



# Risultati: i geopotenziali dell'area pilota italiana Modello di Temperatura

*Giulio Torri; Fabio Carlo Molinari; Alberto Martini*



UN OCCHIO ESPERTO NEL SOTTOSUOLO DELLA PIANURA PADANA  
Milano, 23 aprile 2015



Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Federal Office of Topography swisstopo



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Geologische Bundesanstalt

Regione Emilia-Romagna



REPUBLIQUE  
ET CANTON  
DE GENEVE



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Federal Office of Energy SFOE



Géosciences pour une Terre durable

brgm

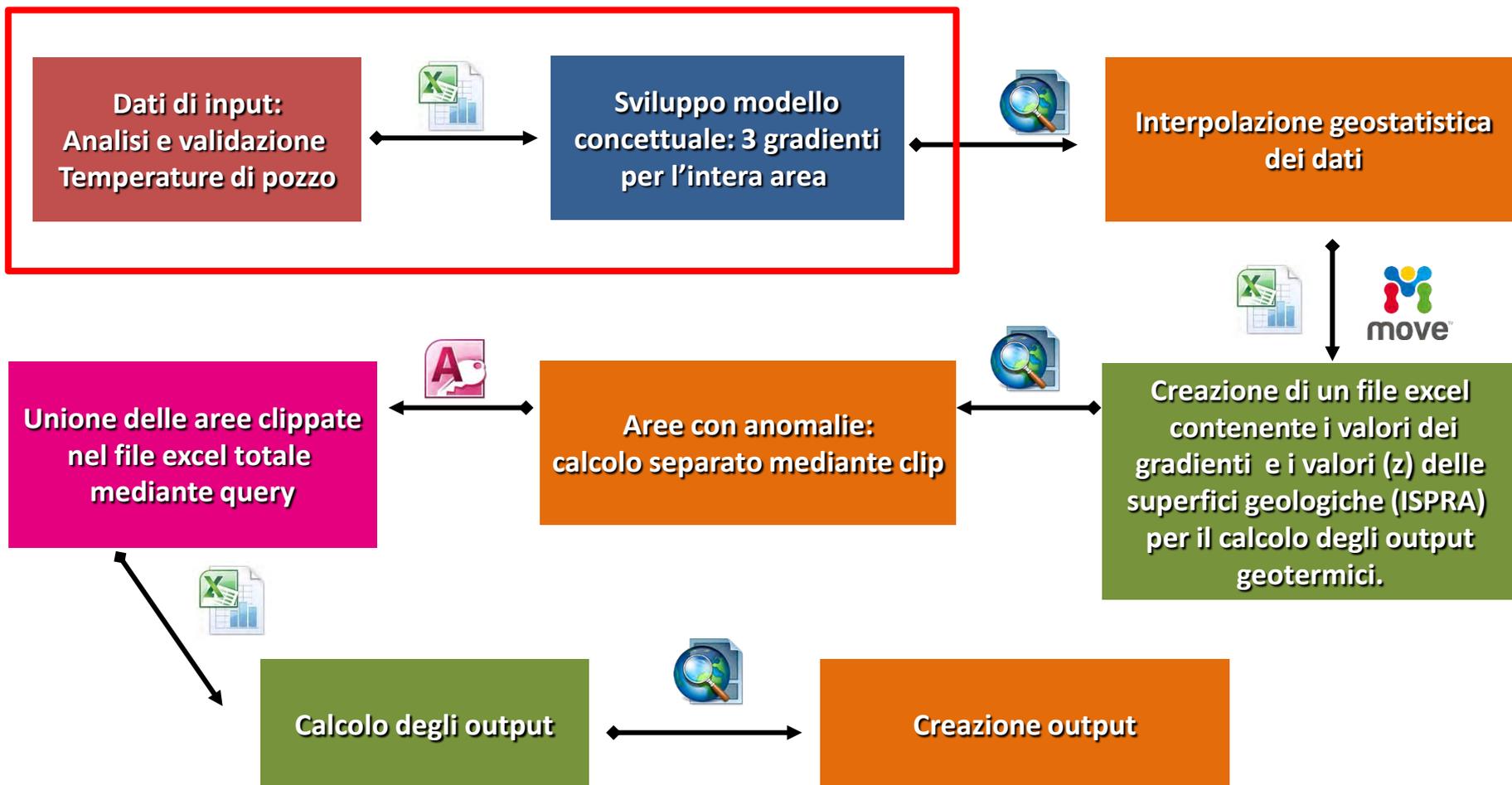
Regionalverband  
Bodensee-Oberschwaben



Regione  
Lombardia



## Workflow modello delle temperature Pilot Area Italiana





## 1. Raccolta dati:

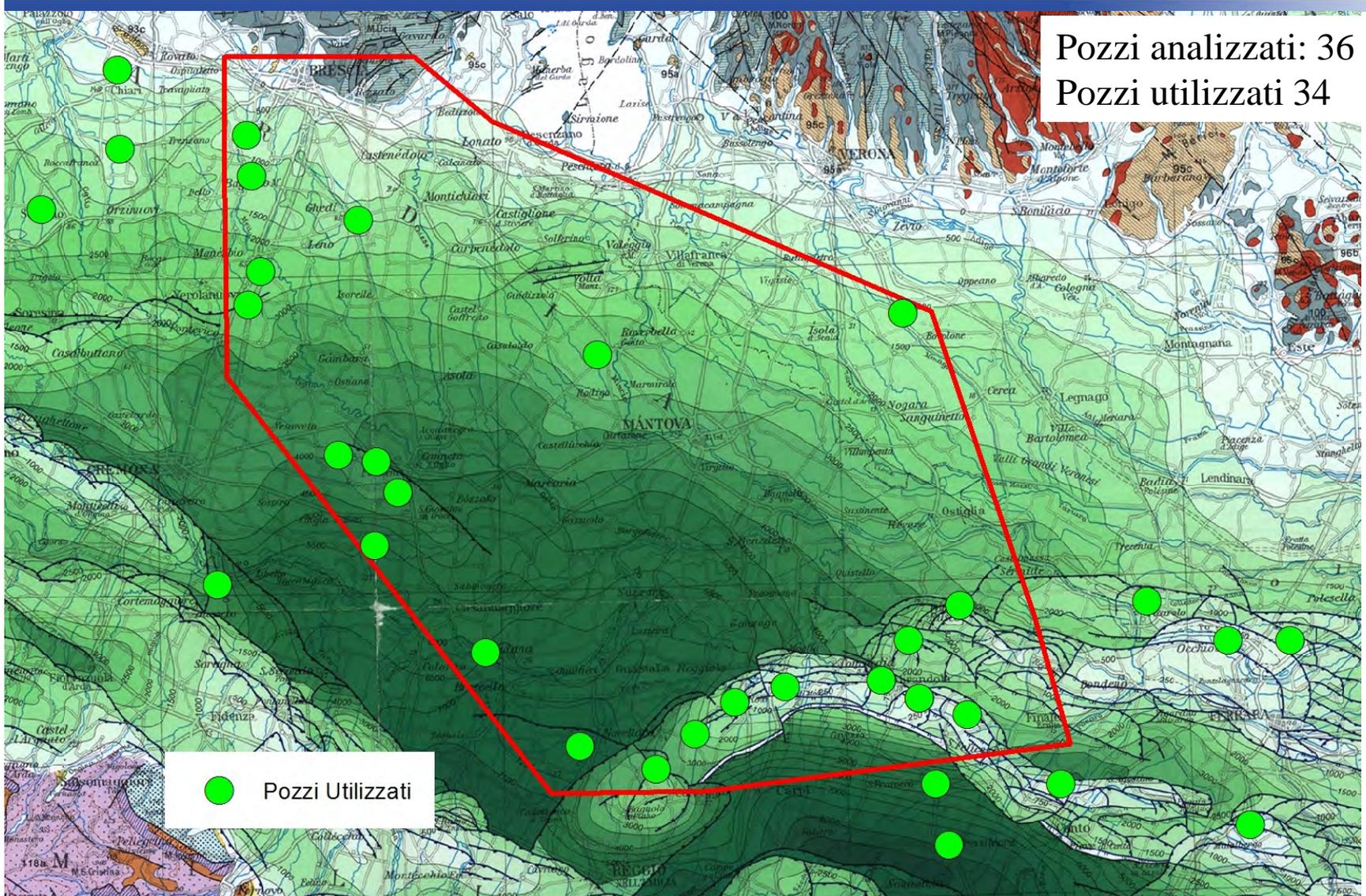
- **ENI**, profili pozzi per ricerca idrocarburi;
- **AGIP**, 1977 “*Temperature sotterranee*”;
- **CNR – Barbier et al.**, 1998 “*Banca Nazionale Dati Geotermici*”

## 2. L’analisi e validazione delle temperature di pozzo:

La misura di una temperatura in pozzo (BHT – bottom hole temperature) dev’essere corretta, poiché la perforazione apporta delle perturbazioni termiche all’interno del foro.

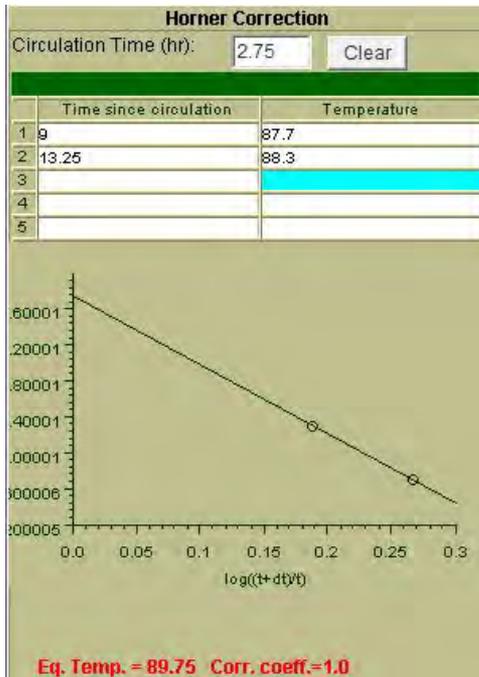
Il fango di perforazione, ad esempio, essendo più freddo rispetto alle rocce circostanti abbassa temporaneamente la temperatura della roccia con la quale entra in contatto.

Esistono quindi vari metodi di calcolo (grafici, analitici...) che eliminano la perturbazione indotta e restituiscono un valore di temperatura corretta, la quale prende il nome di temperatura di strato o di formazione ( $T_{\infty}$ ).





## 3. Metodi Utilizzati



Horner, (1951)

free web tool:

<http://www.zetaware.com/utilities/bht/horner.html>

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

Zschocke, (2005)

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

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

Pasquale et al., (2008)

$$t_c = 1.7 + 0.05z + 0.10z^2$$

Pasquale et al., (2008)



## Esempio di correzione, Pozzo Concordia 001 (Mo)

Prof.(m)	t	dt	BHT	Corr. ENI	Corr. Horner	Corr. Zschocke	Corr. Pasquale
341	1	5	40.5	41	41	43	43
807	1.75	9	56	58	58	56.5	58
2878	2.25	13	68.8	72	72	73	73
3971	2	8.5	78.3	83	82.5	85	85
4390	2.75	13.25	88.3	91	90	95	94
4723	5	24	93	103	98	99	99

## Esempio di correzione, Pozzo Concordia 001 (Mo)

Analisi varianza: a due fattori senza replica

Prof.(m)	t	RIEPILOGO	Conteggio	Somma	Media	Varianza		
341	1	Riga 1	4	167,5	41,875	1,72916667		
		Riga 2	4	231,25	57,8125	0,30729167		
807	1.75	Riga 3	4	290,5	72,625	0,5625		
		Riga 4	4	336	84	1,33333333		
		Riga 5	4	369	92,25	6,91666667		
		Riga 6	4	399	99,75	4,91666667		
2878	2.25	Colonna 1	6	446,5	74,4166667	511,841667		
		Colonna 2	6	442,25	73,7083333	450,710417		
3971	2	Colonna 3	6	452	75,3333333	485,466667		
		Colonna 4	6	452,5	75,4166667	470,241667		
4390	2.75	13						
4723	5	ANALISI VARIANZA						
		Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
		Righe	9555,86719	5	1911,17344	809,021754	1,10524E-17	2,90129454
		Colonne	11,8619792	3	3,95399306	1,67377085	0,215140785	3,2873821
		Errore	35,4348958	15	2,36232639			
		Totale	9603,16406	23				
		ICC=		0,99452389				

ICC=coefficiente di correlazione intraclassa, nel caso d'esempio mostra un accordo eccellente fra le misure



## 4. Modello concettuale: Gradienti

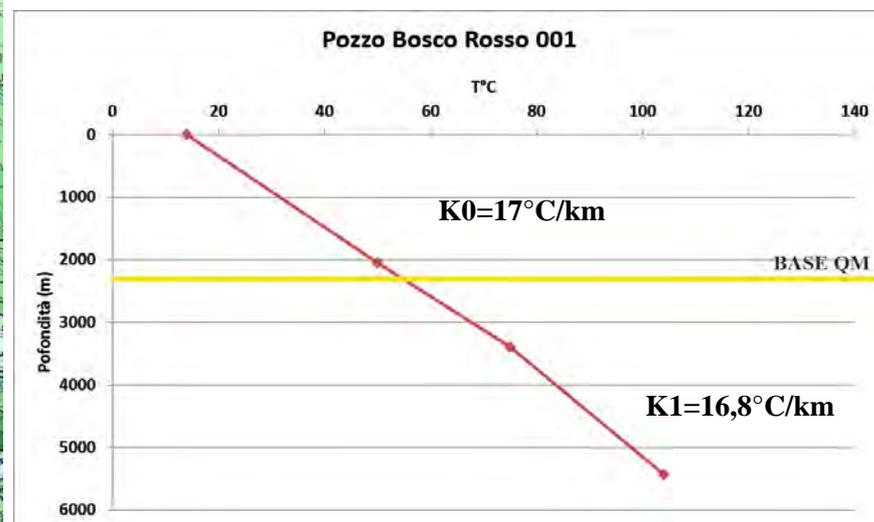
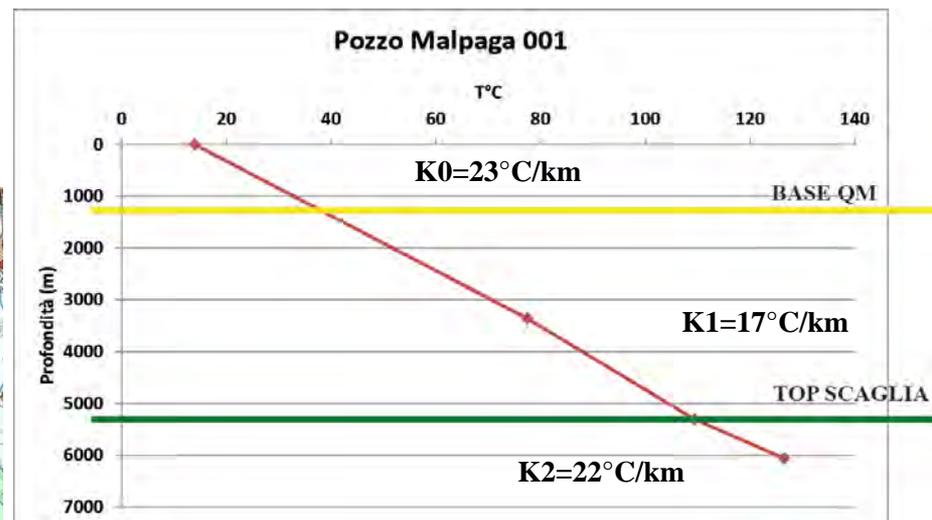
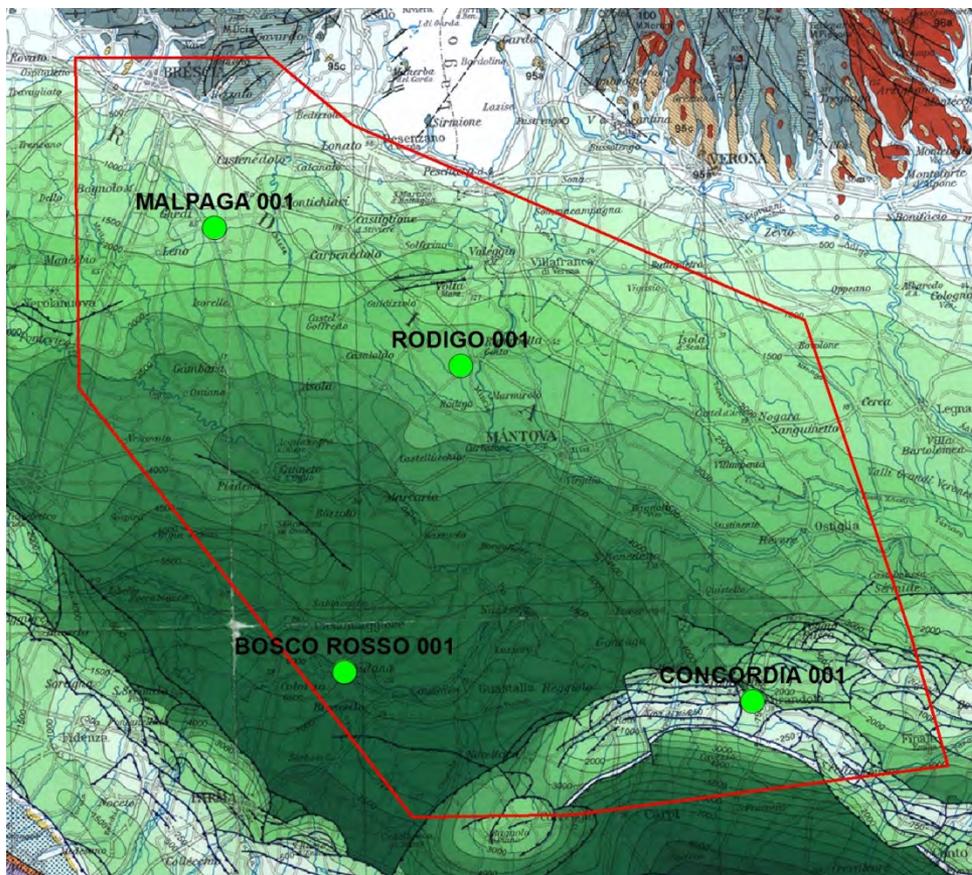
Gradiente	Orizzonti Geologici	Codici
K0	piano campagna – base quaternario marino	qm
K1	base quaternario marino – top successione carbonatica	qm - eom
K2	successione carbonatica	eom - tr

Modello concettuale basato sul trasporto di calore per conduzione (successioni silicoclastiche).

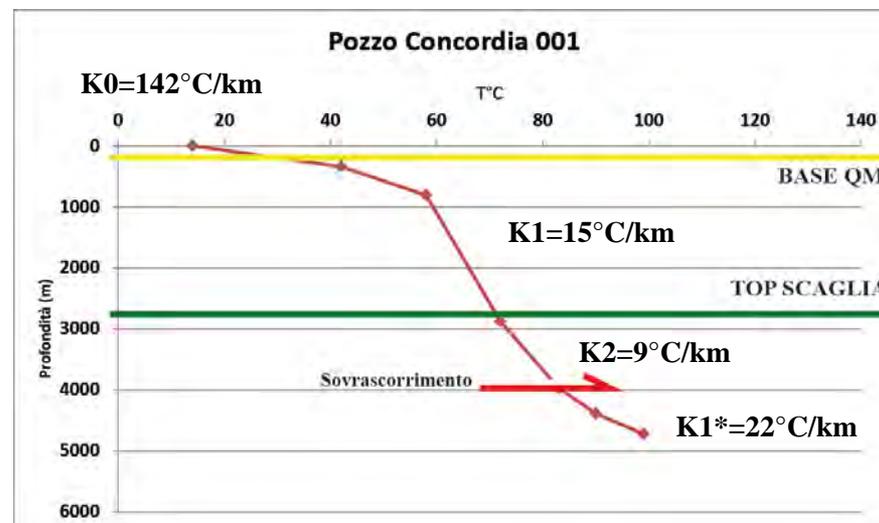
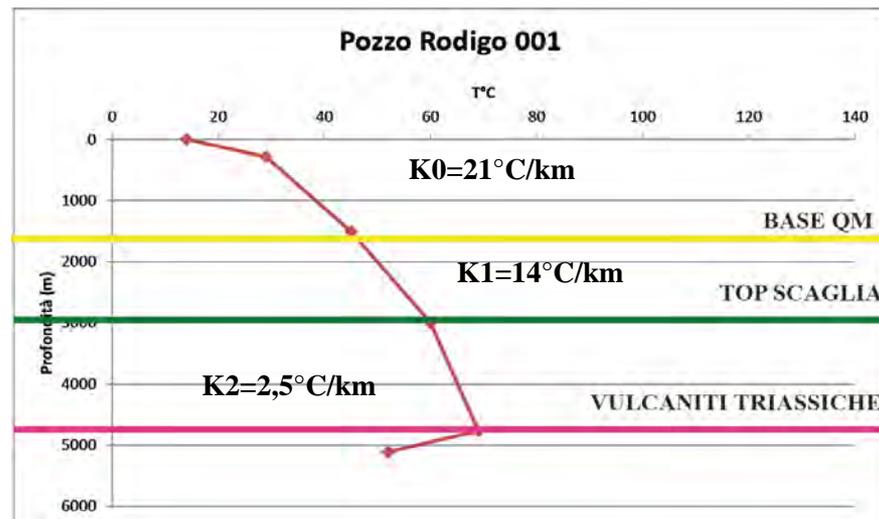
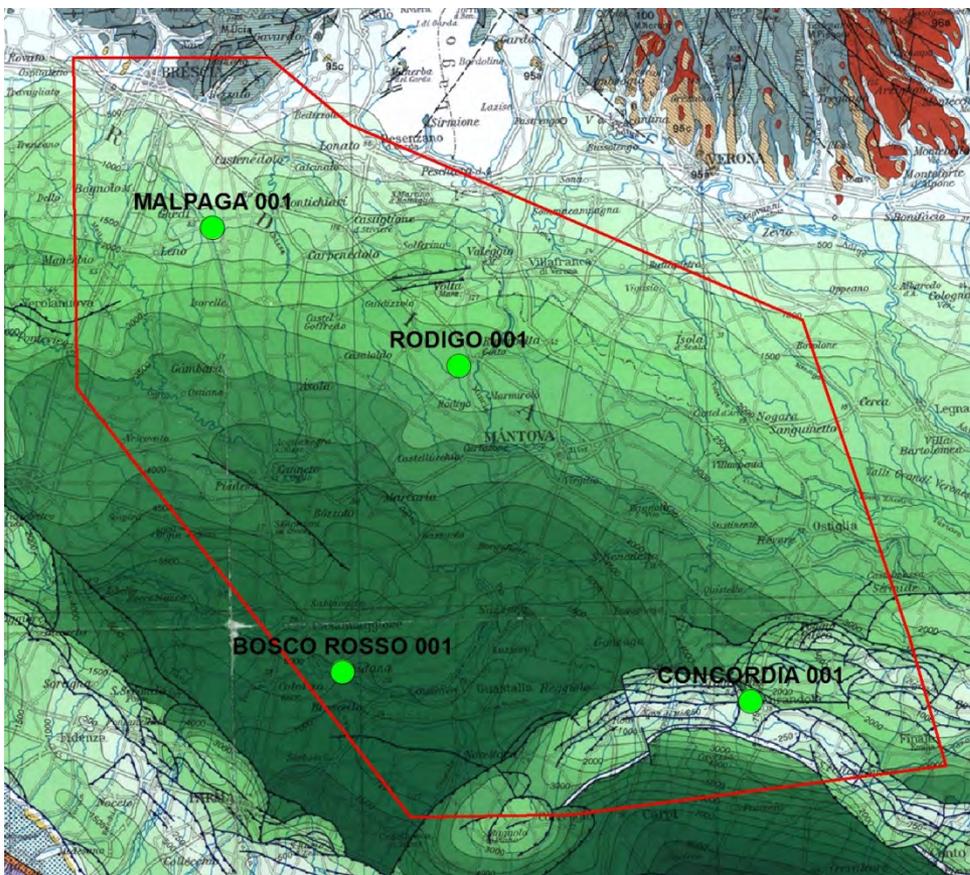
Nel gradiente K2 non sono da escludersi componenti convettive, non contemplate nel modello di calcolo.



## Esempi di gradienti dell'area - 1

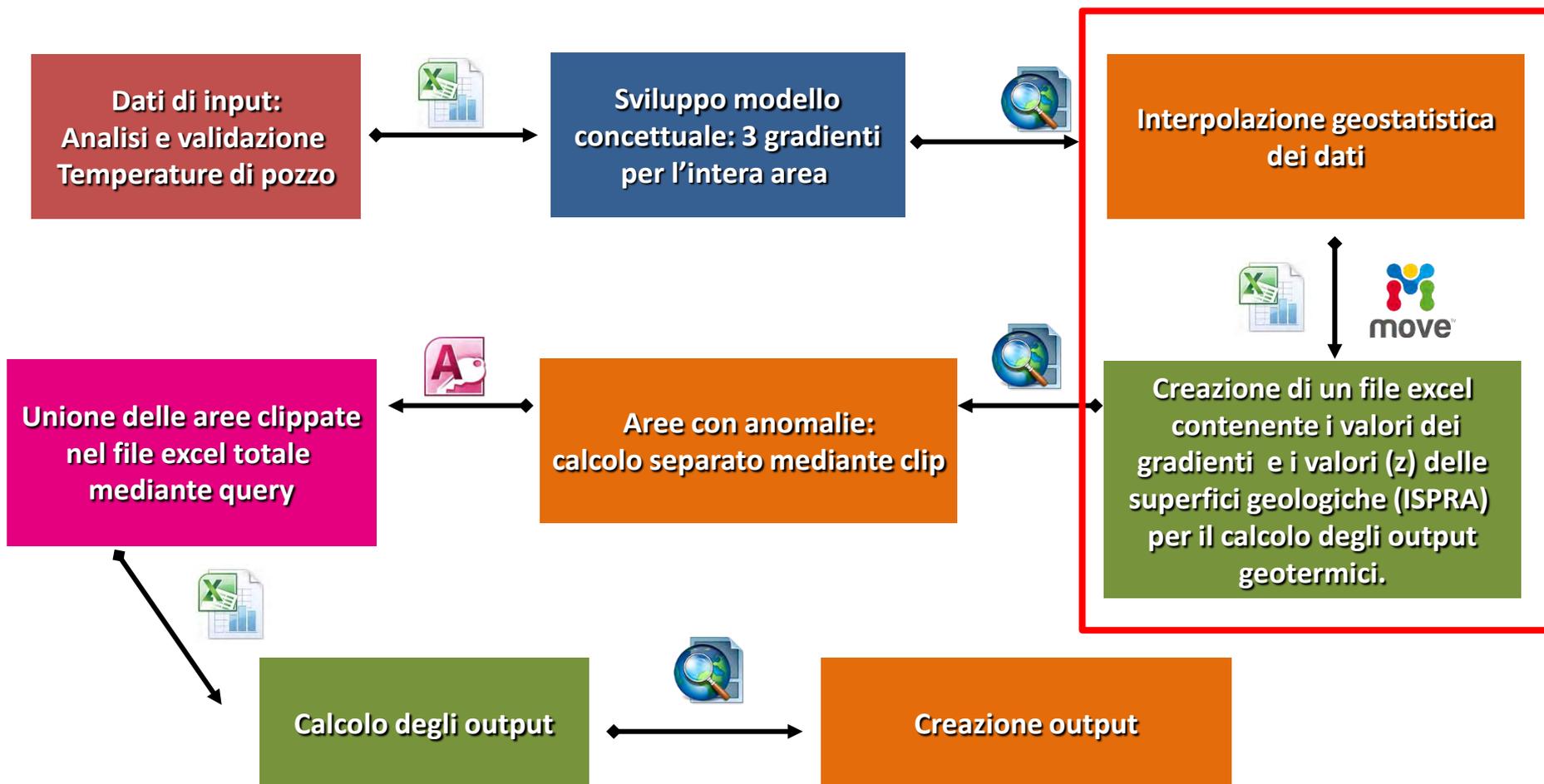


## Esempi di gradienti dell'area - 2





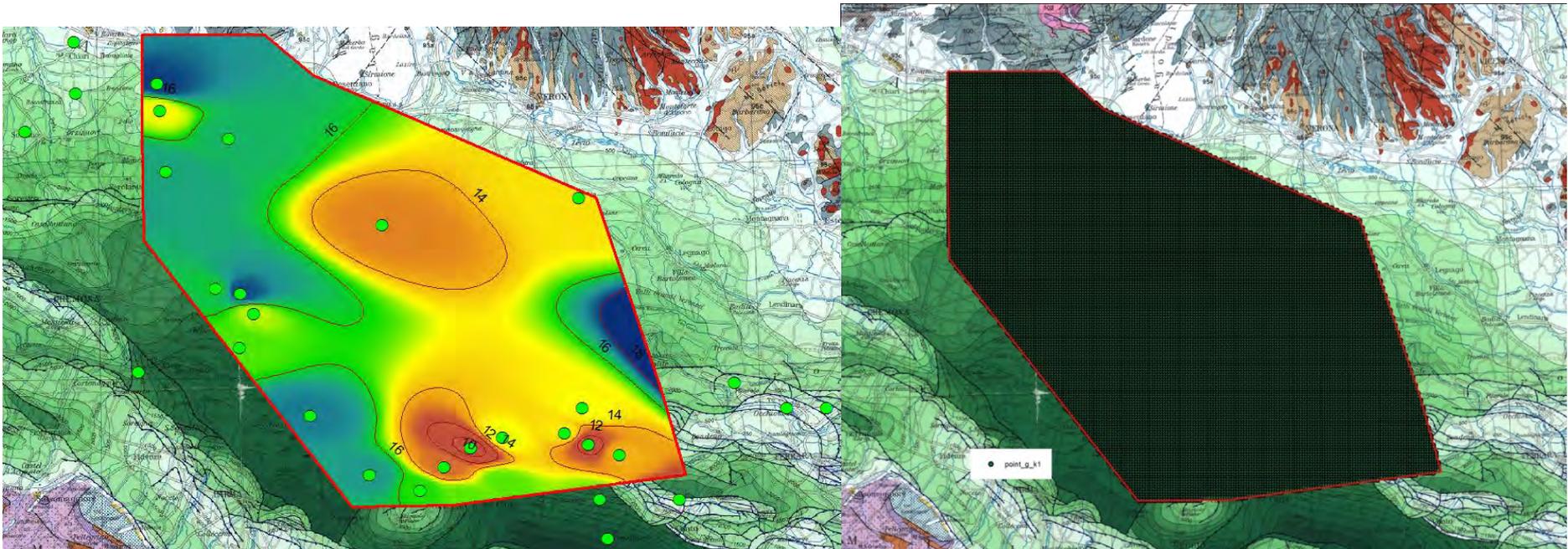
## Workflow modello delle temperature Pilot Area Italiana





## 5. Esempio di interpolazione geostatistica, gradiente K1

ArcGis IDW, interpolatore esatto (mantiene valore esatto sul punto)



Si ottiene una **griglia fissa** di circa 22000 punti (passo a 500m) e ogni punto avrà sempre:

- POINT\_ID univoco;
- Coordinate x y (WGS84 utm32N);
- Valori di K0,K1,K2

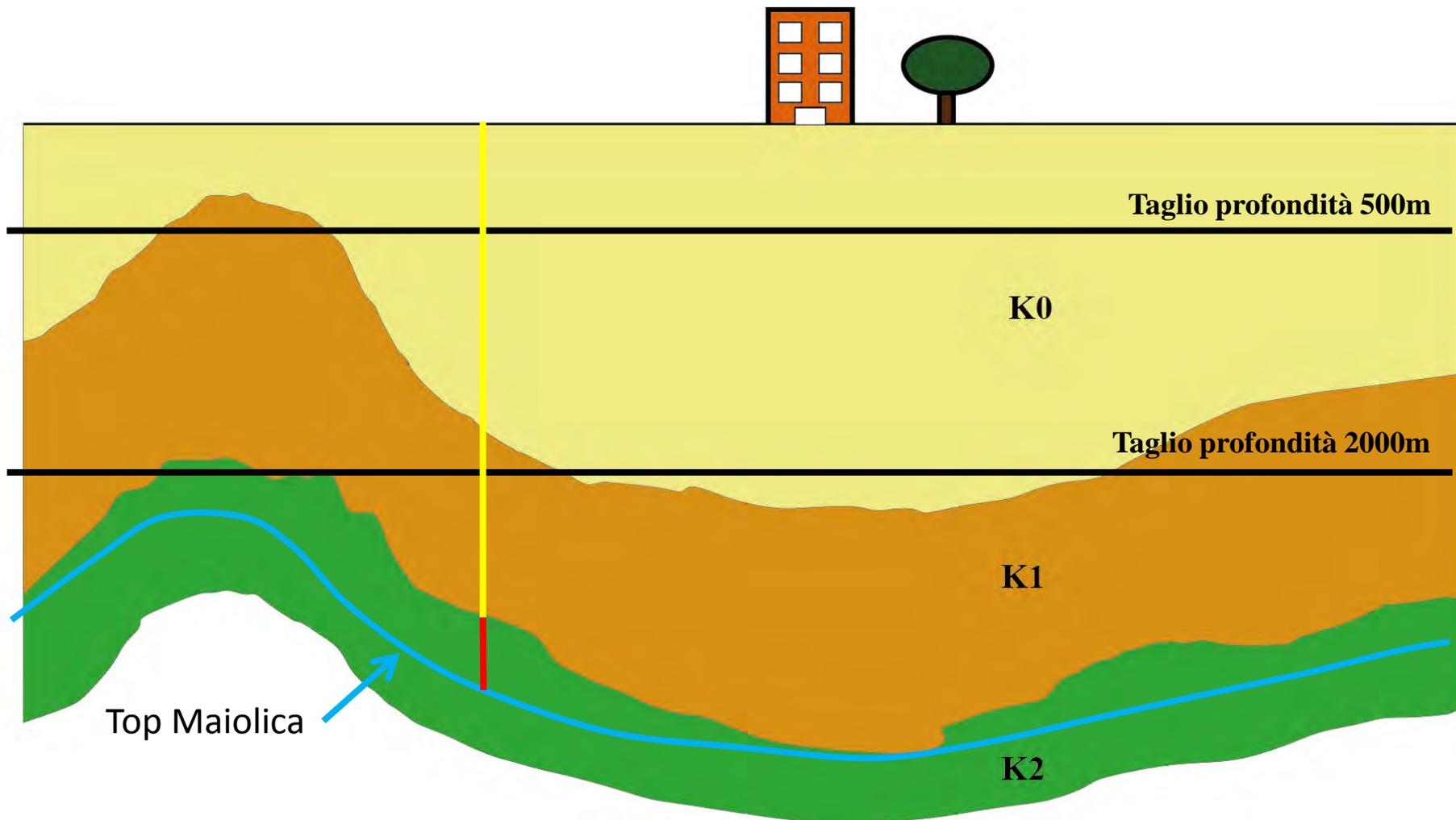


## 6. Sviluppo Excel di Calcolo: tagli in profondità, isoterme, top formazioni

Sulla griglia fissa di punti vengono esportati i valori in profondità delle superfici geologiche di interesse (qm – eom; top formazionali - ISPRA) per lo sviluppo di un foglio excel di calcolo.

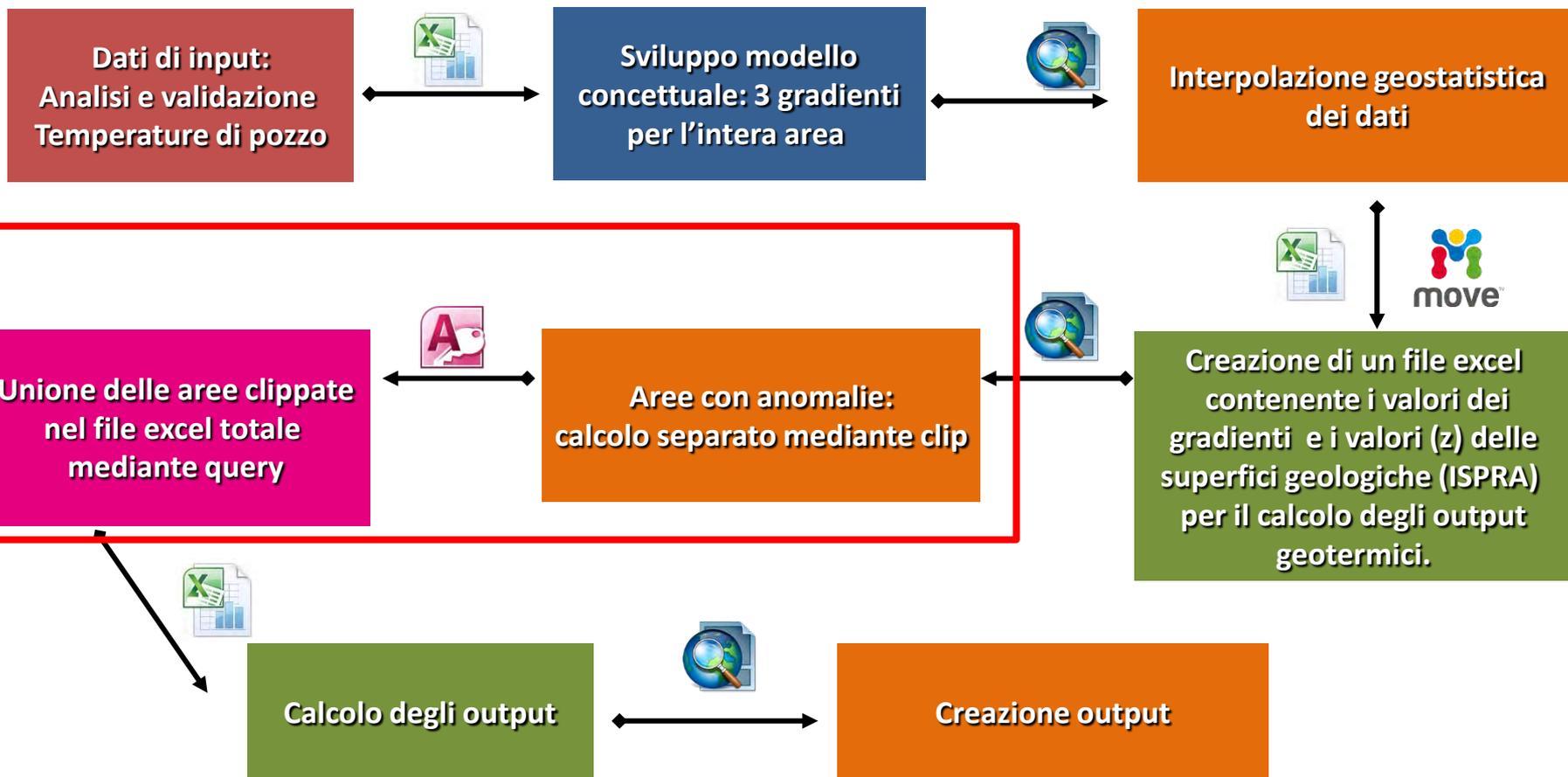


## 6. Sviluppo Excel di Calcolo: tagli in profondità, isoterme, top formazioni



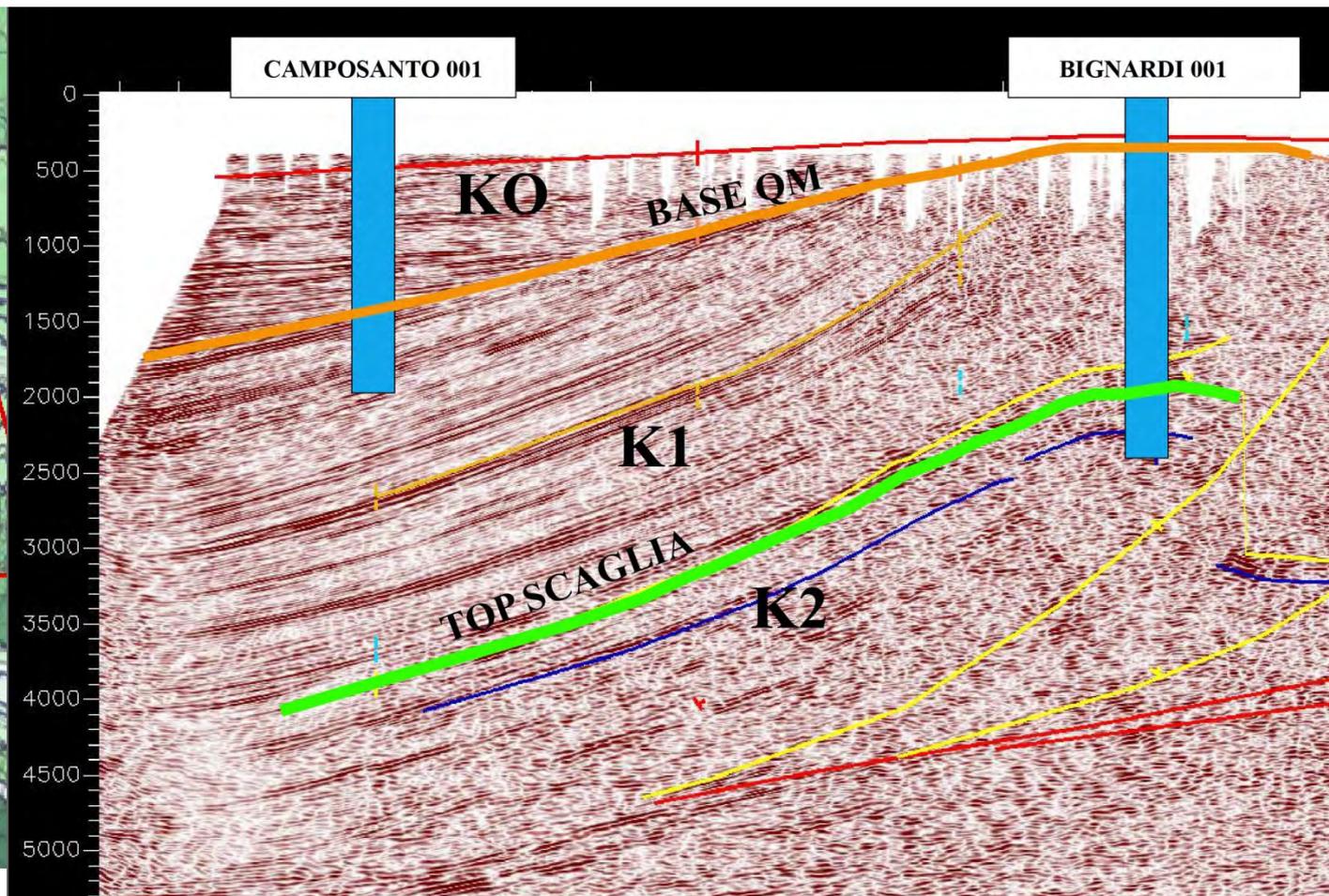
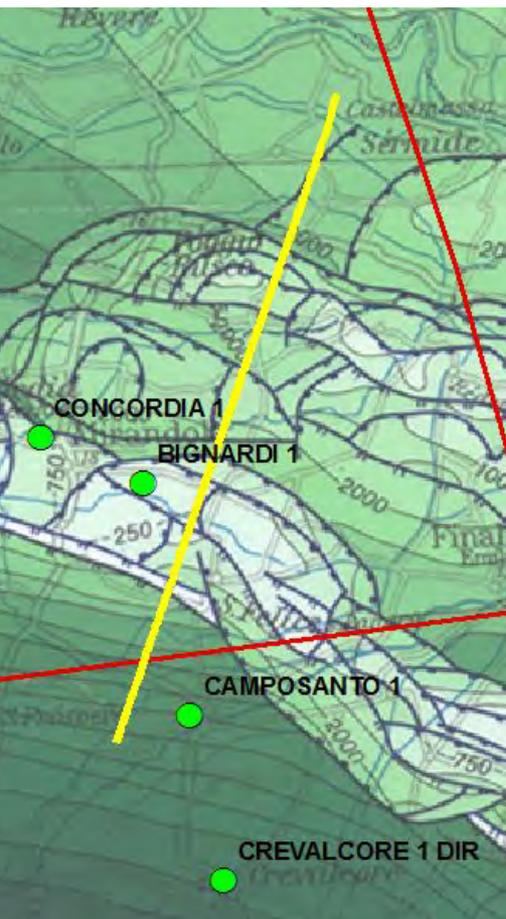


## Workflow modello delle temperature Pilot Area Italiana

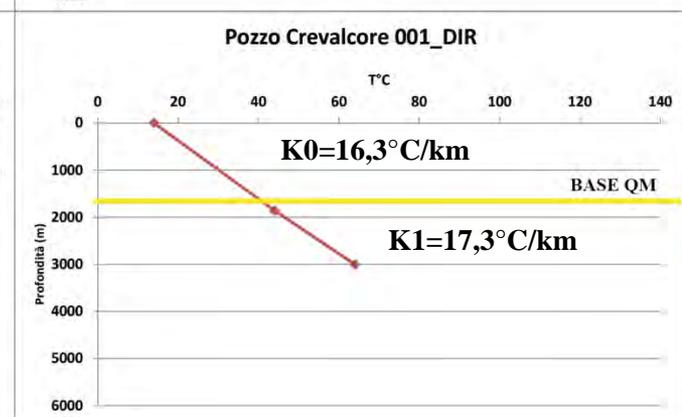
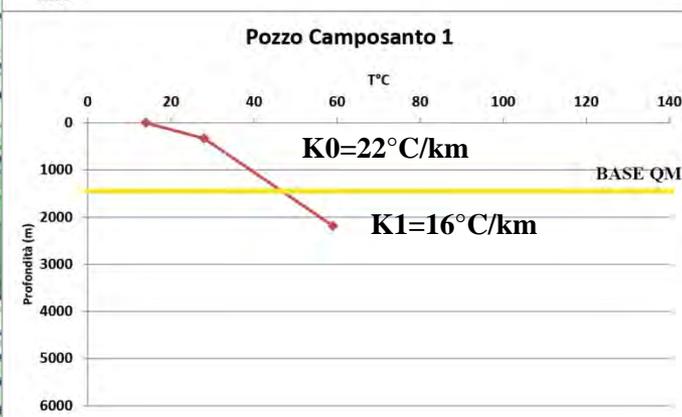
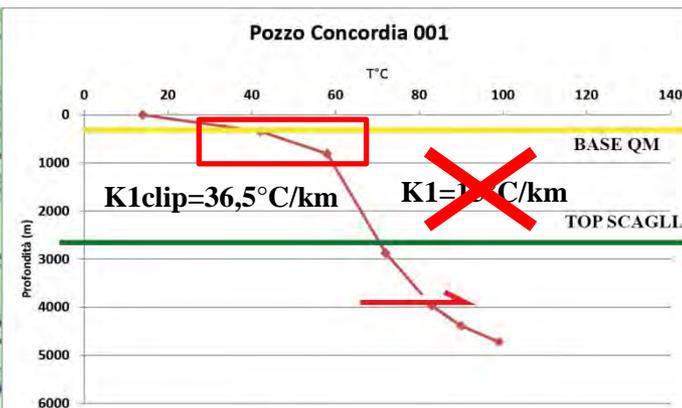
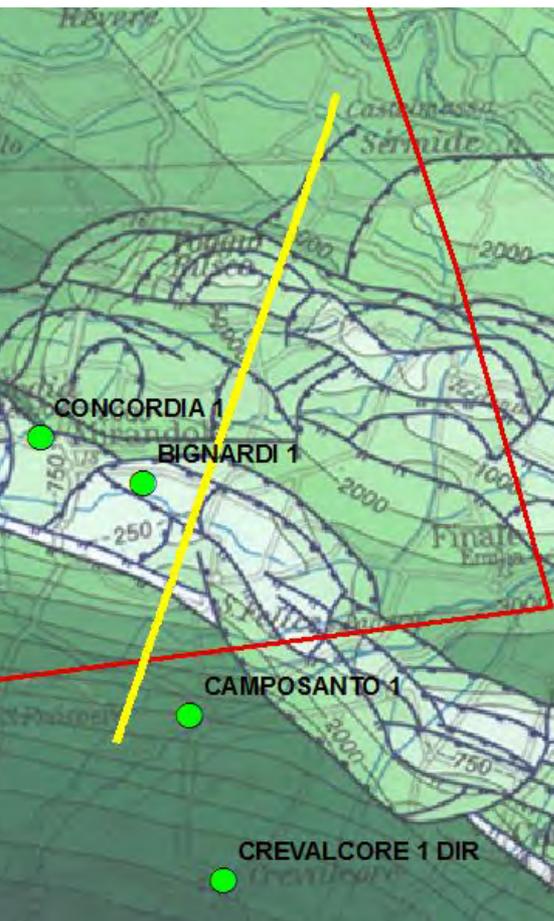




## 7. Aree con anomalie, arco sepolto Appennino



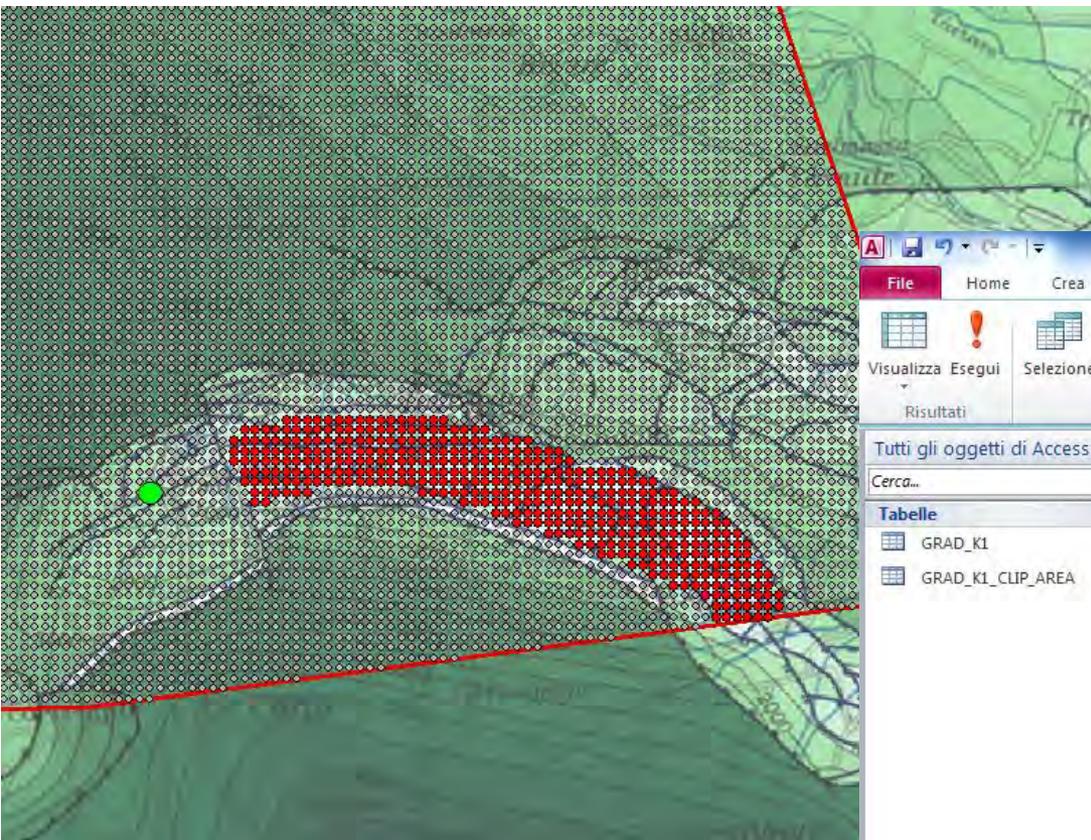
## 7. Aree con anomalie, arco sepolto Appennino



**K1clip** calcolato su tutti i pozzi dell'arco che presentano l'anomalia

## 8. Aree con anomalie, arco sepolto Appennino

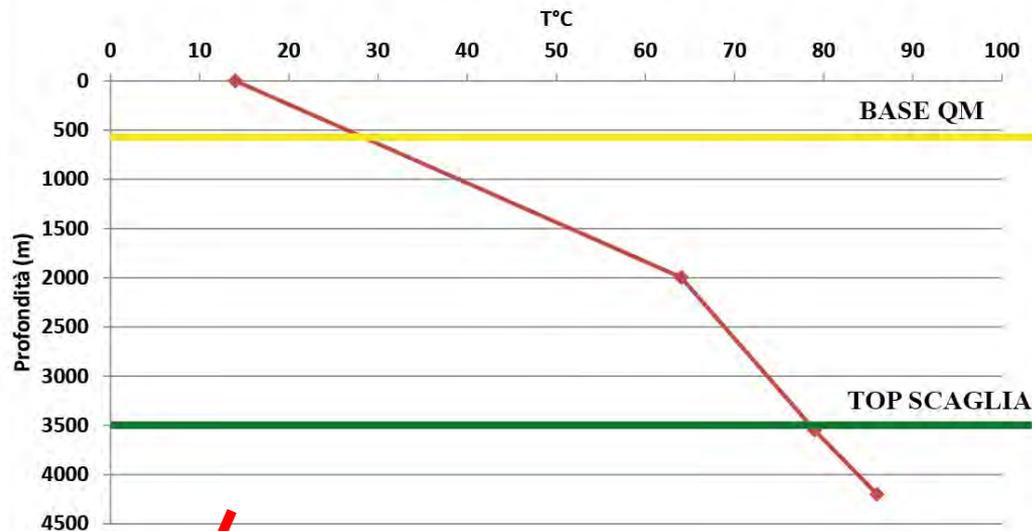
Il nuovo valore del gradiente K1 viene inserito nell'area di clip e poi unito all'excel totale mediante aggiornamento dei point\_ID. Questo serve per meglio rappresentare l'anomalia negli output più superficiali (500m, 1000m e ISO\_60).



The screenshot shows the Microsoft Access interface. The 'Strumenti query' ribbon is active, with the 'Aggiornamento' (Update) tool highlighted. The 'Query1' design view shows two tables: 'GRAD\_K1' and 'GRAD\_K1\_CLIP\_AREA'. Both tables have a primary key 'ID' and fields 'POINT\_ID', 'X\_WGS84', 'Y\_WGS84', and 'GRAD\_K1'. A relationship line connects the 'ID' fields of the two tables. Below the design view, the 'Totale' (Totals) row is visible:

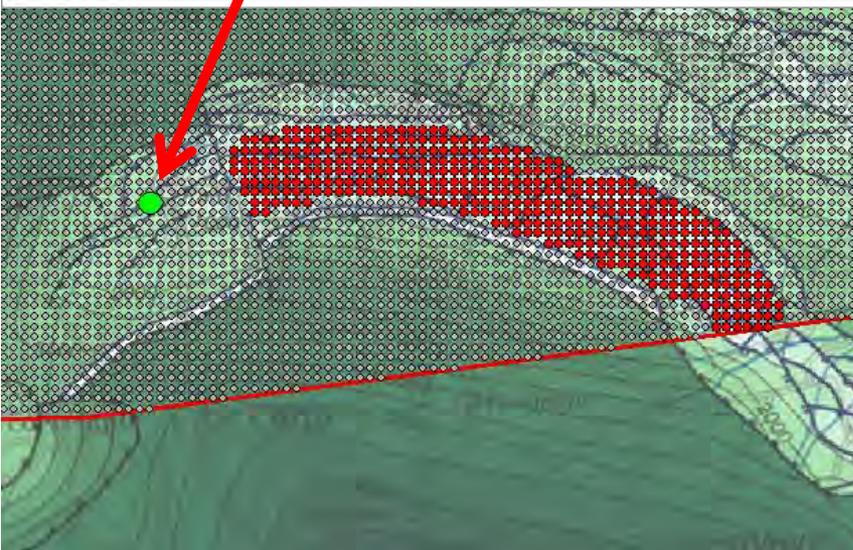
Campo:	X_WGS84	Y_WGS84	GRAD_K1
Tabella:	GRAD_K1	GRAD_K1	GRAD_K1
Aggiorna a:	[GRAD_K1_CLIP_AREA]	[GRAD_K1_CLIP_AREA]	[GRAD_K1_CLIP_AREA]
Criteri:			
Oppure:			

Pozzo S.Giovanni 001



## o sepolto Appennino

area di clip e poi unito all'excel totale  
per meglio rappresentare l'anomalia negli



Database37 : Database (Access 2007 - 2010)

Strumenti query: Progettazione

Visualizza Esegui | Selezione Creazione tabella | Aggiornamento | A campi incrociati | Eliminazione | Definizione dati | Unione | Pass-through | Mostra tabella | Inserisci | Elimina | Genera

Tutti gli oggetti di Access

Cerca...

Tabelle: GRAD\_K1, GRAD\_K1\_CLIP\_AREA

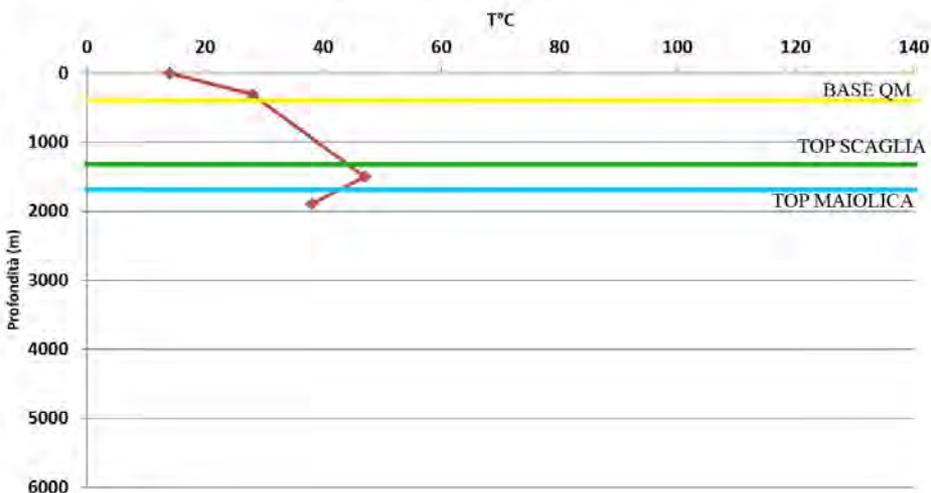
Query1

GRAD_K1	GRAD_K1_CLIP_AREA
ID	ID
POINT_ID	POINT_ID
X_WGS84	X_WGS84
Y_WGS84	Y_WGS84
GRAD_K1	GRAD_K1

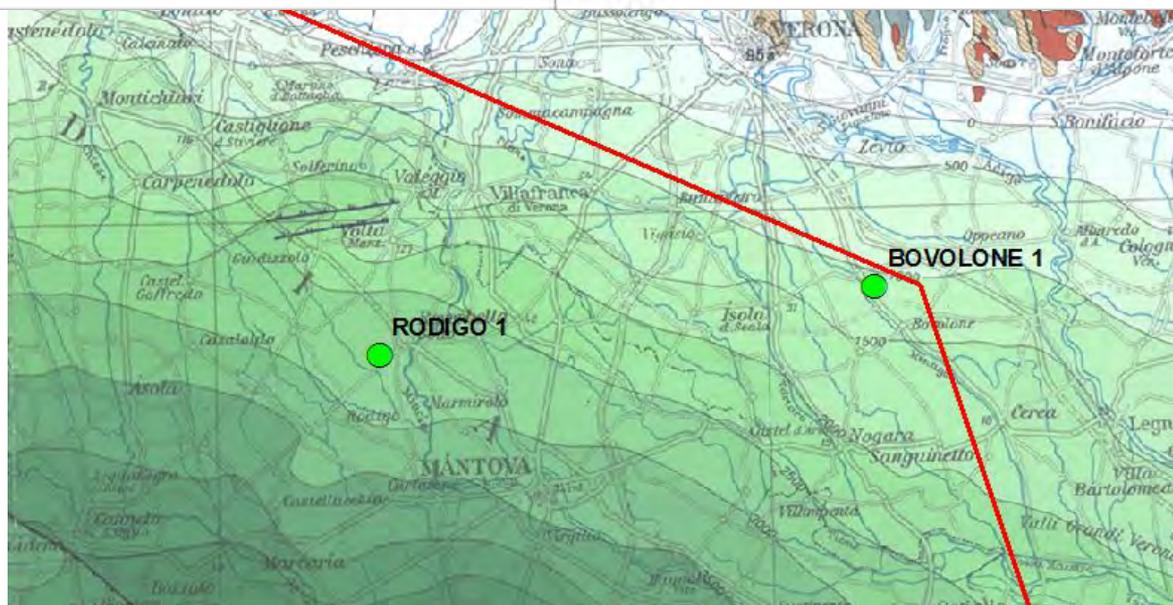
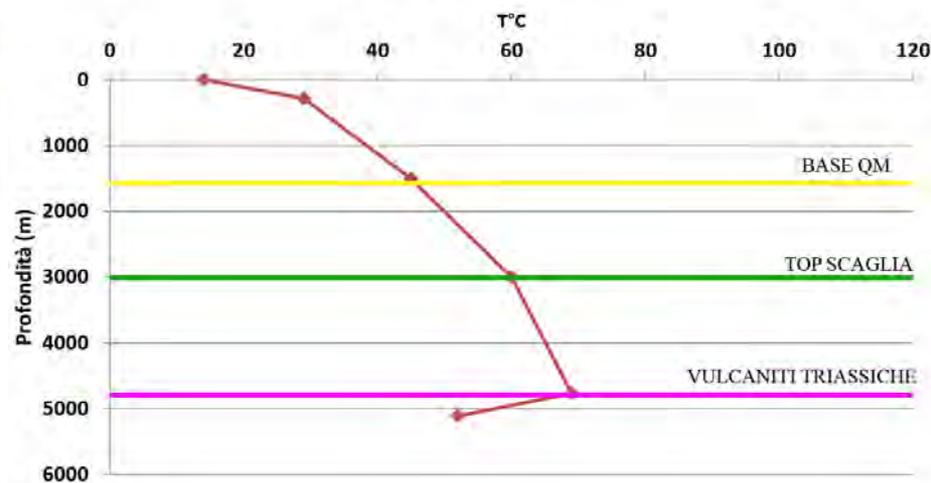
Campo:	X_WGS84	Y_WGS84	GRAD_K1
Tabella:	GRAD_K1	GRAD_K1	GRAD_K1
Aggiorna a:	[GRAD_K1_CLIP_AREA]	[GRAD_K1_CLIP_AREA]	[GRAD_K1_CLIP_AREA]
Criteri:			
Oppure:			



### Pozzo Bovolone 001

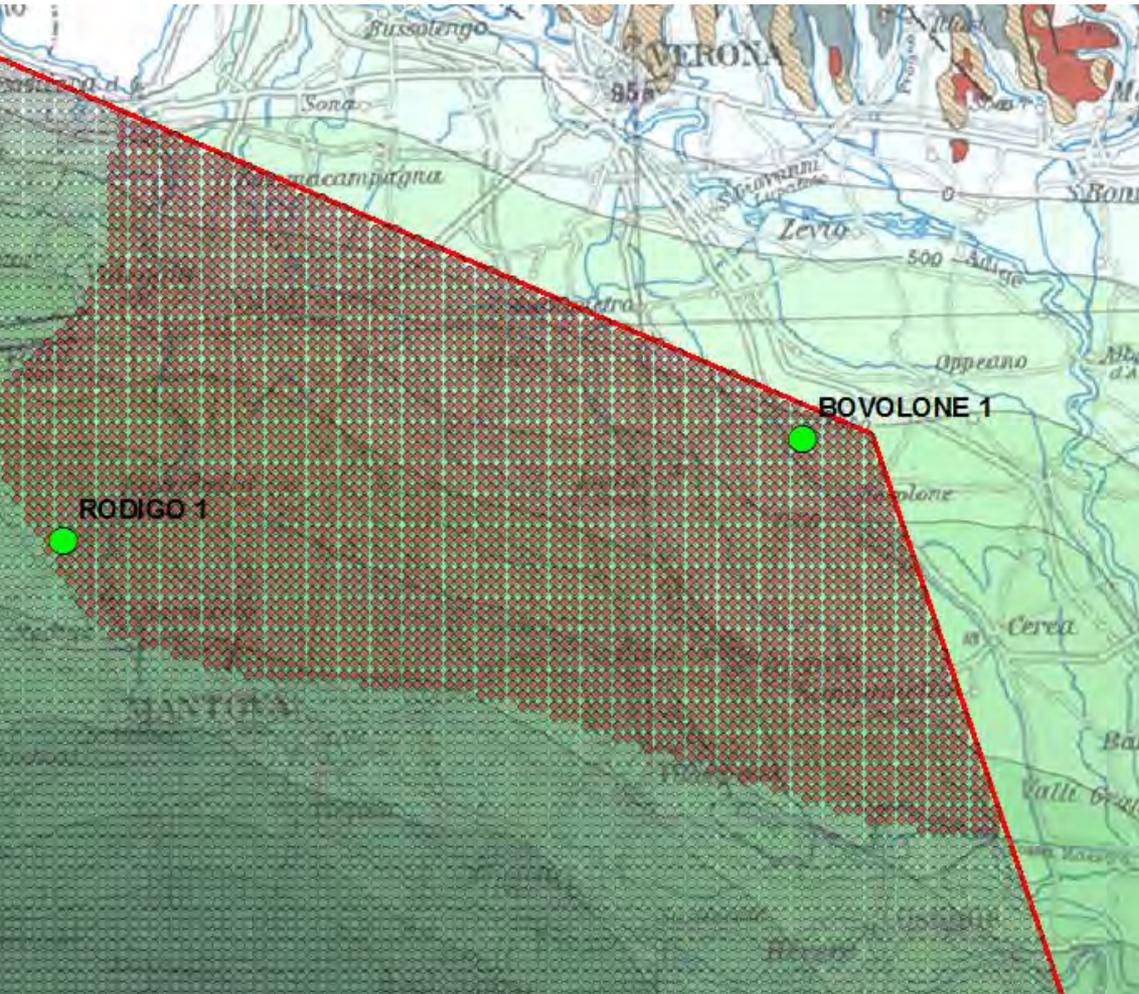


### Pozzo Rodigo 001





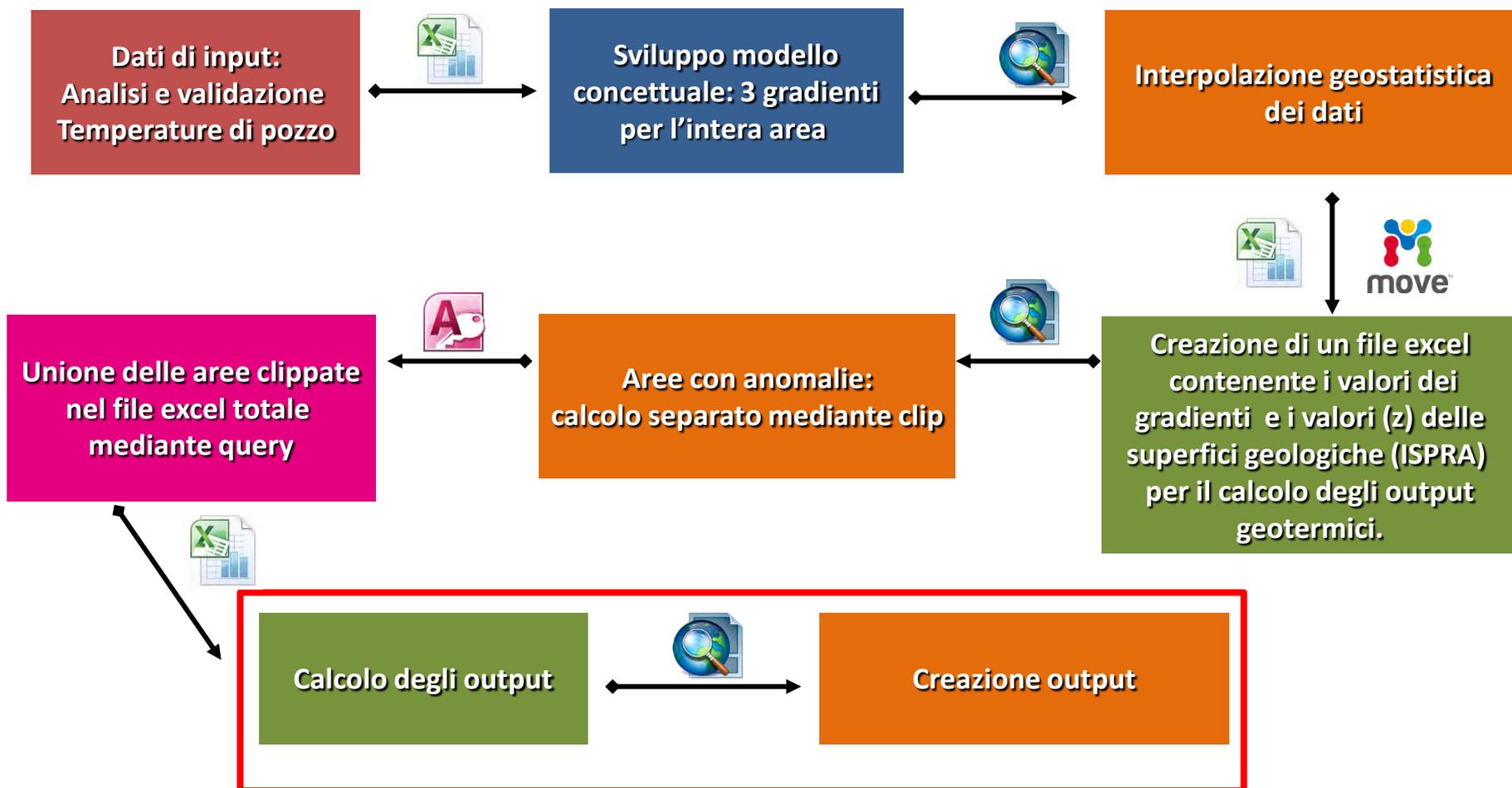
## 9. Aree con anomalie, monoclinale

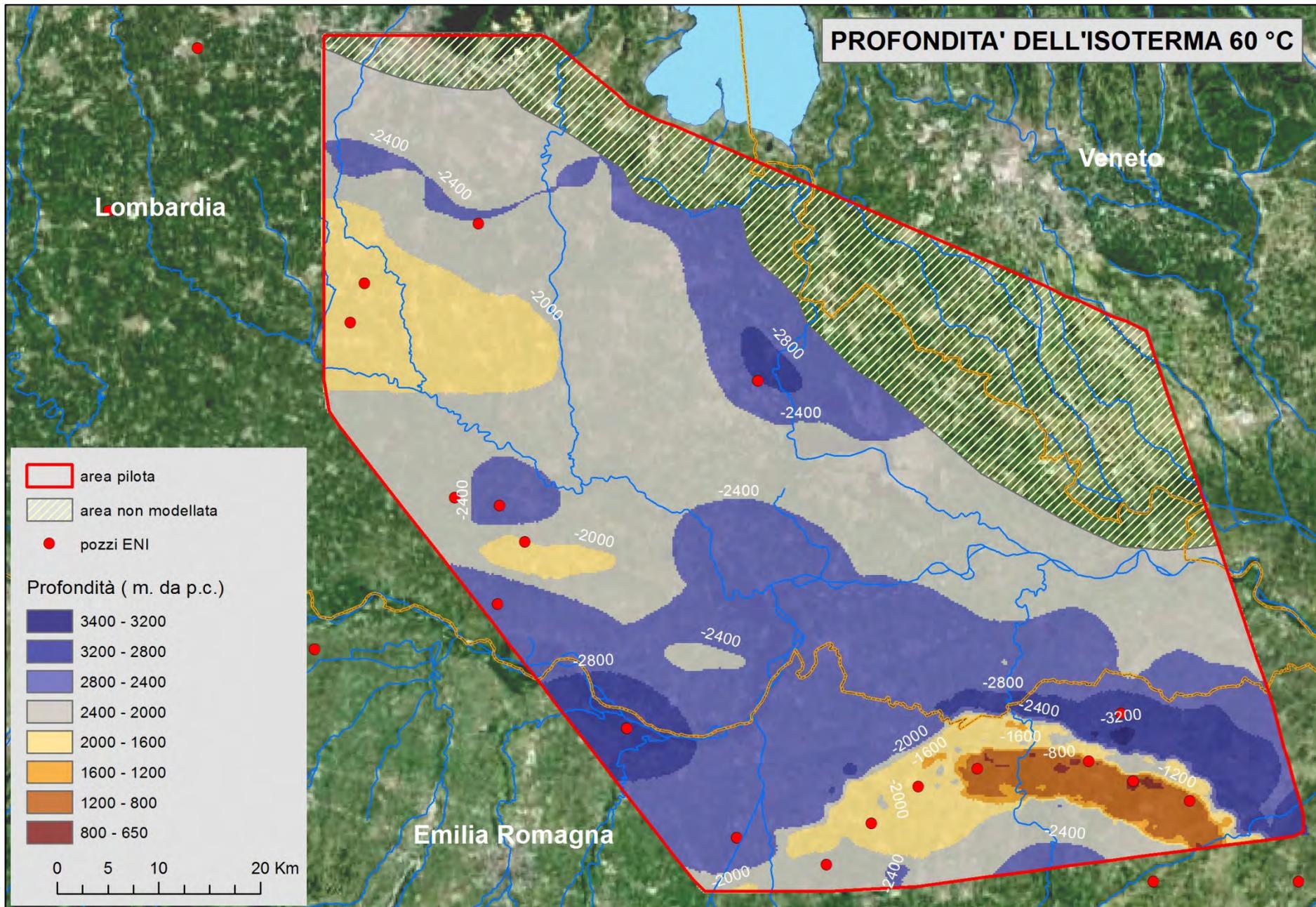


Basandosi sull'analisi dei pozzi Bovolone e Rodigo ( $T^{\circ}C$  e relative mineralizzazioni) e sulla sismica è stata creata un'area di clip dove il gradiente K1 è stato prolungato fino al top della maiolica, in maniera da poter fornire la temperatura al top formazionale. Questa peculiarità geologico/strutturale unita alla scarsità di dati, non permette di avere confidenza sull'estrapolazione di temperatura in profondità.



## Workflow modello delle temperature Pilot Area Italiana





**PROFONDITA' DELL'ISOTERMA 60 °C**

Lombardia

Veneto

Emilia Romagna

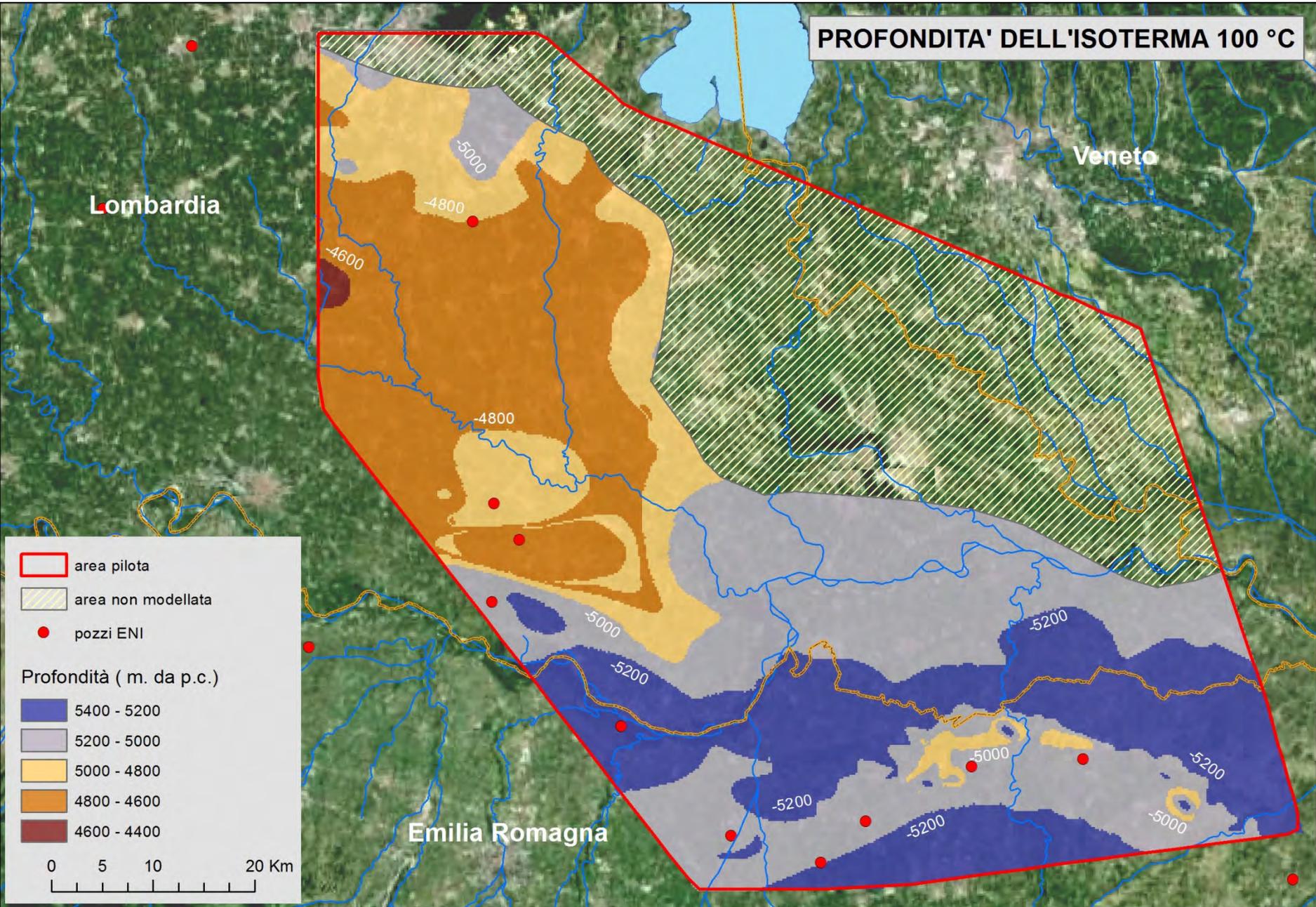
- area pilota
- area non modellata
- pozzi ENI

Profondità ( m. da p.c.)

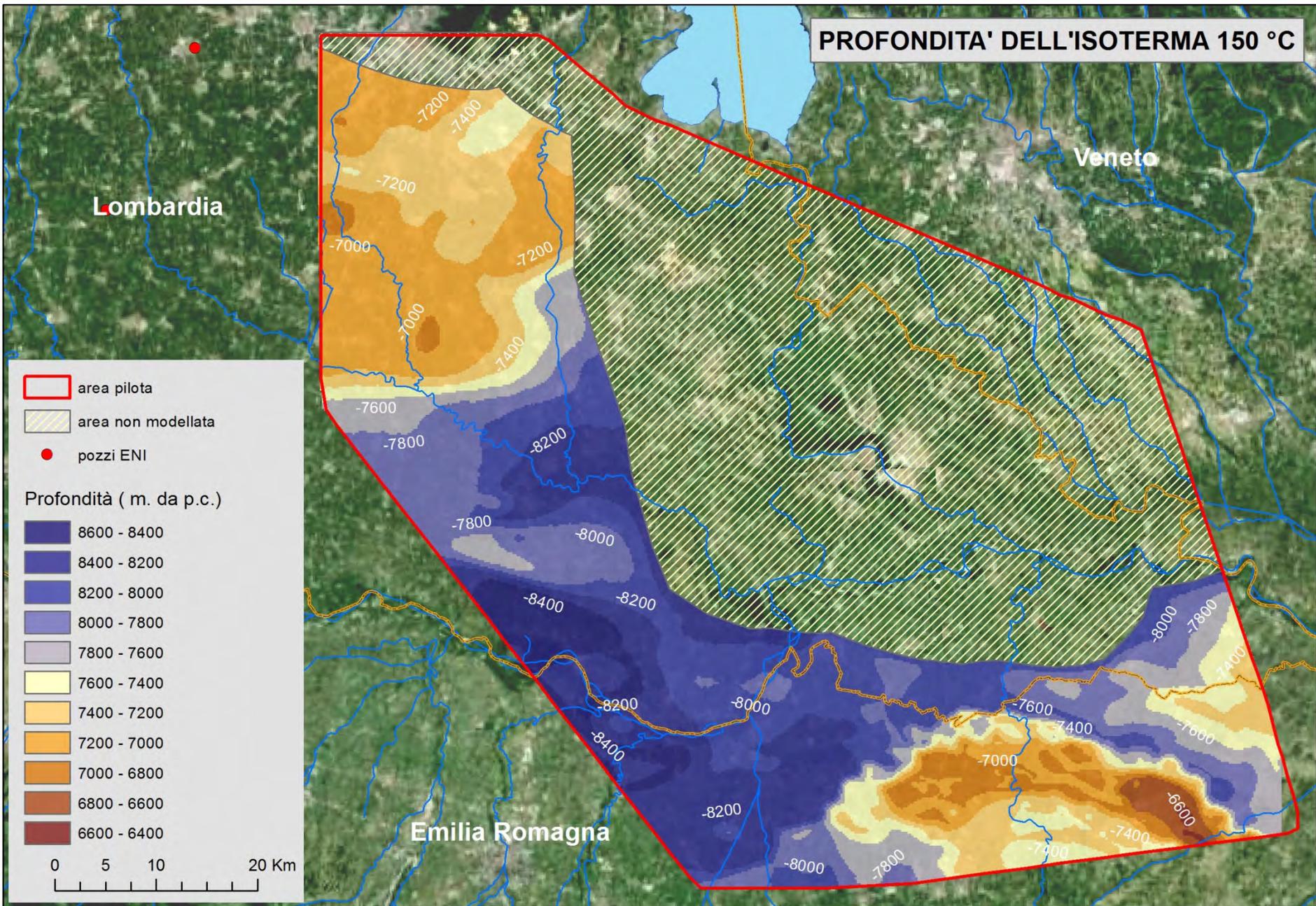
- 3400 - 3200
- 3200 - 2800
- 2800 - 2400
- 2400 - 2000
- 2000 - 1600
- 1600 - 1200
- 1200 - 800
- 800 - 650

0    5    10    20 Km

PROFONDITA' DELL'ISOTERMA 100 °C



PROFONDITA' DELL'ISOTERMA 150 °C



Lombardia

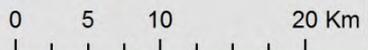
Veneto

Emilia Romagna

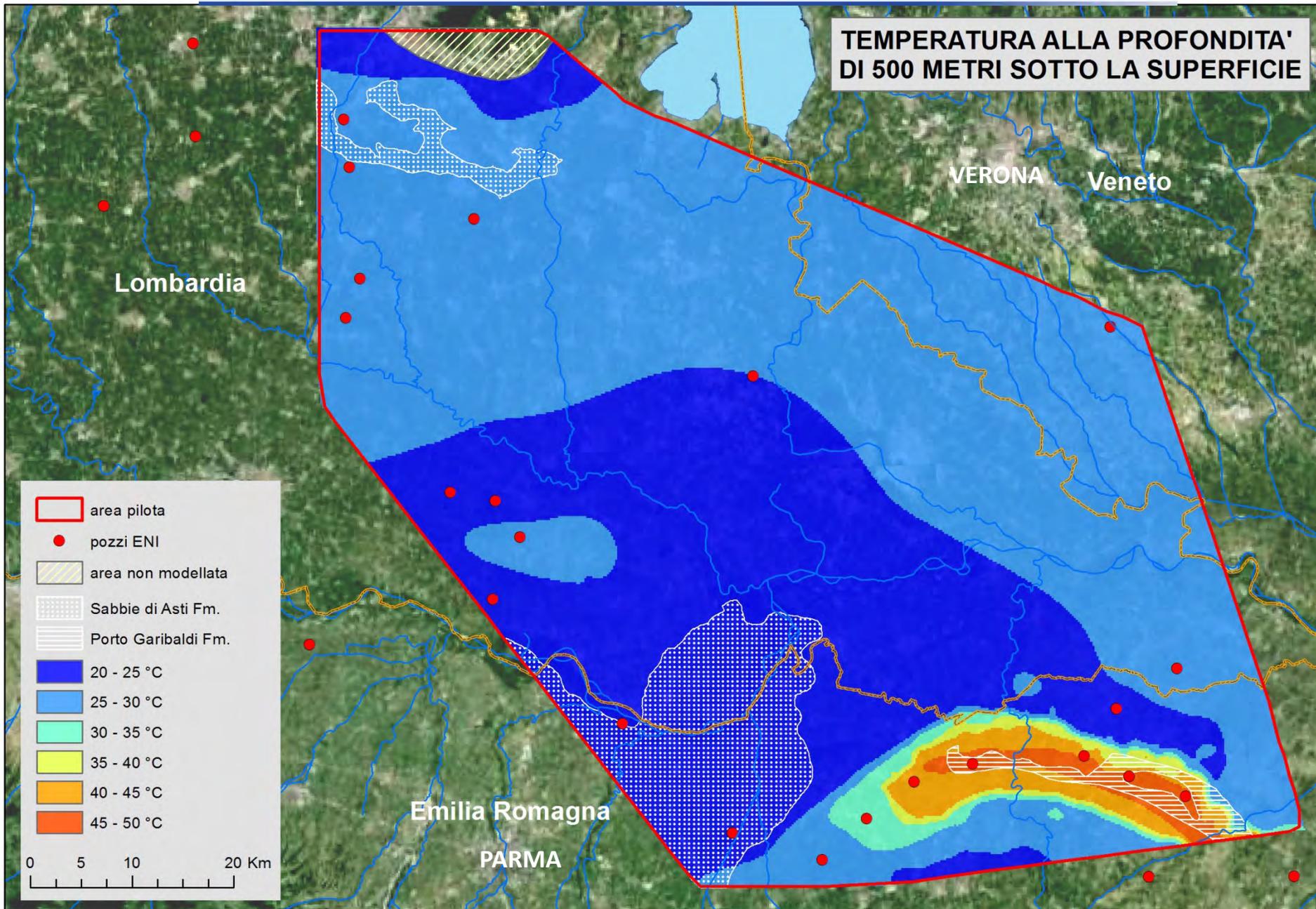
- area pilota
- area non modellata
- pozzi ENI

Profondità ( m. da p.c.)

- 8600 - 8400
- 8400 - 8200
- 8200 - 8000
- 8000 - 7800
- 7800 - 7600
- 7600 - 7400
- 7400 - 7200
- 7200 - 7000
- 7000 - 6800
- 6800 - 6600
- 6600 - 6400



TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 500 METRI SOTTO LA SUPERFICIE



Lombardia

VERONA Veneto

Emilia Romagna

PARMA

- area pilota
- pozzi ENI
- area non modellata
- Sabbie di Asti Fm.
- Porto Garibaldi Fm.
- 20 - 25 °C
- 25 - 30 °C
- 30 - 35 °C
- 35 - 40 °C
- 40 - 45 °C
- 45 - 50 °C

0 5 10 20 Km

**TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 1000 METRI SOTTO LA SUPERFICIE**

Lombardia

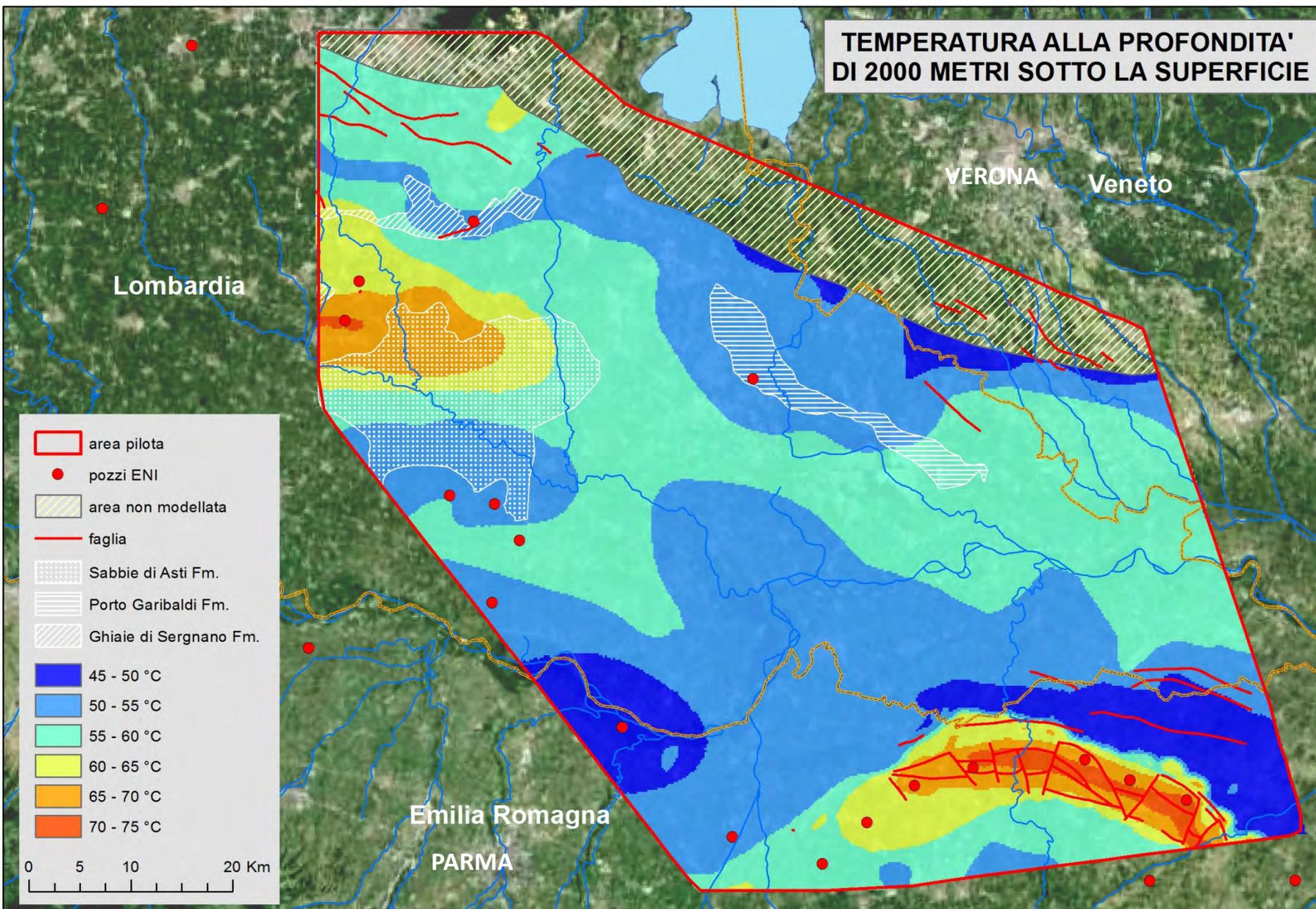
VERONA Veneto

Emilia Romagna

PARMA



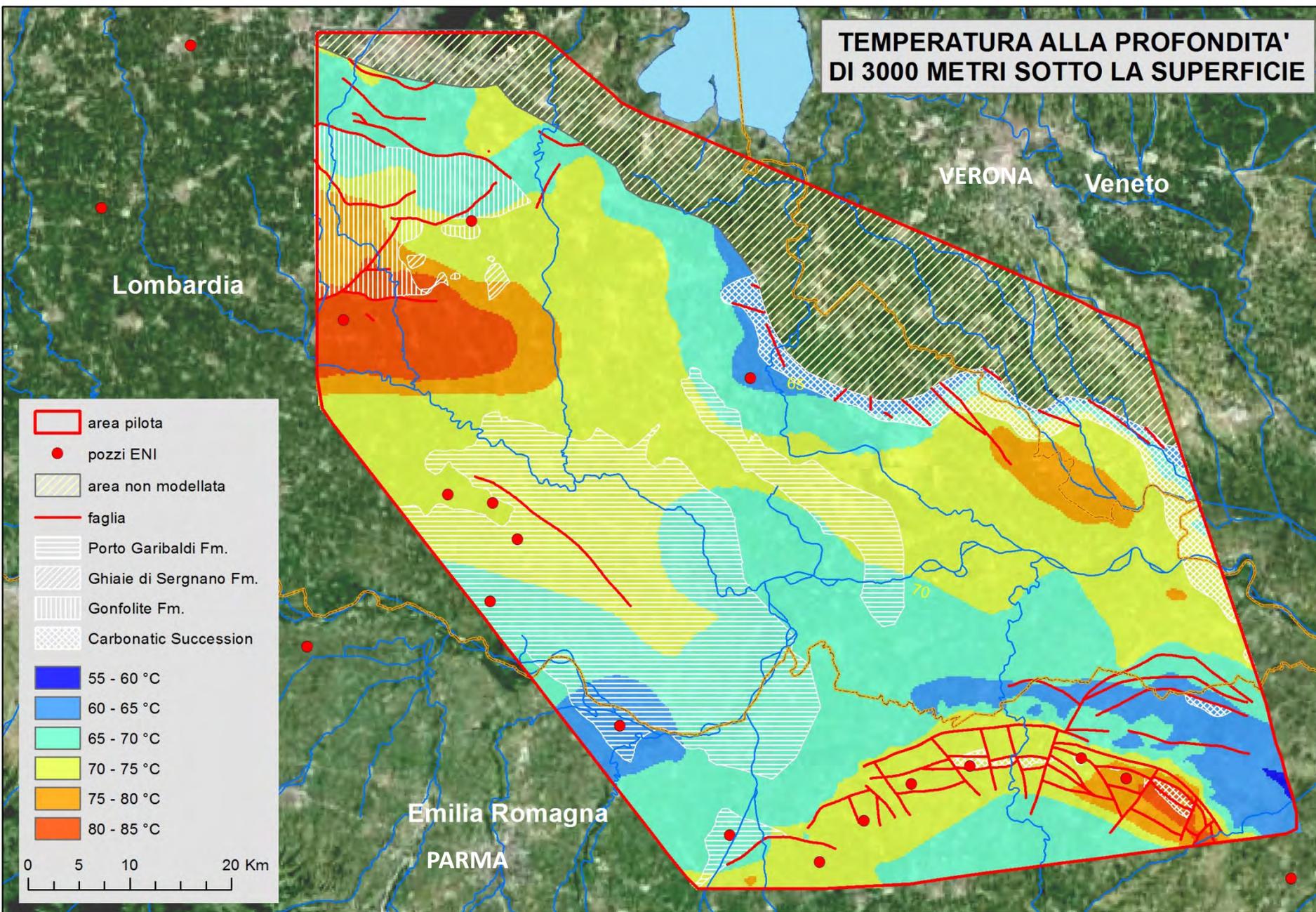
TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 2000 METRI SOTTO LA SUPERFICIE



- area pilota
- pozzi ENI
- area non modellata
- faglia
- Sabbie di Asti Fm.
- Porto Garibaldi Fm.
- Ghiaie di Sergnano Fm.
- 45 - 50 °C
- 50 - 55 °C
- 55 - 60 °C
- 60 - 65 °C
- 65 - 70 °C
- 70 - 75 °C

0 5 10 20 Km

TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 3000 METRI SOTTO LA SUPERFICIE



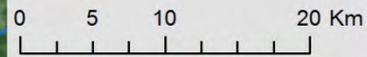
Lombardia

VERONA Veneto

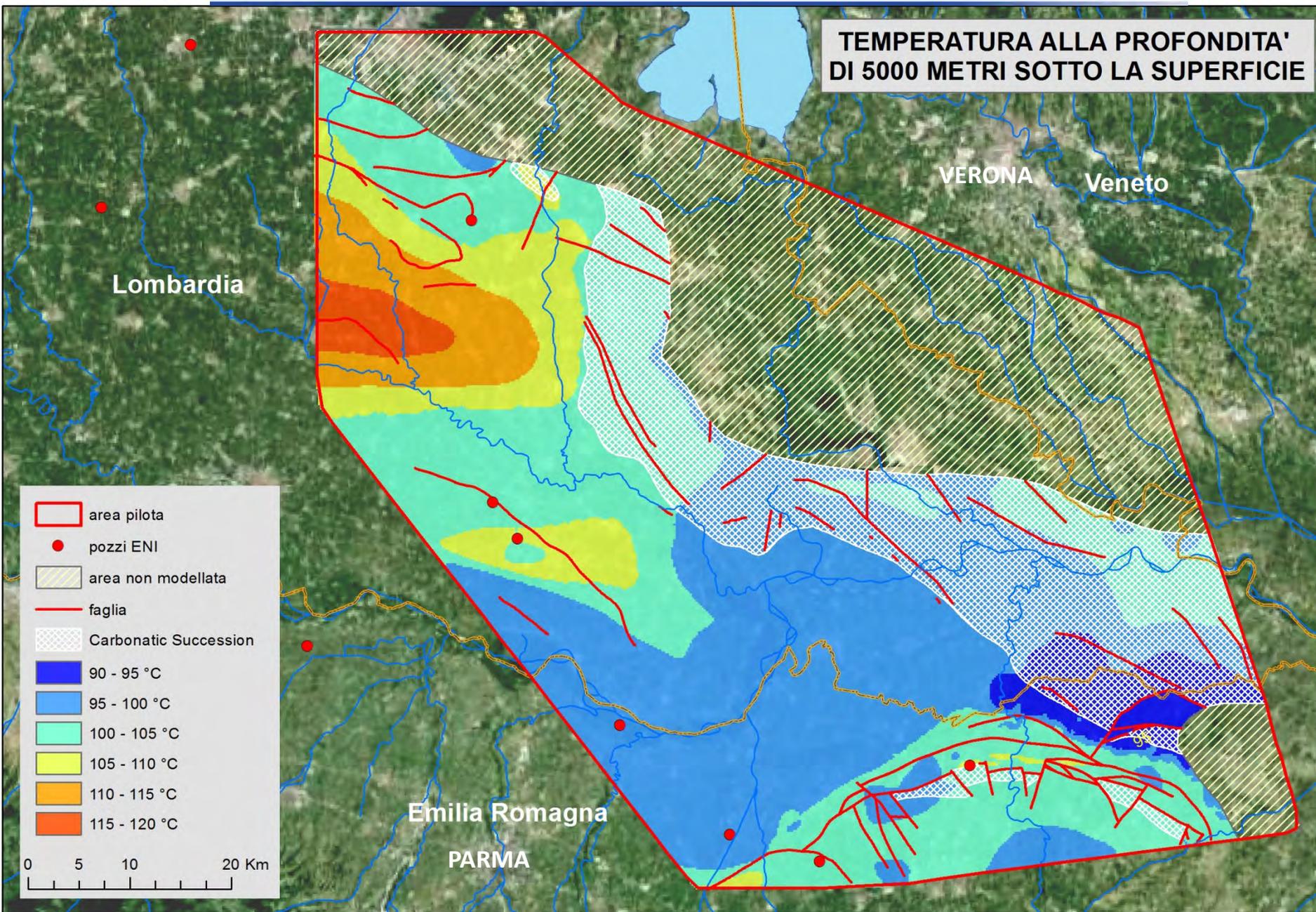
Emilia Romagna

PARMA

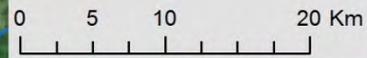
- area pilota
- pozzi ENI
- area non modellata
- faglia
- Porto Garibaldi Fm.
- Ghiaie di Serignano Fm.
- Gonfolite Fm.
- Carbonatic Succession
- 55 - 60 °C
- 60 - 65 °C
- 65 - 70 °C
- 70 - 75 °C
- 75 - 80 °C
- 80 - 85 °C



TEMPERATURA ALLA PROFONDITA' DI 5000 METRI SOTTO LA SUPERFICIE



- area pilota
- pozzi ENI
- area non modellata
- faglia
- Carbonatic Succession
- 90 - 95 °C
- 95 - 100 °C
- 100 - 105 °C
- 105 - 110 °C
- 110 - 115 °C
- 115 - 120 °C



**STIMA DEL POTENZIALE GEOTERMICO  
 AL TOP DELLA SUCCESSIONE  
 Pliocenica GROSSOLANA "CGP2"**



VERONA

Veneto

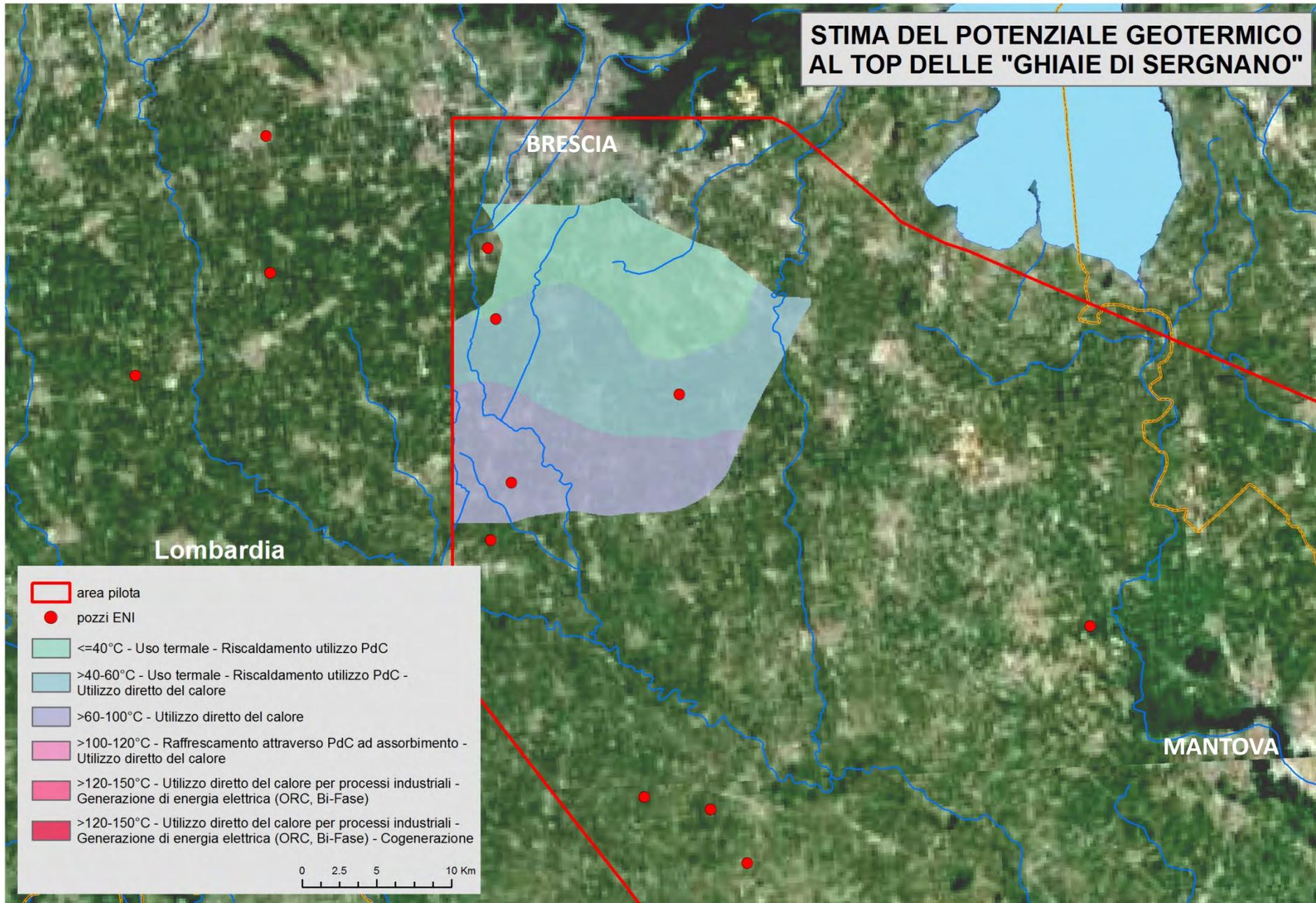
MANTOVA

area pilota  
● pozzi ENI

$\leq 40^{\circ}\text{C}$  - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC  
  $>40-60^{\circ}\text{C}$  - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC - Utilizzo diretto del calore  
  $>60-100^{\circ}\text{C}$  - Utilizzo diretto del calore  
  $>100-120^{\circ}\text{C}$  - Raffrescamento attraverso PdC ad assorbimento - Utilizzo diretto del calore  
  $>120-150^{\circ}\text{C}$  - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase)  
  $>120-150^{\circ}\text{C}$  - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase) - Cogenerazione

0    2.5    5    10 Km

# STIMA DEL POTENZIALE GEOTERMICO AL TOP DELLE "GHIAIE DI SERGNANO"



**area pilota**

**pozzii ENI**

**<=40°C - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC**

**>40-60°C - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC - Utilizzo diretto del calore**

**>60-100°C - Utilizzo diretto del calore**

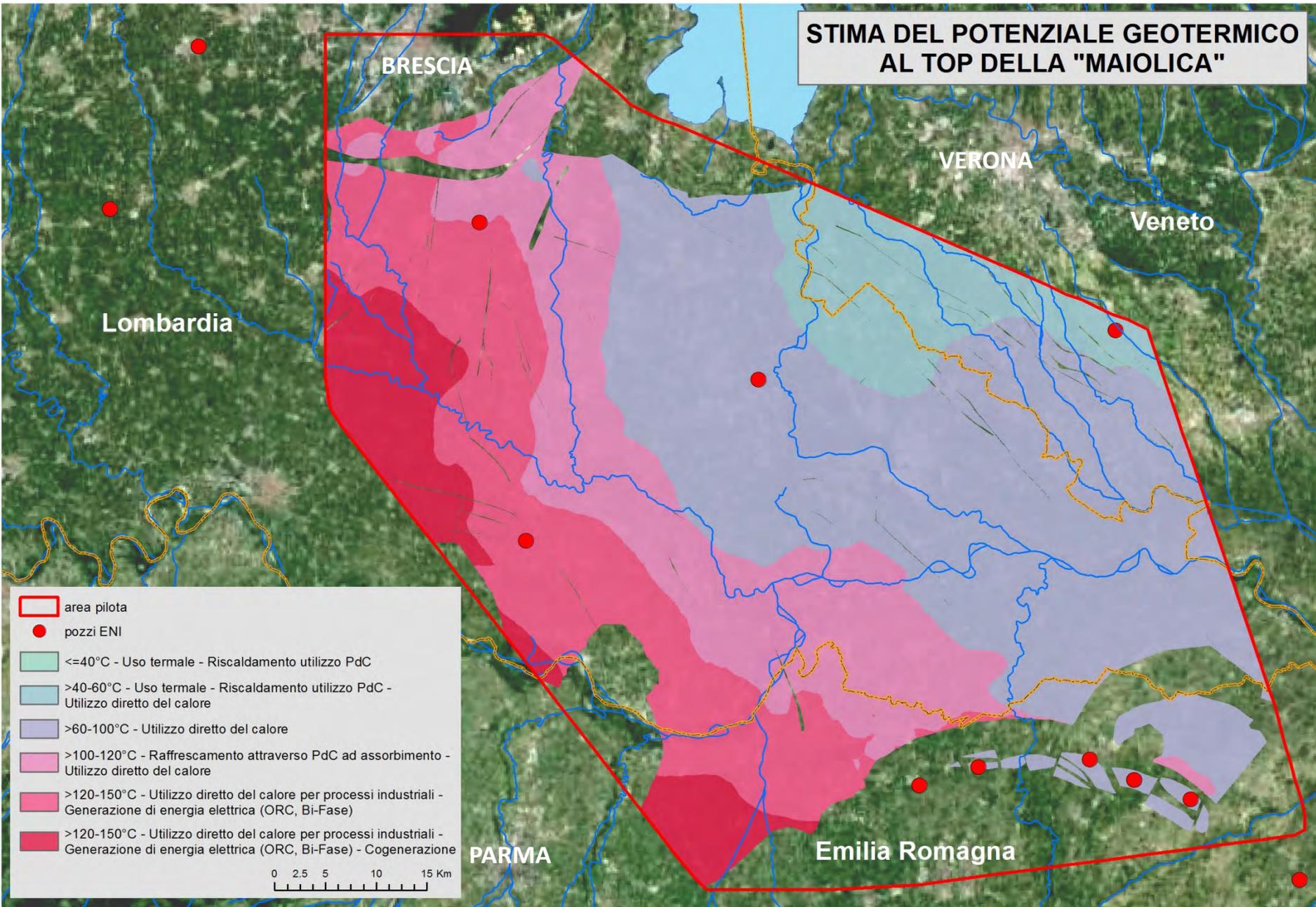
**>100-120°C - Raffrescamento attraverso PdC ad assorbimento - Utilizzo diretto del calore**

**>120-150°C - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase)**

**>120-150°C - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase) - Cogenerazione**

0 2.5 5 10 Km

**STIMA DEL POTENZIALE GEOTERMICO  
 AL TOP DELLA "MAIOLICA"**



- area pilota
- pozzi ENI
- <=40°C - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC
- >40-60°C - Uso termale - Riscaldamento utilizzo PdC - Utilizzo diretto del calore
- >60-100°C - Utilizzo diretto del calore
- >100-120°C - Raffrescamento attraverso PdC ad assorbimento - Utilizzo diretto del calore
- >120-150°C - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase)
- >120-150°C - Utilizzo diretto del calore per processi industriali - Generazione di energia elettrica (ORC, Bi-Fase) - Cogenerazione

0 2.5 5 10 15 Km

PARMA

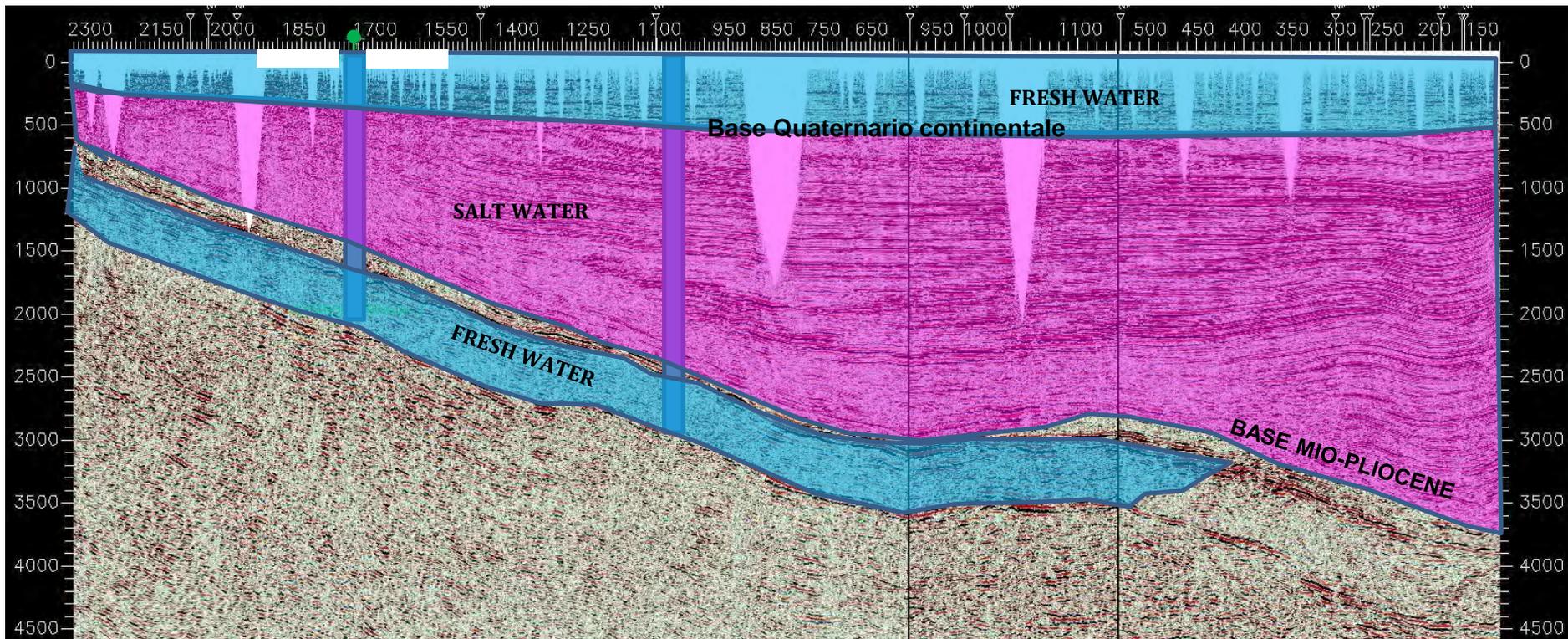
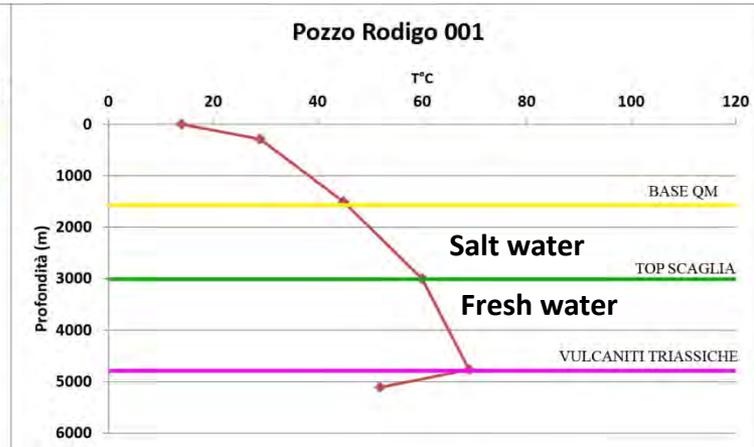
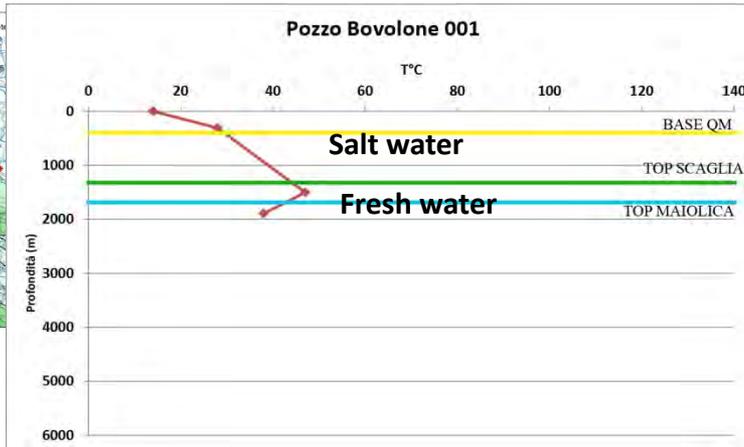
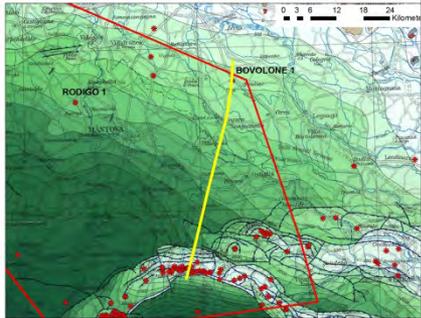
Emilia Romagna

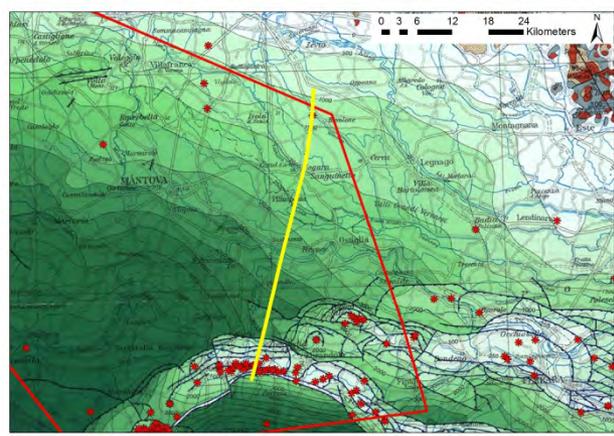
Lombardia

BRESCIA

VERONA

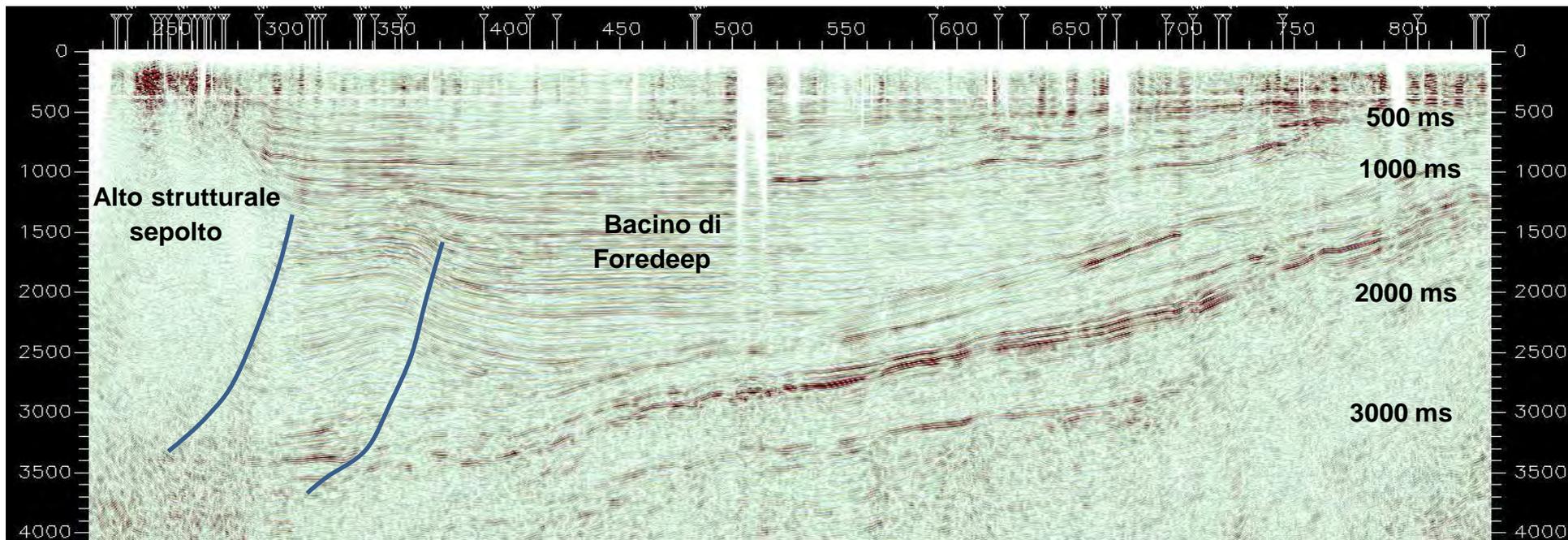
Veneto

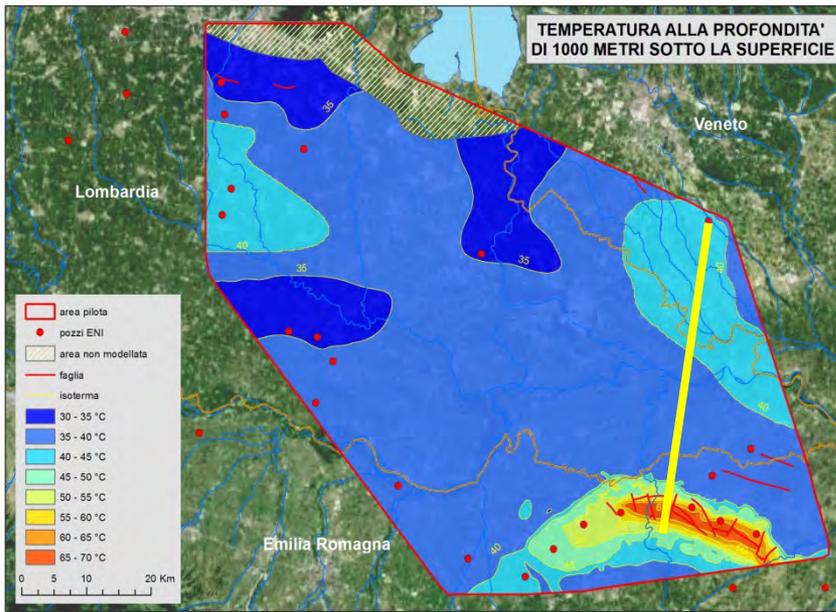




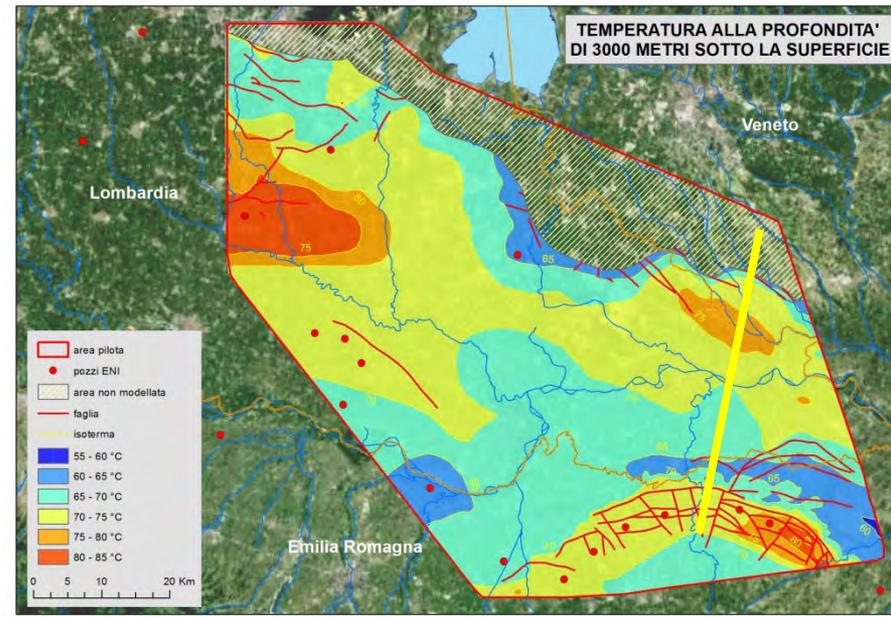
**Sud**

**Nord**

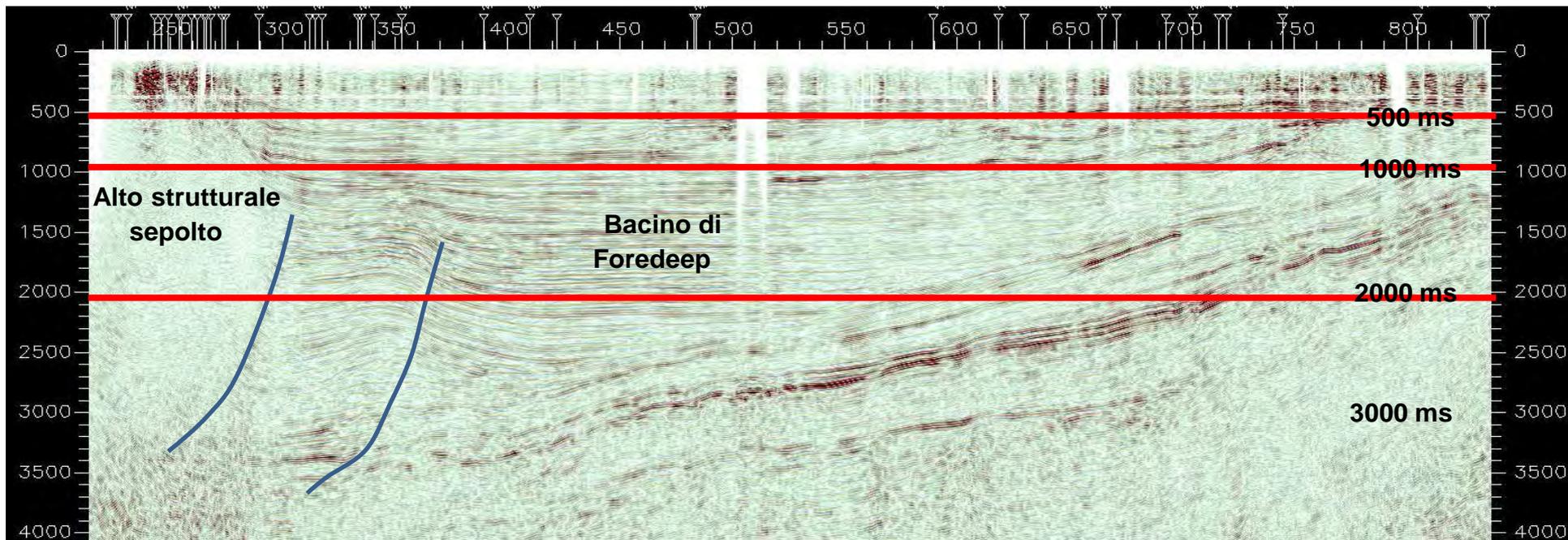


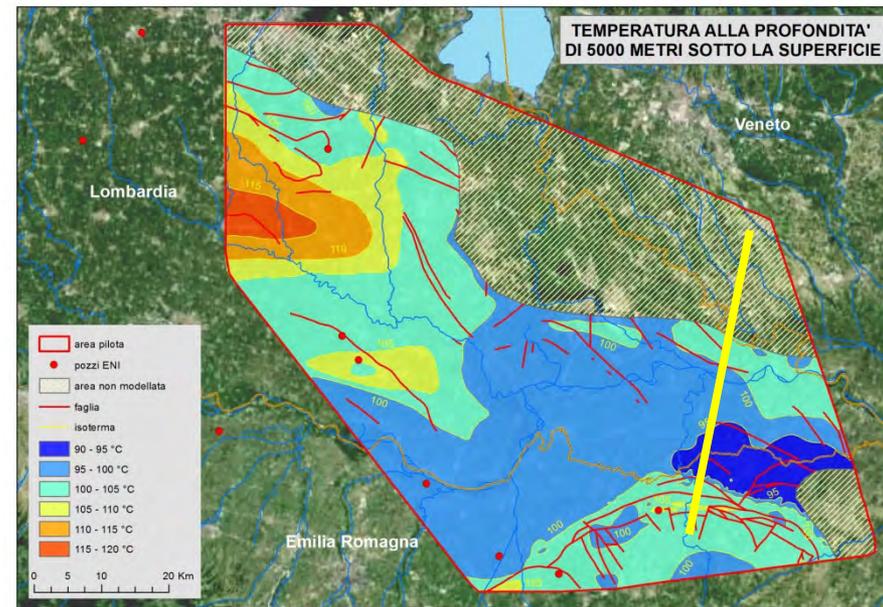
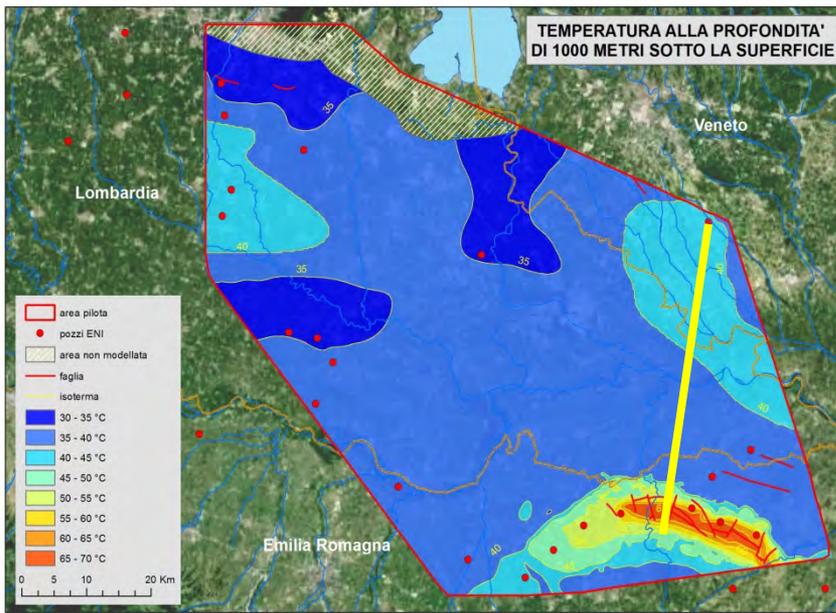


**Sud**



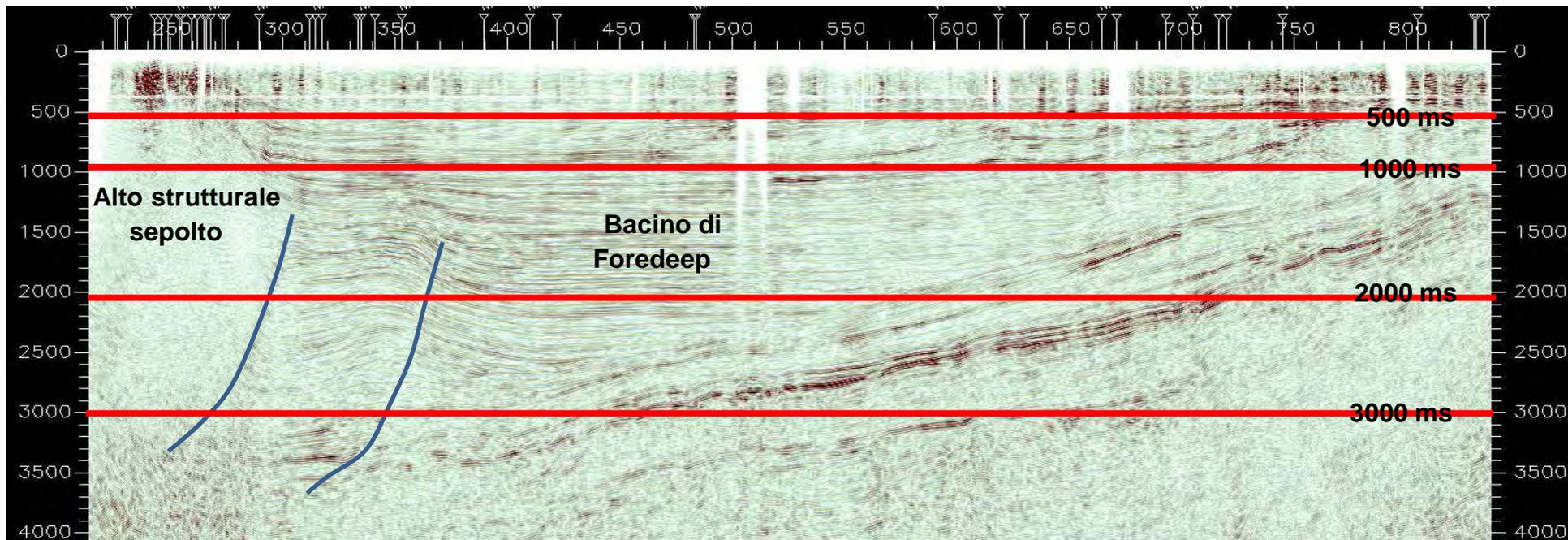
**Nord**





**Sud**

**Nord**





**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**