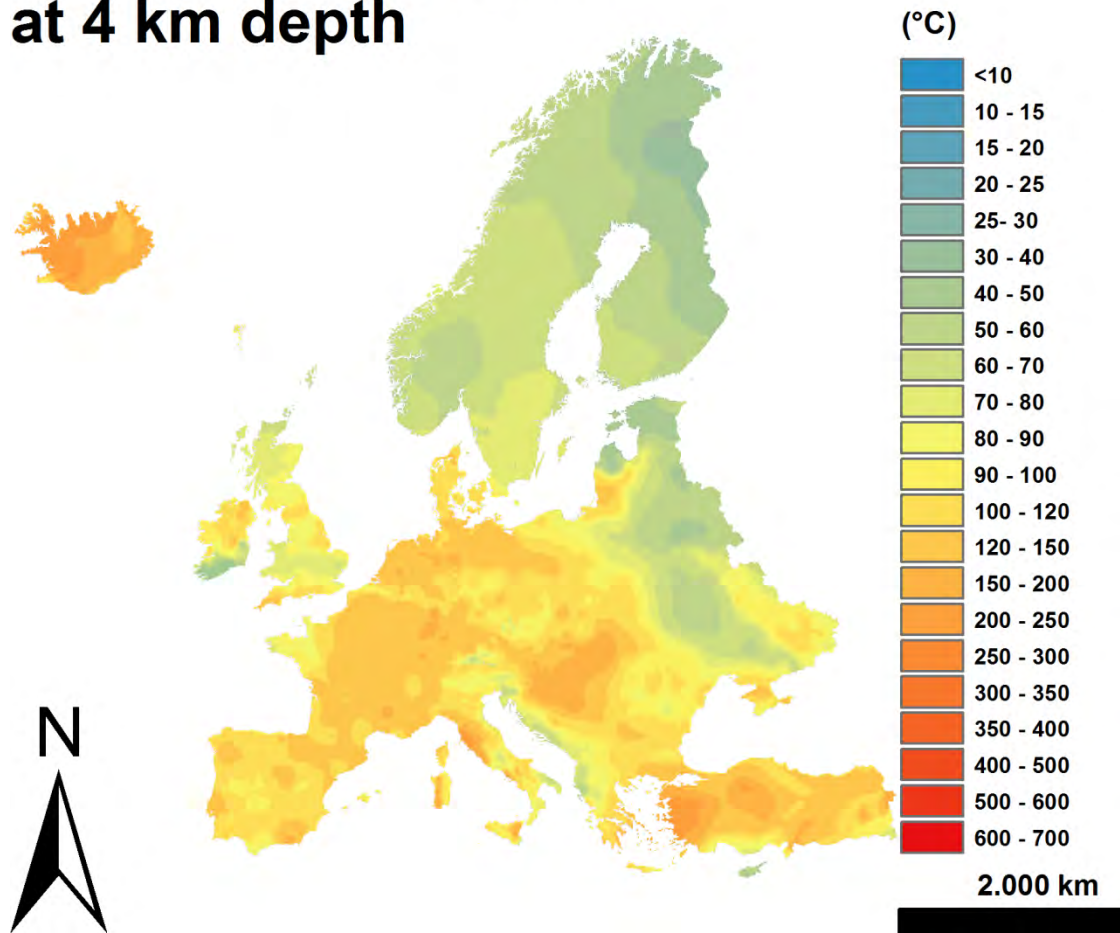
Modeled Temperature at 2 km depth



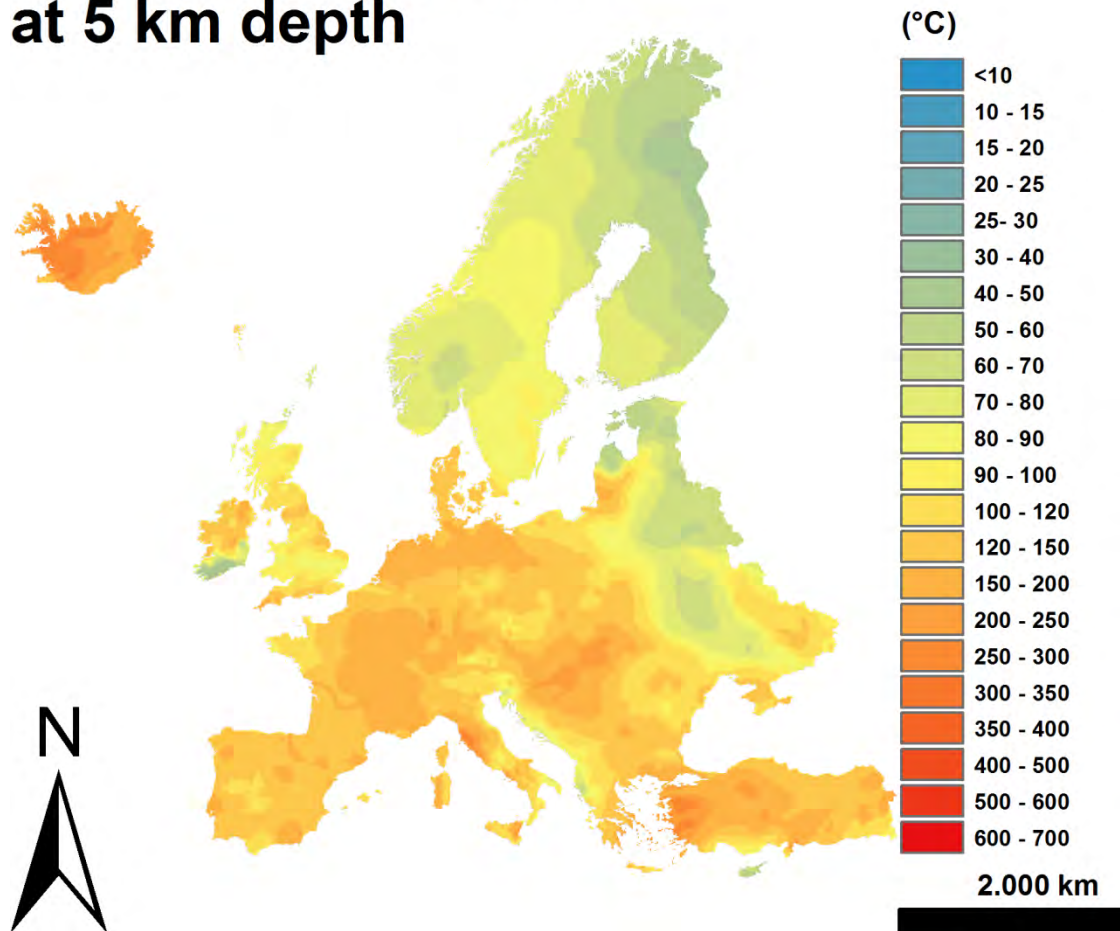
Modeled Temperature at 3 km depth



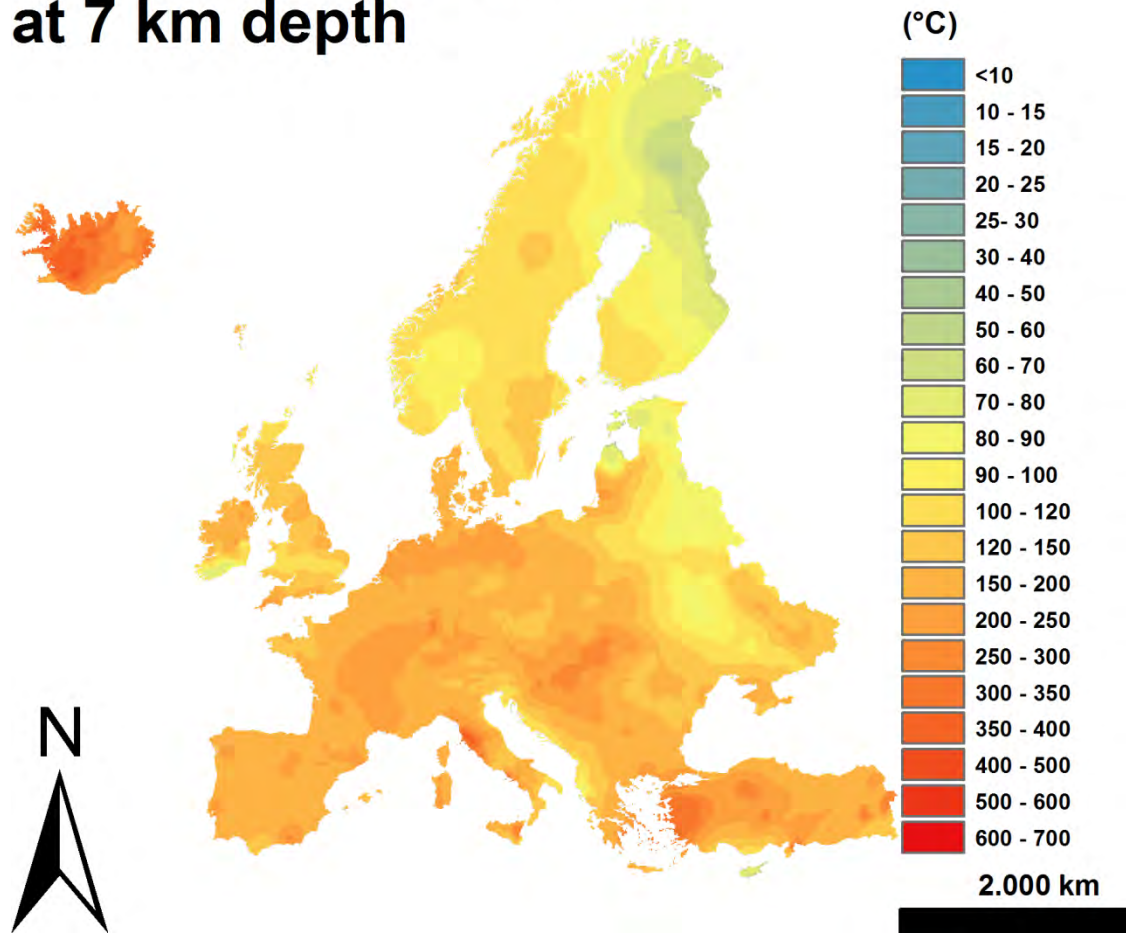
Modeled Temperature at 4 km depth



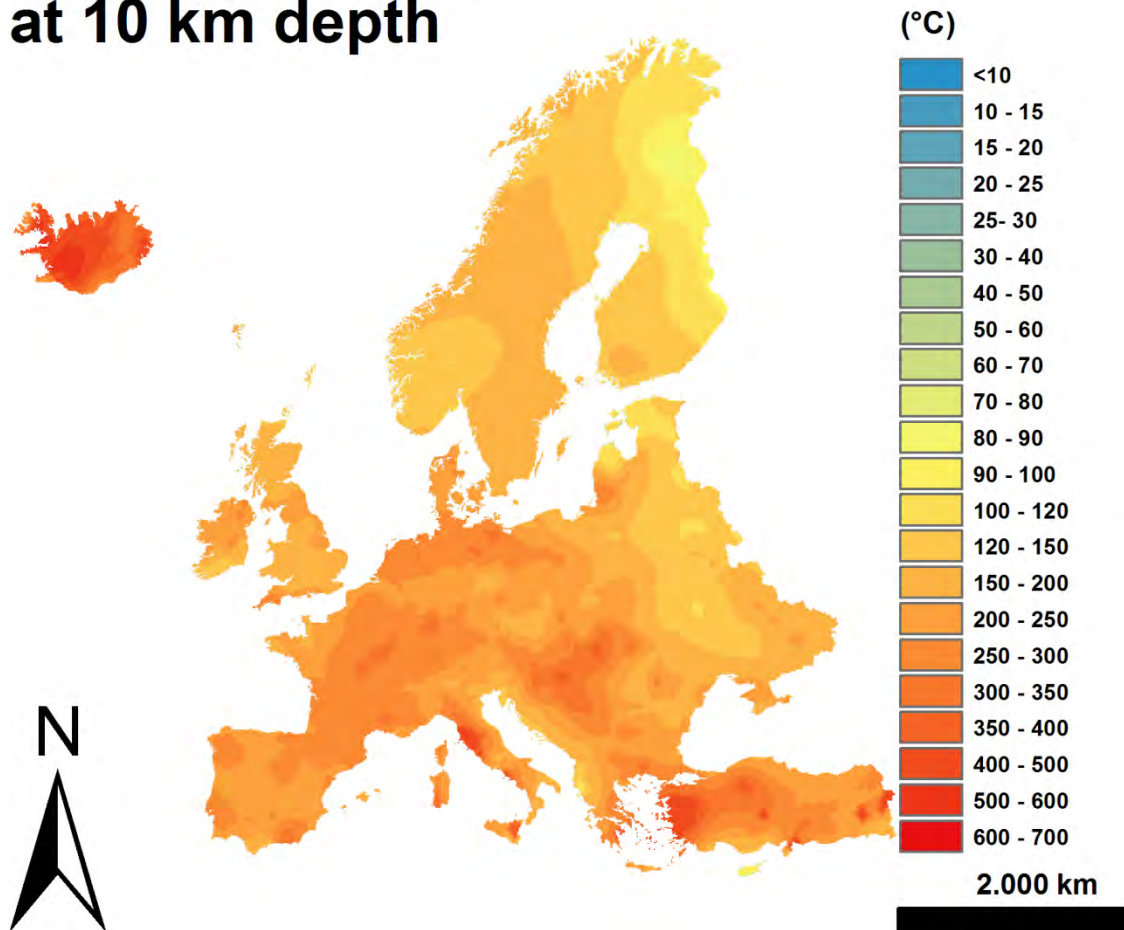
Modeled Temperature at 5 km depth



Modeled Temperature at 7 km depth

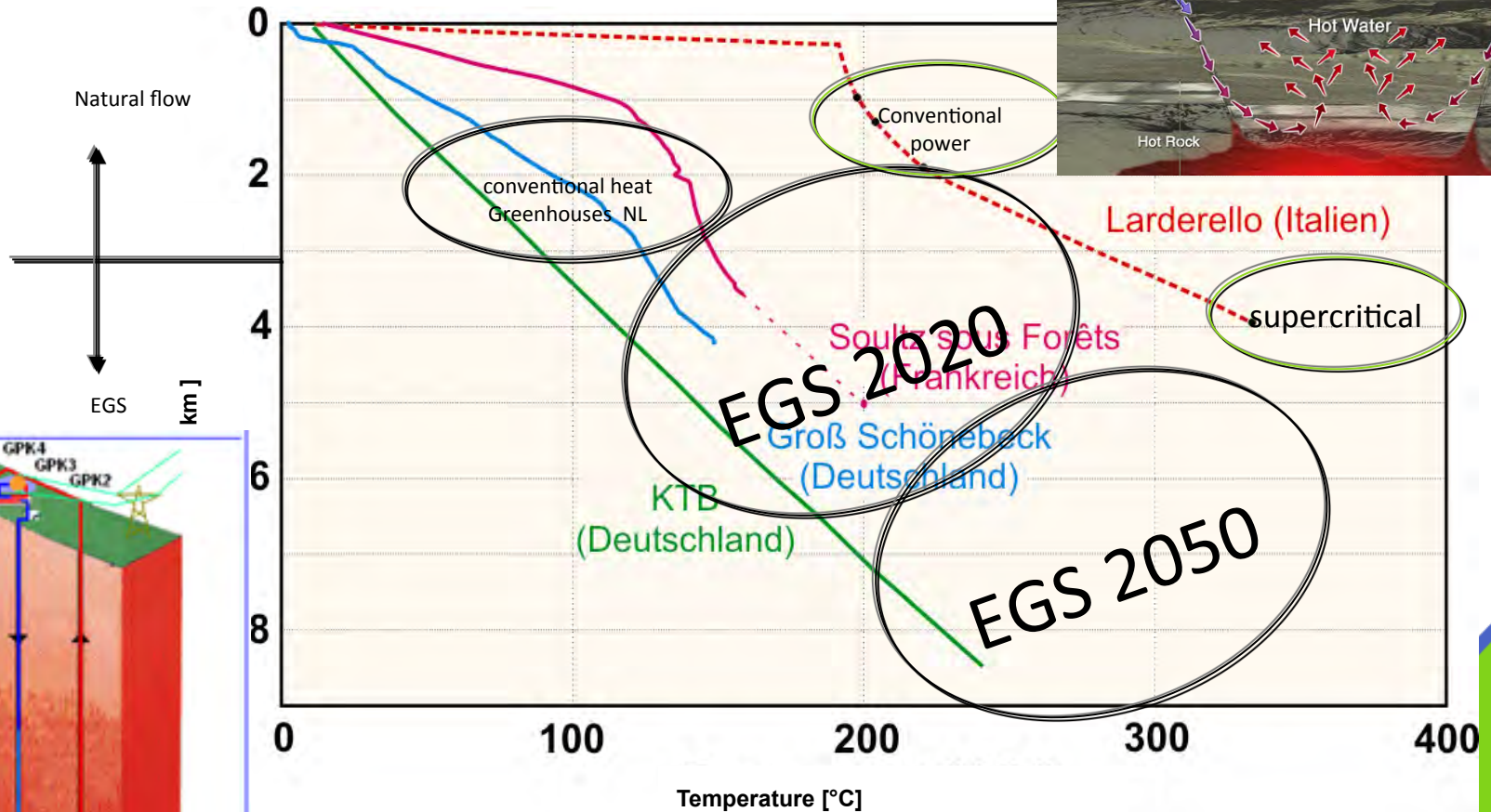
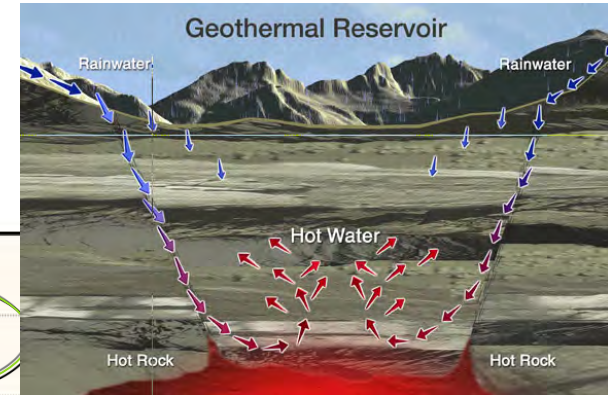


Modeled Temperature at 10 km depth



Geothermal energy:

Conventional:
2% worldwide electricity 2050
5% RE NL 2020



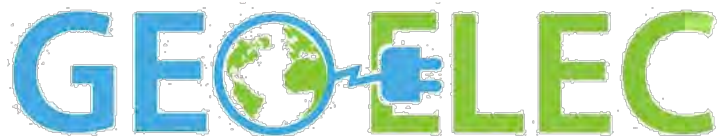
Enhanced geothermal systems (EGS):
2% worldwide electricity 2050

parameter	unit	2020	2050
Maximum depth	km	7	10
Flow rate	l/s	50	100
COP	-	30	1000
wellcostmodel	-	Wellcost Scaling 1.5 + exponential	Linear 1500€/m
Stimulation (fracking) costs	Mln €	20	10
Relative carnot efficiency	-	0.6	0.7
Tinc for Tr (Tr=Tsurface +Tinc)	C	80	50

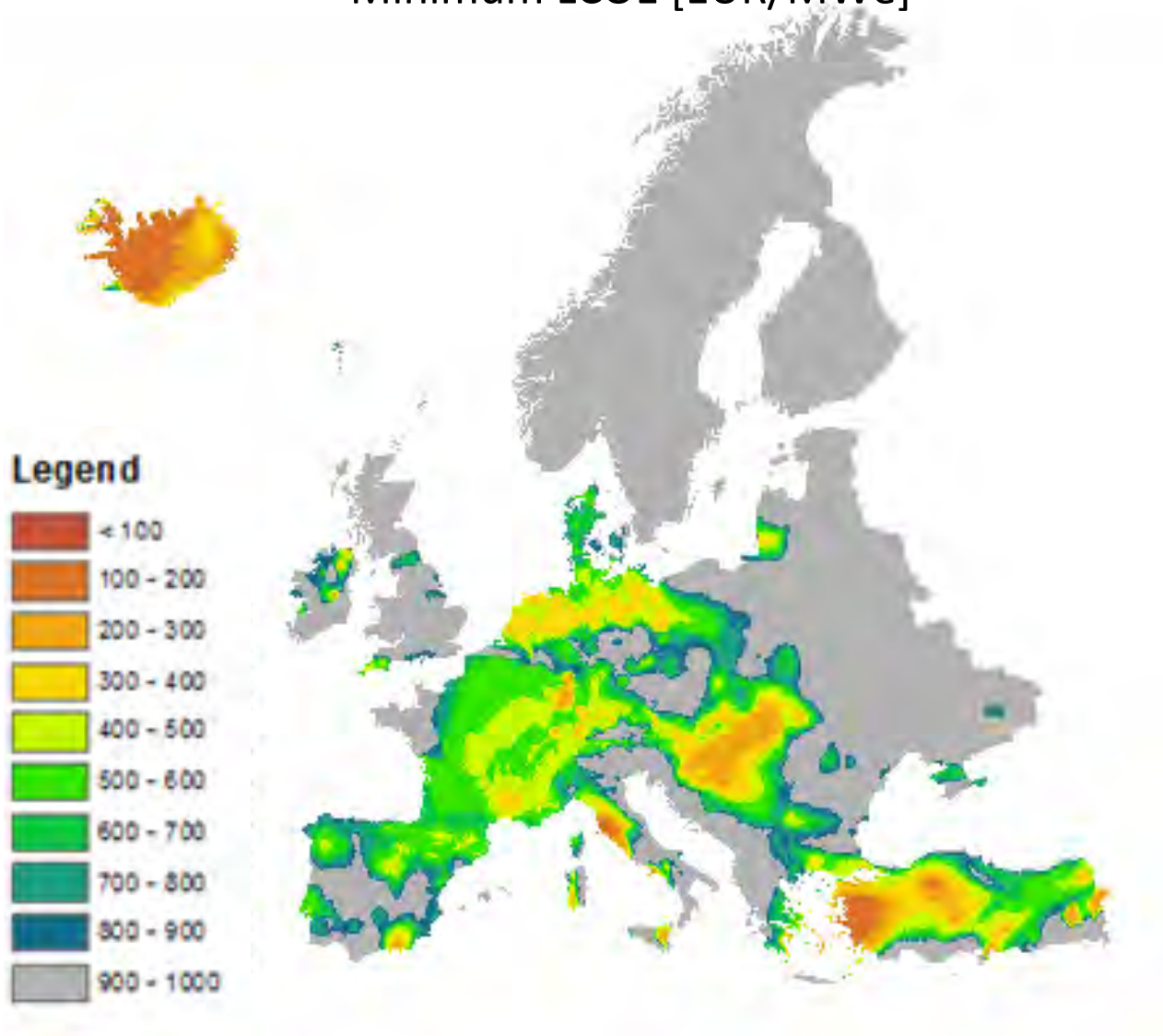
Table techno-economic assumptions for the 2020 and 2050 scenario's.

MAPS

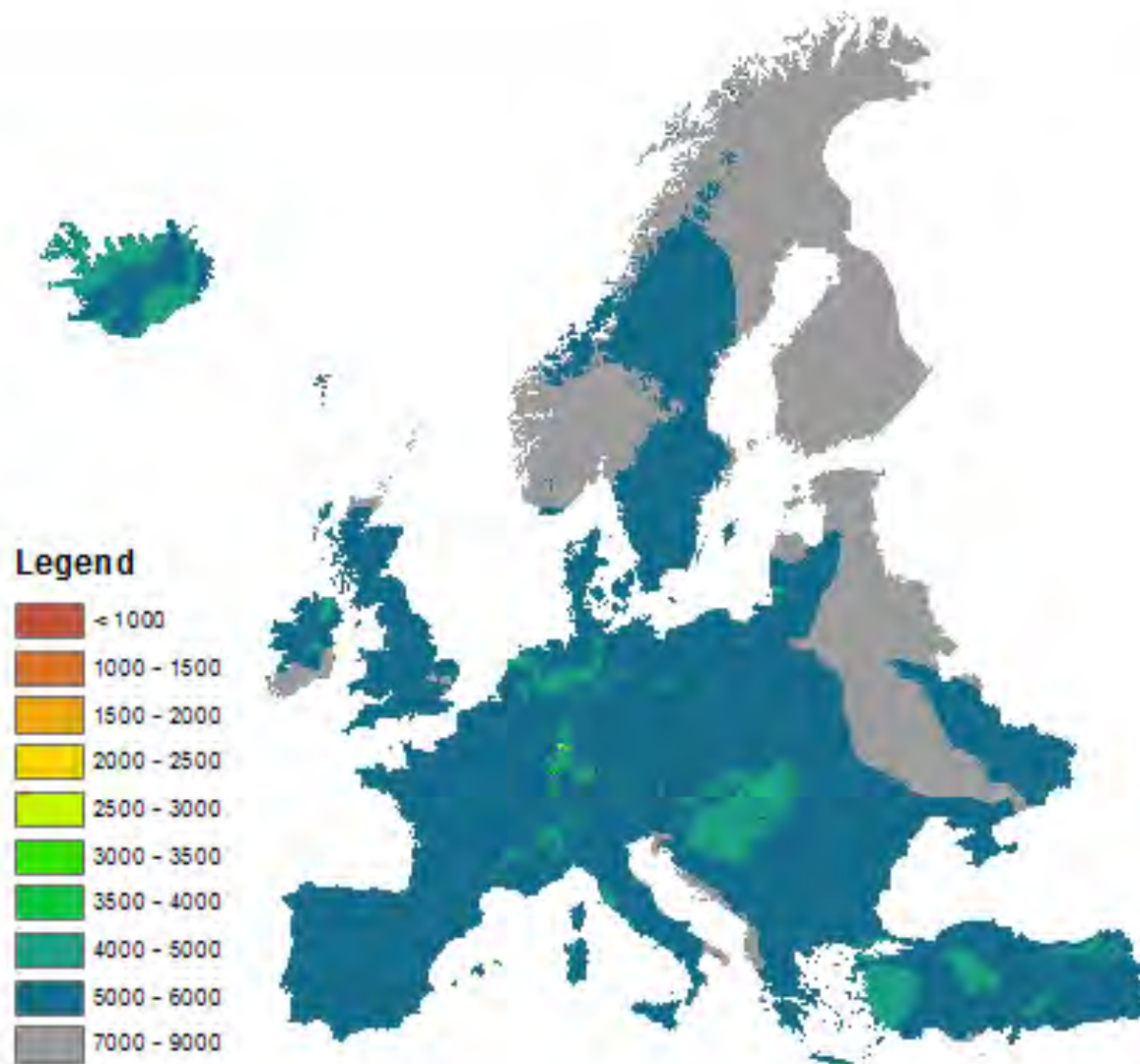
GEOELEC Scenarios:
2020, 2050



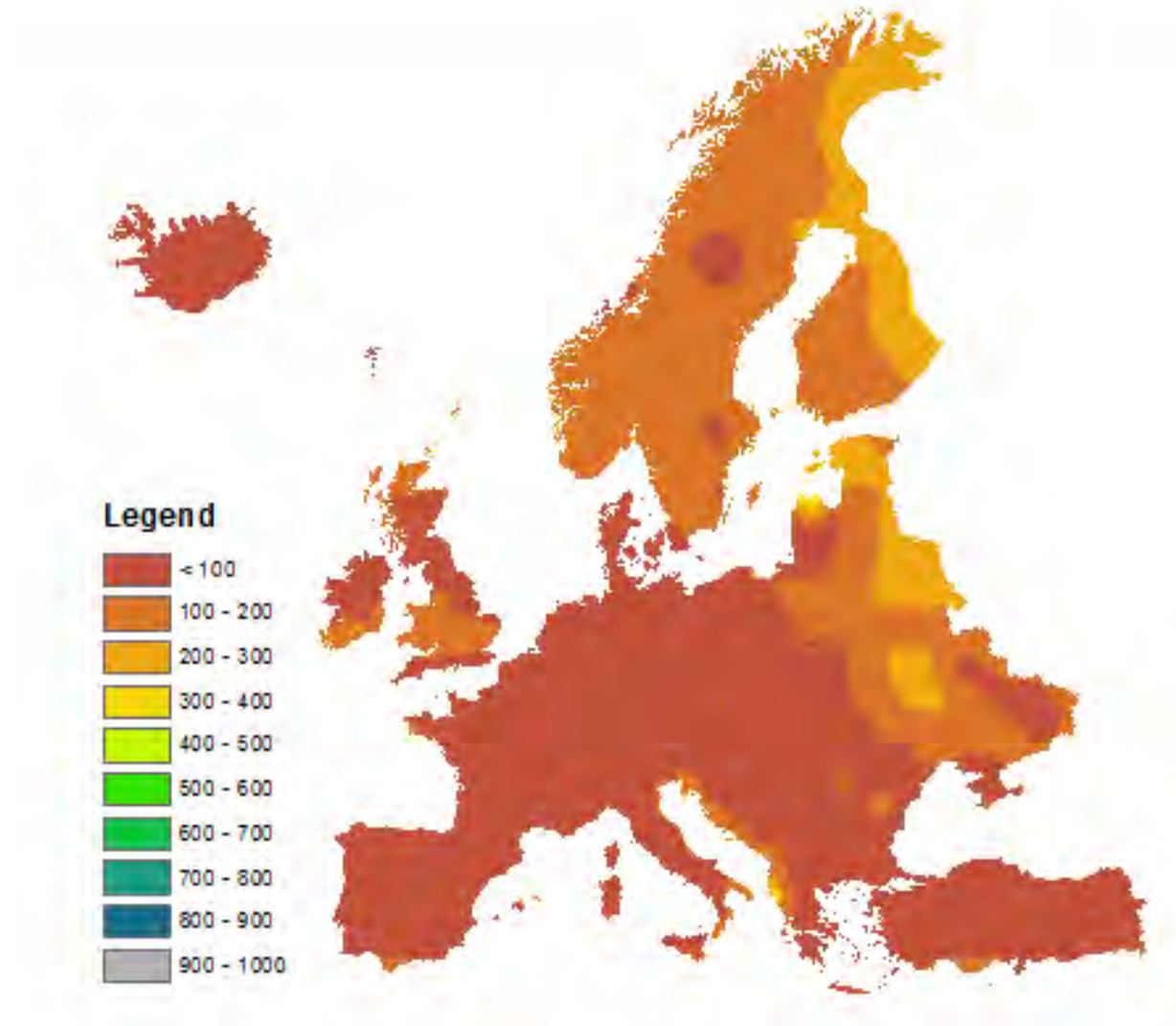
Minimum LCOE [EUR/MWe]



Drilling depth to reach min LCOE [m]



LCOE min [EUR/MWe]



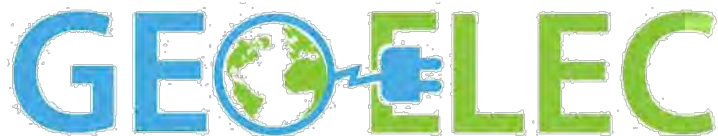
Valutazione del potenziale geotermico: un nuovo approccio e la sua applicazione nelle regioni dell'Italia meridionale – Progetto VIGOR

Eugenio Trumpy¹, Adele Manzella¹, Salvatore Monteleone², Angelo Minissale¹, Gianluca Gola¹, Raimondo Catalano², Marco Doveri¹, G. Bertini¹, Domenico Montanari¹, Serena Botteghi¹, Federica Caiozzi¹, Stefano Bellani¹, Jan Diederick van Wees³

¹ *Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Pisa – CNR*

² *DISTEM, Università di Palermo*

³ *TNO, Utrecht – the Netherlands*



Obiettivi della valutazione del potenziale regionale in VIGOR

- Valutare e quantificare il potenziale energetico profondo (> 1km) utilizzabile per diverse tecnologie
- Fornire uno strumento di conoscenza utile alle amministrazioni locali, progettisti, imprenditori, investitori, compagnie assicurative, per la pianificazione di impianti e l'individuazione delle opportunità e criticità in funzione delle peculiarità territoriali

L'inventario delle risorse geotermiche nazionali

Realizzato da CNR, ENEA, ENEL e ENI

Legge No 896 of **1986**.

Costituito da rapporti e mappe

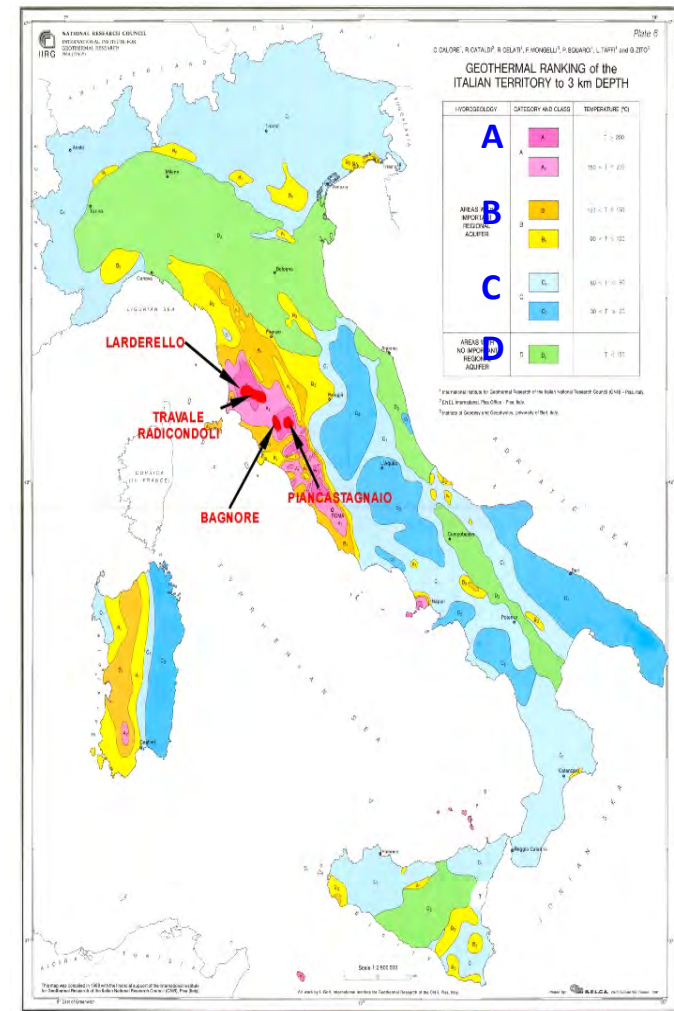
Il Ranking Geotermico del territorio italiano era basato sulla temperatura e sulla disponibilità del fluido

A: aree con almeno un acquifero a profondità < 3 km, e temperature $> 150^{\circ}\text{C}$

B: aree con almeno un acquifero a profondità < 3 km, e temperature che variano tra 150 e 90°C

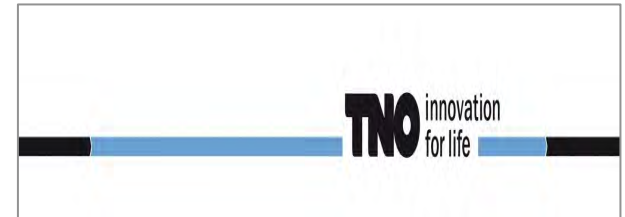
C: aree con almeno un acquifero a profondità < 3 km, e temperature che variano tra 90 e 30°C

D: aree con almeno un acquifero a profondità < 3 km, e temperature $< 150^{\circ}\text{C}$



VIGOR ThermoGIS

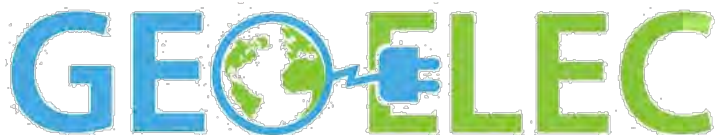
Protocollo sviluppato da **TNO** in collaborazione con i principali istituti di ricerca nell'ambito di progetti geotermici europei



Valutazione della risorsa del principale acquifero regionale per la produzione di energia elettrica, utilizzo del calore e cogenerazione

VIGOR ThermoGIS **non può** e **non vuole** sostituire l'approccio dell'esplorazione geologica

VIGOR ThermoGIS può essere utilizzato per individuare l'area su cui effettuare l'esplorazione geologica



VIGOR ThermoGIS

VIGOR ThermoGIS utilizza set di dati sia in **2D** sia in **3D**



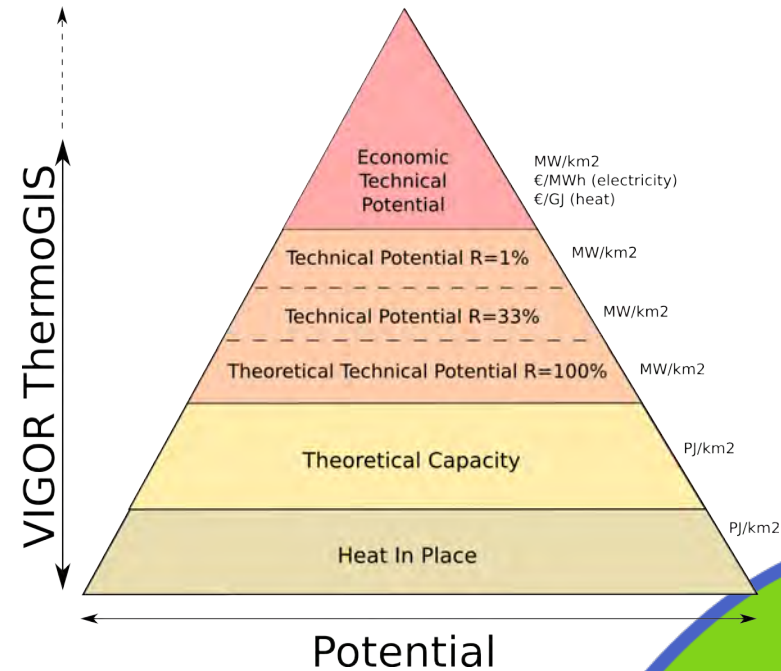
$$\begin{array}{|c|c|} \hline 4 & 2 \\ \hline 1 & 3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|} \hline 3 & 4 \\ \hline 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline 7 & 6 \\ \hline 2 & 4 \\ \hline \end{array}$$



- I dati in ingresso sono il **risultato** di un lavoro congiunto di team di specialisti: geologi, idro-geologi, geo-chimici, geofisici, ...
- Utilizza il metodo del **Volume**
- Include simulazioni **Montecarlo** per considerare gli effetti dell'incertezza dei parametri idraulici
- Mappe in output: mappe di **temperature** @ varie profondità, **potenziale tecnico** per la produzione di energia elettrica e per gli usi diretti del calore

VIGOR ThermoGIS

- ✓ Potenziale Tecnico Economico (**MW/km²**, potenziale con **LCOE** < soglia = 200 €/MWh per elettricità e 9€/GJ per calore)
- ✓ Potenziale geotermico per diversi fattori di recupero (**MW/km²**)
- ✓ Energia termica producibile per tipo tecnologia (H x efficienza, **PJ/km²**)
- ✓ Massima energia termica teoricamente estraibile per unità di volume di sottosuolo (in serbatoio, **PJ/km²**)



VIGOR ThermoGIS

La regione Sicilia e Puglia

Il sottosuolo è rappresentato da un voxel 3D

La risoluzione orizzontale è di 1000 m mentre la risoluzione verticale è di 100 m

□ Data input:

- Caratteristiche Geometriche del **reservoir** (top, base sotto il livello del mare)
- Modello di distribuzione della **Temperature** (voxel temperatura)
- **Permeabilità** del reservoir (mD)
- Temperatura media dell'aria (°C)
- Parametri:
 - Reservoir (es. capacità termica roccia, densità roccia, capacità termica acqua,..)
 - Doublet (e.g. distanza pozzi, ...)
 - Temperatura di produzione e di reiniezione applicazione
 - Economici (es. well cost scaling, O&M, fiscali,...)

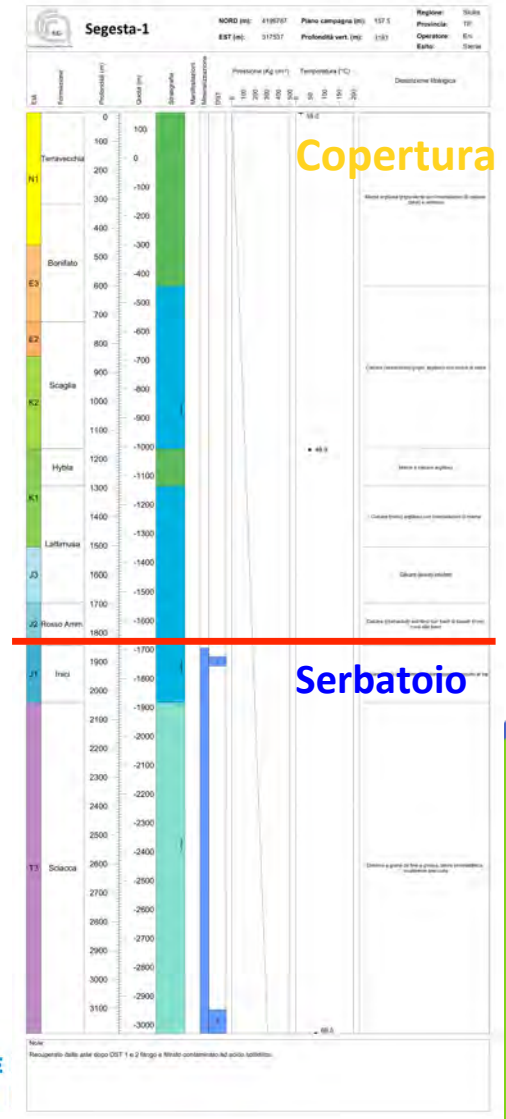
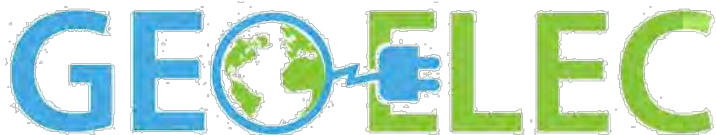
VIGOR ThermoGIS

La regione Sicilia

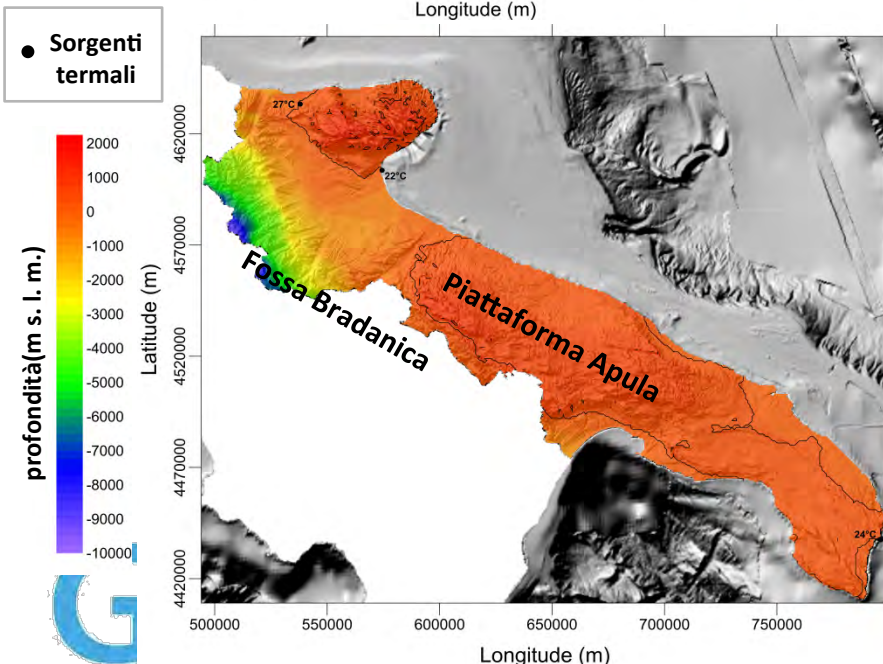
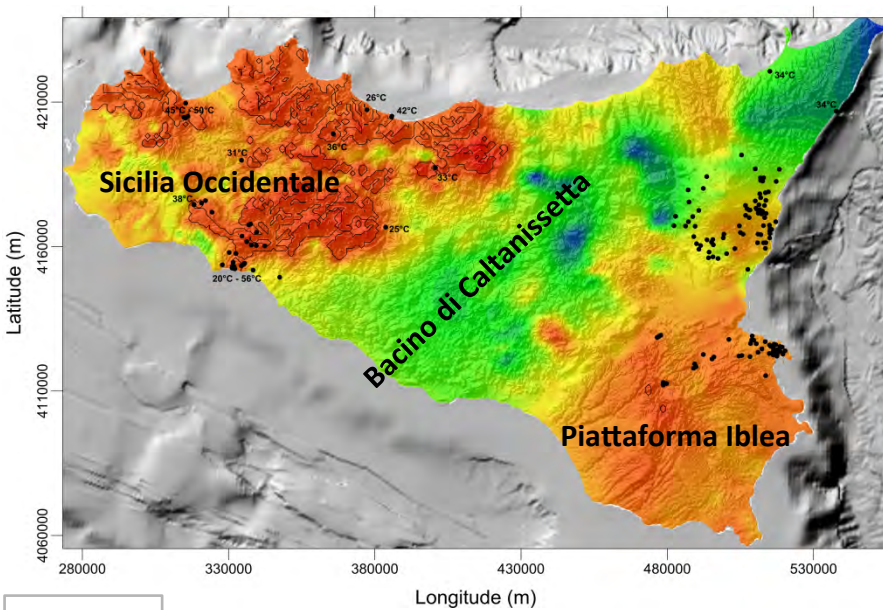
Geometria serbatoio

Data input:

- ✓ Carte Geologiche & Idro-geologiche
- ✓ Sezioni Geologiche & Idro-geologiche
- ✓ Sezioni Sismiche
- ✓ Lito-stratigrafie di pozzi per idrocarburi
- ✓ Dati e info dalla letteratura



Ricostruzione del Top del serbatoio geotermico

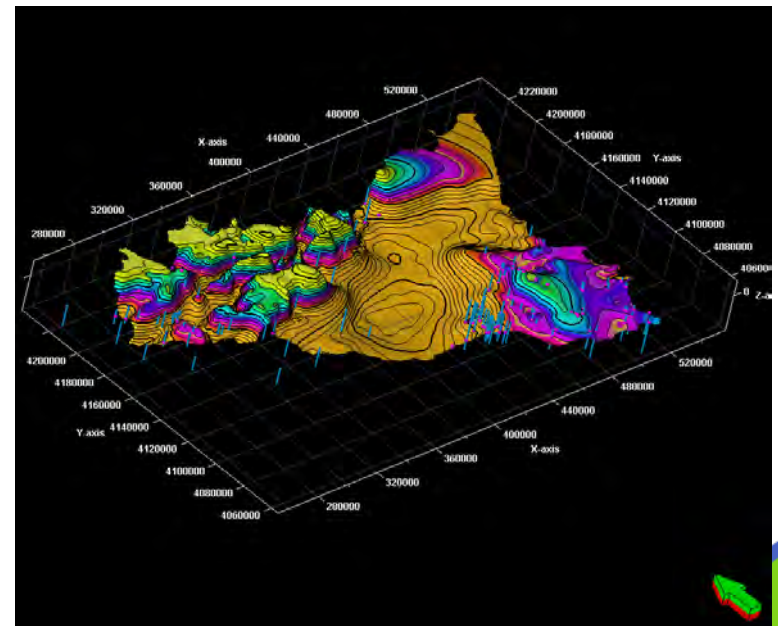
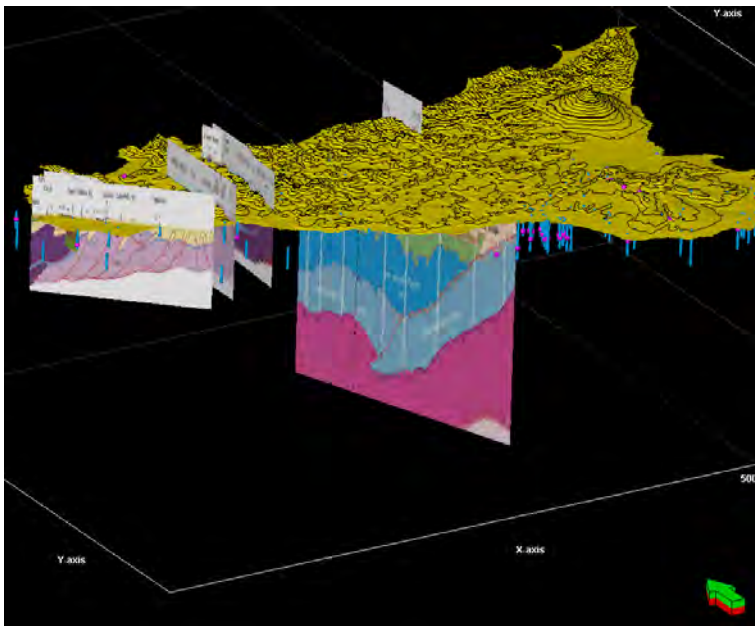


- Presentiamo qui i casi della regione Sicilia e Puglia
- La valutazione è focalizzata sulle risorse geotermiche profonde (sistemi idrotermali) fino ad una **profondità di 5 km**
- Il acquifero regionale principale si trova nelle unità carbonatiche Mesozoiche
- I dati di pozzo e le sezioni sismiche interpretate permettono di definire a scala regionale il top del serbatoio carbonatico

VIGOR ThermoGIS

La regione Sicilia

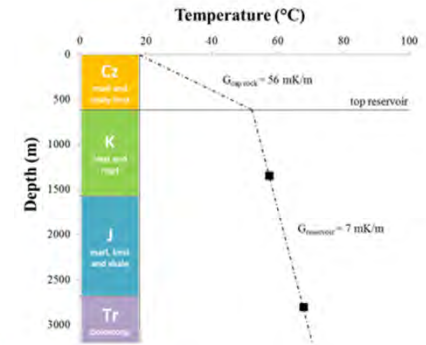
Geometria Serbatoio



Data output: ascii file del top reservoir

Gradienti geotermici dedotti da dati di pozzo

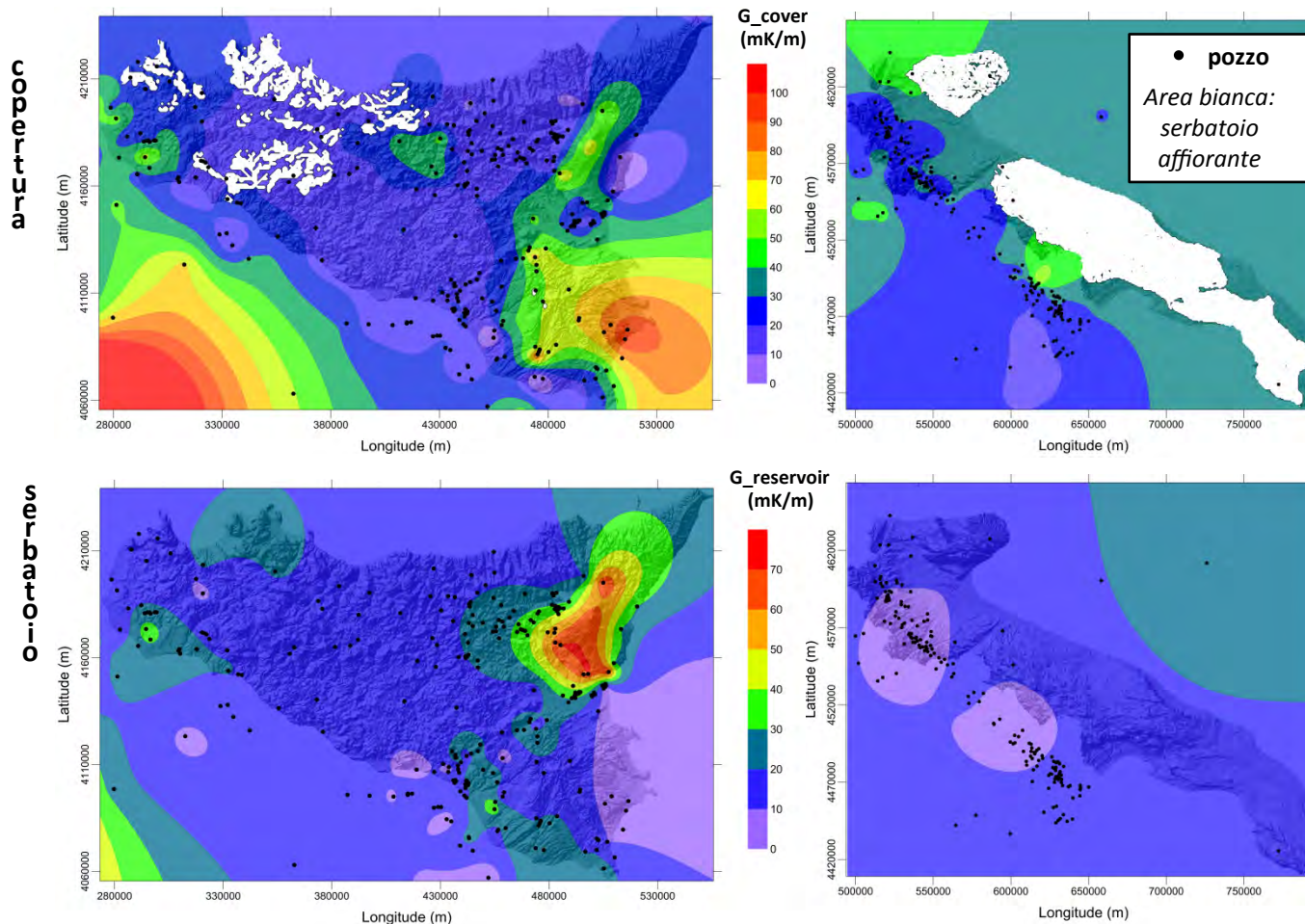
I dati di temperatura, analizzati pozzo per pozzo con le informazioni lito-stratigrafiche, hanno permesso di descrivere l'aumento di temperatura con la profondità sia nelle unità della copertura impermeabile che in quelle del serbatoio potenziale

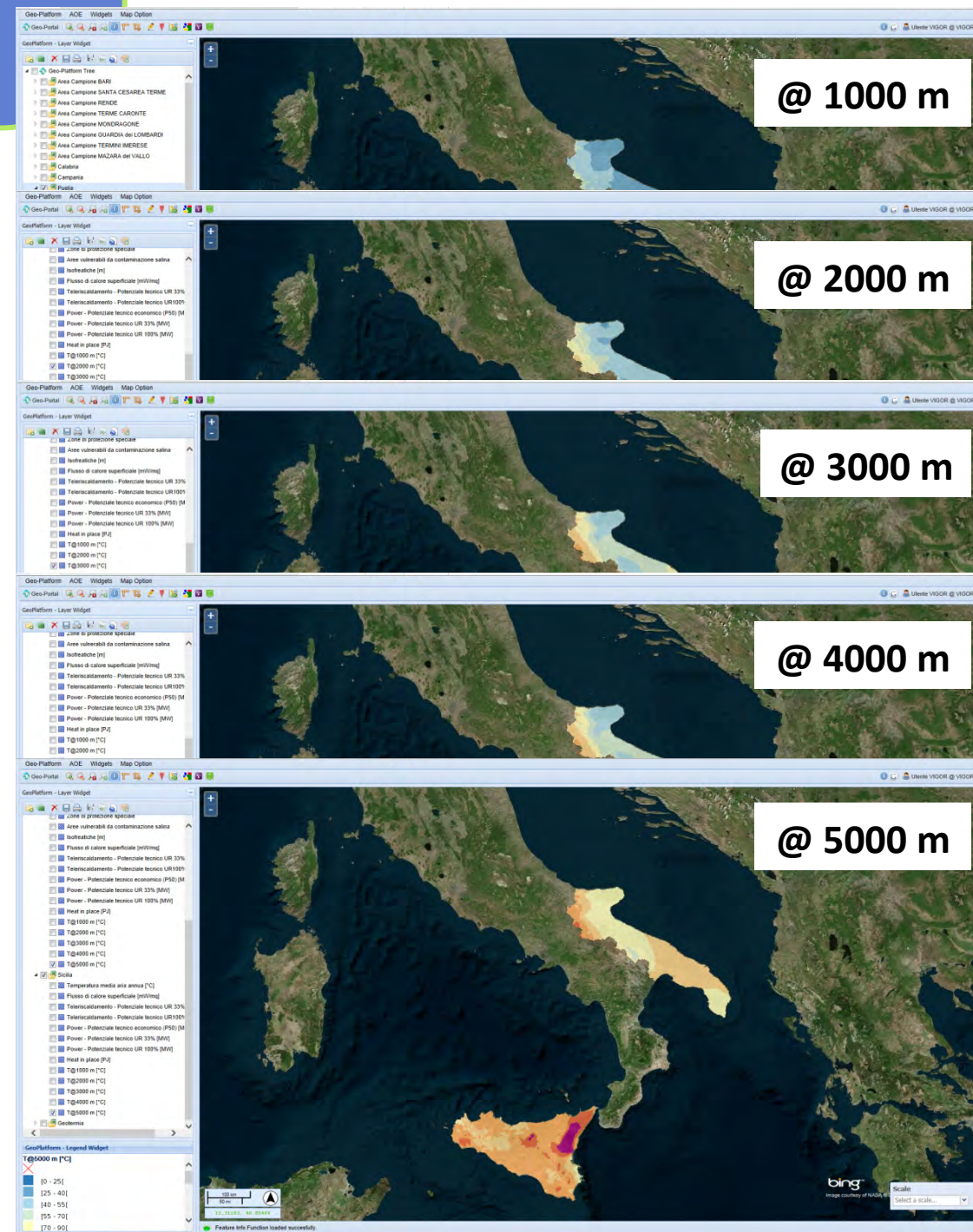


Esempio: pozzo Segesta 1 (Sicilia)

Sistemi Idrotermali convenzionali:

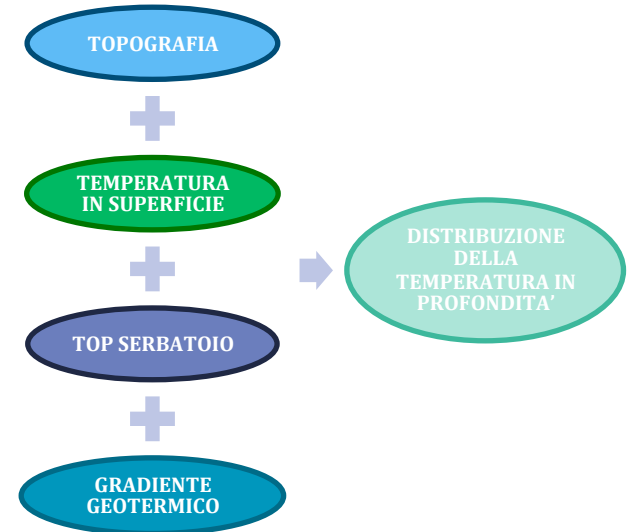
- Nelle **coperture** l'alto **gradiente** termico implica la predominante presenza di trasferimento di calore per conduzione
- La temperatura nel **serbatoio** carbonatico mostra un **basso** **gradiente** geotermico dove la componente convettiva del trasferimento di calore non è trascurabile





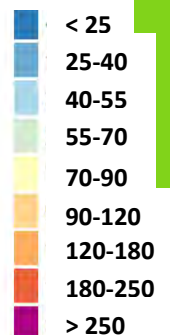
Distribuzione delle Temperature

www.vigor-geotermia.it/geo-portal/



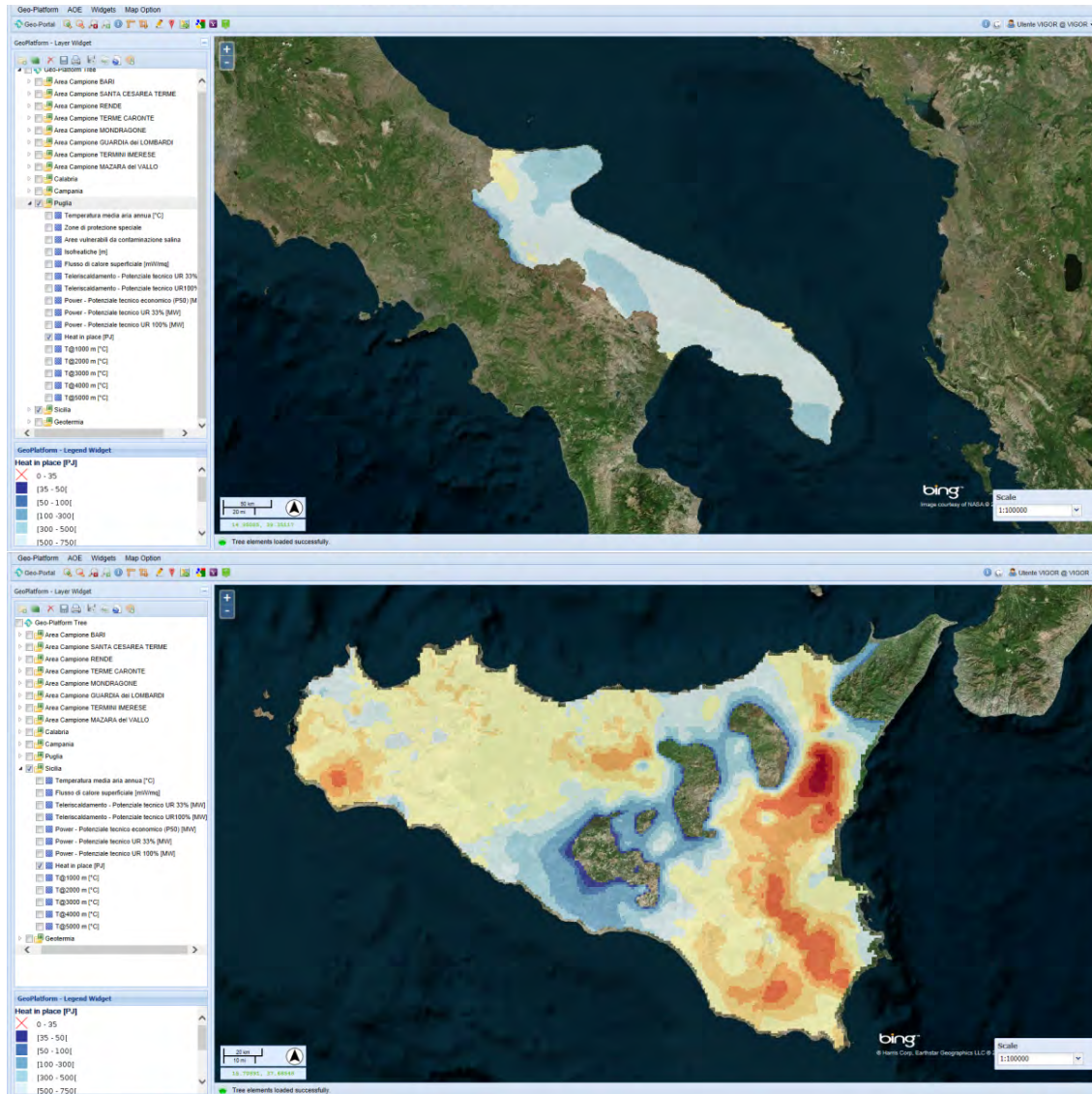
Il calcolo del potenziale utilizza in input il modello termico realizzato, dal dalla superficie topografica fino a 5km di profondità (s.l.m.)

T (°C)



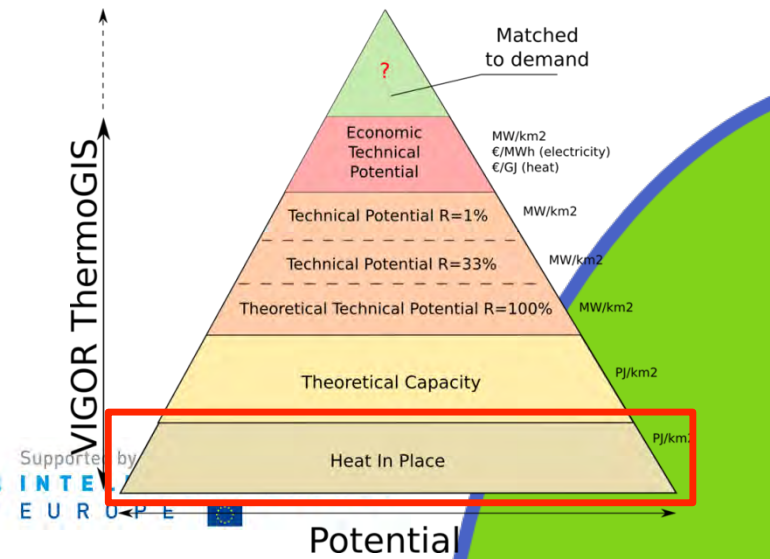
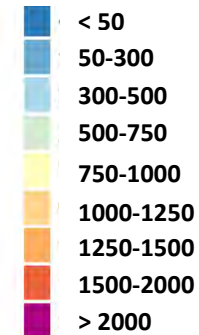
Supported by
INTELLIGENT ENERGY EUROPE

Il calore in posto (HIP) è calcolato come l'energia termica disponibile nel sottosuolo (serbatoio). Il calcolo per ogni unità di volume della griglia è dato da:



$$HIP [PJ] = V \times (\rho c)_{rock} \times (T - T_o) 10^{-15}$$

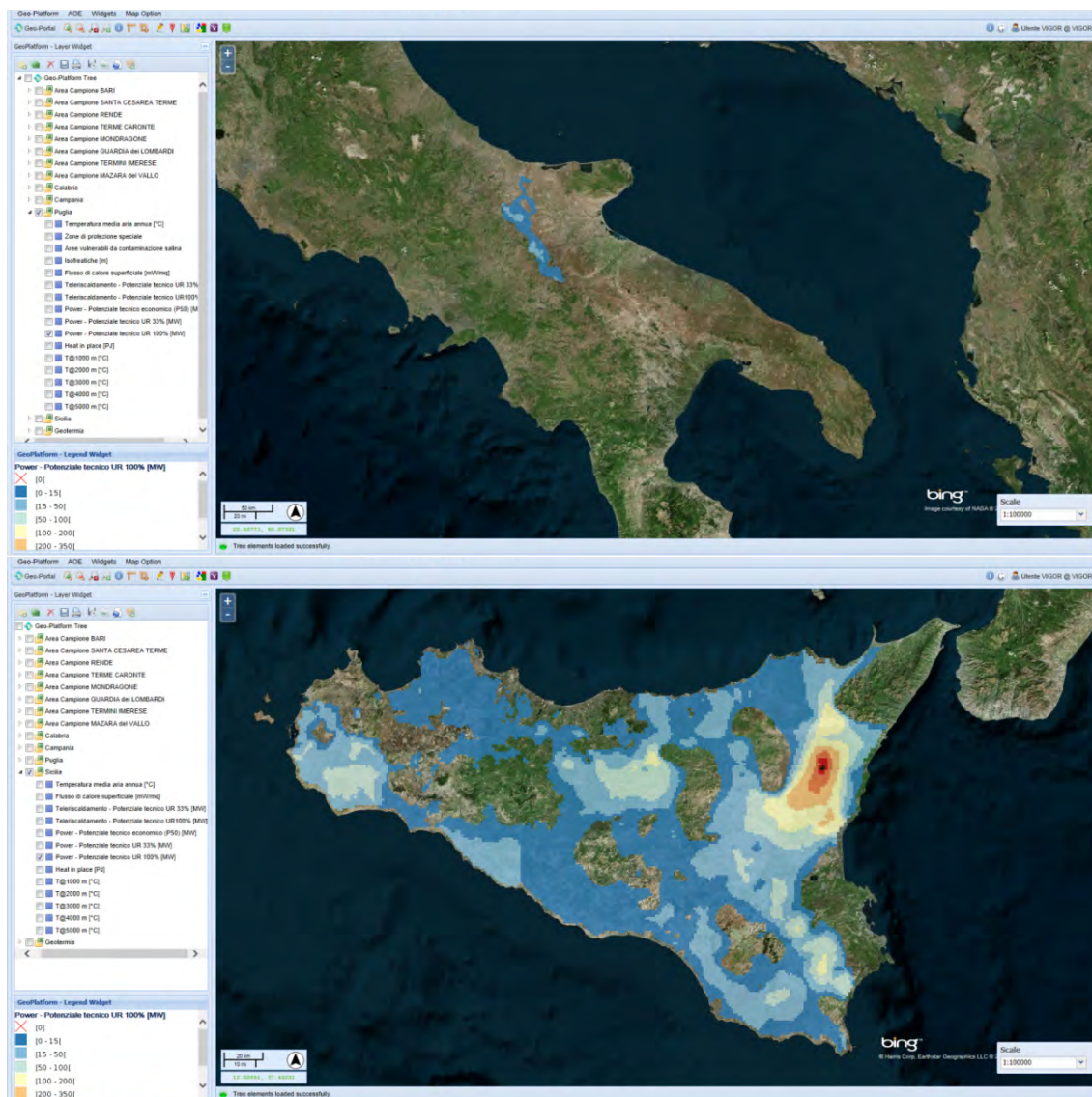
HIP (PJ)



Dalla Capacità teorica al potenziale tecnico teorico

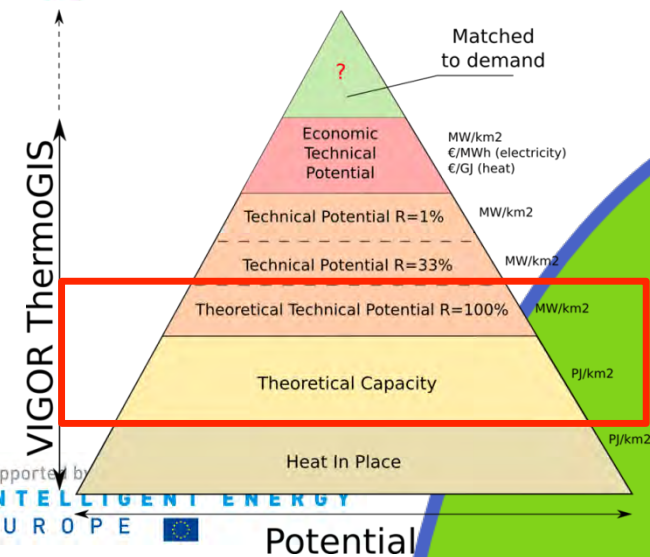
La capacità teorica (TC) è il calore in posto utilizzato dall'applicazione e dipende dall'efficienza (η) e dalla temperatura di re-iniezione.

Il potenziale tecnico (TP) indica l'energia geotermica estraibile attesa [MW] e assume che la risorsa sarà sfruttata in un periodo di 30 anni.

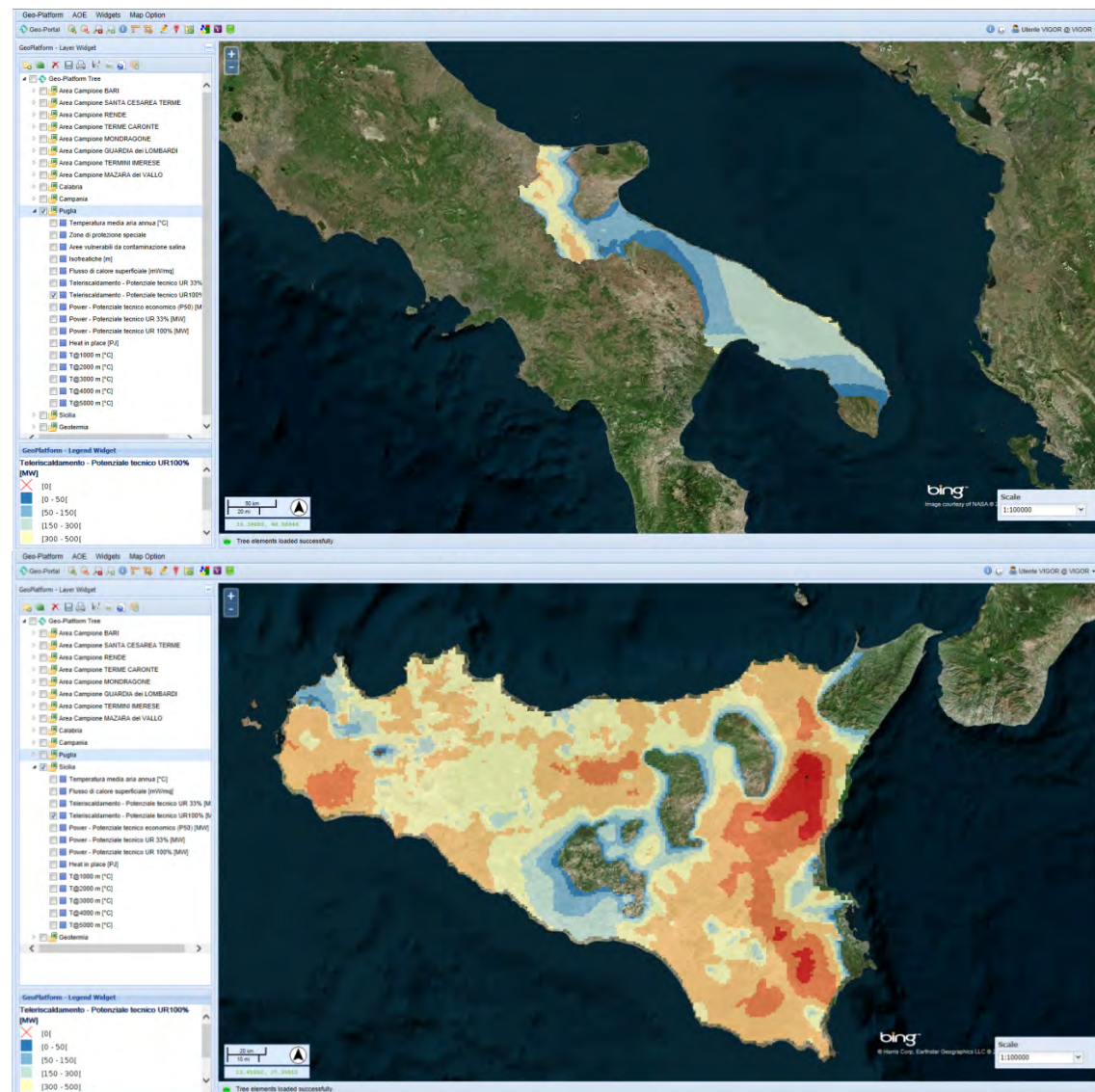


Energia elettrica (Impianto binario)	
Temperatura minima	120 °C
Temperature di re-iniezione	97 °C

TP (MW)



Dalla Capacità teorica al potenziale tecnico teorico

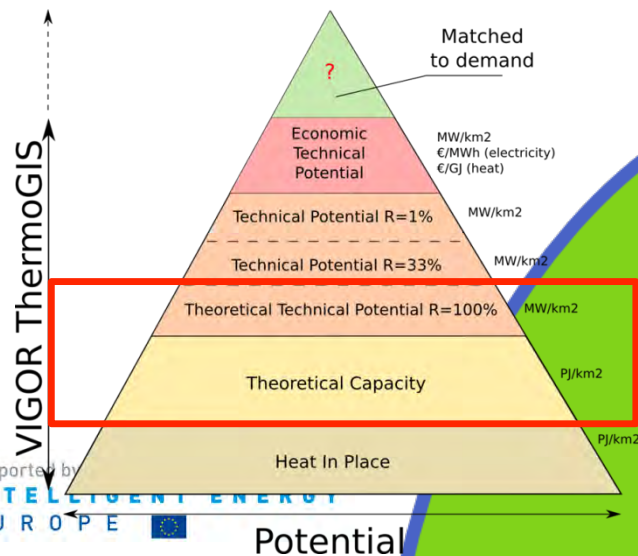


Teleriscaldamento - raffrescamento

Temperatura
minima 80 °C

Temperature
ire-iniezione 40 °C

TP (MW)

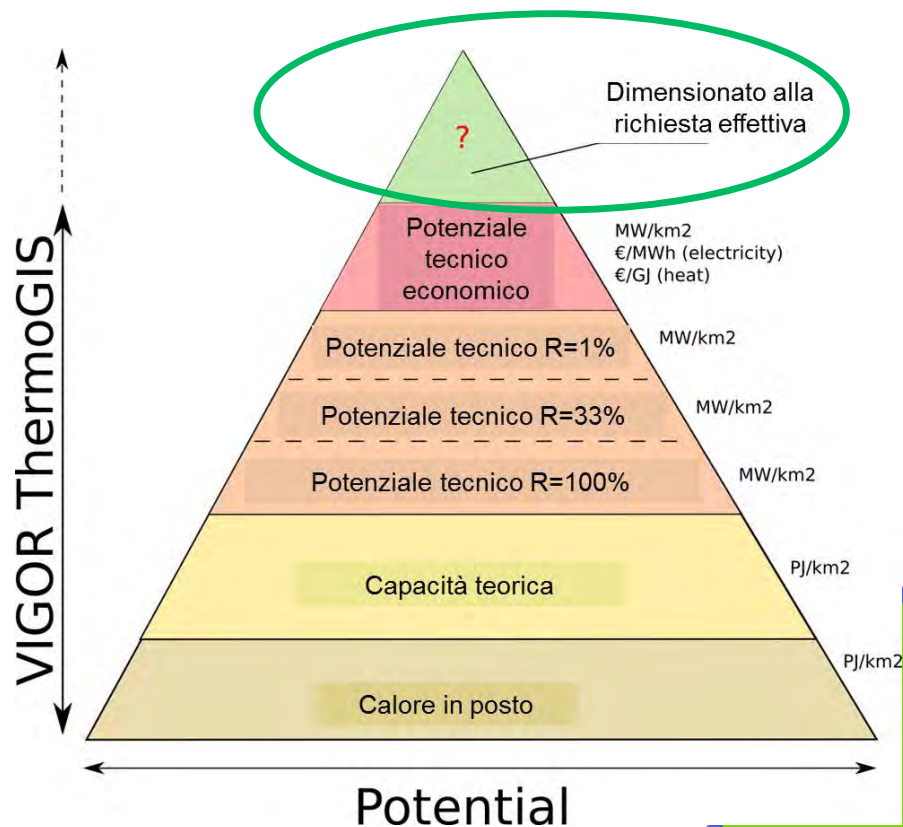


Mappe di valutazione del potenziale e fabbisogno energetico in VIGOR

Confronto tra richiesta energetica (elettrica e termica) e la risorsa potenzialmente utilizzabile

Valutazione della risorsa:

- I risultati ottenuti sono utili per pianificare e sviluppare applicazioni geotermiche a scala regionale e nazionale
- VIGOR ThermoGIS può essere utilizzato per focalizzare l'esplorazione geotermica
 - Puglia: Fossa Bradanica
 - Sicilia: Settore occidentale, Bacino di Caltanissetta, Piattaforma Iblea, Mt.Etna

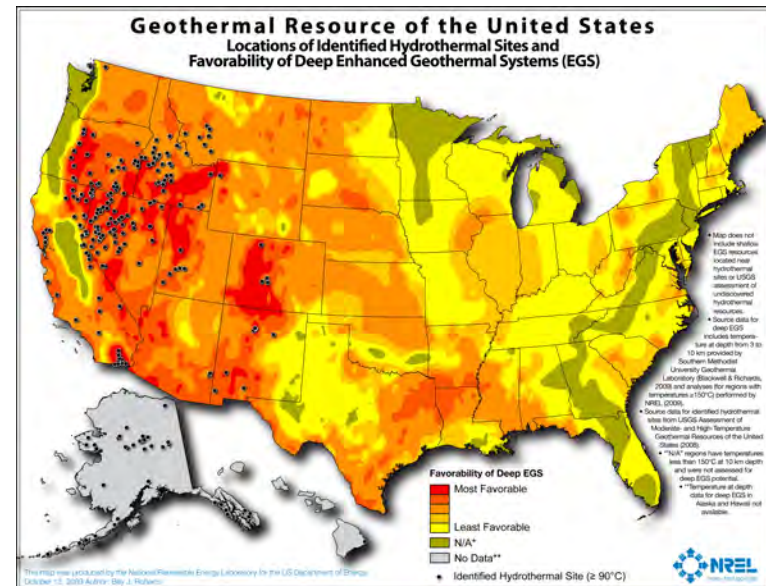


ATLANTE Geotermico

Le mappe di Favorevolezza

- ☐ Sistemi Convenzionali
- ☐ Sistemi NON-Convenzionali:

▪ le rocce calde secche (**HDR**), le rocce calde fratturate (**HFR**), i sistemi geotermici stimolati (**EGS**) o a circuito chiuso (**EGSA**);
▪ i sistemi geopressurizzati;
▪ i sistemi magmatici;
▪ i sistemi a fluidi supercritici;
▪ i sistemi a salamoia calda;
▪ i sistemi co-prodotti.



ATLANTE Geotermico

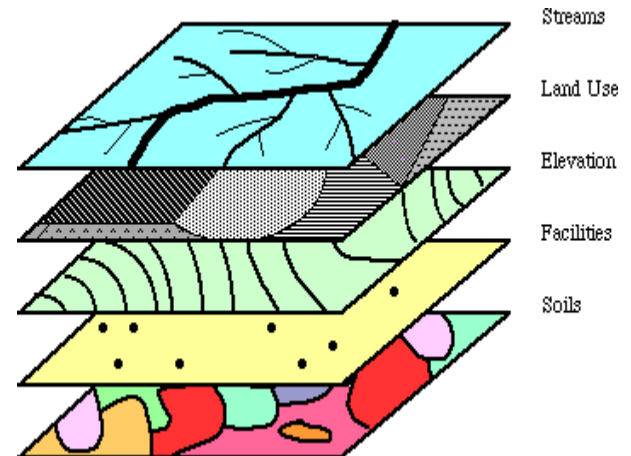
La Favorevolezza

▪ La favorevolezza geotermica dipende da un certo numero di fattori

▪ I sistemi GIS consentono di produrre mappe di favorevolezza combinando una serie di mappe come input

Output map = f (2 o più mappe input)

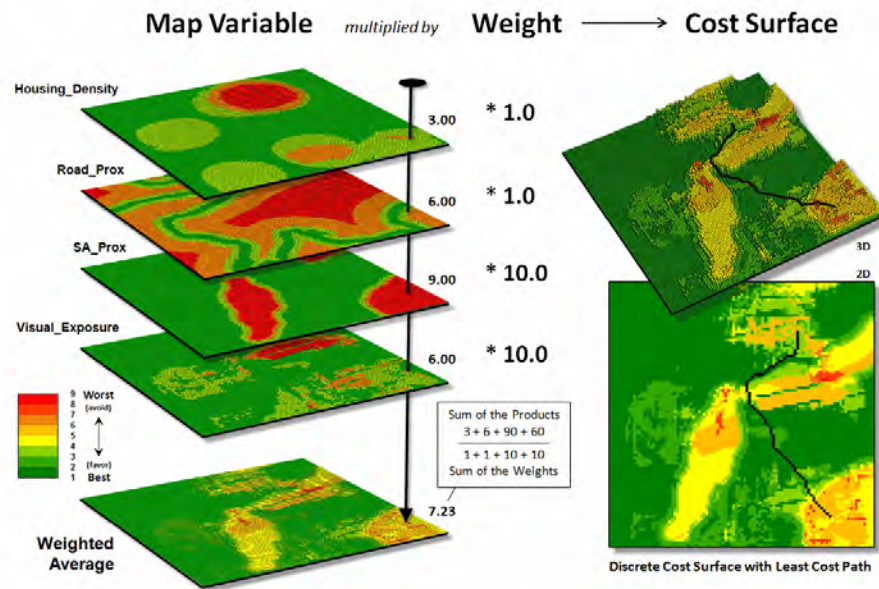
▪ La funzione f può dipendere da funzioni principi teorici sia su funzioni empiriche (basate su osservazione dei dati) sia miste



ATLANTE Geotermico

Index Overlay

- Ogni mappa viene classificata e pesata



$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij}}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

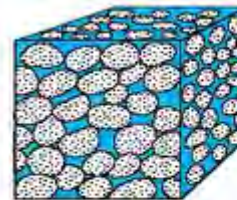
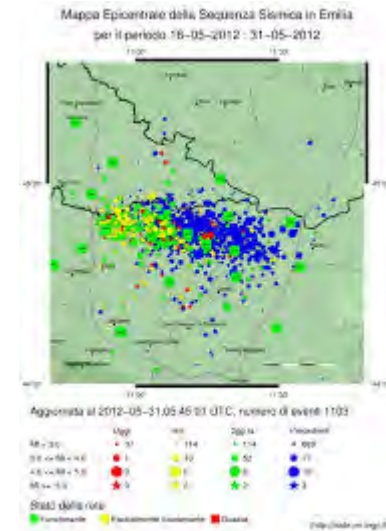
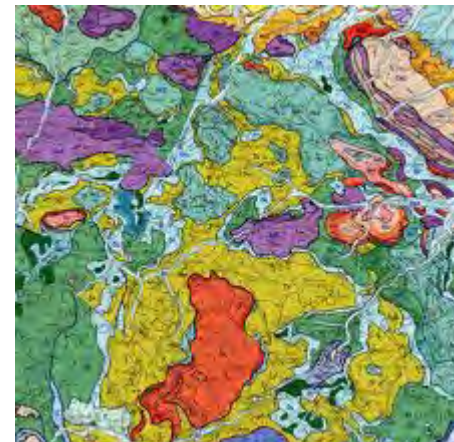
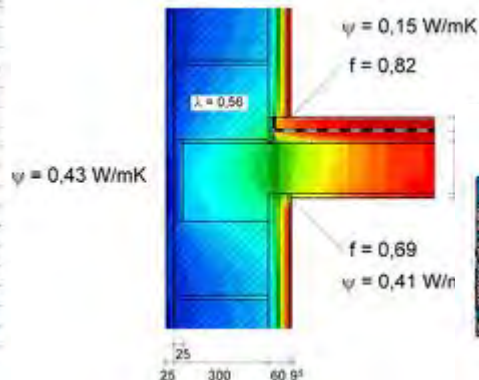
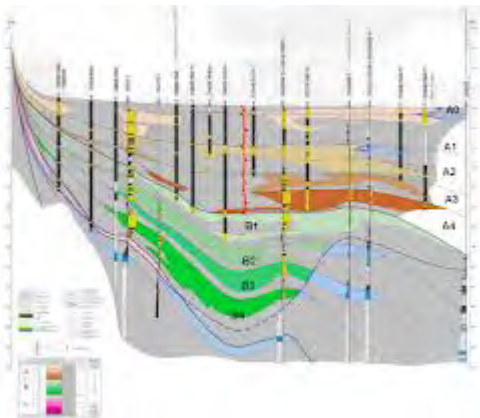
- Dove S è il punteggio pesato per un area (pixel, poligono)
- W_i è il peso per l'i-esima mappa in input e
- S_{ij} il punteggio per la j-esima mappa della i-esima mappa in input, il valore di j dipende dalla classe in una data zona

- Permette una combinazione più flessibile delle mappe rispetto al metodo Booleano
- Il sistema di punteggio e pesi delle mappe può essere fissato rispetto al giudizio di un esperto nel campo di applicazione
- Lo svantaggio sta nella natura additiva lineare del metodo

ATLANTE Geotermico

Mappa di Favorevolezza per sistemi geotermici convenzionali

- Modello geologico – geometria del serbatoio
- Modello Termico – da 0 a 10 km slm
- Dati geochimici
- Valutazione della permeabilità

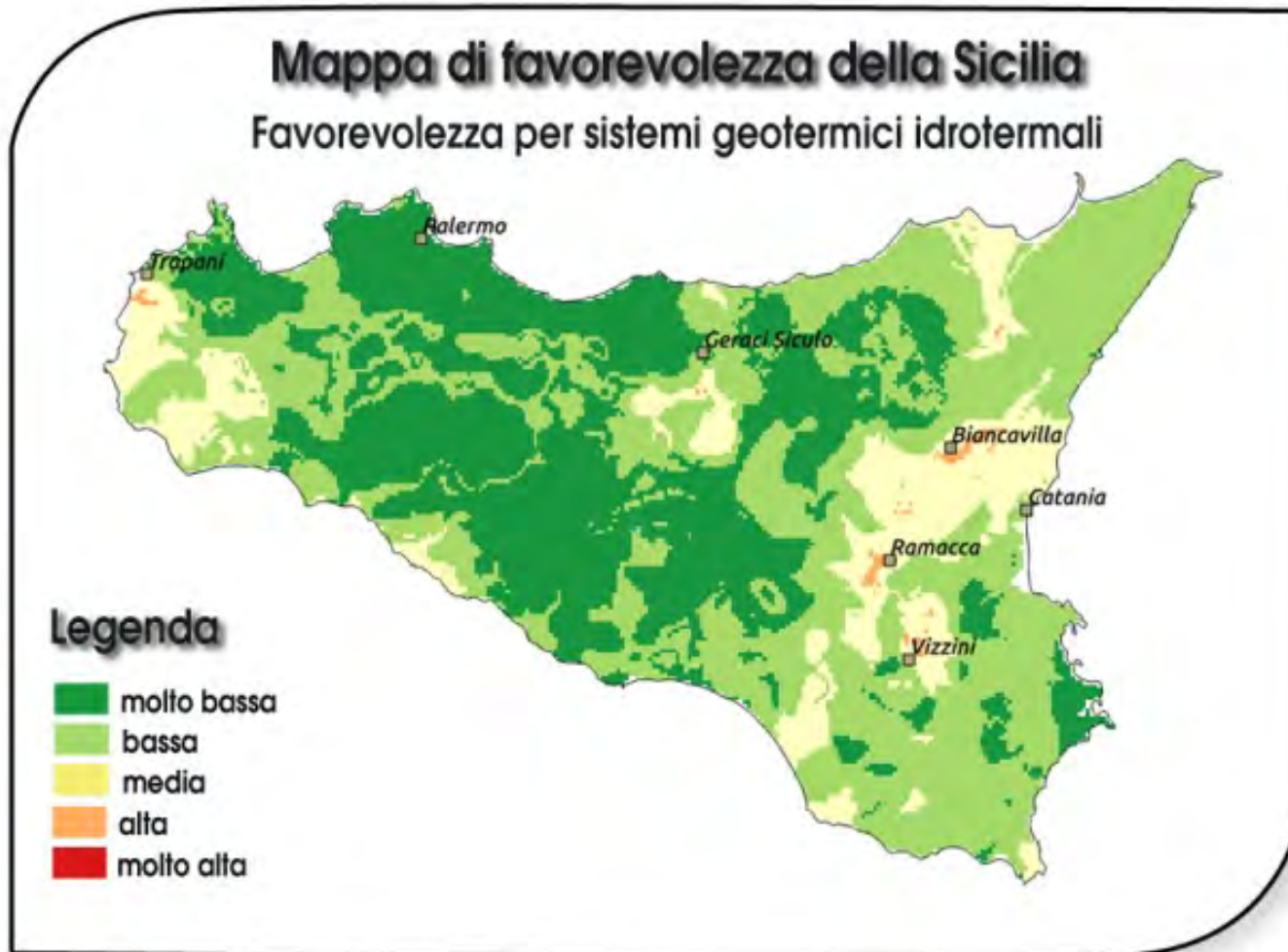


Porosità
primaria



Porosità
secondaria

ATLANTE Geotermico





Grazie per l'attenzione

VISIT:

GEOELEC project: www.geoelec.eu

VIGOR project: www.vigor-geotermia.it

Atlante Geotermico: presto disponibile

