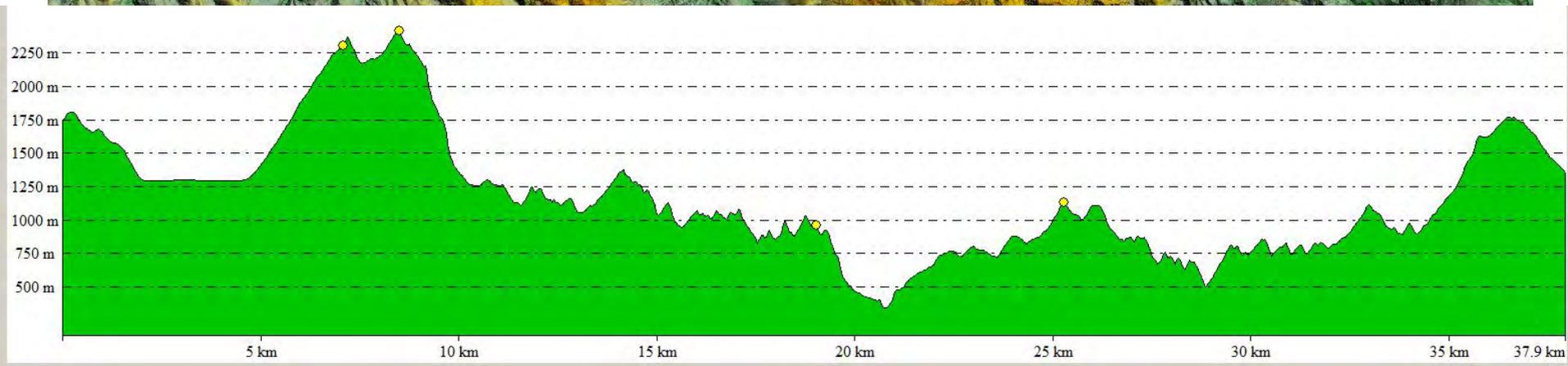
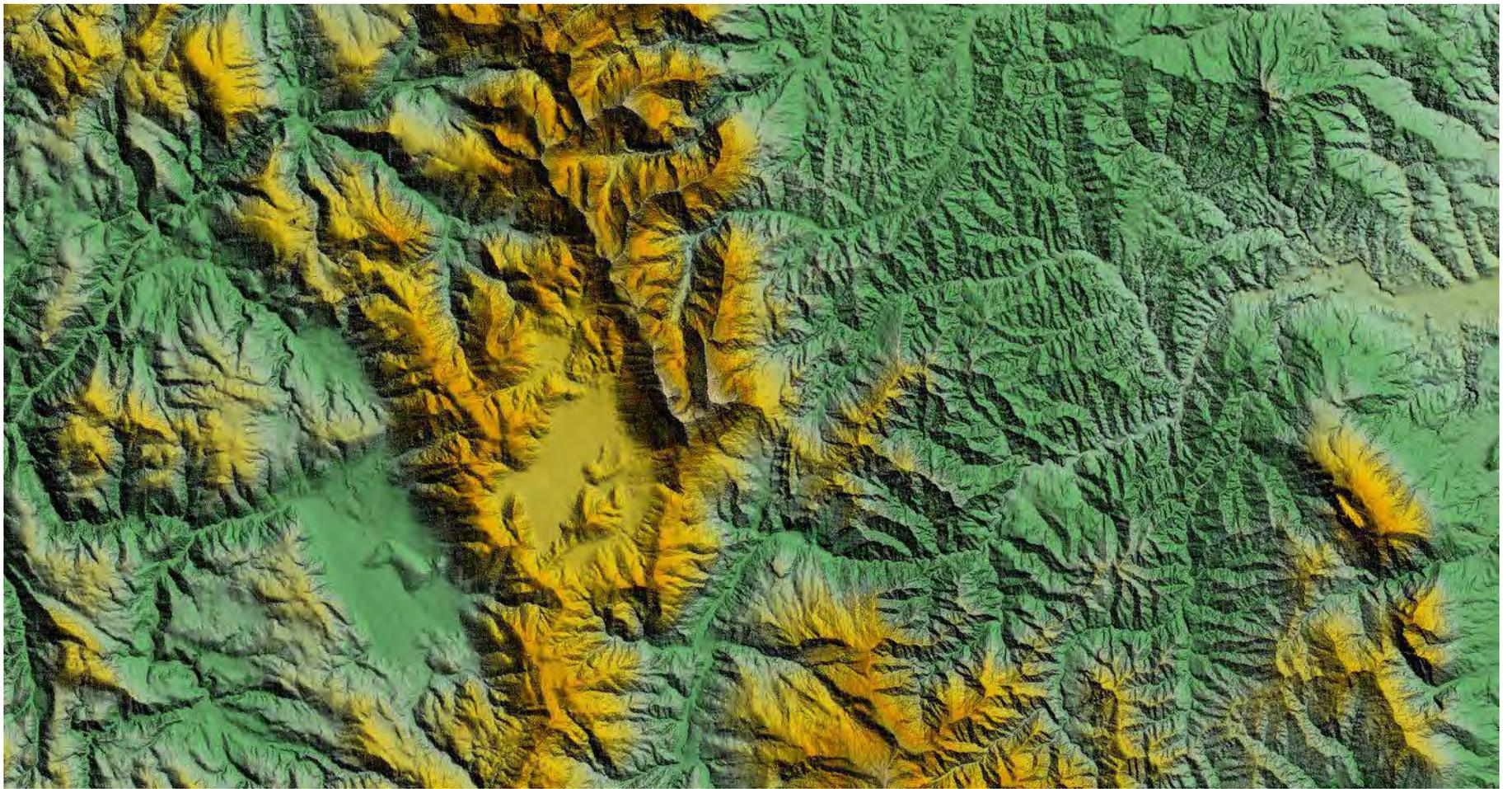


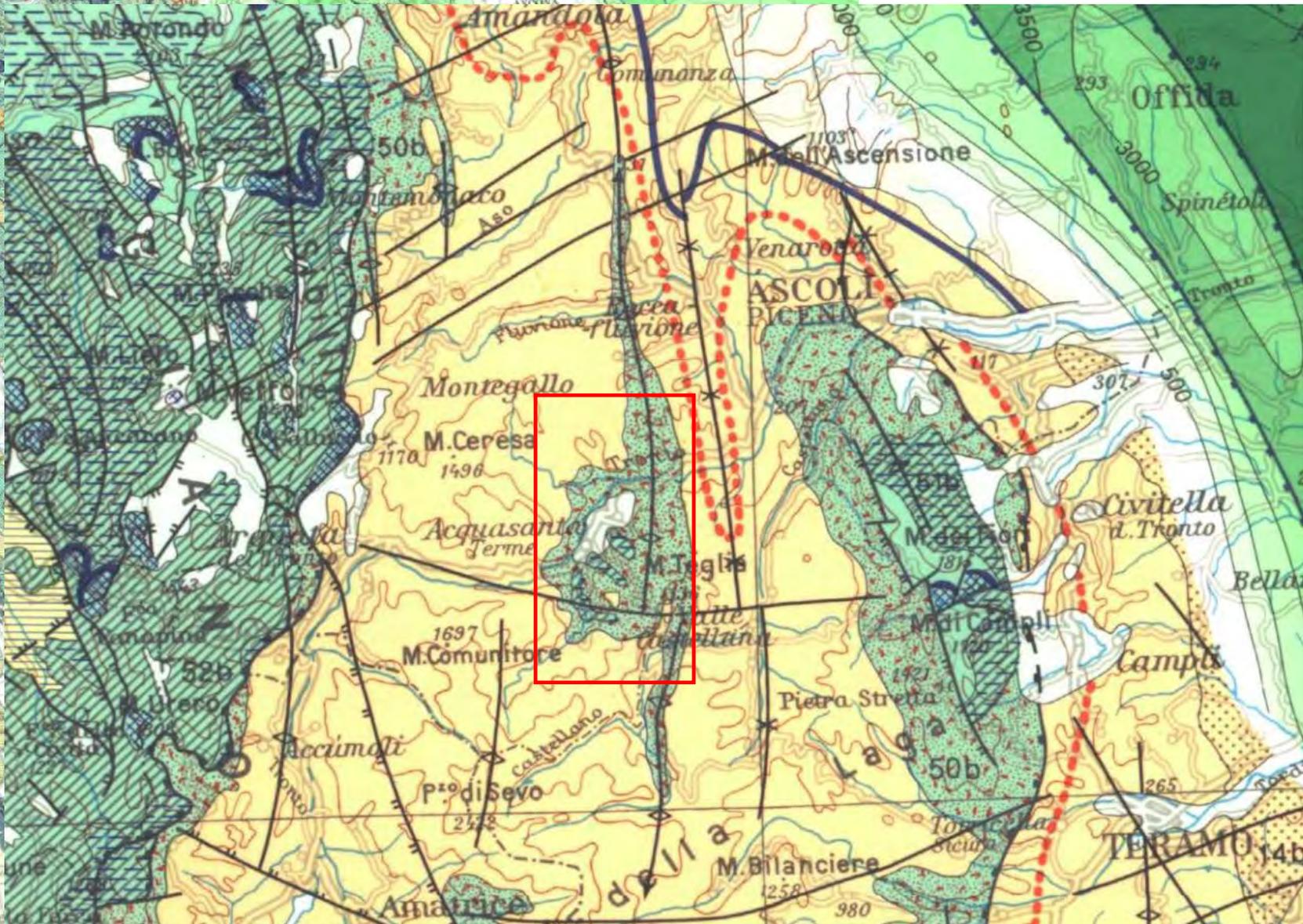
# *Assetto strutturale e movimento dei fluidi nel sistema idrotermale di Acquasanta Terme : dati e modelli numerici*

**Marco Menichetti, Roberto Larghetti**

Università di Urbino - Dipartimento di Scienze della Terra, della Vita e dell'Ambiente  
marco.menichetti@uniurb.it

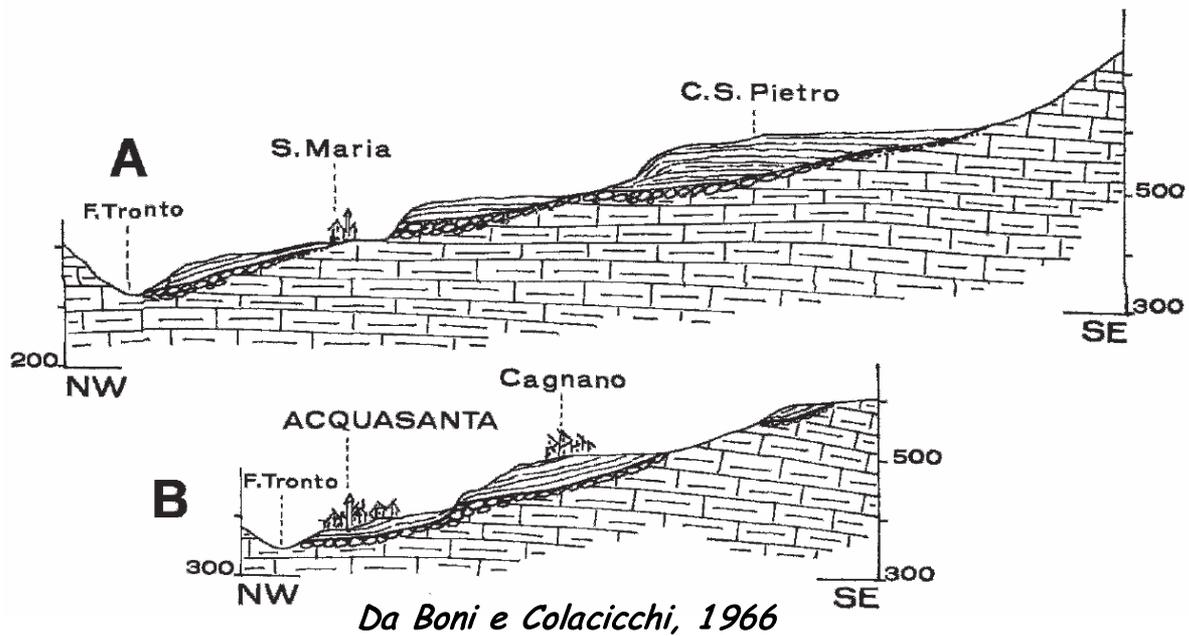


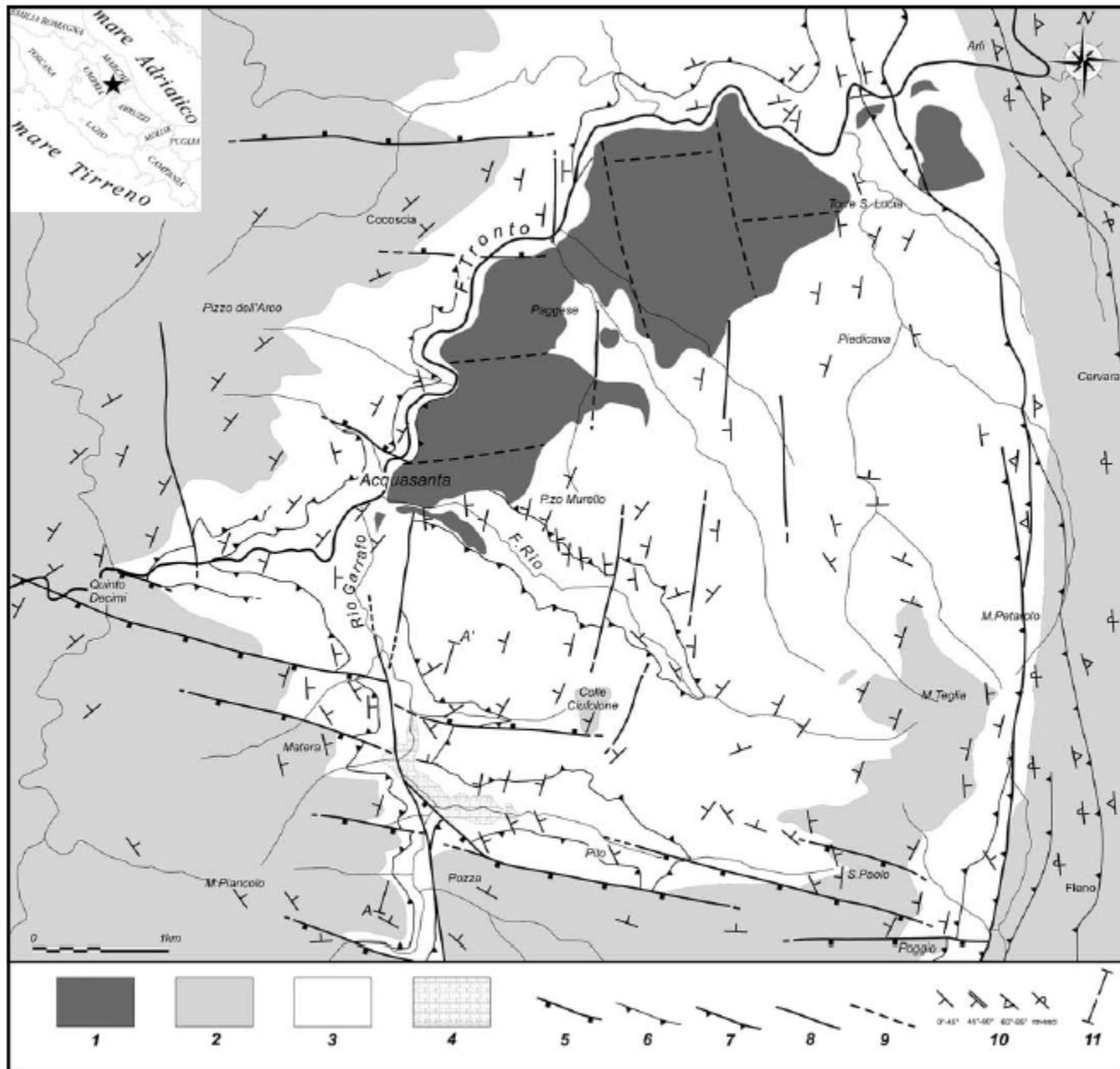




da Bigi et al., 1994

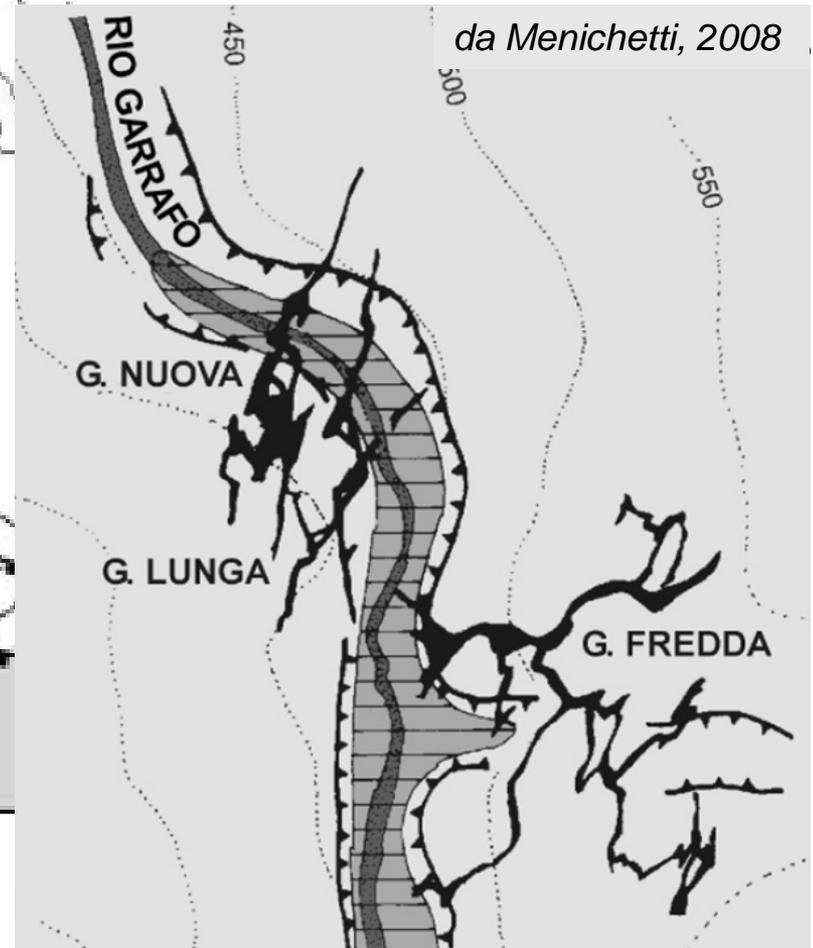
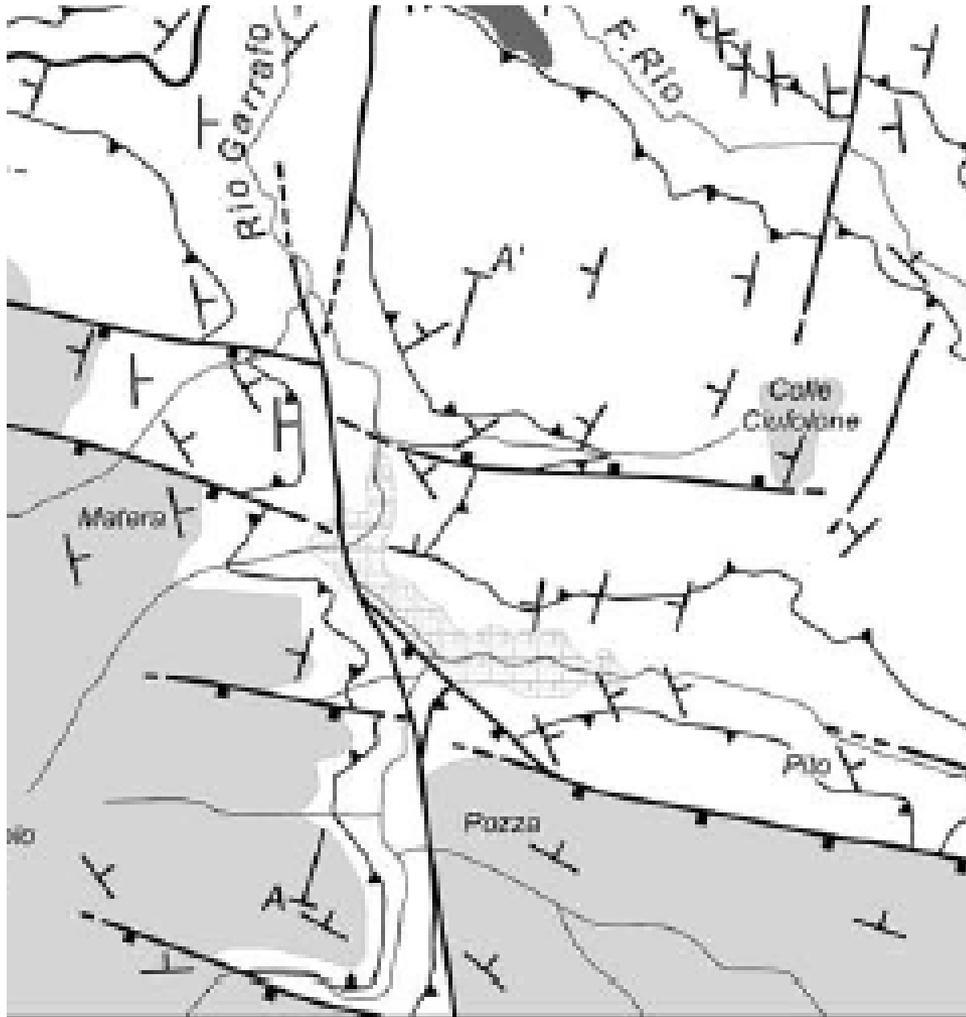


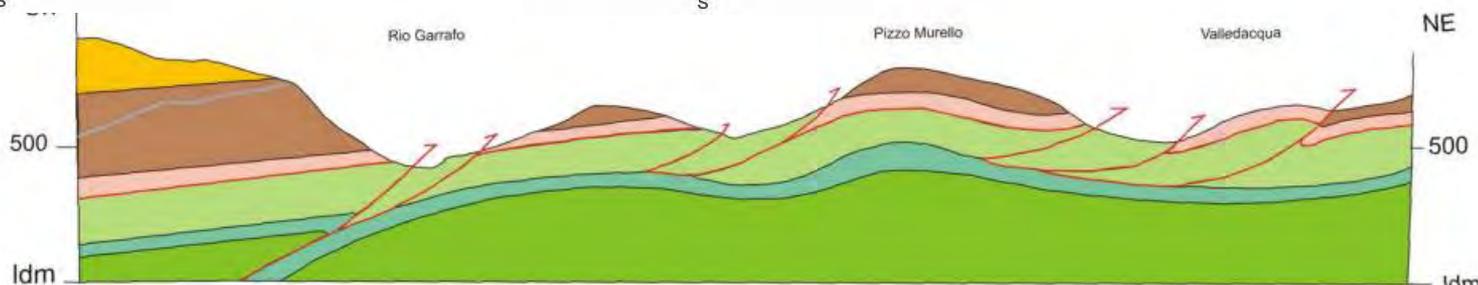
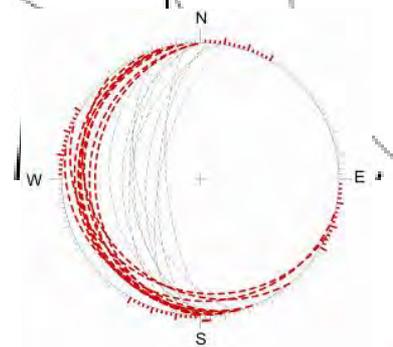
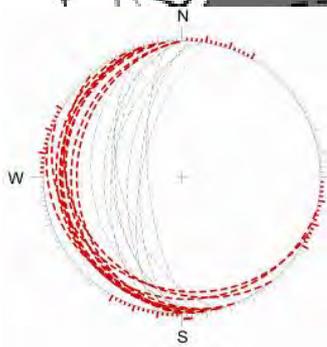




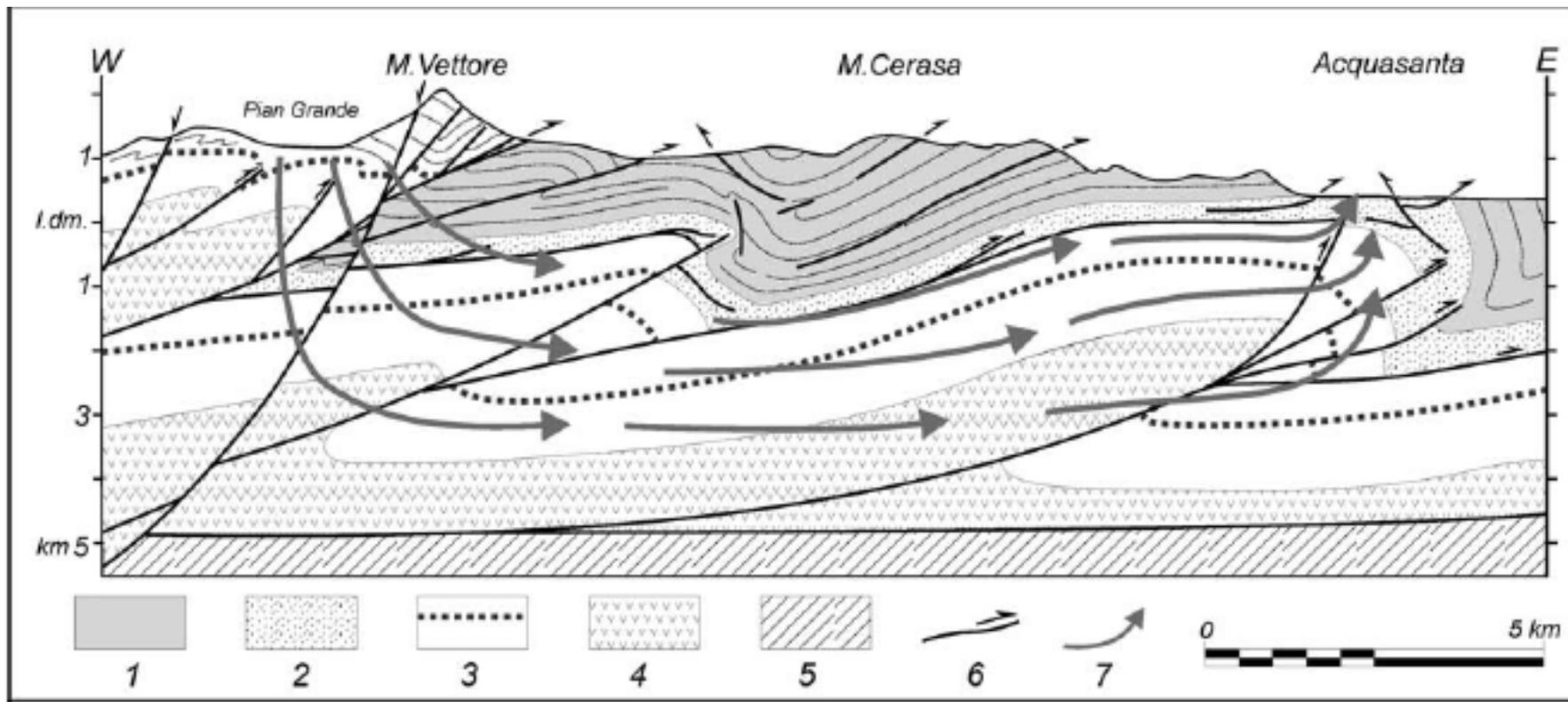
da Menichetti, 2008

# *Sistema carsico Rio Garrafo*

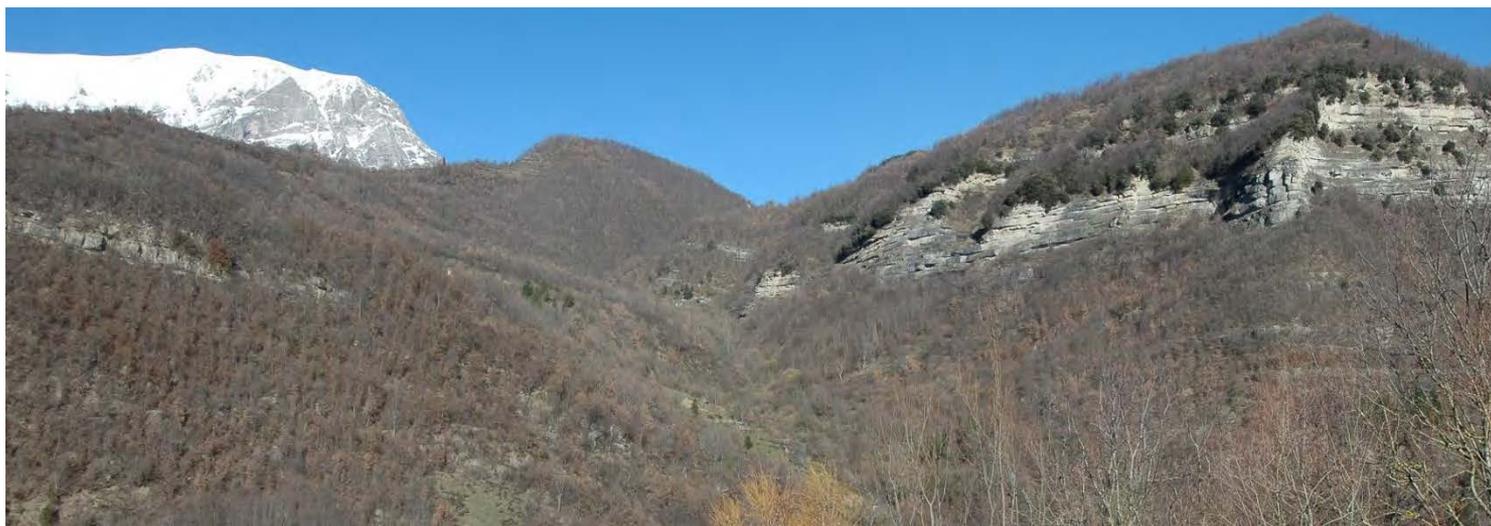




da Verdecchia e Menichetti, 2006



da Menichetti, 2008

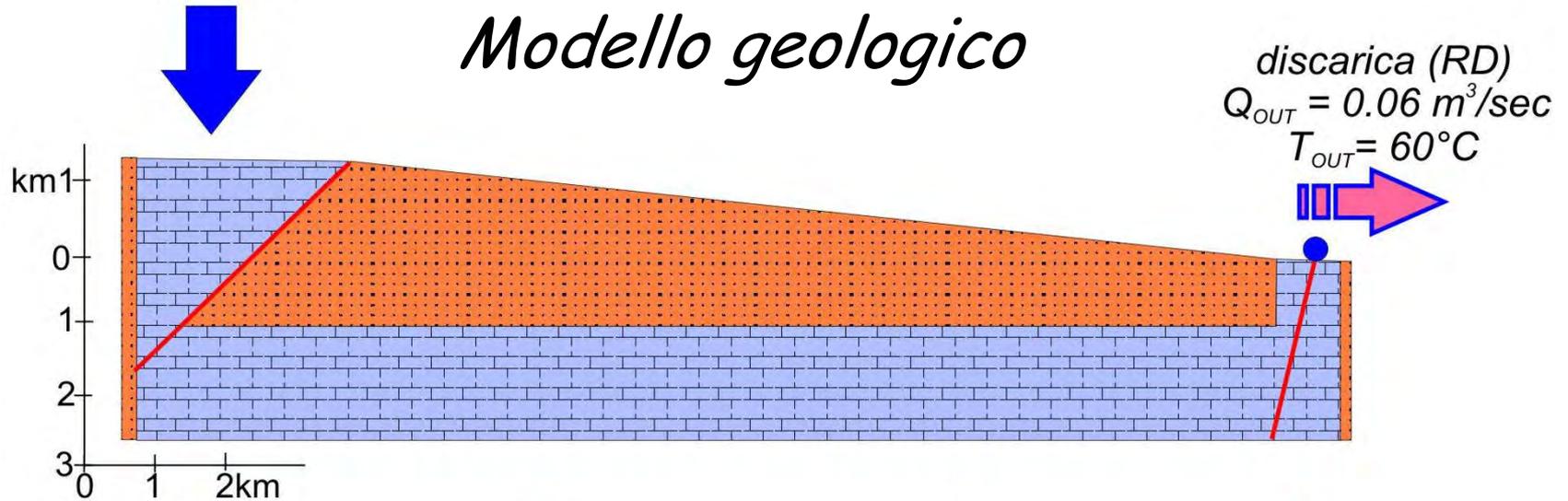


Area di ricarica (RRA)

$$Q_{IN} = 0.06 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$T_{IN} = 6^\circ\text{C}$$

## Modello geologico



discarica (RD)  
 $Q_{OUT} = 0.06 \text{ m}^3/\text{sec}$   
 $T_{OUT} = 60^\circ\text{C}$

$q_{IN} = 50 \text{ mW/m}^2$

$q_{IN} = 60 \text{ mW/m}^2$

$q_{IN} = 70 \text{ mW/m}^2$

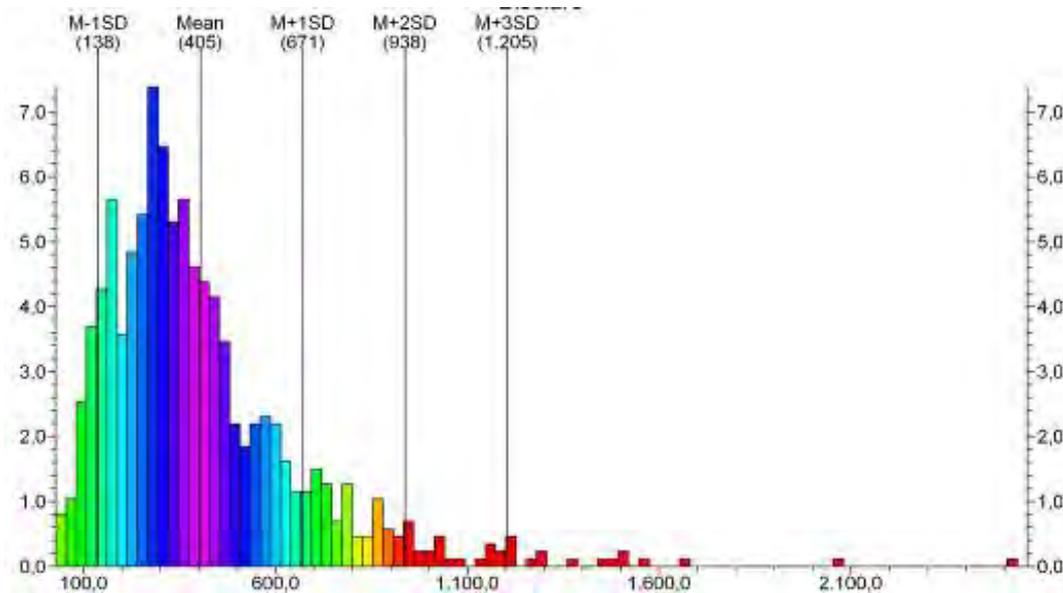
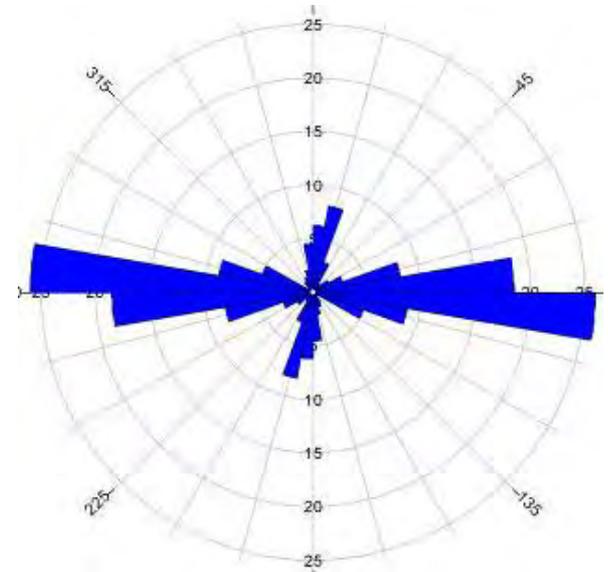
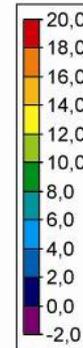
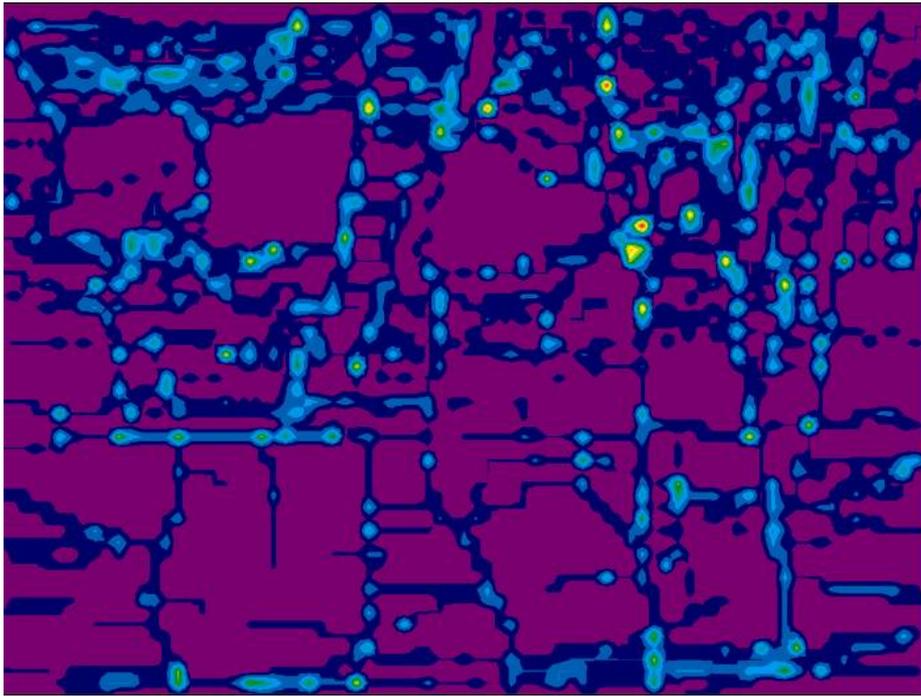
$q_{IN} = 80 \text{ mW/m}^2$

velocità di flusso orizzontale  $3 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec}$   
velocità di flusso verticale  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec}$   
velocità di flusso prove di portata  $6.2 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$

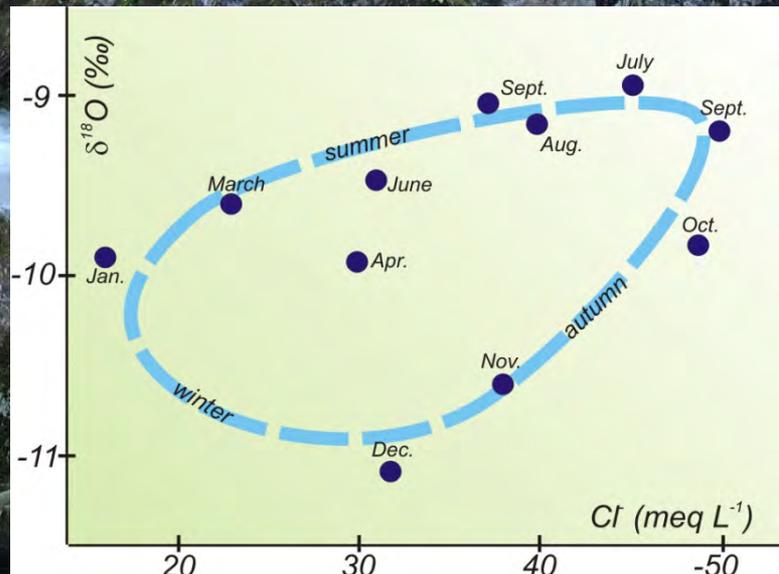
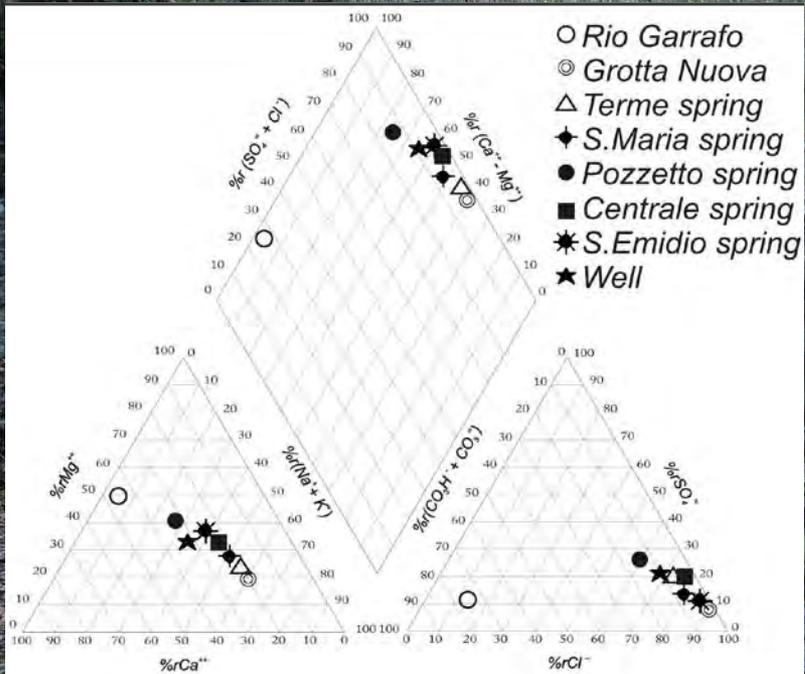
porosità media nei calcari  $5 \cdot 10^{-2}$



# Analisi della fratturazione

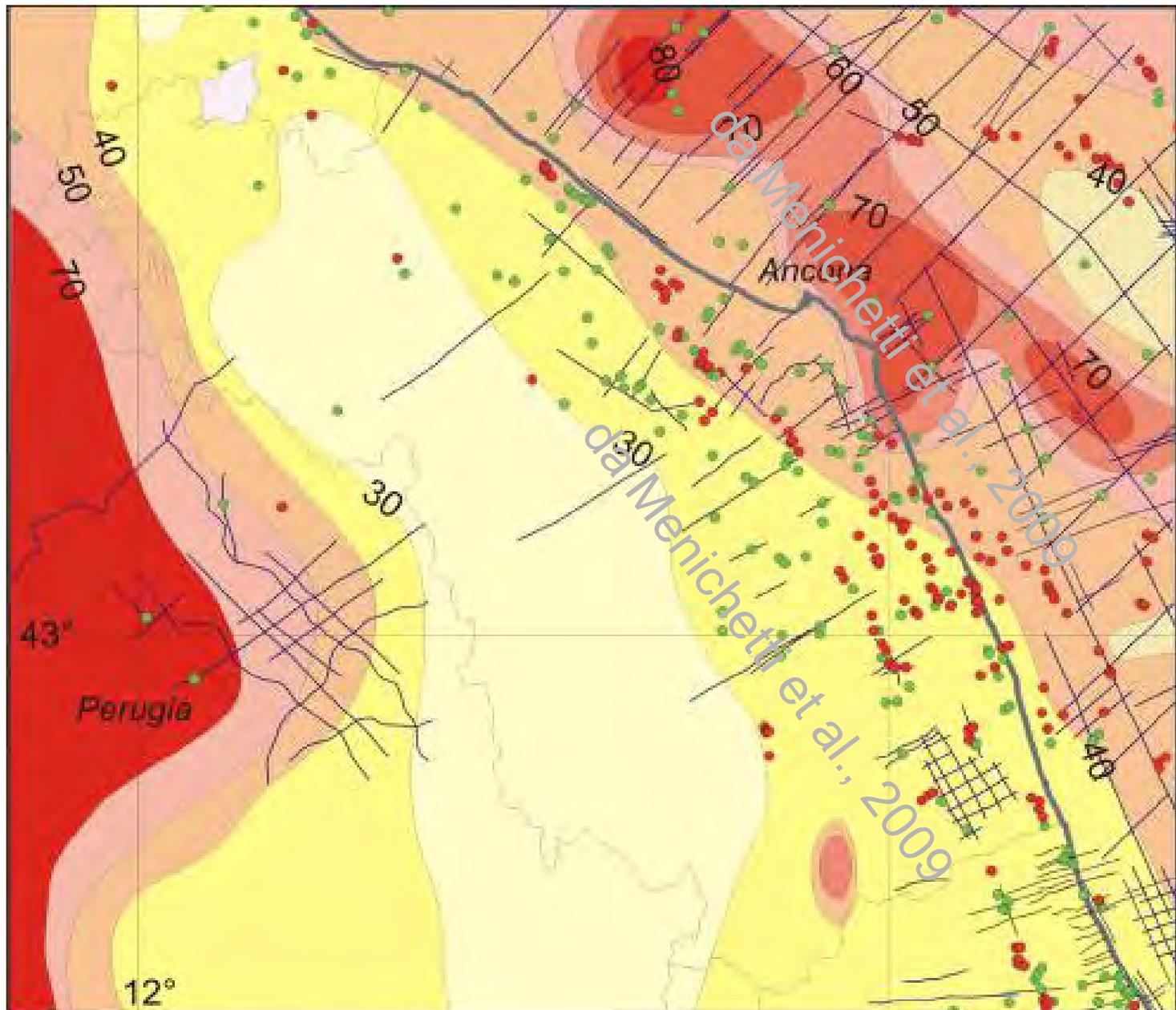


# Geochimica delle acque



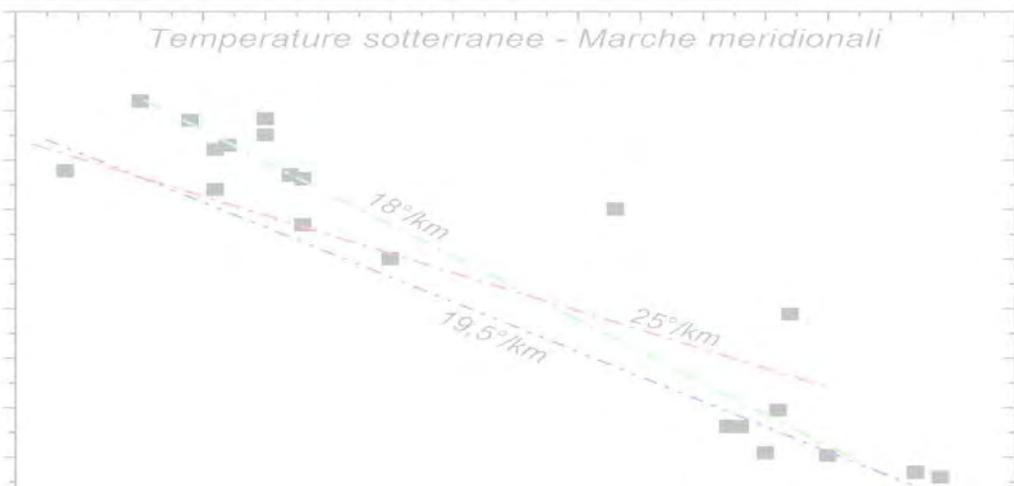
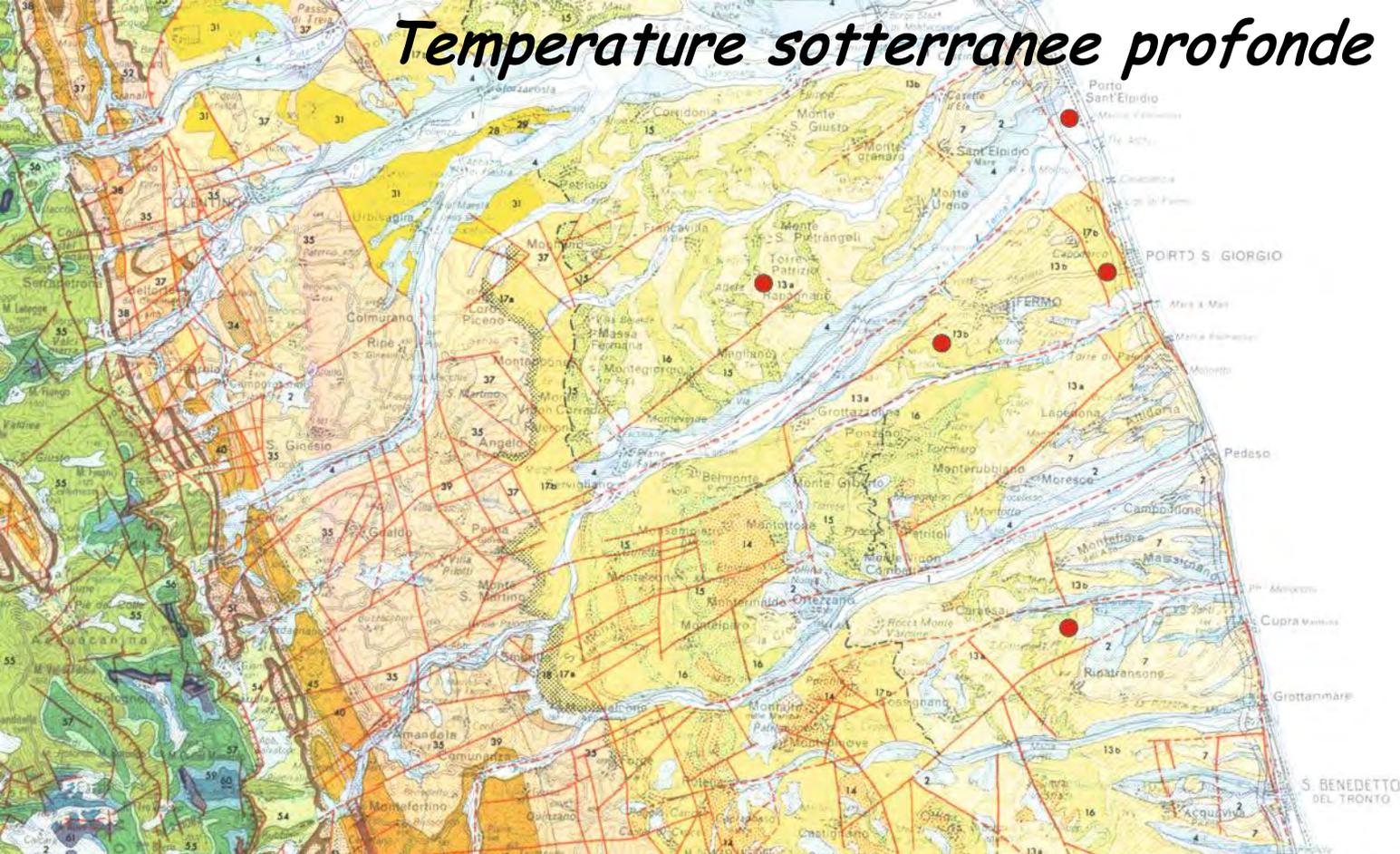
da Zuppi et al, 1974

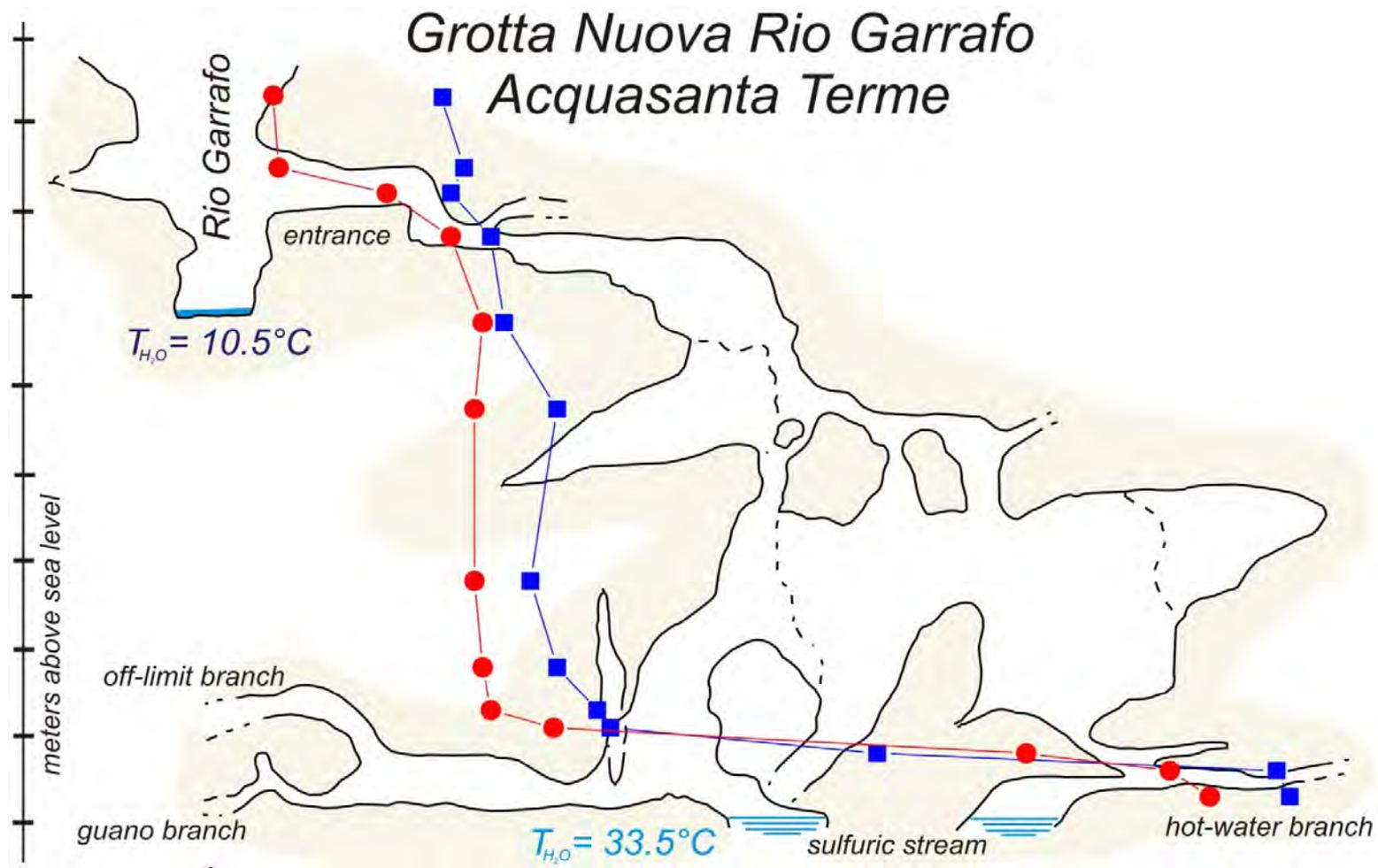
# Flusso di calore nella regione Marche



da Menichetti et al., 2009

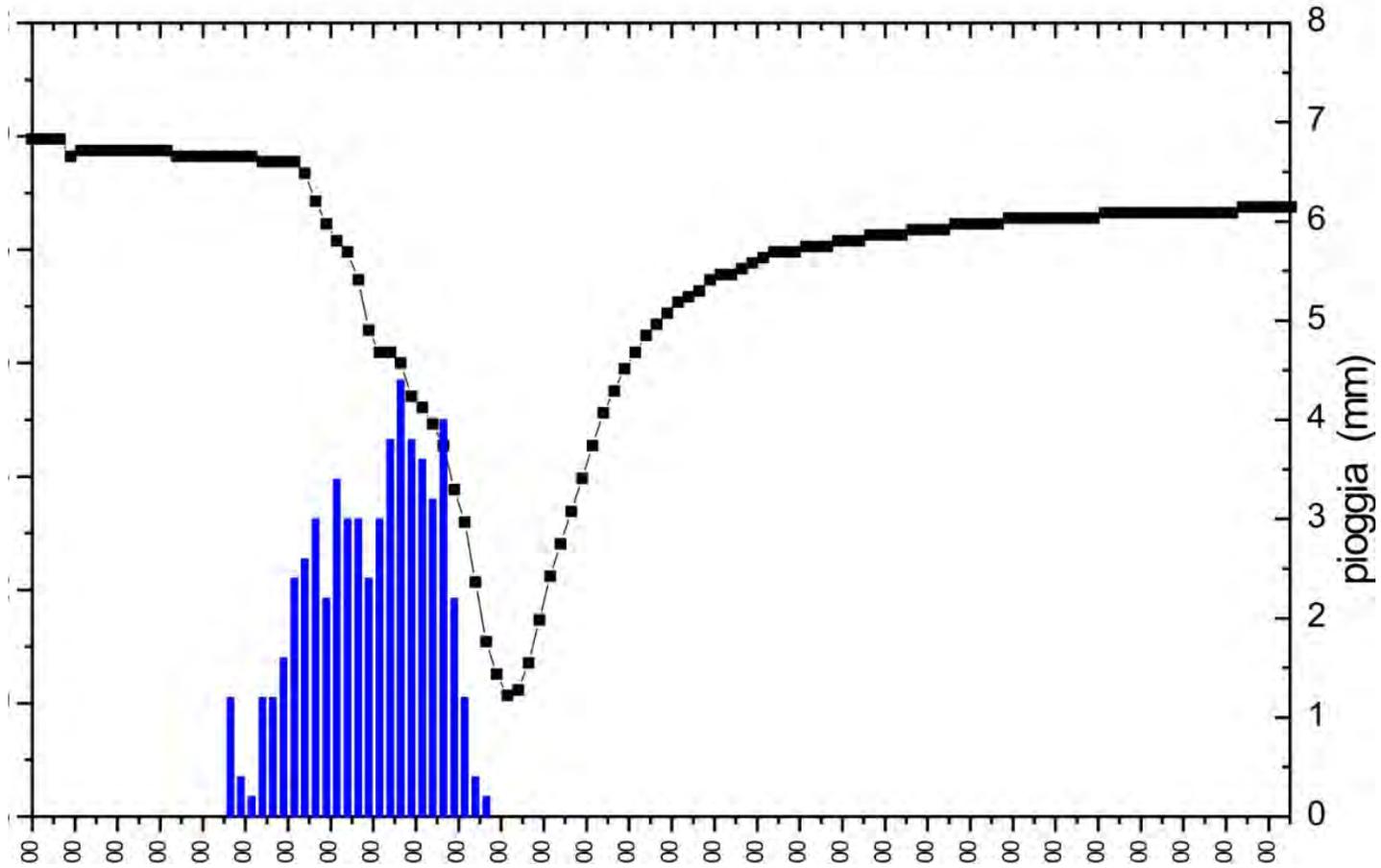
# Temperature sotterranee profonde



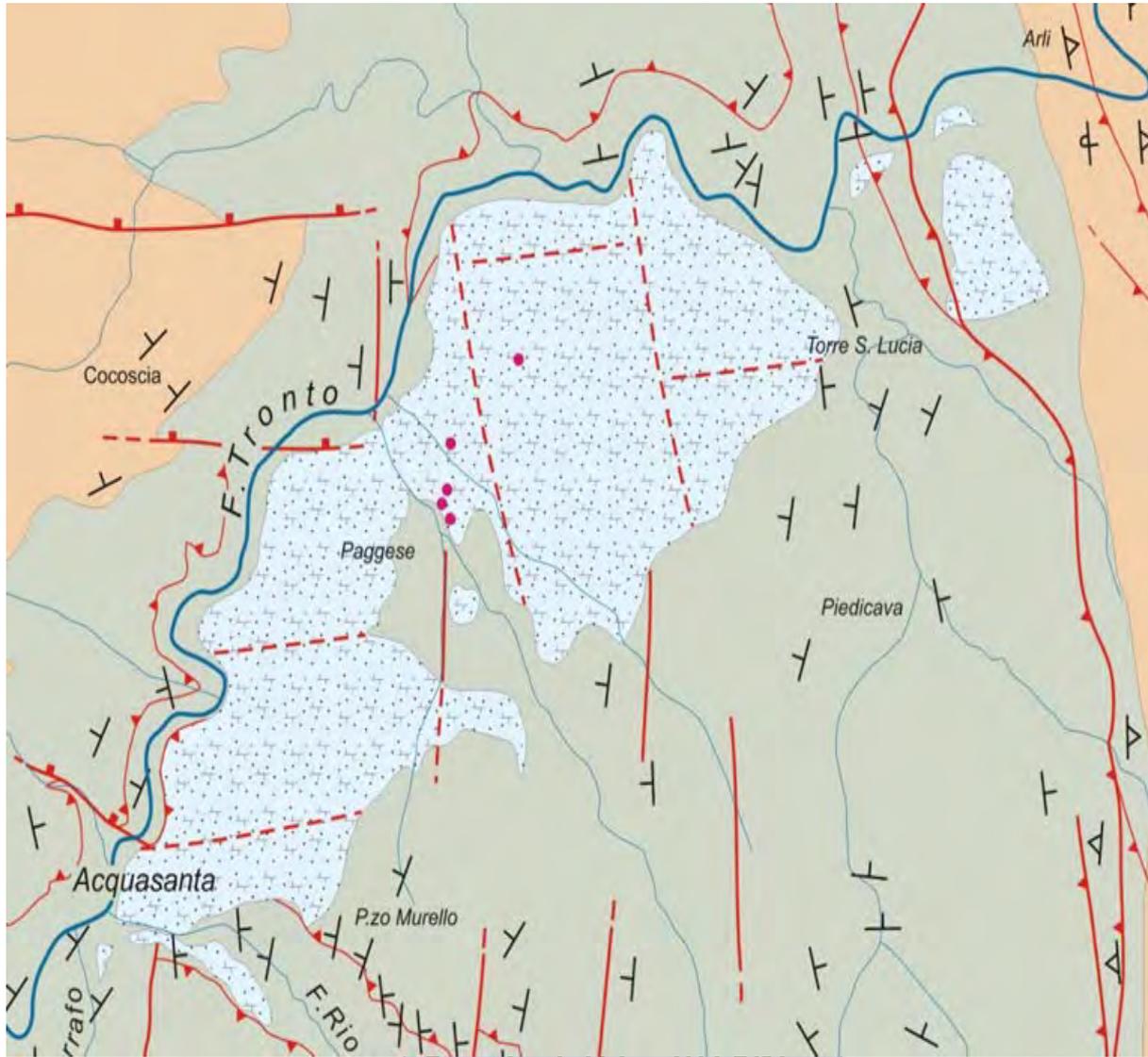


***Si ringrazia l'Associazione Speleologica Acquasanta, e in particolare il Sig. Gianpaolo Filippini per l'assistenza nell'acquisizione de dati.***

# *Temperature sotterranea*



# *Idraulica dei Pozzi Acquasanta*



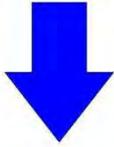
$Q = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{SEC}$



Area di ricarica (RRA)

$$Q_{IN} = 0.06 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$T_{IN} = 6^\circ\text{C}$$



km1



discarica (RD)

$$Q_{OUT} = 0.06 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$T_{OUT} = 60^\circ\text{C}$$

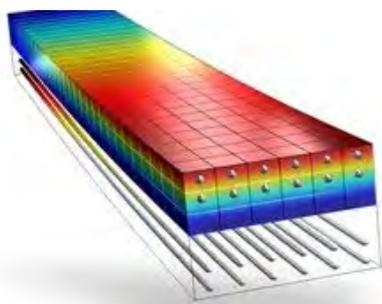


*Obiettivi del modello:*

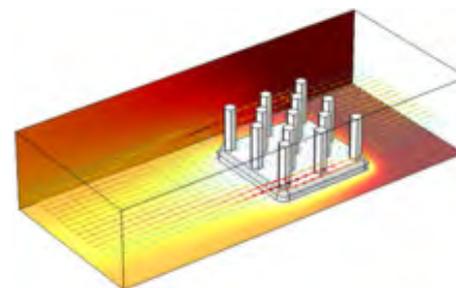
- a) Verificare se il semplice gradiente geotermico è in grado di fornire le temperature osservate alle sorgenti;*
- b) Verificare quale flusso di calore è necessario per avere le temperature osservate alle sorgenti*

# Modelli numerici ad elementi finiti FEM

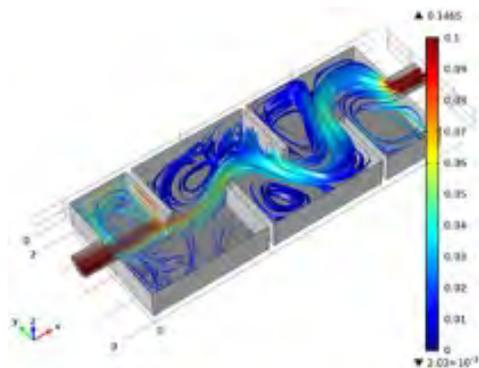
I metodi a elementi finiti sono tecniche numeriche che, partendo da condizioni al contorno definite, consentono di trovare soluzioni legate al comportamento fisico relativo al dominio computazionale di analisi.



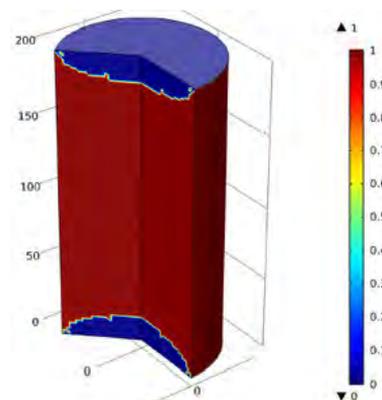
Analisi strutturale



Analisi termica



Analisi Fluidodinamica



Analisi multi-fisica

COMSOL  
MULTIPHYSICS



# Modello fisico mezzi porosi/fratturati



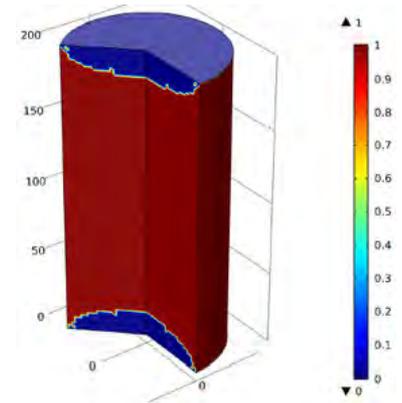
## • Modello Fluidodinamico

La Legge di Darcy in mezzi porosi

$$\mathbf{u} = -\frac{\kappa}{\mu} \nabla p$$

Equazione di Darcy:

- $\kappa$  denota la permeabilità del mezzo poroso [ m<sup>2</sup> ]
- $\mu$  la viscosità dinamica del fluido [ kg / ( m · s ) ]
- $p$  la pressione [ Pa ] ,
- $\mathbf{u}$  la velocità di Darcy [ m / s ]

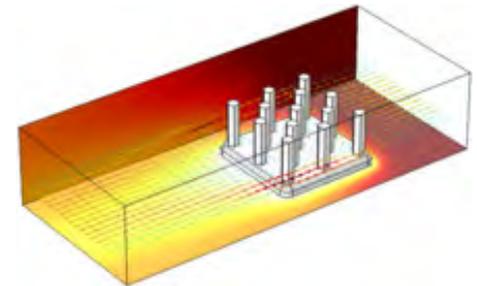


## • Modello termico

Il modello di Fourier in mezzi porosi

Equazione di Fourier :  $(\rho C_p)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k_{eq} \nabla T) + Q$

- $\rho$  è la densità del fluido [ kg/m<sup>3</sup> ]
- $C_p$  è la capacità termica del fluido a pressione costante.
- $(\rho C_p)_{eq}$  è la capacità termica volumetrica equivalente a pressione costante.
- $K_{eq}$  è la conducibilità termica equivalente
- $\mathbf{u}$  è il campo di velocità del fluido.
- $Q$  è la fonte di calore.



# Definizione delle proprietà dei materiali

| tipo di roccia         | densità | conducibilità | capacità termica volumetrica | porosità | permeabilità     |
|------------------------|---------|---------------|------------------------------|----------|------------------|
| udm                    | kg/m3   | W/mqK         | J/kgK                        | adim     | cm <sup>2</sup>  |
| calcare fratturato     | 2250    | 2.5           | 1250                         | 0.05     | 10 <sup>-6</sup> |
| arenarie e marne       | 2250    | 2.4           | 1600                         |          |                  |
| calcari non fratturati | 2250    | 2.4           | 1600                         |          |                  |

The screenshot displays a software interface with several windows:

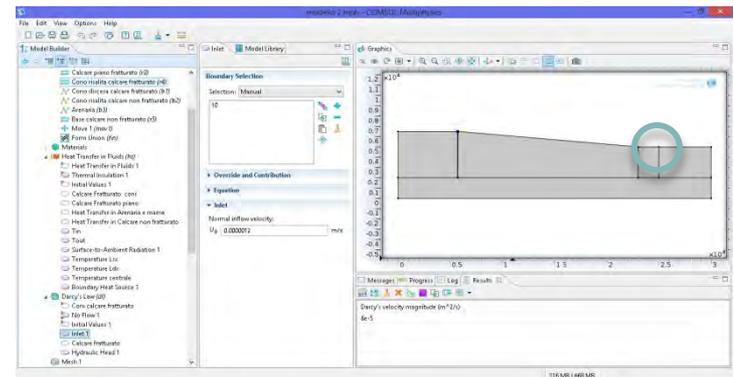
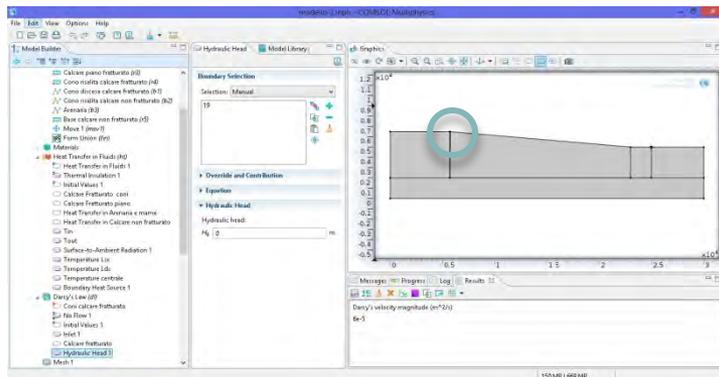
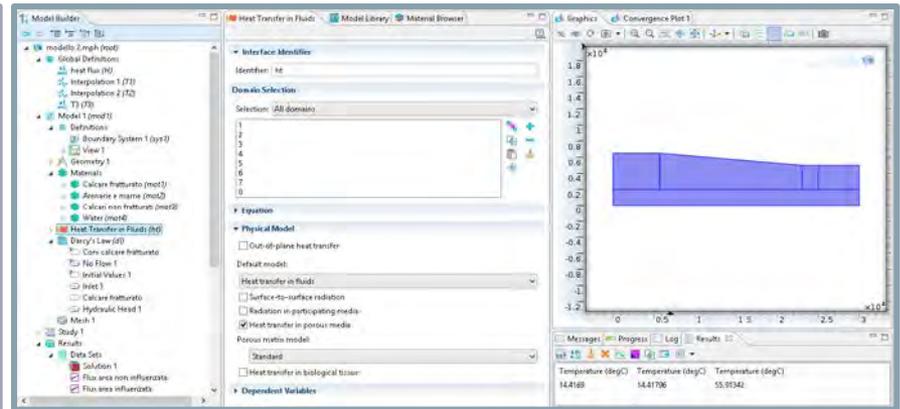
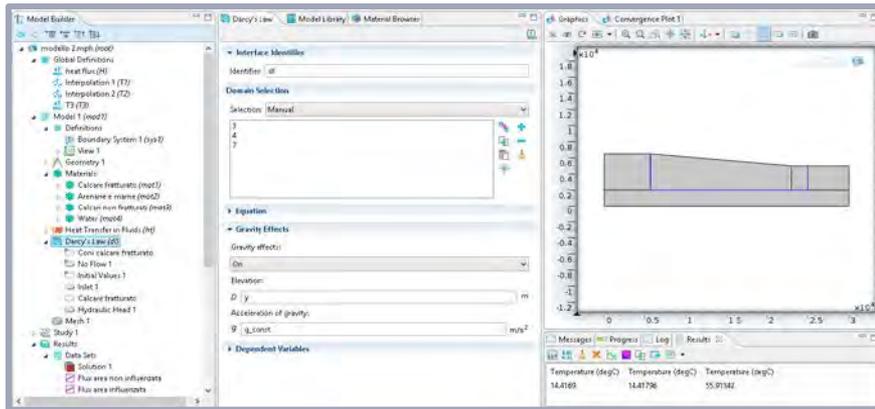
- Model Builder:** Shows a hierarchical tree of the model. Under 'Materials', 'Arenarie e marne (mat2)' is selected.
- Material Browser:** Shows the 'Material Contents' for the selected material. The table below lists the properties and their values.
- Convergence Plot 1:** A graph showing the convergence of temperature over time. The x-axis represents time (0 to 3) and the y-axis represents temperature (degC) from -1.2 to 1.8. The plot shows a step-like increase in temperature over time.

| Property                          | Name   | Value      | Unit      | Property group |
|-----------------------------------|--------|------------|-----------|----------------|
| ✓ Density                         | rho    | 1800       | kg/m...   | Basic          |
| ✓ Thermal conductivity            | k      | 2.4        | W/(m...)  | Basic          |
| ✓ Heat capacity at constant pr... | Cp     | 1600       | J/(kg...) | Basic          |
| Coefficient of thermal expan...   | alpha  | 10e-6[...] | 1/K       | Basic          |
| Ratio of specific heats           | gam... | 1          | 1         | Basic          |
| Young's modulus                   | E      | 25e9[Pa]   | Pa        | Young's modul  |
| Poisson's ratio                   | nu     | 0.33       | 1         | Young's modul  |

# Modelli fisici e condizioni al contorno

Modello fluidodinamico: Darcy in mezzi porosi

Modello termico: Fourier in mezzi porosi

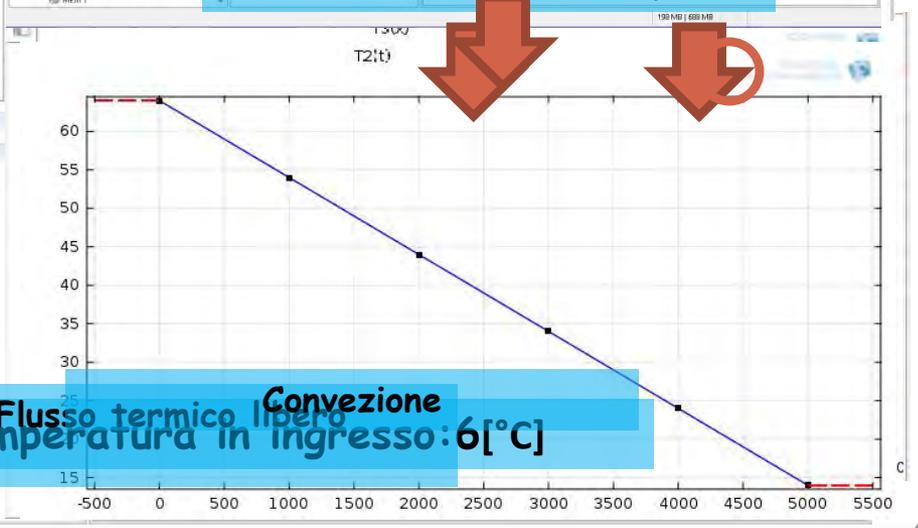
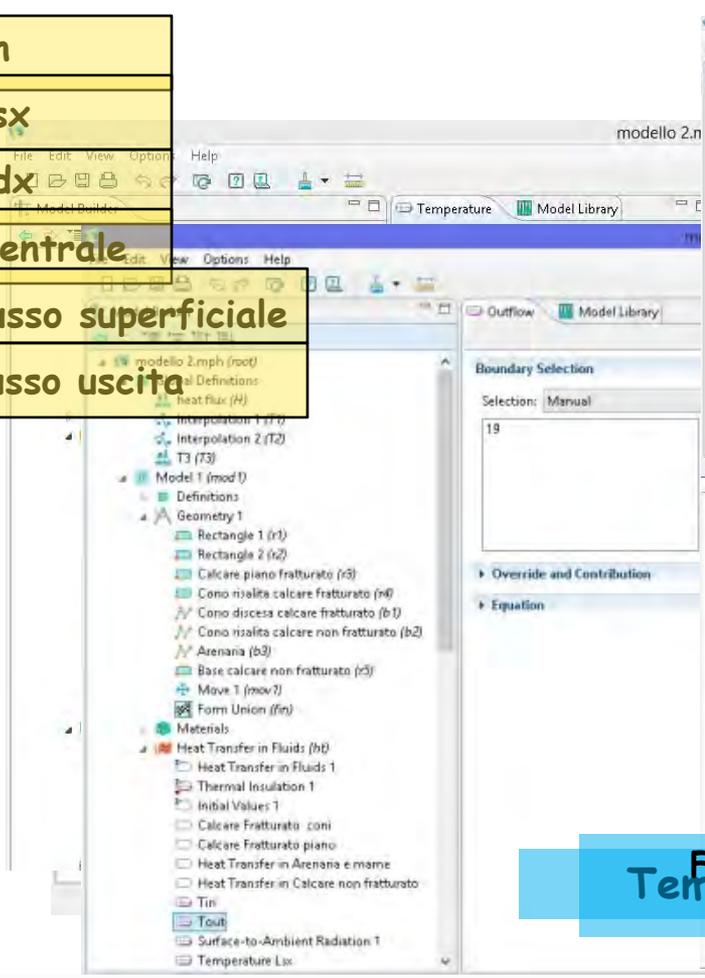


# Modelli fisici e condizioni al contorno

Modello termico: Fourier in mezzi porosi/fratturati

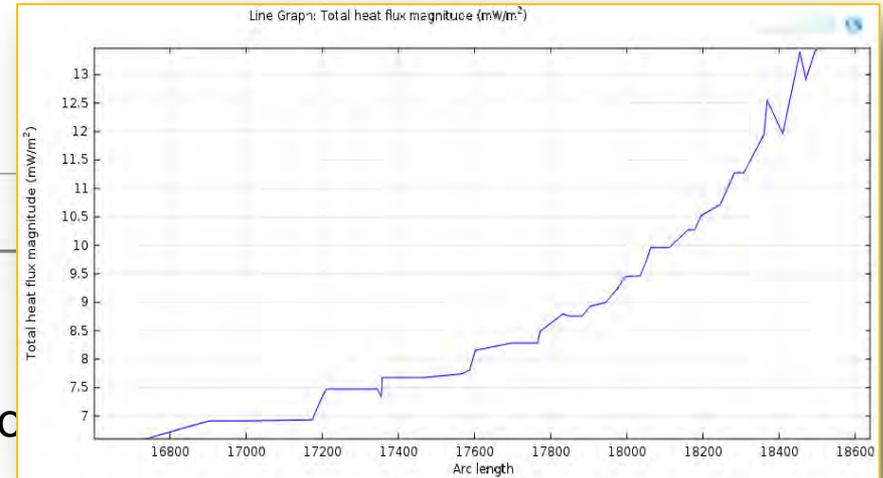
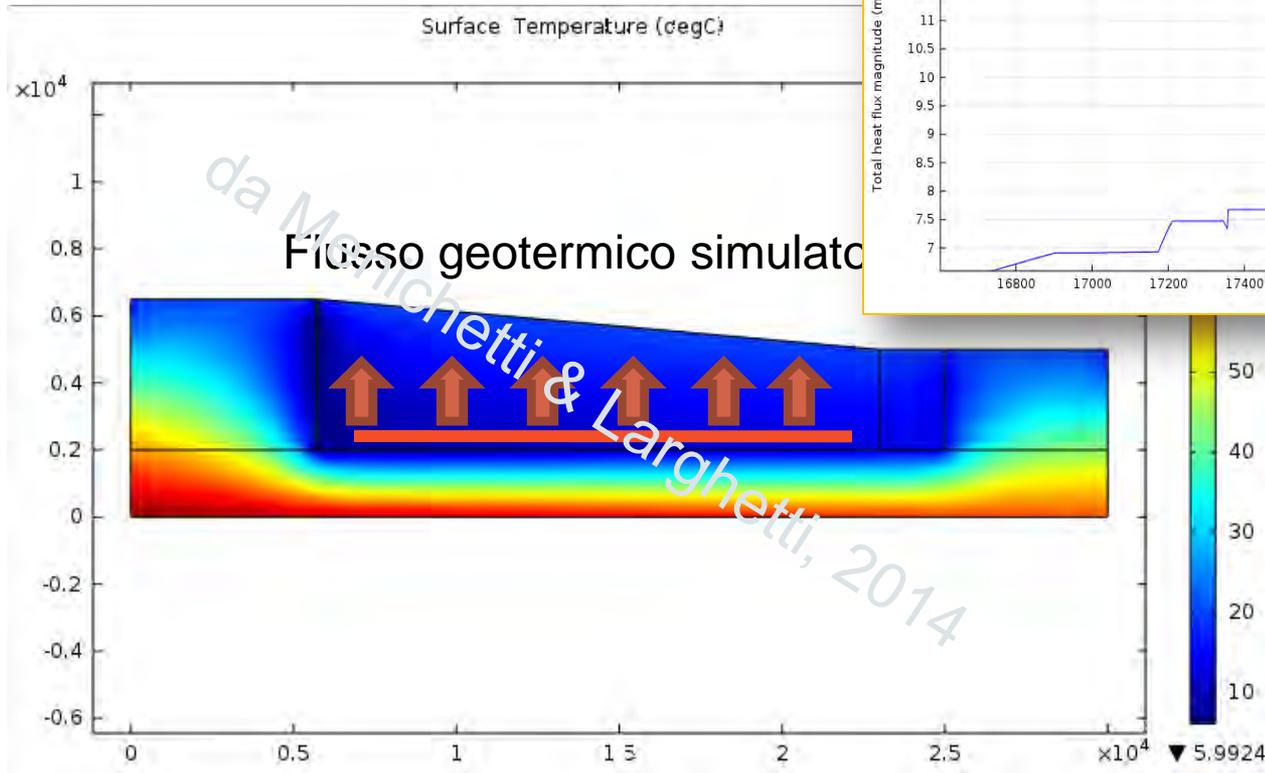
Condizioni al contorno imposte nel modello termico:

- $T_{in}$
- $T_{lsx}$
- $T_{ldx}$
- $T_{centrale}$
- Flusso superficiale
- Flusso uscita



# Risultati

## Modello termico da calcolo

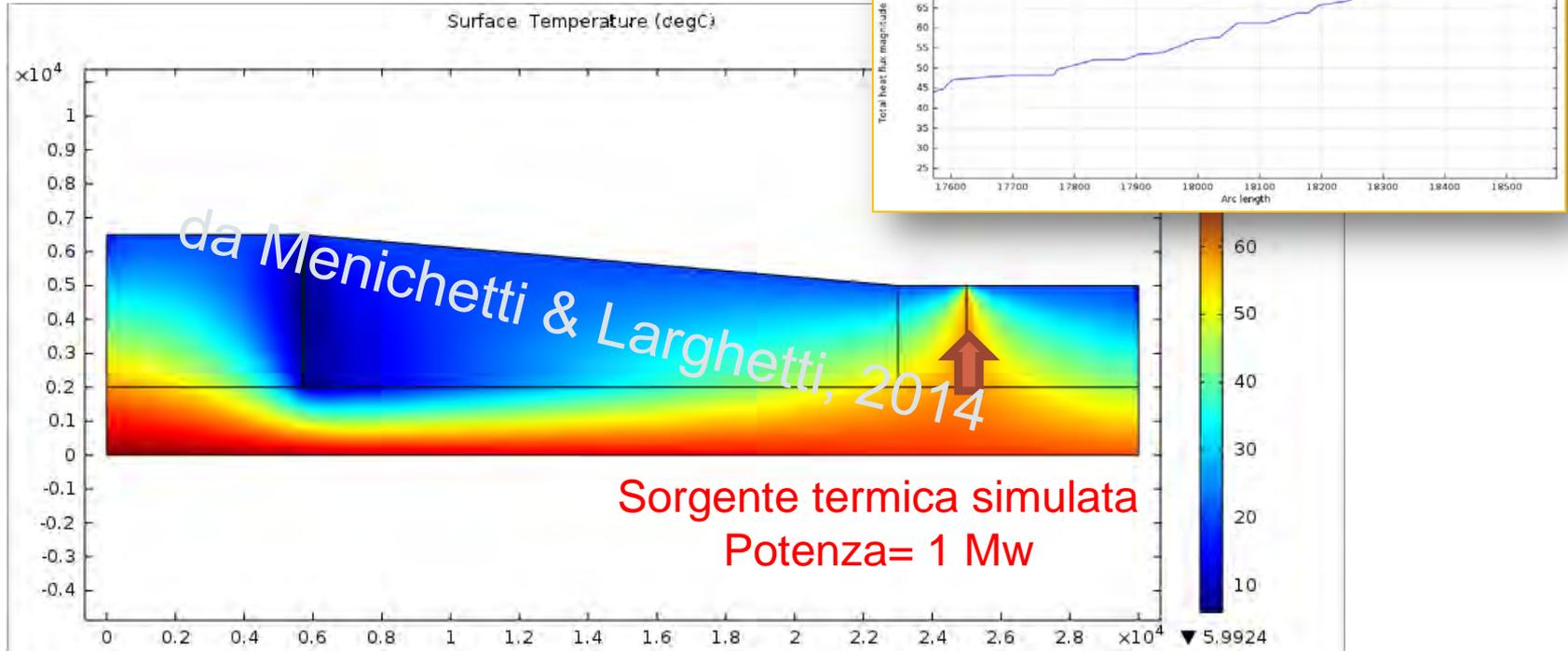


**T out simulata = 26 C° << T misurata**

**Flusso geotermico simulato << Flusso misurato**

# Risultati

## Modello termico da calcolo



$T_{out}$  simulata=  $56\text{ C}^\circ \approx T_{misurata}$

Flusso geotermico simulato  $\approx$  Flusso misurato  $60\text{-}80\text{ mW/m}^2$

# Conclusioni

- Il modello ipotizzato è un modello preliminare che mira a schematizzare il comportamento reale del bacino idrotermale di Acquasanta Terme.
- I dati sperimentali disponibili hanno permesso di tarare il modello e definire le condizioni al contorno.
- La simulazione ha permesso di verificare che il solo gradiente geotermico non sembra essere sufficiente per giustificare le temperature osservate.
- Ulteriori dati sperimentali in campo sono indispensabili per un'ulteriore validazione del modello stesso

*Grazie per l'attenzione ☺*