

**ALTA E BASSA ENTALPIA GEOTERMICA : QUALI OPPORTUNITA' PER I TERR**

Arcidosso (Gr), Sala del Consiglio. Unione dei Comuni Montani Amiata Grossetana

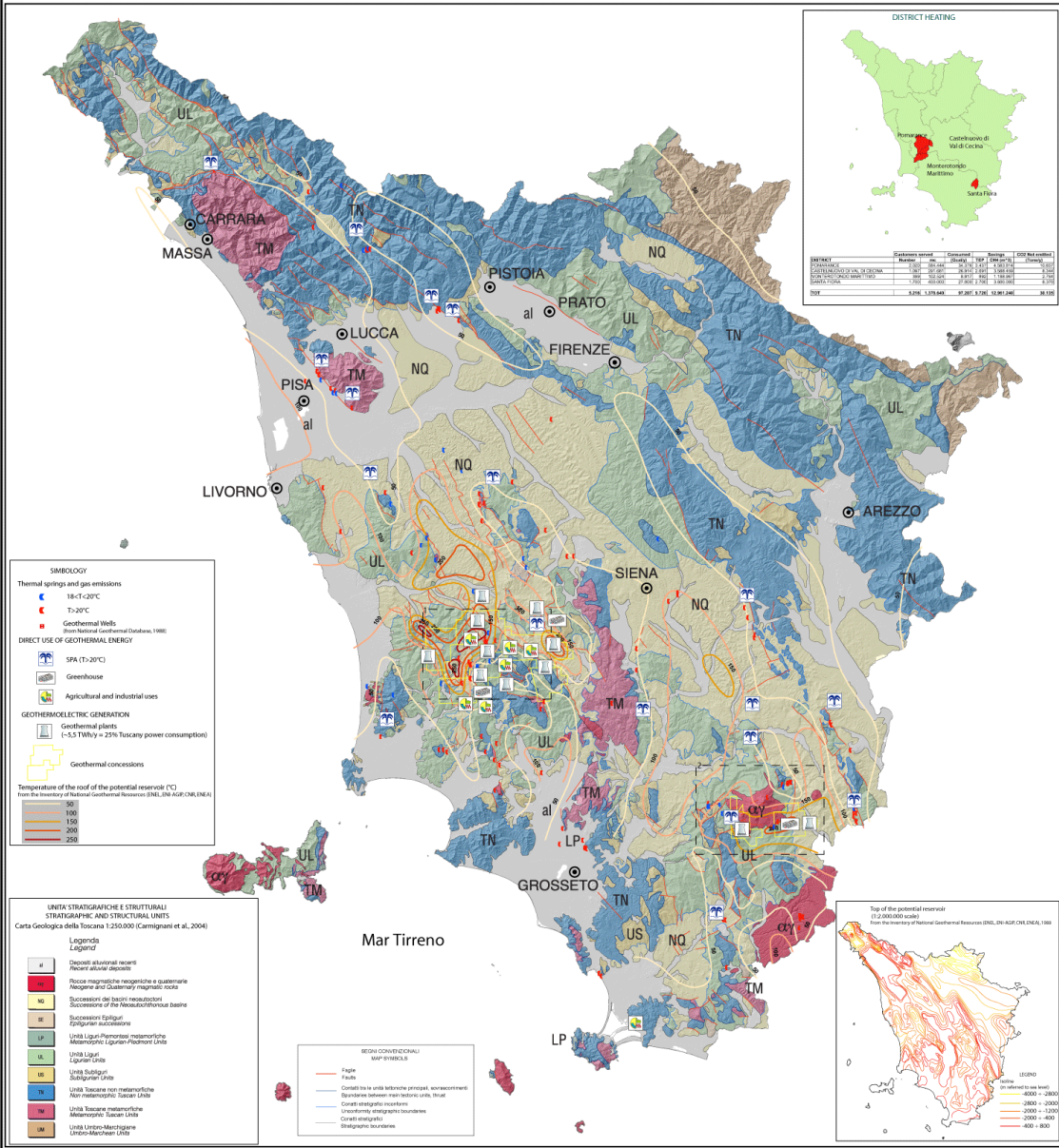
# **La risorsa in Toscana e le possibili utilizzazioni**

**Prof. Alessandro Sbrana**

**Energea**

**Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa**



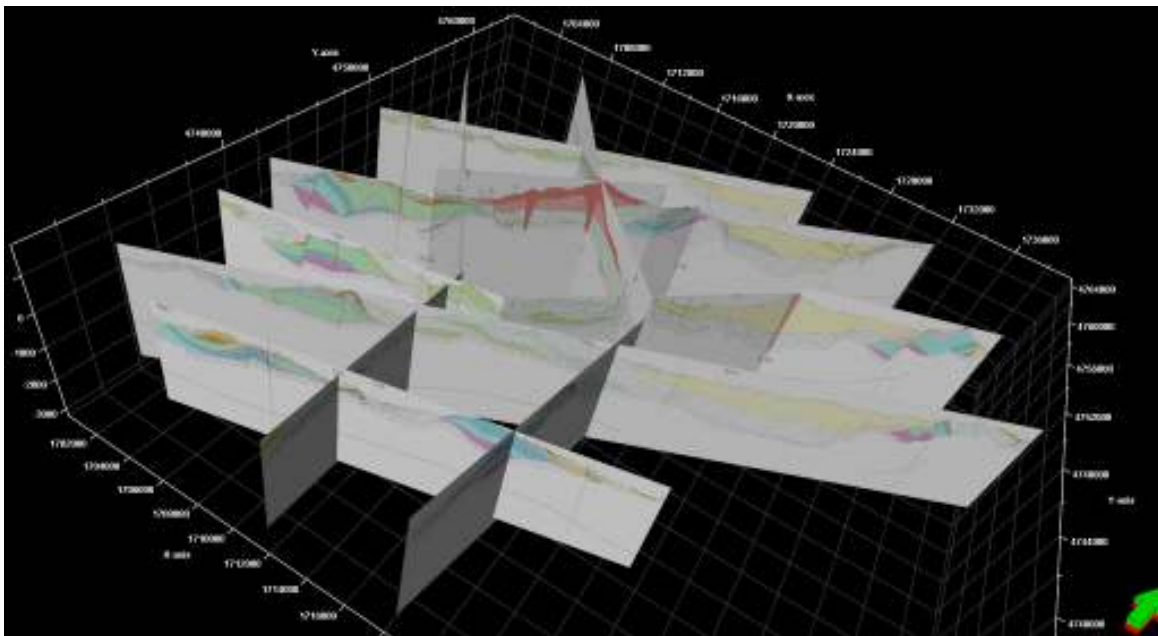
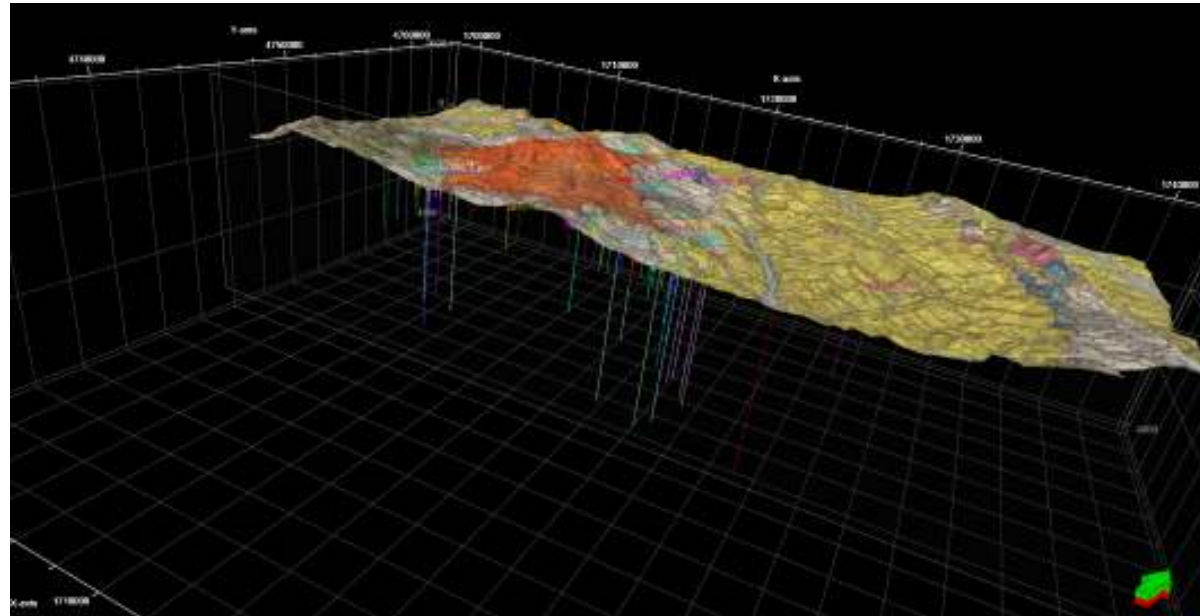


# Modellistica geologica 3D applicata alla geotermia

I software di modellistica 3D permettono di integrare tutti i tipi di dati e le differenti discipline coinvolte nell'esplorazione geotermica in un'unica piattaforma, visualizzando ed interpretando simultaneamente dati sia in 2D che in 3D, dati geologici, geofisici, log di pozzo, senza perdita dell'integrità dei dati. Questi dati possono essere elaborati e quindi "editati" al fine di ottenere una completa caratterizzazione dell'area di studio.

Attraverso l'utilizzo di queste piattaforme è possibile ottenere dei modelli geologico - strutturali ad alta risoluzione del serbatoio geotermico. Il modello così creato rappresenta quindi una sintesi di tutti i dati geologici e geofisici presenti nell'area di interesse.

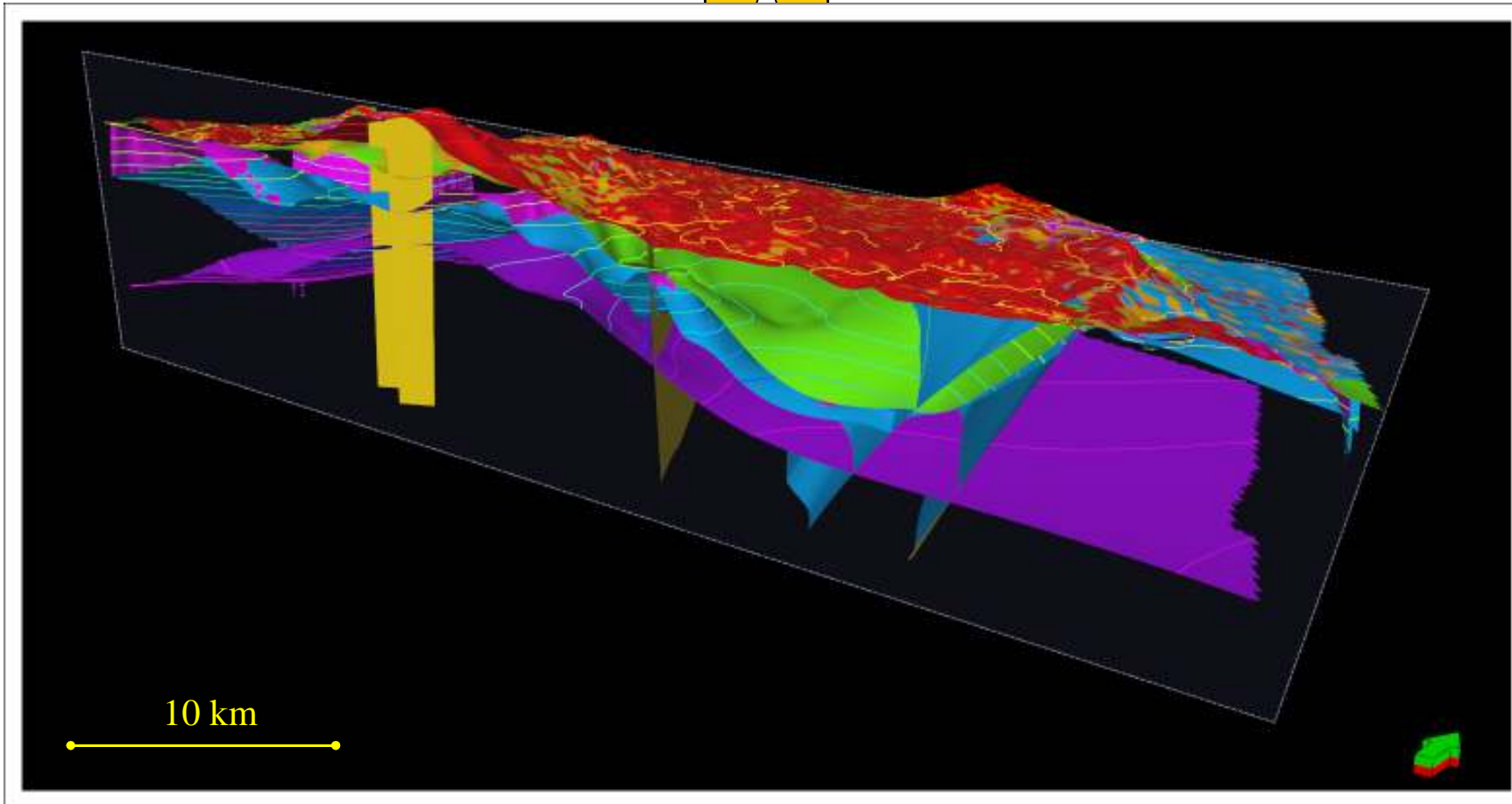
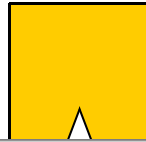
I dati a disposizione utilizzati per la costruzione del modello 3D dei sistemi geotermici amiatini sono rappresentati da: carte e sezioni geologiche, schemi tettonici, modello digitale del terreno (DEM), dati di pozzo (stratigrafie, log di temperatura), andamento del substrato resistivo, sezioni sismiche interpretate.



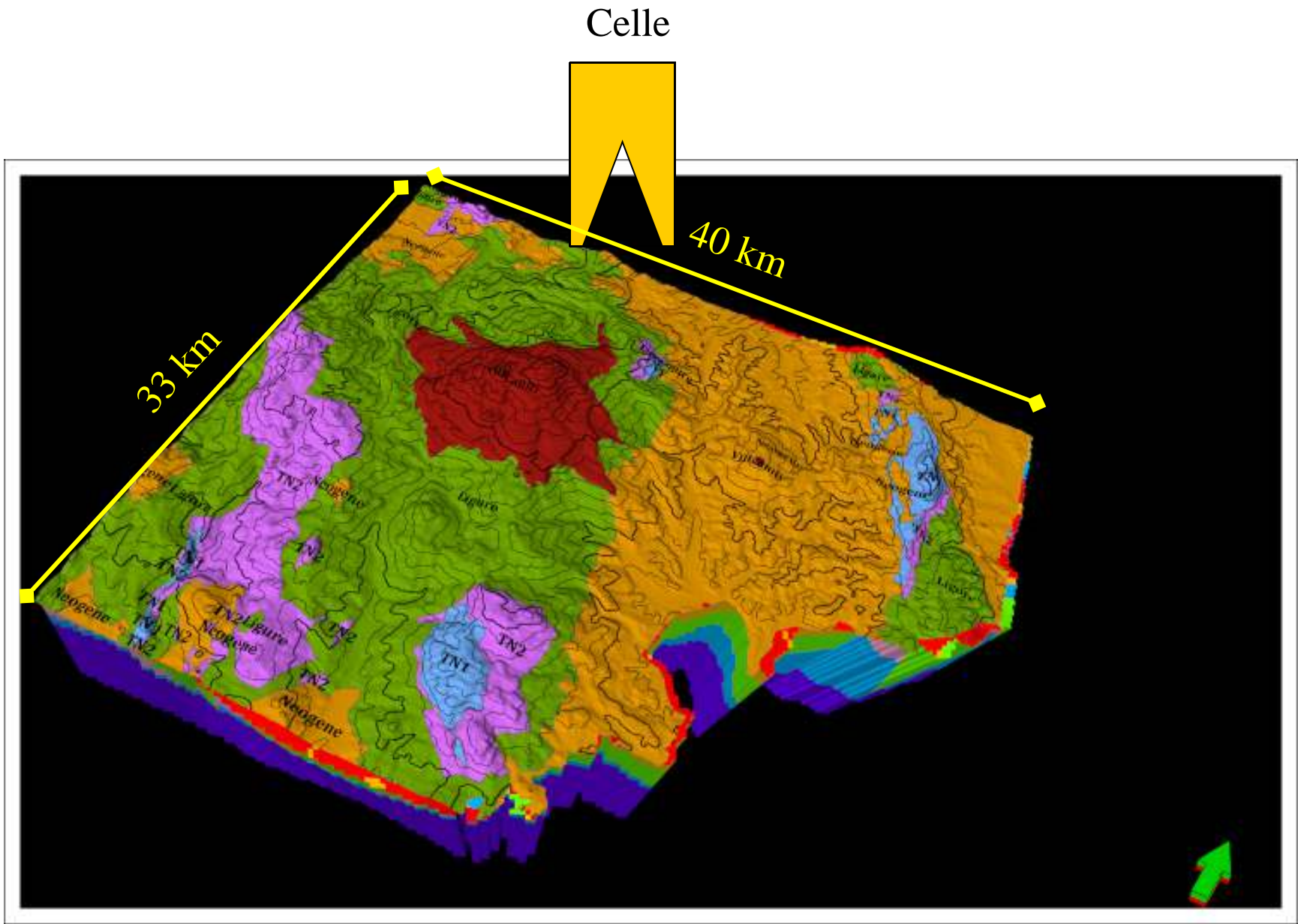
Altri dati che possono essere integrati all'interno del software sono dati sismici, gravimetrici, magnetotellurica, log di pozzo (gamma-ray, litologia, resistività, log sonico, pressione ecc), permeabilità, porosità, analisi chimiche.



# Superfici e faglie

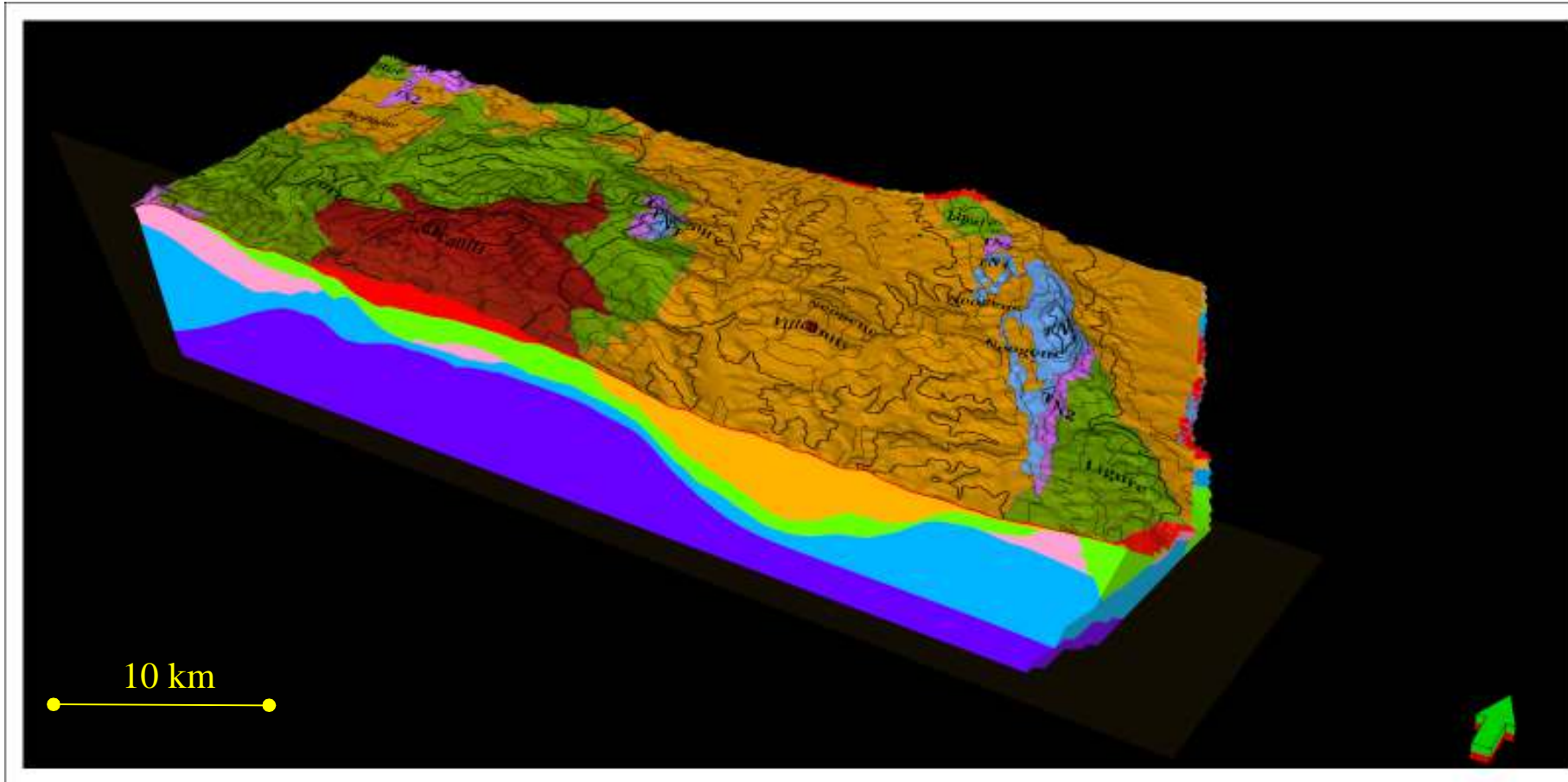


(esagerazione verticale 2x)

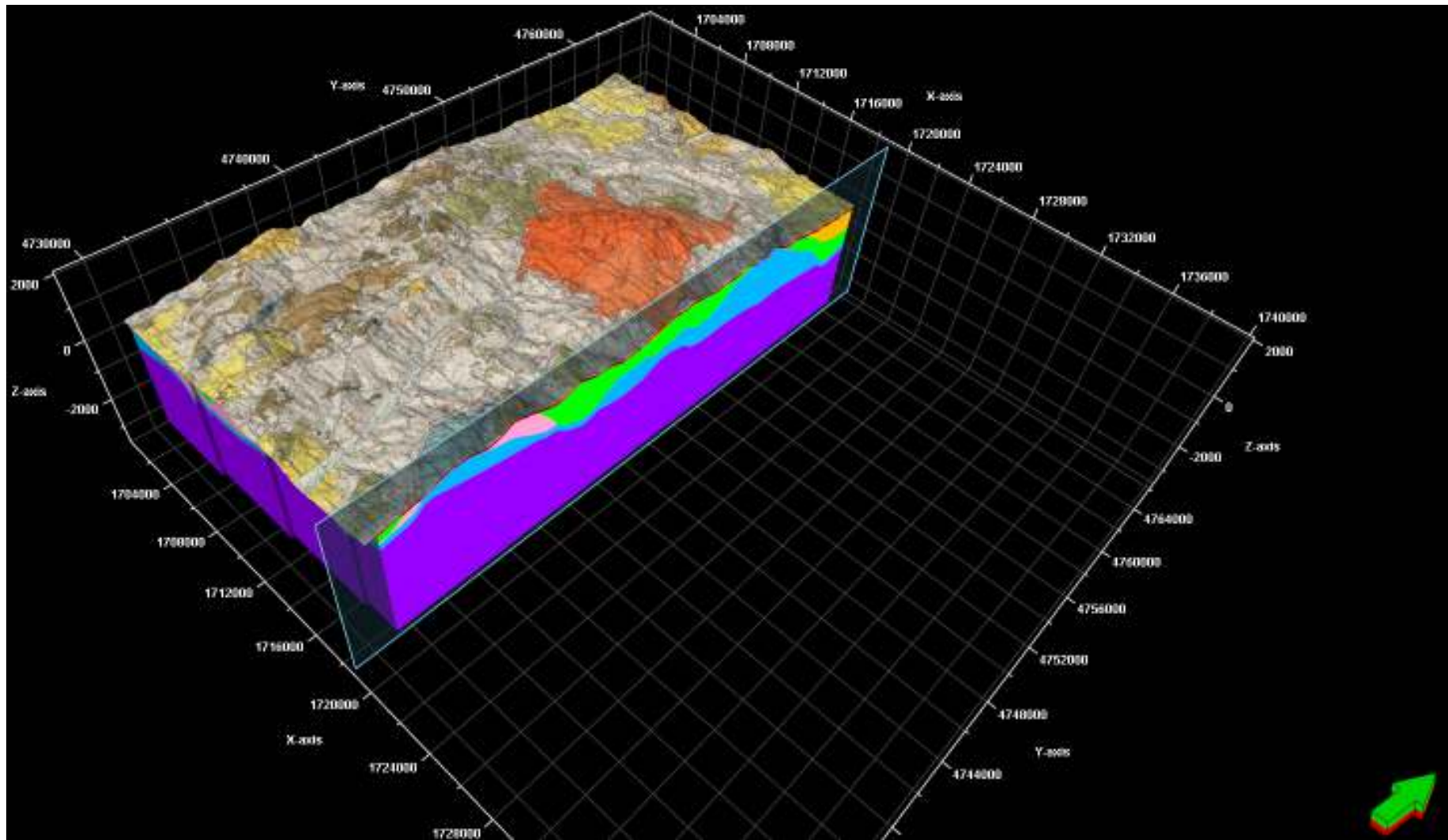


(esagerazione verticale 2x)

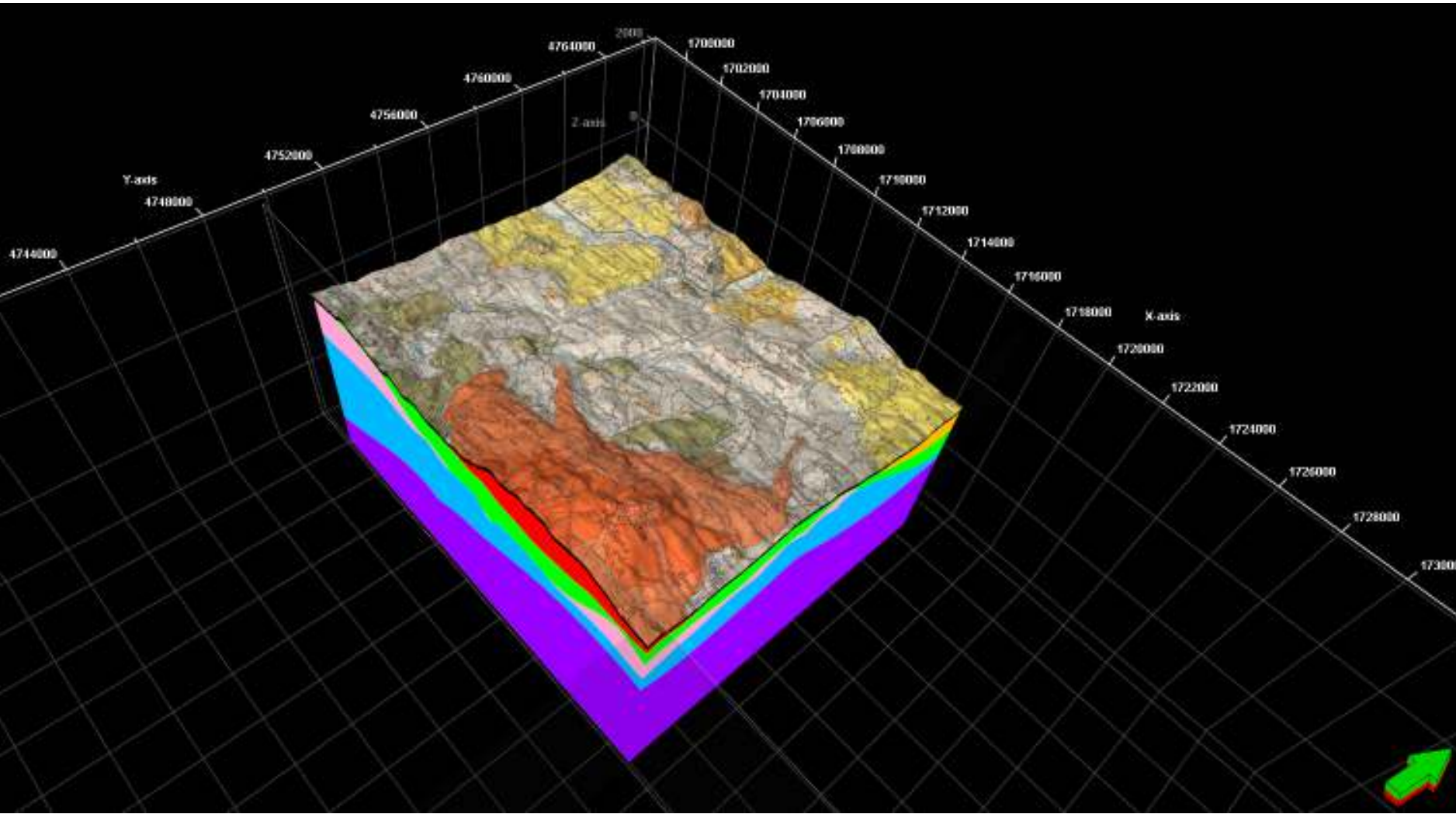
# *Il modello 3D*



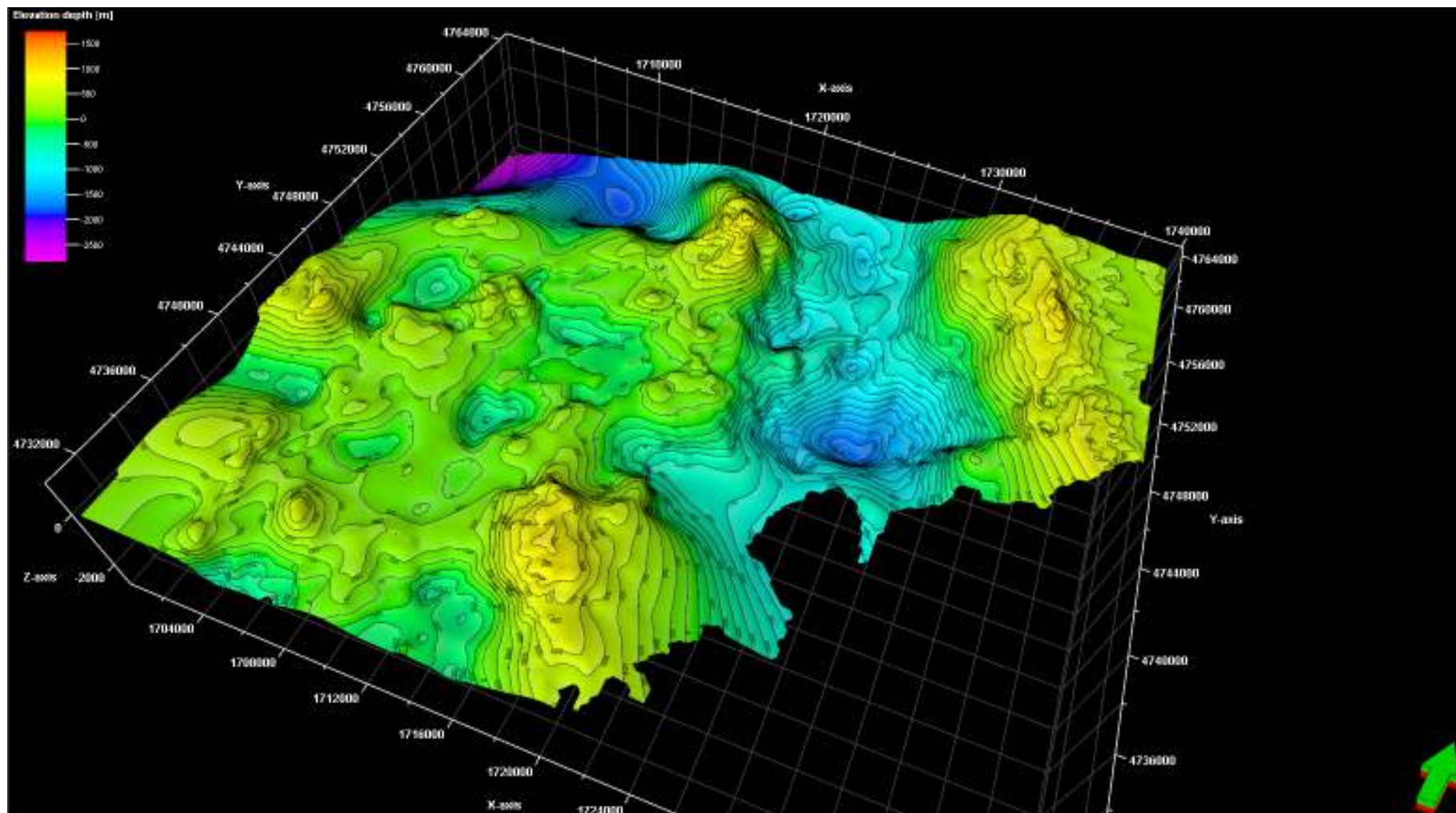
(esagerazione verticale 2x)



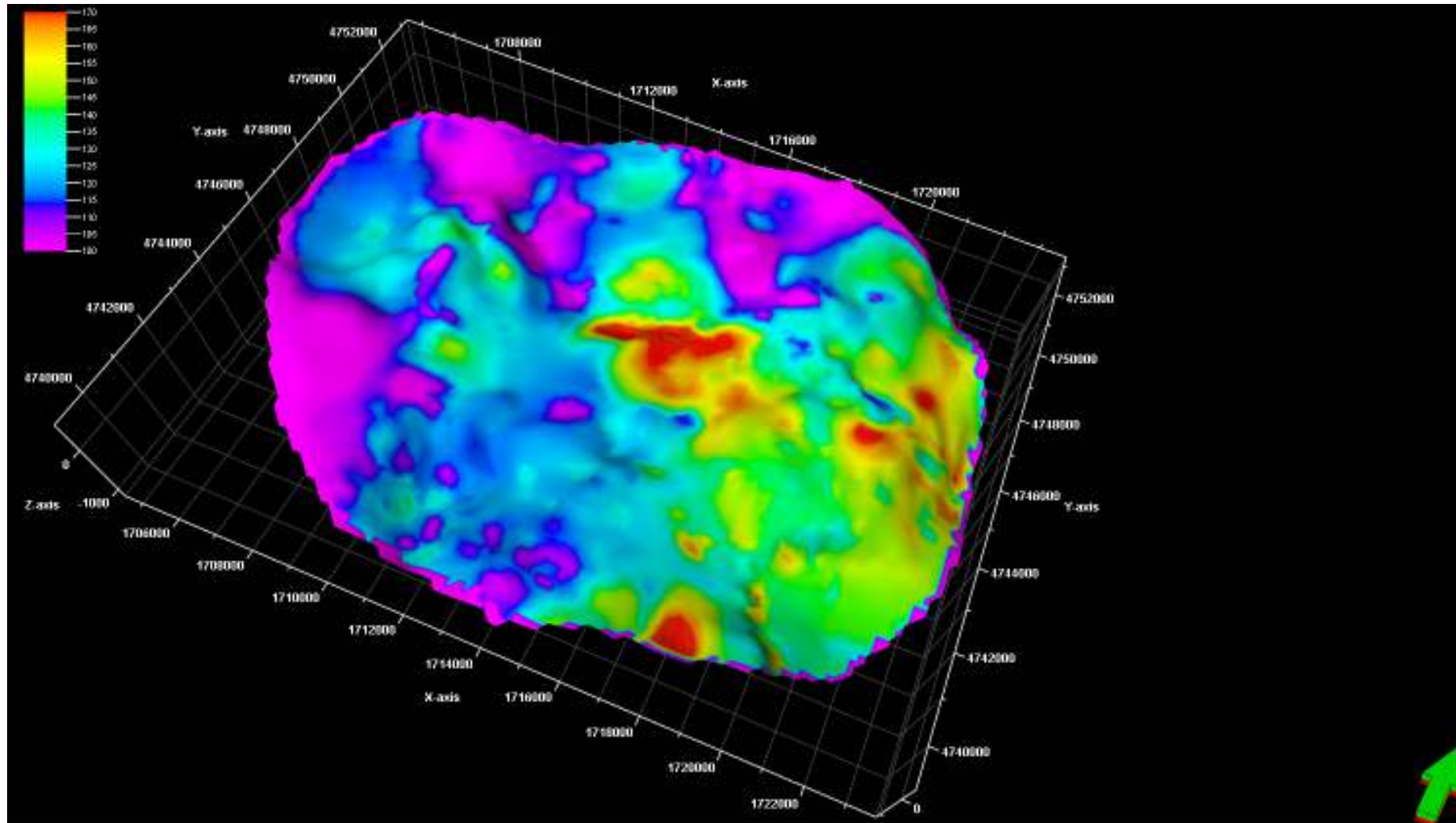




# Andamento del tetto del 1° serbatoio geotermico ubicato nei carbonati ed evaporiti della serie Toscana

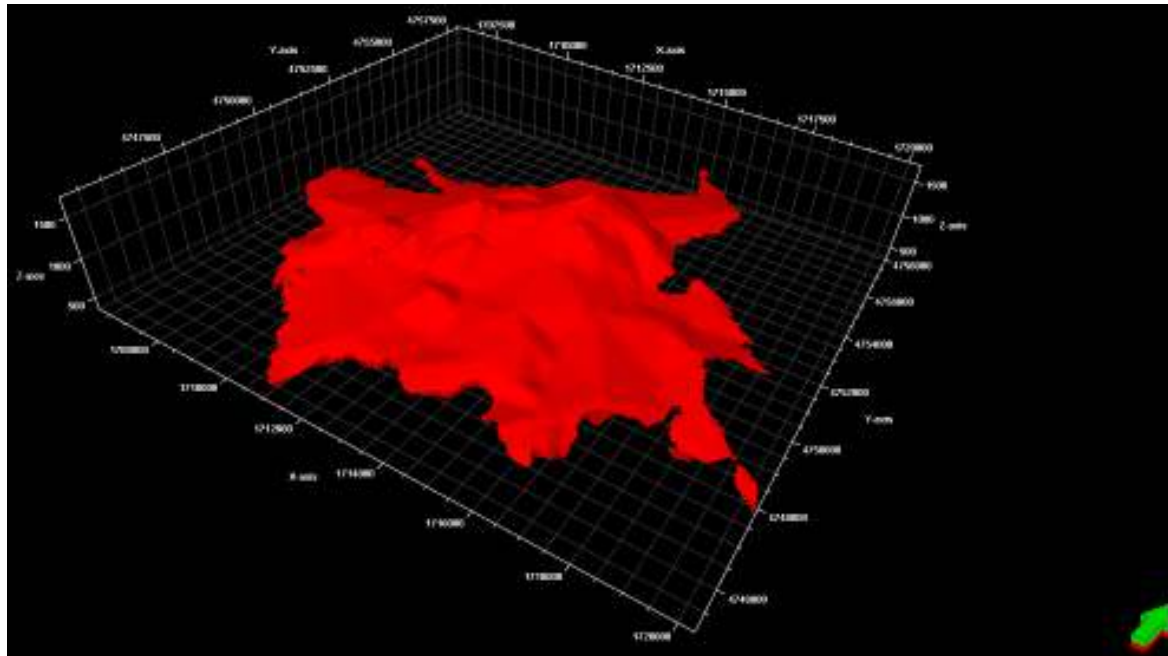


# Temperature al tetto del 1° serbatoio geotermico

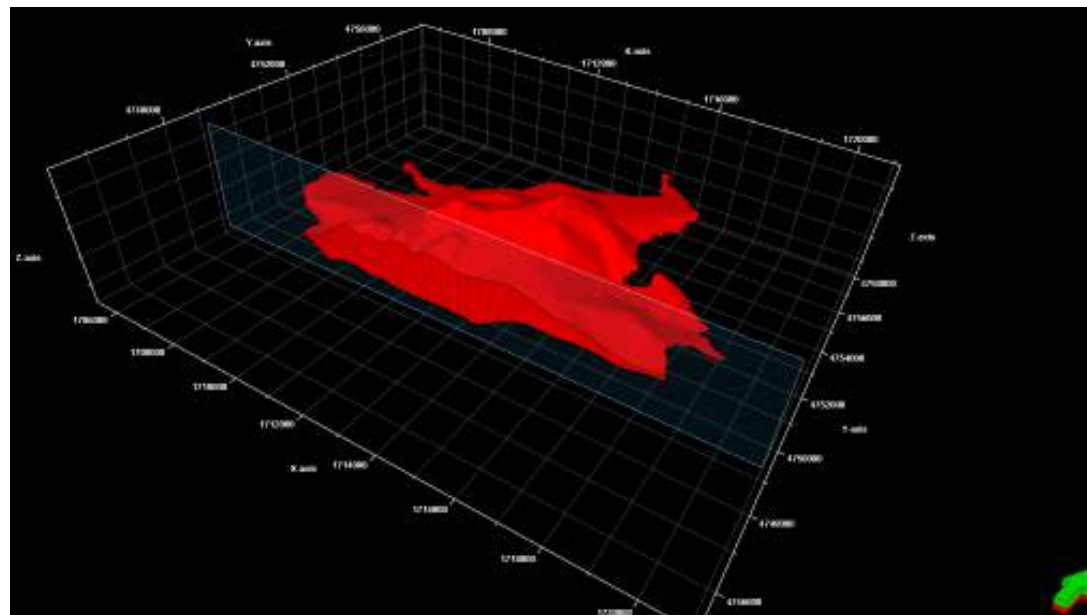




## *Modello 3D dell'edificio vulcanico*



Ex: E' stato possibile estrapolare una stima dei volumi delle vulcaniti pari a 23 km<sup>3</sup>





# Simulazione numerica e caratterizzazione della risorsa: Obiettivi

**Perché è importante approntare modelli numerici per lo studio e la comprensione dei fenomeni di trasporto di massa ed energia nei serbatoi geotermici?**

▫ Caratterizzazione della risorsa geotermica:

- set di dati fisici e geologici per la **valutazione del potenziale geotermico** e della sostenibilità dello sfruttamento

▫ Elaborazione di una opportuna **strategia di produzione e reiniezione**:

- set di parametri termofisici per la **progettazione** ottimizzata dell'impianto di produzione di energia

# Realizzazione del modello numerico di un serbatoio geotermico

▫ Il modello deve essere sempre preceduto da una corretta interpretazione dell'idrogeologia e della geocS strumento importantissimo per chi deve prendere decisioni operative per la produzione di energia da un certo campo geotermico.

▫ chimica della zona di interesse.

▫ Fondamentale è la calibrazione del modello (di solito effettuata per lo **stato "imperturbato"**) del sistema roccia-fluido. Successivamente si possono simulare diverse **condizioni di sfruttamento** ed individuare la più corretta **strategia di reiniezione**.

# TOUGH2

## Transport Of Unsaturated Groundwater and Heat

Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory  
University of California, Berkeley, California 94720  
(*Karsten Pruess et al.*)

Table 1. TOUGH2 fluid property modules, as released in 1991

Module	Capabilities
EOS1*	water, water with tracer
EOS2	water, CO2
EOS3*	water, air
EOS4	water, air, with vapor pressure lowering
EOS5*	water, hydrogen

\* optional constant-temperature capability

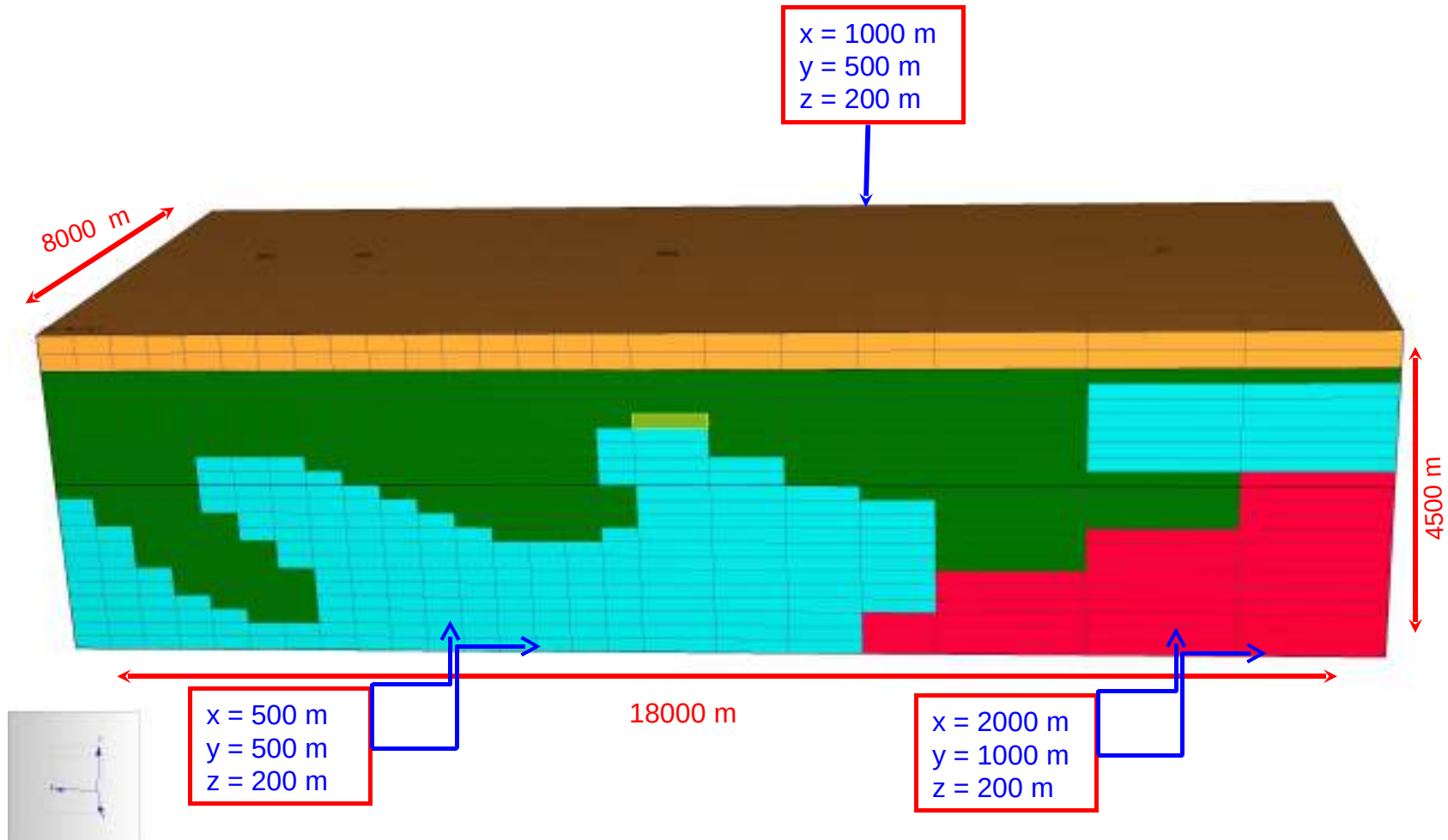
Table 2. New fluid property modules for TOUGH2

Module	Capabilities
EOS7*	water, brine, air
EOS7R*	water, brine, air, parent-daughter radionuclides
EOS8*	water, "dead" oil, non-condensable gas
EOS9	variably-saturated isothermal flow according to Richards' equation
EWASG*	water, salt (NaCl), non-condensable gas (includes precipitation and dissolution, with porosity and permeability change; optional treatment of vapor pressure lowering effects)

\* optional constant-temperature capability

# Fasi di elaborazione di un modello numerico

Modello geometrico a blocchi, scelta delle dimensioni delle celle in base al modello concettuale





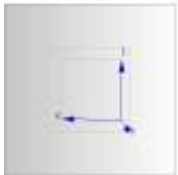
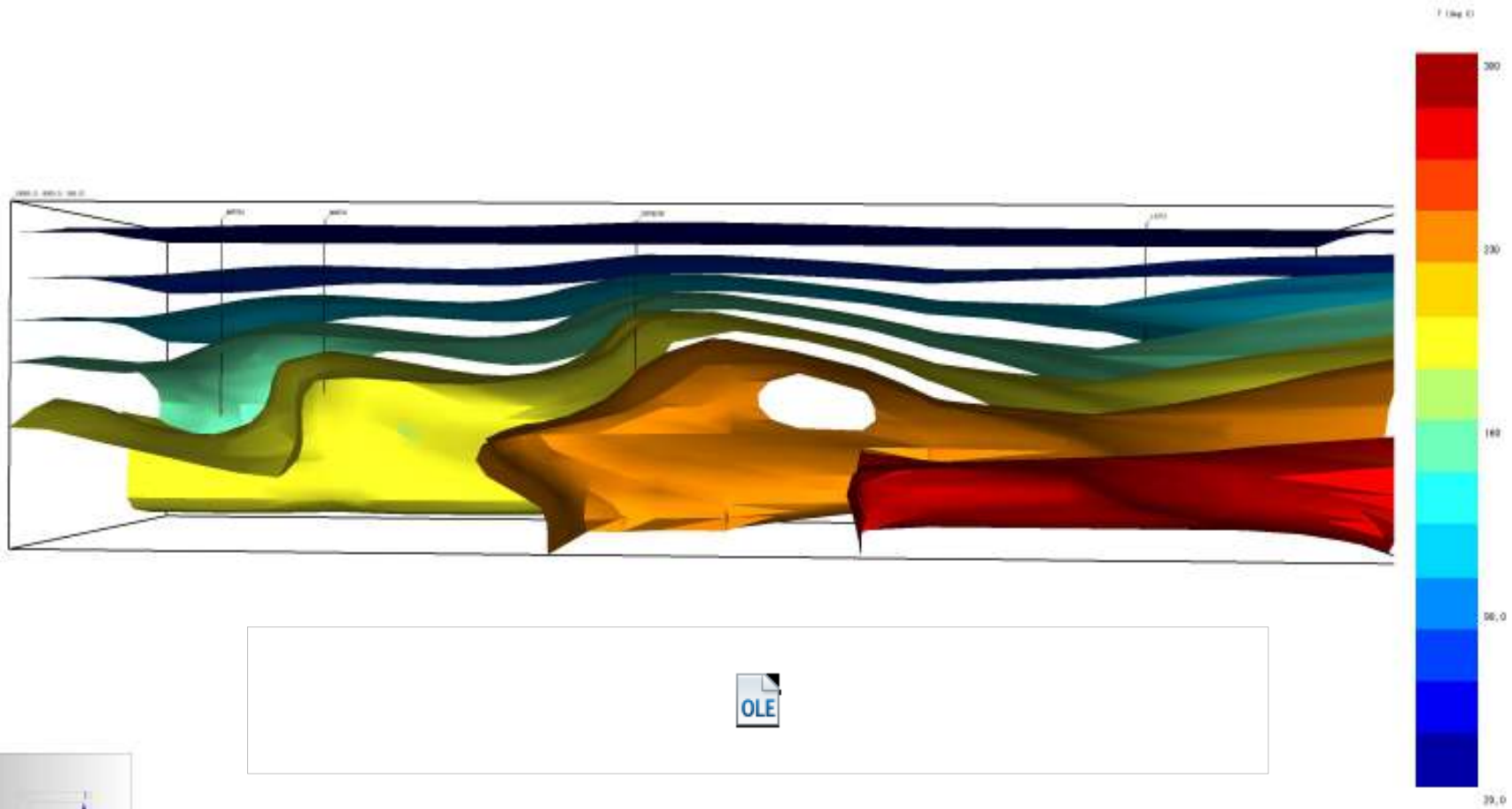
**Parametri termofisici principali riferiti alle formazioni rocciose del reservoir:**

**densità, porosità, permeabilità (eventualmente direzionale, se disponibile), conducibilità termica, calore specifico**

**Parametri termofisici principali riferiti al fluido geotermico:**

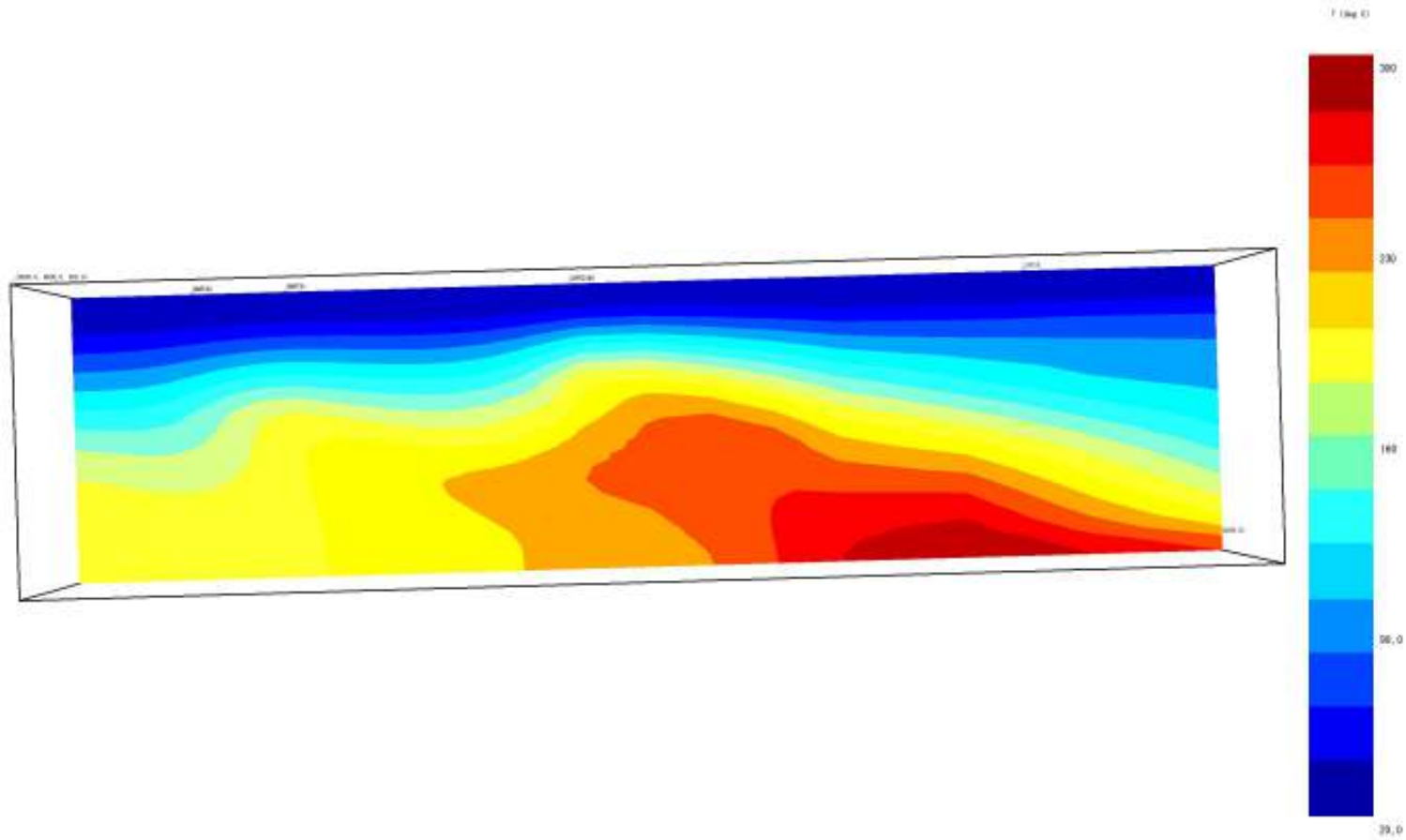
**densità, conducibilità termica, calore specifico, sostanze disciolte**

# Simulazione dello stato naturale imperturbato (stazionario)



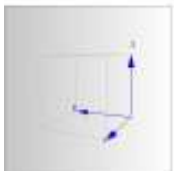
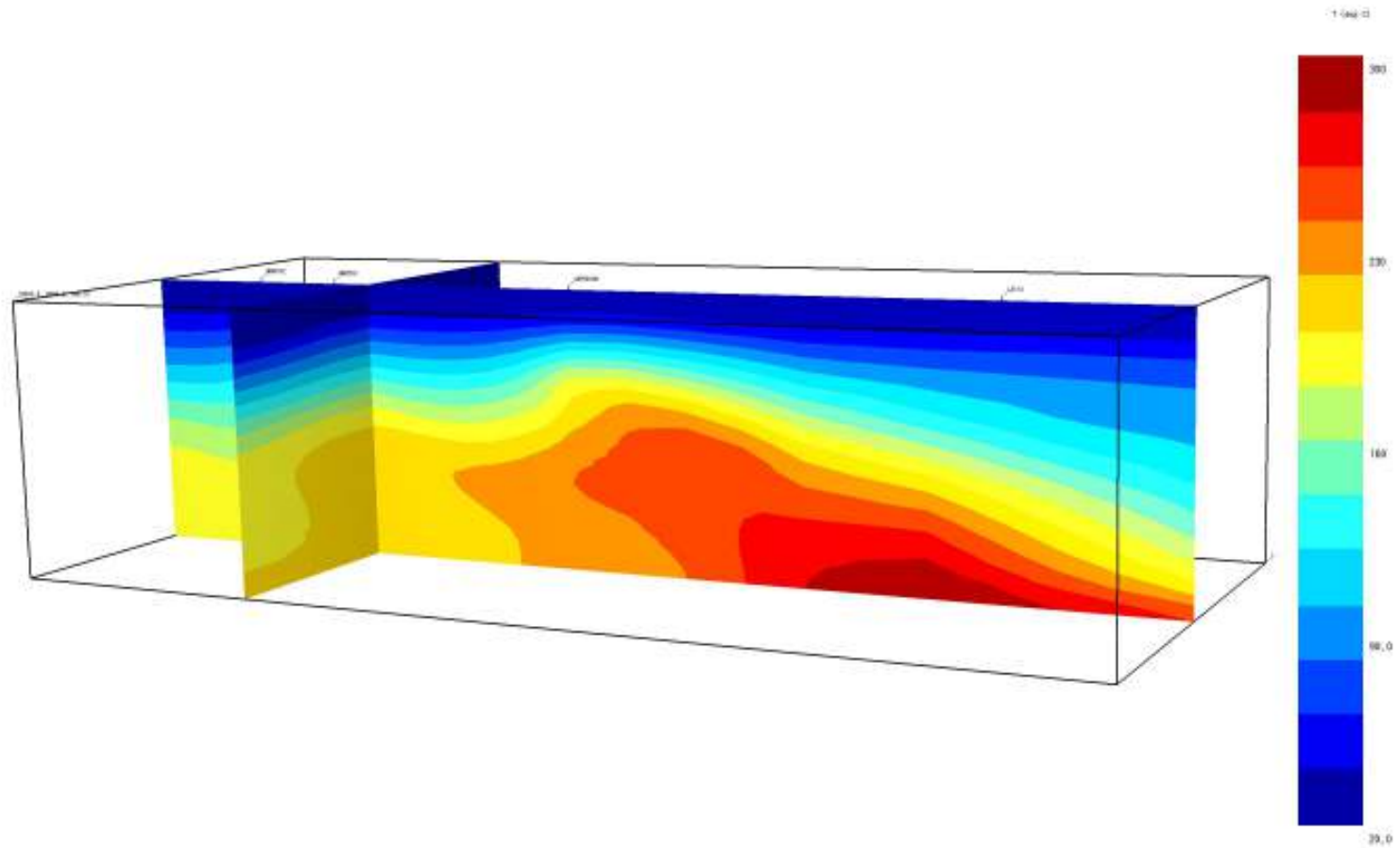
OLE

*Simulazione dello stato naturale imperturbato (stazionario)*



**Sezione rappresentative dell'andamento delle isoterme nel sottosuolo**

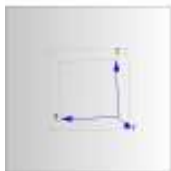
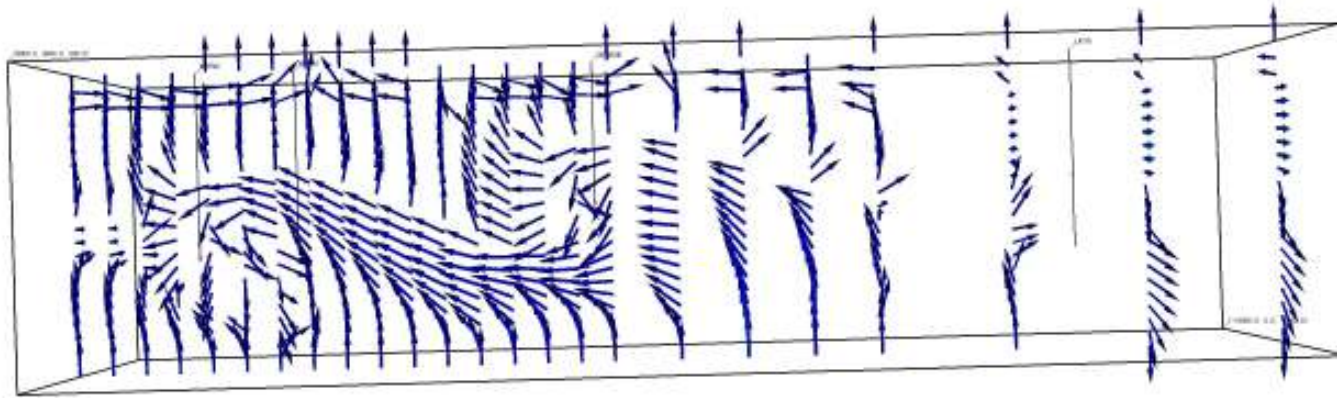
# Simulazione dello stato naturale imperturbato (stazionario)



OLE



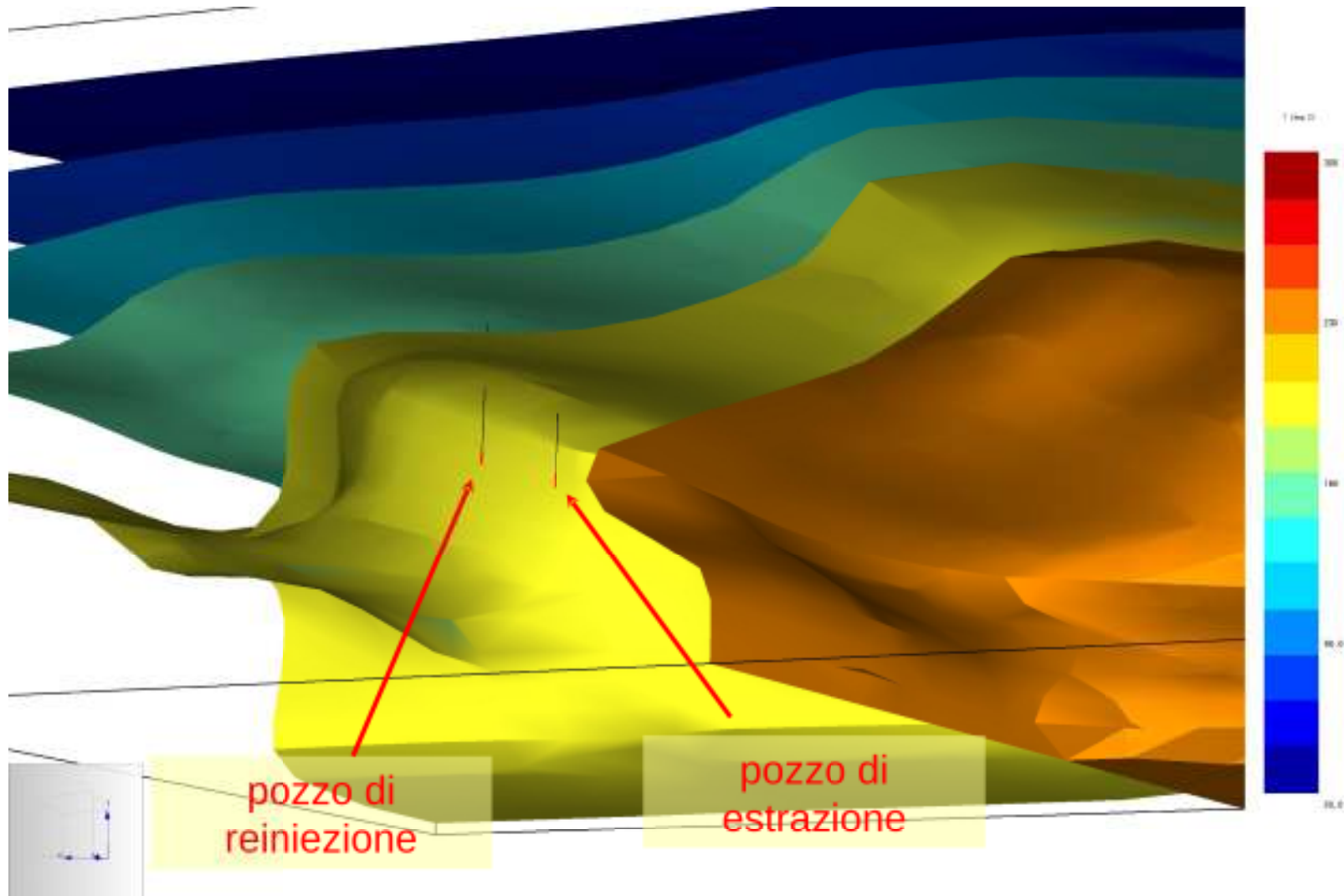
# Simulazione dello stato naturale imperturbato (stazionario)



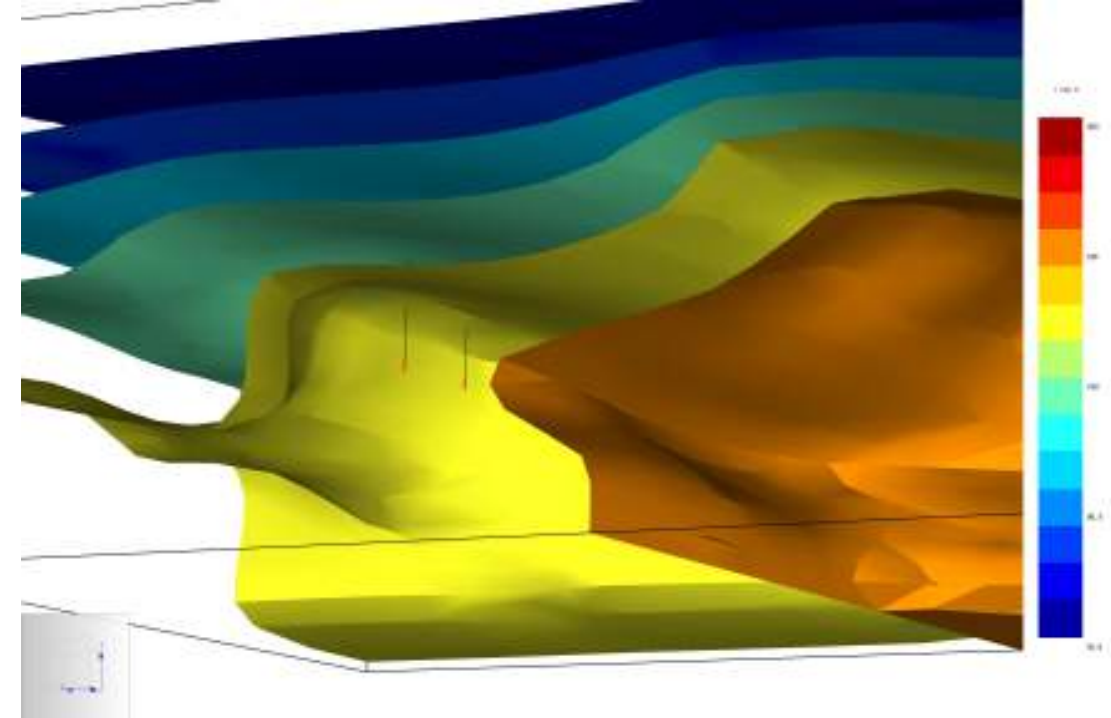
OLE

*Simulazione di uno scenario di sfruttamento di un serbatoio geotermico (50 anni)*  
*Portata 50 l/s fluido estratto-reiniettato*

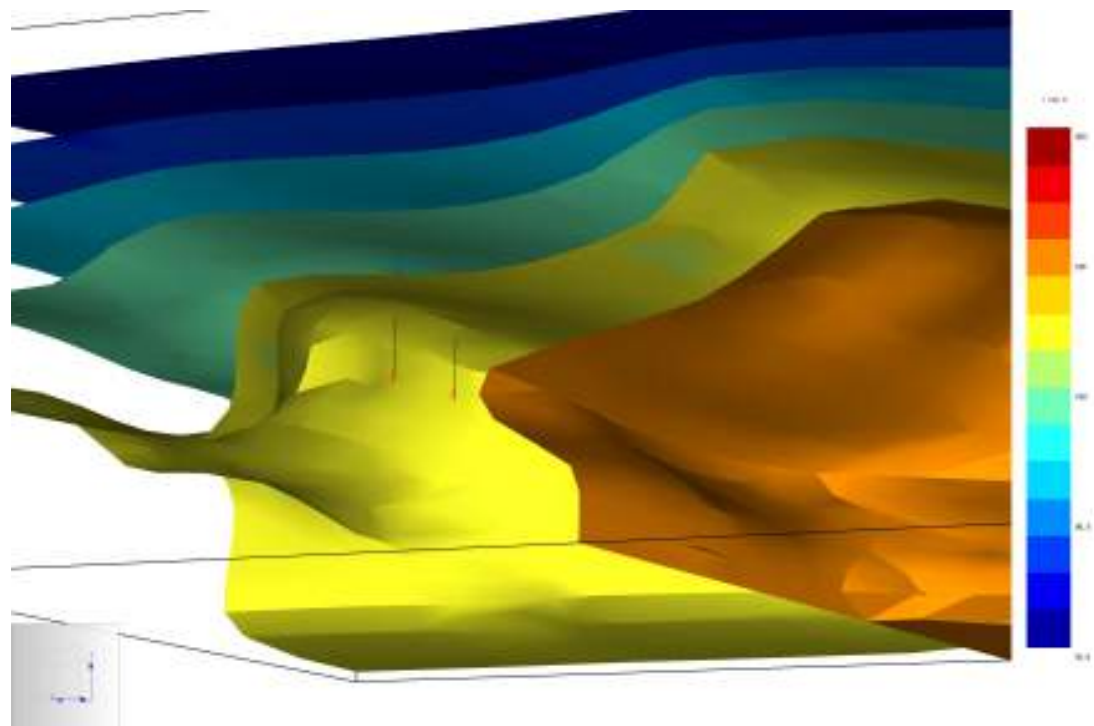
**0 anni**



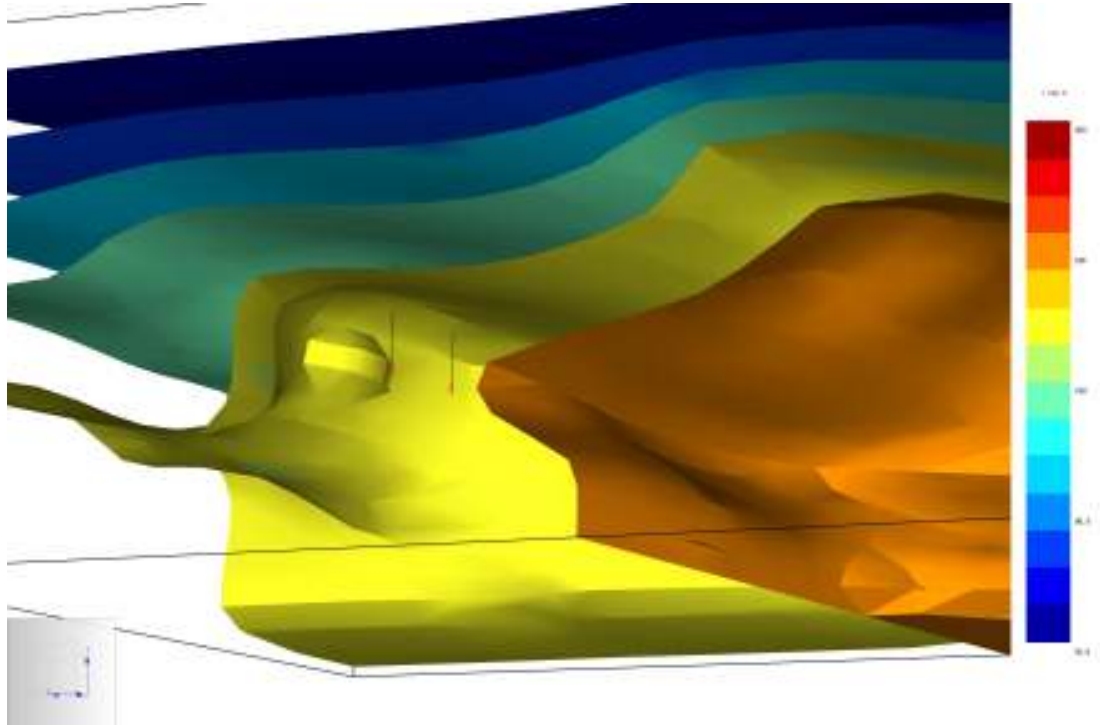
3.5 anni



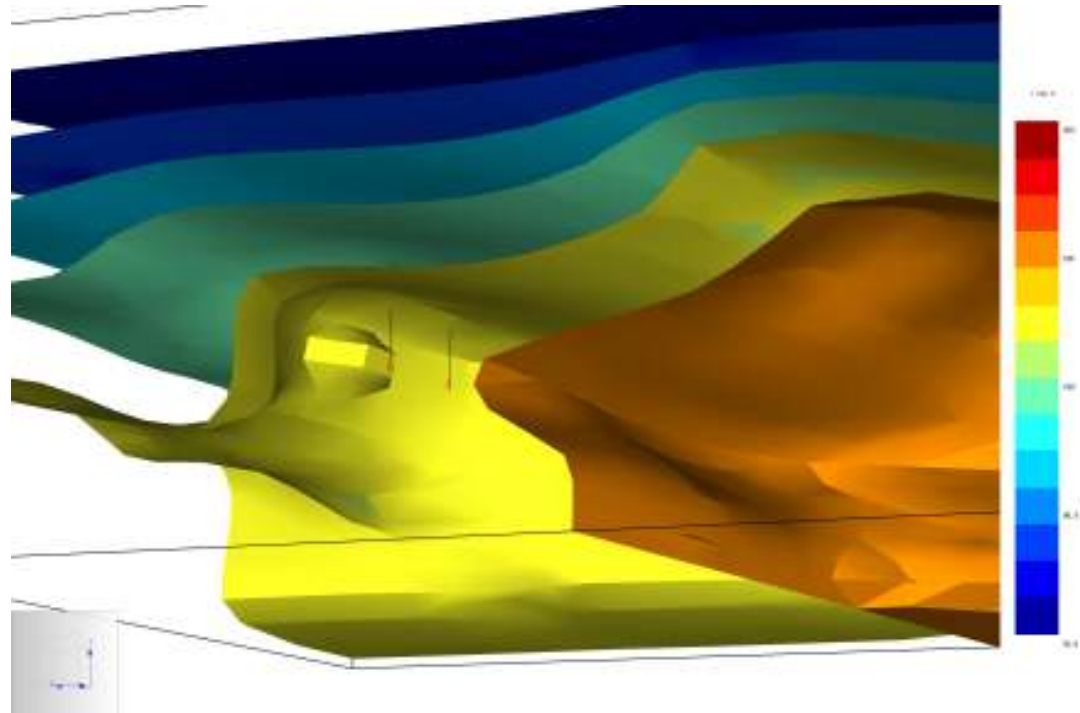
7 anni



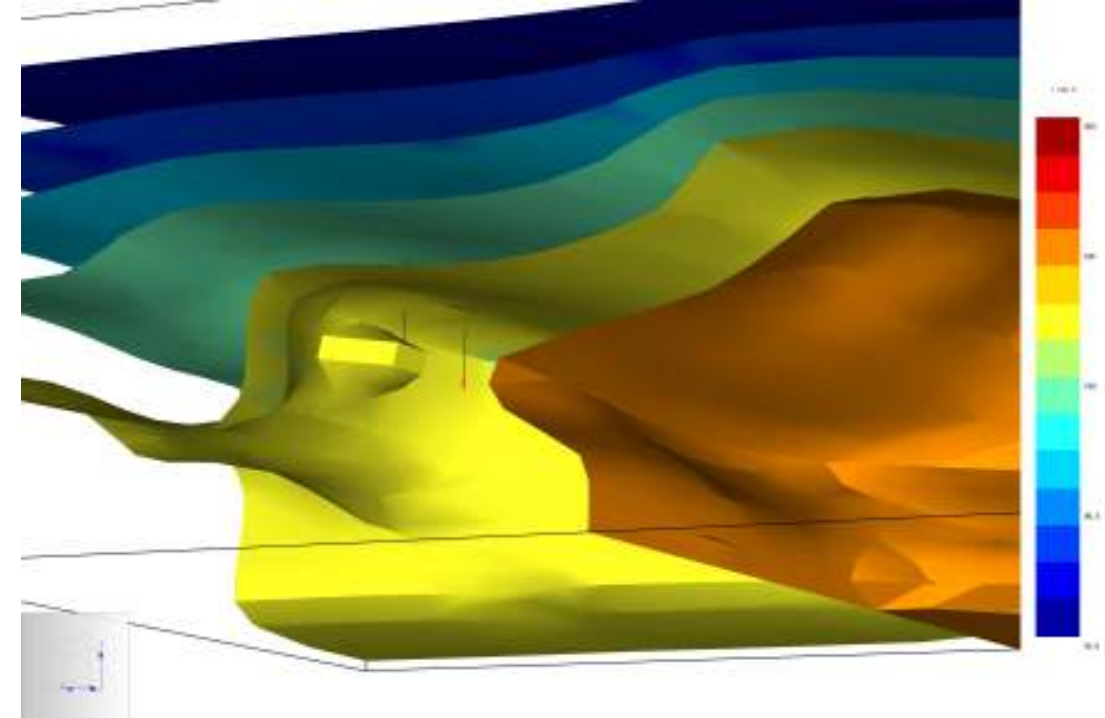
10 anni



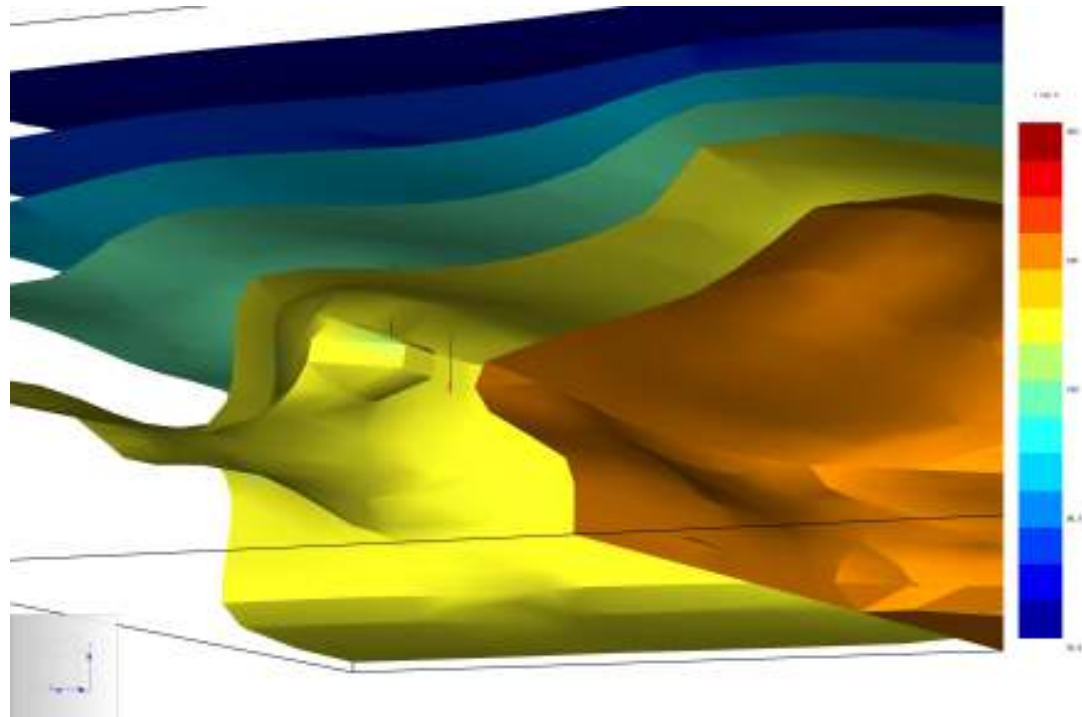
15 anni



20 anni

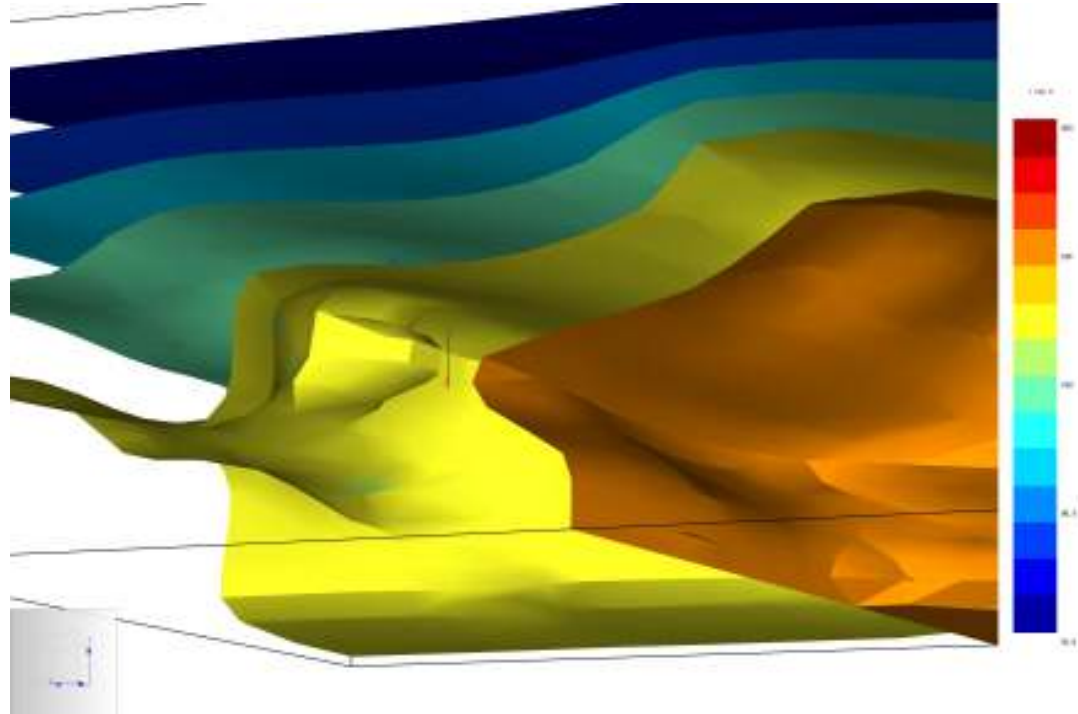


30 anni

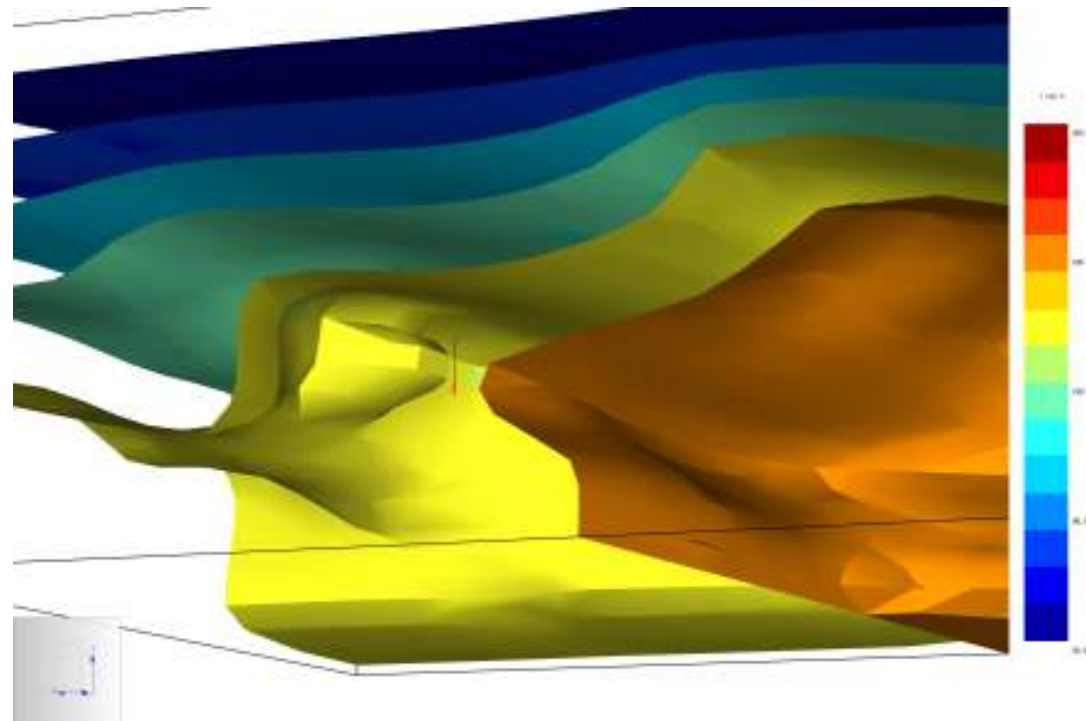




45 anni



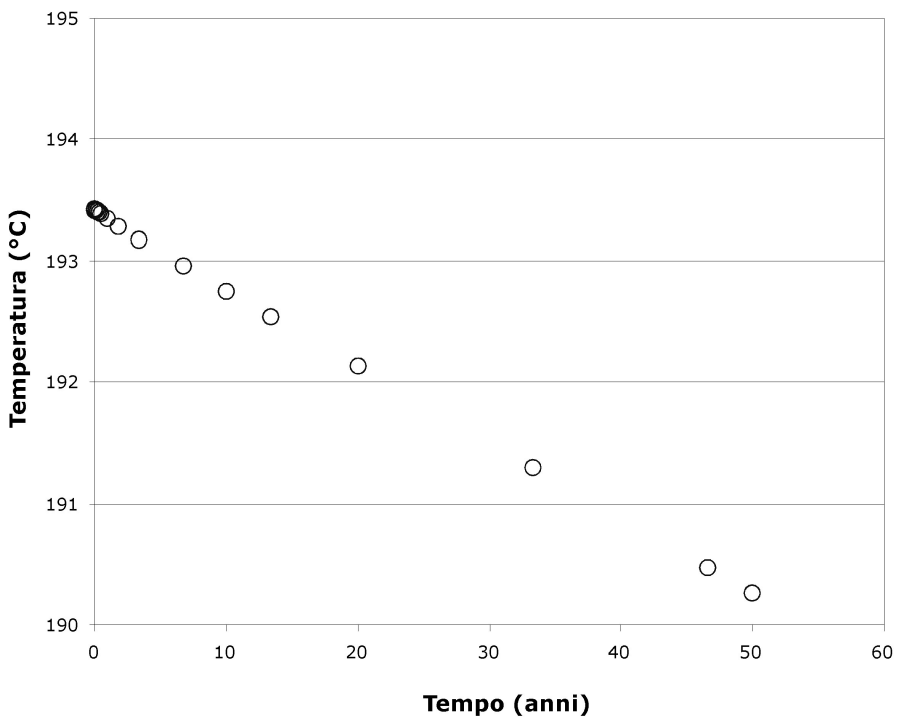
50 anni



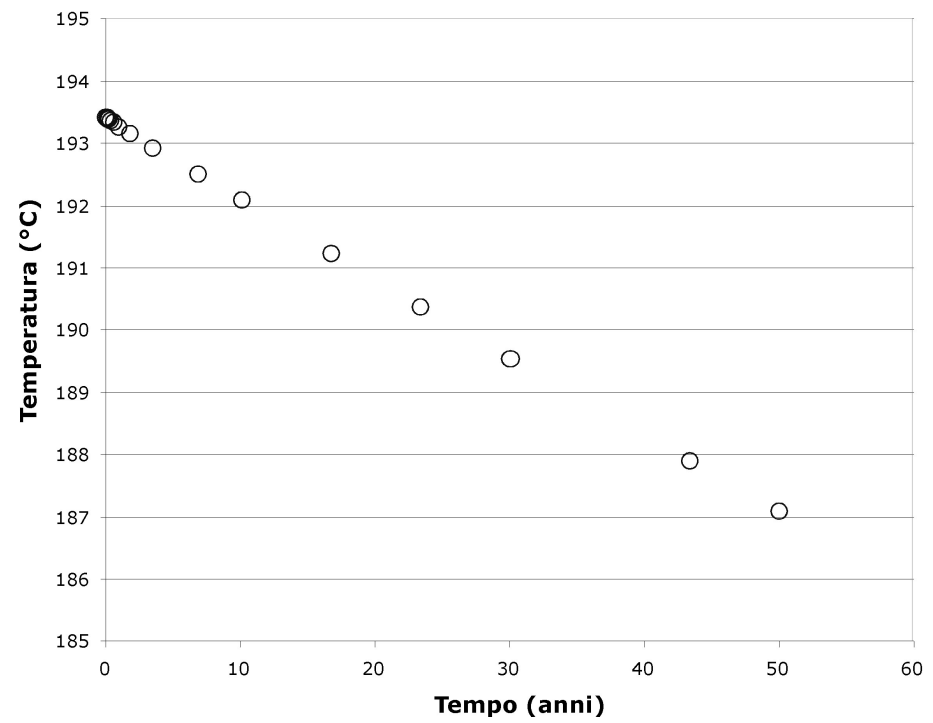
# Simulazione di uno scenario di sfruttamento di un serbatoio geotermico (50 anni)

## Portata 50 l/s fluido estratto-reiniettato

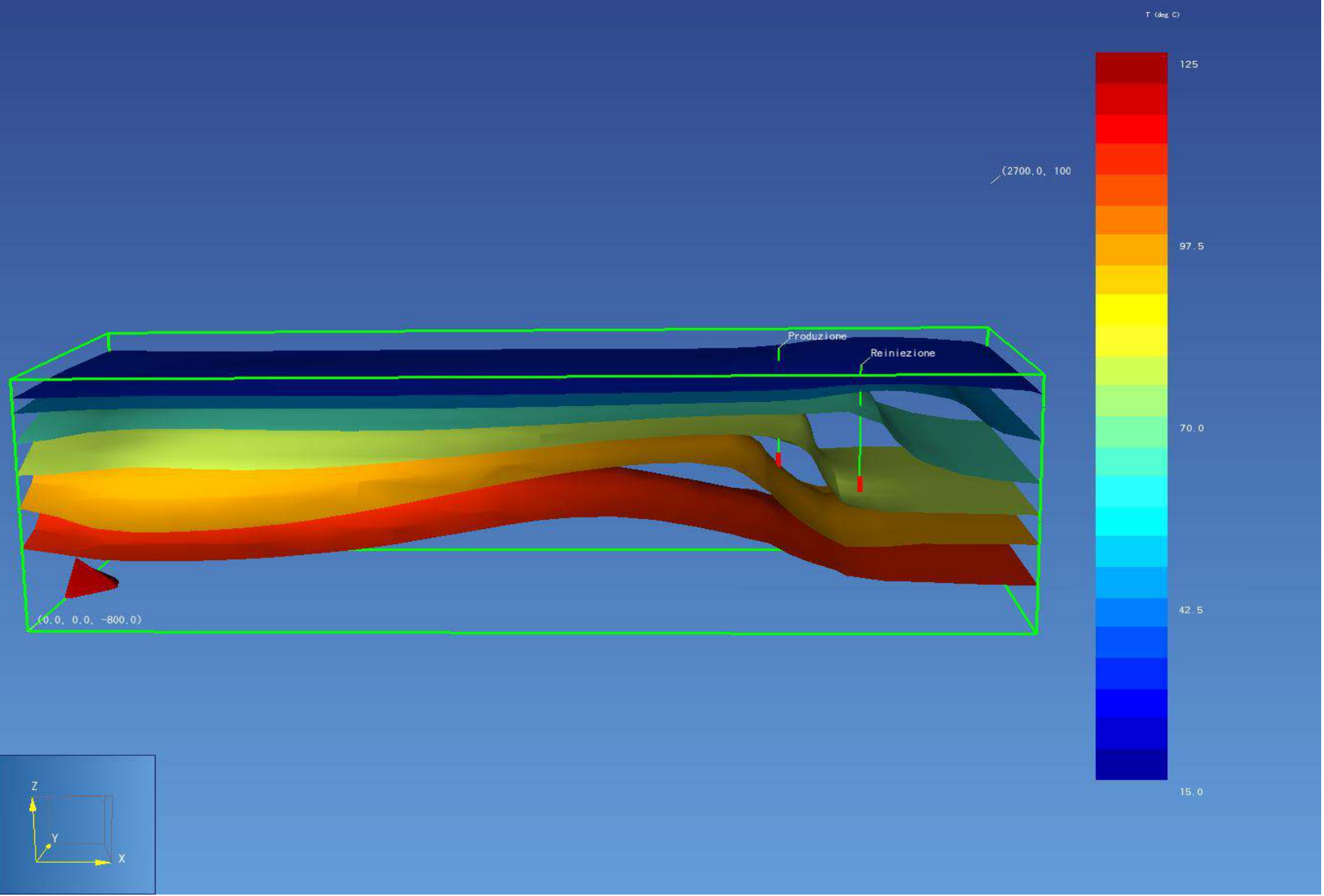
50 l/s



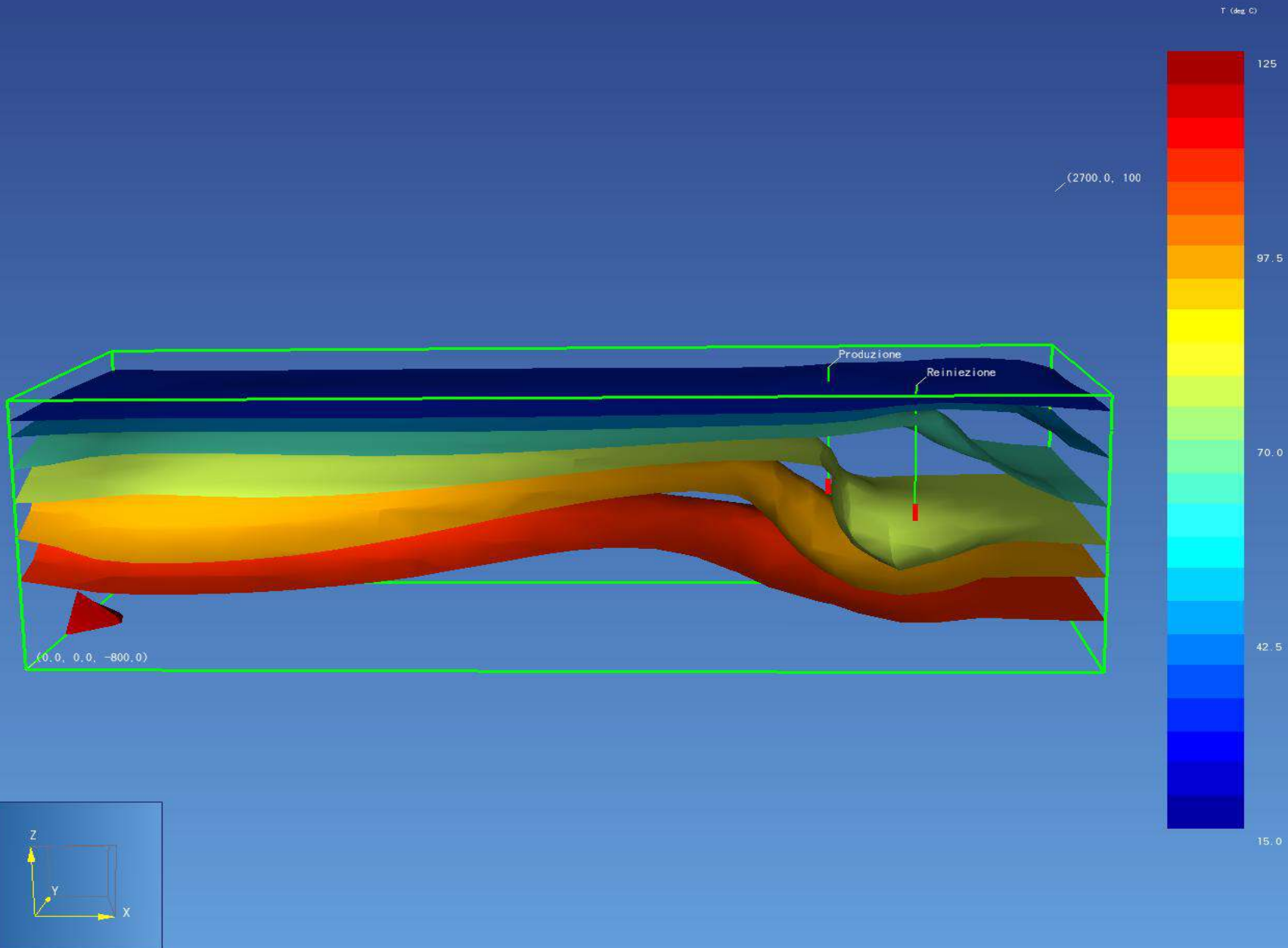
100 l/s



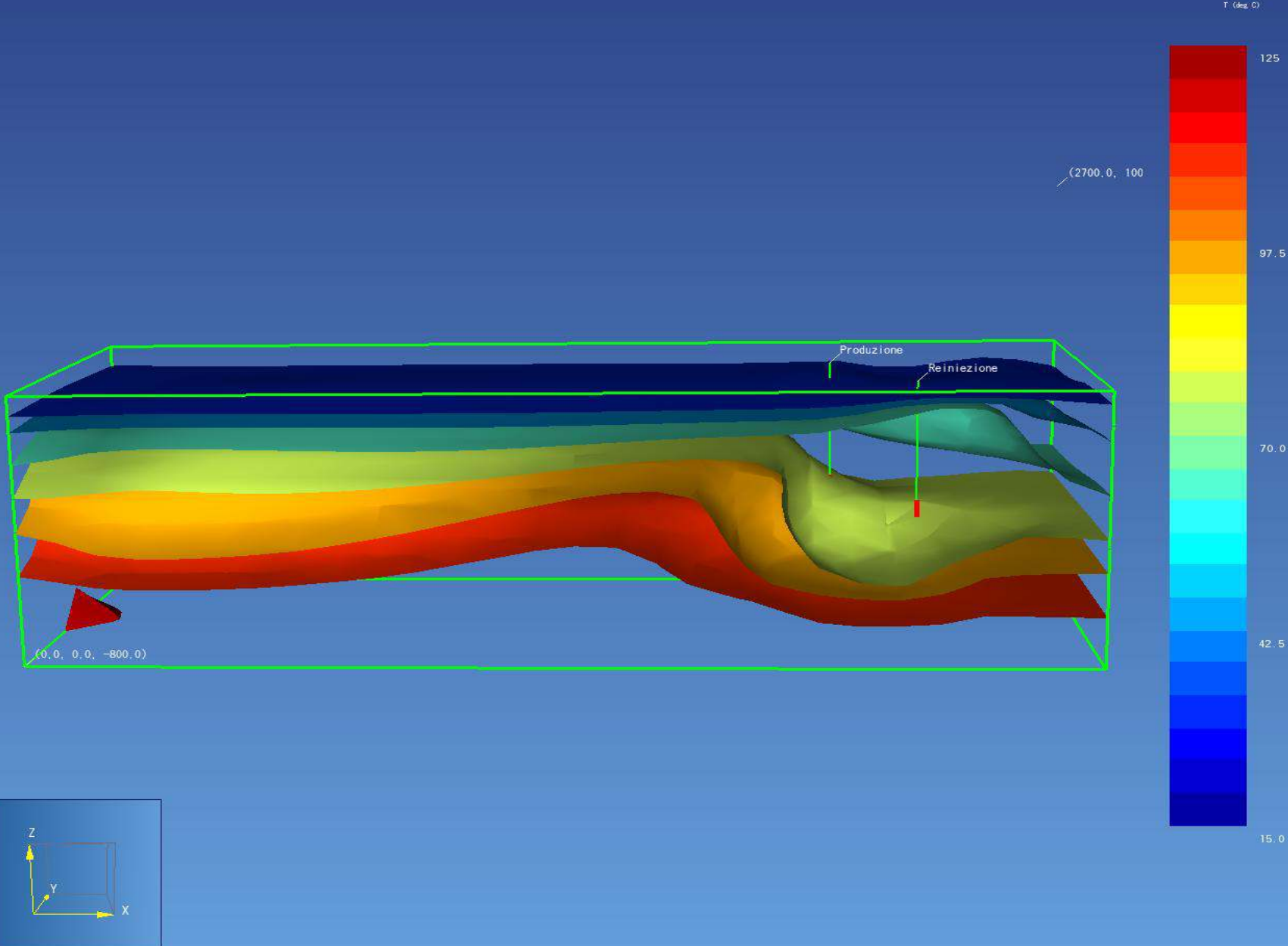
# 1 anno



# 10 anni

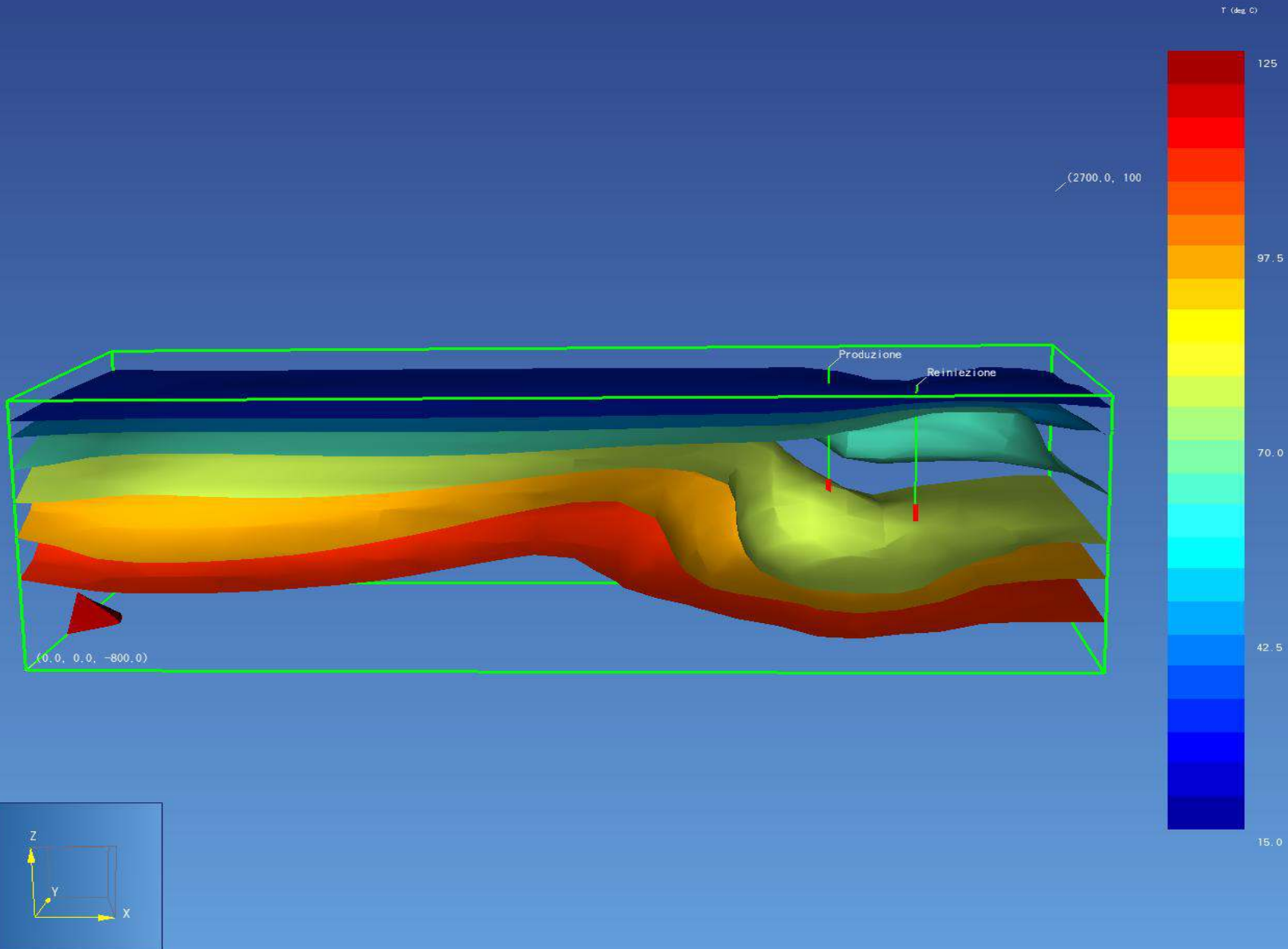


# 25 anni

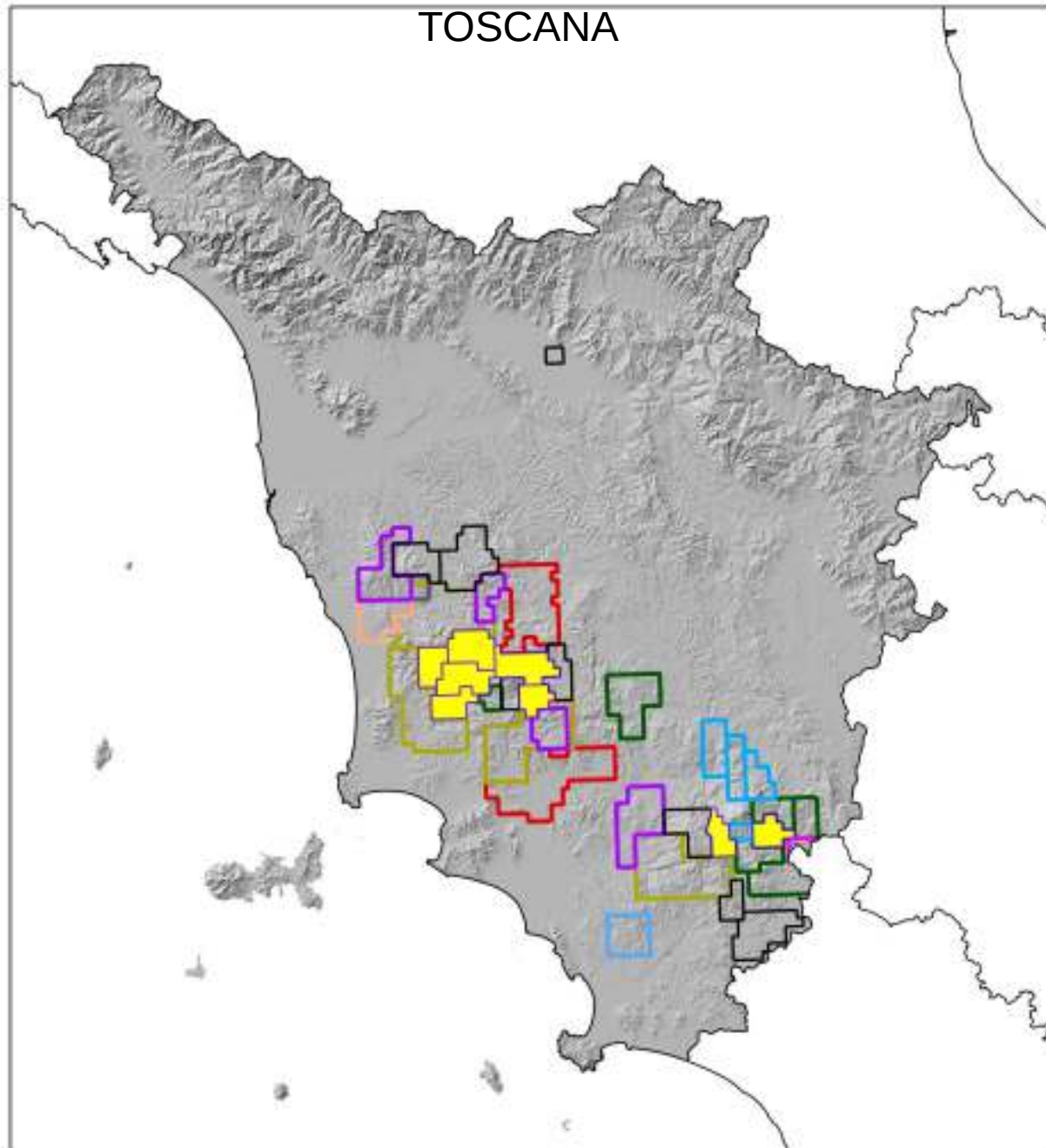




# 50 anni



# PERMESSI DI RICERCA NELLA REGIONE TOSCANA



## Legenda

Concessioni ENEL



PERMESSI DI RICERCA

Geoenergy



Futuro Energia



Tosco Geo



Gesto



Iterna



Geothermics



ENEL



Magma Energy



Sorgenia Geothermal



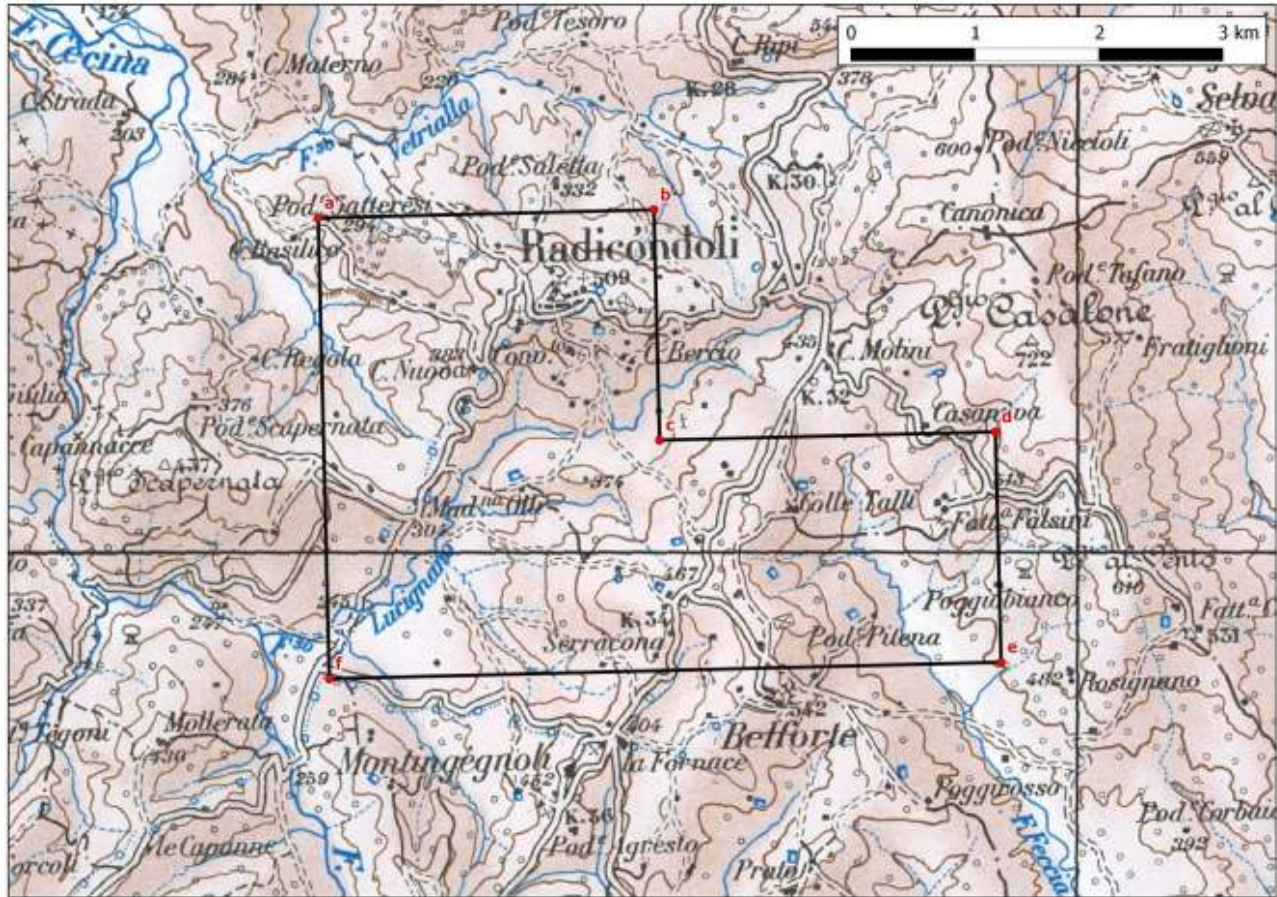
Cosvig



**PERMESSO DI RICERCA  
FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE  
DI UN IMPIANTO PILOTA  
GEOTERMoeLETTRICO  
“LUCIGNANO”**







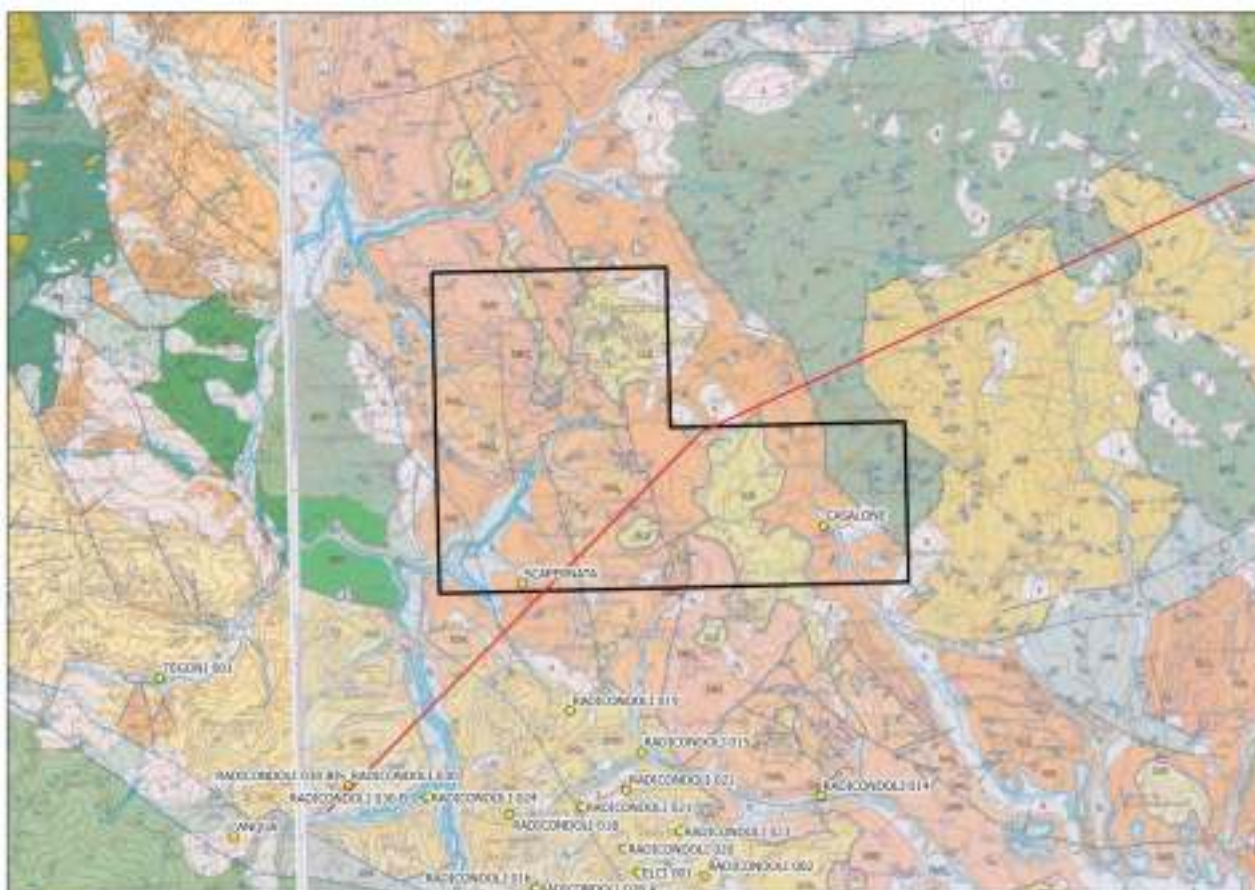
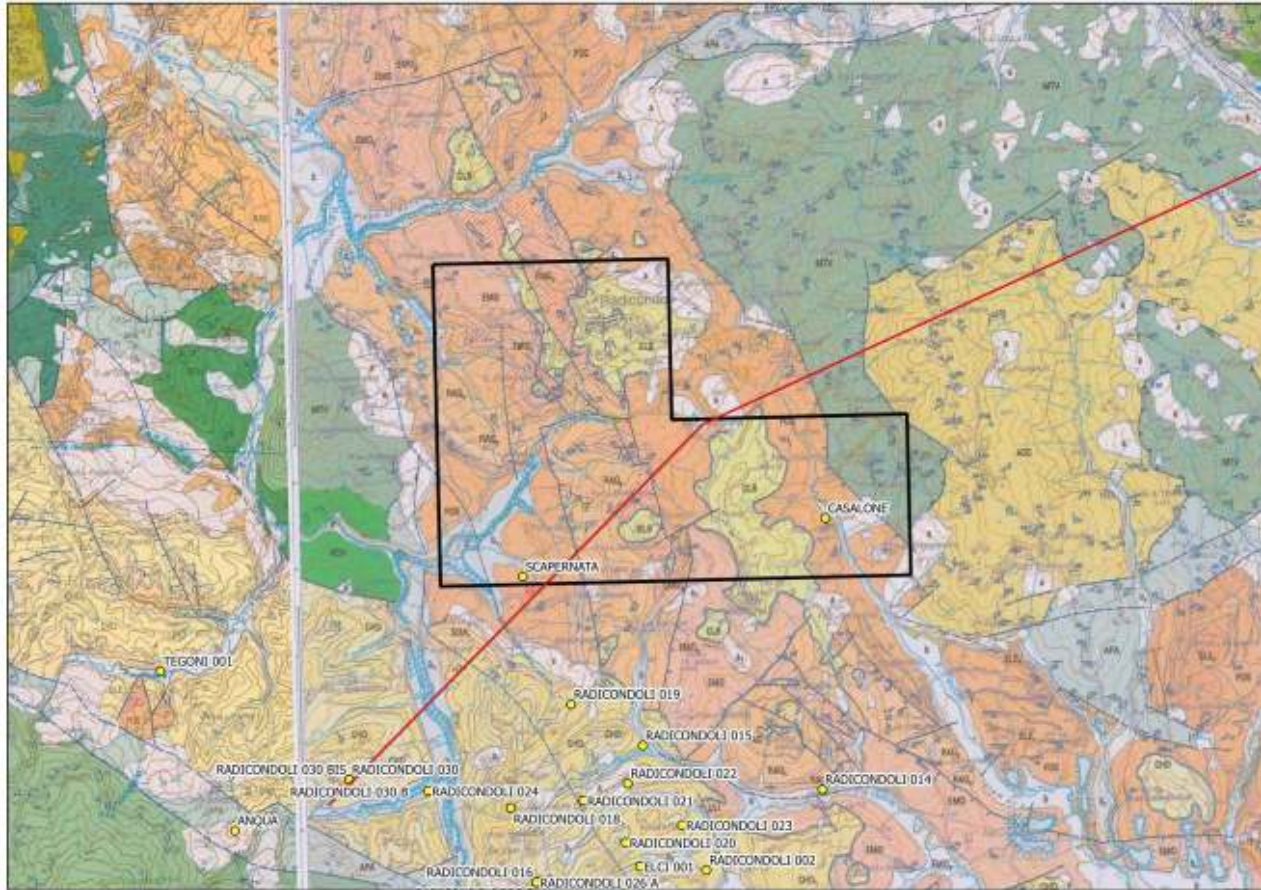
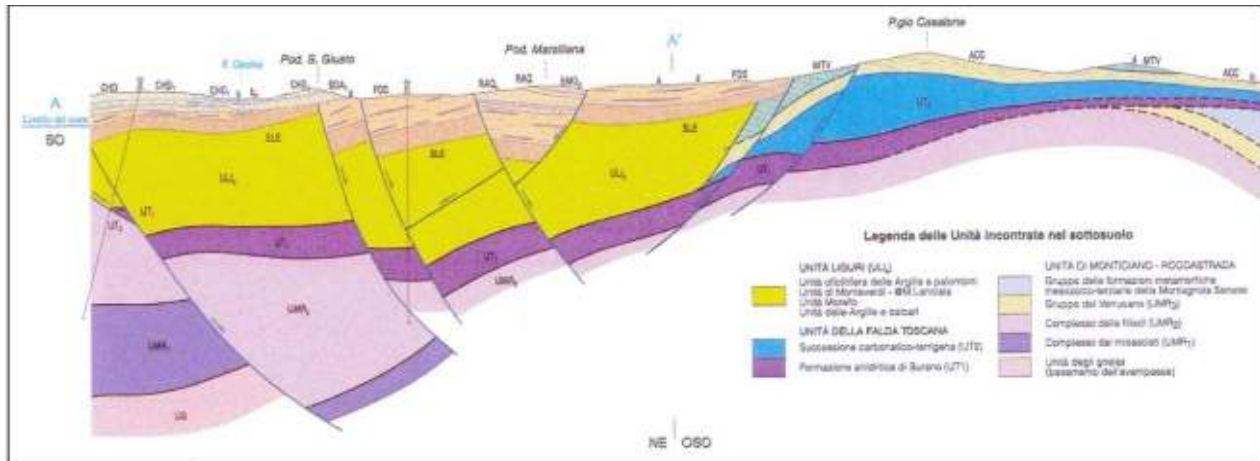
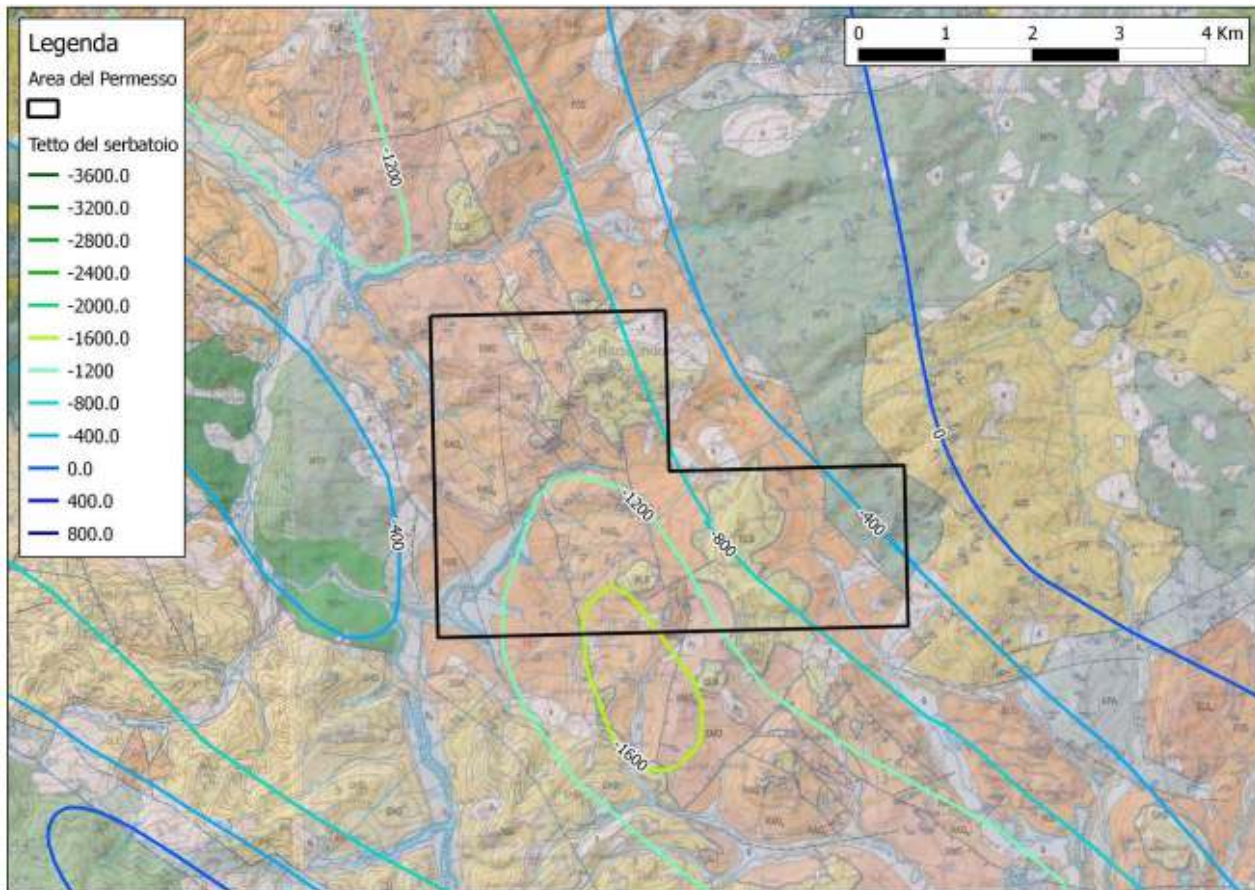


Figura 1: Dettaglio sulla zona in esame, del Foglio 295-Pomarance della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Lazzarotto A. coord., 2002). Legenda in figura 7. Sono mostrate inoltre le ubicazioni dei pozzi (Banca dati Nazionale Geotermica) e della sezione geologica di figura 6.



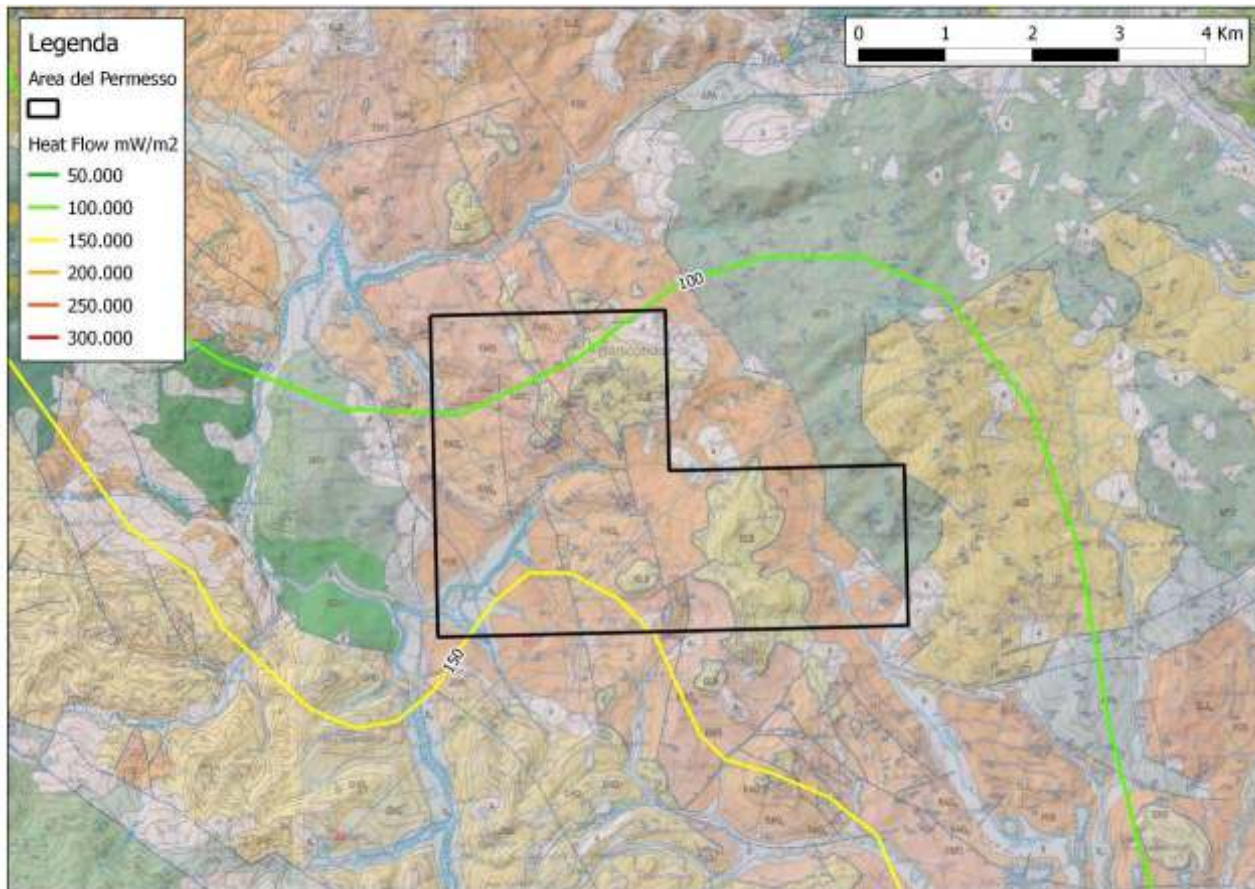




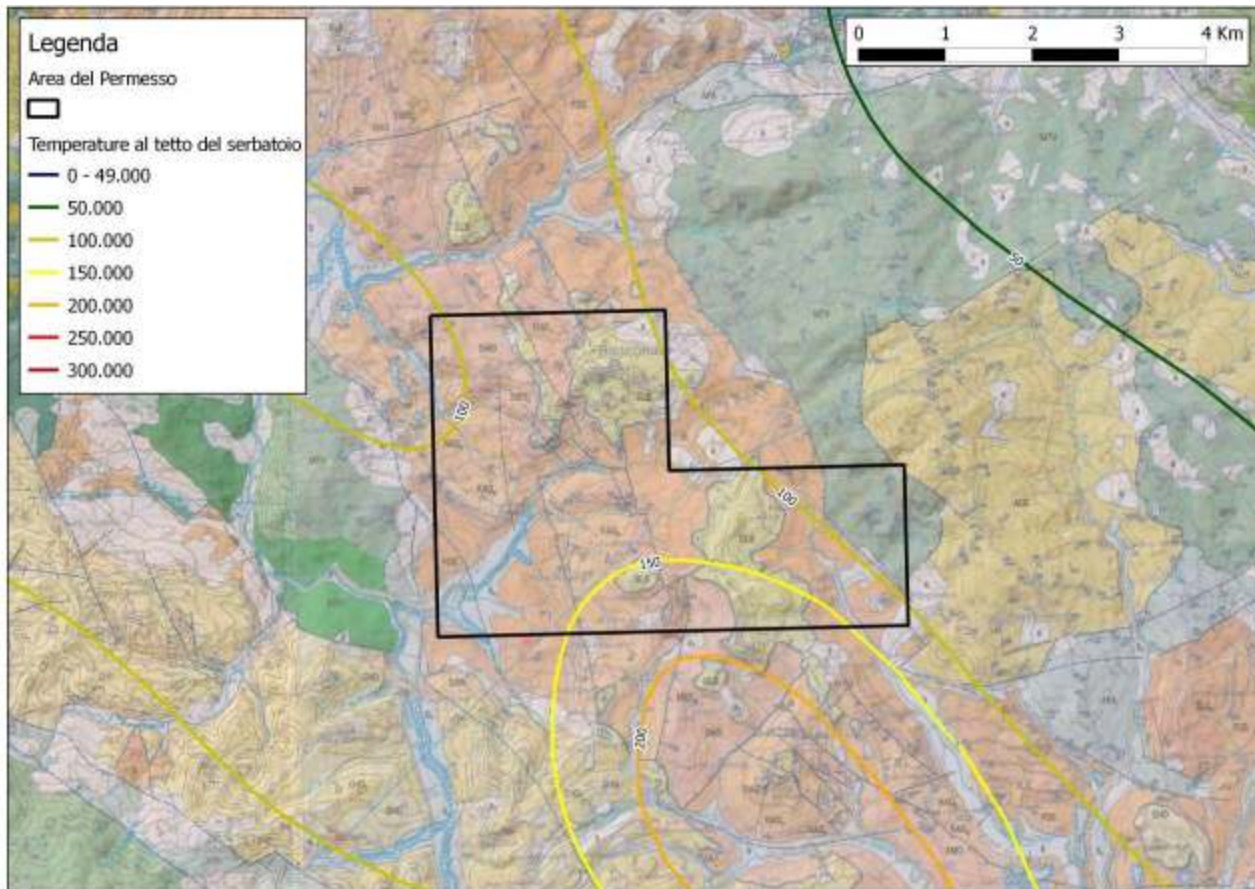


Carta del tetto del potenziale serbatoio (m s.l.m.) tratto da Atlante delle Risorse Geotermiche nella Comunità Europea



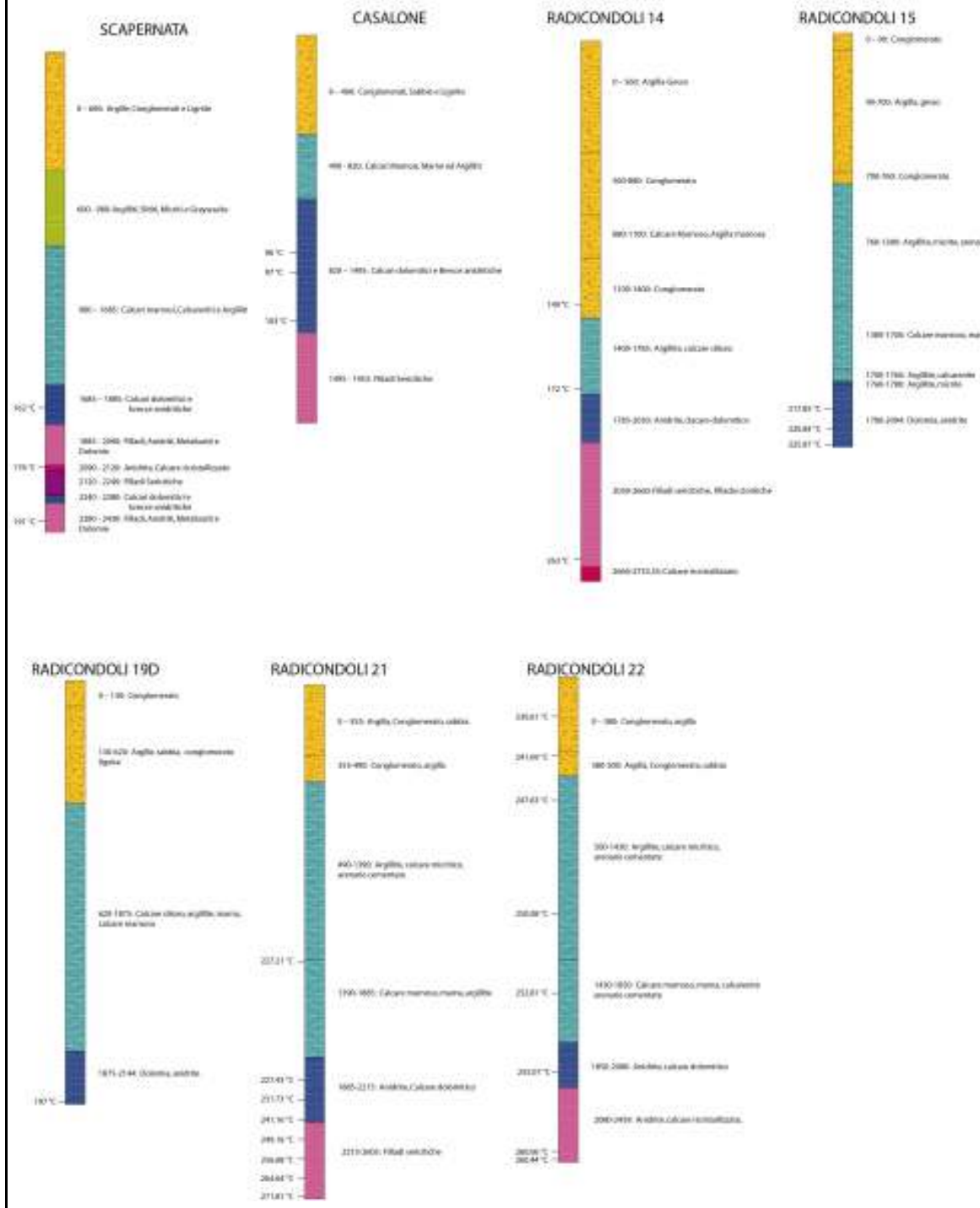


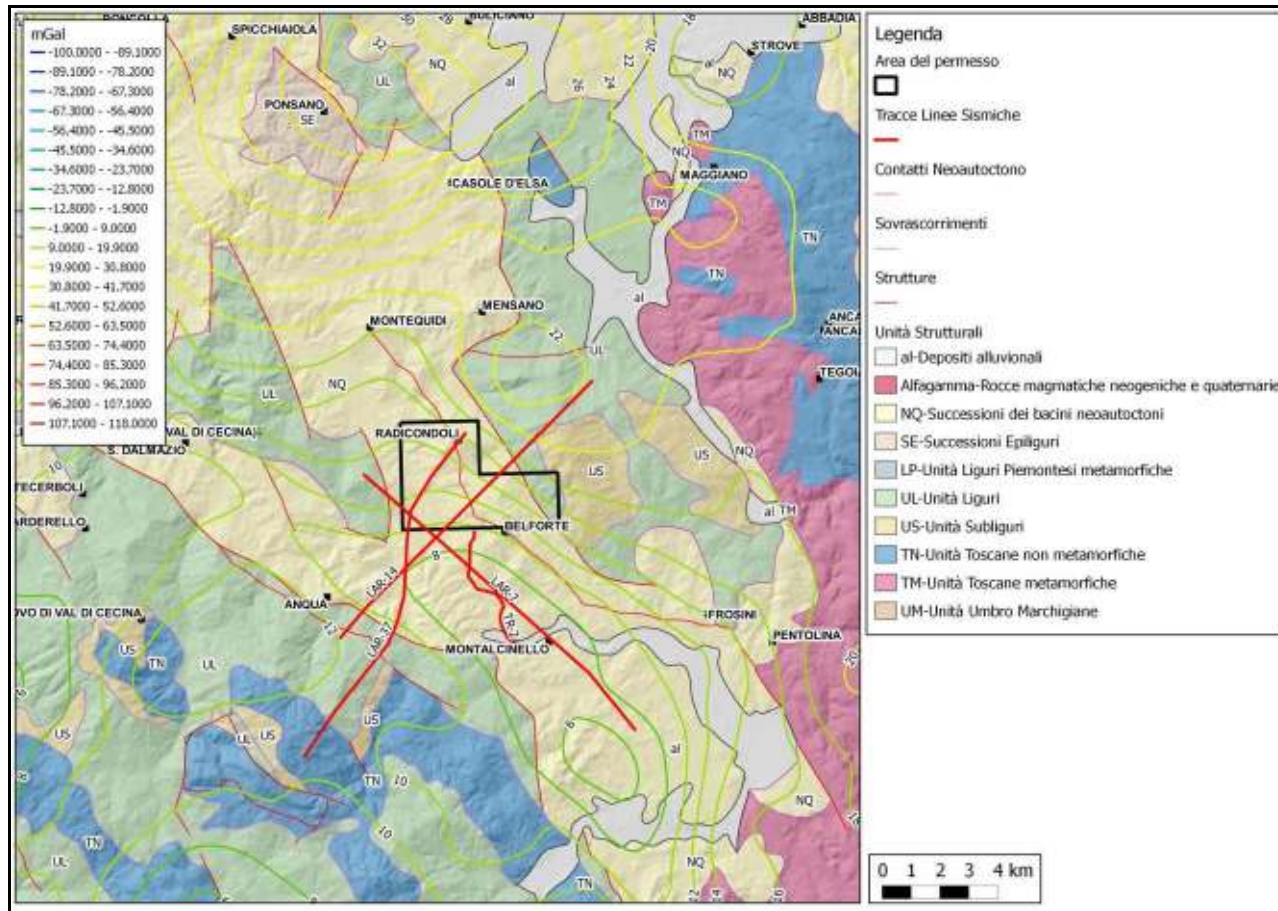
Carta del flusso di calore (mW/m<sup>2</sup>).

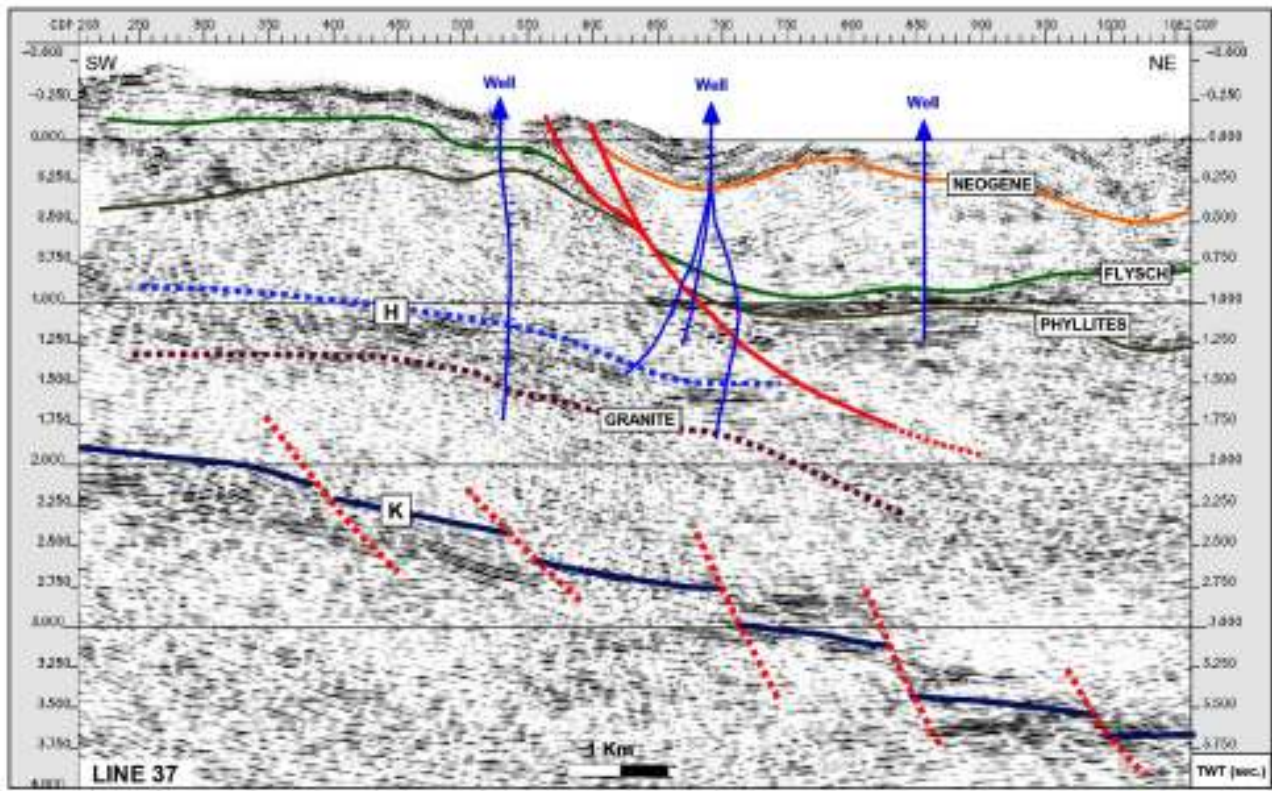


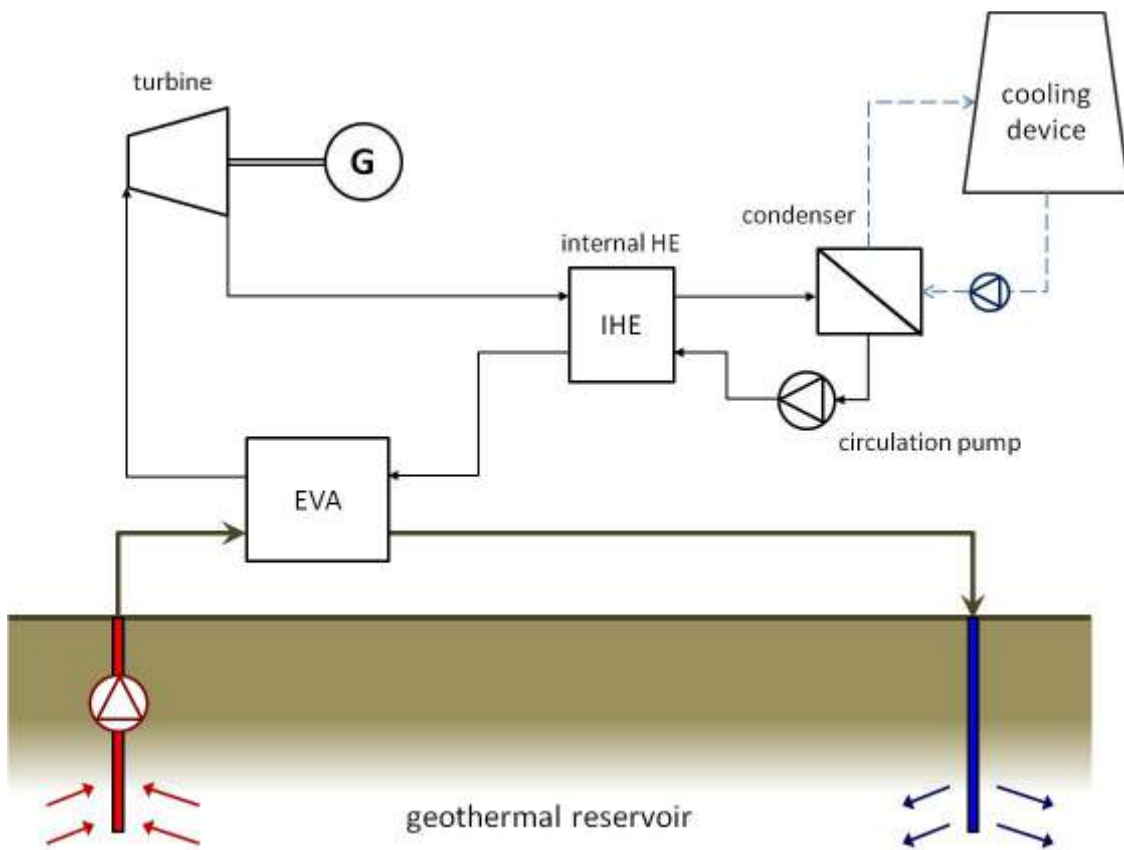
Carta delle temperature al tetto del potenziale serbatoio ( $^{\circ}\text{C}$ ) (dati tratti da: Inventario delle risorse geotermiche nazionali, ENEL-ENI-AGIP-CNR-ENEA, Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, 1987).

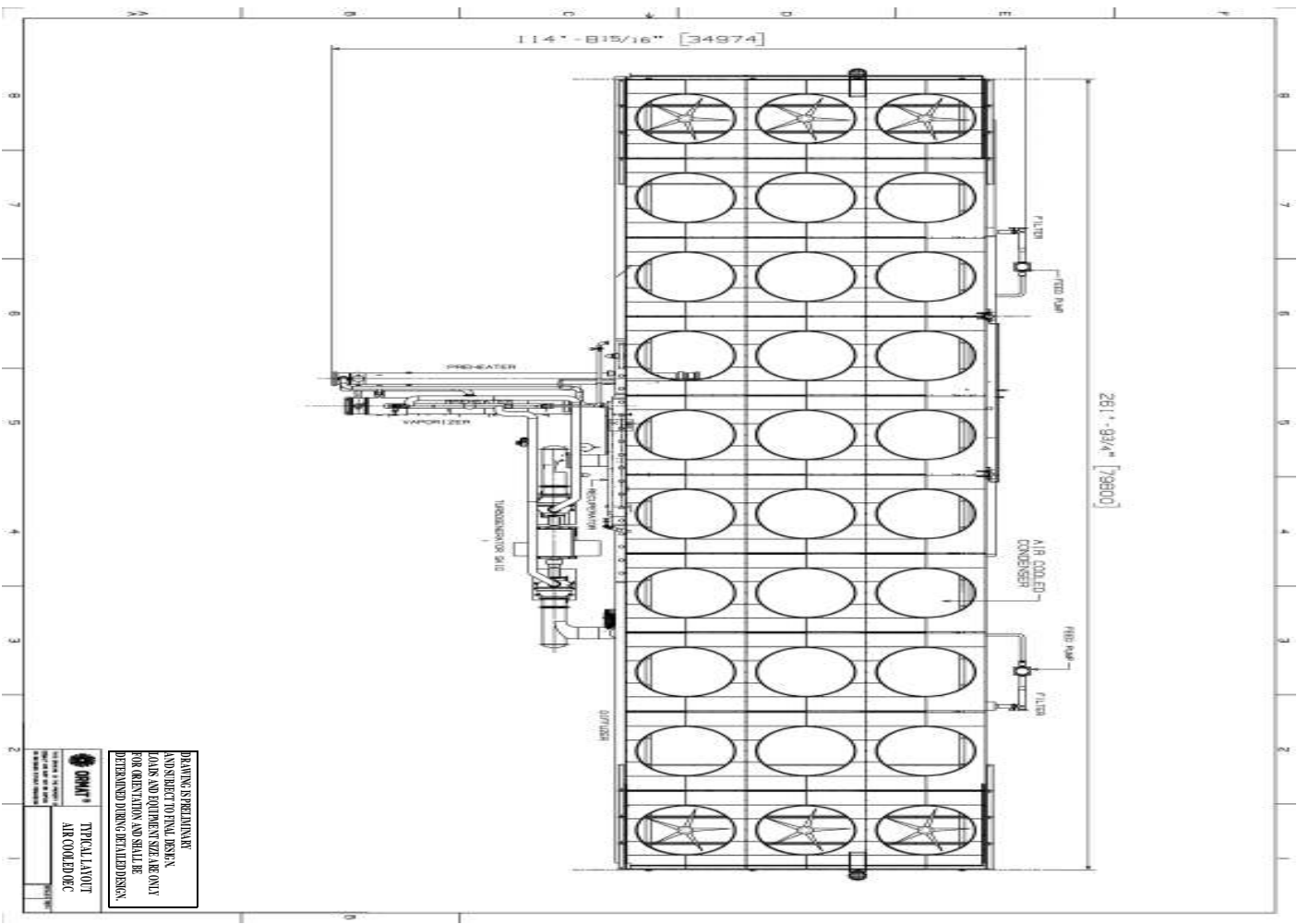












DRAWING IS PRELIMINARY  
 AND SUBJECT TO FINAL DESIGN.  
 TOWER AND EQUIPMENT SIZE ARE ONLY  
 FOR REFERENCE AND SHALL BE  
 DETERMINED DURING DETAIL DESIGN.

DMAT  
 TYPICAL LAYOUT  
 AIR COOLED DRY COOLING TOWER

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF DMAT. IT IS TO BE USED ONLY FOR THE PROJECT AND SITE SPECIFICALLY IDENTIFIED HEREON. IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF DMAT.









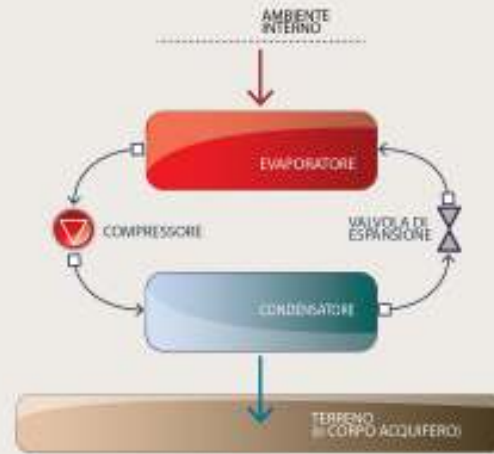




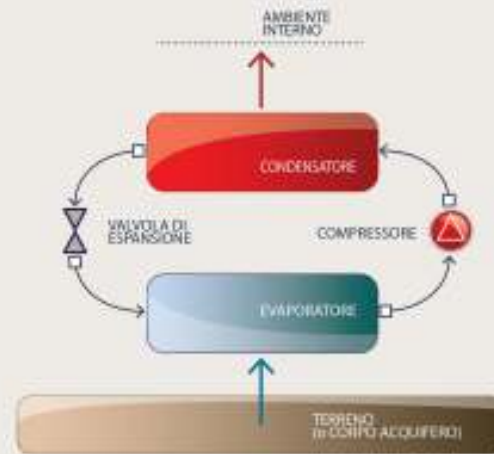




**FUNZIONAMENTO ESTIVO**

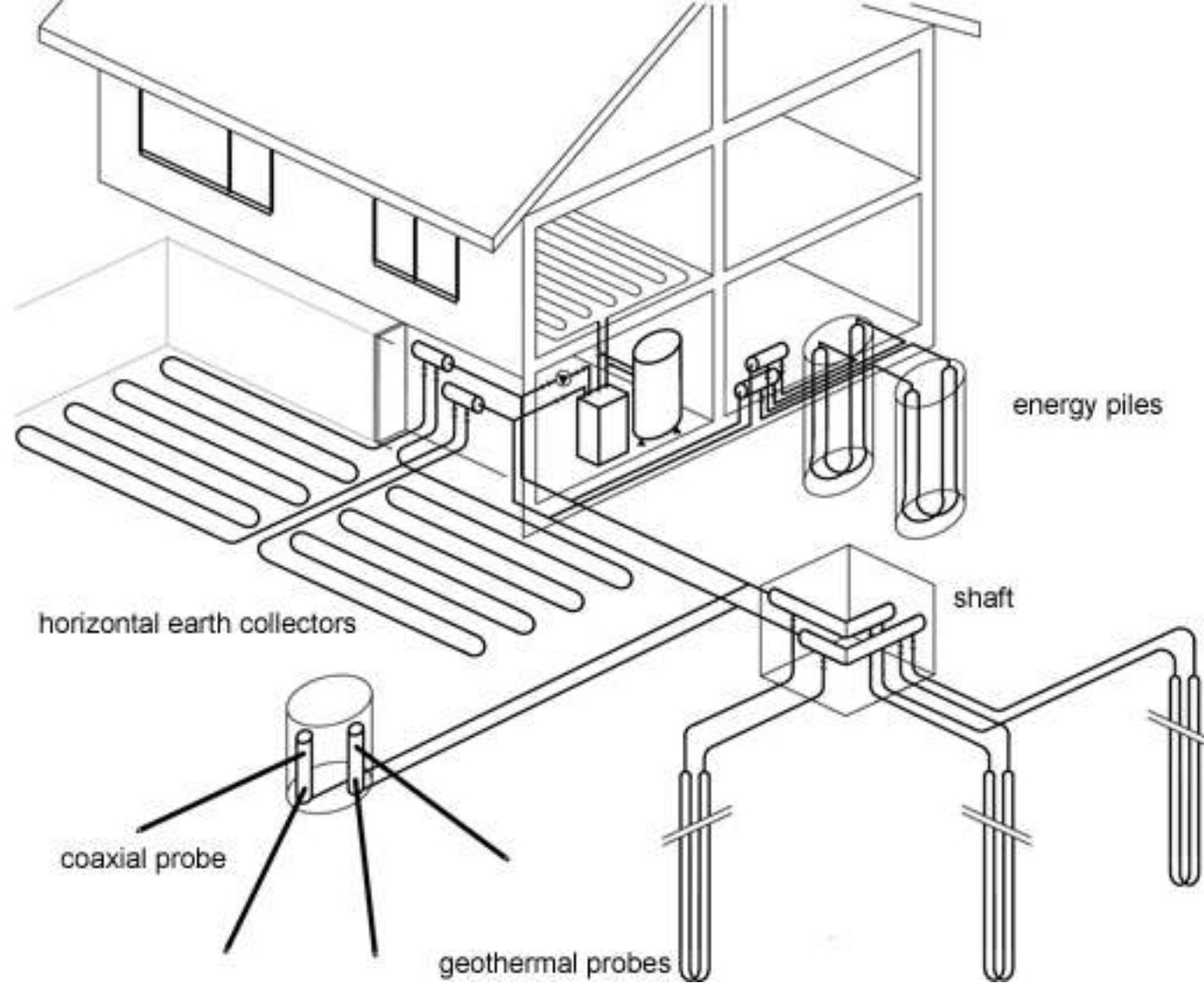


**FUNZIONAMENTO INVERNALE**



## GSHP a circuito aperto





GSHP a circuito chiuso