

# Lo studio delle temperature in una porzione di sottosuolo della pianura padana (GeoMol project) e potenziali applicazioni in aree montane.

*Fabio Carlo Molinari*

*Giulio Torri*

*Alberto Martini*



## **PREMESSA:**

**Nella prima parte della presentazione verranno presentati i risultati ottenuti nel Progetto Europeo «GeoMol» relativi al modello delle temperature e alla valutazione dei geo-potenziali ed in particolare della risorsa geotermica.**

**Il progetto ha fruito della collaborazione di 14 partner provenienti da 6 paesi. Per l'area pilota italiana i partner sono stati :**

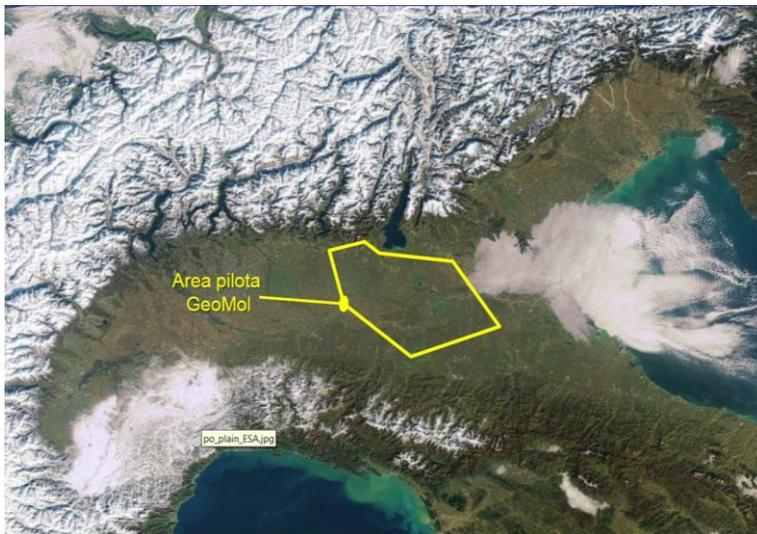


**Mentre nella seconda parte verranno presentate le valutazioni preliminari sulla risorsa geotermica presente nel settore appenninico della nostra regione e potenziali sviluppi di ricerca futuri.**

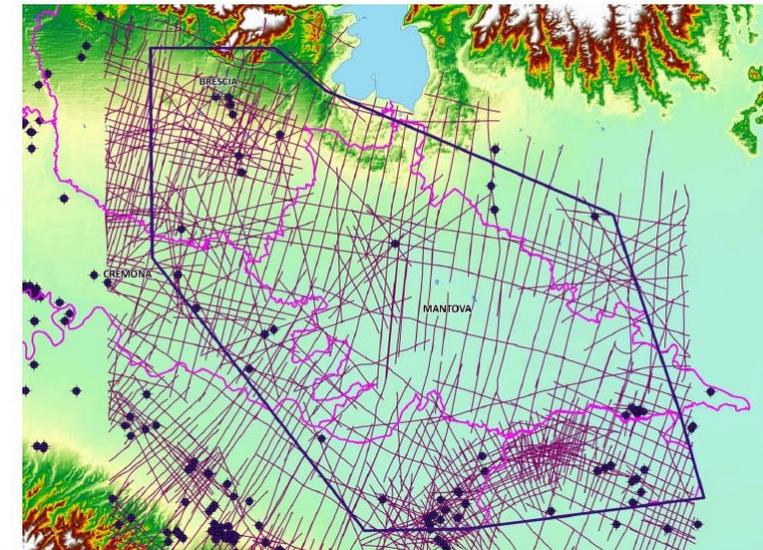
# II PROGETTO «GEOMOL»

Obiettivo principale del progetto è stata l'elaborazione di un modello Geologico 3D basato su metodi comuni di costruzione e analisi . Un modello geologico 3D è un prerequisito per:

- la conoscenza delle strutture geologiche nelle loro interezza (volumi/faglie)
  - Valutazione delle potenziali risorse nel sottosuolo
  - Supporto alla valutazione di possibili impatti dovuti allo sfruttamento dello stesso



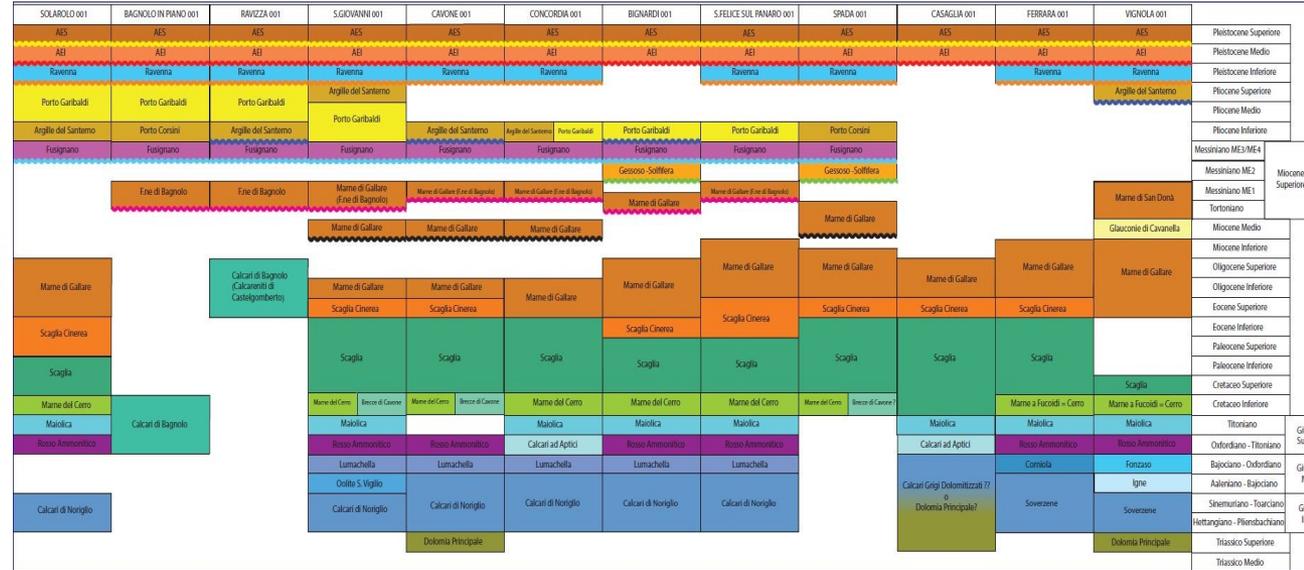
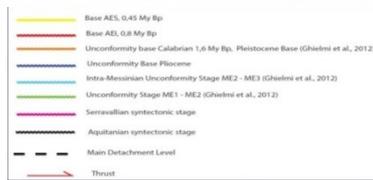
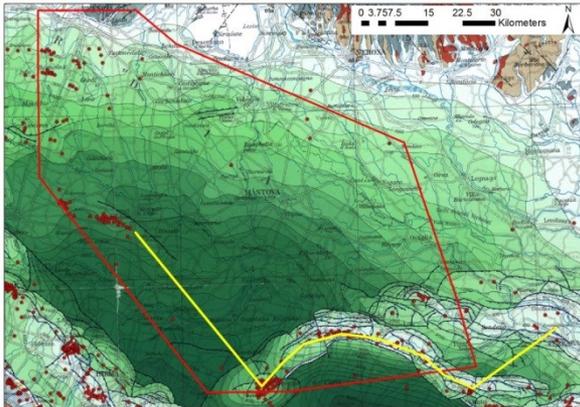
L'area pilota italiana è ubicata in pianura padana e in particolare in una porzione della provincie di Mantova, Brescia , Cremona Reggio Emilia e Modena.



Dati di sottosuolo : 807 profili sismici per un totale di 12.200 Km 126 pozzi E&P. Questo ha consentito di poter interpretare i dati di sottosuolo su una network molto fitto che ha consentito di avere un notevole dettaglio e controllo della fase interpretativa.

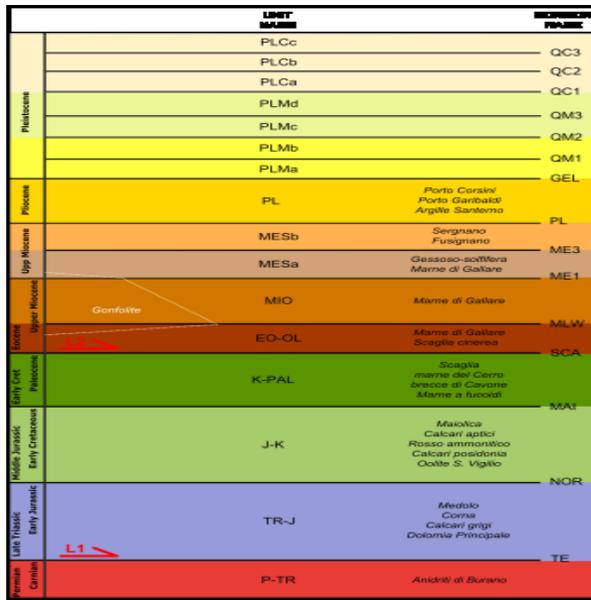
# INTERPRETAZIONE GEOLOGICA

## Transetti Stratigrafici e principali superfici geologiche correlate



## Principali superfici geologiche correlate

Le informazioni stratigrafiche contenute nei dati di pozzo hanno permesso di ricostruire dei transetti stratigrafici di sintesi in cui vengono evidenziate le principali superfici stratigrafiche e/o i principali limiti di sequenza /«unconformity» che sono stati correlati nel sottosuolo nel network di profili sismici a riflessione presso la data room ENI



# INTERPRETAZIONE GEOLOGICA

## ESEMPIO DI INTERPRETAZIONE DI UN PROFILO SISMICO

### Strutture Appenniniche – Settore Pieghe Emiliane

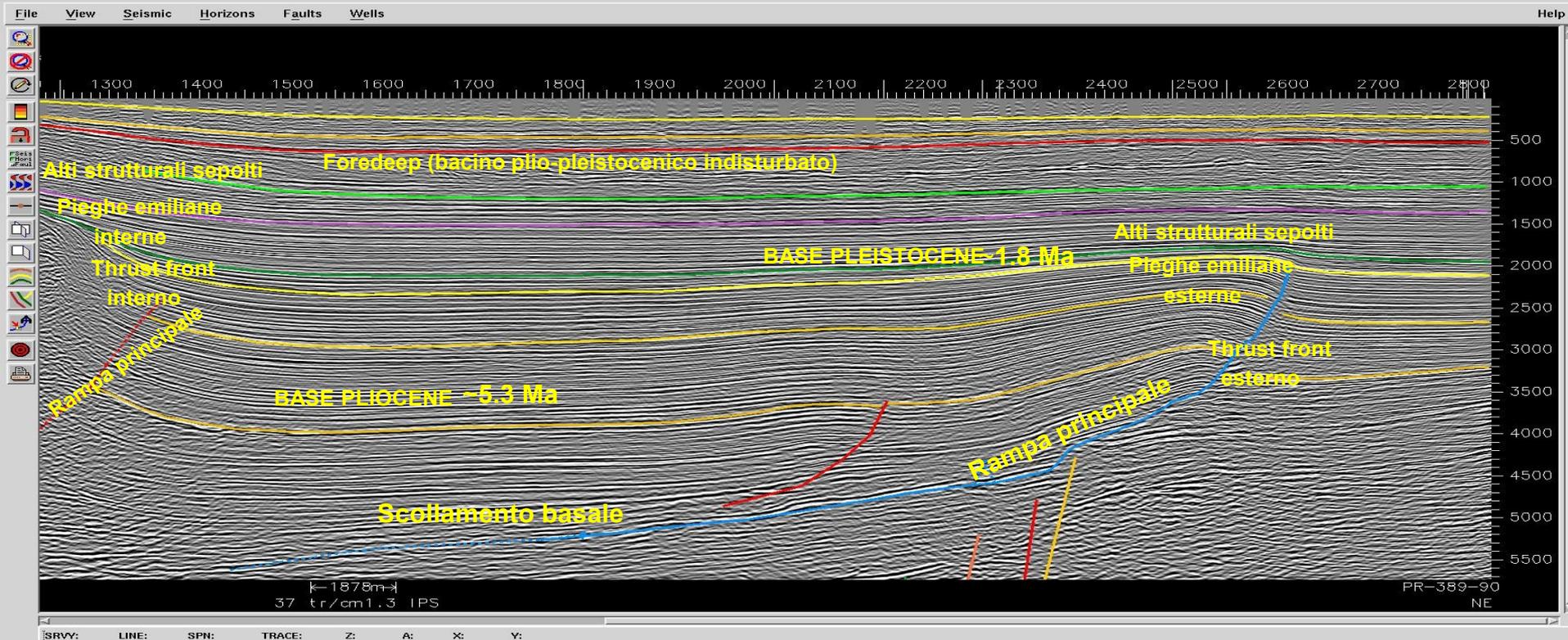
Esempio di interpretazione, su un profilo sismico a riflessione, delle principali superfici stratigrafiche e delle principali fratture in un settore di bacino all'interno dell'area pilota italiana.

In questo settore di bacino viene preservata in continuità di sedimentazione tutta la successione plio-pleistocenica indisturbata. La base del Pliocene raggiunge i 7-8 Km di profondità.

| Unità | Stratigrafia  |
|-------|---|
| PLCo  | QC3   |
| PLCb  | QC2   |
| PLCa  | QC1   |
| PLM3  | QM3   |
| PLM2  | QM2   |
| PLM1  | QM1   |
| PLM0  | GEL   |
| PL    | Piatta Costiera<br>Punta Gattaioli<br>Alpi Apennine     |
| MESb  | Scoglio<br>Favosites                                    |
| MESa  | Scoglio<br>Favosites                                    |
| MIO   | Marini di Gattaioli                                     |
| EO-DL | Marini di Gattaioli<br>Favosites                        |
| K-PAL | Scoglio<br>Favosites<br>Marini di Gattaioli             |
| J-K   | Mudica<br>Castell'alto<br>Favosites<br>Dolci G. Sigillo |
| TR-U  | Mudica<br>Castell'alto<br>Dolci G. Sigillo              |
| P-TR  | Altipi di Bussano                                       |

Sud

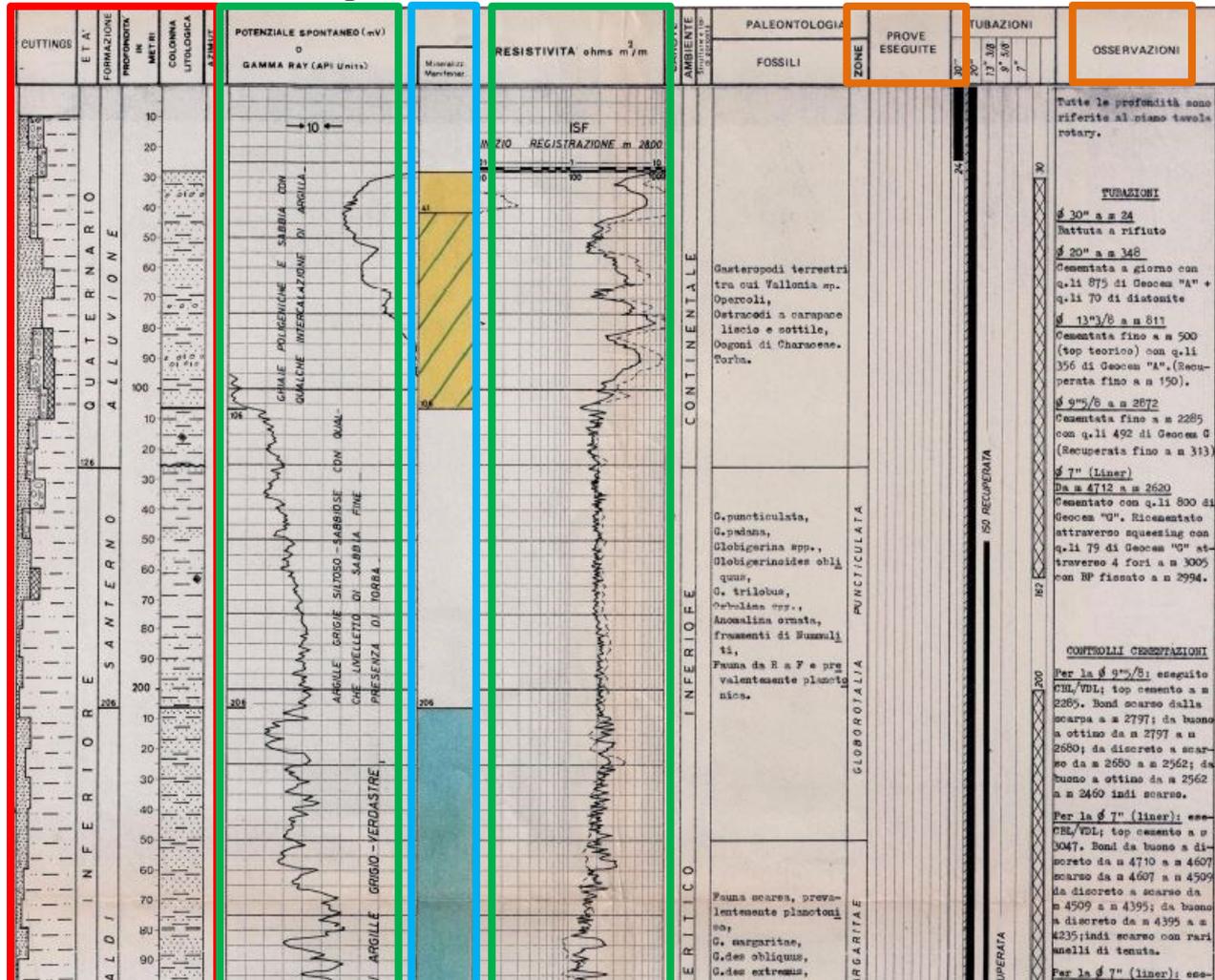
Nord



# INTERPRETAZIONE GEOLOGICA e MINERARIA

## ESEMPIO DI INFORMAZIONI MINERARIE DERIVANTI DAI DATI DEI POZZI DI E&P

1. Stratigrafia – Litologia;
2. Contenuto in fluidi delle rocce;
3. Caratteristiche petrofisiche e idrogeologiche delle successioni stratigrafiche perforate;
4. Misure di temperatura;



# Informatizzazione dei dati, software Microsoft Access

Un importante fase è stata quella di informatizzare, in una banca dati dedicata, i dati derivanti dai profili di pozzo E&P . La banca dati è diventato uno strumento indispensabile a supporto dell'interpretazione e delle successive fasi di elaborazione del modello geologico 3D e delle valutazioni delle geo-risorse, in particolare della risorsa geotermica

The image displays the Microsoft Access interface for the 'Database Pozzi Idrocarburi'. It shows the integration of well log data into a database form for 'POZZO CONCORDIA 1'.

**Well Log Plot (Left):** Shows depth (0-90m) and temperature (3700-3800). Key depths are 3852m and 3851m. The plot is labeled 'CALCARI' and 'SCARSI'. The bottom section is labeled 'Eocene Superiore-Medio'.

**Database Form (Center):** 'POZZO CONCORDIA 1'. Fields include:

- PROFONDITA' RAGGIUNTA: 5000
- INIZIO PERFORAZIONE: 29/01/1981
- PRODUZIONE:
- PROFONDITA': 3852
- TEMPERATURE: MISURATA, CALCOLATA
- PRESSIONE DI FORMAZIONE
- TIPO DI CONTATTO GEOLOGICO: **CONTATTO TETTONICO**

**Temperature Log (Right):** 'TEMPERATURE DAI LOGS ELETTRICI'. Data points:

- A m 347 = 40,5°C.
- A m 807 = 56°C. Statica (calcolata) = 58°C.
- A m 2878 = 68,8°C. Statica (calcolata) = 71,7°C
- A m 3971 = 79,4°C. Statica (calcolata) = 83°C
- A m 4390 = 88,3°C. Statica (calcolata) = 89,6°C
- A m 4723 = 93°C. Statica (calcolata) = 103°C.

**Database Form (Right):** 'POZZO CONCORDIA 1'. Fields include:

- PROFONDITA' RAGGIUNTA: 5000
- INIZIO PERFORAZIONE: 29/01/1981
- PRODUZIONE:
- PROFONDITA': 807
- TEMPERATURE: MISURATA: 56, CALCOLATA: 58
- PRESSIONE DI FORMAZIONE
- TIPO DI CONTATTO GEOLOGICO

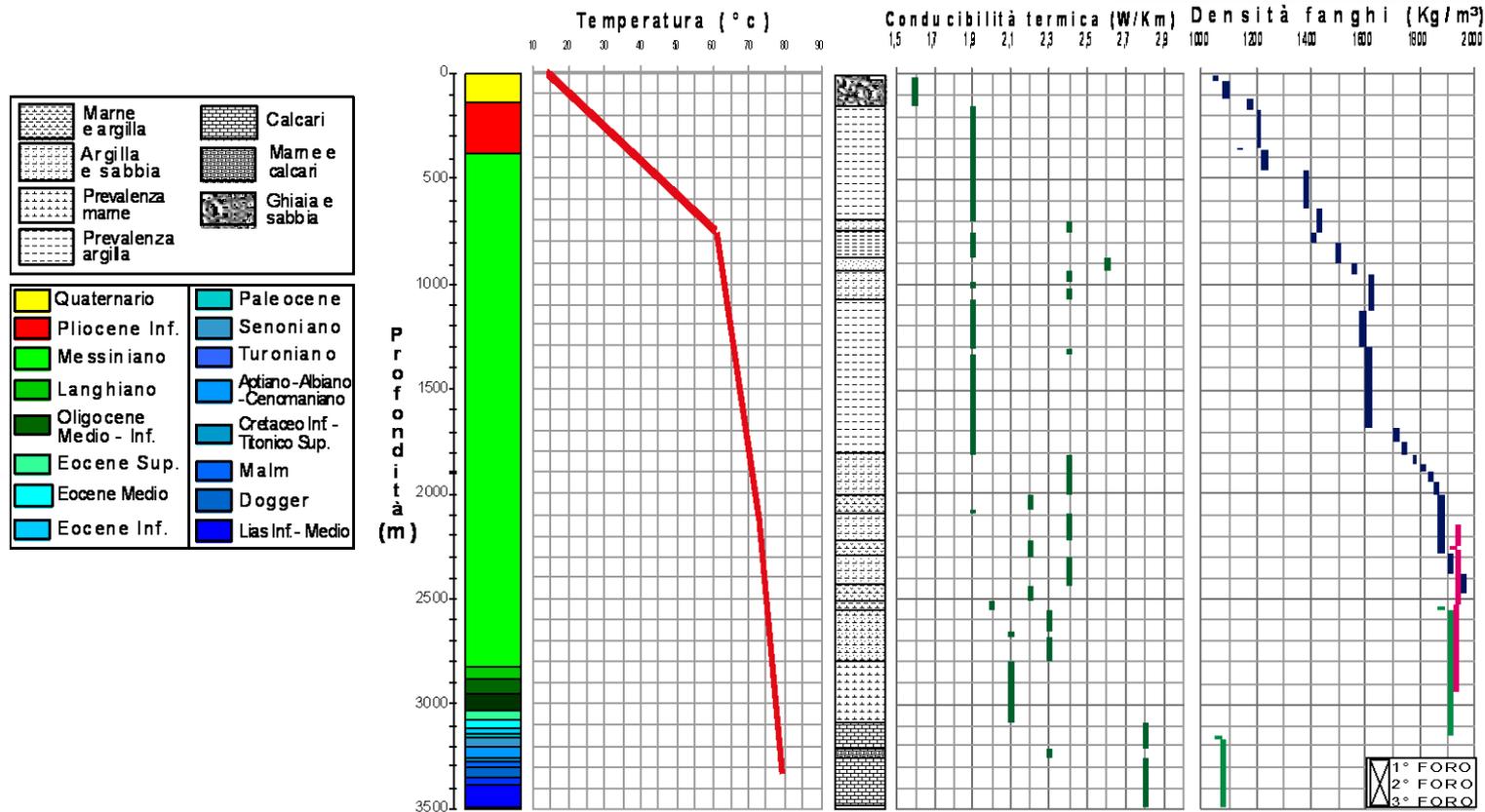
Red arrows indicate the data flow: from the well log plot to the 'PROFONDITA'' field, and from the temperature log to the 'TEMPERATURE' fields.

# Esempio di elaborazione di alcuni parametri derivanti dai dati di pozzo.

## POZZO BIGNARDI 1 DIR

Lat. 44° 51' 42"N Long. 1° 20' 55"W

Anno perforazione: 1981  
Profondità totale: 3489m  
Quota tavola Rotary (s.l.m.): 27,60m  
Quota piano campagna (s.l.m.): 20m



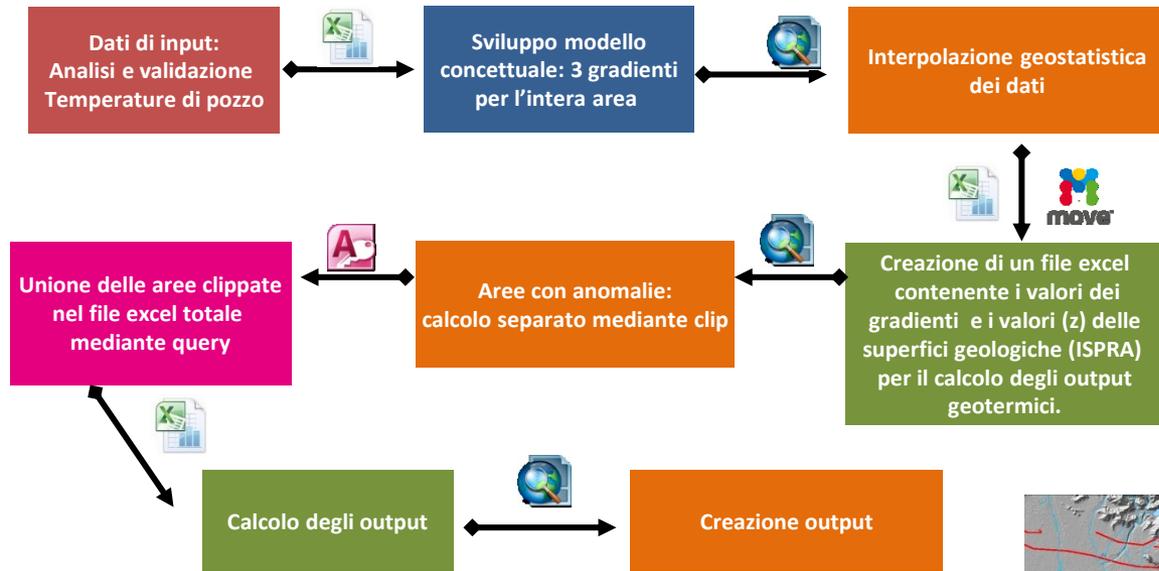
### Implementazione e Sintesi dei dati di pozzo

Le diverse informazioni contenute nei dati di pozzo, una volta informatizzate, consentono di elaborare degli schemi di sintesi degli stessi in cui possono essere evidenziati diversi dati tematici; è stato anche possibile in funzione degli obiettivi di progetto implementare la banca dati con informazioni aggiuntive di carattere bibliografico.

# MODELLO DELLE TEMPERATURE

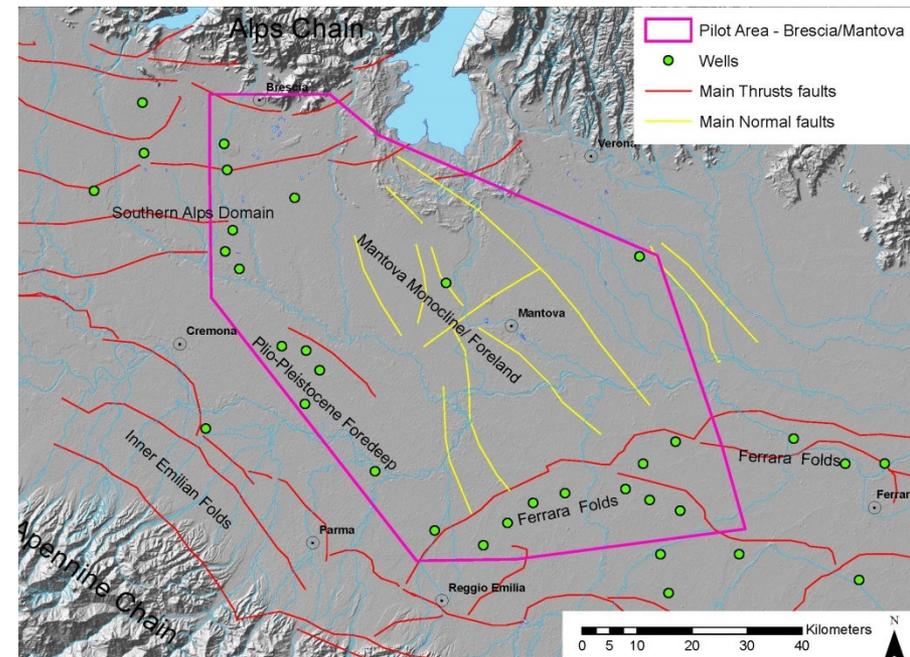
Il **SGSS** ha seguito, oltre alla fase di interpretazione geologica del sottosuolo, anche l'elaborazione di un **Modello delle Temperature** basato sul **Modello Geologico 3D**.

## Workflow del modello delle temperature nell'Area Pilota Italiana

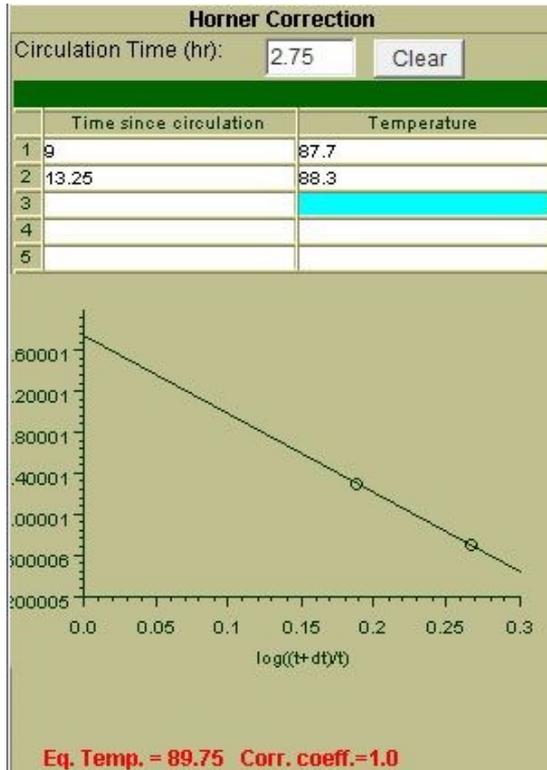


1. Analisi e validazione dei dati di temperatura;
2. Calcolo dei gradienti nei singoli pozzi, creazione di shape appositi e quindi loro regionalizzazione mediante geostatistica;
3. Sviluppo di un foglio di calcolo excel per il calcolo degli output mediante il match fra i gradienti e i valori in profondità ricavati dal modello geologico 3D.
4. Creazione degli output in ambiente Gis.

## Il Dataset: 39 pozzi E&P



# Metodi Utilizzati per l'analisi e la validazione delle temperature



## Horner, (1951)

Uno dei metodi più utilizzati; necessita delle «temperature time series», diverse registrazioni di temperatura alla stessa profondità, con diversi tempi di stop dalla circolazione dei fanghi in foro.

$$T_{\infty} = BHT + \frac{Q}{4\pi K_{in}} \left[ E_1 \left( \frac{r_b^2}{4k_{in} t_e} \right) - E_1 \left( \frac{r_b^2}{4k_{in} (t_c + t_e)} \right) \right]$$

## Zschocke, (2005)

Metodo di tipo cilindrico. Algoritmo molto specifico, poiché tiene conto di parametri fisici del pozzo (raggio del foro) e caratteristiche petro-termiche delle rocce attraversate.

$$T_{\infty PPH} = BHT + (18.9z - 2.7^2) \ln \left( 1 + \frac{t_c}{t_e} \right)$$

$$T_{\infty ABA} = BHT + (16.3z - 2.1^2) \ln \left( 1 + \frac{t_c}{t_e} \right)$$

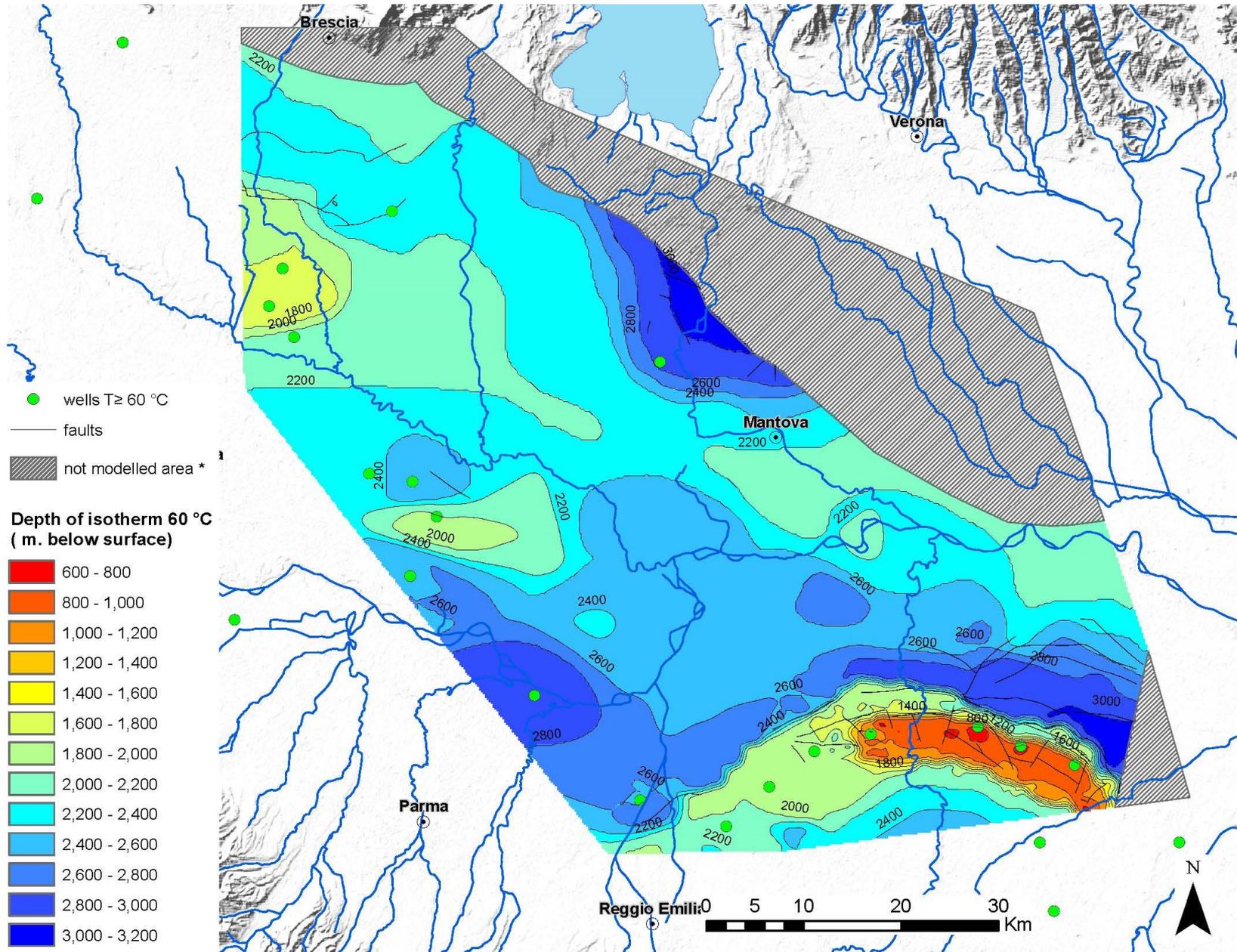
## Pasquale et al., (2008)

Metodo sviluppato per l'area del bacino del Po. E' prevista una soluzione per l'area del bacino piemontese e sudalpino (PPH) ed una per l'arco sepolto appenninico (ABA).

$T_{\infty}$  = temperatura di strato o formazione

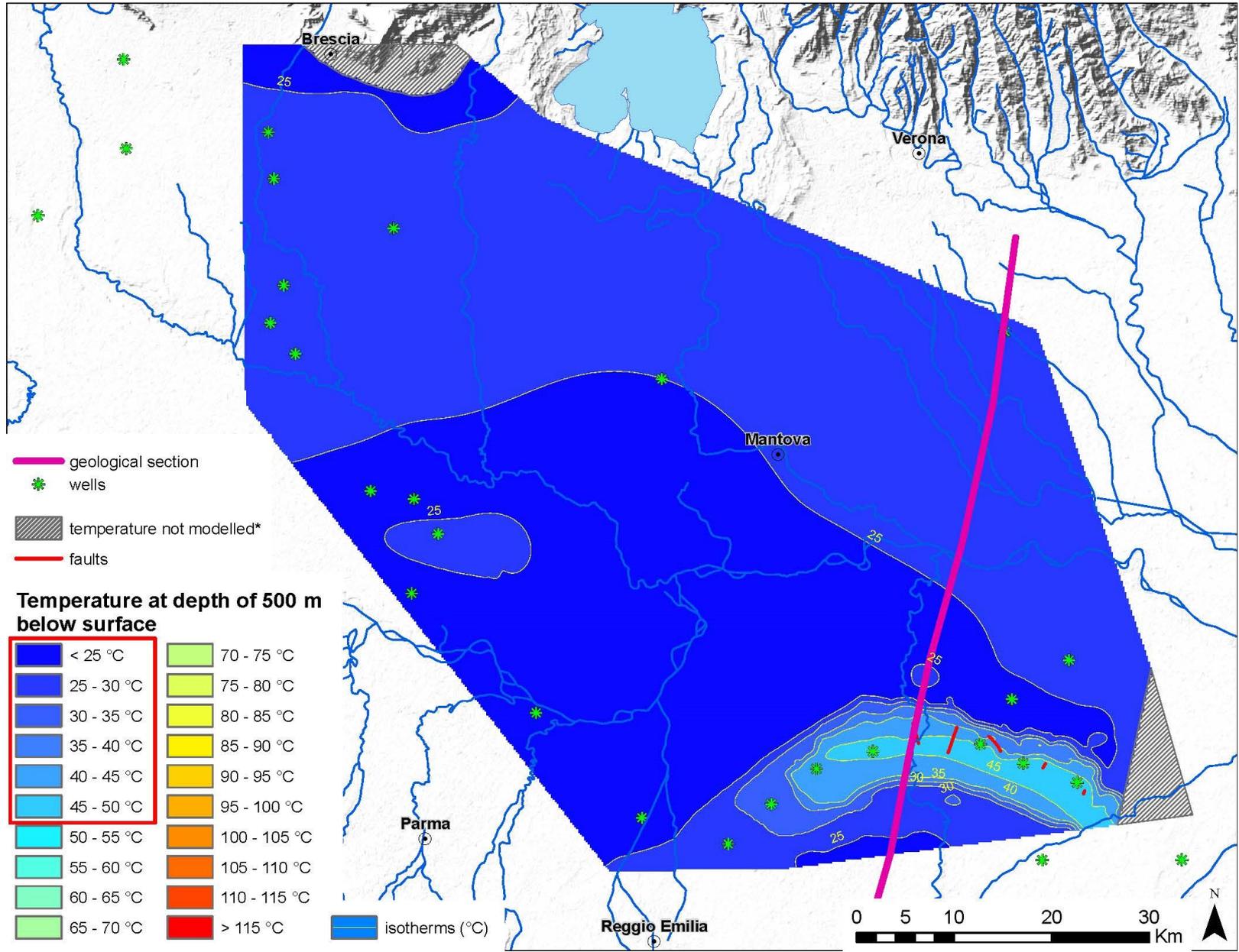
# Esempi di Outputs Modello delle Temperature

## MAPPA DELLA PROFONDITA' DELL'ISOTERMA DEI 60°C



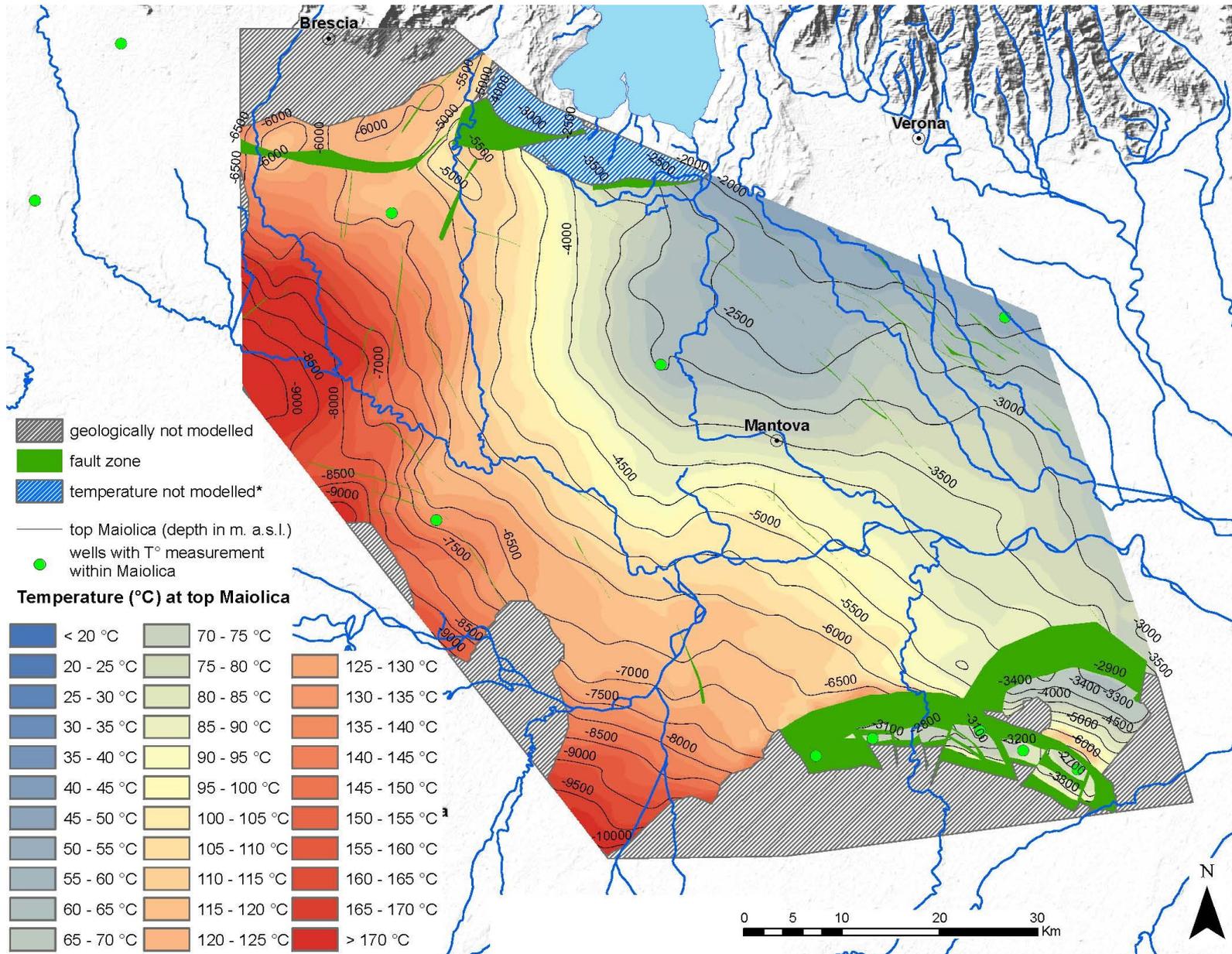
# Esempi di Outputs Modello delle Temperature

## MAPPA DELLA TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 500 m



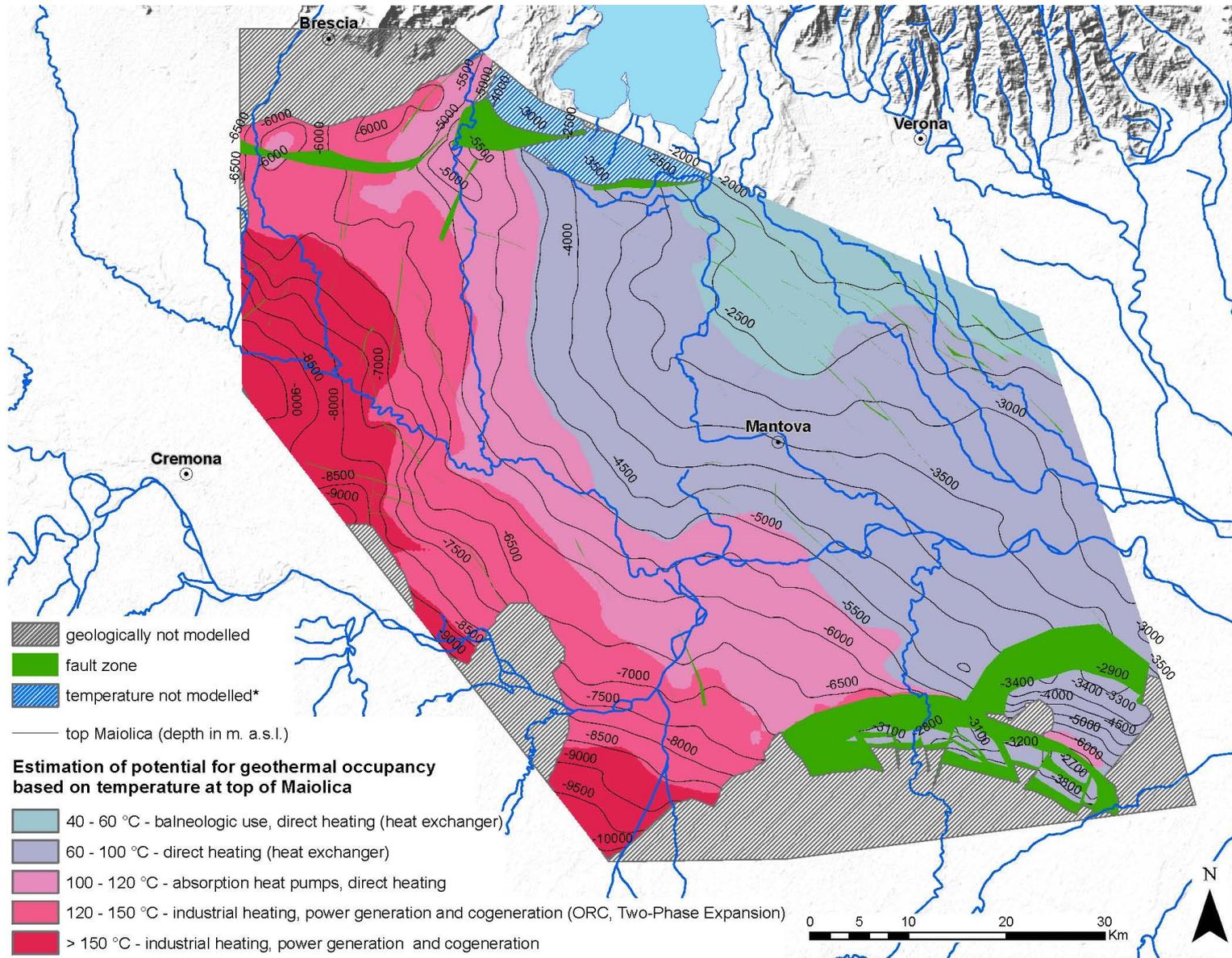
# Esempi di Outputs Modello delle Temperature

## MAPPA DELLA TEMPERATURA AL TOP DELLA FORMAZIONE DELLA «MAIOLICA»

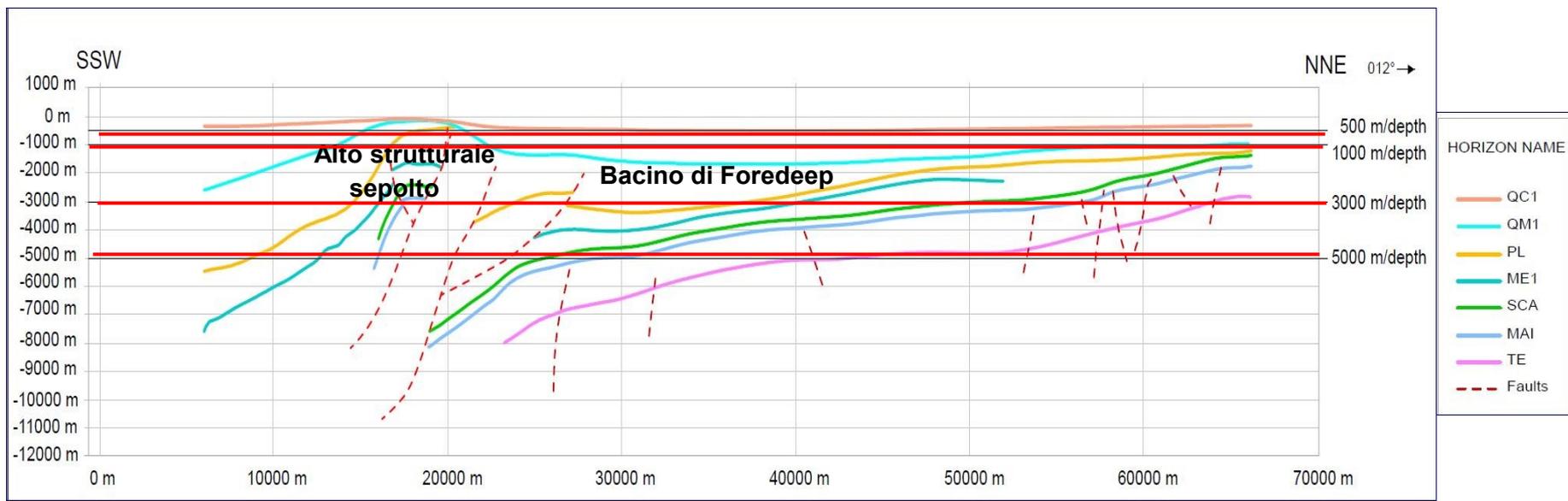
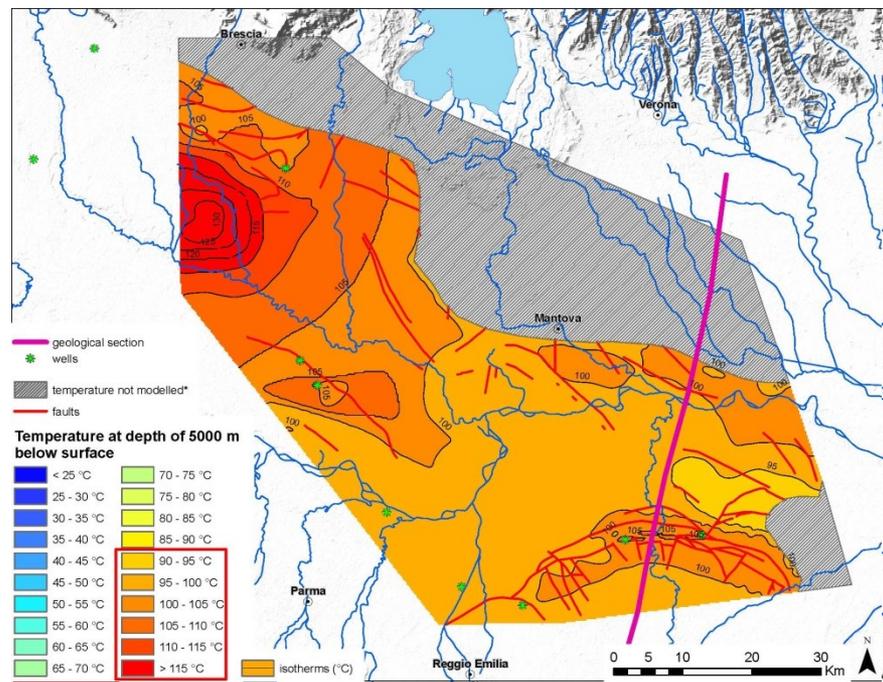
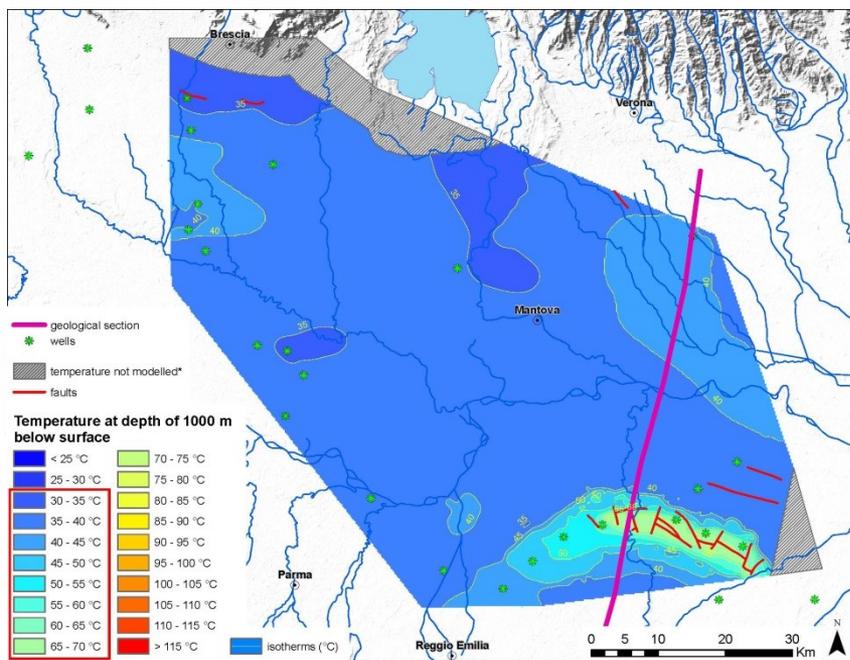


# Esempi di Outputs Modello delle Temperature

## STIMA DEI POTENZIALI UTILIZZI DELLA RISORSA GEOTERMICA



# Distribuzione delle temperature in funzione dell'assetto strutturale profondo



# CONCLUSIONI

- I risultati del modello delle temperature e dell'interpretazione geologica 3D hanno consentito di avere un quadro, alla scala dell'area pilota, del potenziale geotermico e dei principali serbatoi geotermici presenti nel sottosuolo
- Queste conoscenze potranno fungere, oltre che di stimolo per ricerche e studi specifici circa la caratterizzazione e lo sfruttamento della risorsa geotermica, anche da base per la pianificazione e la gestione delle geo-risorse presenti nel sottosuolo della nostra regione.
- Questo lavoro ha permesso anche di comprendere meglio la distribuzione e l'origine delle anomalie geotermiche presenti nel sottosuolo padano. Infatti la distribuzione delle temperature risulta in maniera evidente influenzata dall'assetto strutturale e dall'evoluzione geo-dinamica del bacino padano soprattutto durante le ultime importanti fasi tettoniche che vanno dal Miocene sup. fino all'attuale. Infatti le maggiori anomalie geotermiche positive si trovano in corrispondenza dei principali alti strutturali sepolti e diminuiscono con la profondità.
- La metodologia di lavoro seguita in questo progetto sarà applicata e implementata anche in altri settori del territorio emiliano-romagnolo. Infatti uno degli obiettivi del SGSS sarà quello di creare nel settore di pianura un Modello Geologico 3D e un Modello delle Temperature alla scala regionale sia come strumento di conoscenza ma soprattutto come strumento applicativo per la pianificazione e gestione del sottosuolo e dei suoi geo-potenziali.

## **Per maggiori informazioni:**

**Sito web Progetto «GeoMol»**

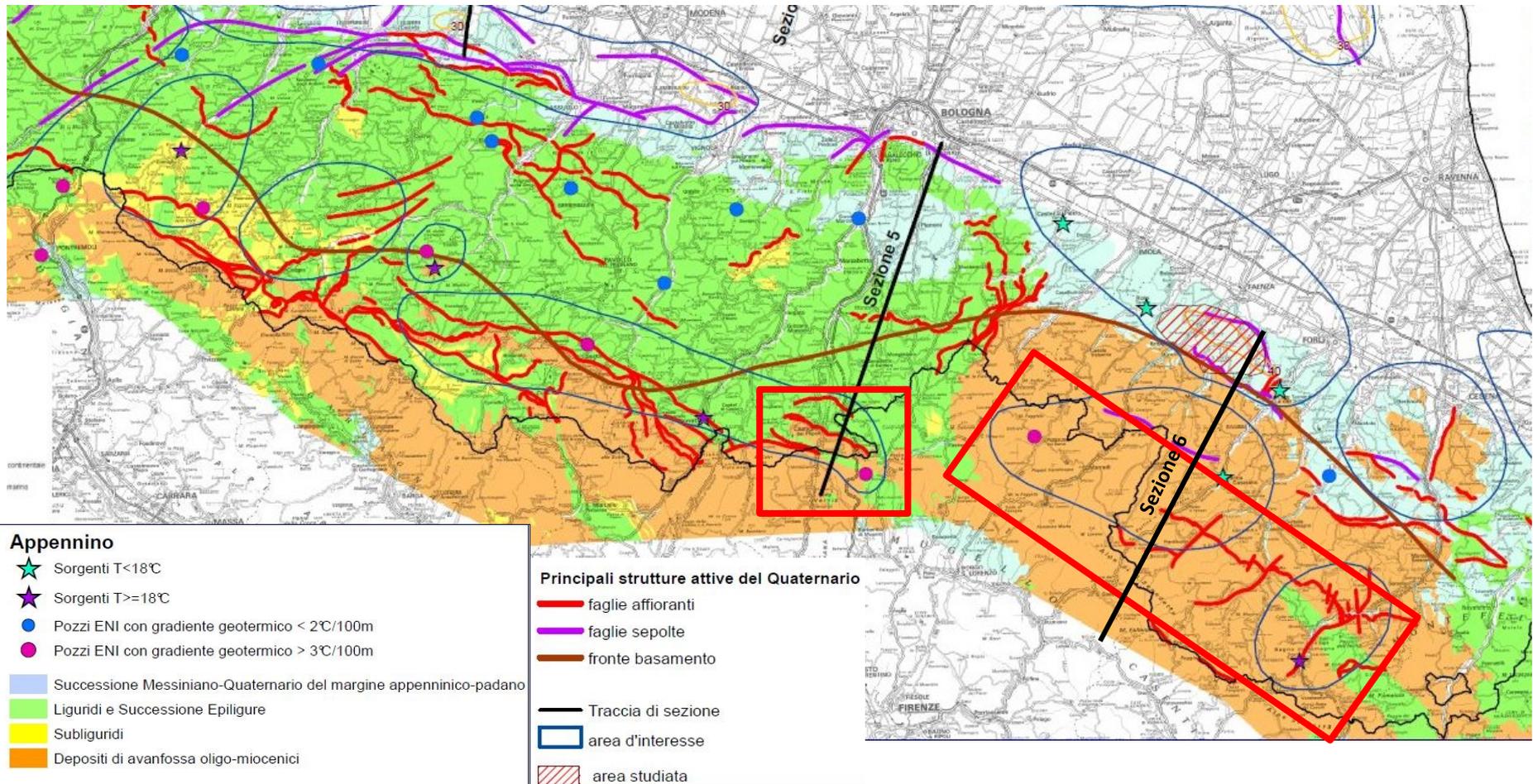
[http://www.geomol.eu/home/index\\_html](http://www.geomol.eu/home/index_html)

**Sito web Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli**

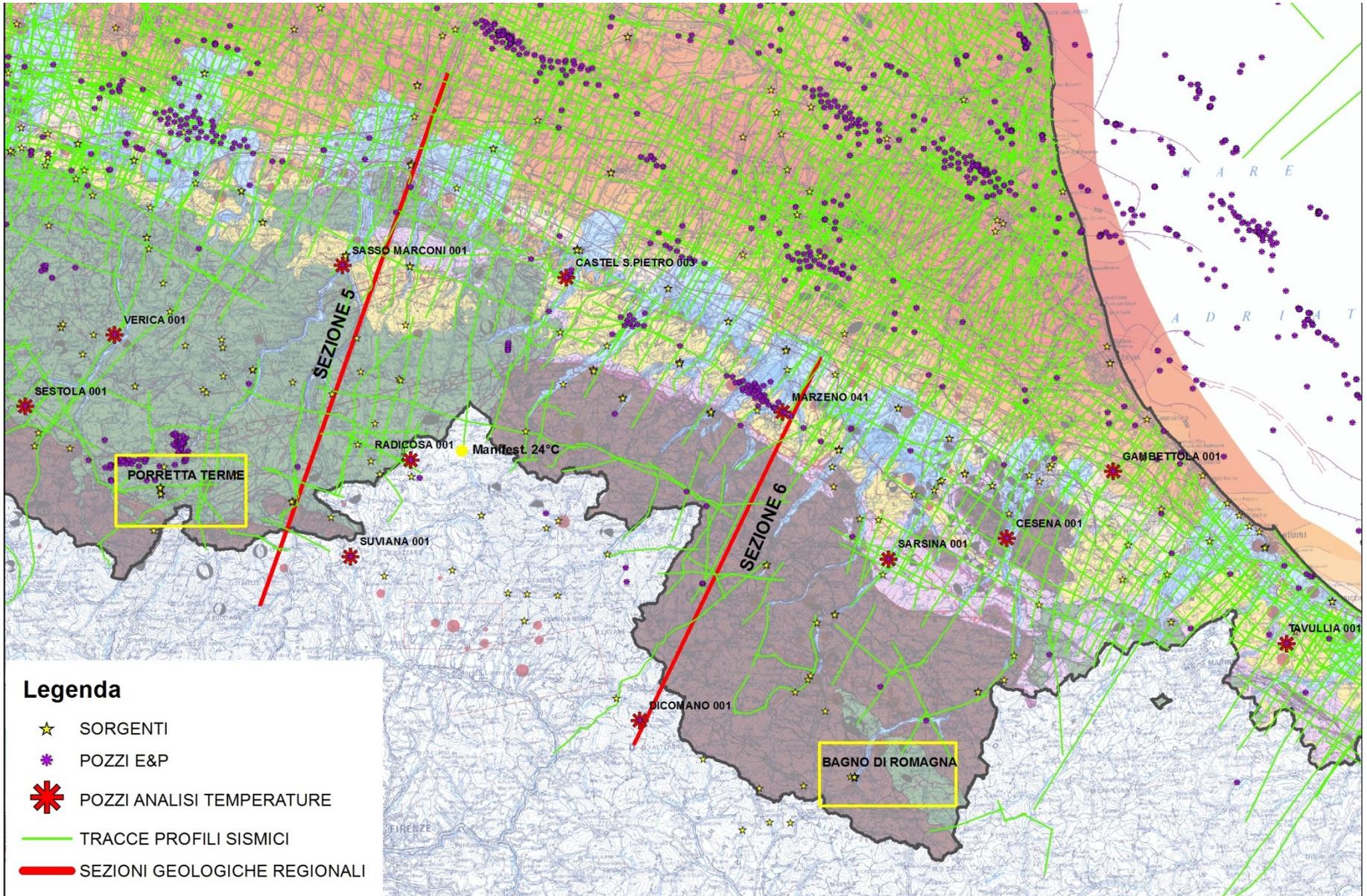
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geologia/3d>

# Potenzialità geotermiche – Settore Appenninico

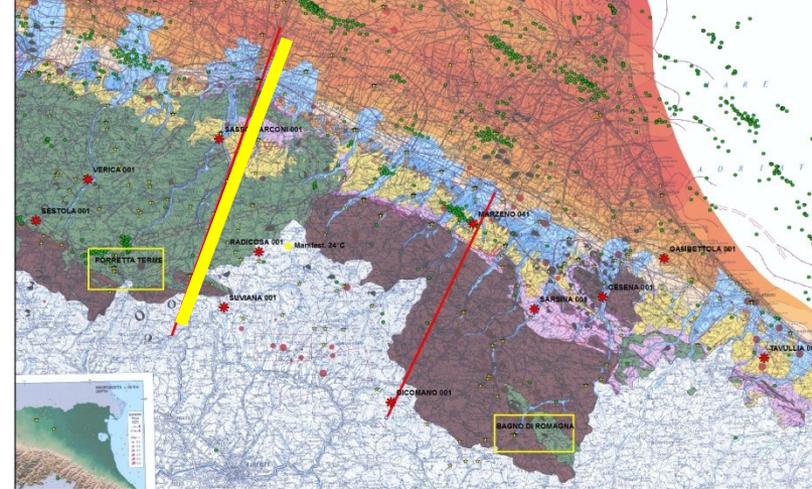
Il SGSS ha iniziato dal 2010 una caratterizzazione del potenziale geotermico alla scala regionale. Nel settore appenninico gli studi sono ad oggi di tipo preliminare e hanno consentito di realizzare una carta delle aree d'interesse per la ricerca di potenziali serbatoi geotermici. In particolare in questa presentazione verranno approfonditi, in via preliminare, due settori: l'Area di Porretta Terme e il Settore Appenninico Orientale (Marnoso-Arenacea).



# La banca dati nel settore appenninico

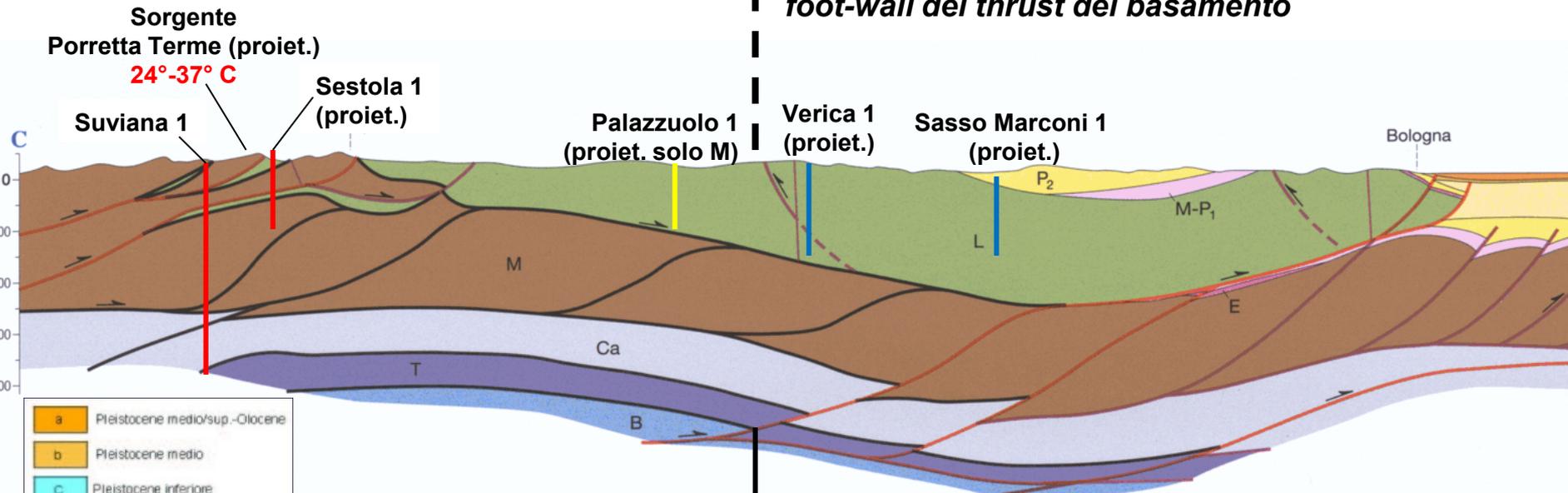


# SEZIONE 5 "Appennino Emiliano – Porretta/Bologna"



*hanging-wall del thrust del basamento*

*foot-wall del thrust del basamento*



|    |  |
|----|--|
| a  | Pleistocene medio/sup. -Olocene        |
| b  | Pleistocene medio                      |
| c  | Pleistocene inferiore                  |
| L  | Unità Liguri, Subliguri ed Epiliguri   |
| P  | Pliocene                               |
| E  | Evaporiti messiniane                   |
| M  | Miocene                                |
| Ca | Successione carbonatica meso-cenozoica |
| T  | Triassico inferiore e medio            |
| B  | Basamento                              |

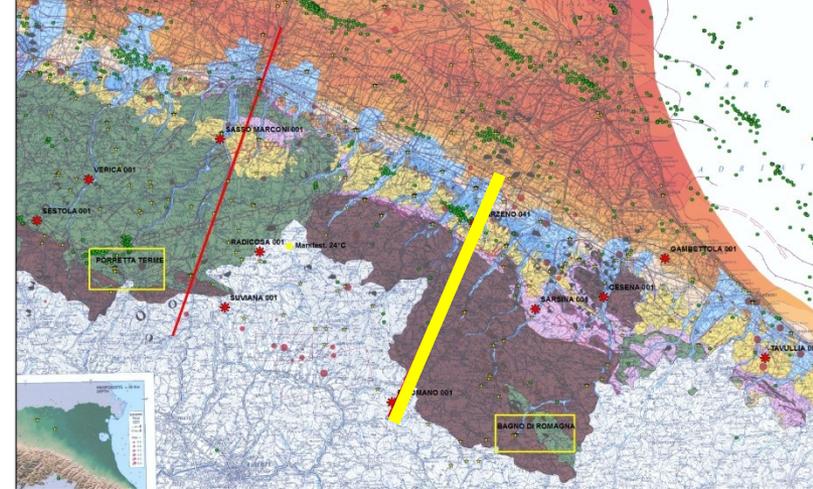
**Fronte del basamento**

**Pozzo con gradiente geotermico 1°-2°C/100 m**

**Assenza Dato Temperatura**

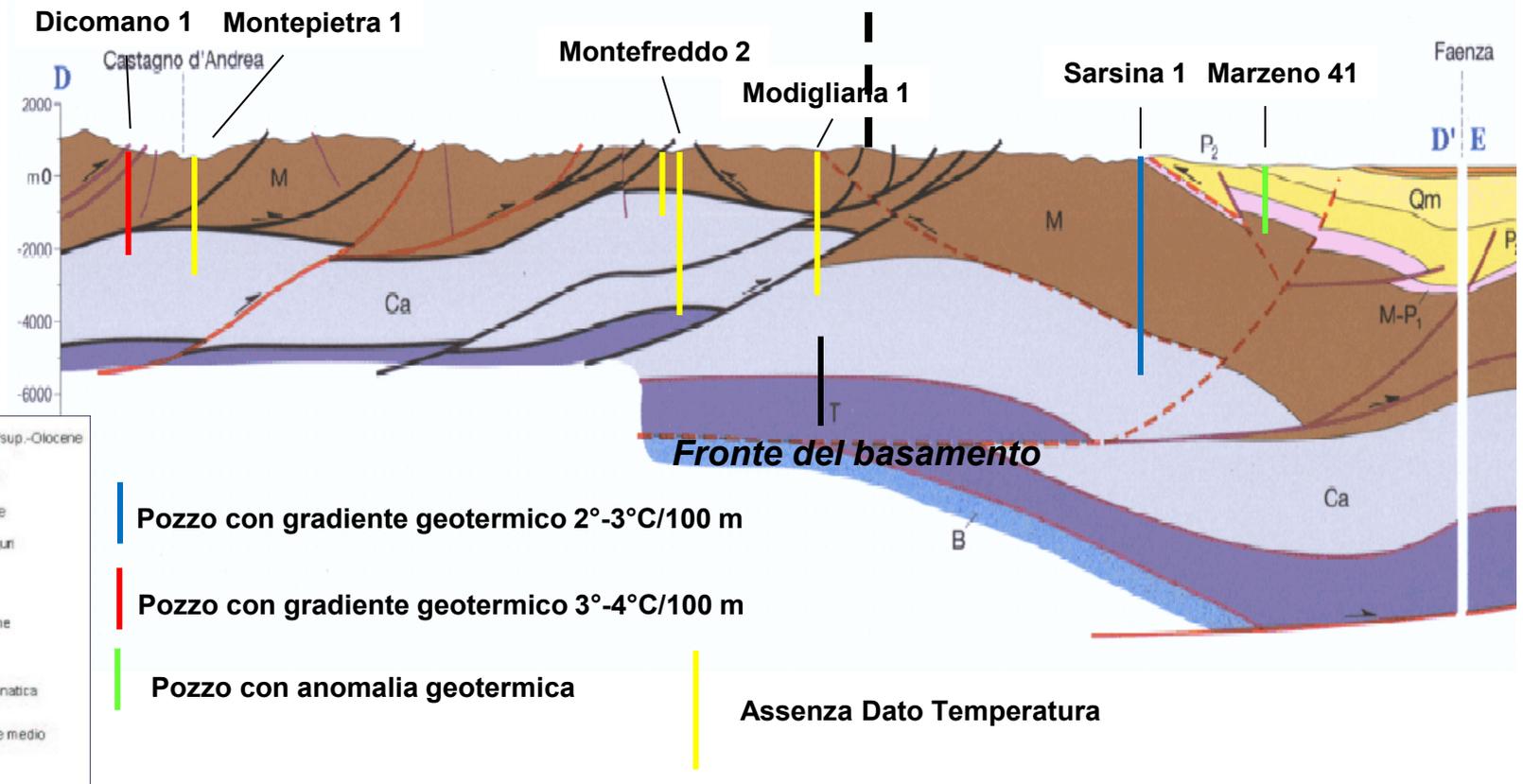
**Pozzo con gradiente geotermico 3°-4°C/100 m**

# SEZIONE 6 - Settore Orientale «Marnoso-Arenacea»

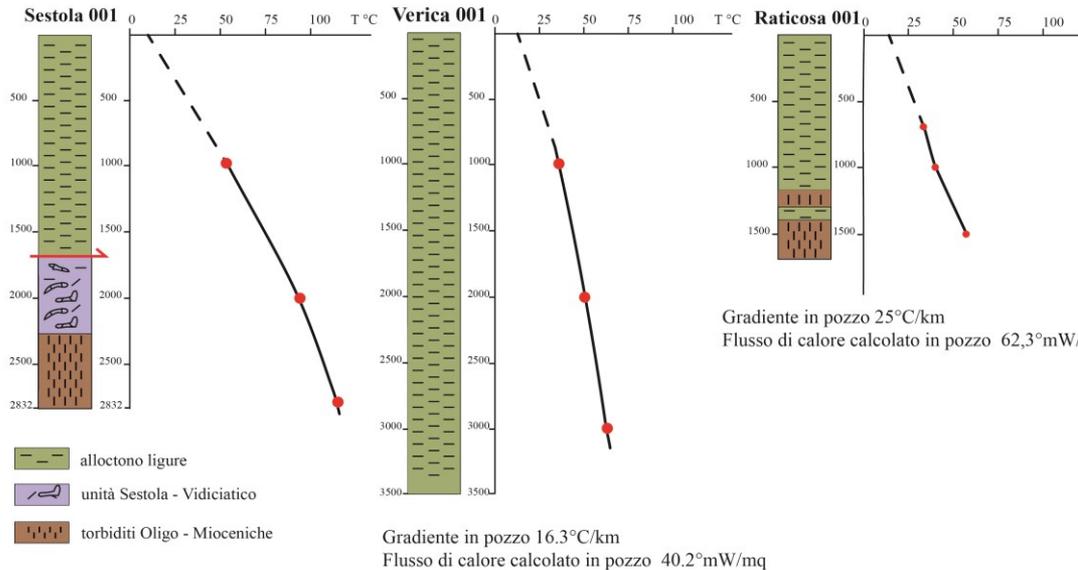
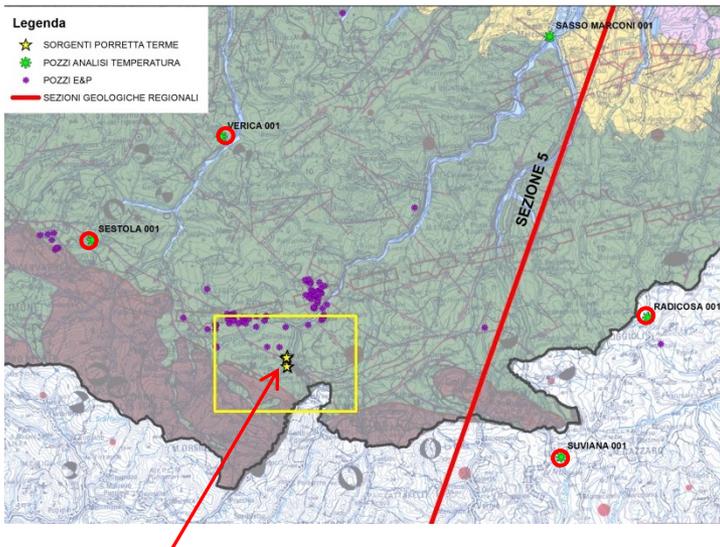


*hanging-wall del thrust del basamento*

*foot-wall del thrust del basamento*



# Caratterizzazione Geotermica – Settore Porretta Terme

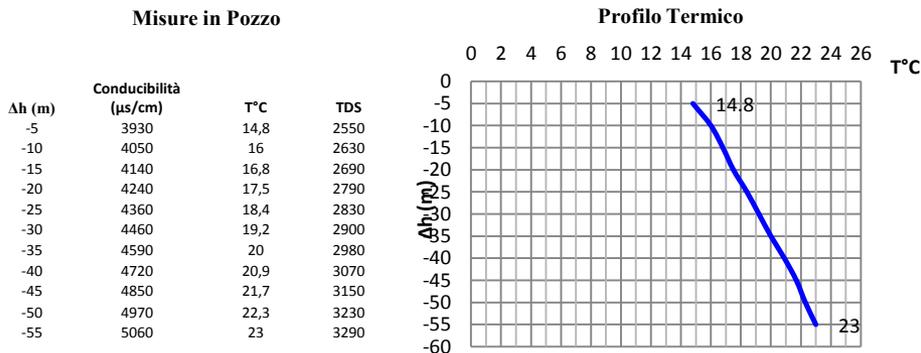


Gradiente in pozzo 34°C/km  
 Flusso di calore calcolato in pozzo 85°mW/mq

Pozzo SUVIANA 001: unico dato presente 225°C (stabilizzata) a 7806 m  
 gradiente calcolato in pozzo 27°C/km  
 Flusso di calore calcolato in pozzo 76°mW/mq

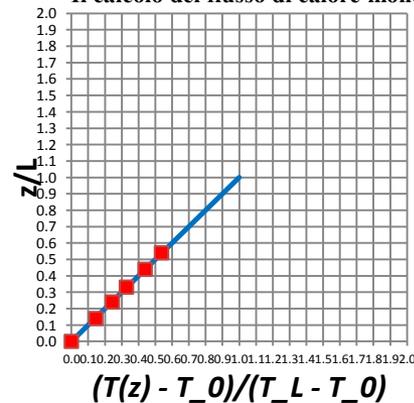
Nel settore del bacino termale di Porretta Terme è stata effettuata un'analisi di gradiente geotermico e flusso di calore in base all'analisi dei dati dei pozzi E&P. Più nel dettaglio è stata effettuata tramite un lavoro di Tesi (2012) una caratterizzazione geotermica più superficiale

Profilo termico eseguito nel pozzo "Ciancabilla", stabilimenti termali "La Puzzola" – Porretta Terme

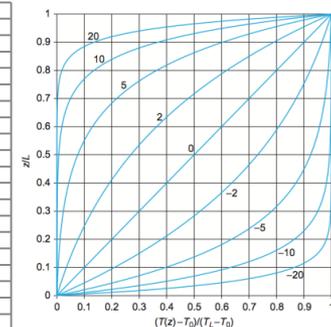


Metodo *Bredehoeft & Papadopolos (1965)* –

Il calcolo del flusso di calore monodimensionale (asse verticale)



Soluzione B&P Pozzo Ciancabilla  
 Conduzione totale, convezione assente

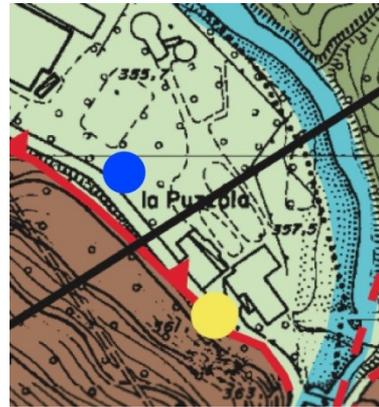
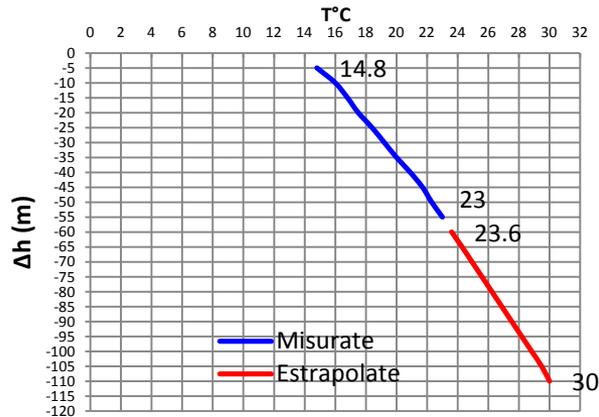


Soluzione grafica del Peclet number (Fitts, 2012)

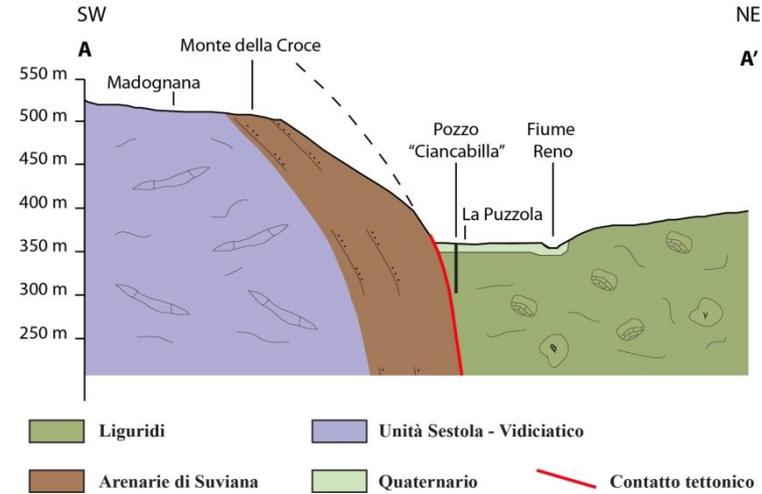
**Peclet number:** parametro adimensionale usato in fluidodinamica, dato dal rapporto tra il calore trasferito per convezione all'interno di un fluido e quello trasferito per conduzione.

# Caratterizzazione Geotermica – Settore Porretta Terme

## Soluzione Bredehoeft & Papadopulos per il pozzo Ciancabilla



- Pozzo Ciancabilla
- Sorgenti Puzzola
- / Sezione geologica

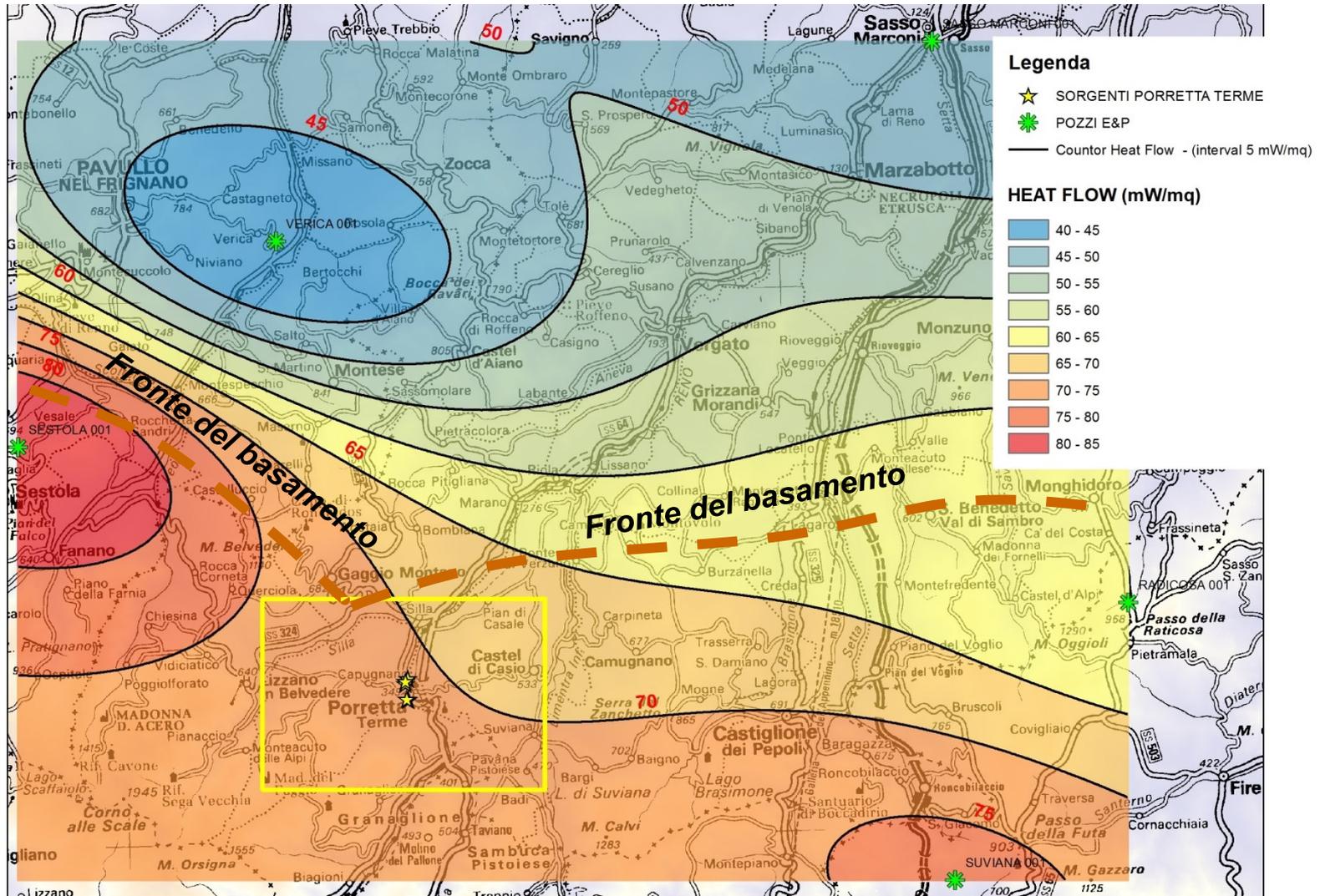


**Estrapolando in profondità le temperature in maniera puramente conduttiva, si ottiene una temperatura di circa 30 gradi ad una profondità di 110 m.**

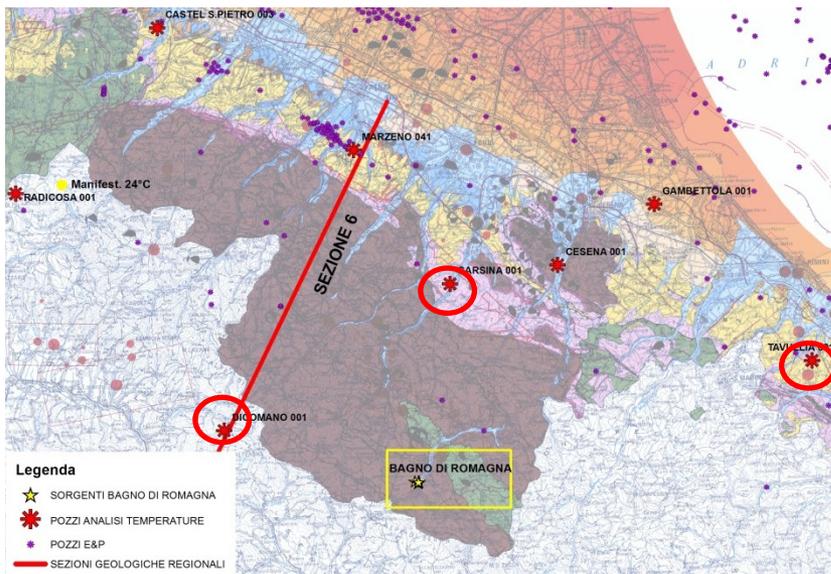
**Come mostra la sezione geologica a quella profondità si trova il corpo arenaceo delle Arenarie di Suviana saturo in acque calde, il quale rappresenta il radiatore di calore di quest'area. Nelle vicinanze infatti, le sorgenti «Puzzola» nelle arenarie possiedono T nell'ordine dei 26-29 °C.**

# Caratterizzazione Geotermica – Mappe Tematiche

In mappa viene rappresentato il flusso di calore nel settore di Porretta Terme. E' possibile notare come i valori più elevati, pari a circa il doppio del flusso di calore presente in pianura padana, siano presenti nel settore meridionale mentre valori prossimi a quelli del settore di pianura sono presenti a nord. Si può notare come l'andamento del flusso di calore rifletta l'assetto strutturale profondo; infatti si noti come lo stesso sia relativamente conforme al «fronte del basamento»



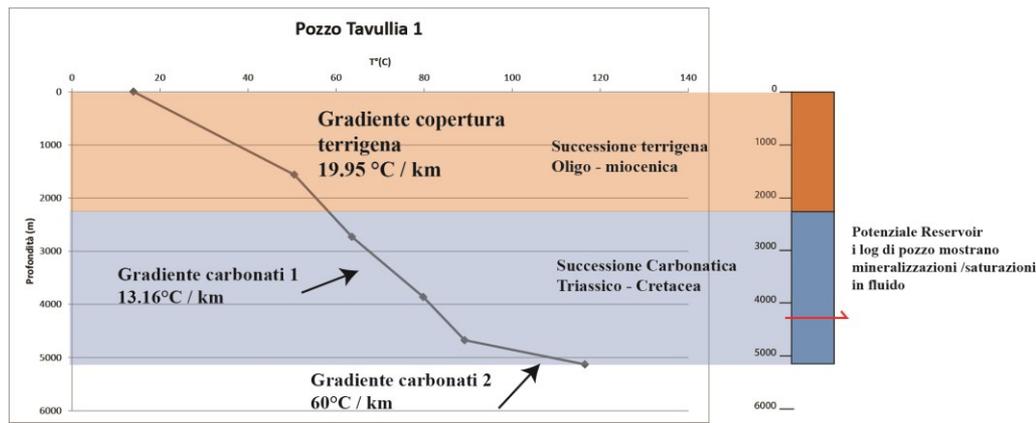
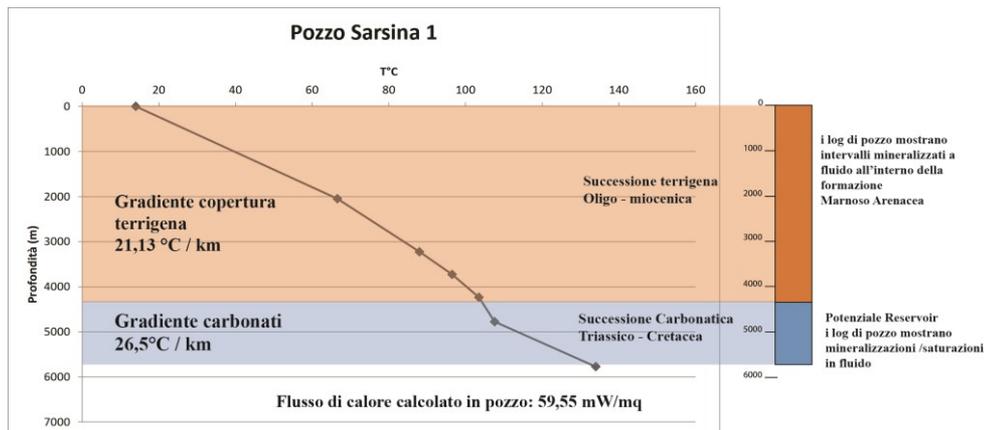
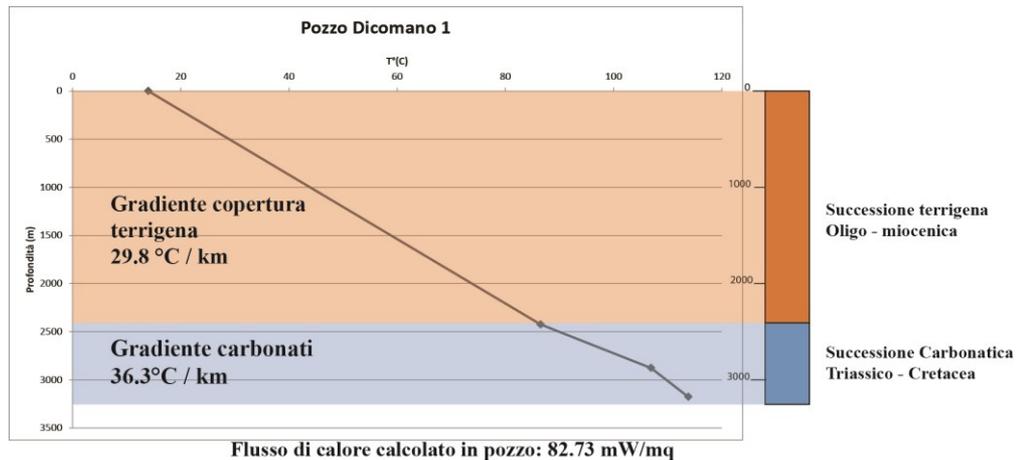
# Caratterizzazione Geotermica – Settore Appennino Orientale



Anche nel settore orientale è stato possibile analizzare e validare i dati di temperatura presenti nei pozzi E&P calcolando infine il gradiente geotermico e il relativo flusso di calore.

Come è possibile notare anche in questo caso si ha un aumento del gradiente geotermico e del flusso di calore in direzione sud. Il pozzo Dicomano 1 mostra un flusso di calore di circa 83 mW/mq pari a circa il doppio del flusso di calore presente in pianura padana.

Un altro aspetto importante è come i pozzi analizzati intercettino la successione carbonatica saturata in fluidi salini e in certi casi anche la successione Marnoso-Arenacea risulta essere acquifera e quindi potenzialmente sfruttabile a scopo geotermico.

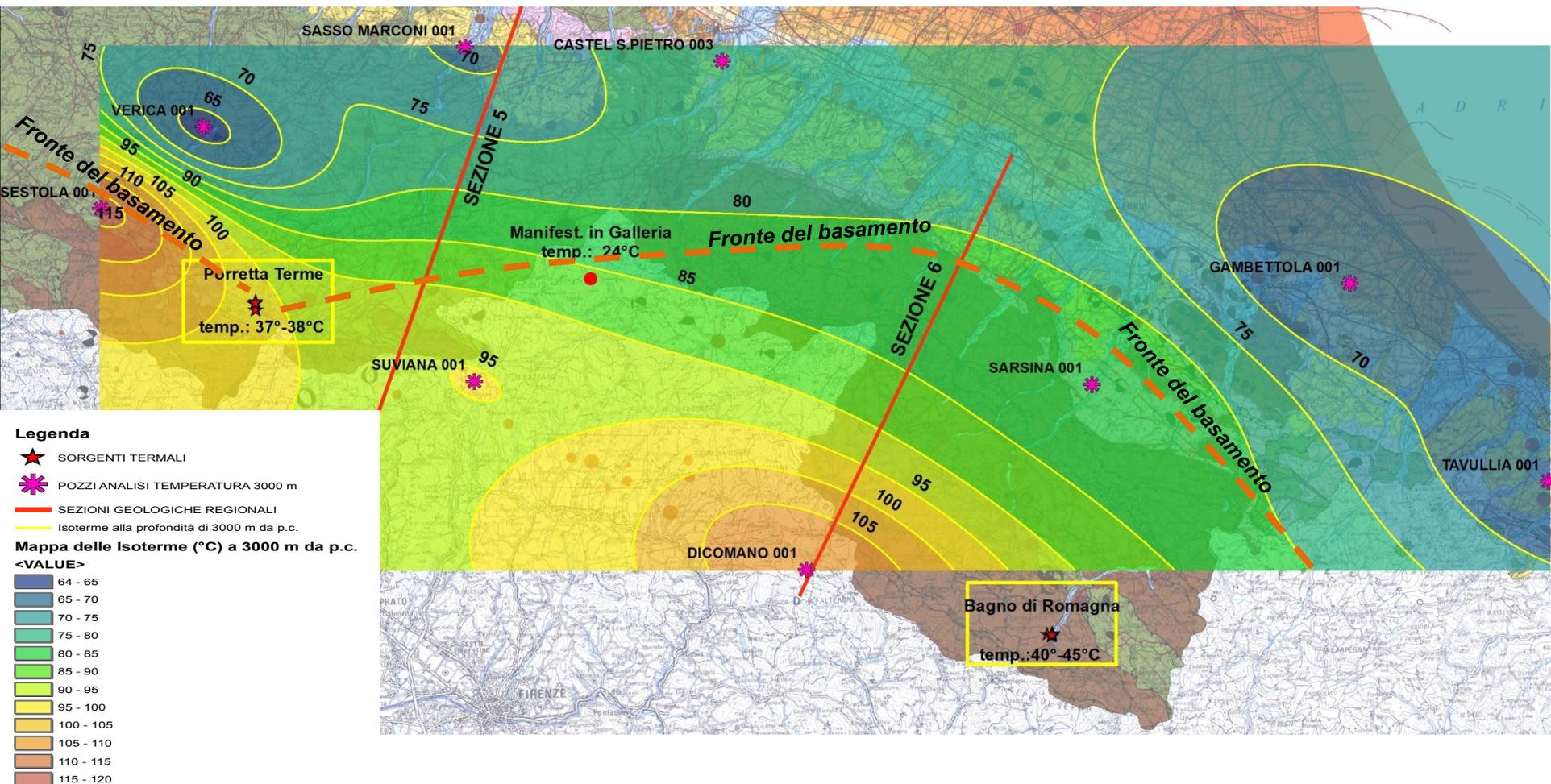


# Caratterizzazione Geotermica – Mappe Tematiche

In questa mappa tematica sono rappresentate le isoterme (°C) a 3000 metri da p.c.

Le isoterme sono state spazialmente estrapolate dal settore occidentale (Porretta Terme) a quello orientale (Bagno di Romagna).

Si nota come le temperature maggiori (100°-115°C) si abbiano verso sud fino a diminuire a valori di circa 70°-75°C verso nord. Oltretutto un altro aspetto importante è come l'andamento delle isoterme rifletta l'assetto strutturale profondo; infatti si noti come lo stesso sia relativamente conforme al «fronte del basamento»



# Anomalie Geotermiche Positive – Successione Marnoso Arenacea

## Bagno di Romagna

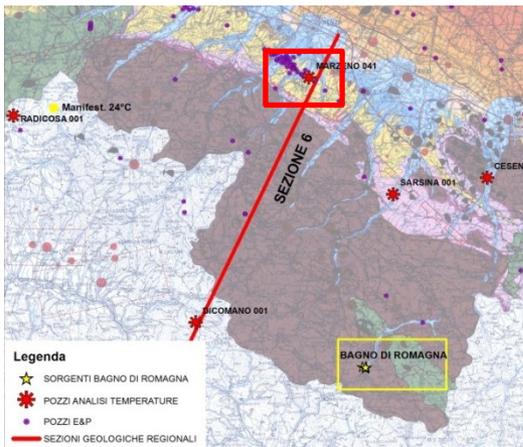
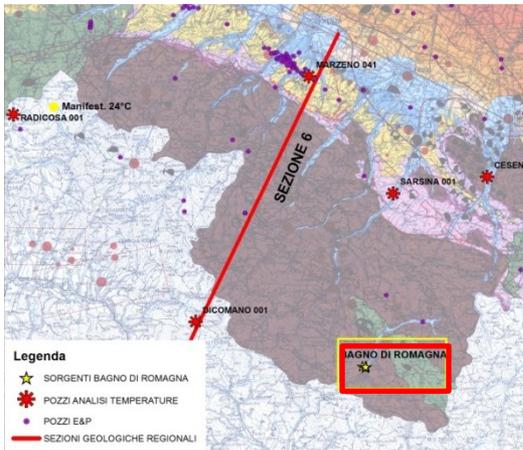
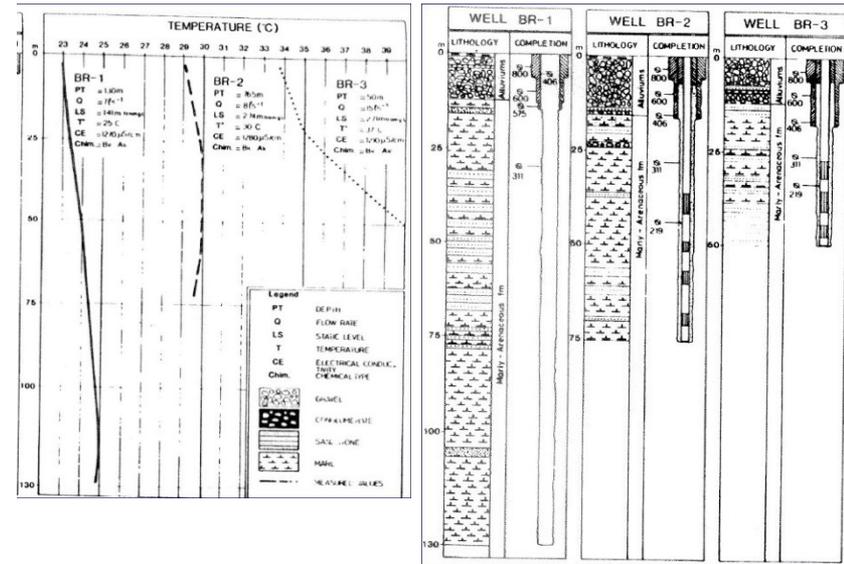
Temp. testa pozzo: 25°-42°C

Portate (l/s): 7-15

Attualmente la risorsa geotermica  
Viene utilizzata a integrazione della  
centrale di teleriscaldamento

**Q di utilizzo = 25l/s**  
**T di utilizzo = 40 °C**  
**ΔT di utilizzo = 15°C**  
**potenza termica = 1570 kw**  
 (Merlo et al., 1988)

## Pozzi



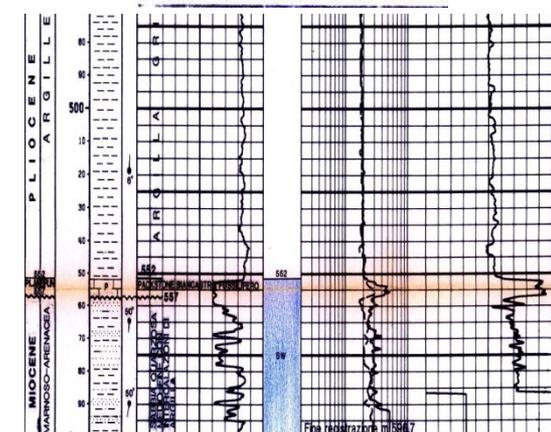
## Brisighella/Marzeno

Il SGSS ha effettuato (2011/2012) uno studio di sottosuolo  
alla scala locale nel bacino termale di Brisighella. Una  
parte dello studio si è focalizzata sulla caratterizzazione  
geotermica individuando sistemi acquiferi profondi (500-  
700 m) nella Marnoso-Arenacea con anomalie positive di  
temperatura (40°-43°C) e con caratteristiche idrogeologiche  
idonee ad un potenziale sfruttamento

**Temperatura: 30 - 35° C**  
**Portata massima: ≈10 l/s**  
**Δt massimo: 20° C**  
**Potenza termica nominale massima: circa 800 Kw**  
**Profondità stimata pozzo di estrazione: 700 m**  
**Profondità stimata pozzo di reiniezione: 700 m**

### TEMPERATURE DAI LOGS

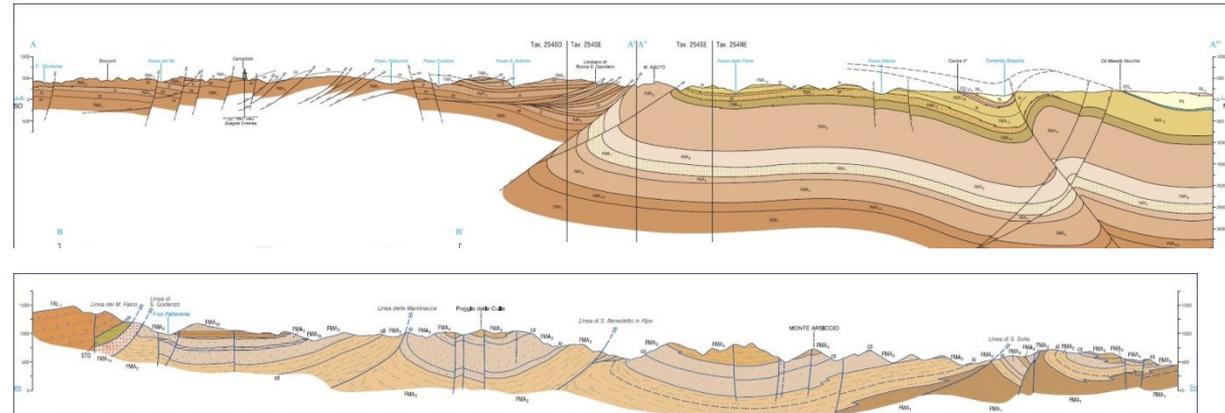
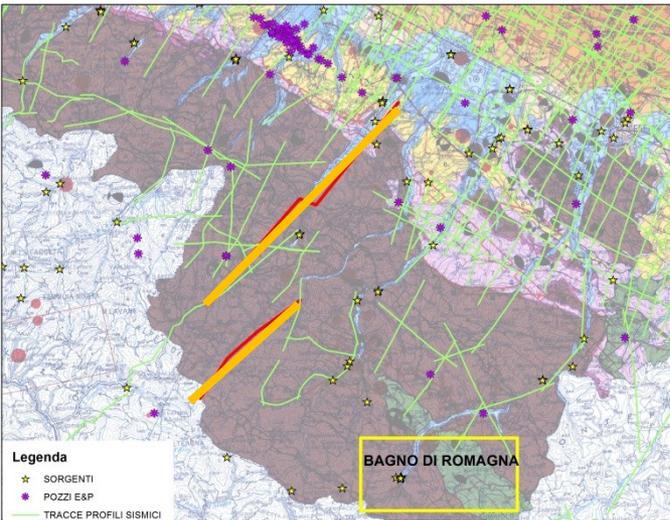
| Fr. | Nr. | D | Prof. m | Prof. V. | T. Misur. |
|-----|-----|---|---------|----------|-----------|
| 1   | 1   | 1 | 596.7   | 596.7    | 43°C      |
| 1   | 1   | 2 | 599.5   | 599.5    | 43°C      |



# SVILUPPI FUTURI

## Implementazione e Armonizzazione dei dati al fine della caratterizzazione del potenziale geotermico

### SEZIONI Progetto C.A.R.G

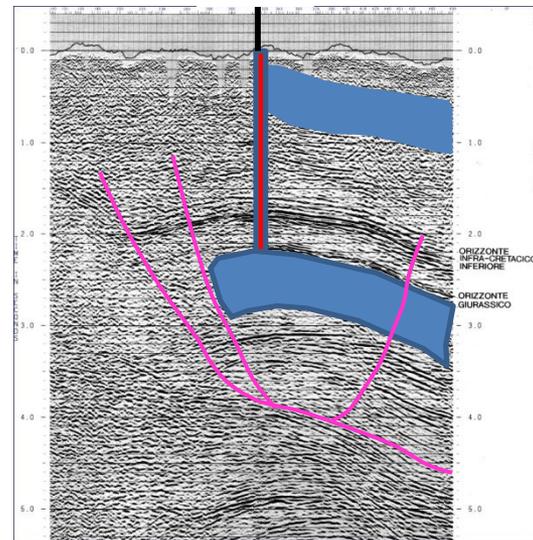


### Profili Sismici a Riflessione

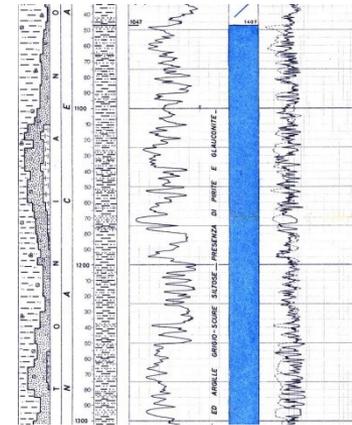
### Dati Profili di Pozzi E&P

Uno degli obiettivi futuri sarà quello di armonizzare e implementare la banca dati mineraria al fine di una caratterizzazione di maggior dettaglio della risorsa geotermica in Appennino. In primis verranno utilizzati i dati del Progetto C.A.R.G., i profili sismici esistenti e tutti i dati disponibili dei pozzi E&P. In questo modo si potranno caratterizzare e individuare potenziali serbatoi geotermici profondi e i settori più interessanti per un loro eventuale sfruttamento.

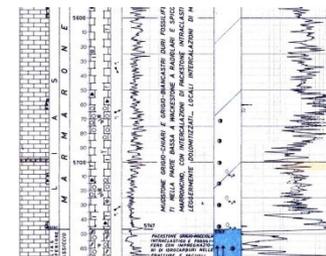
### Pozzo



Sistemi acquiferi profondi - Marnoso-Arenacea



Sistemi acquiferi profondi - Successione Carbonatica

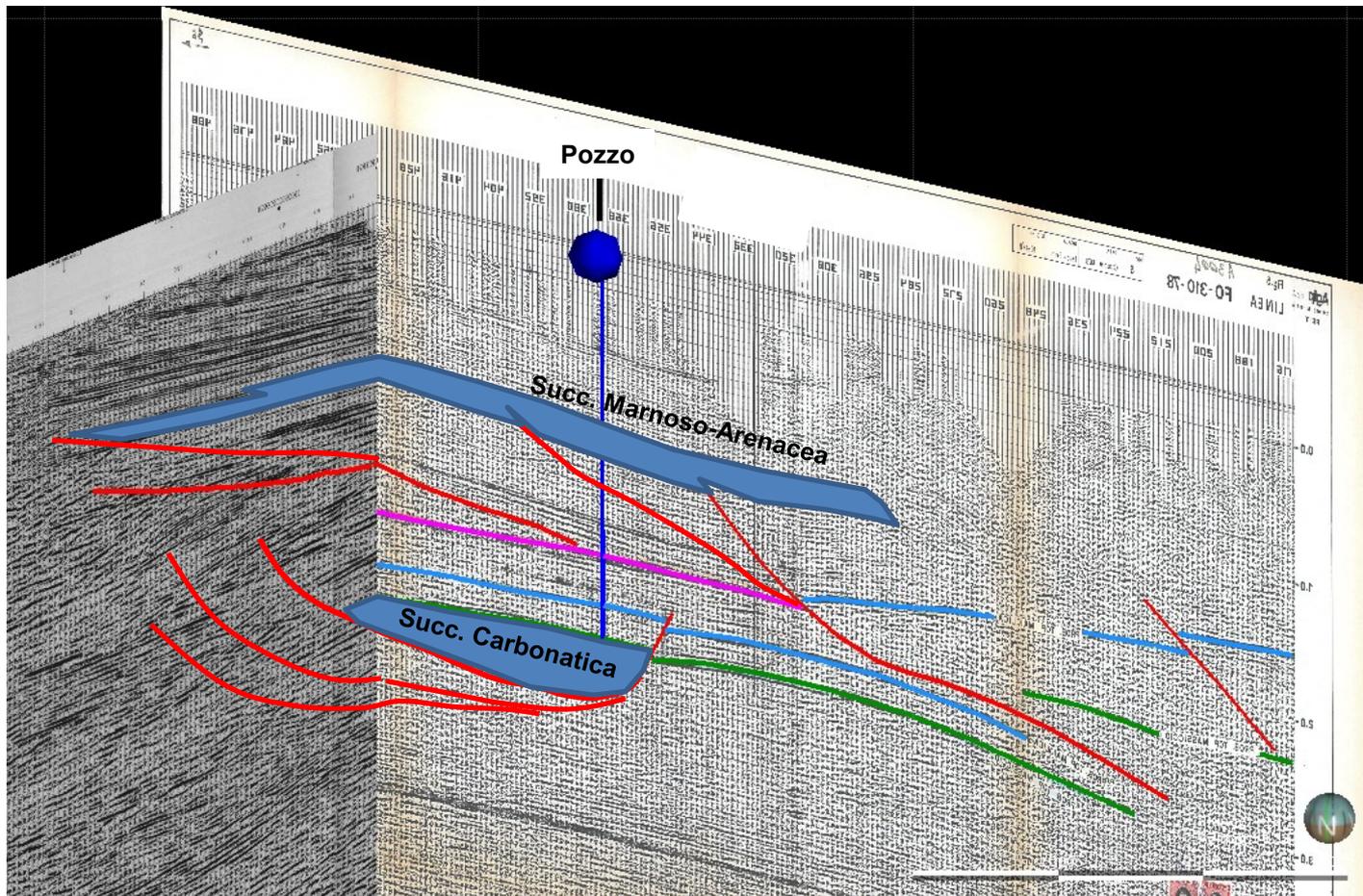


# SVILUPPI FUTURI

## 2D versus 3D

Attraverso l'implementazione della Banca Dati di Sottosuolo sarà possibile, un volta individuati i settori di maggior interesse e quelli con una sufficiente disponibilità del dato (profili sismici, pozzi ecc....), passare da un'interpretazione 2D (mappe, sezioni) a un modello geologico 3D del sottosuolo, utilizzando una metodologia simile a quella di GeoMol, al fine di avere uno strumento conoscitivo e operativo per:

- la conoscenza delle strutture geologiche nelle loro interezza (volumi/faglie)
- la caratterizzazione (volumi, geometrie ecc...) dei principali serbatoi geotermici potenzialmente sfruttabili
- Valutazione delle geo-risorse



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**