



IPOSTESI DI LAVORO

Alessandro Santilano

CNR-IGG

alessandro.santilano@igg.cnr.it

Como,
12/04/2014

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



QUADRO STRATEGICO NAZIONALE
2007-2013

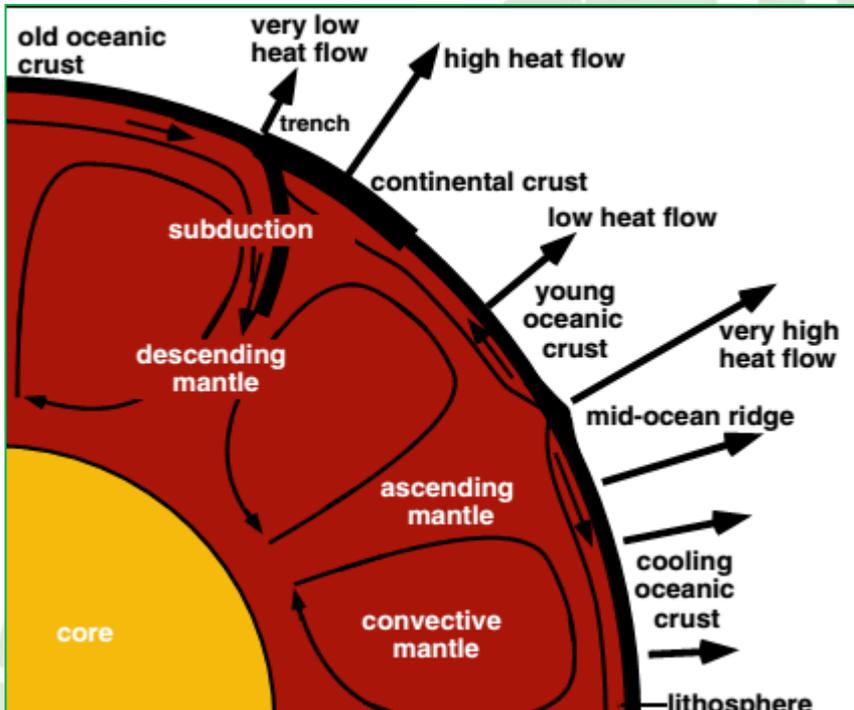


Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Introduzione- La Geotermia



da Stober et al. 2013.

L'energia geotermica è l'energia termica immagazzinata sotto la superficie terrestre.

È una fonte:

- rinnovabile e sostenibile
- autoctona (non deve essere importata)
- ecocompatibile.
- base-load, produce quasi h24

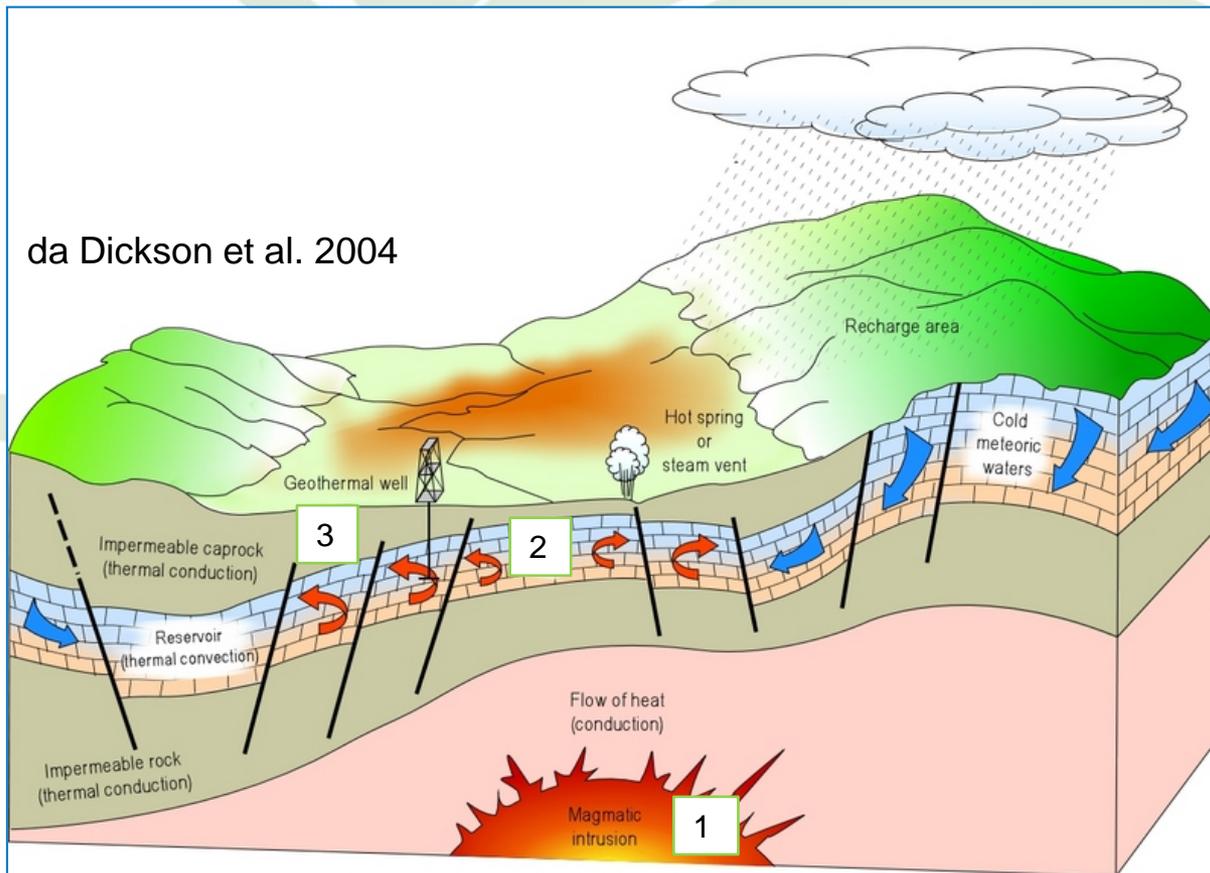
In Italia abbiamo 100 anni di esperienza, risorse importanti, una filiera produttiva già disponibile, un mercato da espandere per avere maggiore occupazione

- Aumento della temperatura verso l'interno della Terra (gradiente geotermico medio $\sim 30^\circ \text{C/km}$)
- Propagazione di un flusso di calore (HF) dall'interno della Terra verso la superficie terrestre attraverso processi conduttivi (senza trasporto di materia) e convettivi/advectivi (tramite un fluido vettore). La densità di HF varia nello spazio e nel tempo



Sistema geotermico convenzionale

I sistemi geotermici **convenzionali** sono sistemi idrotermali dominati dal moto convettivo dell'acqua, la quale muovendosi a partire dalla superficie della crosta terrestre raggiunge zone calde profonde caratterizzate da un'anomalia termica. Il fluido risalendo grazie alla circolazione convettiva comporta un efficace trasferimento di energia (calore) in superficie o a profondità economicamente raggiungibili.



Sistema idrotermale:

- 1-Sorgente di calore
- 2-Serbatoio e fluido geotermico
- 3-Copertura impermeabile

Sistemi geotermici non convenzionali:

- EGS
- Magmatici
- Fluidi supercritici
- Salmoria calda
- Geopressurizzati
- Coprodotti

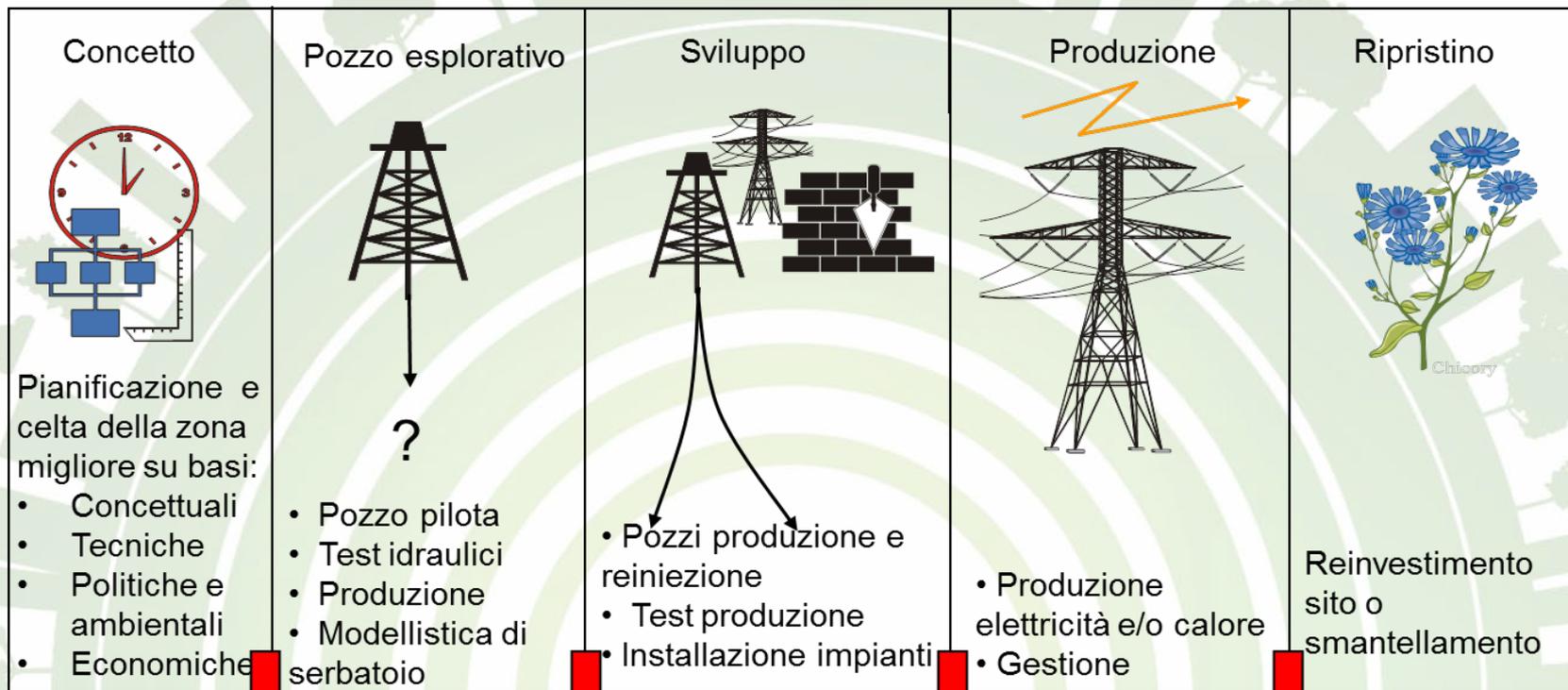


PROGETTO GEOTERMICO

Esplorazione

Perforazione, sviluppo del campo

Coltivazione



Scelta sito

Dimostrazione Fattibilità

Approntamento impianti

Raggiungimento fine produzione

www.vigor-geotermia.it



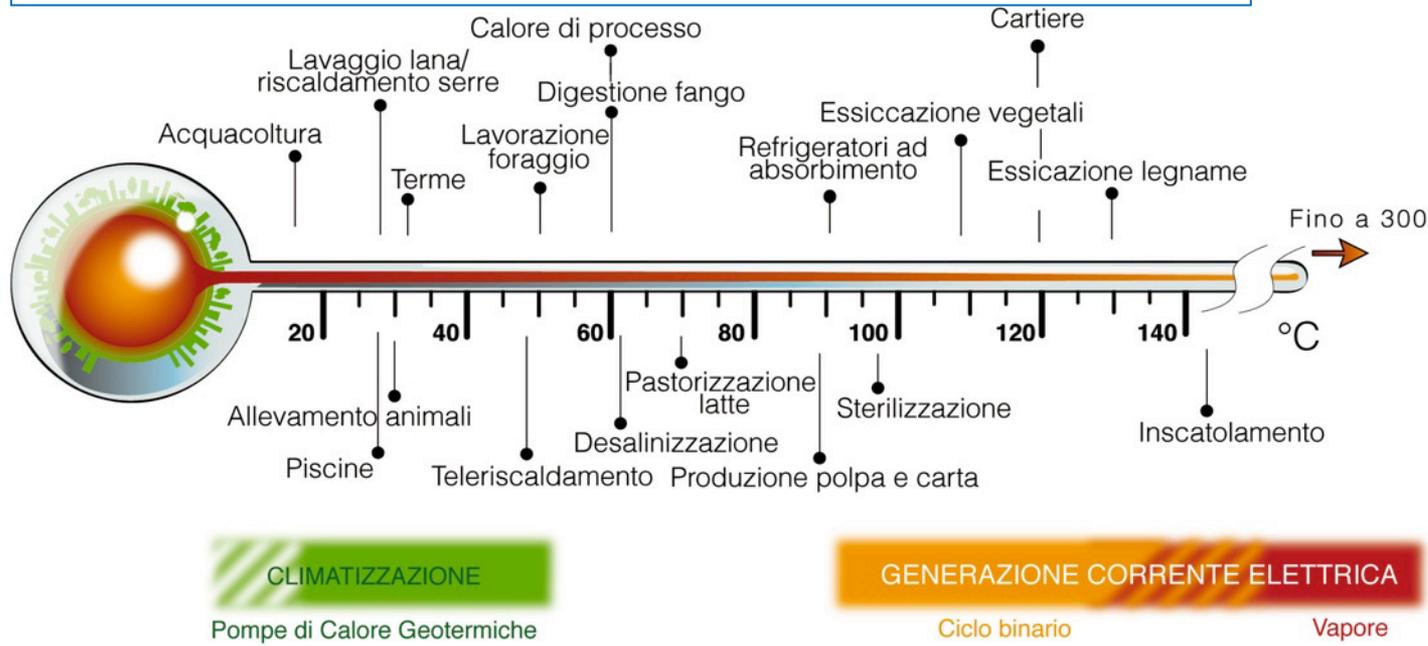
Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata

Usi del calore geotermico



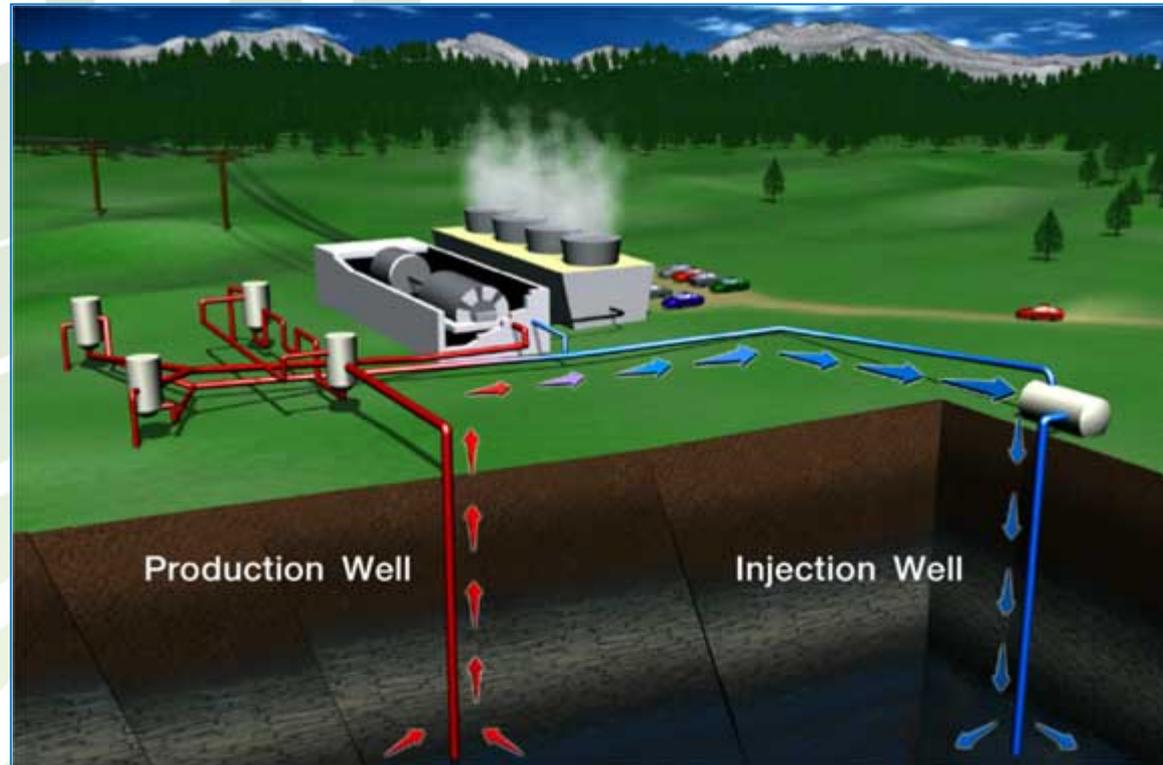
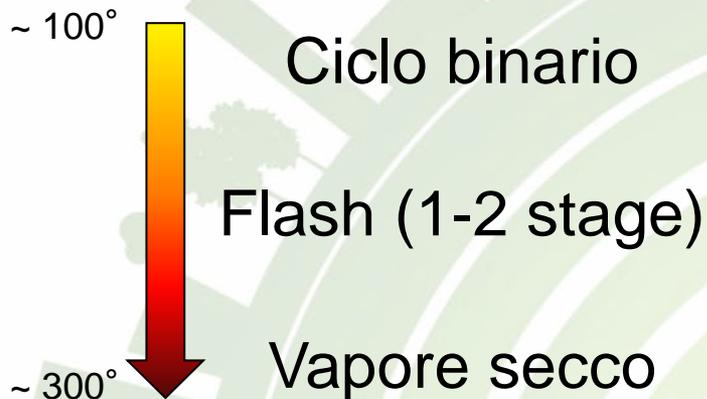
Suddivisione in due categorie principali:
produzione di energia elettrica (risorse ad alta-media entalpia) e **usi diretti del calore** (risorse a bassa-media entalpia).





Produzione di energia elettrica

Principali tipologie di centrali geotermiche a condensazione:



Il calore della Terra può essere convertito in energia elettrica grazie ad un fluido vettore ovvero il fluido geotermico. [In generale 10 MWt forniscono 1MWe]

Il fluido erogato dai pozzi produttori viene inviato alla centrale geotermica dove, mediante una turbina, l'energia viene trasformata in energia meccanica di rotazione.

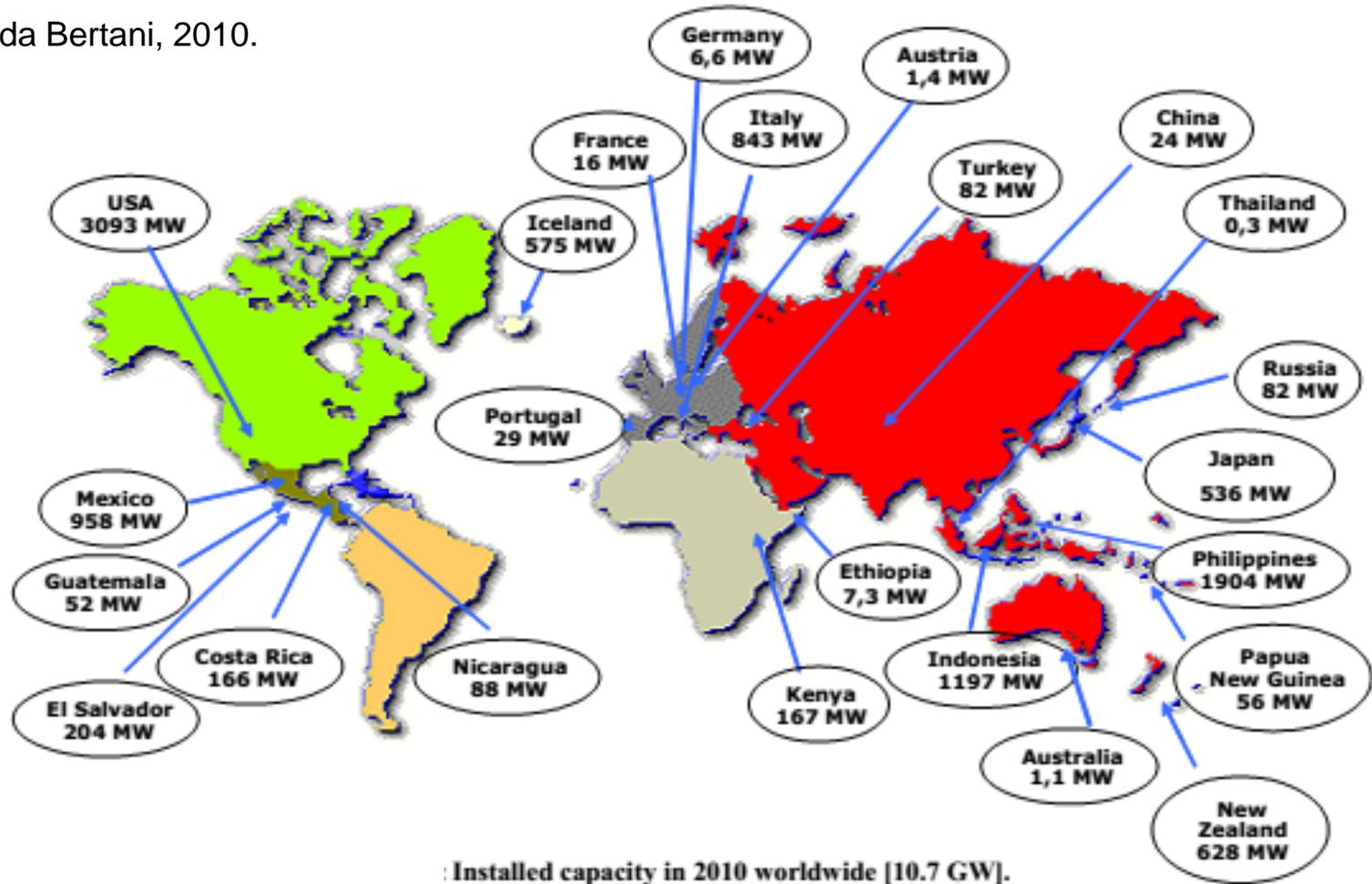
L'asse della turbina è collegato ad un alternatore che trasforma l'energia meccanica in energia elettrica.

Il fluido in uscita dalla turbina e dalle torri di raffreddamento viene iniettato nuovamente in serbatoio per rendere la produzione sostenibile.



Produzione di energia elettrica da fonte geotermica nel mondo (2010)

da Bertani, 2010.





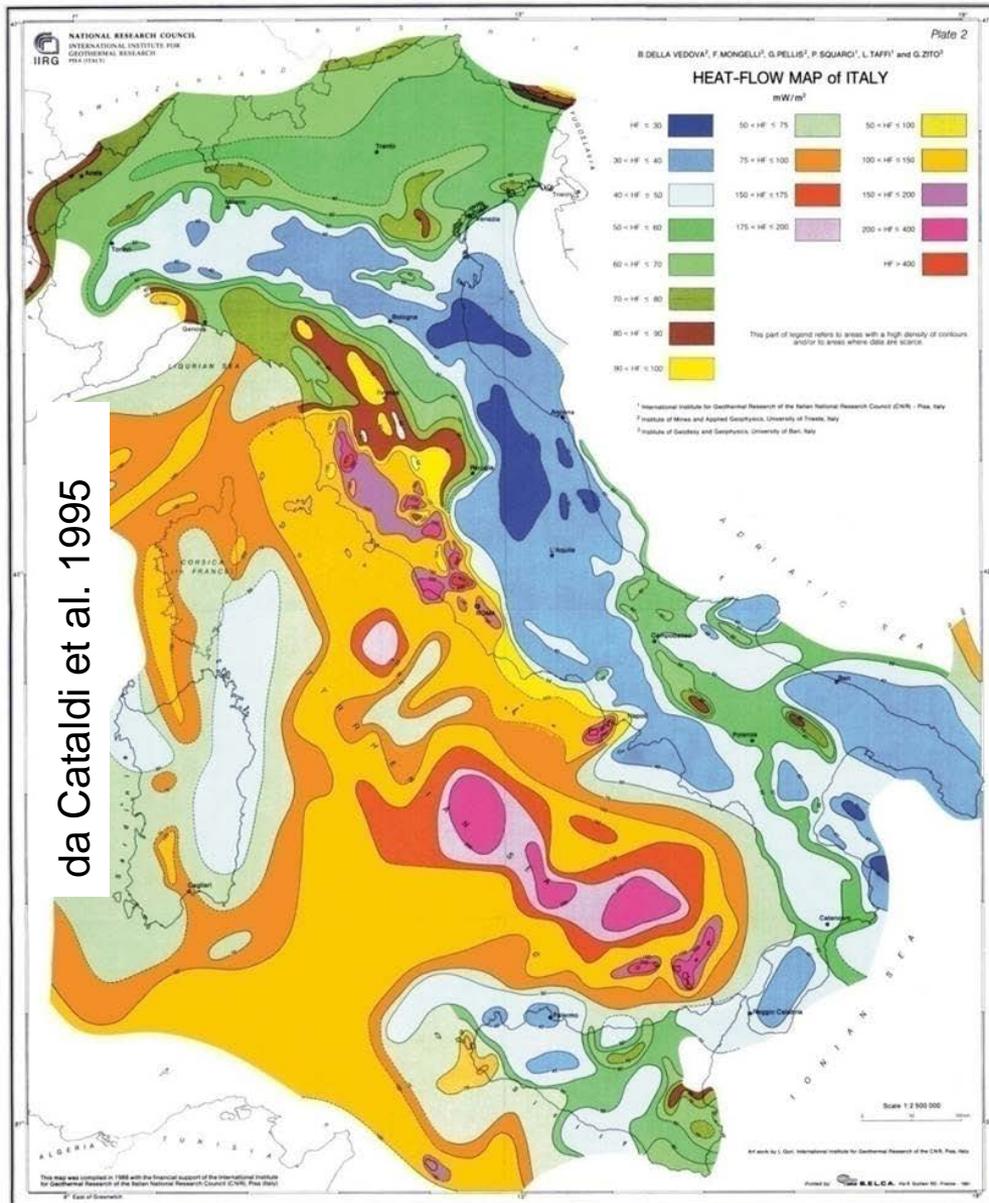
Geotermia in Italia

Forte vocazione geotermica

Risorse potenzialmente estraibili in Italia (5 km p.c.) dell'ordine di 21 exajoule (circa 500 MTEP). Circa 1/3 delle risorse potrebbe permettere la produzione di energia elettrica, in determinate aree geotermiche (principalmente nel settore occidentale d'Italia). (UGI 2011, Il calore della Terra 108 pp).

L'assottigliamento crostale dell'area tirrenica e peri-Tirrenica ha comportato un'intensa attività magmatica. La distribuzione dei sistemi geotermici presenta una stretta relazione con i corpi magmatici e vulcanici di queste aree.

da Cataldi et al. 1995



Esempio sistema geotermico M. Amiata (Toscana)

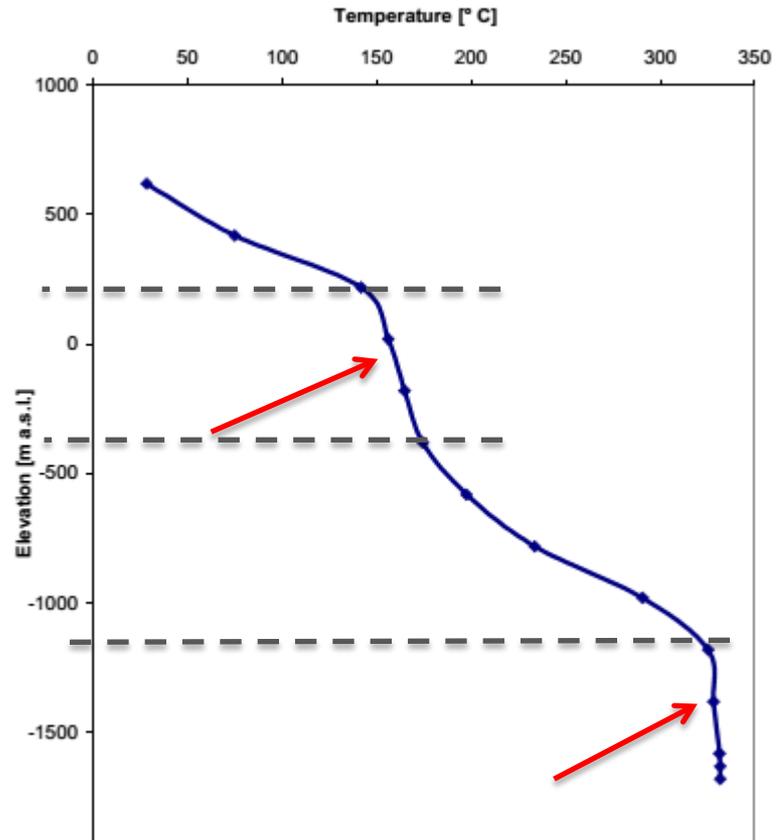
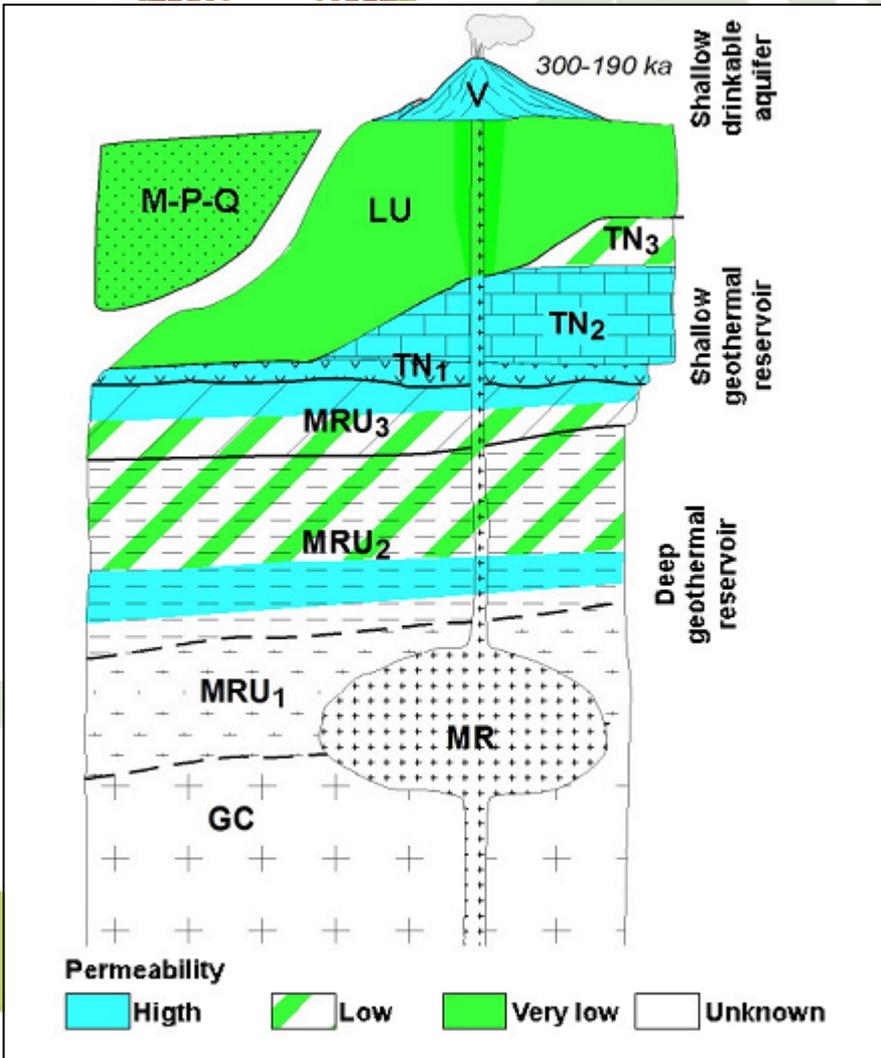


Figure 5: Typical temperature vs. elevation log in a geothermal well of the Mt. Amiata system.

da Barelli et al., 2010





Produzione di energia elettrica in Italia da fonte geotermica



- ✓ Potenza installata lorda: 882 Mwe
- ✓ Produzione lorda: 5,342 (TWh/a)
- ✓ Unità operative: 34 (tre province toscane)
- ✓ Pozzi: ~500
- ✓ 8,5% della produzione mondiale da fonte geotermica
- ✓ 1,9% della generazione nazionale
- ✓ >25% dei consumi elettrici della toscana



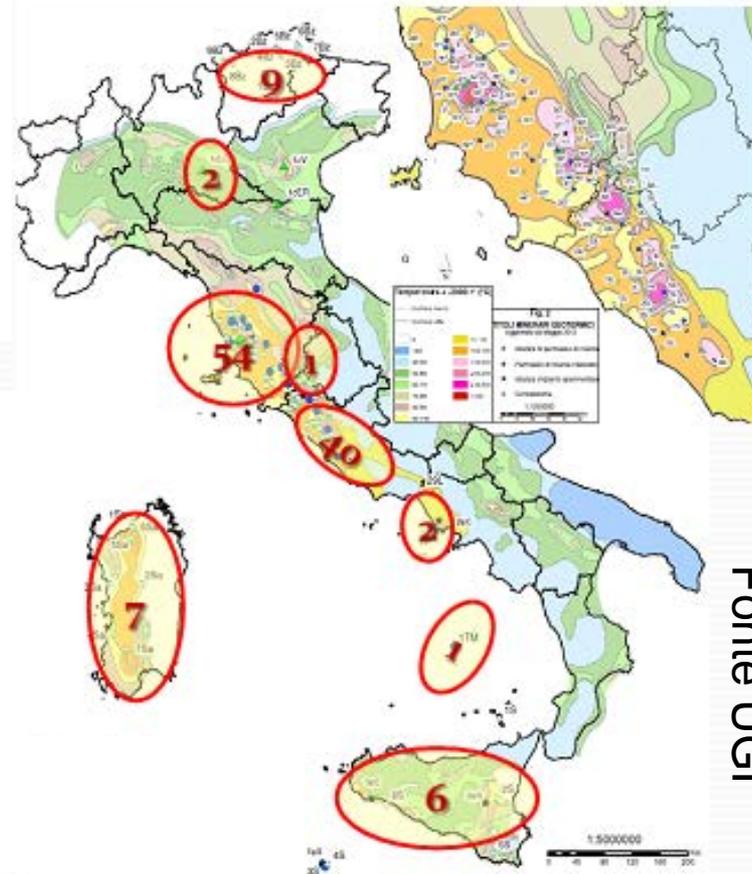


Prospettive in Italia

Dopo la liberalizzazione del mercato (D. Lgs 2010/22) sono state presentate circa 120 istanze di permesso di ricerca

~52 Permessi assegnati

~51 In fase di valutazione
(Dati UNMIG)



Fonte UGI

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata

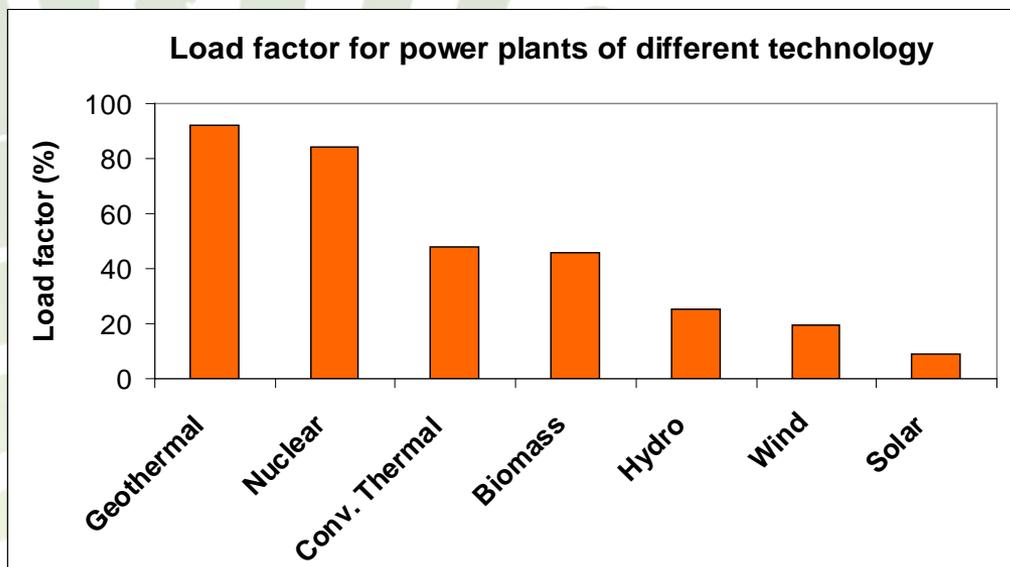


I vantaggi del geotermico

Produce per gran parte del tempo, utilizzando quasi totalmente la sua capacità installata (Base-load energy)

I costi di investimento sono molto elevati, fortemente condizionati da quelli della perforazione, dalla tecnologia utilizzata ecc.. e non sono ancora comparabili con quelli di altre energie rinnovabili ma...

....grazie all'elevato CF (Capacity Factor) producono molta più energia degli impianti di altre energie rinnovabili a pari *potenza installata*. Di conseguenza, quando si parla di potenza di varie fonti di energia, non è mai corretto confrontare la potenza installata. Quindi il costo unitario geotermico per la produzione di energia elettrica (LCOE) è molto competitivo rispetto ad altre fonti.



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



**Il Progetto VIGOR:
un approccio sistematico e completo delle
risorse geotermiche
per proposte di uso energetico immediate
e concrete**

www.vigor-geotermia.it



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Obiettivi e indirizzi COSA è VIGOR

“Indirizzato alla valutazione del potenziale geotermico finalizzato alla **realizzazione di interventi innovativi di utilizzo della fonte geotermica nelle Regioni Convergenza**”

Le attività del progetto **VIGOR**, previo ampliamento e sistematizzazione delle conoscenze esistenti, sono finalizzate ad **individuare aree e ipotesi progettuali di sfruttamento del potenziale geotermico**, e curare la promozione e la **valorizzazione della risorsa geotermica** e dei suoi utilizzi pubblici e privati, attraverso lo sviluppo della coscienza della popolazione e della capacità del tessuto.



www.vigor-geotermia.it





COSA comprende VIGOR

SCALA REGIONALE: Valuta e quantifica il **potenziale geotermico** superficiale e profondo delle 4 regioni.

SCALA LOCALE: Propone **impianti innovativi** per la realizzazione di interventi in diversi processi civili e industriali (usi termici mediante geotermia e pompe di calore, cogenerazione), realizzabili con **tecnologie disponibili** (tempi di realizzazione relativamente brevi) ottimizzate e full-green (ibridi, efficienza energetica)

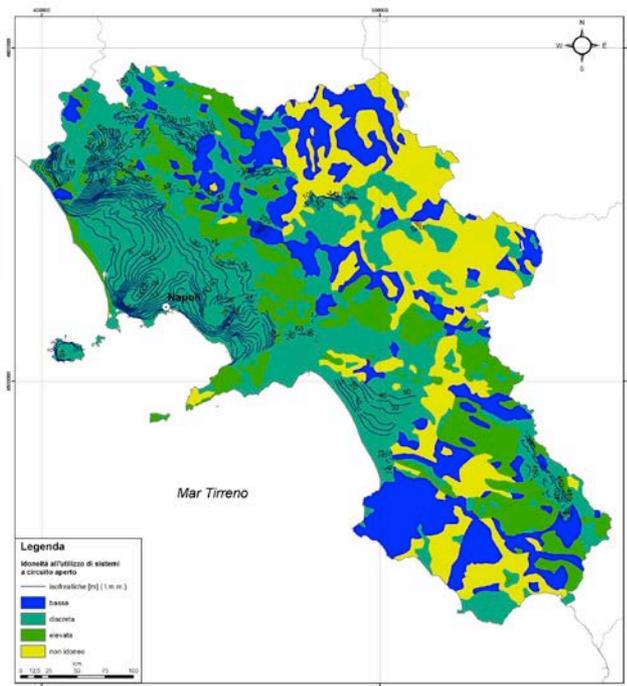
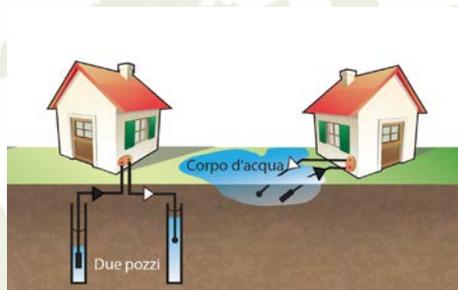
Mediante un approccio di sistema (dal dato, alla normativa, al progetto) e integrato (ambiente/ territorio/tecnologie) VIGOR realizza una promozione degli usi geotermici per **dare impulso alle realizzazioni locali**, mediante presentazione strutturata delle opportunità.

www.vigor-geotermia.it





Valutazione regionale superficiale



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E RISPARGIO ENERGETICO
 2007 - 2013
 Una scelta illuminata

Valutazione del potenziale geotermico nelle Regioni della Convergencia

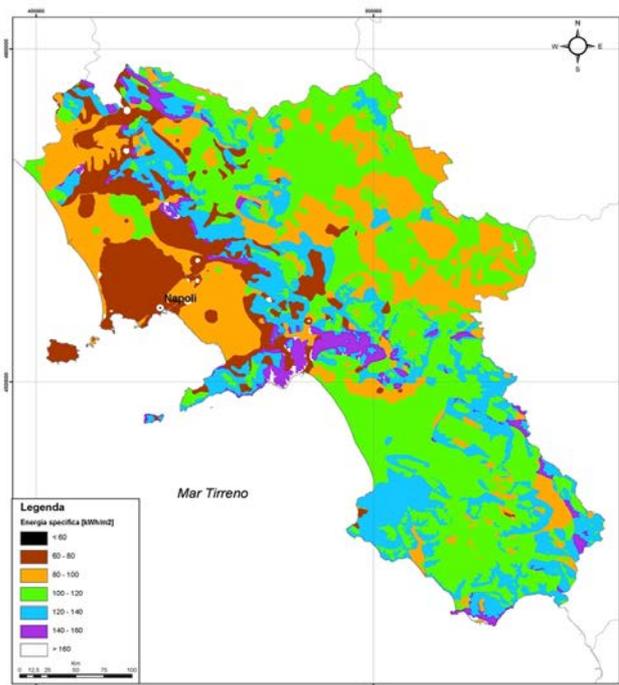
Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra
 MISE - DGRNARE e CNR - DTA, POR
 Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico
 2007 - 2013 Linea di attività 1.4 "Interventi
 sperimentali di gestione"

Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E RISPARGIO ENERGETICO
 2007 - 2013
 Una scelta illuminata

Carta d'idoneità all'utilizzo di sistemi a circuito aperto

Valutazione del potenziale geotermico nelle Regioni della Convergencia

Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra
 MISE - DGRNARE e CNR - DTA, POR
 Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico
 2007 - 2013 Linea di attività 1.4 "Interventi
 sperimentali di gestione"



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E RISPARGIO ENERGETICO
 2007 - 2013
 Una scelta illuminata

Valutazione del potenziale geotermico nelle Regioni della Convergencia

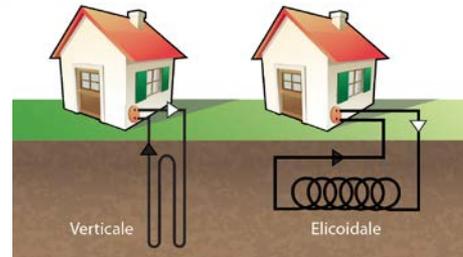
Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra
 MISE - DGRNARE e CNR - DTA, POR
 Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico
 2007 - 2013 Linea di attività 1.4 "Interventi
 sperimentali di gestione"

Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E RISPARGIO ENERGETICO
 2007 - 2013
 Una scelta illuminata

Carta dell'energia specifica scambiata col terreno - circuito chiuso

Valutazione del potenziale geotermico nelle Regioni della Convergencia

Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra
 MISE - DGRNARE e CNR - DTA, POR
 Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico
 2007 - 2013 Linea di attività 1.4 "Interventi
 sperimentali di gestione"





Il potenziale geotermico profondo a scala regionale

Target: Uno degli obiettivi di VIGOR è quello di produrre **nuove mappe** del potenziale geotermico profondo (> 1 km) nelle regioni della convergenza al fine di valutare **dove e quanta** risorsa geotermica può essere coltivata

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Il potenziale geotermico profondo a scala regionale

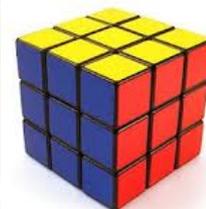
VIGOR ThermoGIS è un protocollo sviluppato da TNO in collaborazione con i principali istituti di ricerca europei nell'ambito di progetti geotermici EU, a cui partecipa anche il CNR-IGG.

Permette il calcolo del potenziale geotermico **del principale acquifero regionale** per la produzione di energia elettrica e usi diretti del calore.

VIGOR ThermoGIS utilizza set di dati sia in **2D** che 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 del lavoro congiunto di un **team di specialisti**: geologi, idrogeologi, geochimici, geofisici, ...
- Si utilizza il metodo del **Volume**
- Include simulazioni **Montecarlo** per le valutazioni **probabilistiche** dei parametri idraulici
- Mappe in output: **potenziale tecnico** e quindi idoneità a utilizzi tecnologici scelti, dalla produzione di energia elettrica a diversi usi diretti del calore (teleriscaldamento, piscine, trattamento acque...)



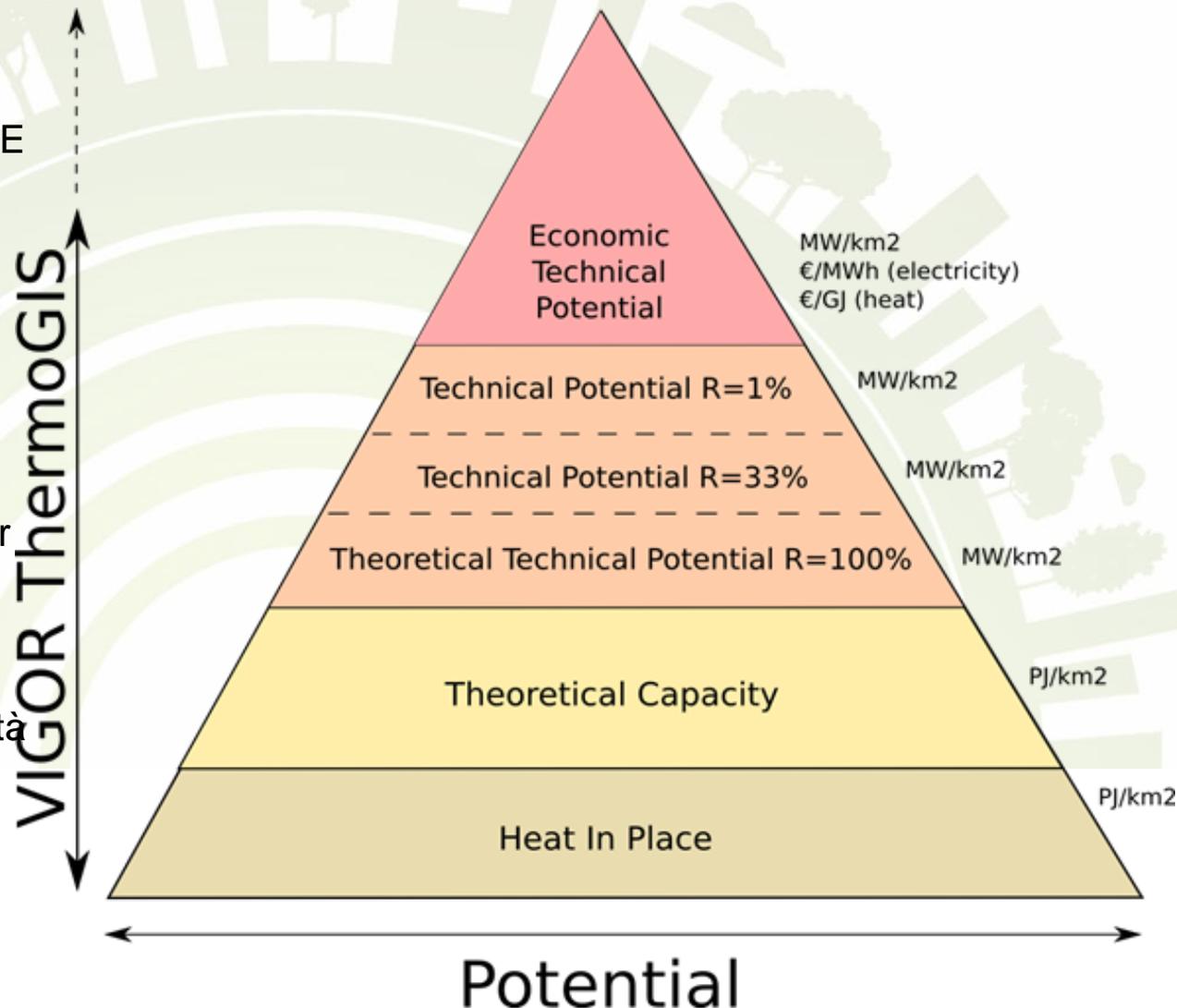
www.vigor-geotermia.it





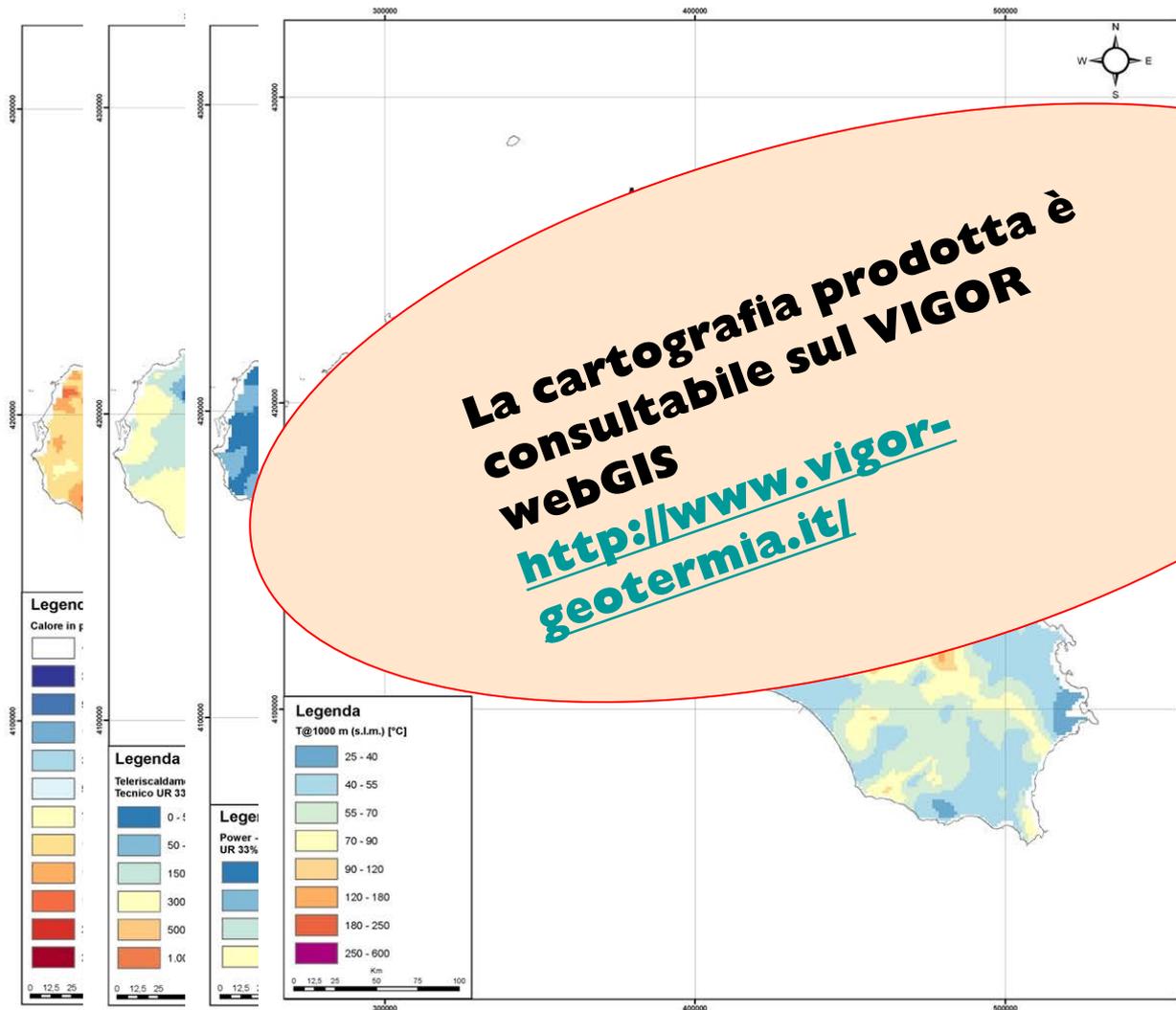
Il potenziale profondo con VIGOR ThermoGIS

- Potenziale Tecnico Economico (MW/km^2 , potenziale con LCOE < soglia = 200 €/MWh per elettricità e 9€/GJ per calore)
- Potenziale Tecnico per diversi fattori di recupero (MW/km^2)
- Energia termica producibile per tipo di tecnologia ($H \times$ efficienza, PJ/km^2)
- H =Massima energia termica teoricamente estraibile per unità di volume di sottosuolo (in serbatoio, PJ/km^2)





Il potenziale profondo- Cartografia



VIGOR
ENERGIA DALLA TERRA

Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata

Ministero dello Sviluppo Economico | Unione Europea | QSN

**Carta delle temperature a
1000 m di profondità (s.l.m.)**

VIGOR
ENERGIA DALLA TERRA

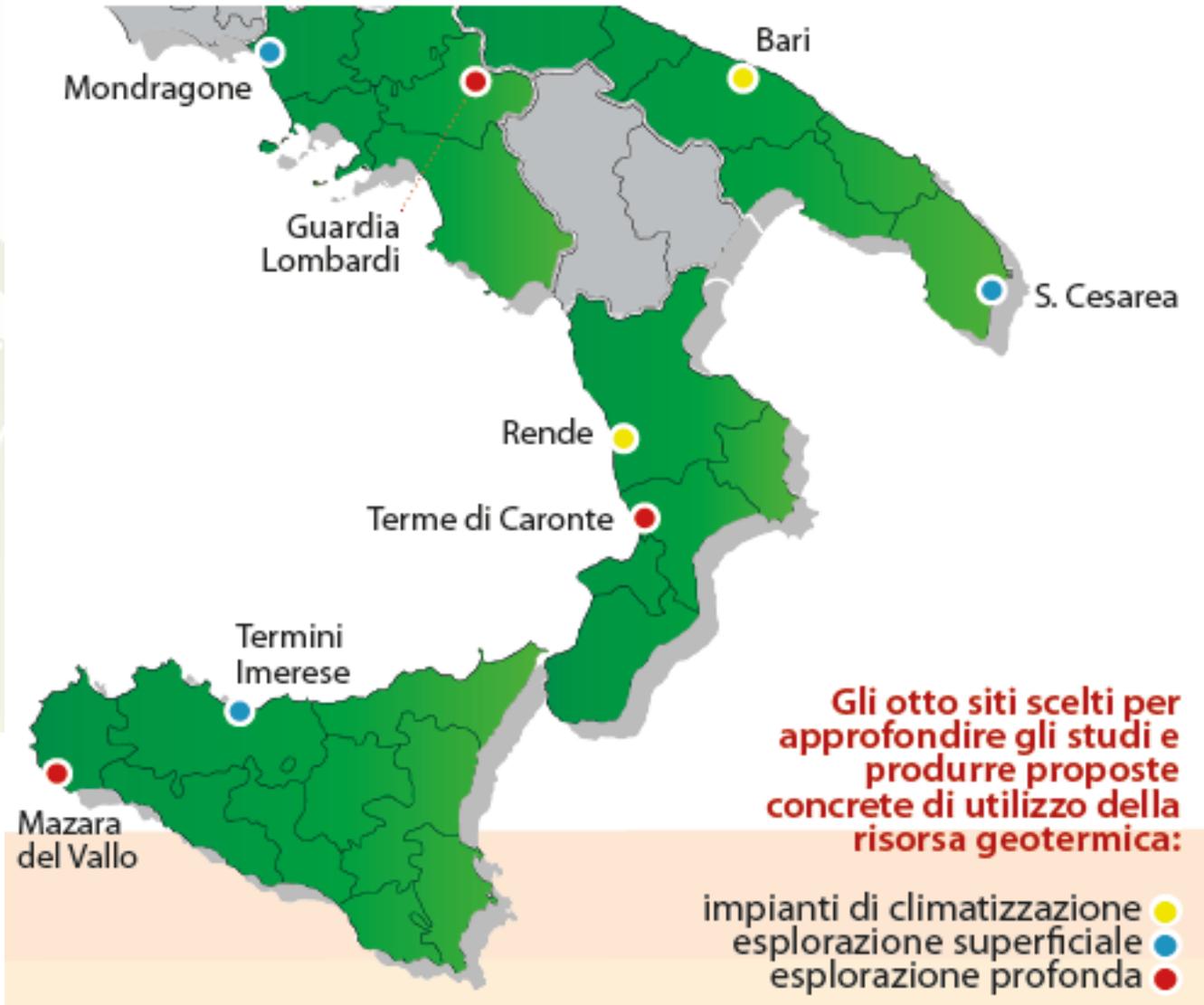
Valutazione del potenziale geotermico
nelle Regioni della Convergenza

Progetto VIGOR, Intesa Operativa tra
MISE-DGNERE e CNR - DTA POI
Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico
2007 - 2013 Linea di attività 1.4 "Interventi
sperimentali di geotermia"



Valutazione di dettaglio

Gli studi di fattibilità: geotermia COME





Rapporti di fattibilità

Valutazione della risorsa, progettazione impiantistica per usi diretti del calore e per la produzione di energia elettrica includendo anche analisi economiche e di sostenibilità e documentazione per autorizzazioni.

Sito	Impianto proposto
Rende	GSHP closed-loop
Bari	GSHP open-loop
Mondragone	Terme e riscaldamento di edifici pubblici
Santa Cesarea	Riscaldamento per processi di produzione pasta
Lamezia Terme	Depurazione di acque reflue
Termini Imerese	Dissalatore
Guardia Lombardi	Produzione di energia elettrica e teleriscaldamento
Mazara del Vallo	Teleriscaldamento

www.vigor-geotermia.it





Studi di fattibilità: Formato omogeneo

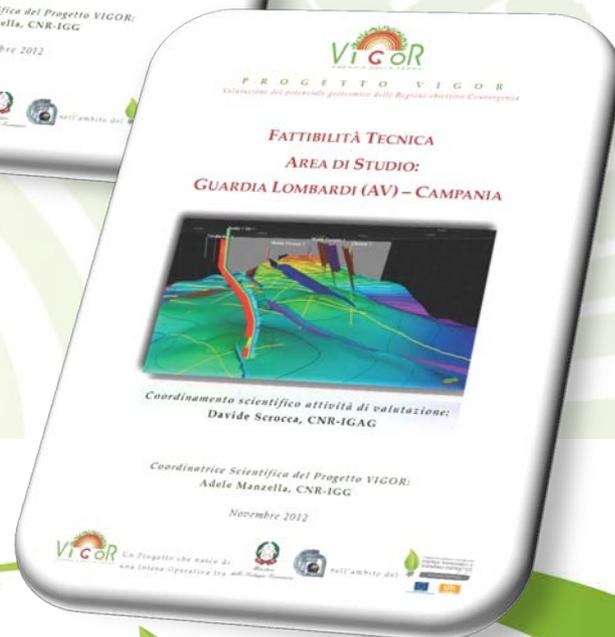


INDICE

1. *Executive Summary*
2. *Introduzione*
3. *La risorsa Geotermica: caratteristiche e suo sfruttamento*
4. *Descrizione progettuale*
5. *Schema del progetto*
6. *Simulazione di funzionamento dell'impianto*
7. *Analisi socio-ambientale*
8. *Analisi di fattibilità economica*
9. *Analisi territoriale e autorizzativa*

ELENCO ELABORATI

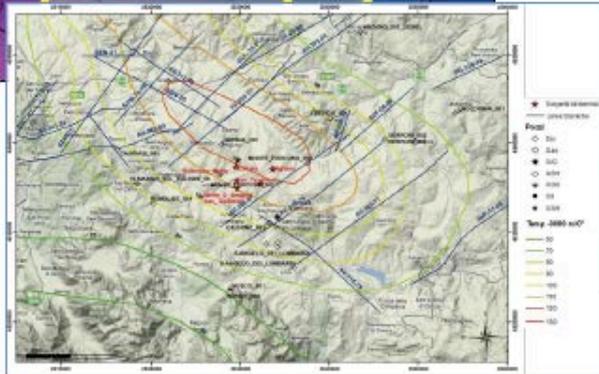
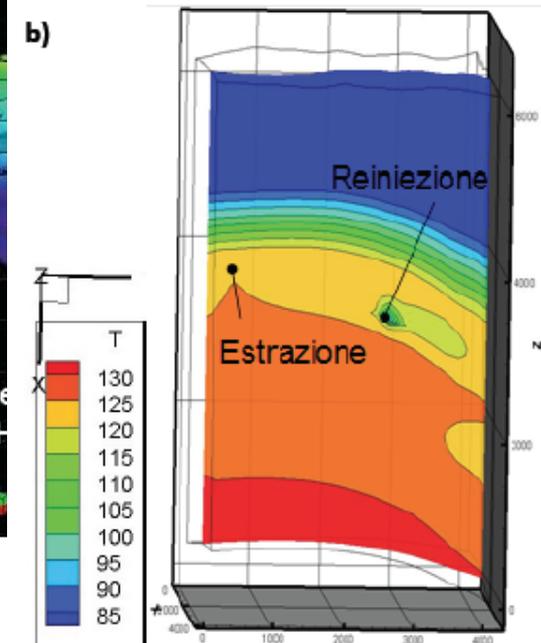
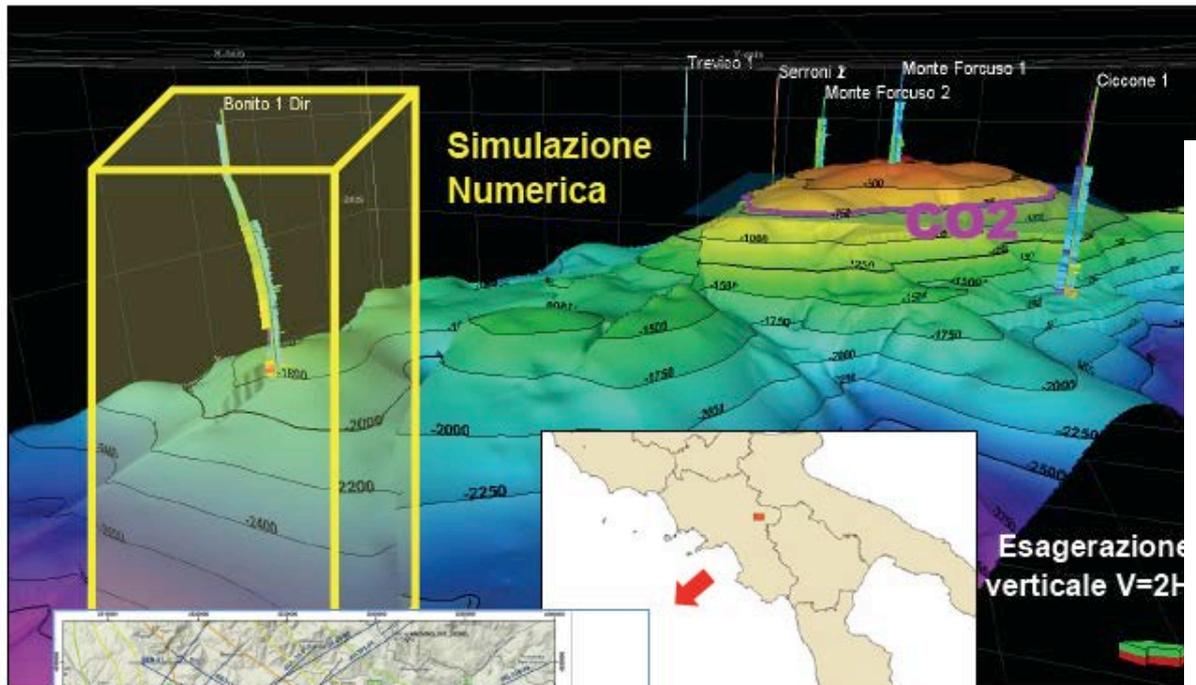
- a. *Tutti gli elaborati dello studio di fattibilità tecnico*
- b. *Cartografia del luogo dell'intervento, ovvero dei pozzi di estrazione e iniezione, e del luogo dell'impianto;*
- c. *Studio di Fattibilità Tecnico/economica;*
- d. *Planimetria generale dell'edificio (se climatizzazione) o dell'impianto (se uso diretto)*
- e. *Schema impiantistico del sistema*
- f. *Preventivo di massima del costo di investimento*
- g. *Simulazione ambientale del sistema*
- h. *Simulazione energetica del funzionamento del sistema*
- i. *Analisi di fattibilità economica dell'impianto*



a.it



Studi di fattibilità: modelli concettuali, simulazioni numeriche

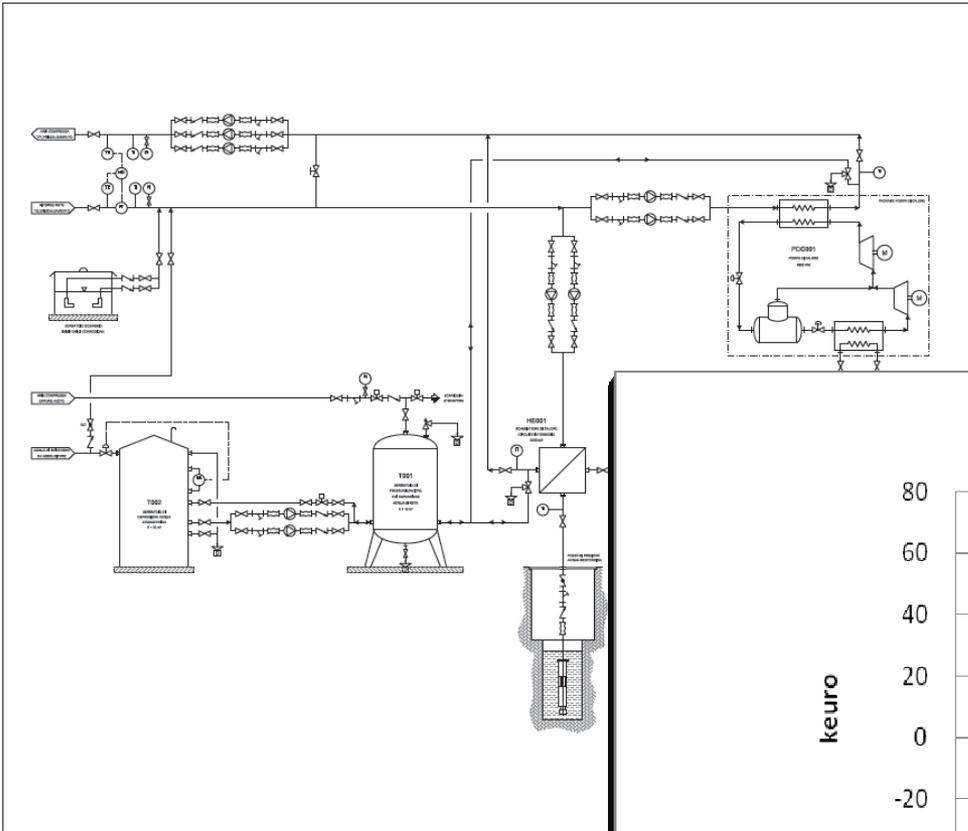


a)

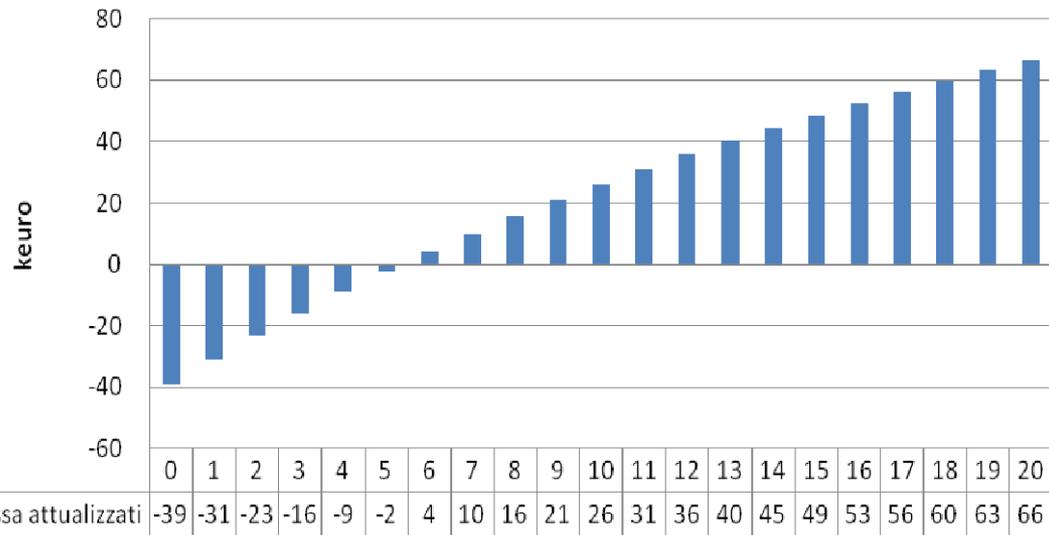




Studi di fattibilità: proposte impiantistiche, valutazioni economiche



Flussi di cassa attualizzati





Tra i nostri prodotti

Fotografa il quadro normativo e l'iter autorizzativo cui è soggetta la realizzazione di un impianto geotermico nelle Regioni della Convergenza.

ultimo aggiornamento gennaio 2014

Il documento è disponibile sul nostro sito in formato HTML per la consultazione on-line, o in formato pdf per scaricare l'intero documento



www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA

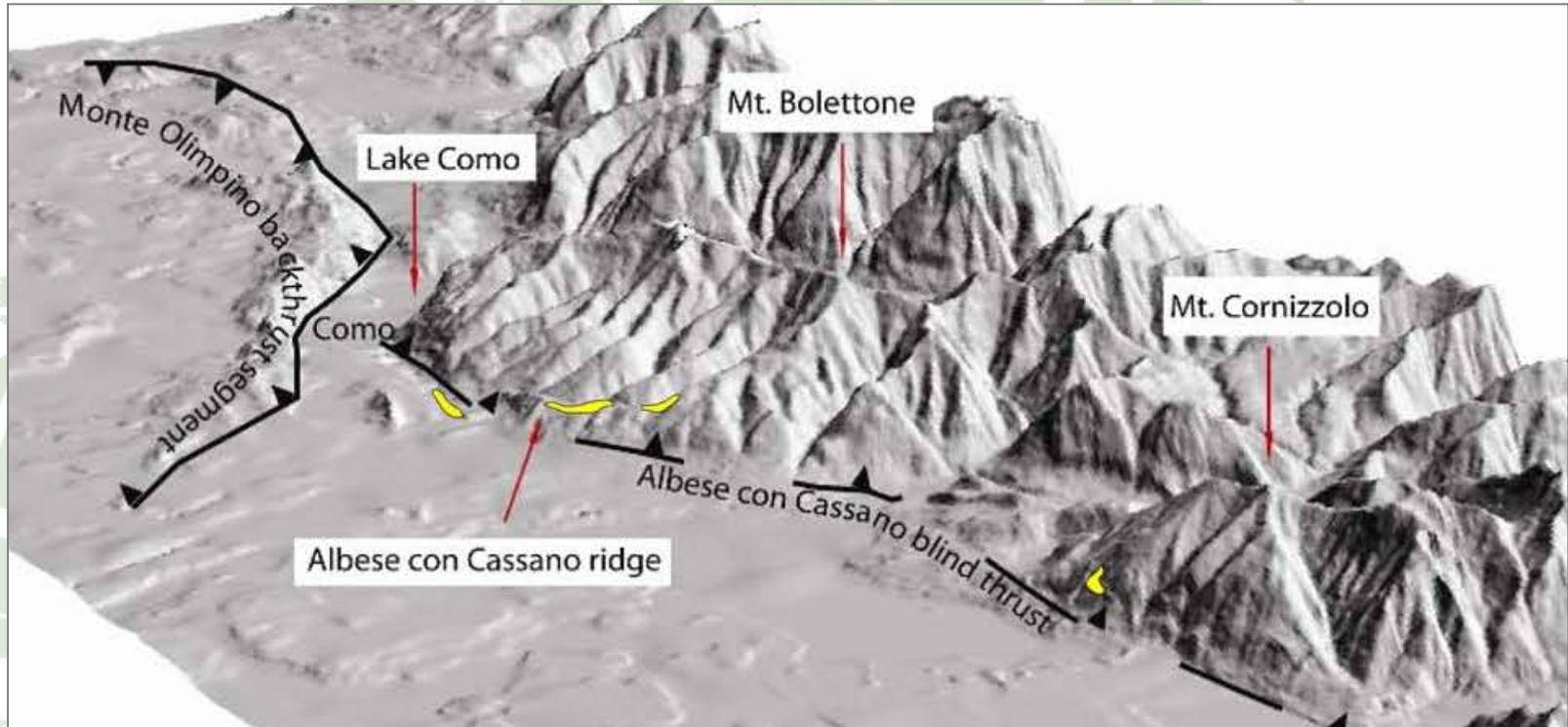


Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO-Inquadramento



Vista 3D dell'area di Como, da Michetti et al. 2012.

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO – Pozzi profondi

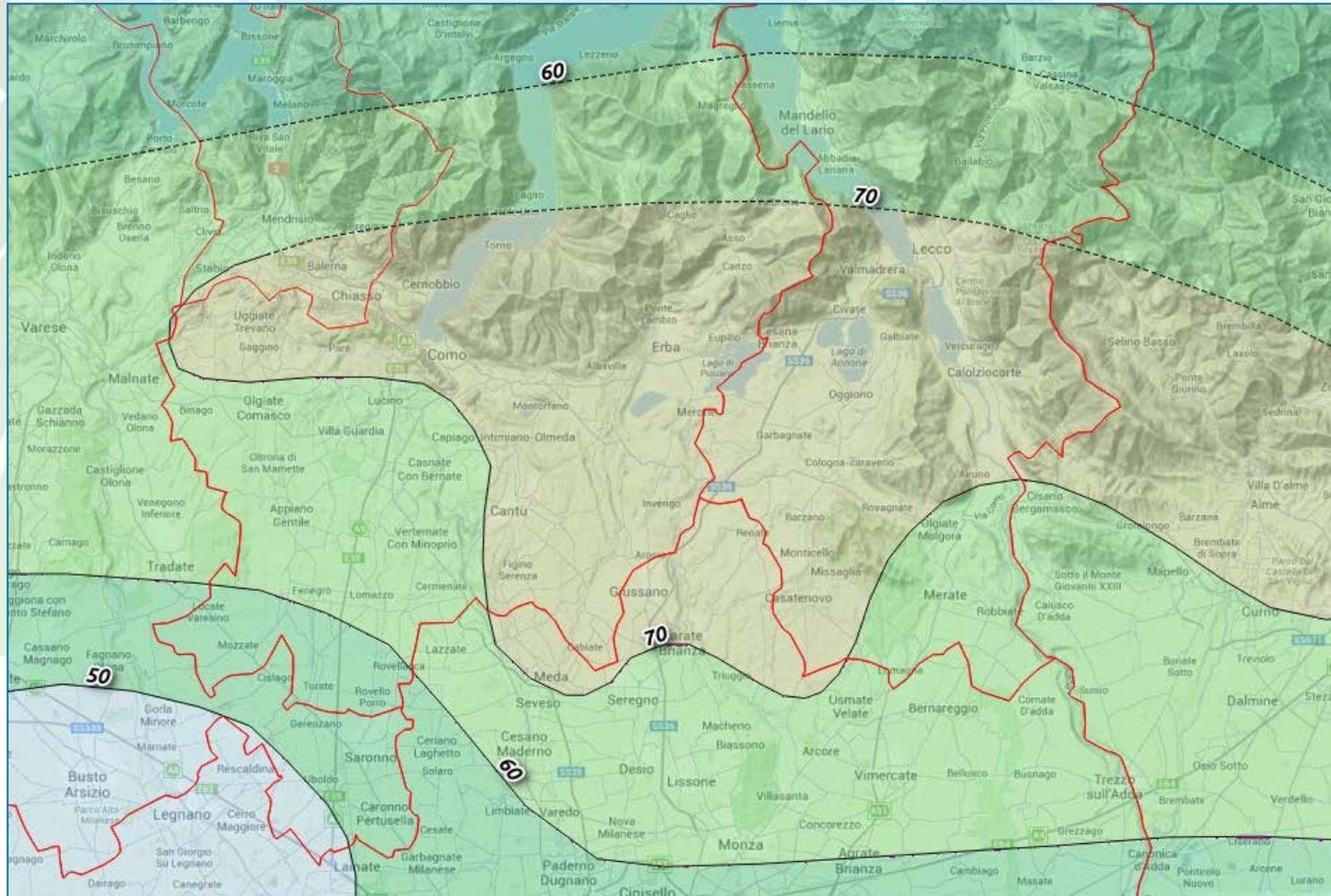
Per la valutazione delle potenzialità geotermiche di un'area i dati più importanti da analizzare sono i “well-logs” ovvero i dati diretti di sottosuolo ottenibili mediante la perforazione di un pozzo più o meno profondo





RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO – Mappe termiche

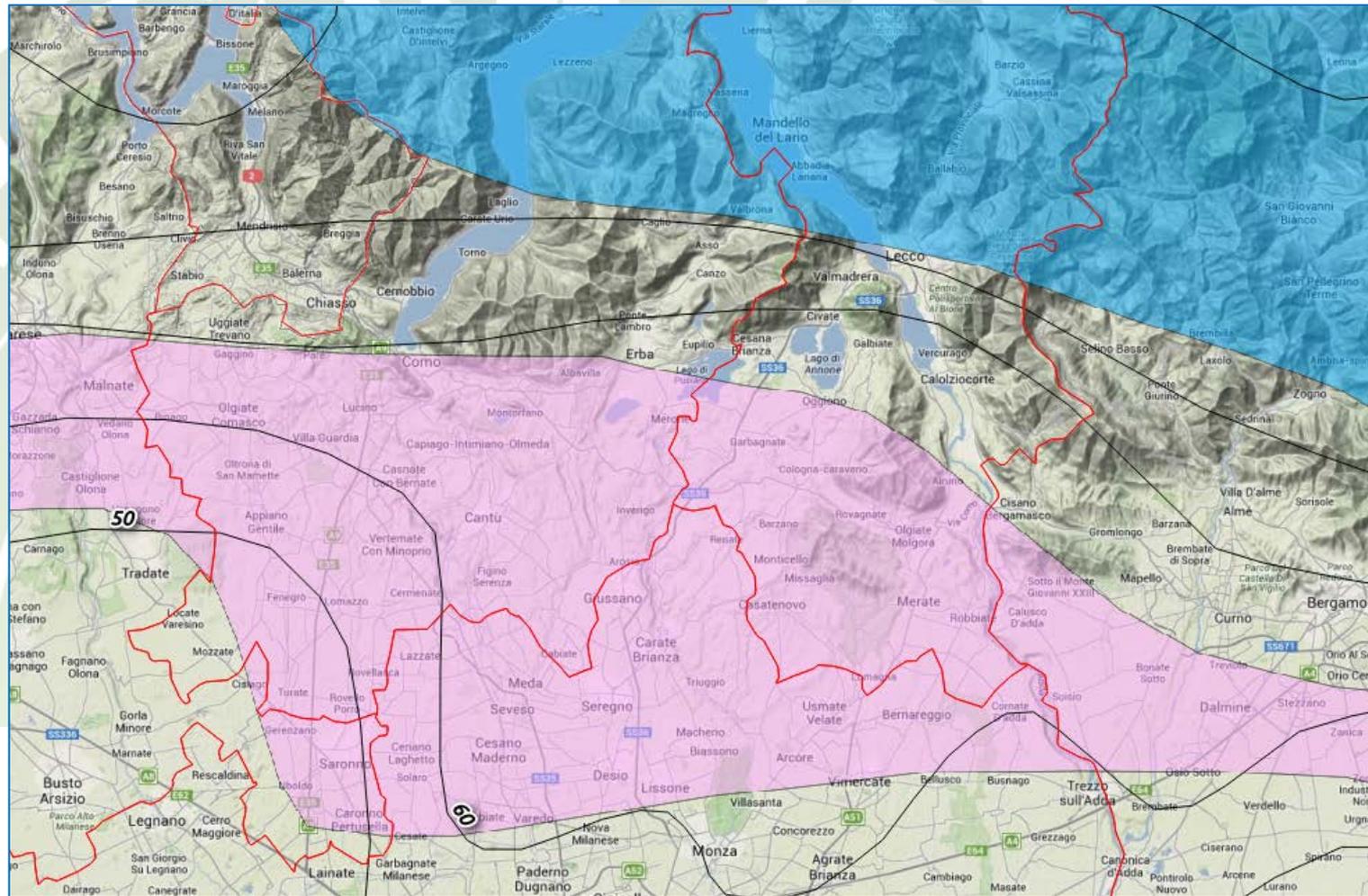
Flusso di calore (isolinee mW/m^2), modificata da Cataldi et al. (1995).
Area di Como valori di circa $70 mW/m^2$





RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO – Mappe termiche

Flusso di calore (isolinee mW/m^2), modificata da Della Vedova et al. (2001)
Area di Como valori di circa $60 mW/m^2$.



Infiltrazione meteorica profonda

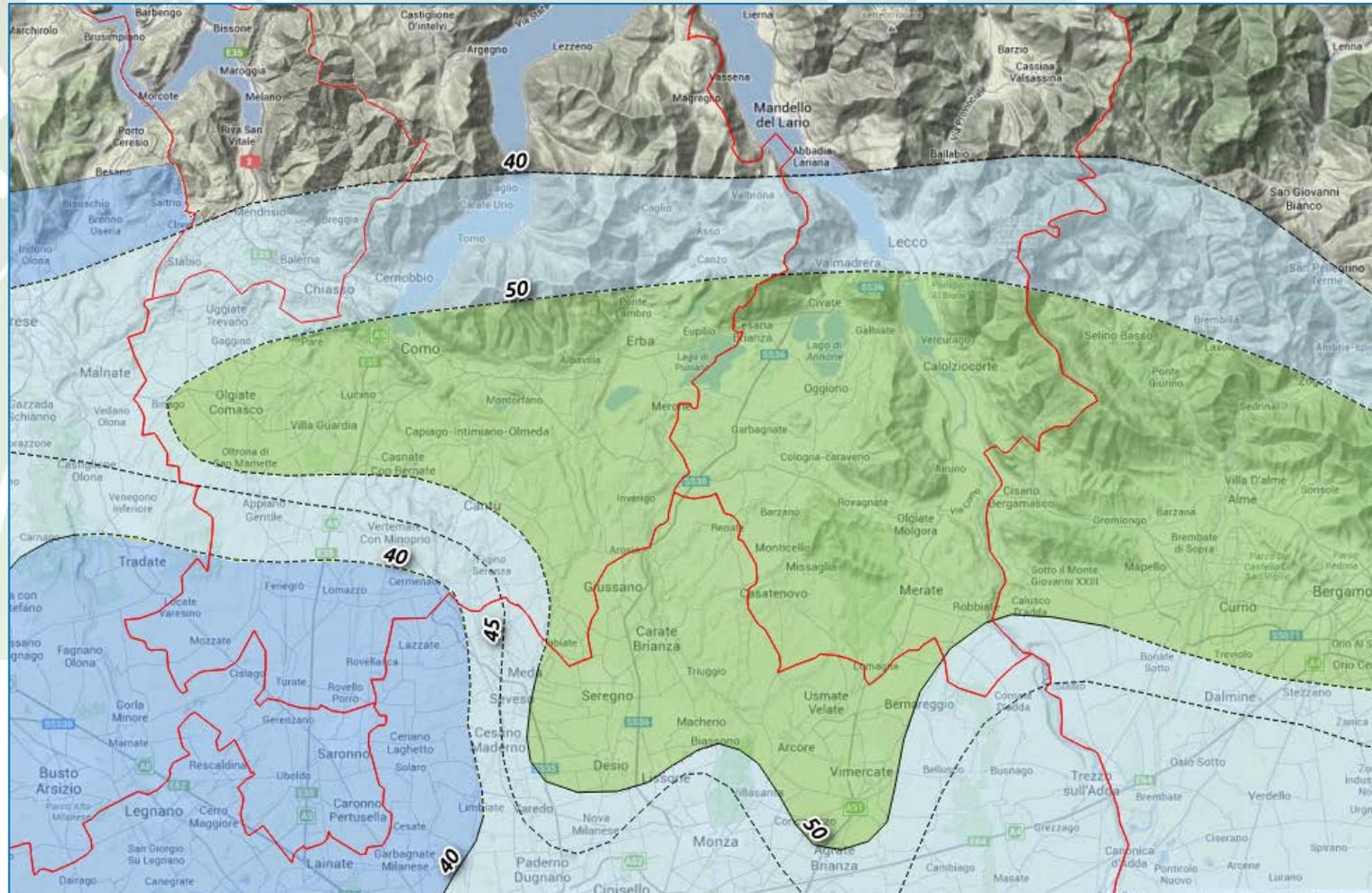


Risalita di fluidi termali attraverso fratture



RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO – Mappe termiche

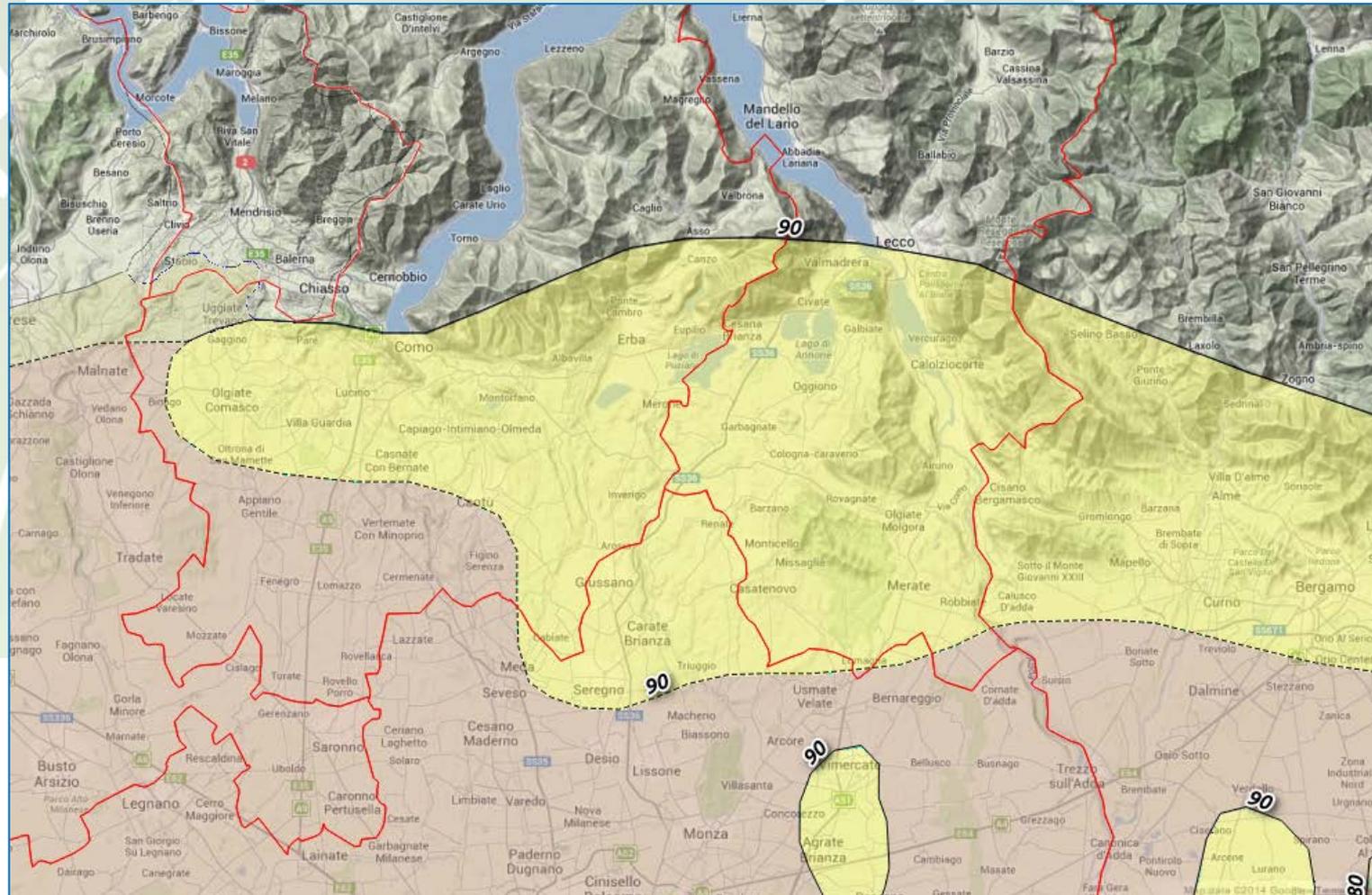
Temperatura a
1000 m dal
piano
campagna,
modificata da
Cataldi et al.
(1995).
Area di Como
valori di circa
50 °C





RACCOLTA PRELIMINARE DATI NELL'AREA DI COMO – Mappe termiche

Temperatura a
3000 m dal
piano
campagna,
modificata da
Cataldi et al.
(1995).
Area di Como
valori di circa
80-90 °C





PROSPETTIVE AREA DI COMO-1

- I dati attualmente disponibili non sono sufficienti per descrivere quantitativamente i potenziali sistemi geotermici ad elevate profondità
 soluzione →
 - raccolta dettagliata di tutte le informazioni di sottosuolo nell'area di studio (dati di pozzo, prospezioni geofisiche anche non disponibili al pubblico)
 - portare a termine un progetto di esplorazione geotermica (prospezioni geologiche, geochemiche e geofisiche, perforazione pozzo esplorativo)
- Secondo le stime preliminari i fluidi geotermici di bassa entalpia potenzialmente presenti a profondità economicamente sostenibili, possono essere utilizzati per svariati usi termici, dal teleriscaldamento distrettuale alle applicazioni in processi produttivi.

www.vigor-geotermia.it





PROSPETTIVE AREA DI COMO-2

- Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica ed eventualmente usi termici in «cascata», il gradiente geotermico estrapolato potrebbe permettere tale applicazione perforando pozzi a profondità molto elevate. In Europa ci sono alcuni esempi di produzione di energia elettrica da risorse di media entalpia in sistemi a profondità di circa 5000 metri.
- Nel nord Italia sono state raggiunte temperature di circa 125 °C a quasi 5000 metri (pozzo Monza1) mentre nel campo ad idrocarburi di Villafortuna-Trecate sono state riscontrate temperature di oltre 165 °C a profondità superiori a 6000 metri.
- L'assenza di strumenti assicurativi efficaci del rischio minerario geotermico (paragonabili al sistema tedesco) e l'incertezza sui regimi di incentivazione della normativa italiana rappresentano un ostacolo per lo sviluppo di tali applicazioni.

www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



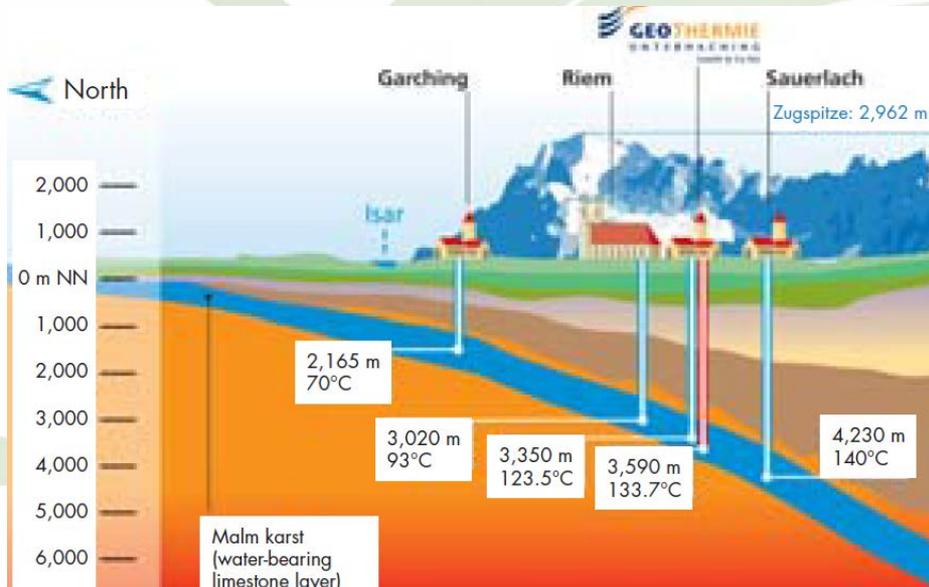
Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Esempio in Germania

Produzione di energia elettrica e teleriscaldamento distrettuale, Unterhaching (DE), Source: Bine Informationsdienst (a)



Source: Bine Informationsdienst (b)

Produzione di energia elettrica da impianto ORC Turboden, 5MW, Sauerlach (DE), da Bonafin 2013





Grazie per l'attenzione



www.vigor-geotermia.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche
DTA



Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Programma Operativo Interregionale
ENERGIE RINNOVABILI E
RISPARMIO ENERGETICO
2007 - 2013

Una scelta illuminata



Bibliografia

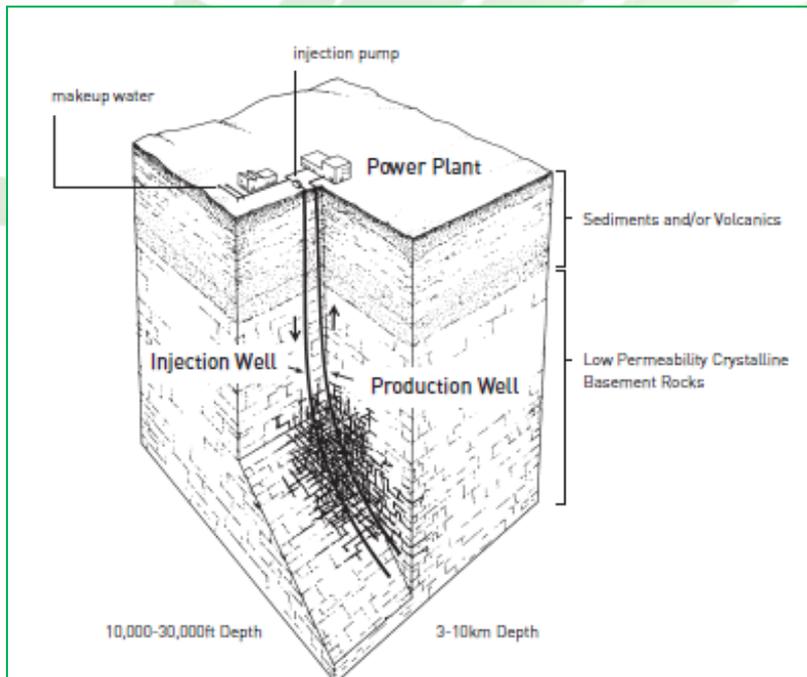
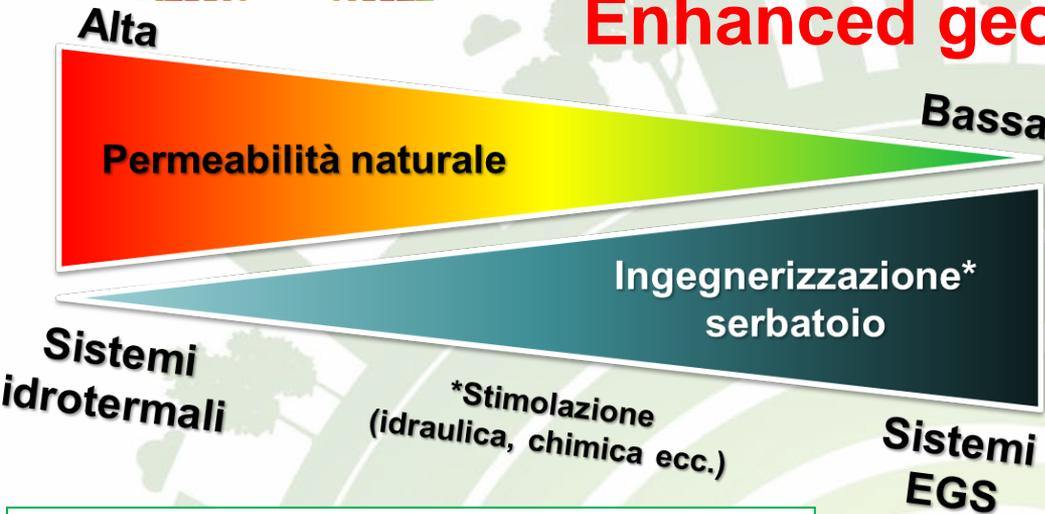
- Barelli et alii, 2010: A Review of the Mt. Amiata Geothermal System (Italy). Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali.
- Bertani, 2010: Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update report. Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali.
- Bine informationsdienst (a): <http://www.bine.info/themen/erneuerbare-energien/geothermie/publikation/geothermische-stromerzeugung-im-verbund-mit-waermenetz/>
- Bine informationsdienst (b): http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_1009_engl_internetx.pdf
- Bonafin J., 2013: Turboden Geothermal references in Bavaria: technology, drivers and operation. Proceedings of European Geothermal Congress.
- Cataldi et alii, 1995: Geothermal ranking of Italian territory. Geothermics, Vol. 24, 1.
- Della Vedova et alii, 2001: Deep temperatures and surface heat flow distribution. In: Vai G.B. & Martini I.P., eds., Anatomy of an Orogen. The Apennines and adjacent Mediterranean basins. Kluwer Ac. Publ., Great Britain, pp. 65-76.
- Dickson and Fanelli, 2004: What is geothermal energy?, http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html#c256
- Michetti et alii, 2012: Active compressional tectonics, Quaternary capable faults and the seismic landscape of the Po plain (northern Italy). Annals of geophysics, 55, 5.
- Minissale et alii, 2012, Circolazione termale nei calcari mesozoici della Sicilia (occidentale), Seminario Progetto VIGOR, Palermo. http://www.vigor-geotermia.it/images/download/pres_semi/palermo/9_Minissale_14_novembre_2012.pdf
- MIT, 2006: The future of geothermal energy, 358 pp.
- Stober et al., 2013: Geothermal energy. Springer, 289 pp

www.vigor-geotermia.it



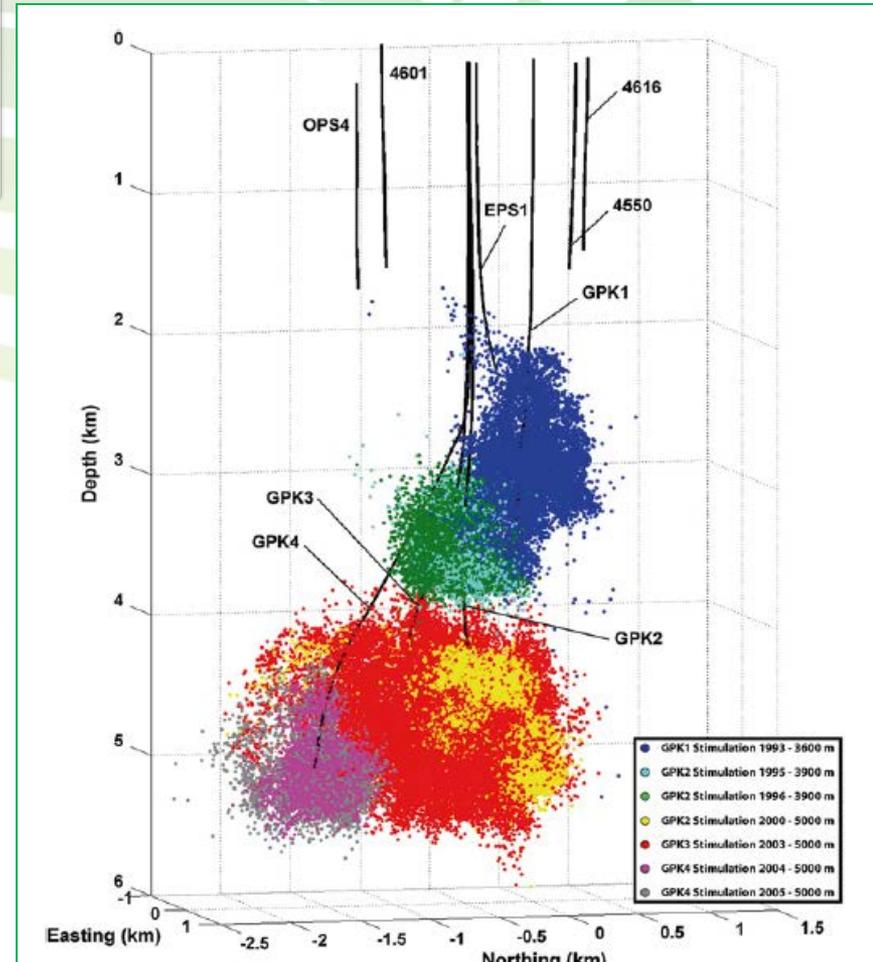


APPENDICE 1- Sistemi non convenzionali: Enhanced geothermal systems (EGS)



da MIT 2006: The future of geothermal energy.

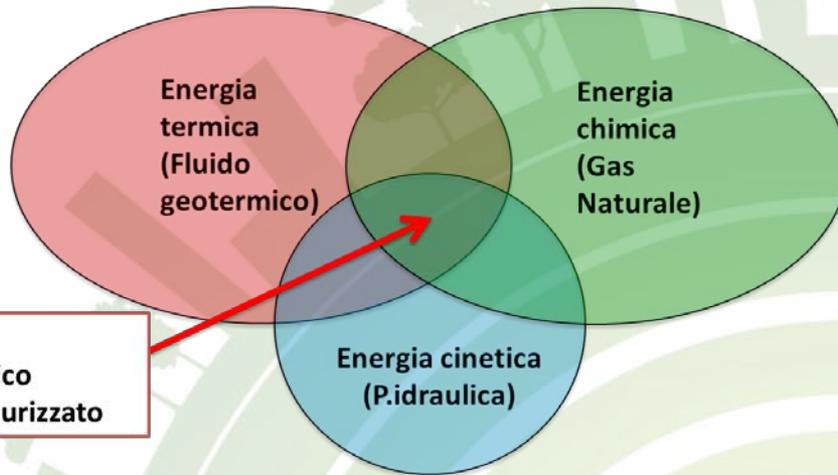
da Stober et al., 2013





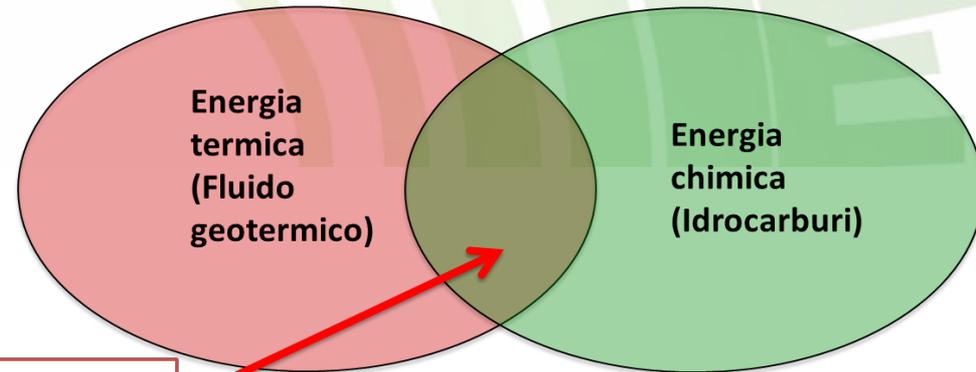
APPENDICE 2-

Sistemi non convenzionali: Geopressurizzati e coprodotti



“Pleasant Bayou” Geopressured Plant

RMO Testing Center,
Unità “ORMAT” 250 KW



Sistema geotermico coprodotto

