

Milano, 28 Maggio 2015,

Incontro RSE e ITW LKW Geotermia Italia S.p.A.



# Simulazione numerica del campo geotermico di Castel Giorgio - Torre Alfina

Francesca Colucci & Roberto Guandalini, Giordano Agate, Fabio Moia  
Dipartimento Sviluppo Sostenibile e Fonti Energetiche

Risultati delle attività svolte nell'ambito dell'Accordo di programma 2012-2014 con il Ministero dello Sviluppo Economico per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale

Piano Annuale di realizzazione 2014



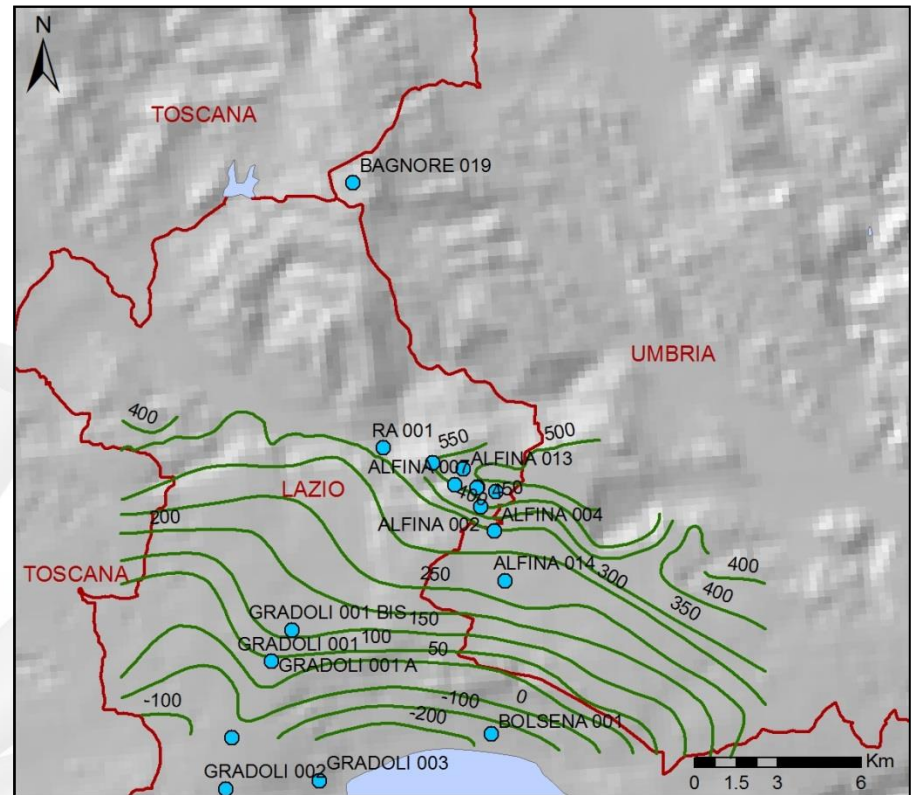
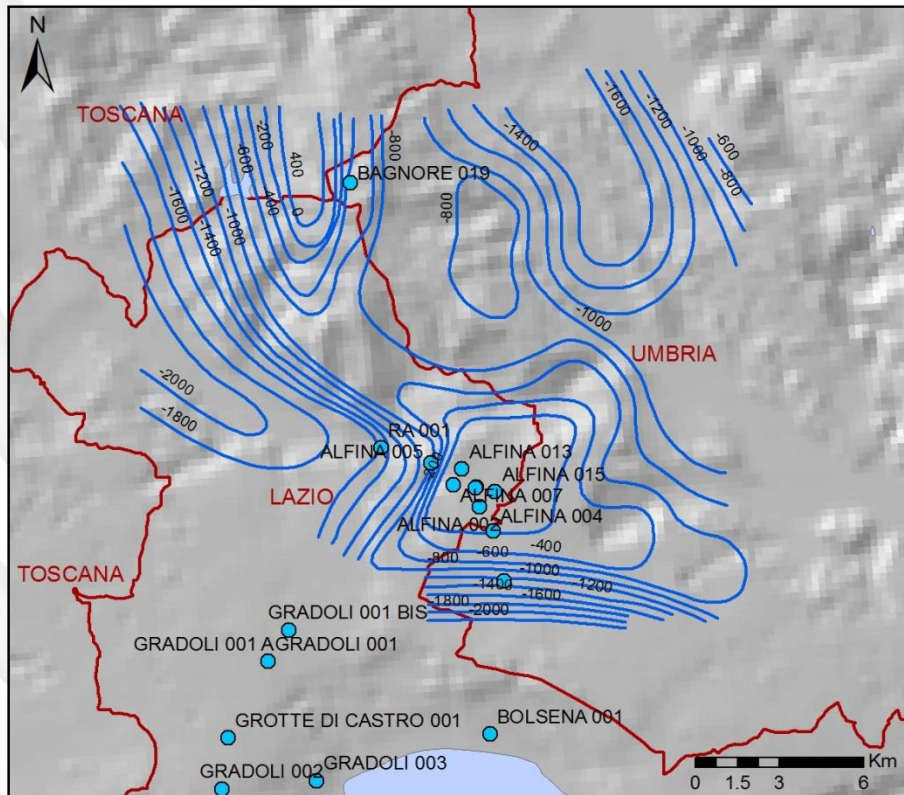
# Agenda

---

- Dati geologici di partenza
- Modello geologico statico 3D
- Simulazioni numeriche fluidodinamiche
  - Riproduzione dello stato naturale
  - Simulazione del processo di produzione

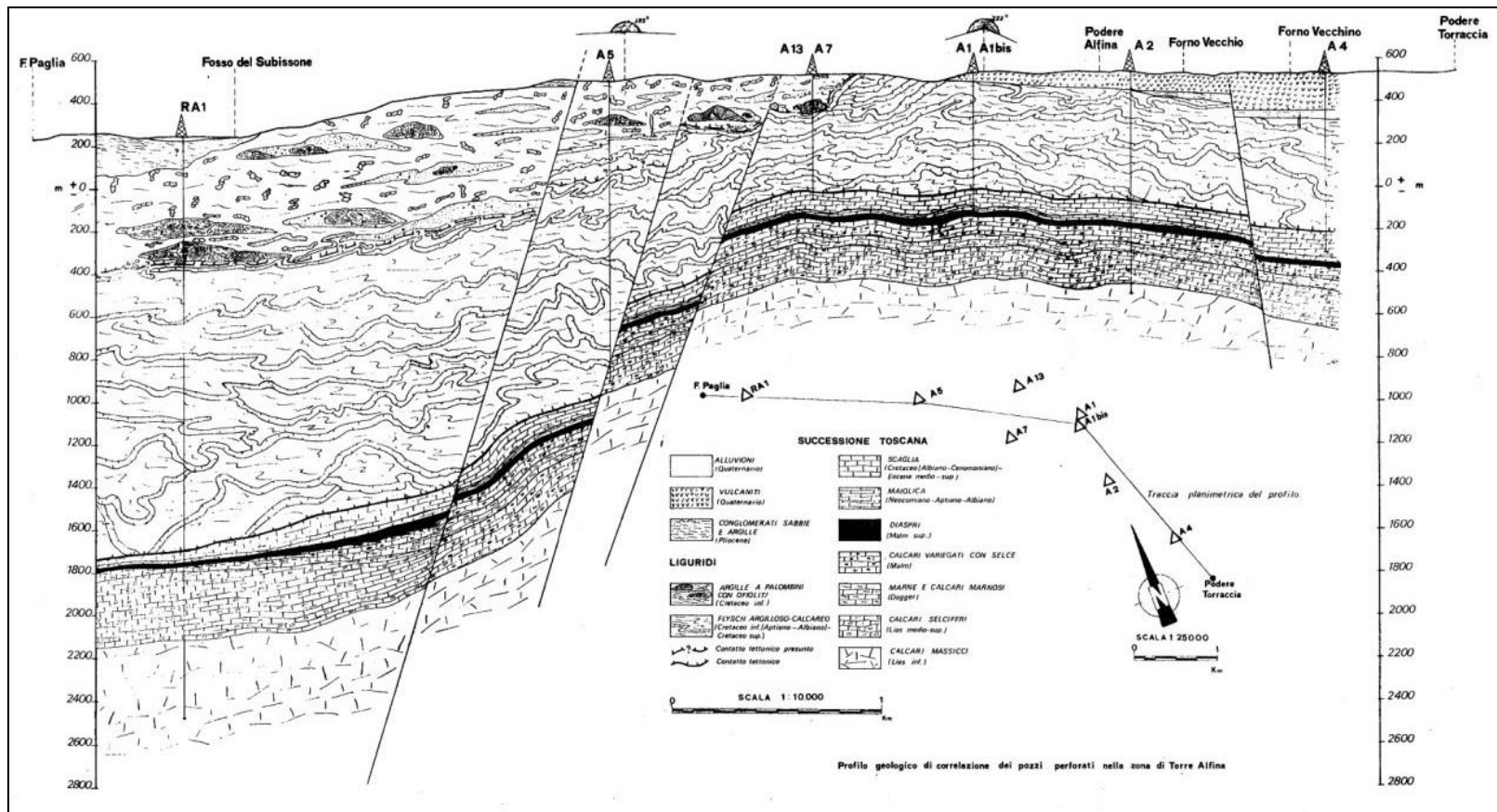
# Dati di partenza

- Mappe delle curve di livello



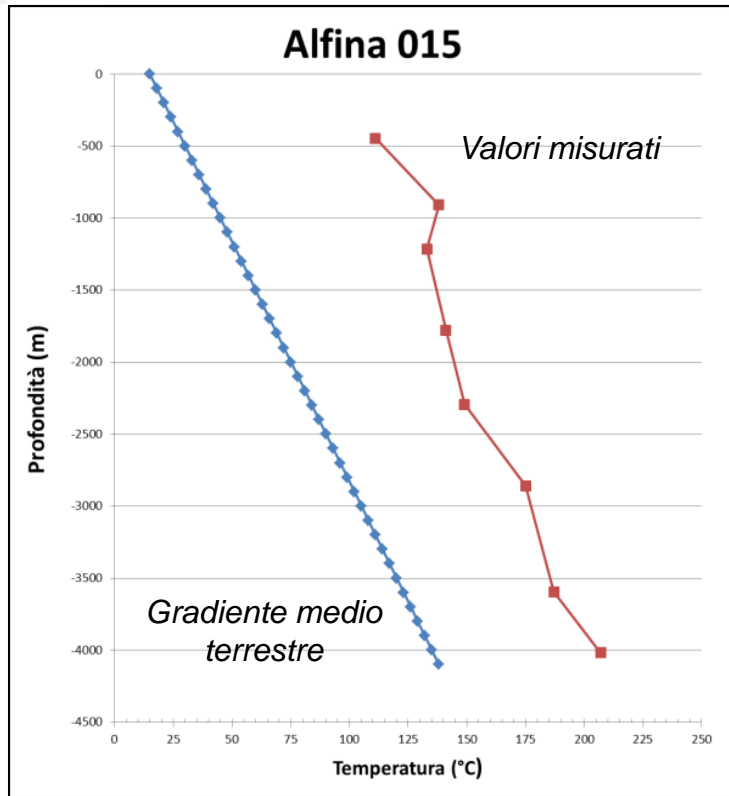
# Dati di partenza

- Mappe delle curve di livello
- Sezioni geologiche



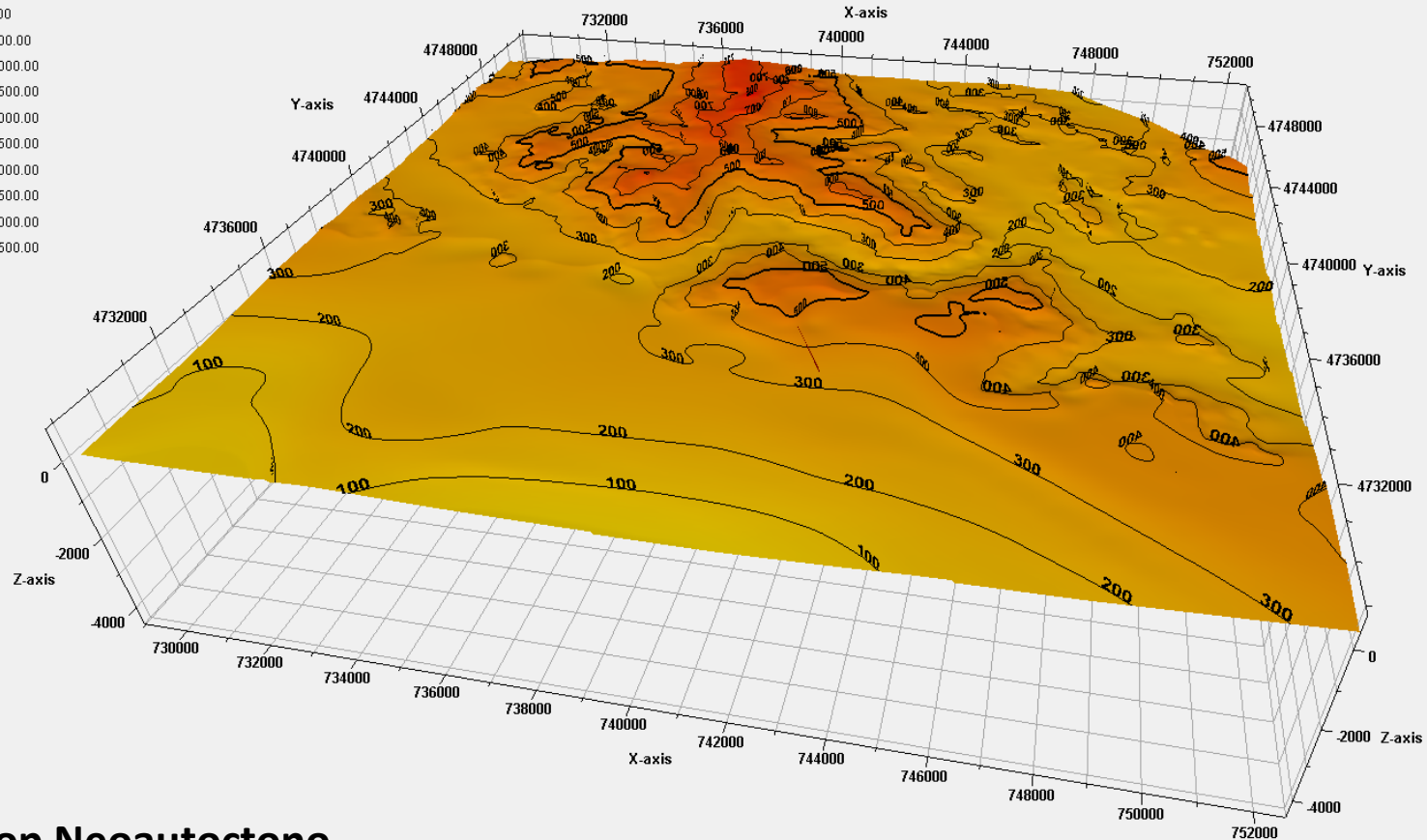
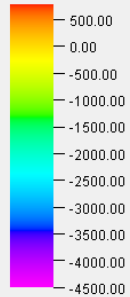
# Dati di partenza

- Mappe delle curve di livello
- Sezioni geologiche
- Dati di pozzo



# Modello geologico statico 3D

Elevation depth [m]

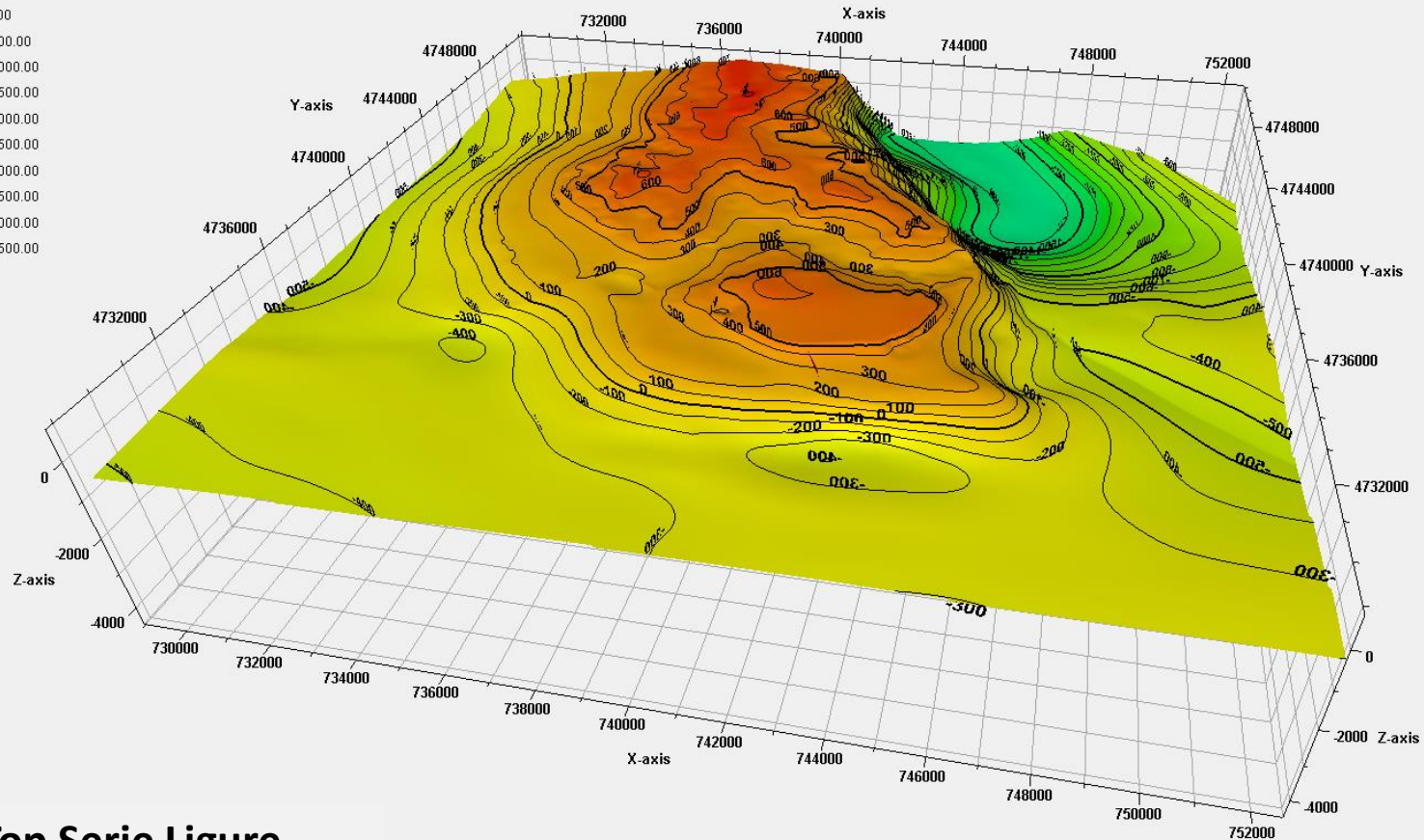
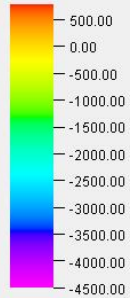


**Top Neoautoctono**



# Modello geologico statico 3D

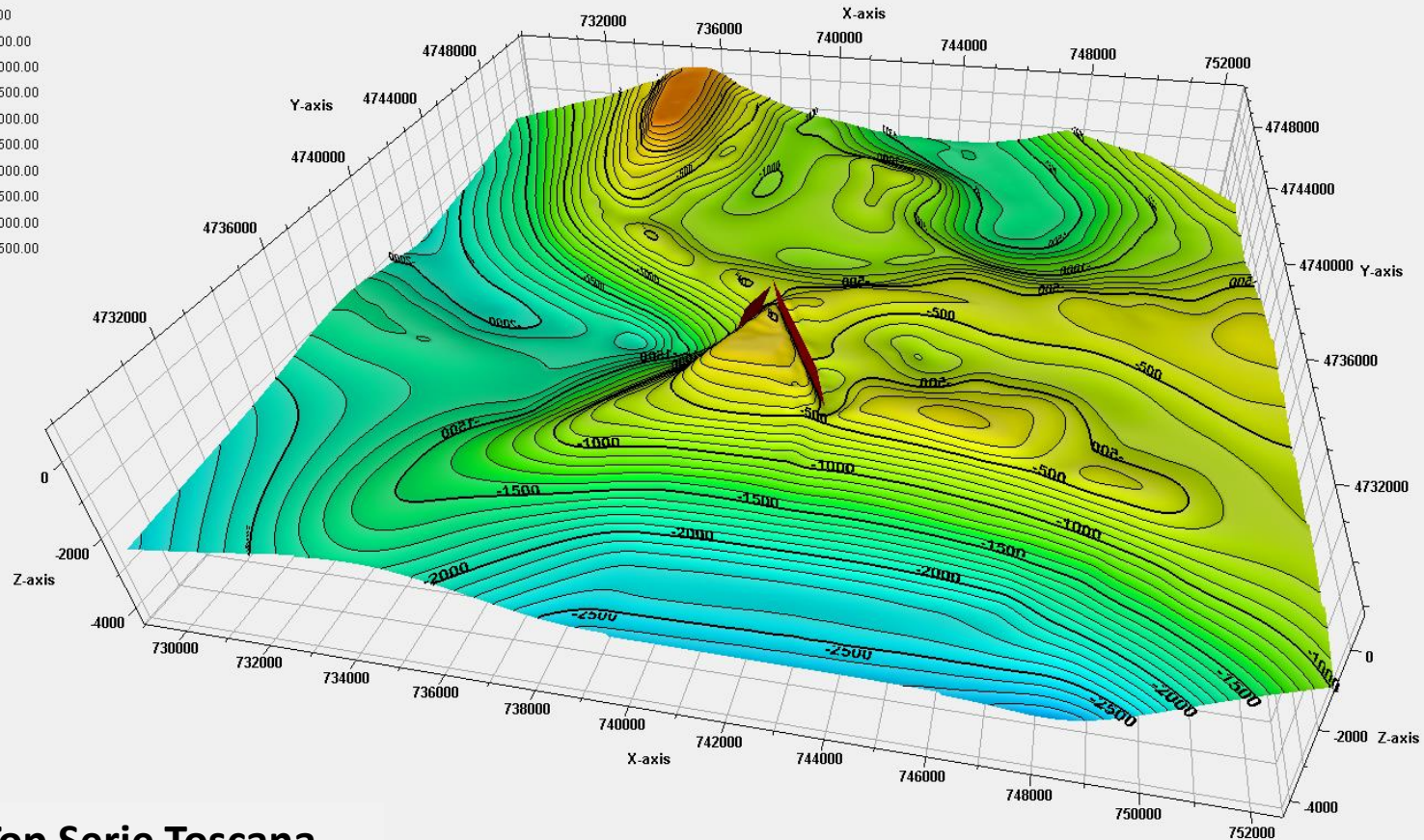
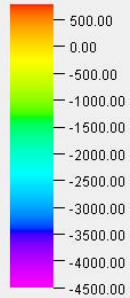
Elevation depth [m]



Top Serie Figure

# Modello geologico statico 3D

Elevation depth [m]

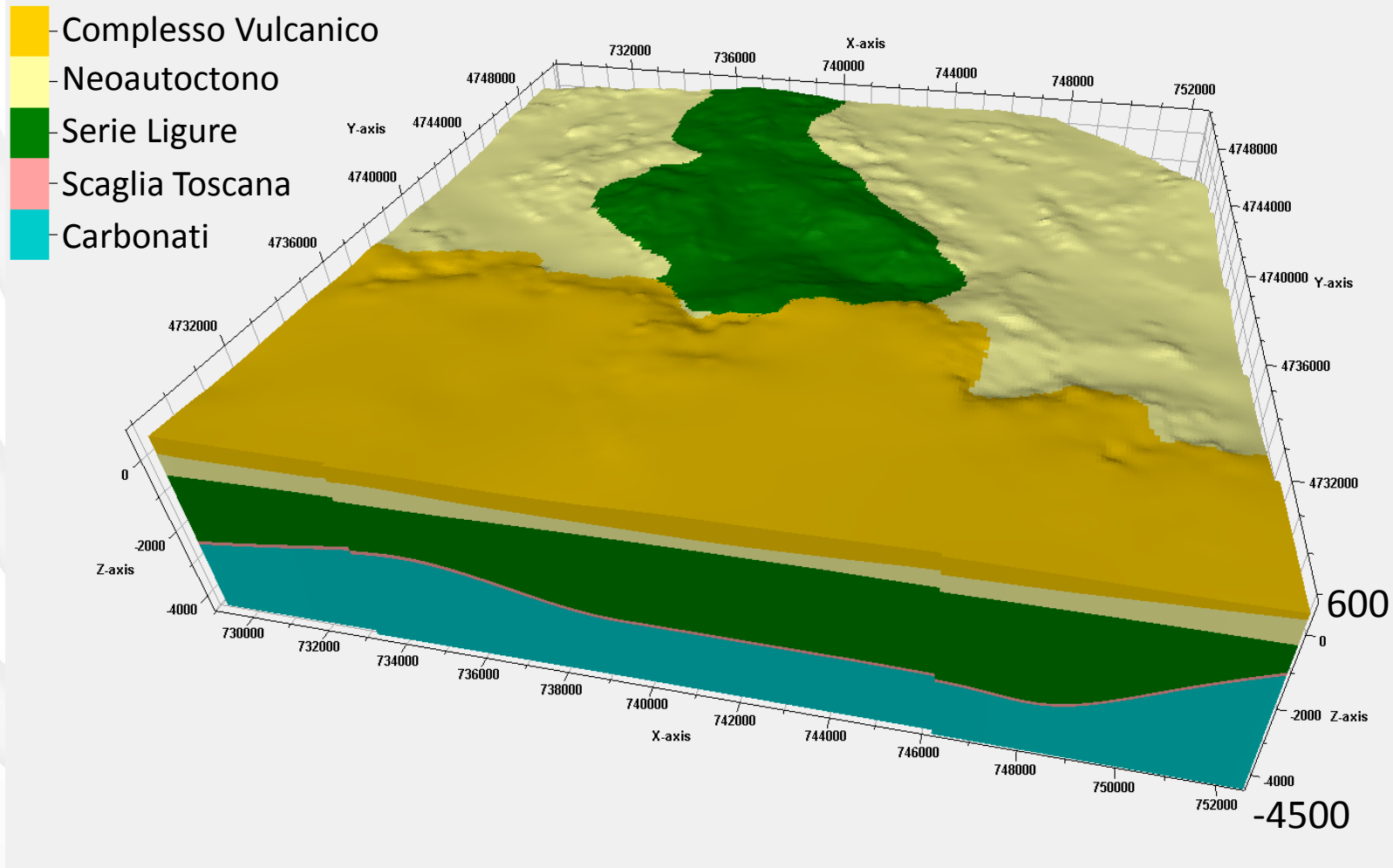


Top Serie Toscana





# Modello geologico statico 3D



# Simulazione numerica fluidodinamica

## **Sistema Integrato di Analisi GeoModellistica - GeoSIAM**

### **Il modulo di stato *EosExEos2***

- è adatto per simulazioni numeriche geotermiche di serbatoi con presenza di vapore
- è in grado di simulare la presenza di CO<sub>2</sub> anche in elevate concentrazioni

### **Simulazione numerica fluidodinamica :**

1. Generazione del modello di simulazione 3D
2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico
  - a) Inizializzazione con gradiente di pressione e di temperatura pari a quello medio terrestre
  - b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico
3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 1. Generazione del modello di simulazione 3D

Elementi: 23700  
Nodi: 48236  
Colonne: 790  
Connessioni: 91250  
Strati: 30

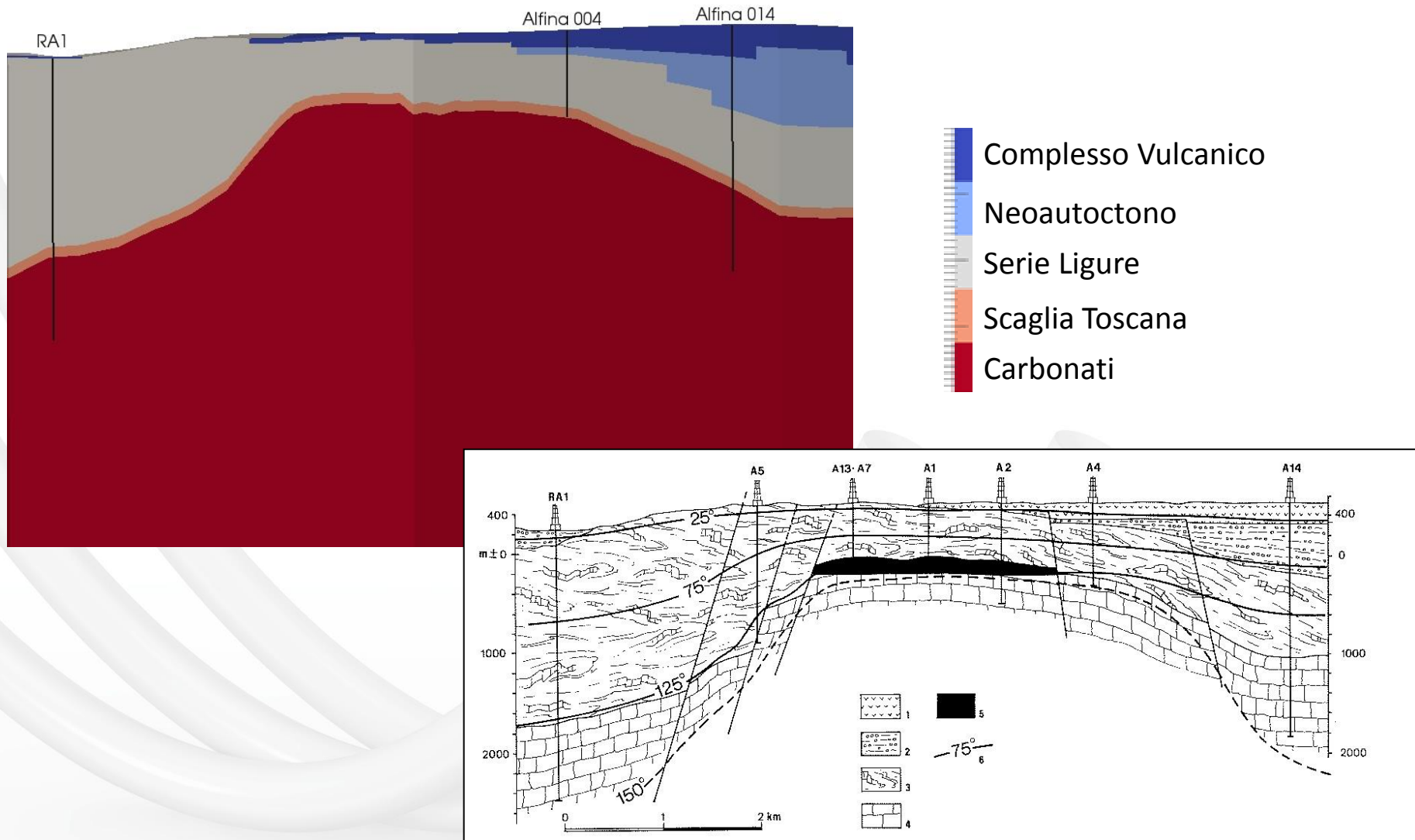
Modello Torre Alfina \* Modello geologico 3D



Formazioni geologiche	Densità	Porosità	Permeabilità	Comprimibilità	Cond. Termica	Calore specifico
(-)	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(Pa <sup>-1</sup> )	(W/m°C)	(J/kg°C)
Complesso vulcanico	2200	5	$6 \cdot 10^{-13}$	$3.7 \cdot 10^{-10}$	2	1000
Complesso Neoautoctono	2400	30	$1 \cdot 10^{-17}$	$1.5 \cdot 10^{-9}$	2.4	1000
Serie ligure	2400	0.55	$1 \cdot 10^{-18}$	$5 \cdot 10^{-9}$	2.4	883
Scaglia Toscana	2400	1	$1 \cdot 10^{-15}$	$1.2 \cdot 10^{-10}$	2.1	1000
Carbonati	2660	6	$1 \cdot 10^{-14}$	$2.5 \cdot 10^{-10}$	2.4	836

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 1. Generazione del modello di simulazione 3D



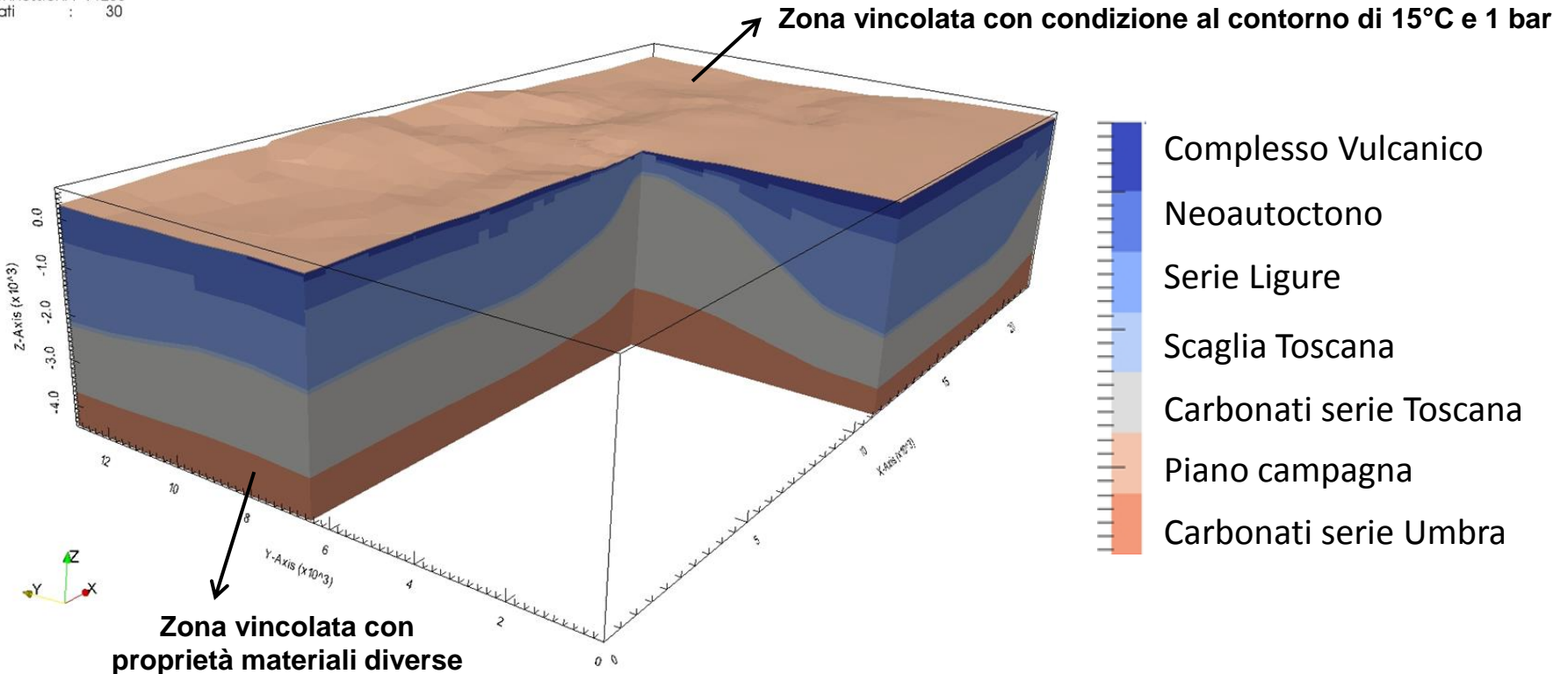
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

a) Inizializzazione con gradiente di pressione e di temperatura pari a quello medio terrestre

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni : 91250  
Strati : 30

Modello Torre Alfina \* Case#1a \* Inizializzazione del gradiente geodetico



GeoSIAM 1.1 \* (c)2014-15 RSE SpA

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

a) Inizializzazione con gradiente di pressione e di temperatura pari a quello medio terrestre

Gradiente di temperatura: **3°C/100 m**

Gradiente di pressione: **1 bar/10m**



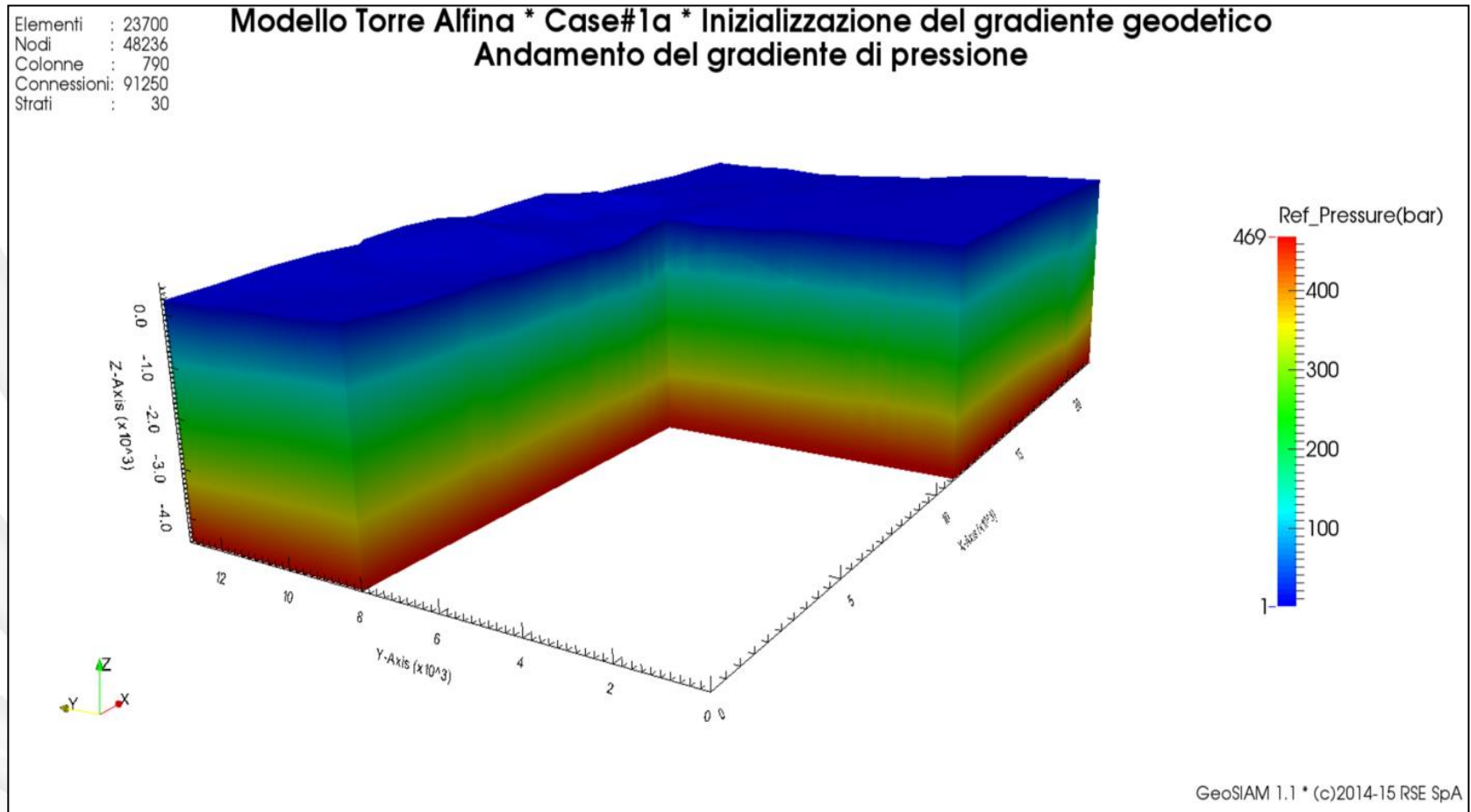
A tutti i materiali è stata attribuita permeabilità =  $1 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$  e comprimibilità =  $5.0 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$

ID	Formazioni geologiche	Densità	Porosità	Permeabilità	Comprimibilità	Cond. Termica	Calore specifico	PP CO <sub>2</sub>
(-)	(-)	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(Pa <sup>-1</sup> )	(W/m°C)	(J/kg°C)	(Pa)
mat01	Complesso vulcanico	2200	5	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-10}$	2	1000	0
mat02	Complesso Neoautoctono	2400	30	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-10}$	2.4	1000	0
mat03	Serie ligure	2400	0.55	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-10}$	2.4	883	0
mat04	Scaglia Toscana	2400	1	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-10}$	2.1	1000	0
mat05	Carbonati	2660	6	$1 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-10}$	2.4	836	0

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

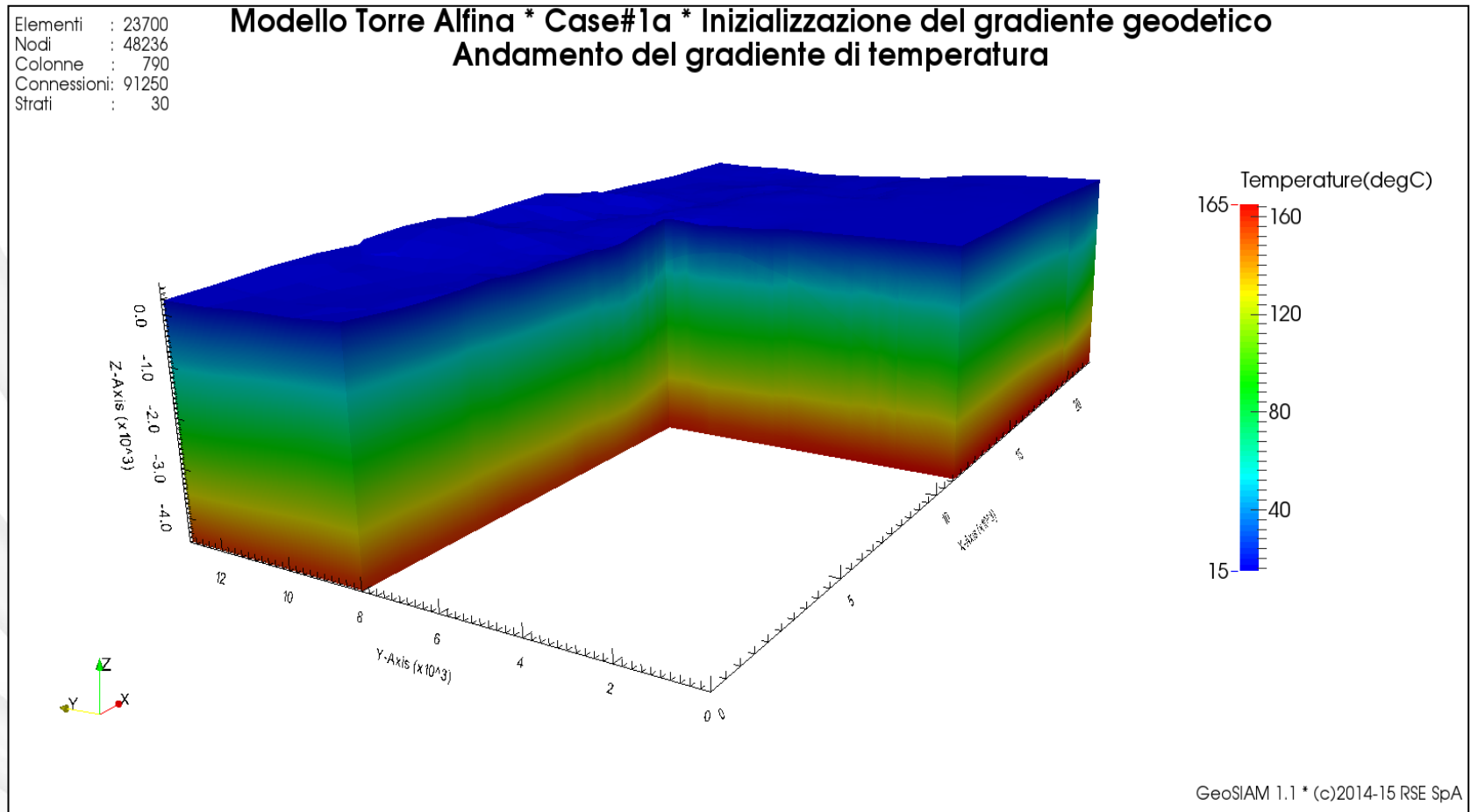
a) Inizializzazione con gradiente di pressione e di temperatura pari a quello medio terrestre



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

a) Inizializzazione con gradiente di pressione e di temperatura pari a quello medio terrestre

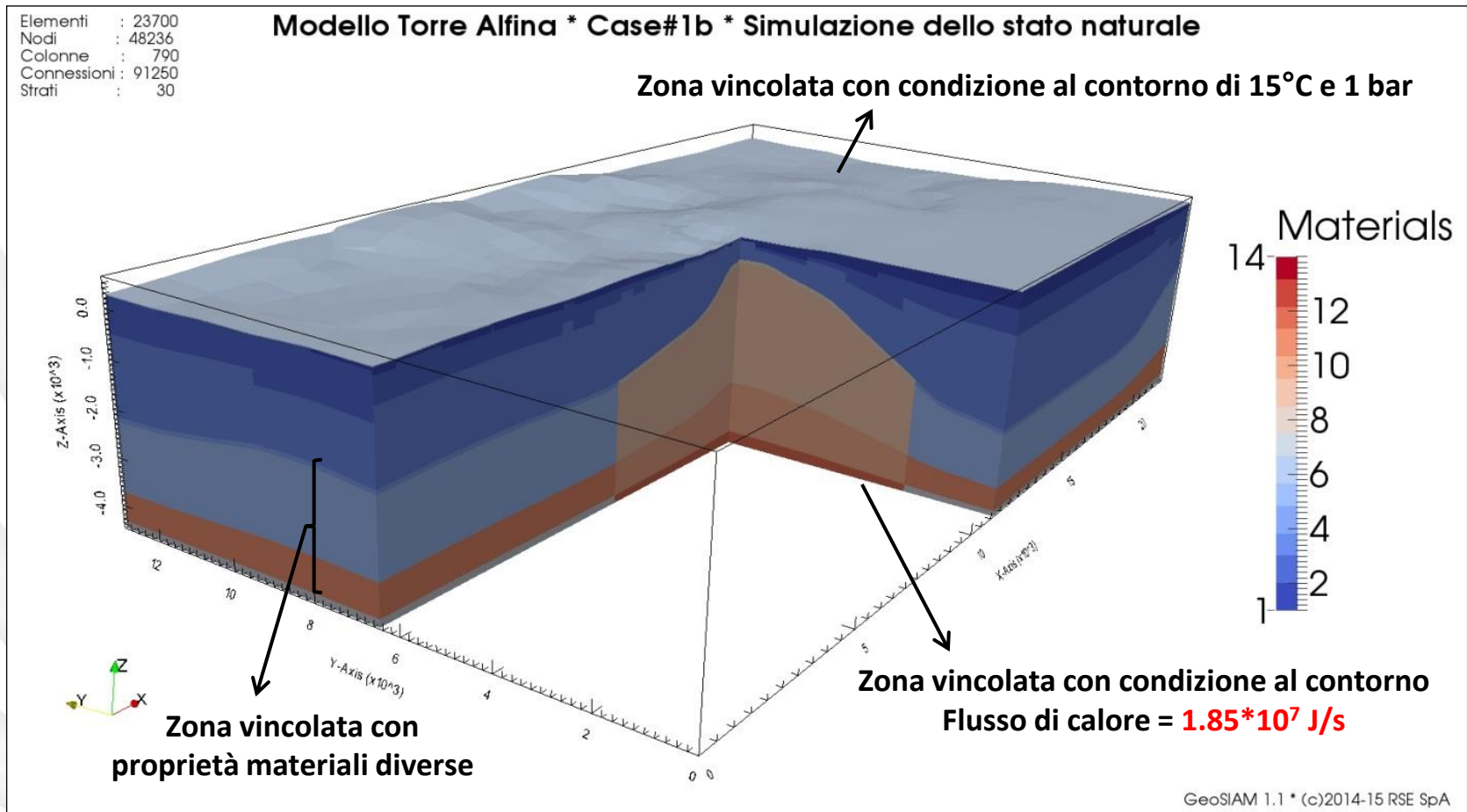




# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

### Proprietà materiali

ID	Formazioni geologiche	Densità	Porosità	Permeabilità	Comprimibilità	Cond. Termica	Calore specifico	PP CO <sub>2</sub>
(-)	(-)	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(Pa <sup>-1</sup> )	(W/m°C)	(J/kg°C)	(Pa)
mat01	Complesso vulcanico	2200	5	0	1	2	1000	0
mat02	Complesso Neoautoctono	2400	30	0	1	2.4	1000	0
mat03	Serie ligure	2400	0.55	0	1	2.4	883	0
mat04	Scaglia Toscana	2400	1	1.5*10 <sup>-17</sup>	1.2*10 <sup>-10</sup>	2.1	1000	2.5*10 <sup>+06</sup>
mat05	Carbonati	2660	6	1.5*10 <sup>-17</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	3.5*10 <sup>+06</sup>
f0102	Faglia 01 in Neoautoctono	2400	30	0	1	2.4	1000	0
f0103	Faglia 01 in Serie ligure	2400	0.55	0	1	2.4	883	0
f0104	Faglia 01 in Scaglia Toscana	2400	1	1*10 <sup>-15</sup>	1.2*10 <sup>-10</sup>	2.1	1000	0
f0105	Faglia 01 in Carbonati	2660	6	1*10 <sup>-14</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	0
f0201	Faglia 02	2660	1.5	0	1	2	1000	0

### Zona vincolata con condizione al contorno

ID	Formazioni geologiche	Densità	Porosità	Permeabilità	Comprimibilità	Cond. Termica	Calore specifico	PP CO <sub>2</sub>	Pressione	Temperatura
(-)	(-)	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(Pa <sup>-1</sup> )	(W/m°C)	(J/kg°C)	(Pa)	(Pa)	(°C)
vin02	Piano campagna	2200	5	0	1	2	1000	0	1*10 <sup>+4</sup>	15
vin01	Ultimo layer (esterno)	2660	6	1.5*10 <sup>-17</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	4.9678*10 <sup>+06</sup>	output Case#1a	output Case#1a

### Zona vincolata con proprietà materiali diverse

ID	Formazioni geologiche	Densità	Porosità	Permeabilità	Comprimibilità	Cond. Termica	Calore specifico	PP CO <sub>2</sub>
(-)	(-)	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> )	(Pa <sup>-1</sup> )	(W/m°C)	(J/kg°C)	(Pa)
vin03	Carbonati Serie Umbra esterni	2660	6	1.5*10 <sup>-17</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	4*10 <sup>+06</sup>
vin04	Serbatoio in Scaglia Toscana	2400	1	1*10 <sup>-15</sup>	1.2*10 <sup>-10</sup>	2.1	1000	2.5*10 <sup>+06</sup>
vin05	Serbatoio in Carbonati	2660	6	1*10 <sup>-14</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	3.5*10 <sup>+06</sup>
vin06	Serbatoio in Carb. Serie Umbra	2660	6	1.98*10 <sup>-15</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	4*10 <sup>+06</sup>
vin07	Ultimo layer (piastra riscaldante)	2660	6	1*10 <sup>-17</sup>	2.5*10 <sup>-10</sup>	2.4	836	4.9678*10 <sup>+06</sup>

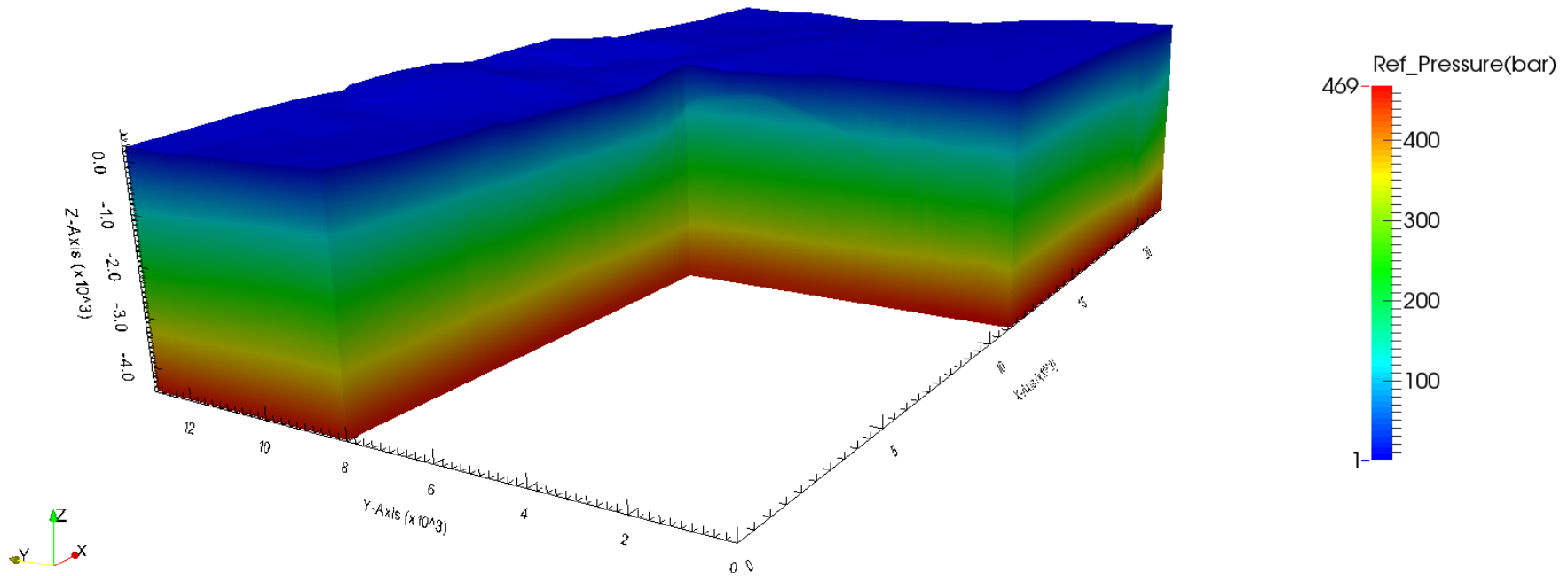
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30

**Modello Torre Alfina \* Case#1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di pressione**



Time: 1000000.00

GeoSIAM 1.1 \* (c)2014-15 RSE SpA

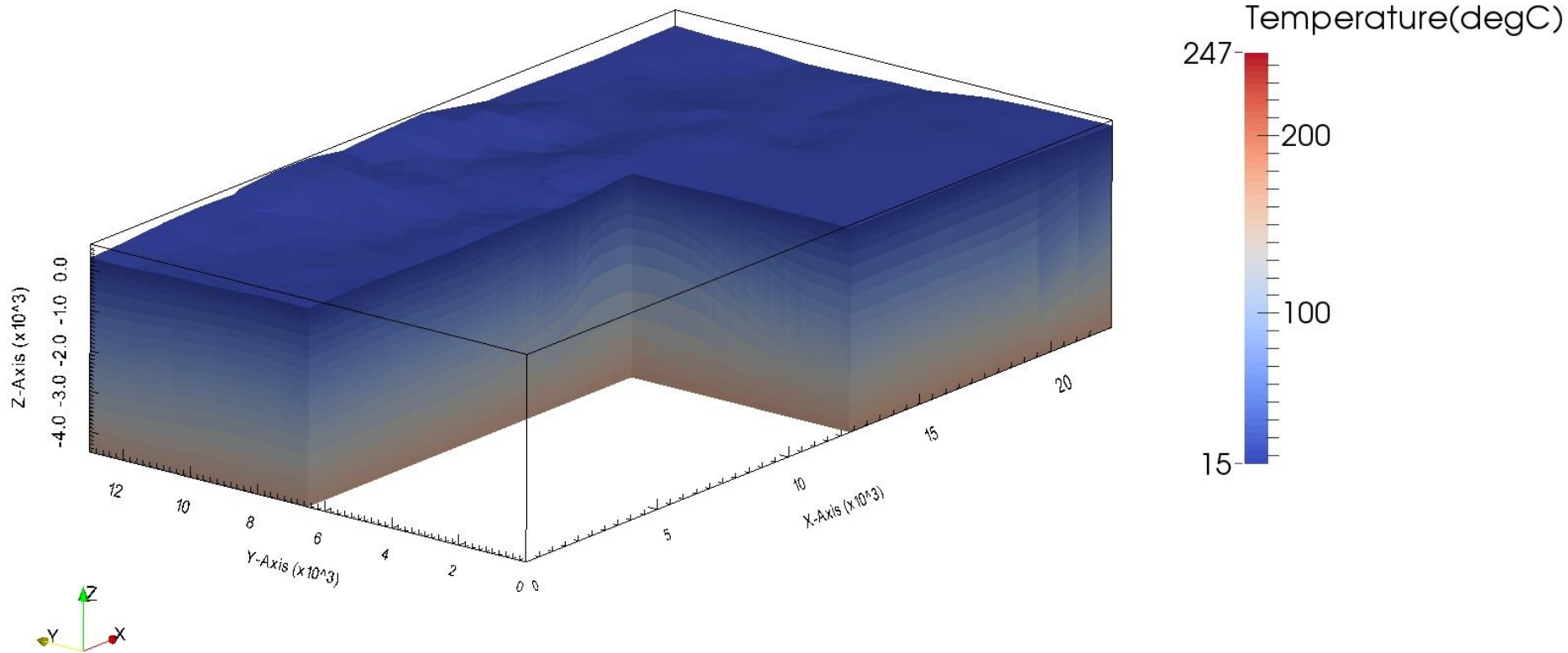
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale**  
**Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 0.00

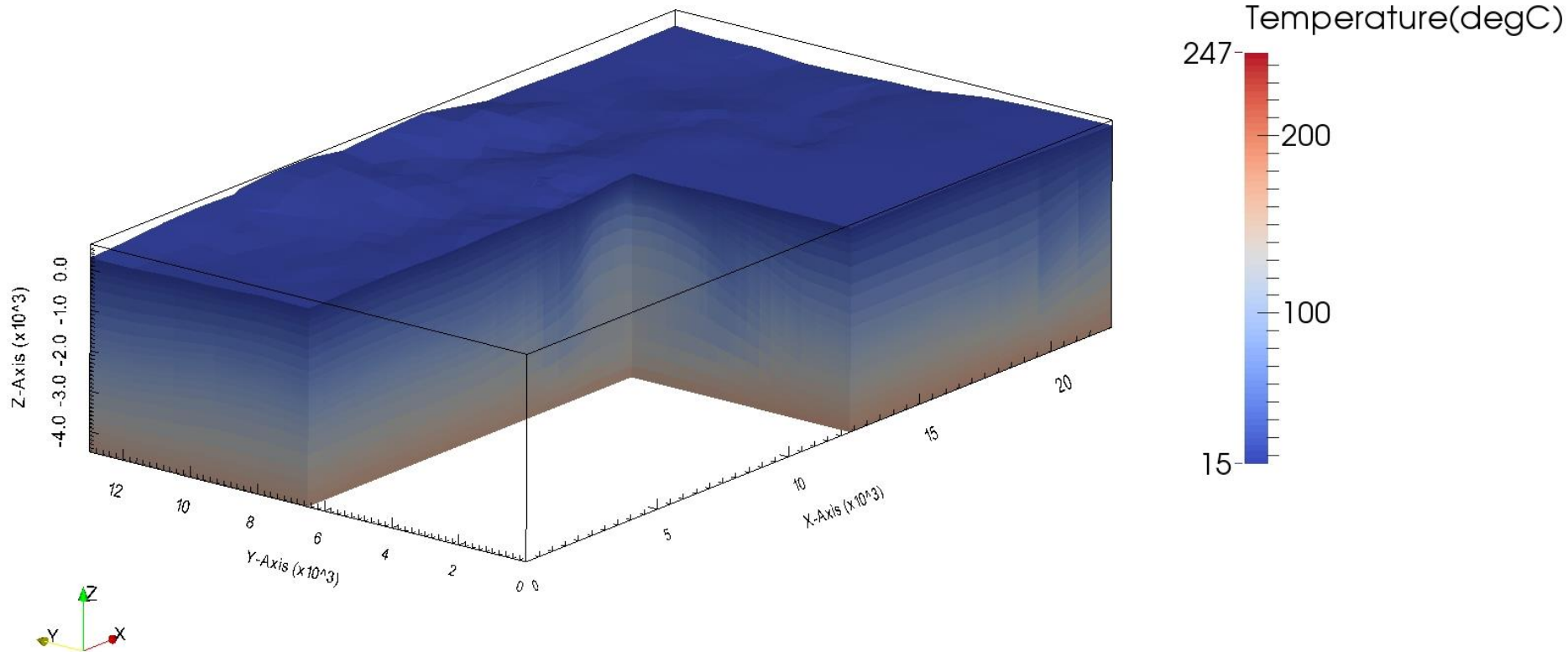
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 5000.00

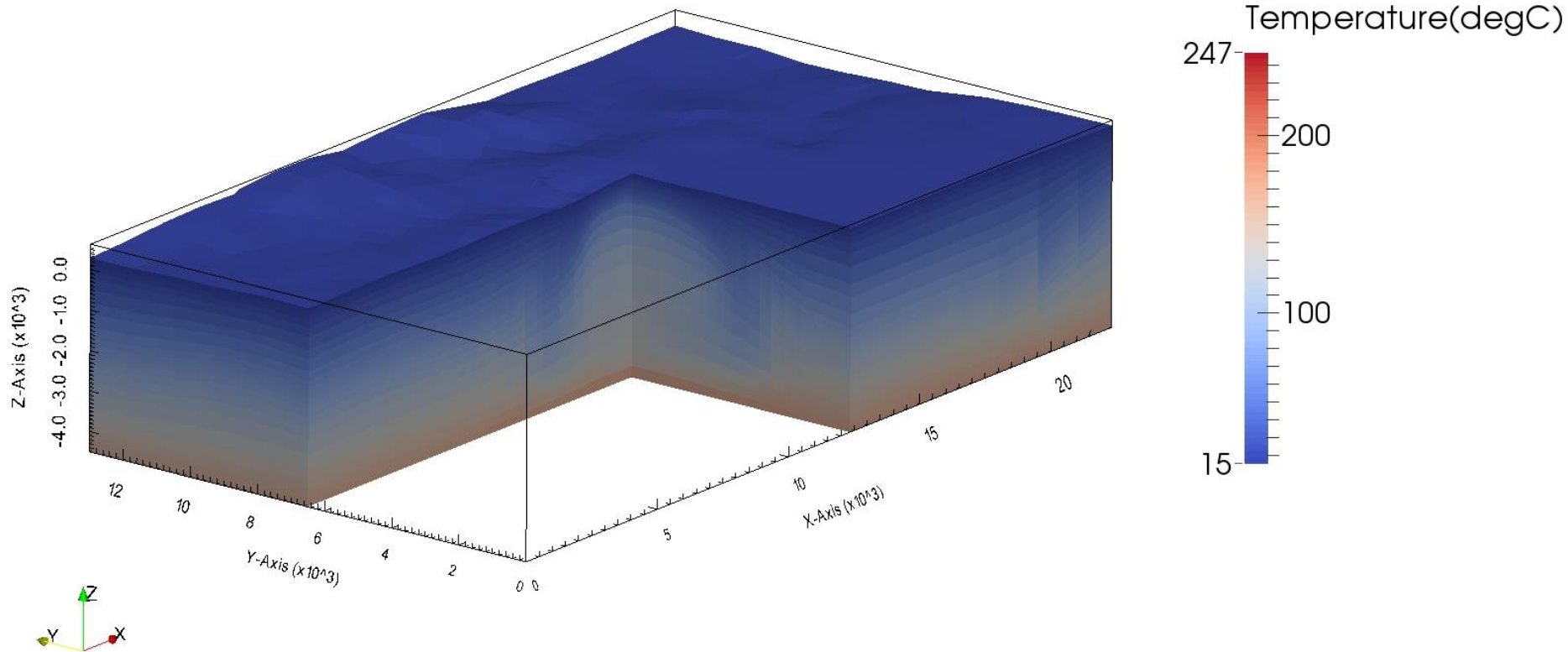
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 10000.00

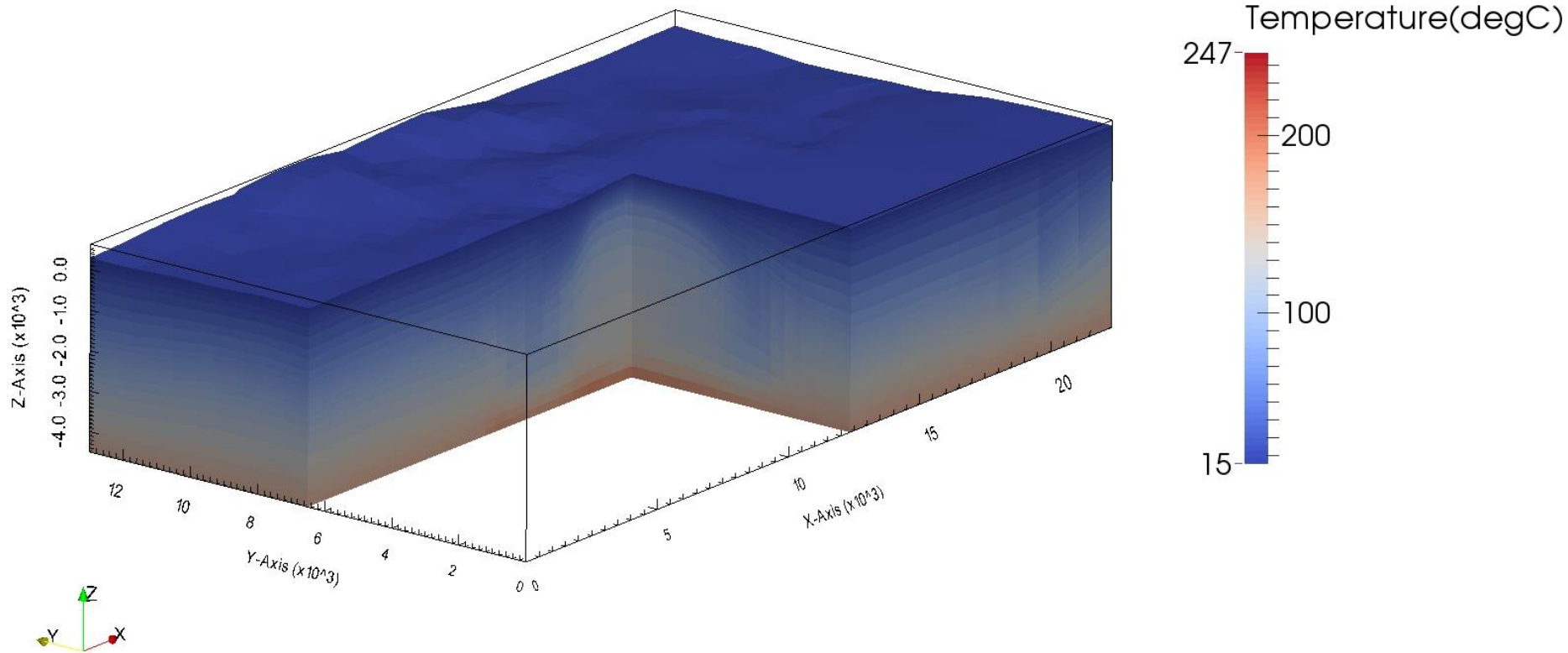
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale**  
**Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 20000.00

GeoSIAM 1.1 \* (c)2014-15 RSE SpA

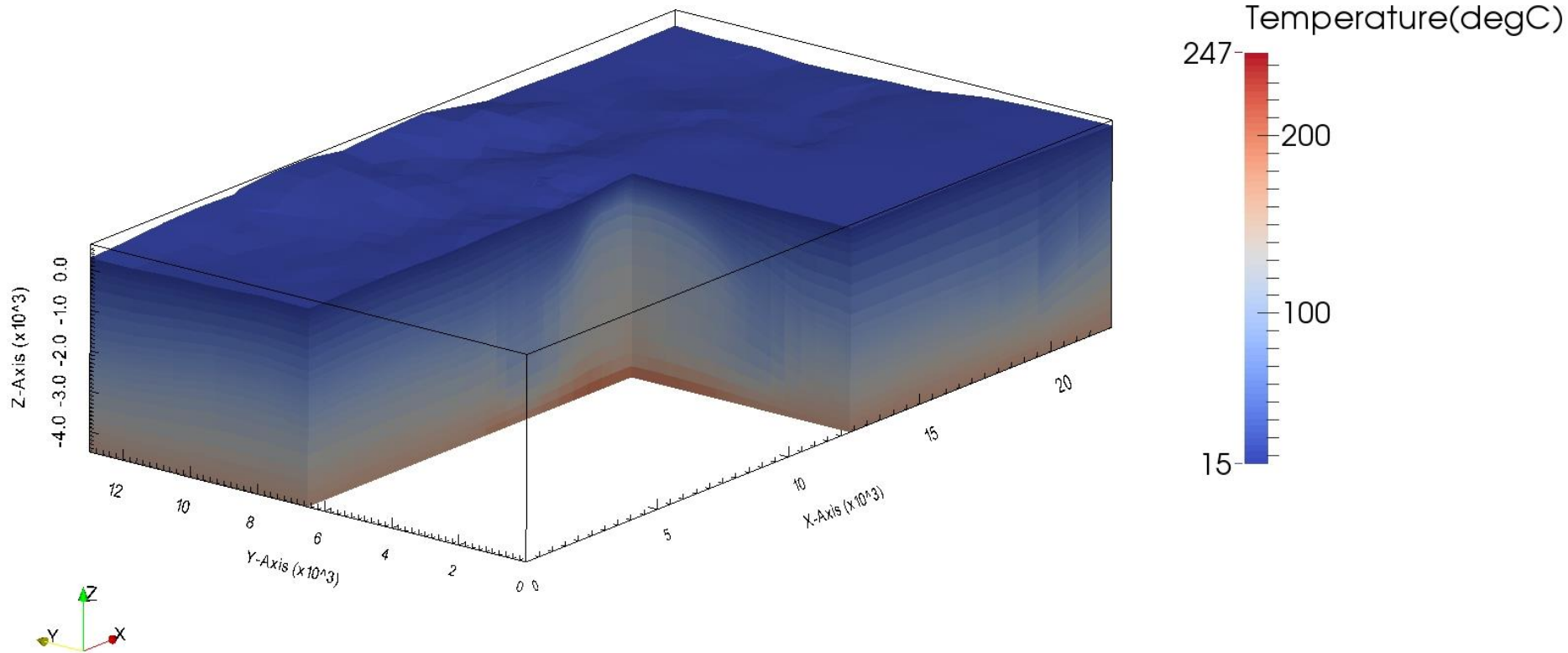
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale**  
**Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 30000.00



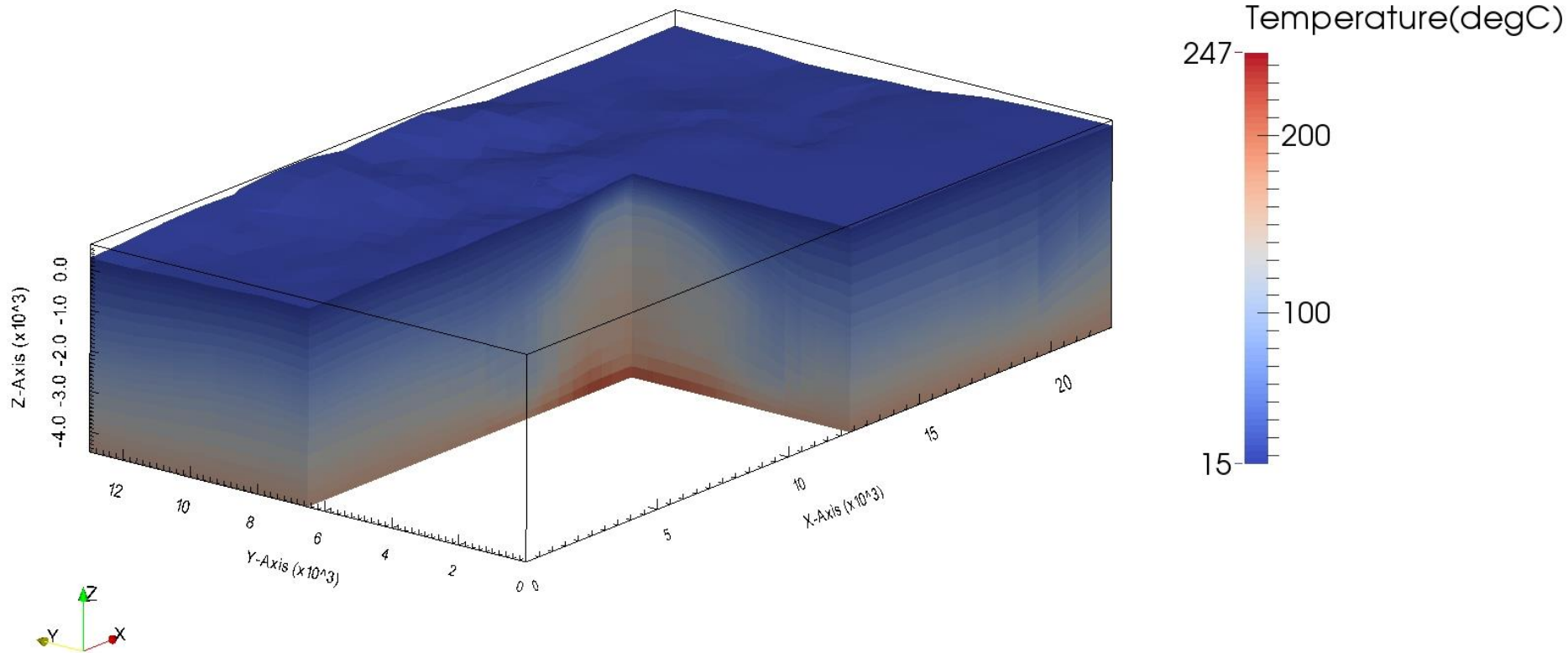
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale**  
**Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 50000.00

GeoSIAM 1.1 \* (c)2014-15 RSE SpA

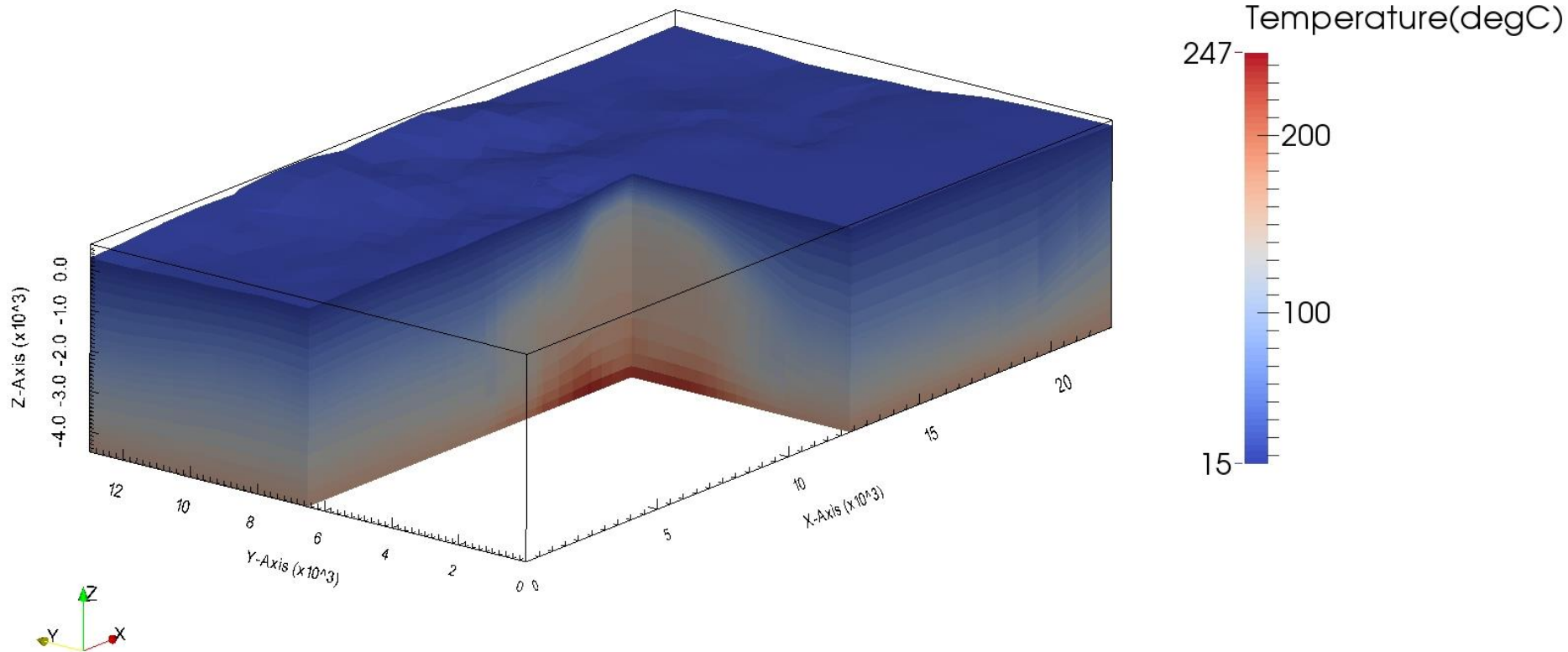
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale**  
**Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 100000.00

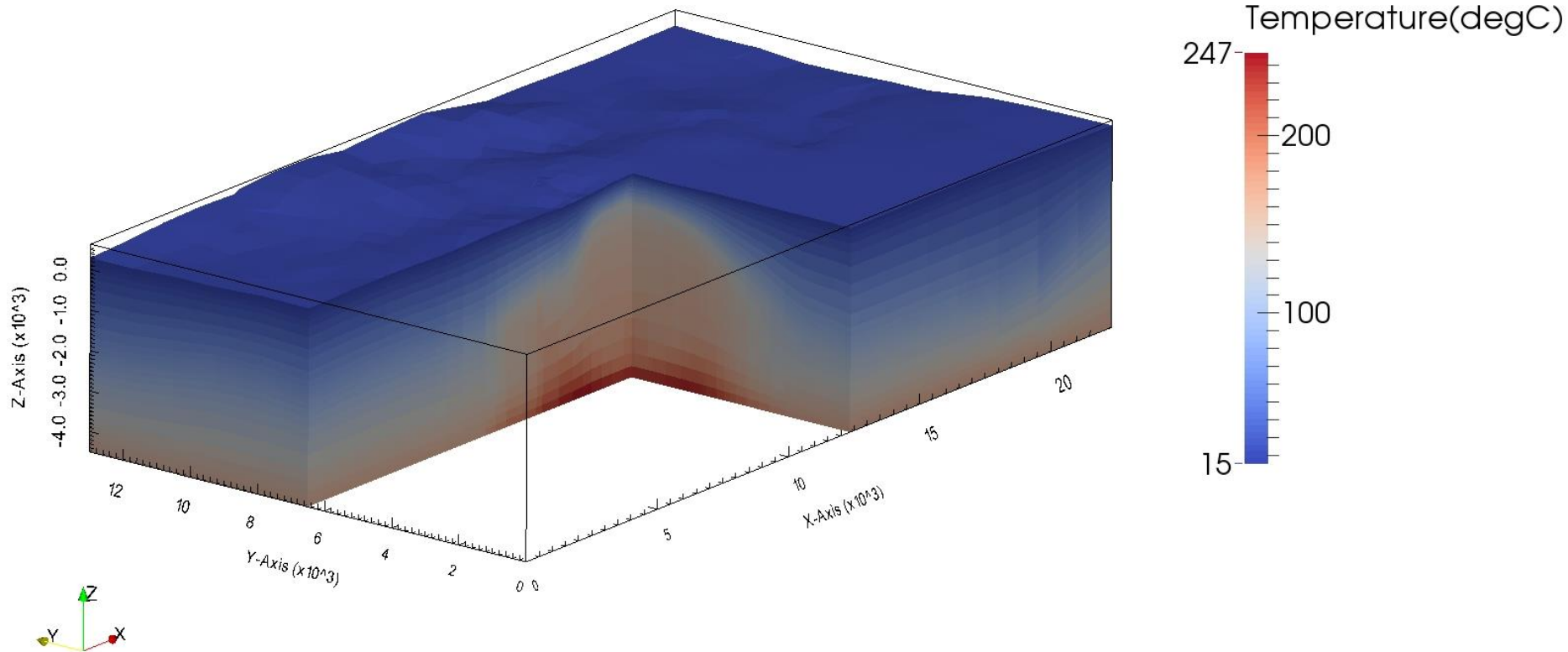
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 200000.00

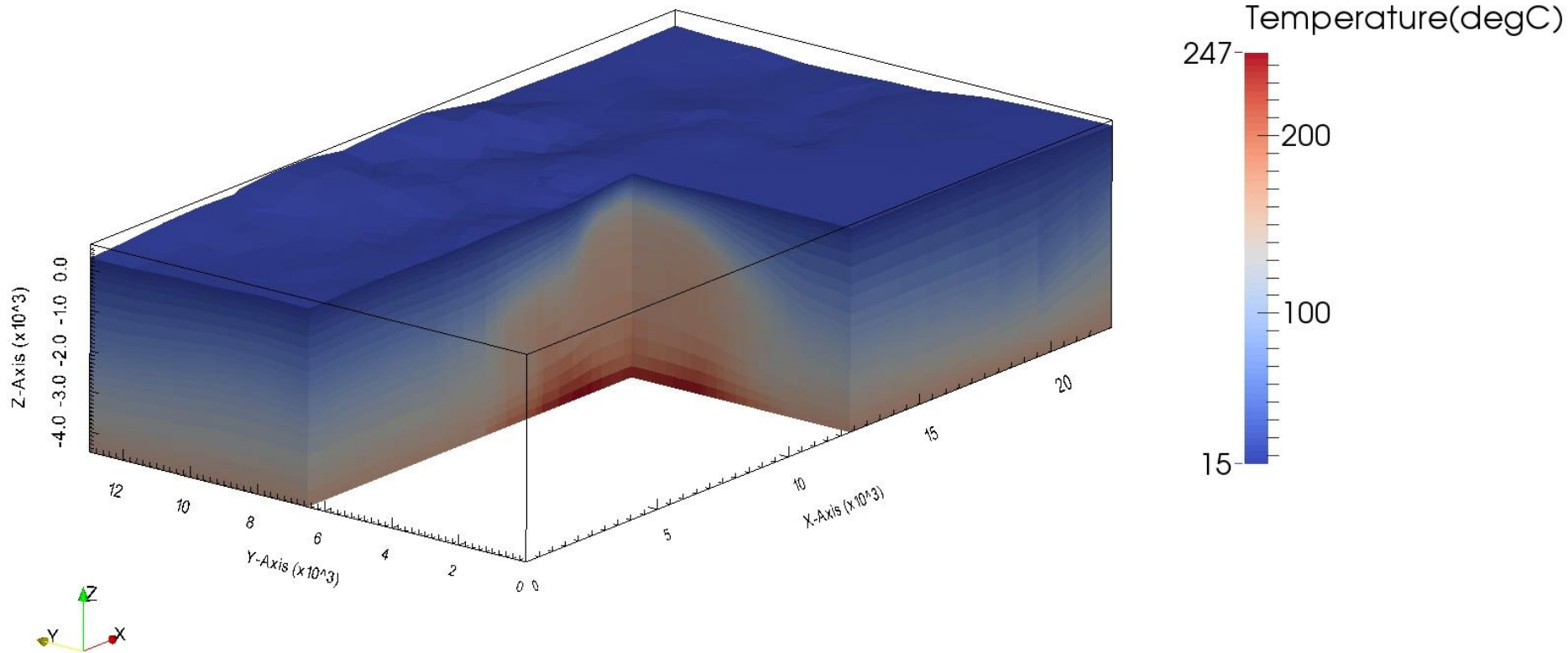
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 500000.00

GeoSIAM 1.1 \* (c)2014-15 RSE SpA

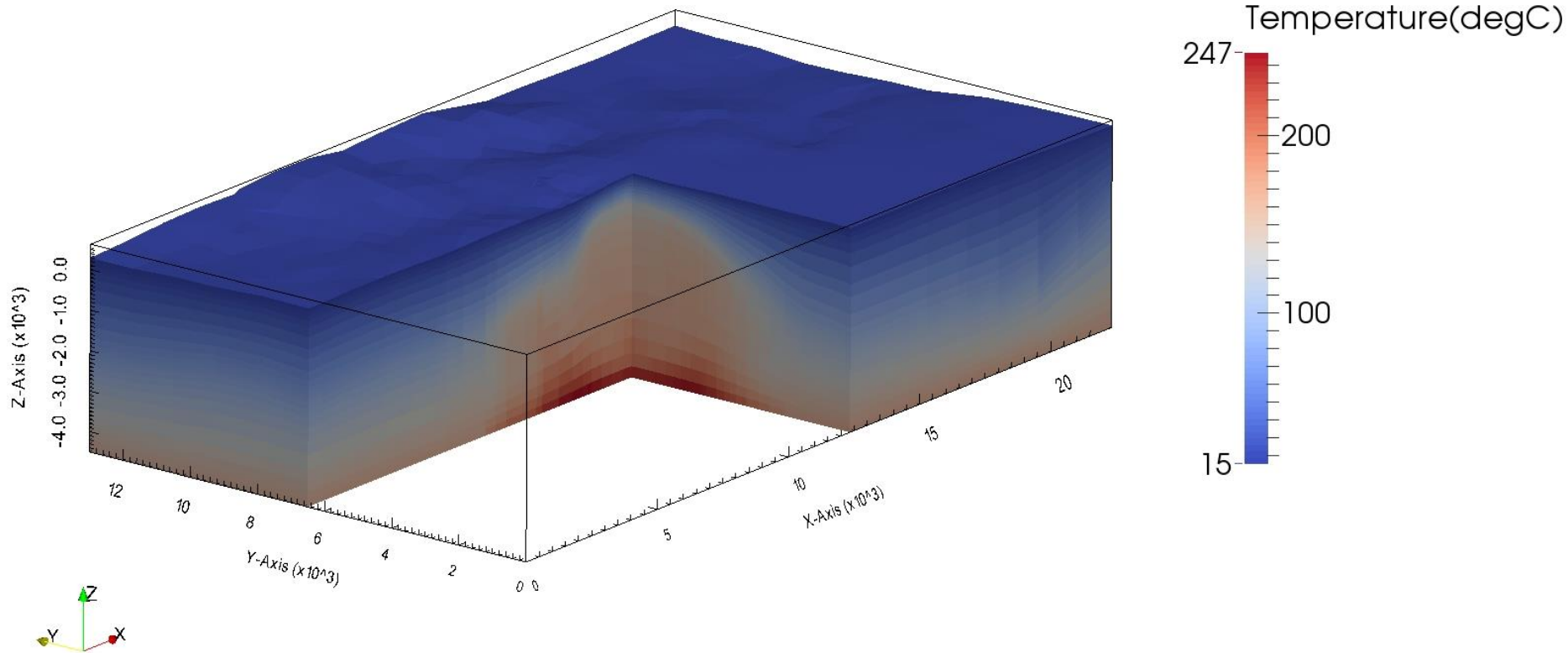
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30



Time: 750000.00

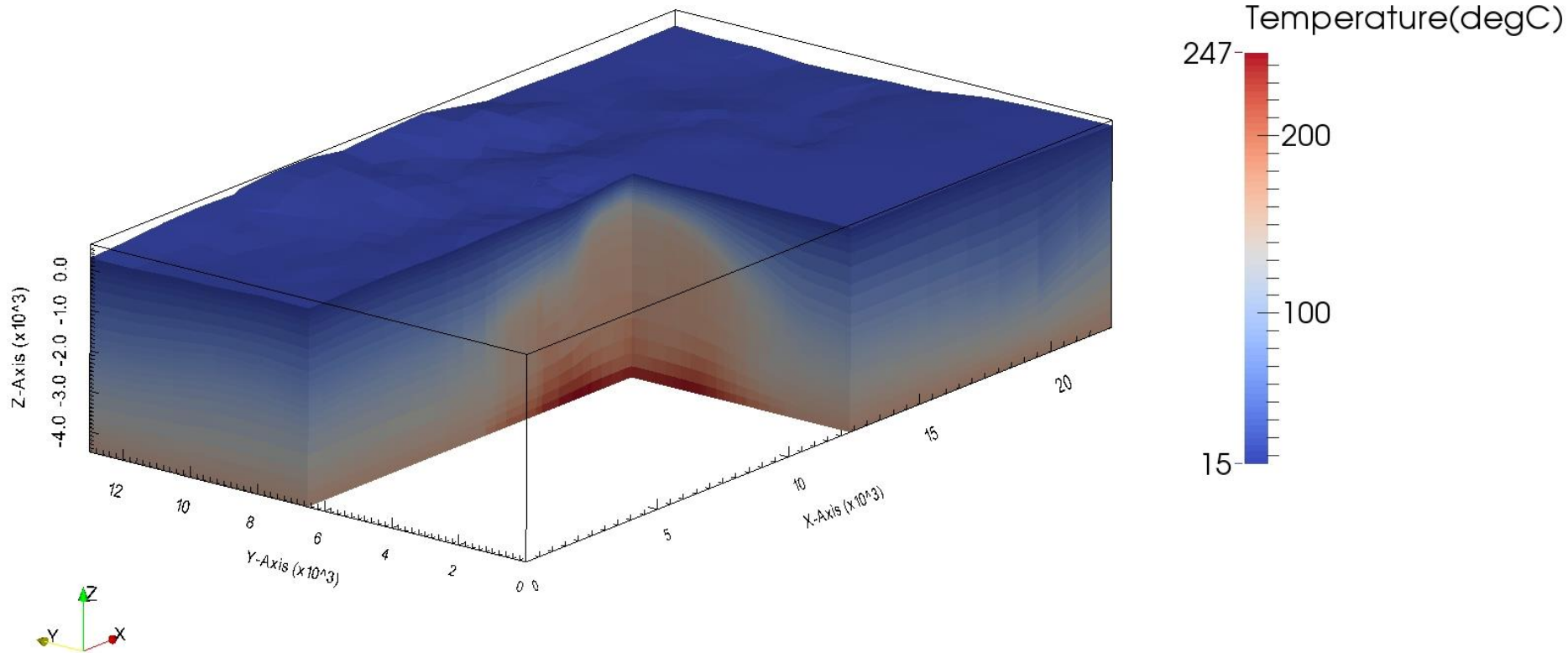
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico

**Modello Torre Alfina \* Scenario #1b \* Simulazione dello stato naturale  
Andamento del gradiente di temperatura**

Elementi : 23700  
Nodi : 48236  
Colonne : 790  
Connessioni: 91250  
Strati : 30

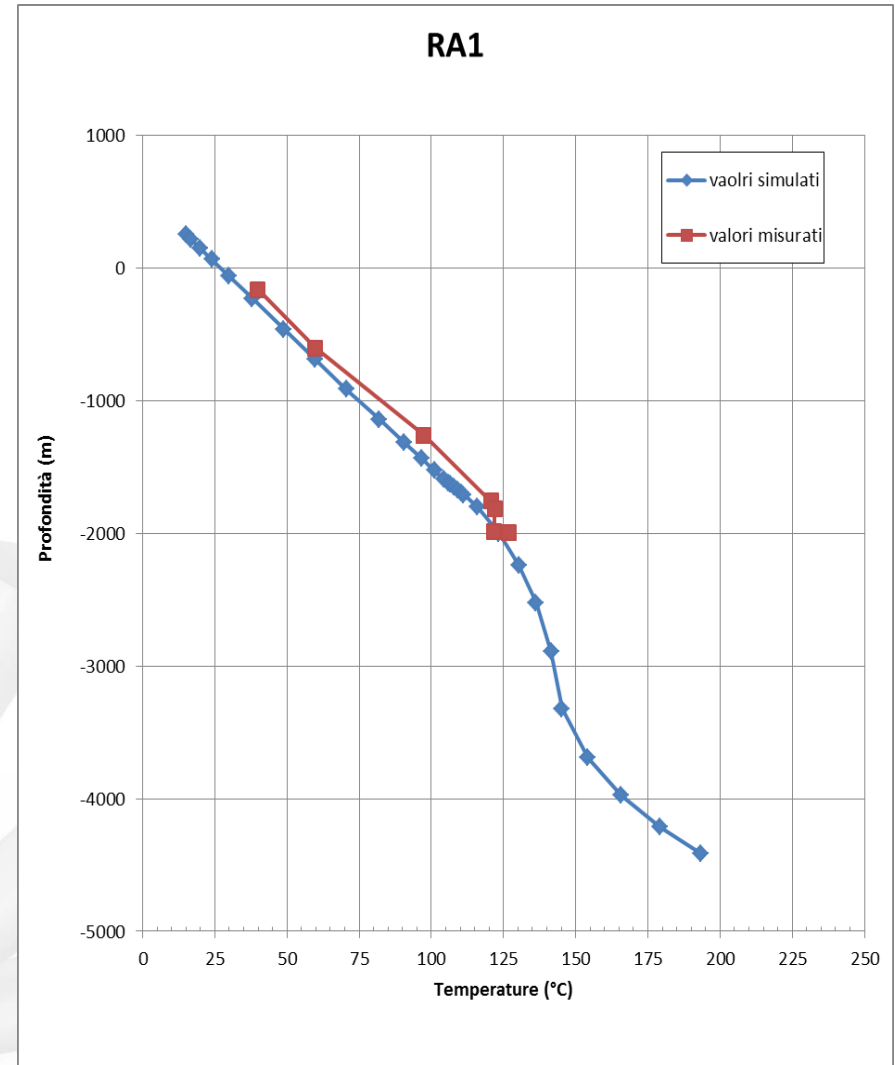
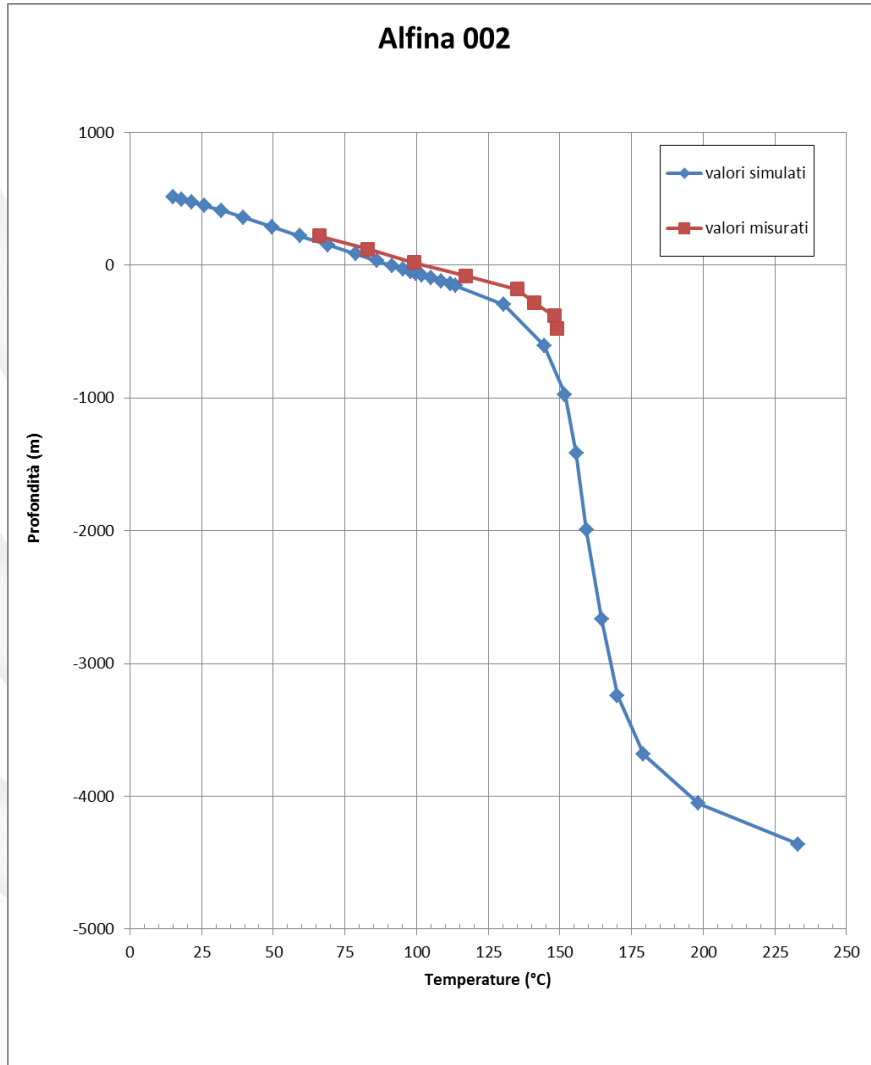


Time: 1000000.00

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

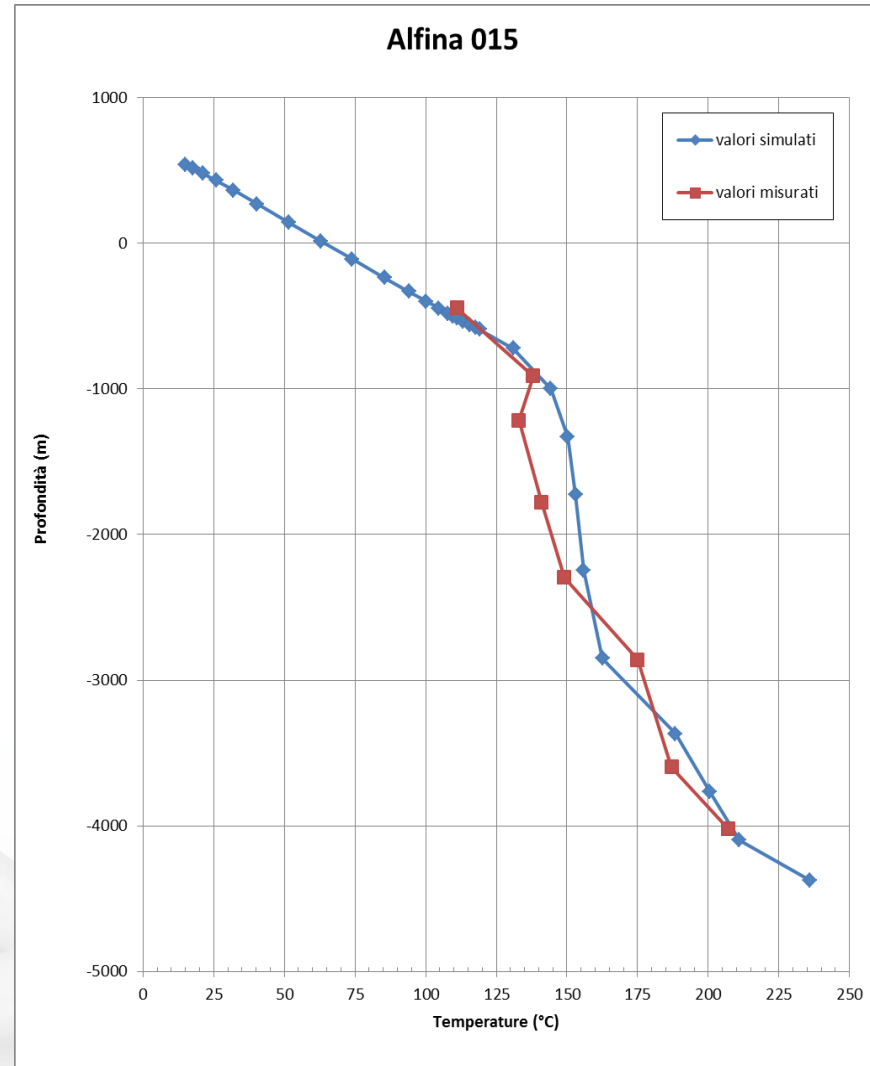
b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 2. Riproduzione dello stato naturale del campo geotermico

b) Fase di riscaldamento imponendo il flusso di calore alla base del serbatoio geotermico





# Simulazione numerica fluidodinamica

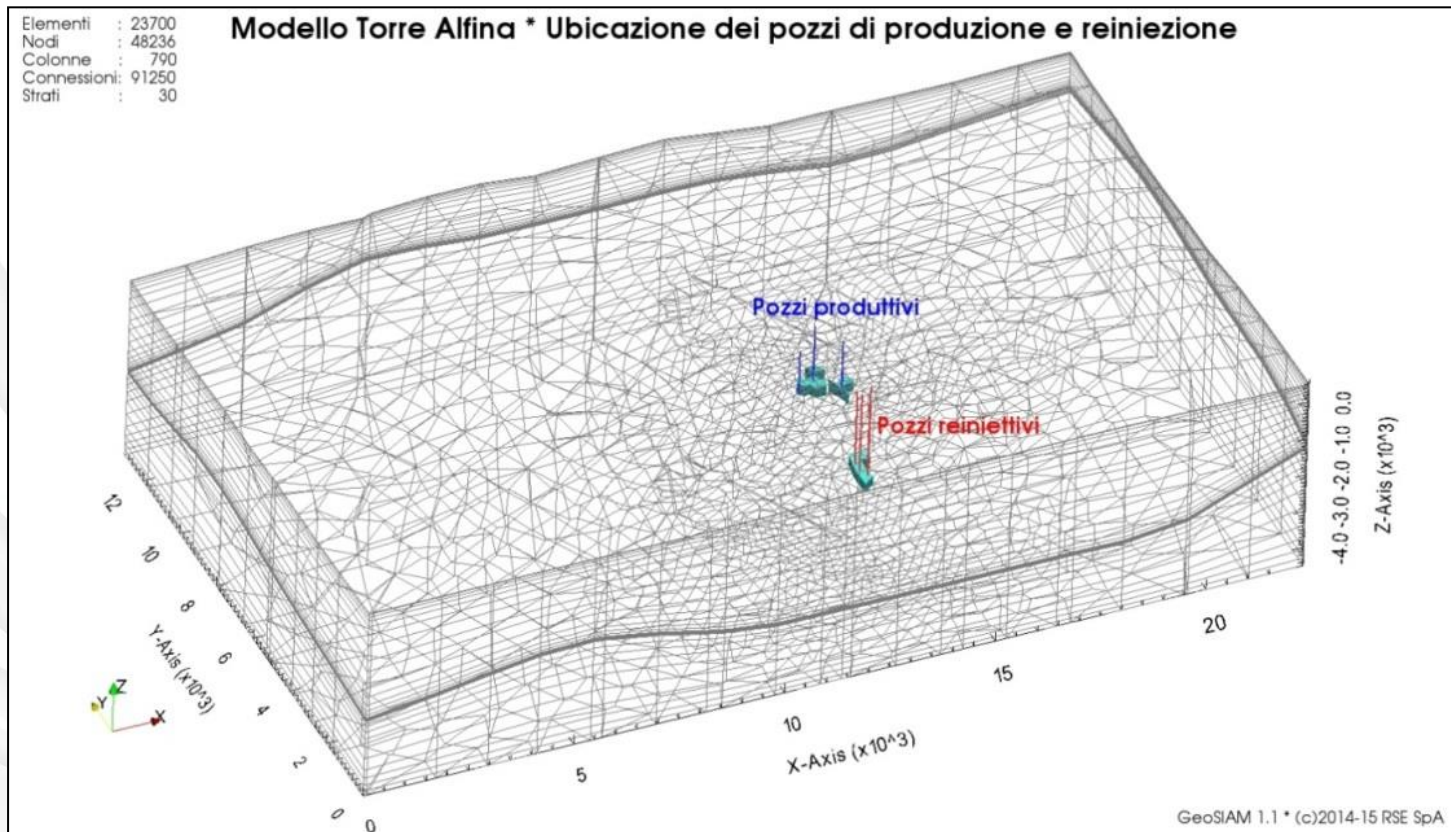
## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### 5 pozzi produttivi

CG1, CG1A, CG2, CG3 e CG3A contatto con il serbatoio a ~800 m di profondità verticale

### 4 pozzi re-iniettivi

CG14, CG14A, CG14B e CG14C contatto con il serbatoio a ~1500 m di profondità verticale



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#1:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **300 m**

### Scenario#2:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

### Scenario#3:

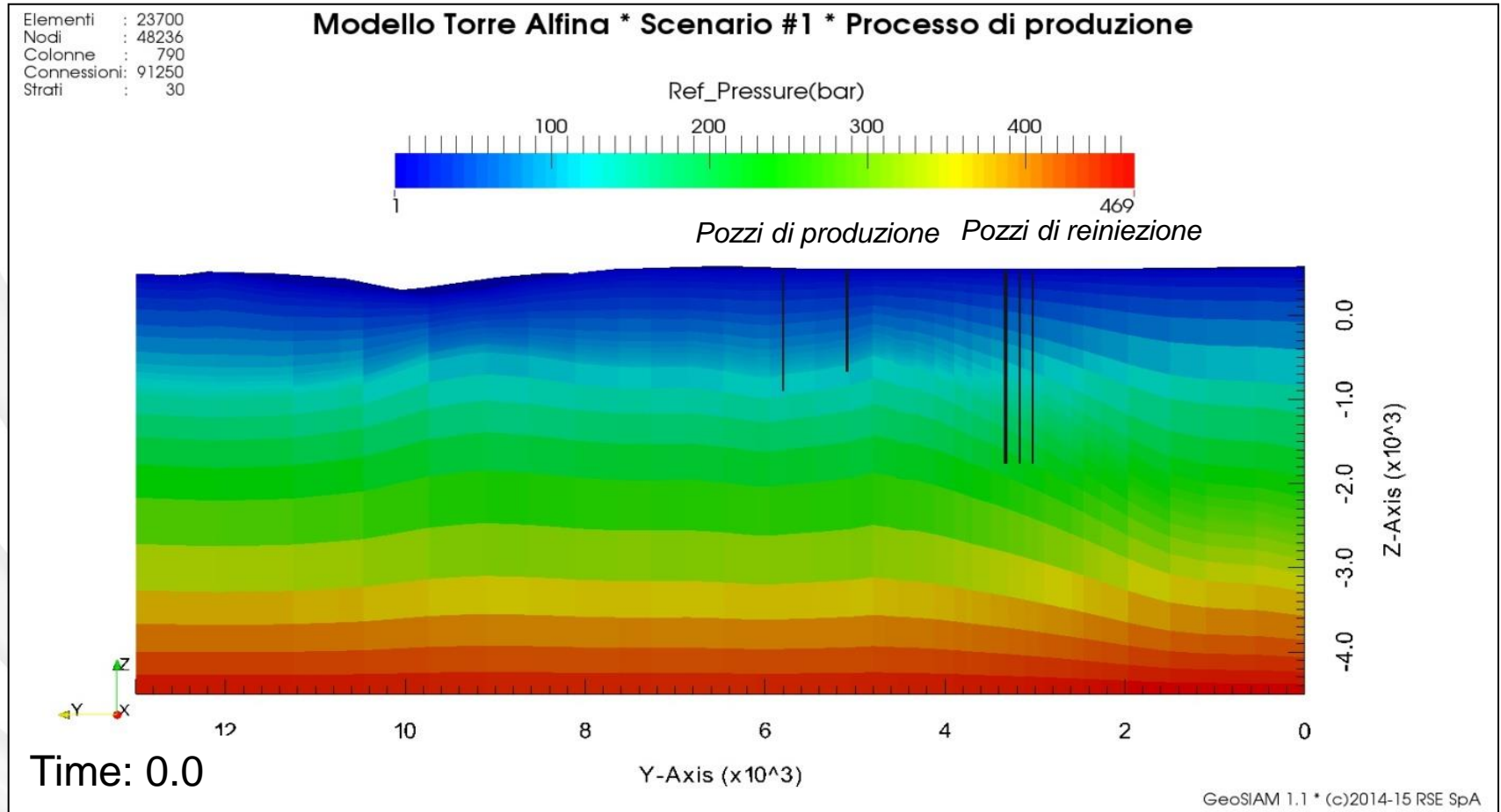
- tempo di produzione e durata simulazione: **50 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **2100 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

Valori monitorati:

- in corrispondenza dei pozzi
- al limite della perturbazione di pressione e temperatura

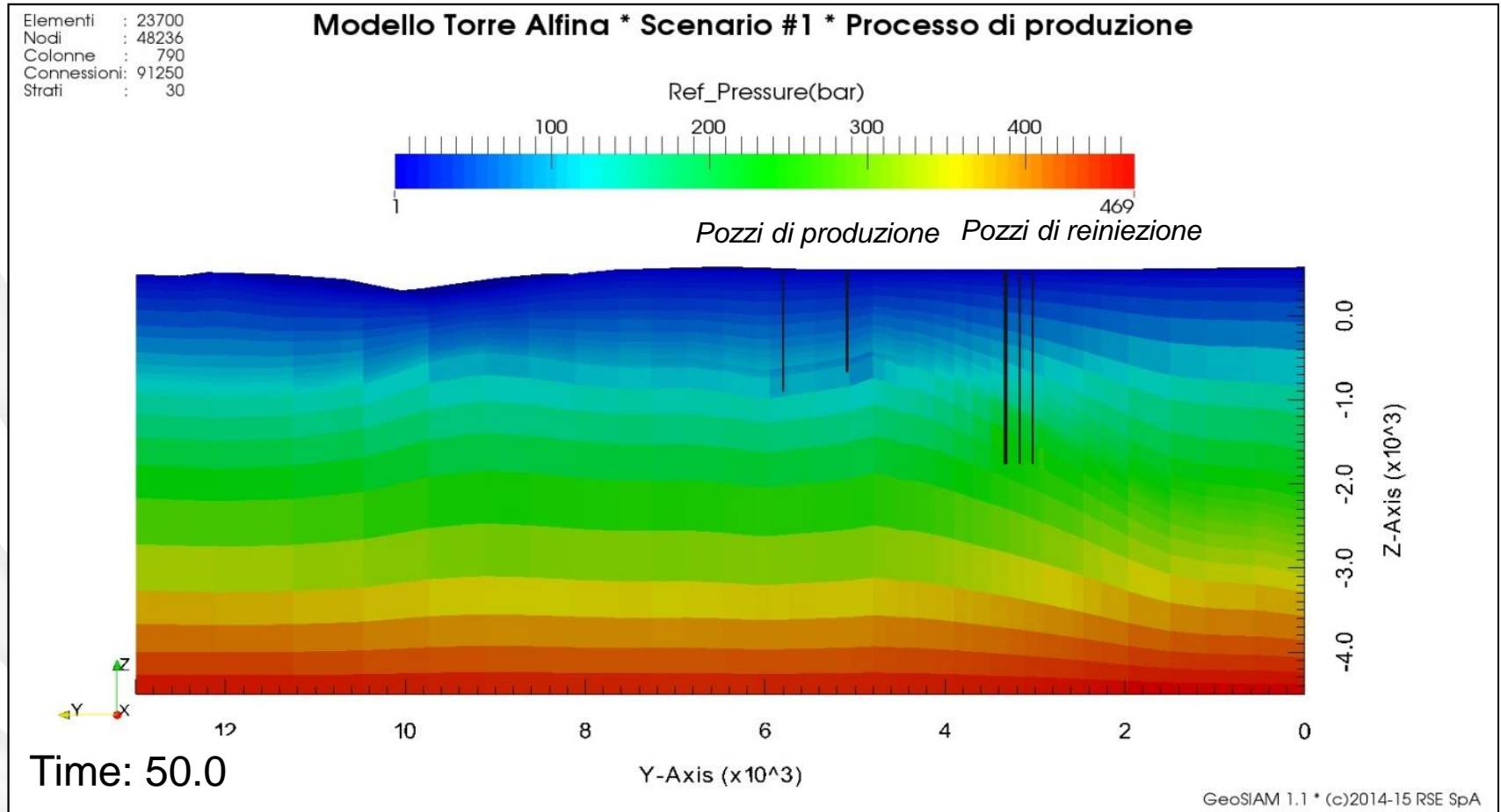
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



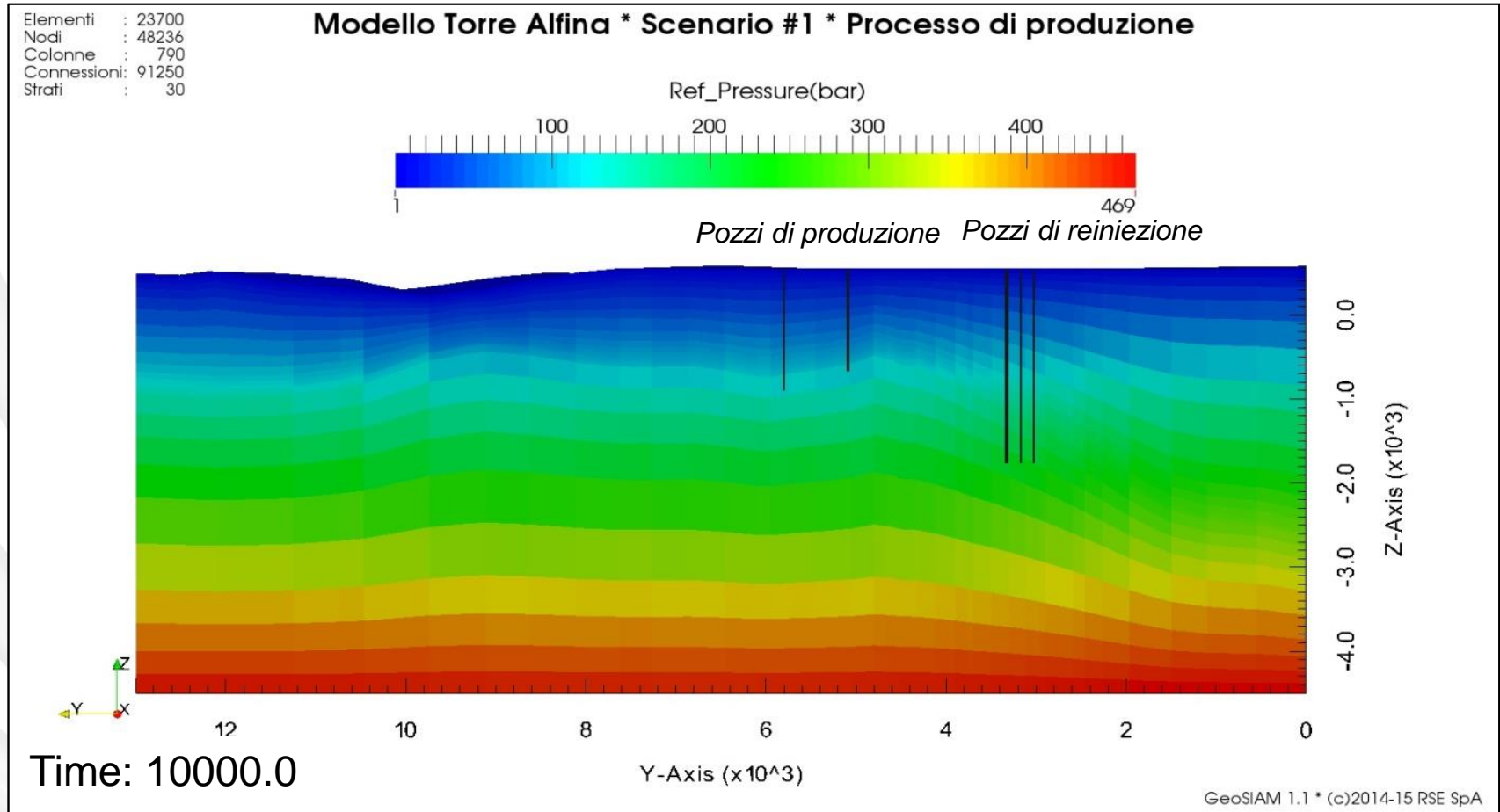
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



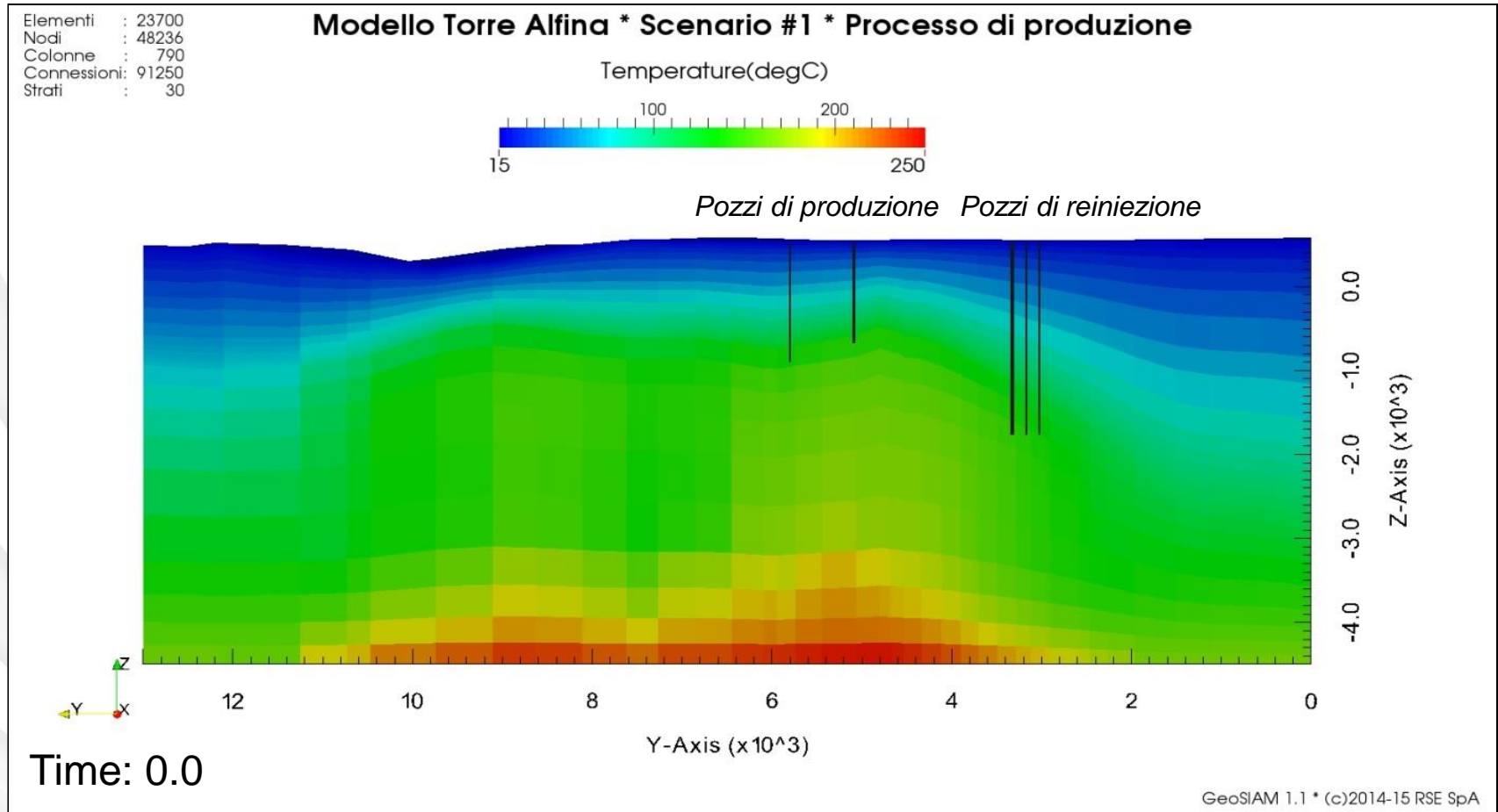
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



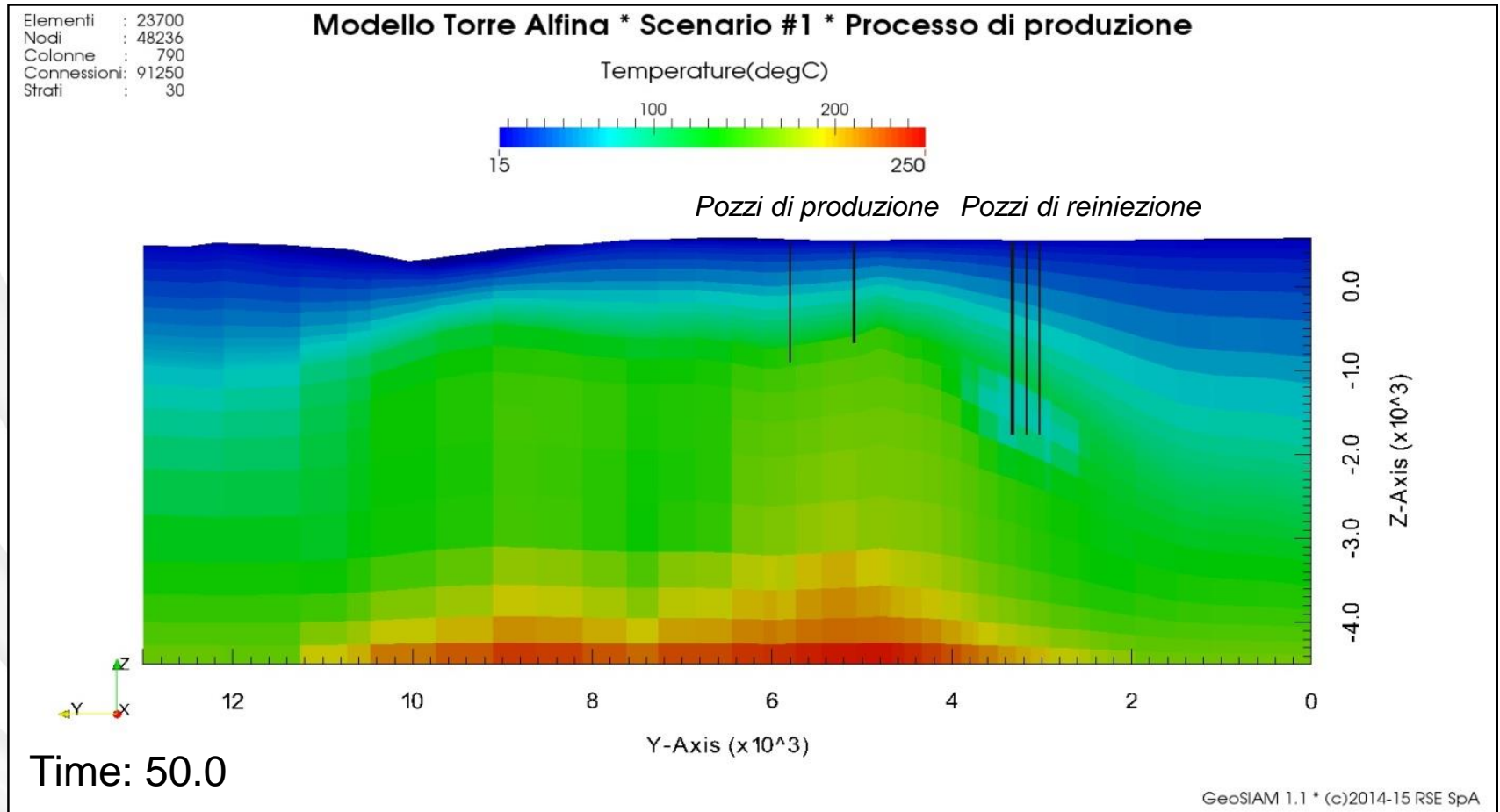
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



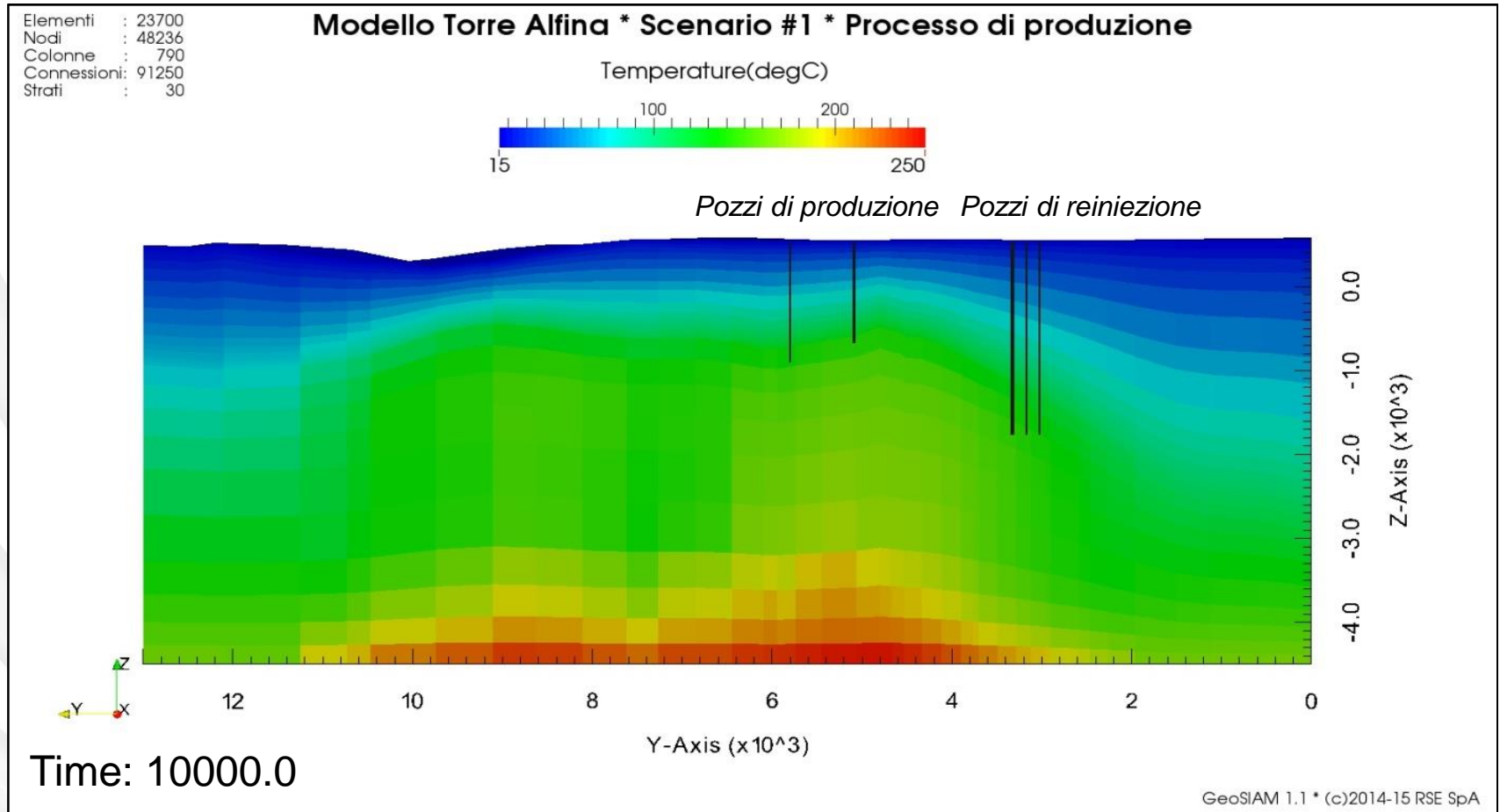
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

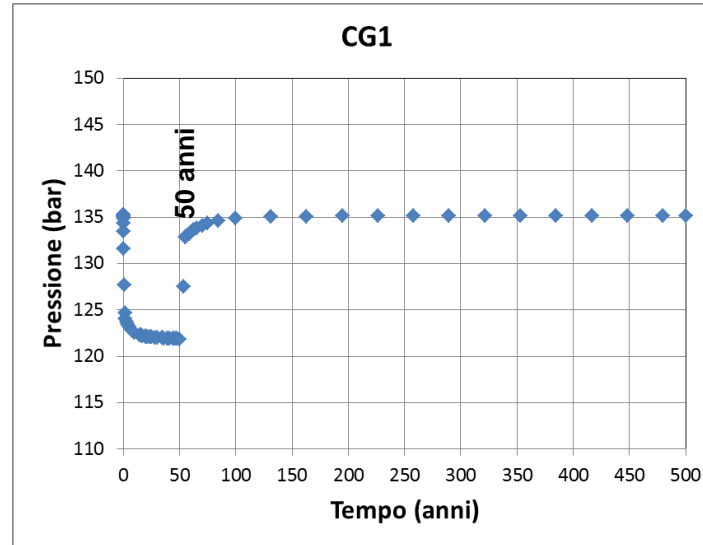
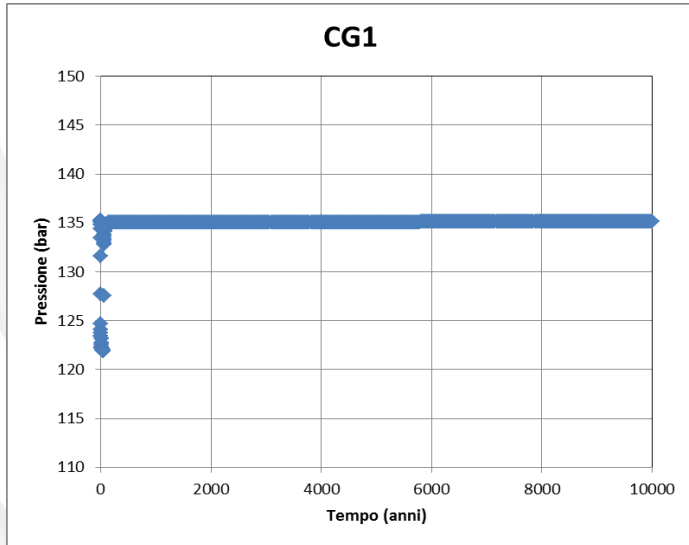




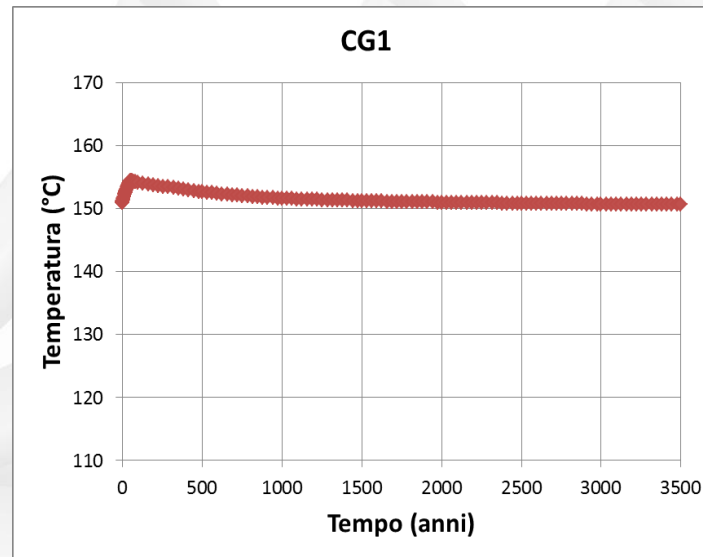
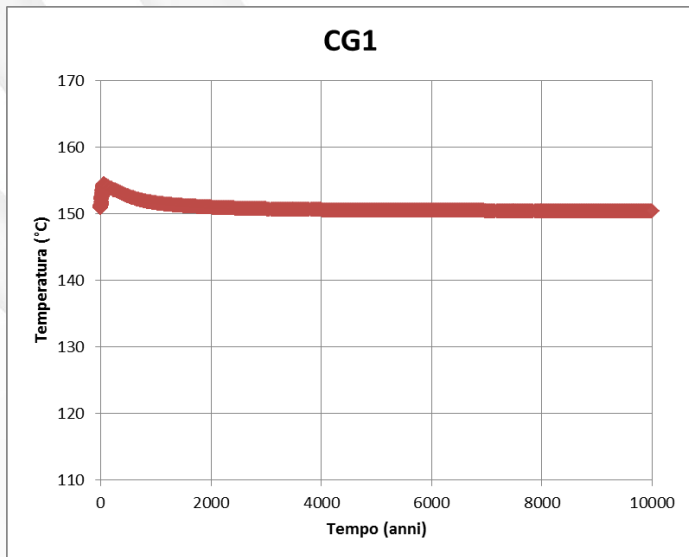
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#1: pozzi di produzione



Depresurizzazione di **12-13 bar** pari a **~10%** del valore di pressione iniziale.

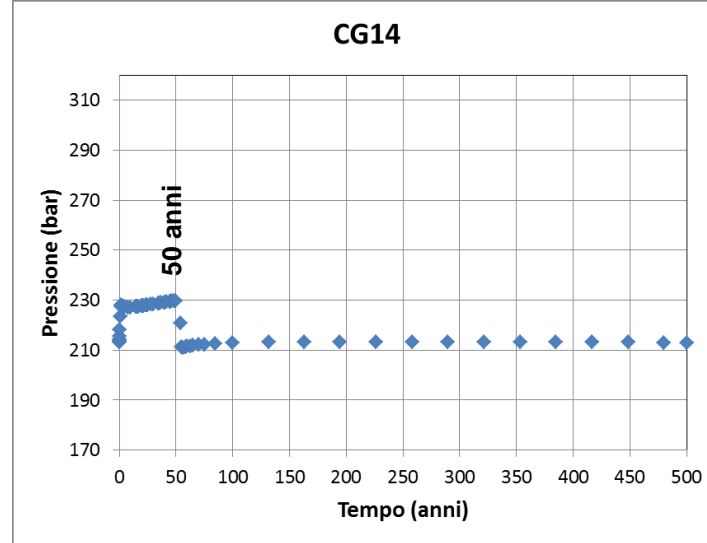
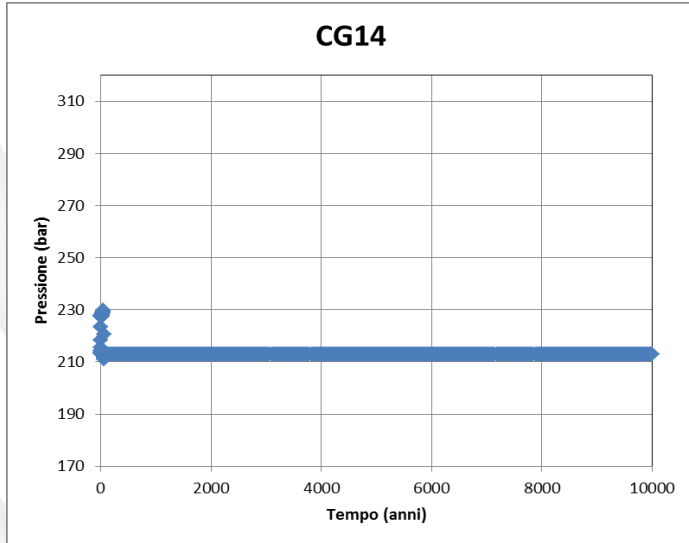


Incremento compreso tra **1.5 – 3.5°C**

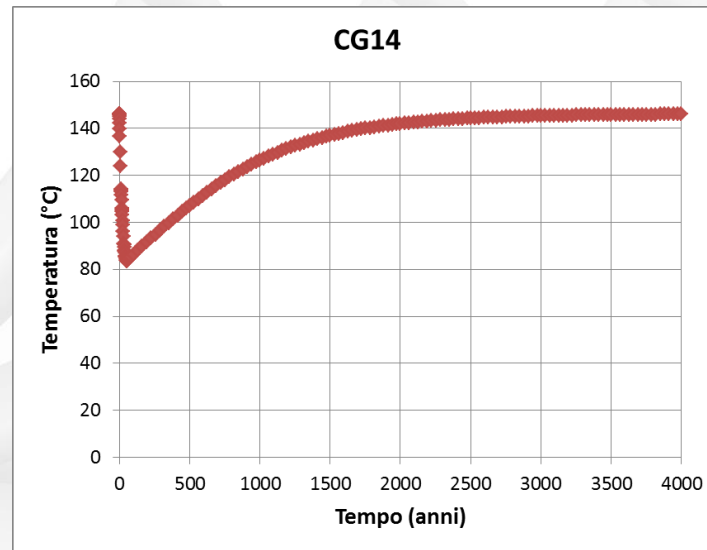
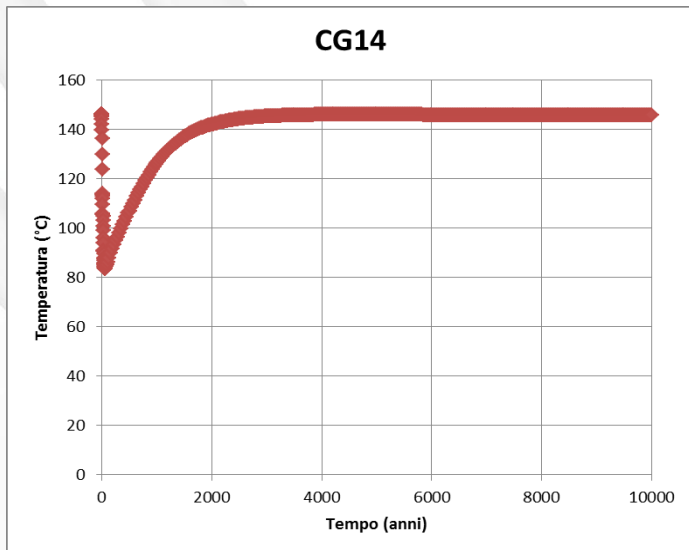
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#1: pozzi di re-iniezione



Sovrapressioni di **17-18 bar** pari a **~8%** del valore di pressione iniziale.



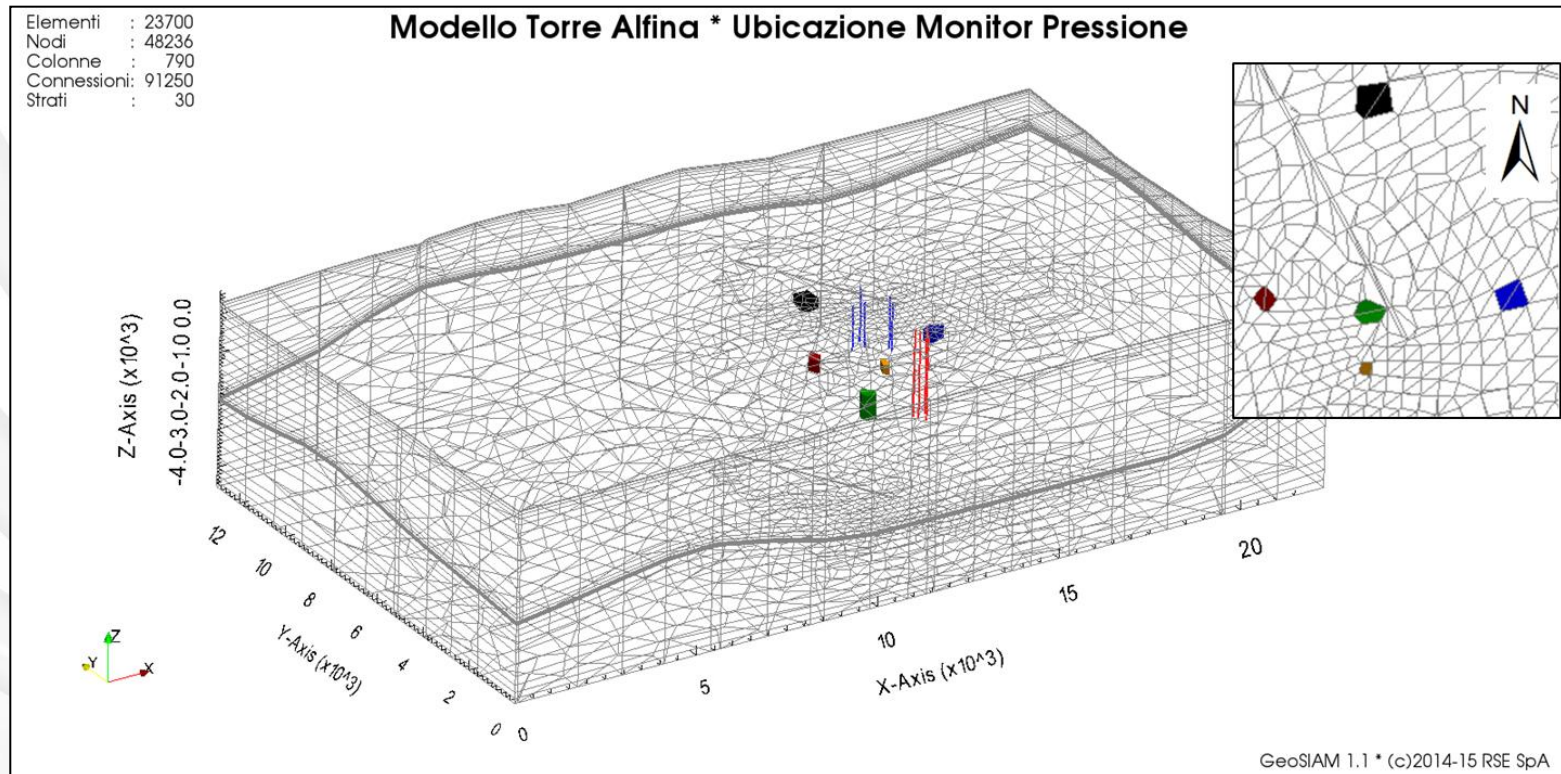
Iniezione a **80°C**

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

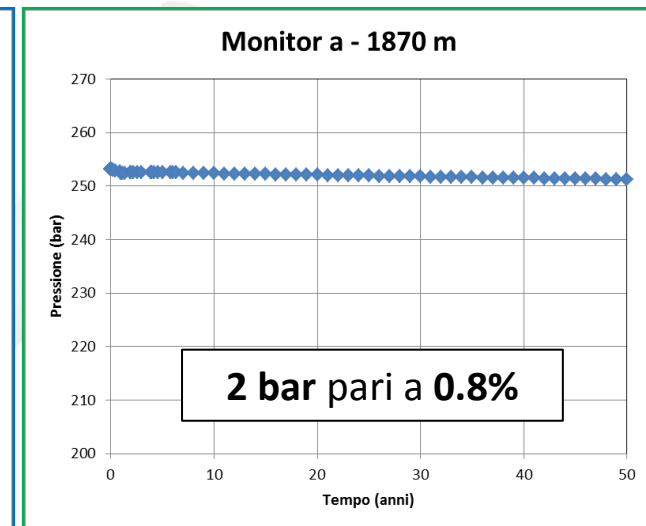
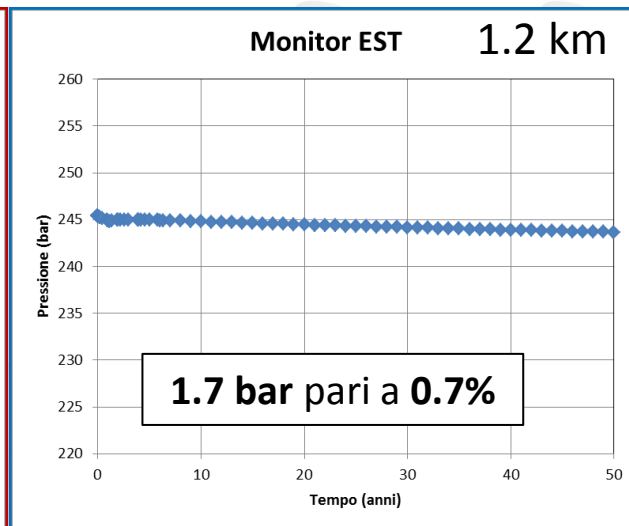
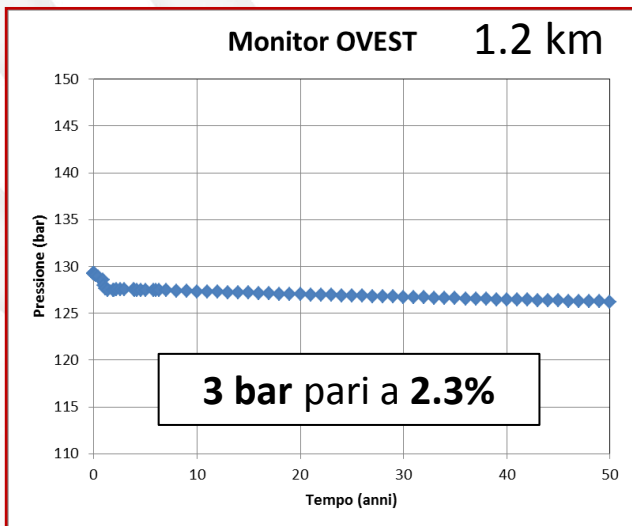
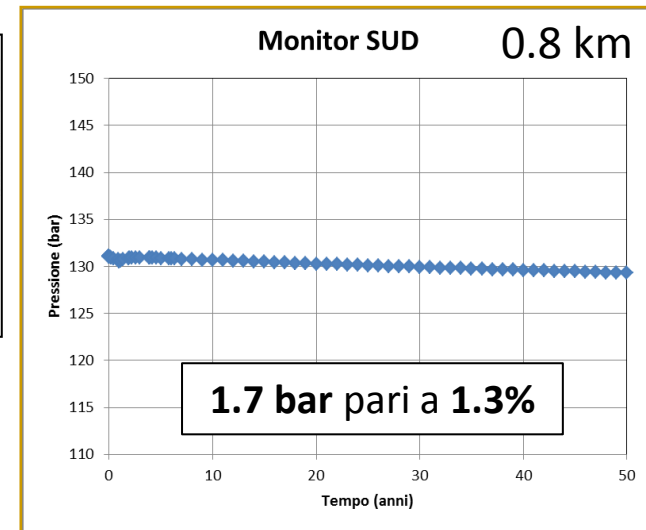
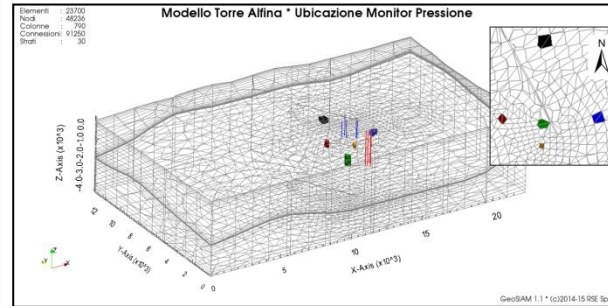
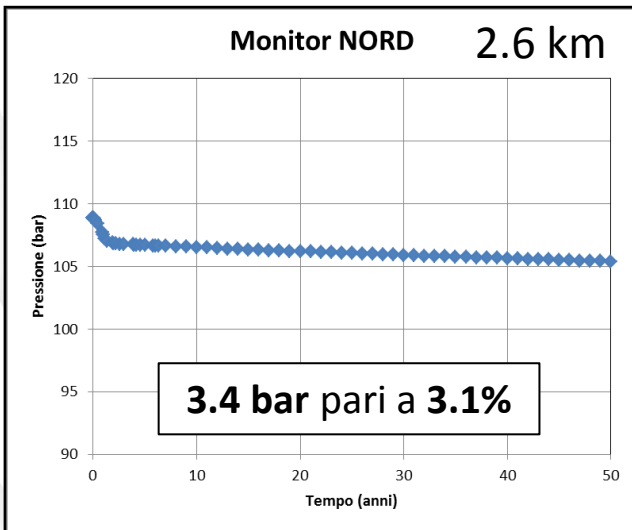
Valori monitorati al **limite della perturbazione di pressione** generata dai **pozzi produttivi**:

- a Nord di circa 2.6 km
- a Sud di circa 0.8 km
- a Ovest di circa 1.2 km
- a Est di circa 1.2 km
- alla quota di -1870 m



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

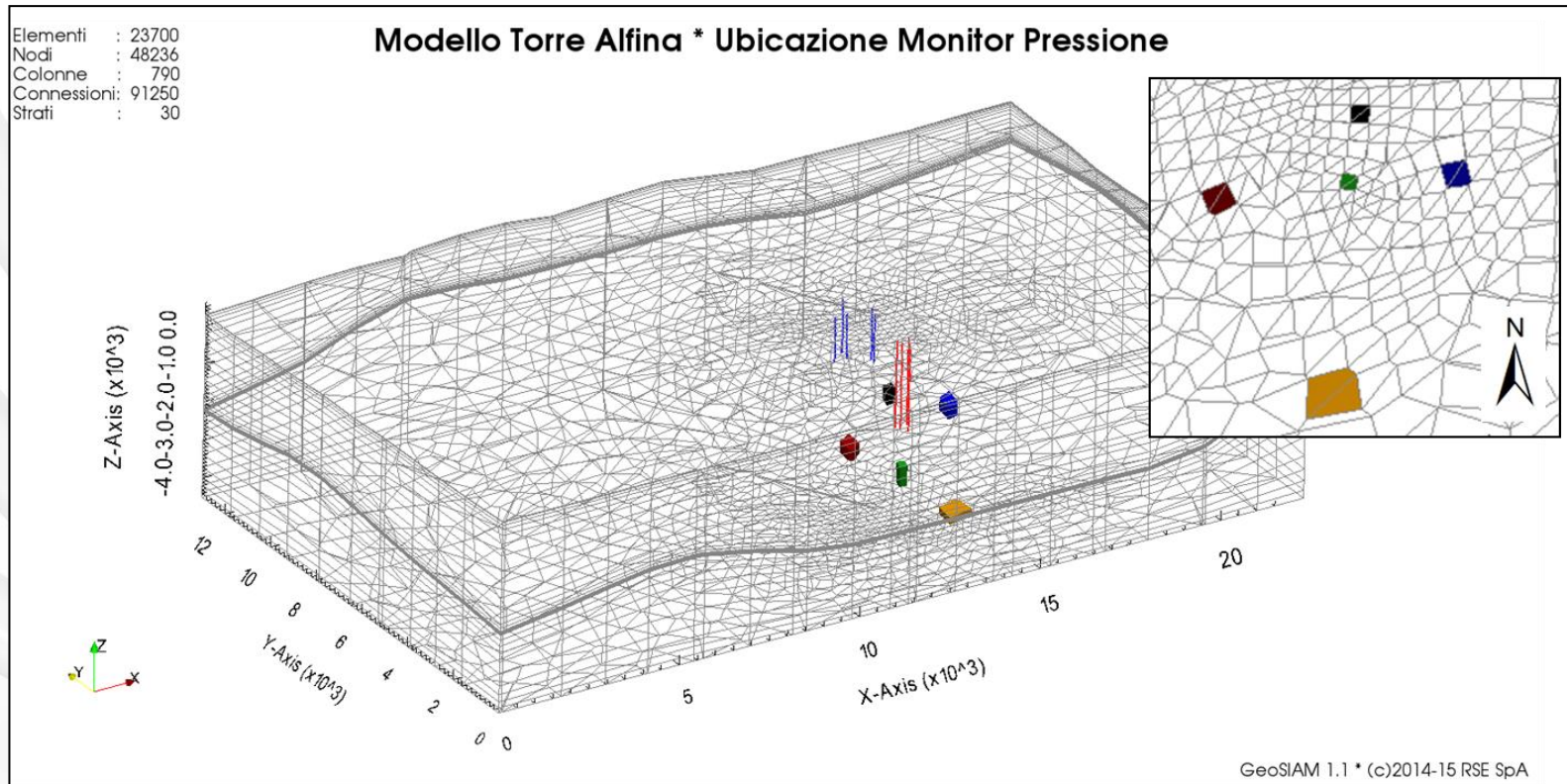


# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

Valori monitorati al **limite della perturbazione di pressione** generata dai **pozzi re-iniettivi**:

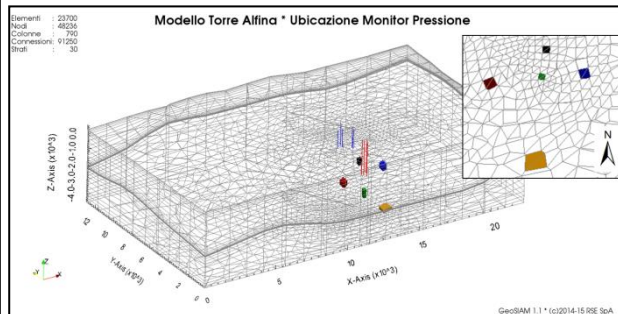
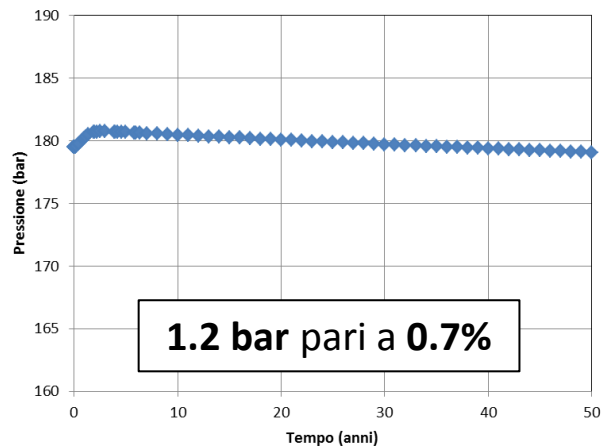
- a Nord di circa 0.8 km
- a Sud di circa 2.6 km
- a Ovest di circa 1.4 km
- a Est di circa 1.7 km
- alla quota di -2865 m



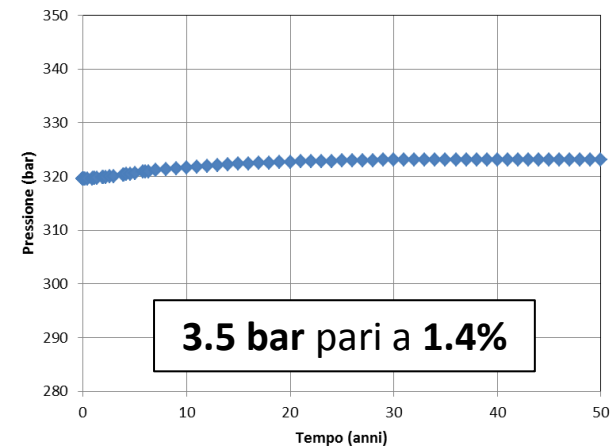
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

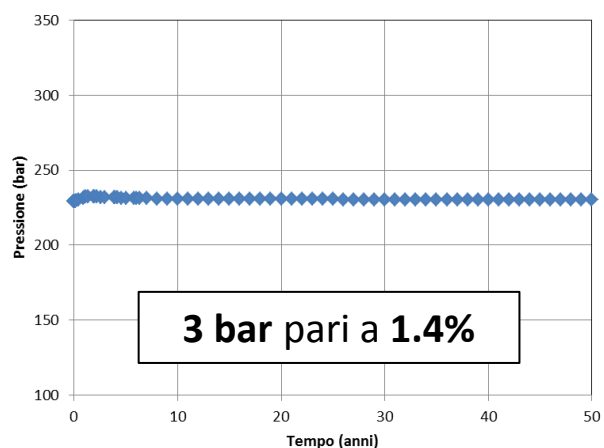
Monitor NORD 0.8 km



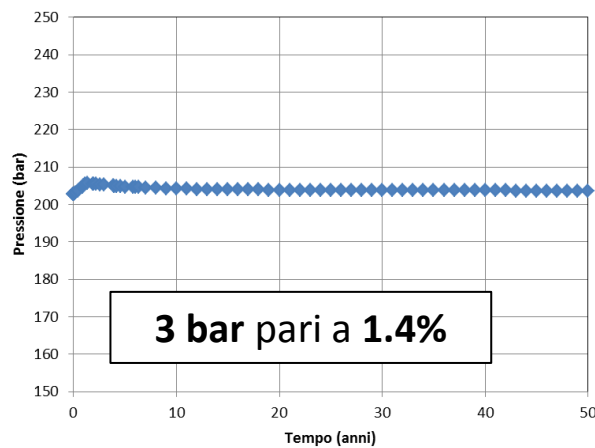
Monitor SUD 2.6 km



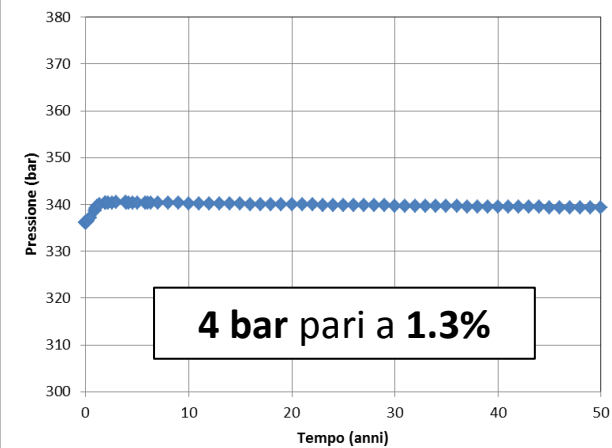
Monitor OVEST 1.7 km



Monitor EST 1.7 km



Monitor a - 2865 m



# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#1:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **300 m**

### Scenario#2:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

### Scenario#3:

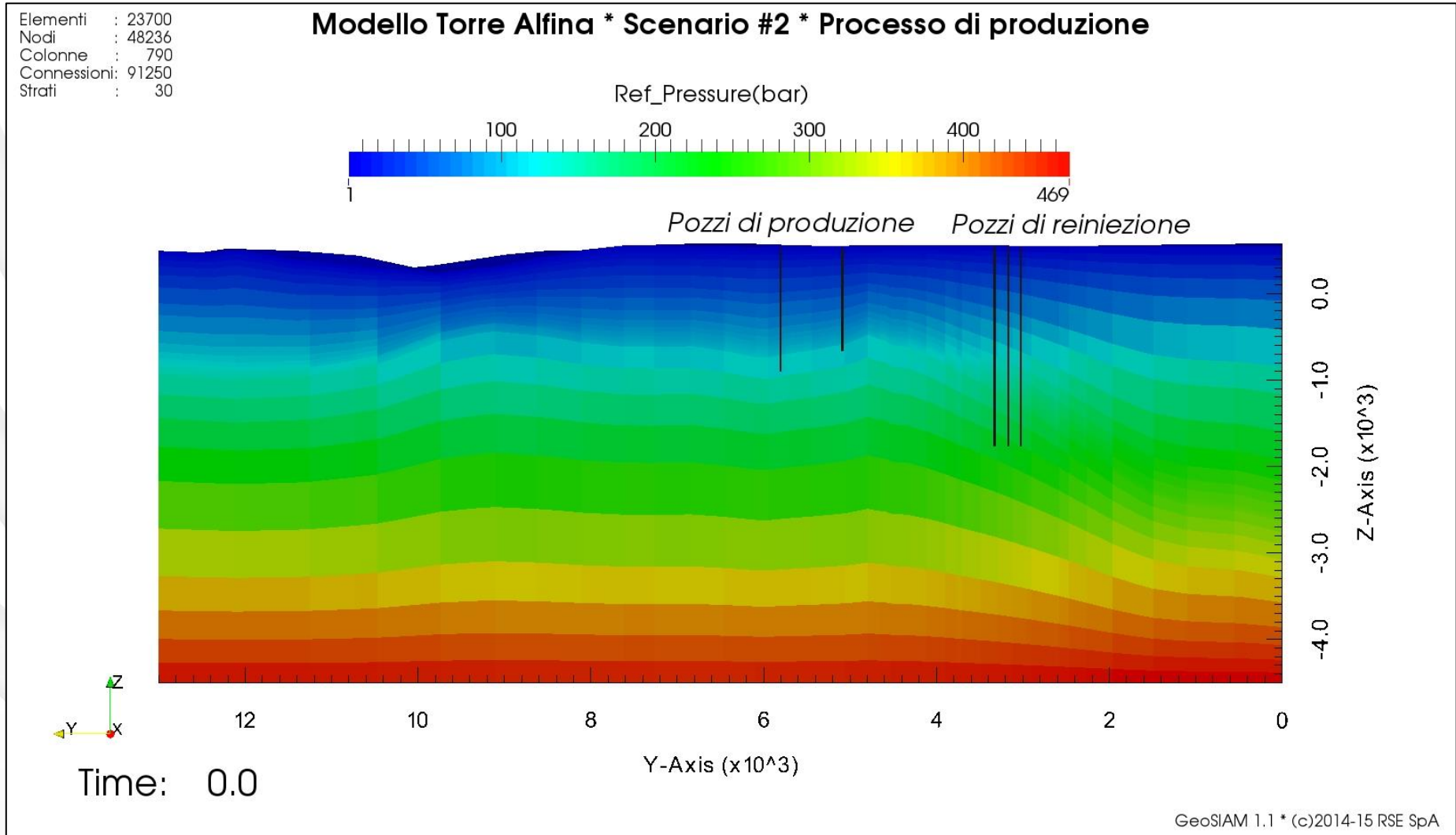
- tempo di produzione e durata simulazione: **50 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **2100 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

Valori monitorati:

- in corrispondenza dei pozzi

# Simulazione numerica fluidodinamica

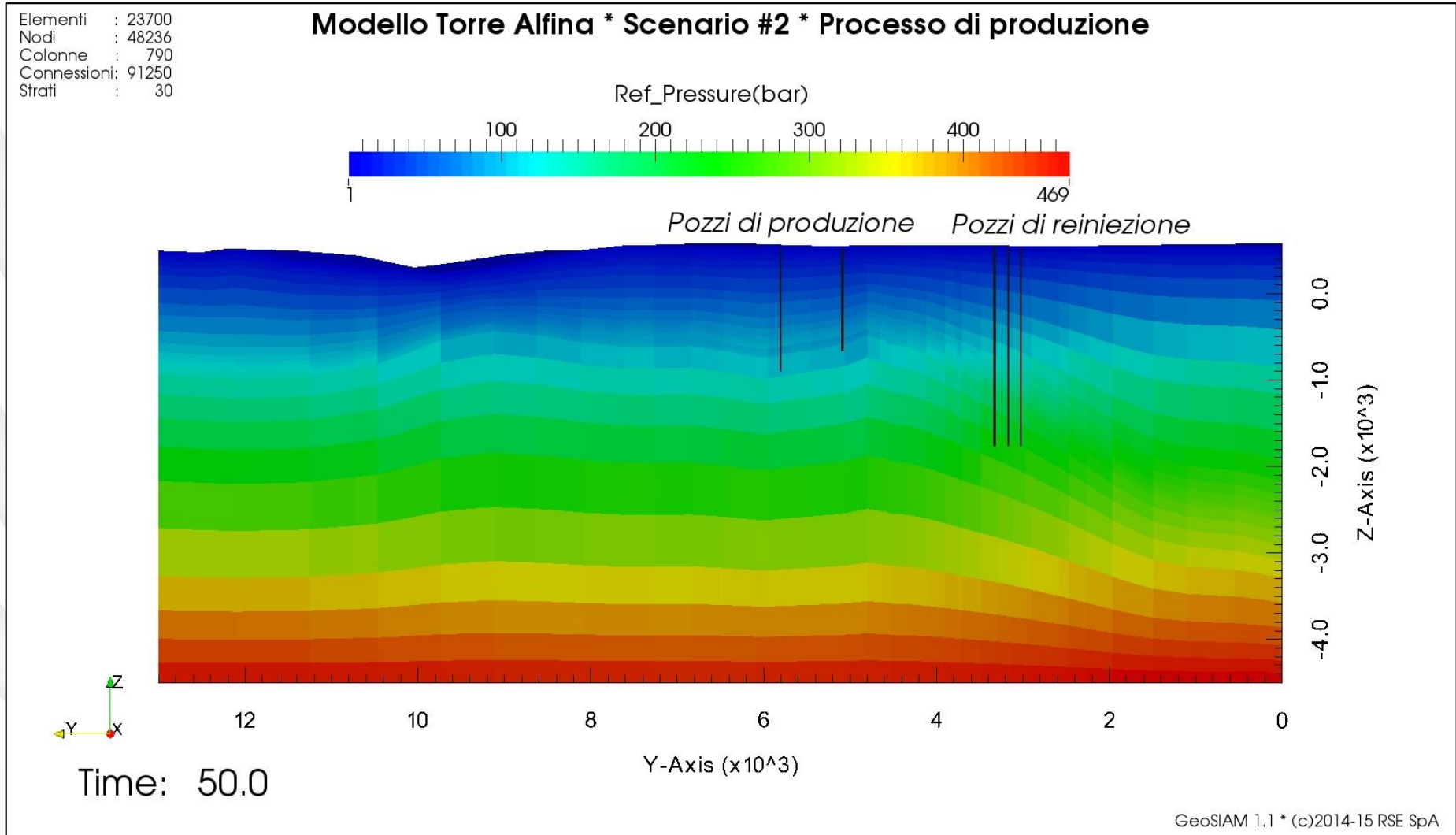
## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione





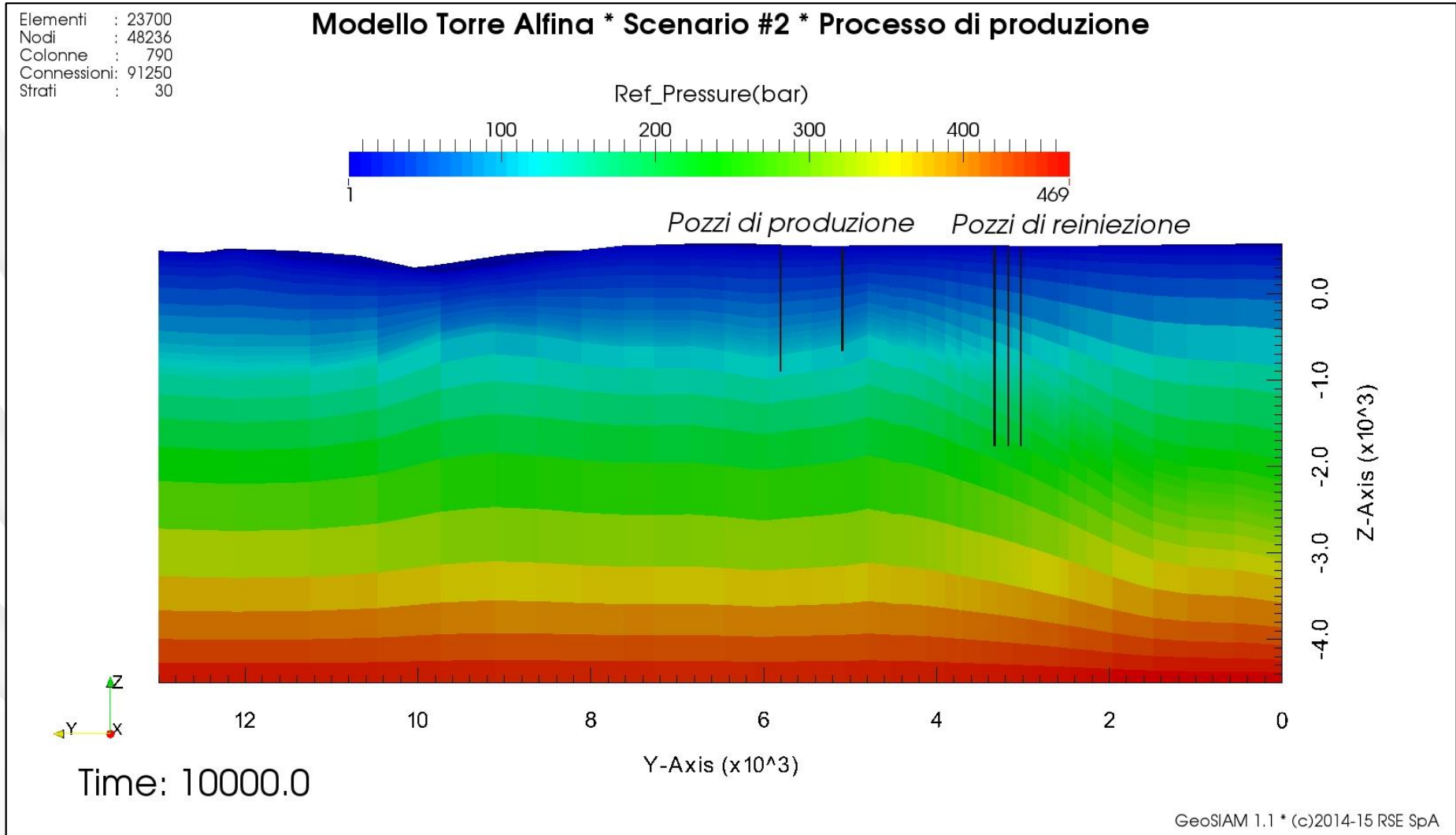
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



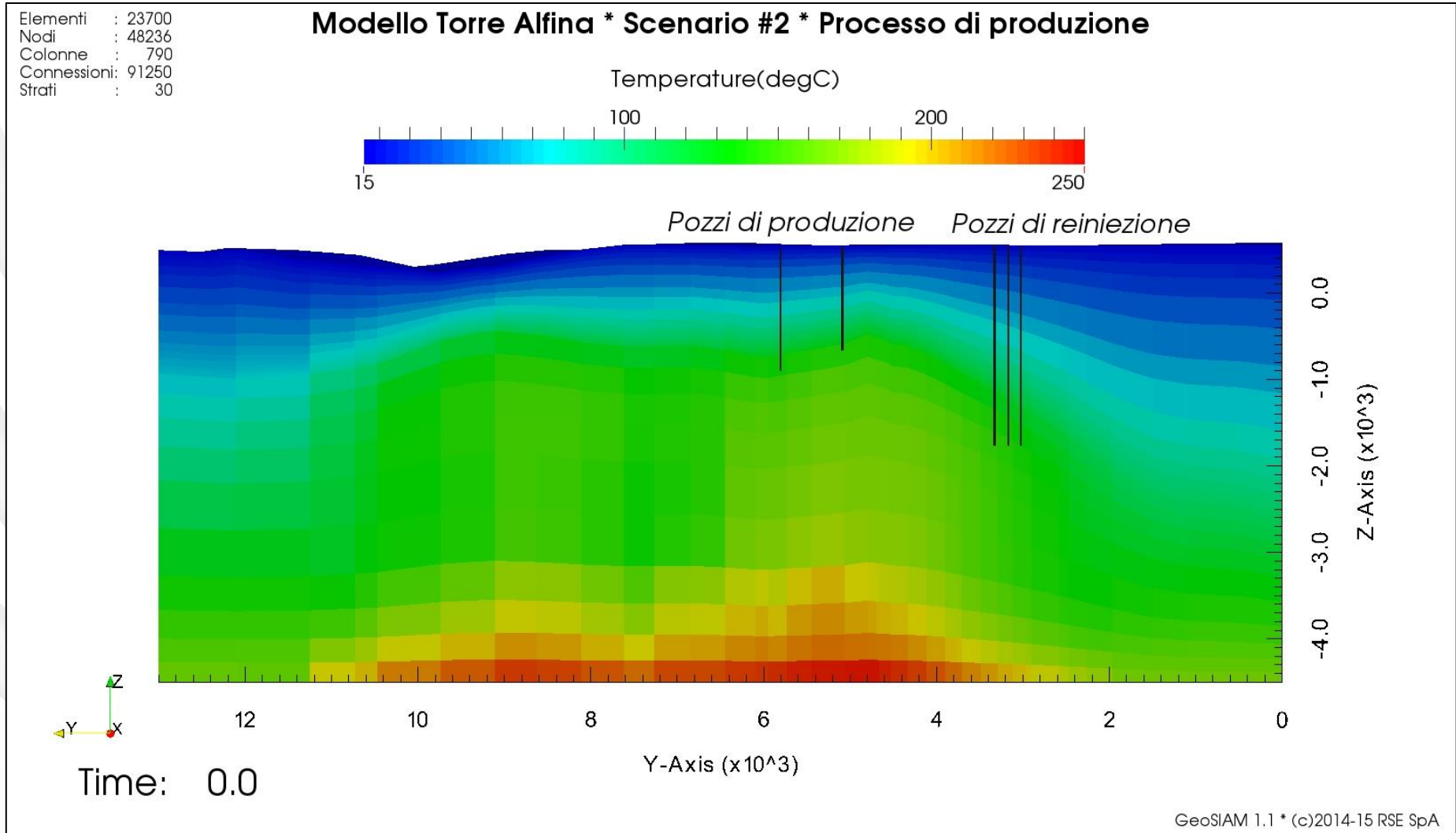
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



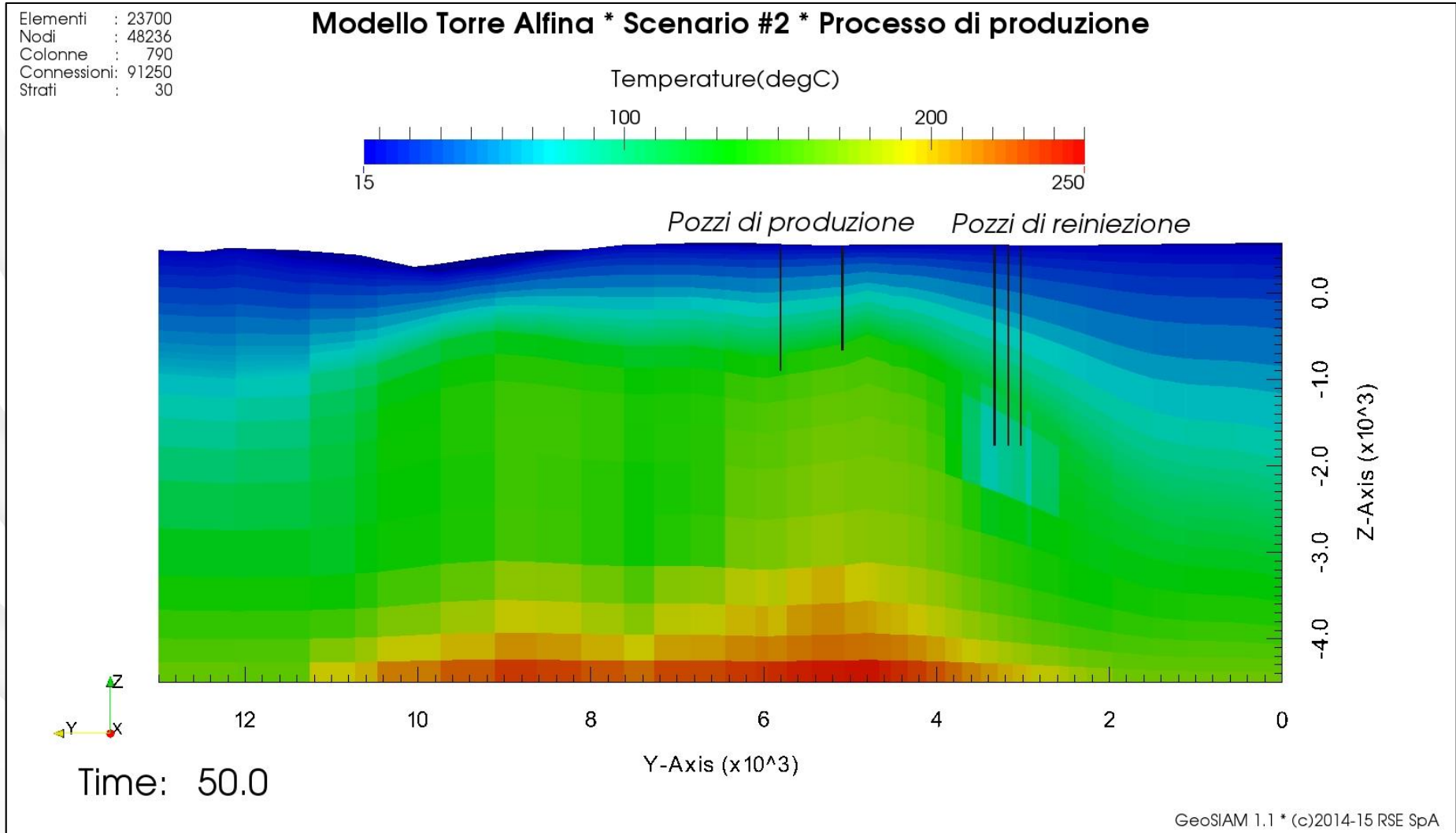
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



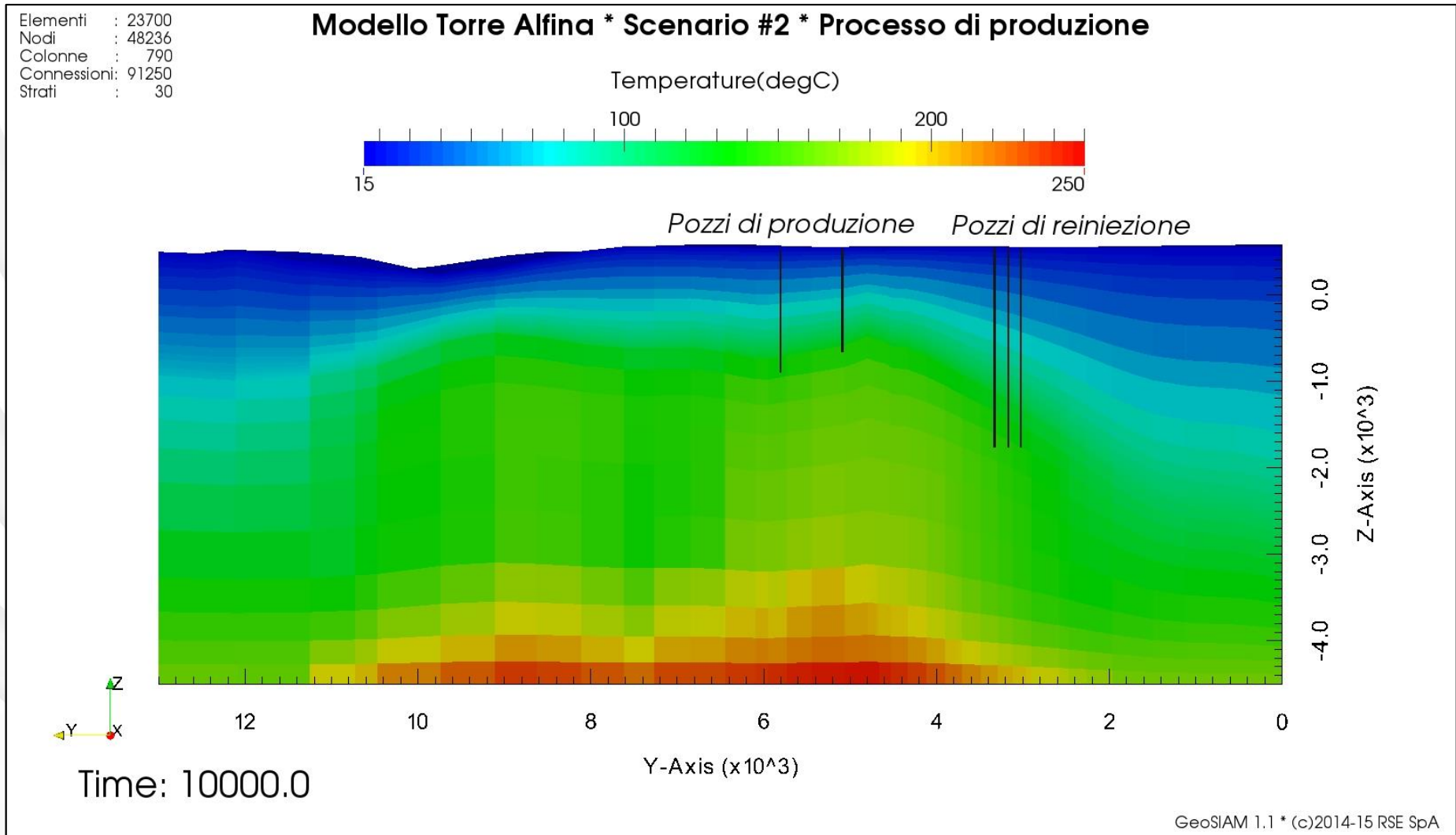
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



# Simulazione numerica fluidodinamica

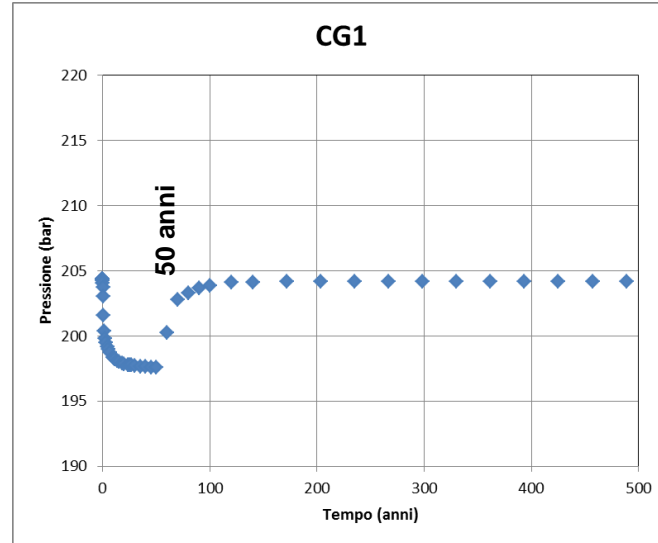
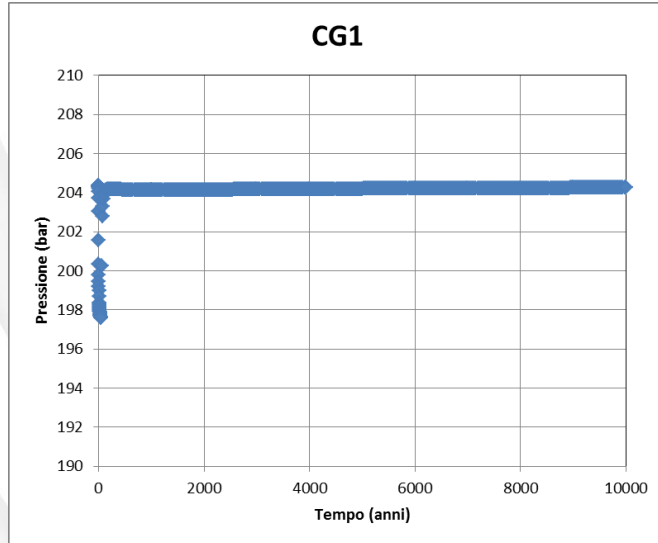
## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



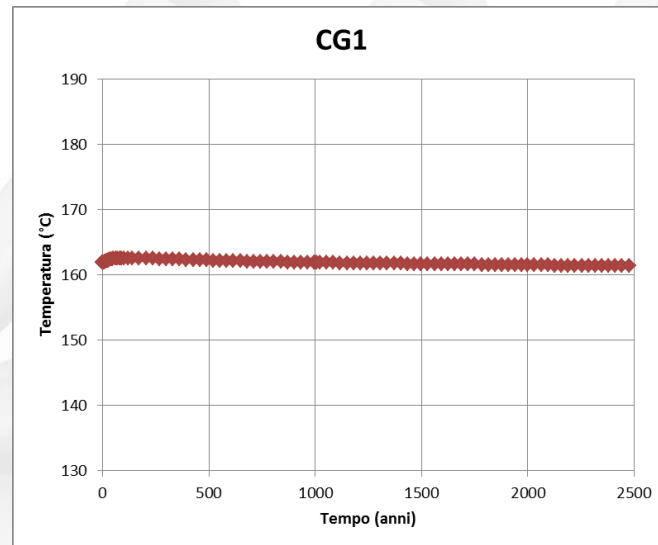
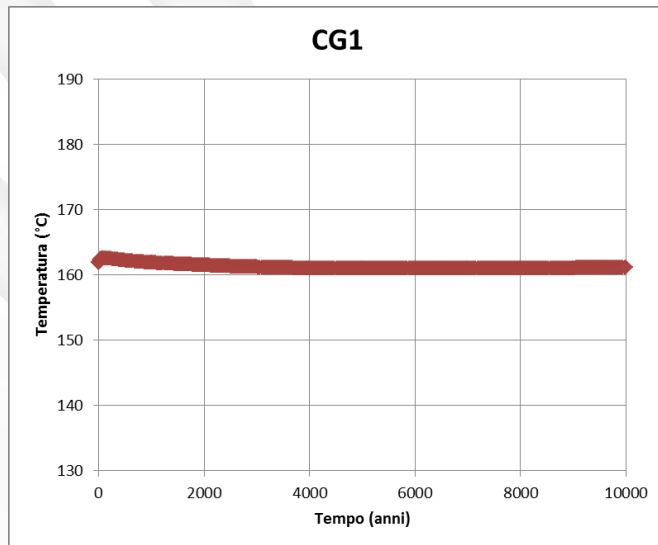
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#2: pozzi di produzione



Depresurizzazione  
raggiunge i **7 bar** pari  
al **3.3%** del valore di  
pressione iniziale.

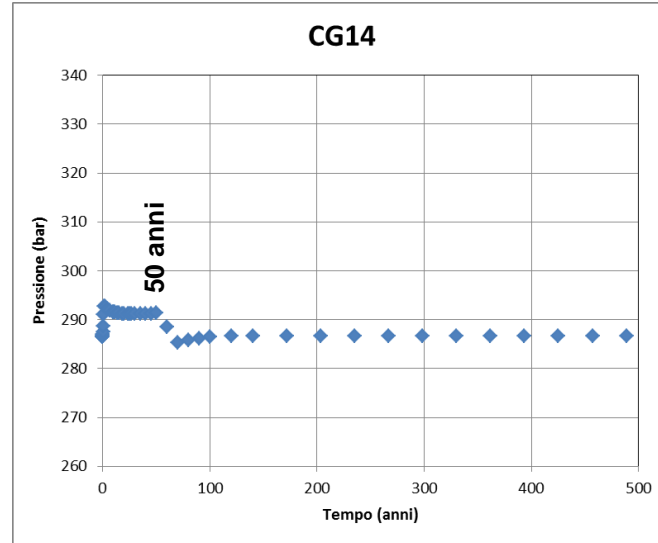
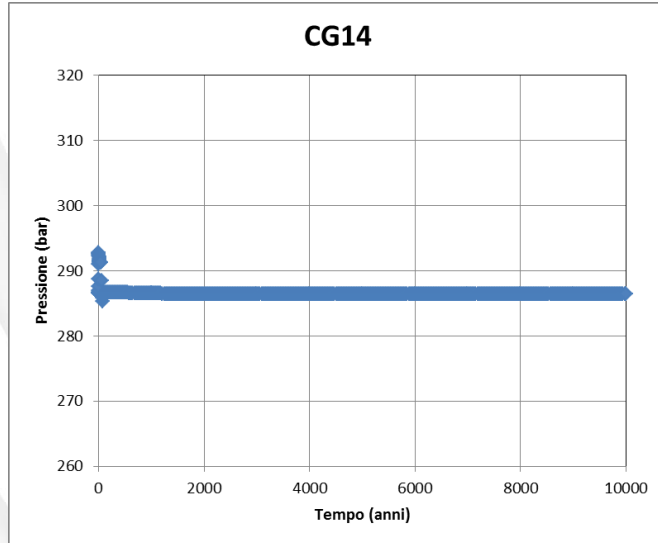


Incremento  
<1°C

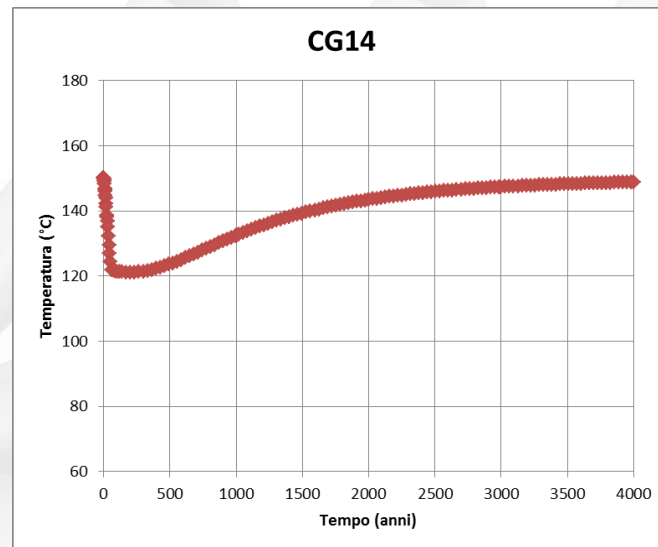
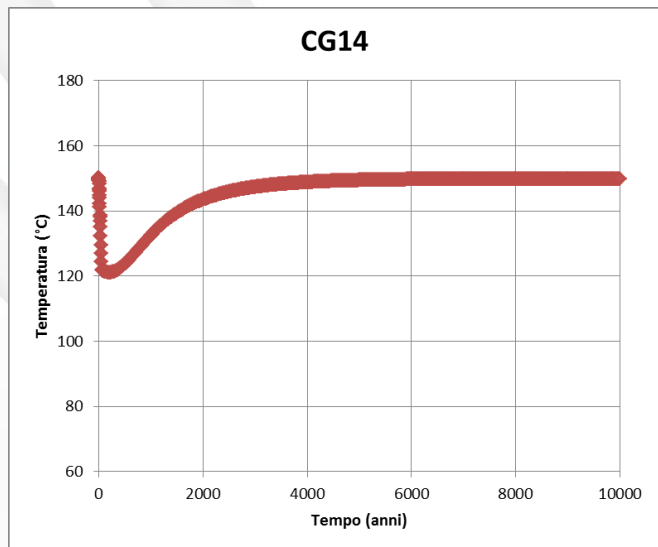
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#2: pozzi di re-iniezione



Sovrapressioni pari a **5.5 bar** corrispondenti al **2%** del valore di pressione iniziale.



Iniezione a **80°C**

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#1:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **300 m**

### Scenario#2:

- tempo di produzione: **50 anni**
- durata simulazione: **10000 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **1050 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

### Scenario#3:

- tempo di produzione e durata simulazione: **50 anni**
- portata totale di fluido estratto e re-iniettato: **2100 t/h**
- lunghezza attiva pozzi produttivi e re-iniettivi: **500 m**

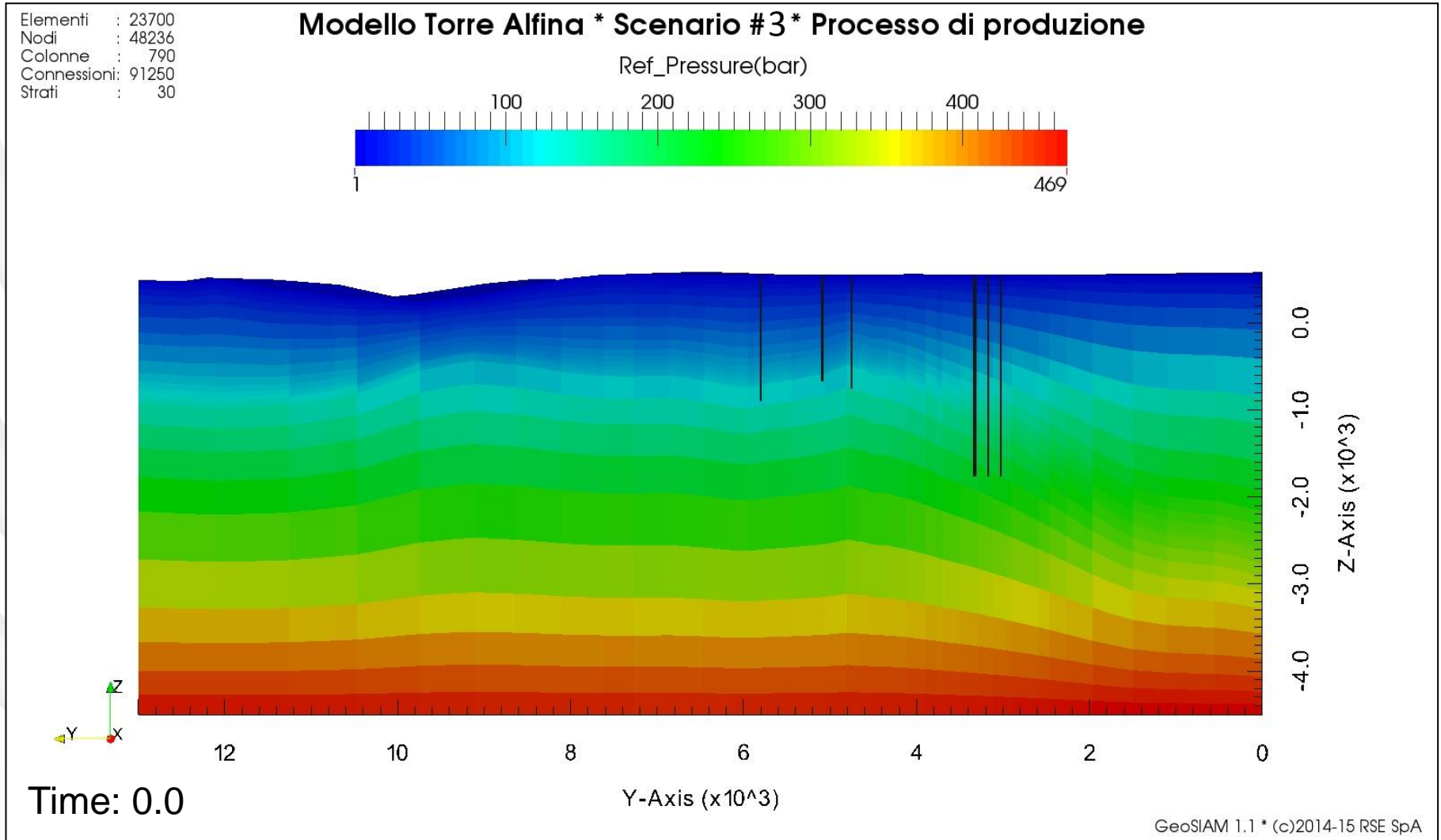
Valori monitorati:

- in corrispondenza dei pozzi



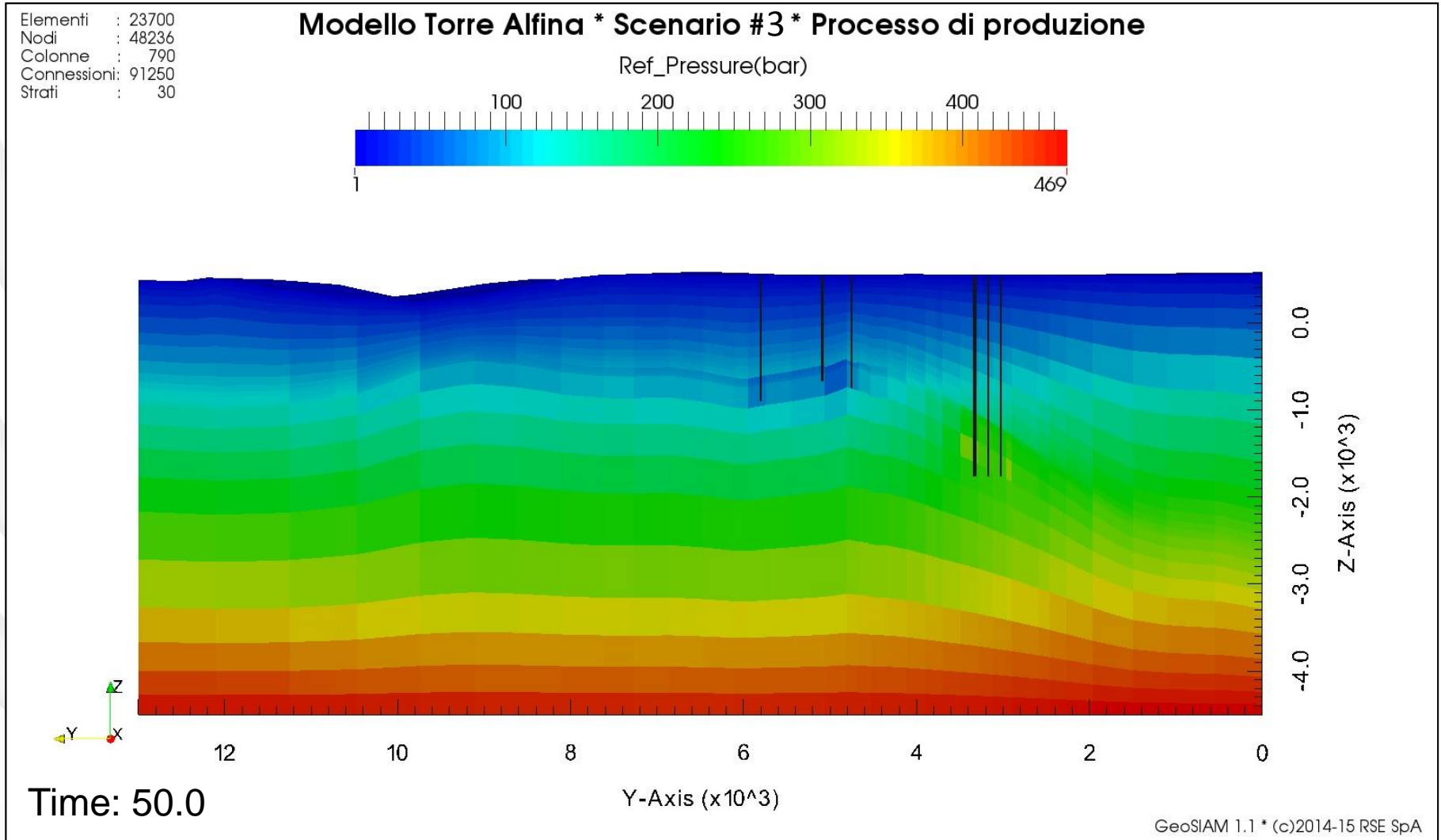
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



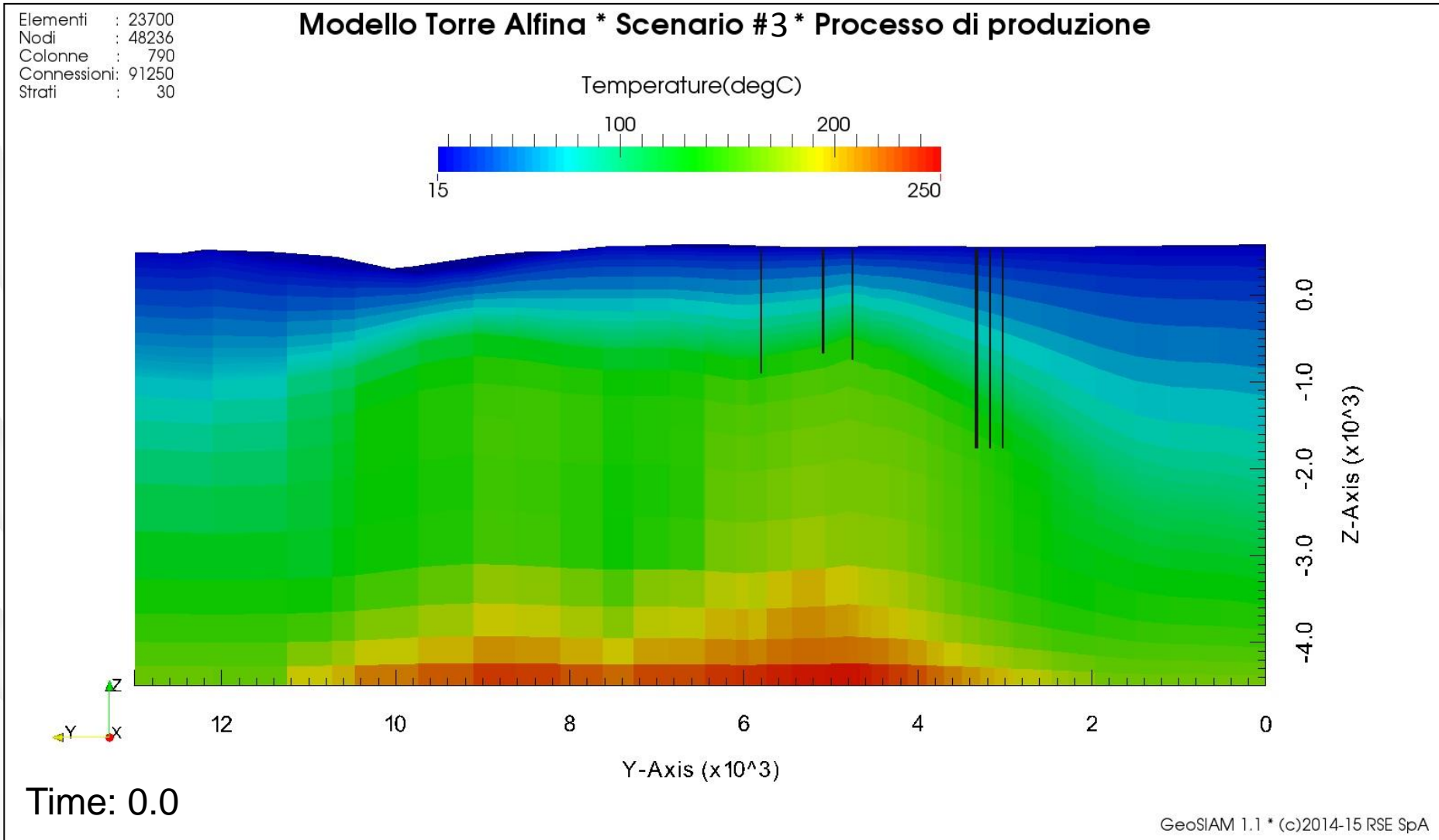
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



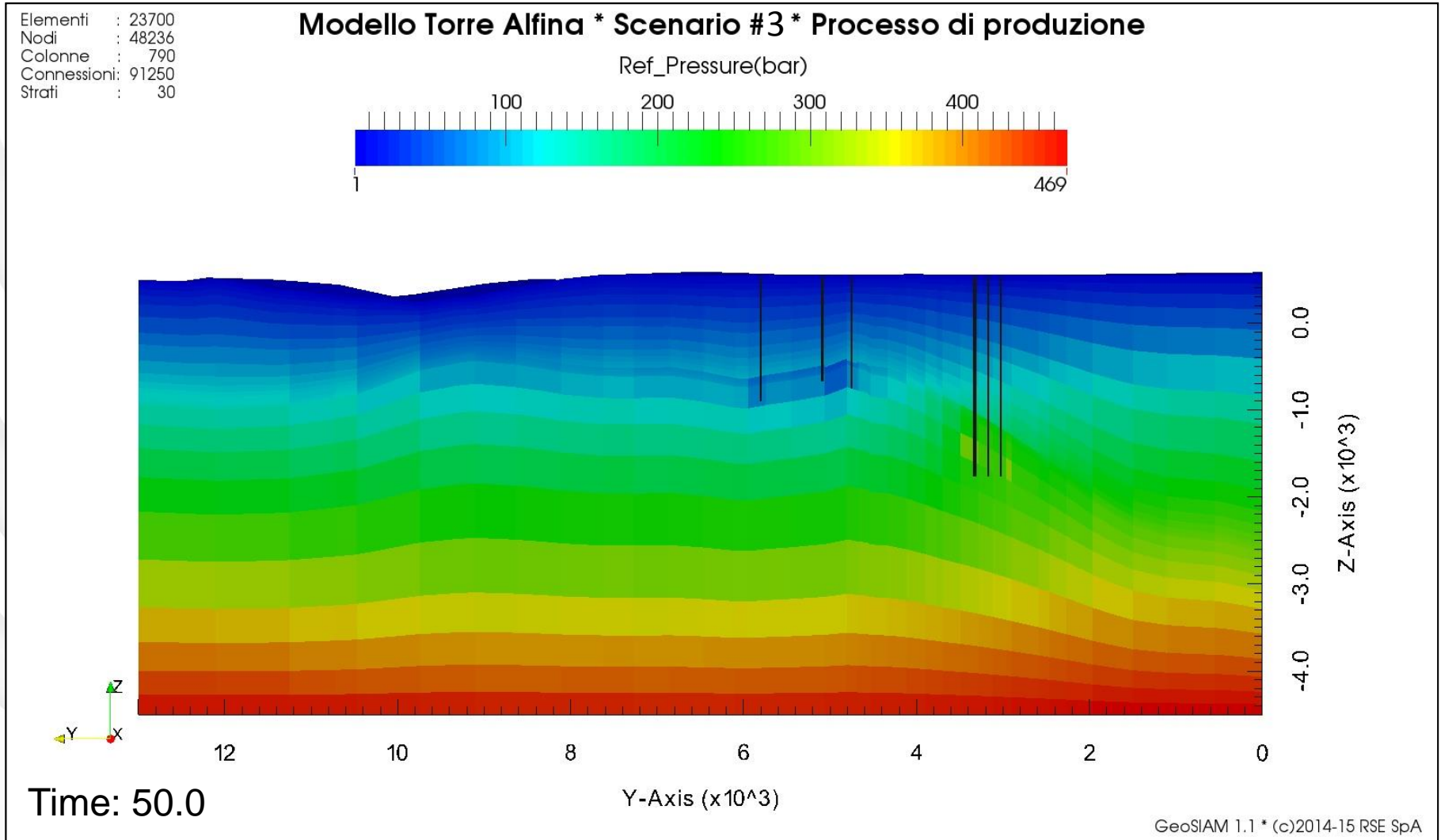
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



# Simulazione numerica fluidodinamica

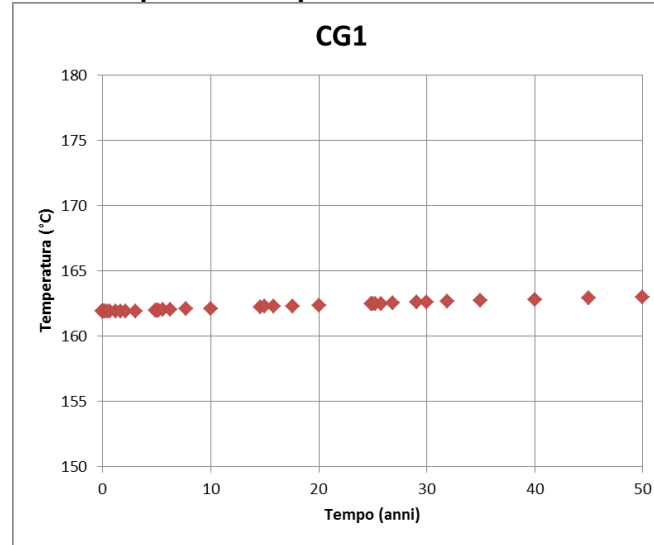
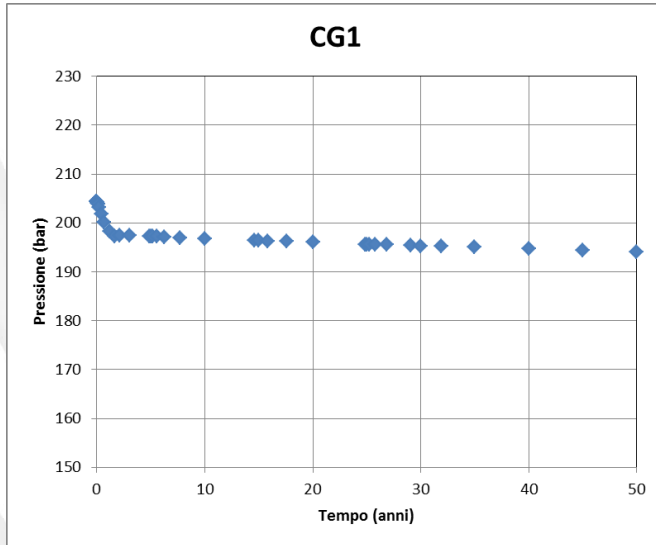
## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione



# Simulazione numerica fluidodinamica

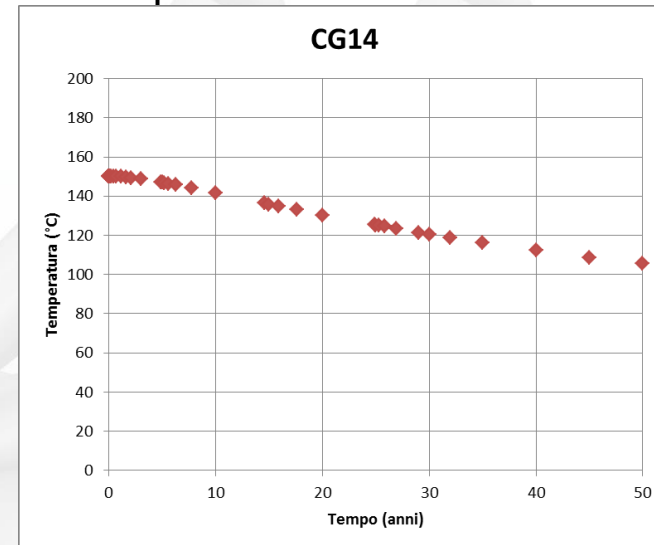
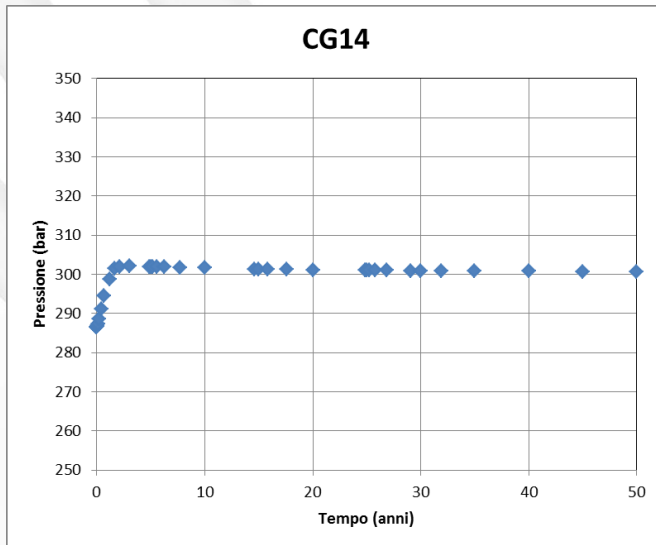
## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

### Scenario#3: pozzi di produzione



Depresurizzazione  
pari a **10 bar**  
corrispondenti a **~5%**  
del valore di pressione  
iniziale.  
Incremento della  
temperatura **<2°C**

### Scenario#3: pozzi di re-iniezione



Sovrapressioni  
raggiungono i **16 bar**  
pari a **~5%** del valore  
di pressione iniziale.

# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

Altri **test** eseguiti variando la distanza tra pozzo di iniezione ed estrazione

### Test 1:

- pozzo produttivo: **CG1**
- pozzo re-iniettivo: posizionato **300 m** a Sud del pozzo produttivo

### Test 2:

- pozzo produttivo: **CG1**
- pozzo re-iniettivo: posizionato **600 m** a Sud del pozzo produttivo

### Test 3:

- pozzo produttivo: **CG1**
- pozzo re-iniettivo: posizionato **1000 m** a Sud del pozzo produttivo

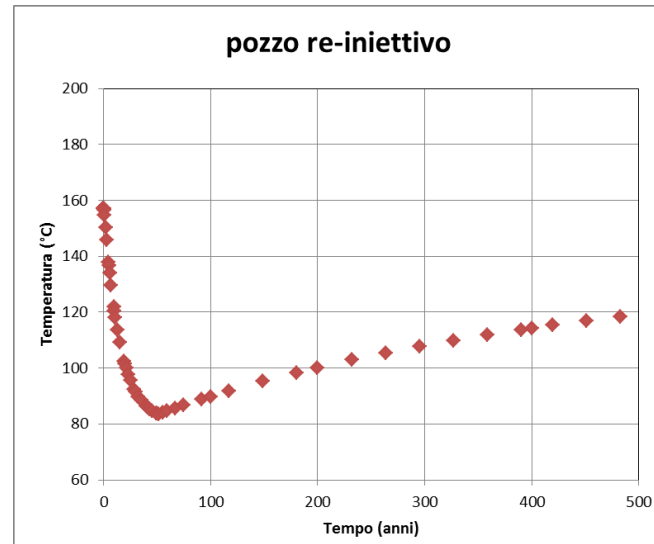
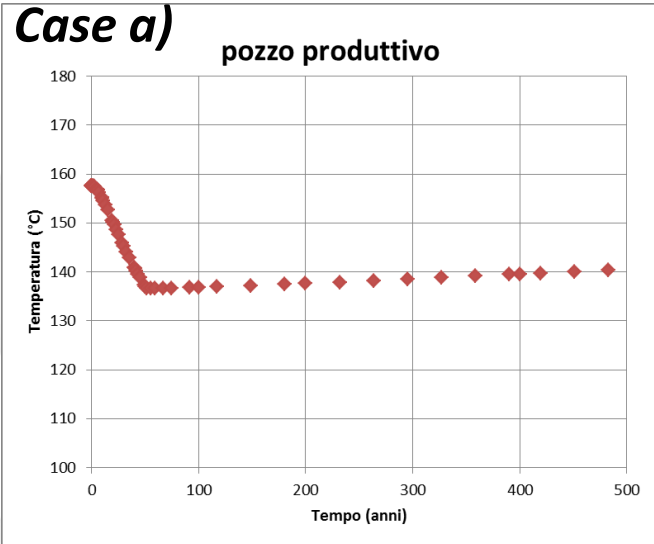
Per ciascun test sono stati realizzati **due casi**:

- a) estrazione e re-iniezione alla *stessa quota* (~ 900 m di profondità verticale)
- b) estrazione (~ 900 m di profondità verticale) re-iniezione *più profonda* (~ 1800 m di profondità verticale)

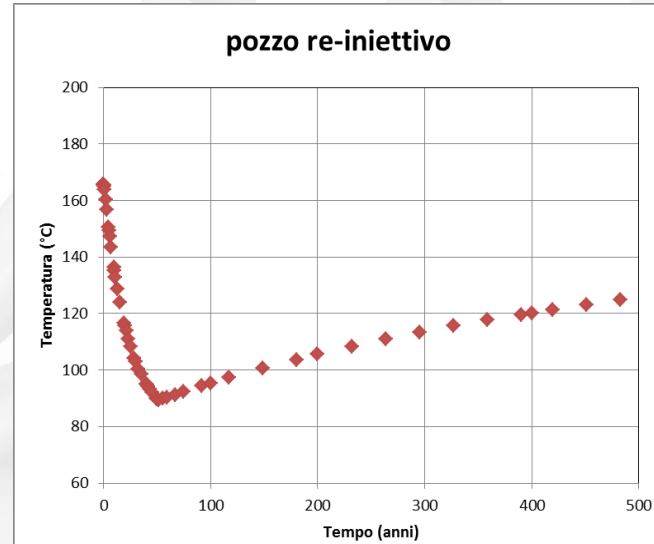
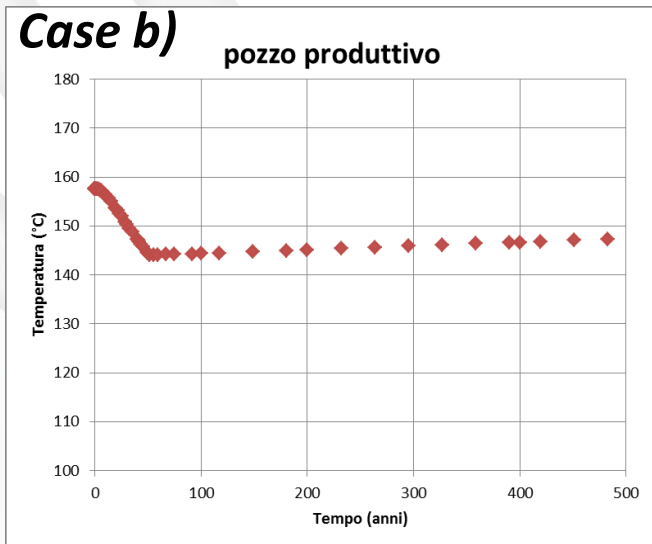
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

**Test 1** pozzo produttivo CG1; pozzo re-iniettivo 300 m a Sud del pozzo produttivo



Nel pozzo produttivo  $T < 20^\circ\text{C}$

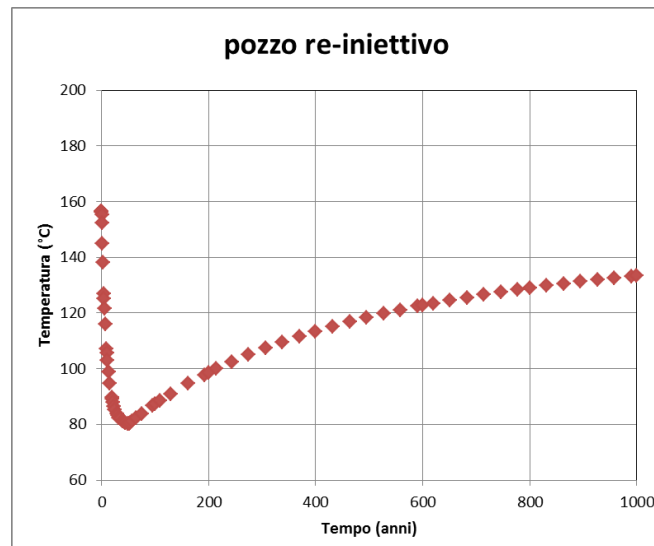
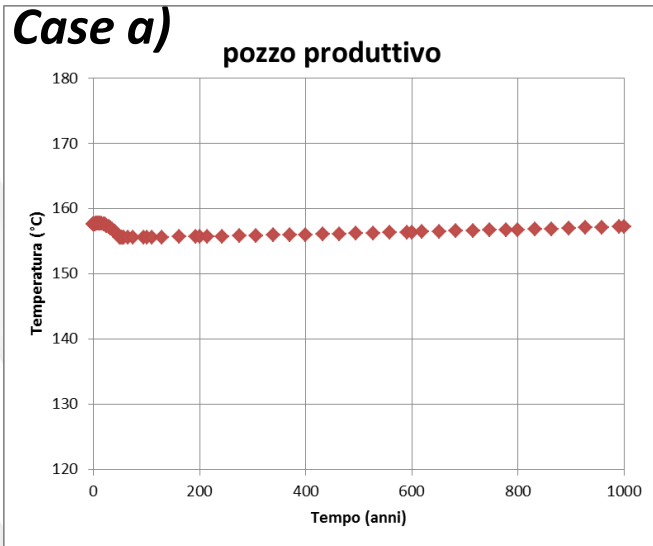


Nel pozzo produttivo  $T < 11^\circ\text{C}$

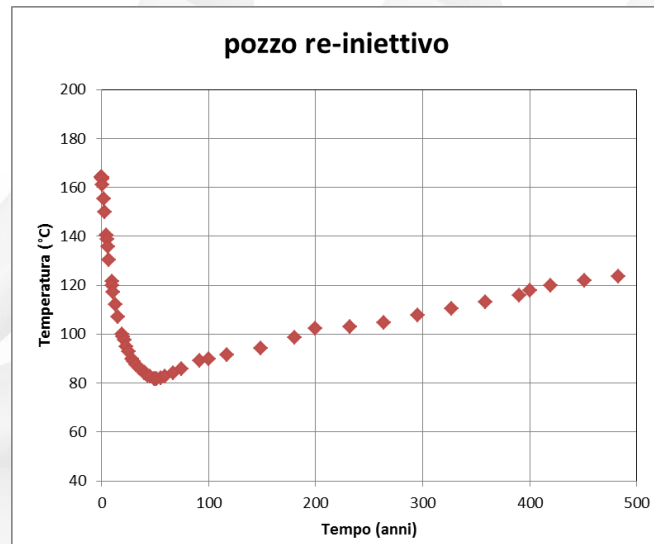
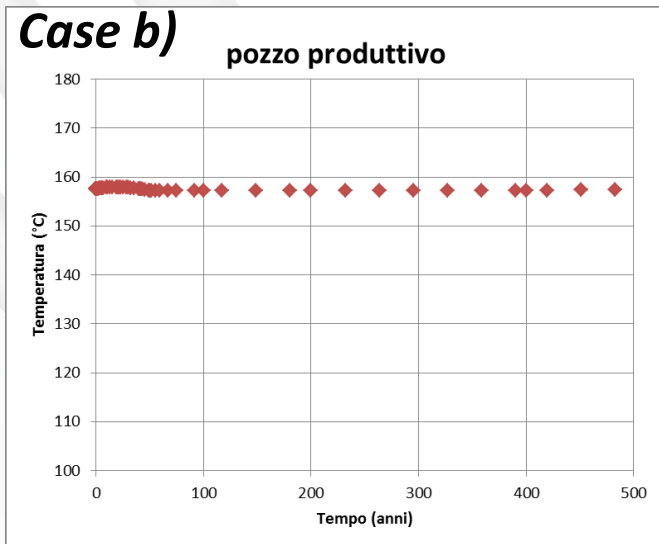
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

**Test 2** pozzo produttivo CG1; pozzo re-iniettivo 600 m a Sud del pozzo produttivo



Nel pozzo produttivo  $T < 2^{\circ}\text{C}$



Nel pozzo produttivo  $T < 0.4^{\circ}\text{C}$



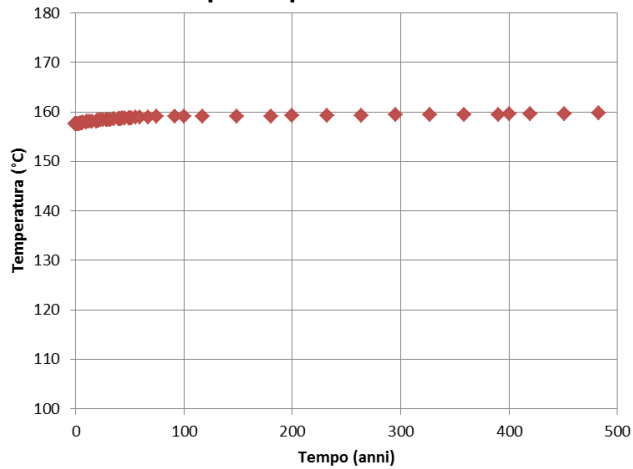
# Simulazione numerica fluidodinamica

## 3. Simulazione degli effetti indotti dal processo di produzione

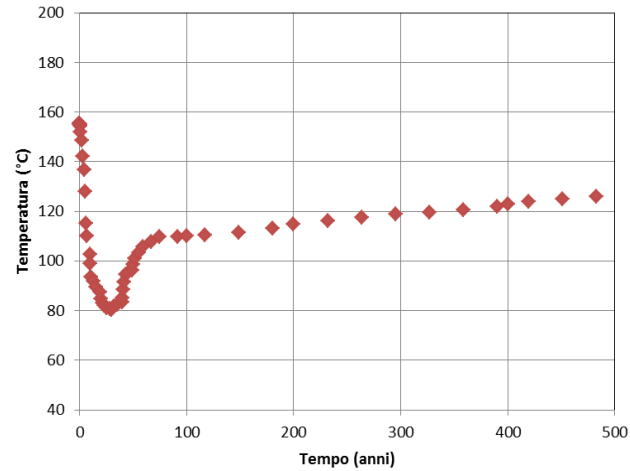
**Test 2** pozzo produttivo CG1; pozzo re-iniettivo 1000 m a Sud del pozzo produttivo

**Case a)**

pozzo produttivo



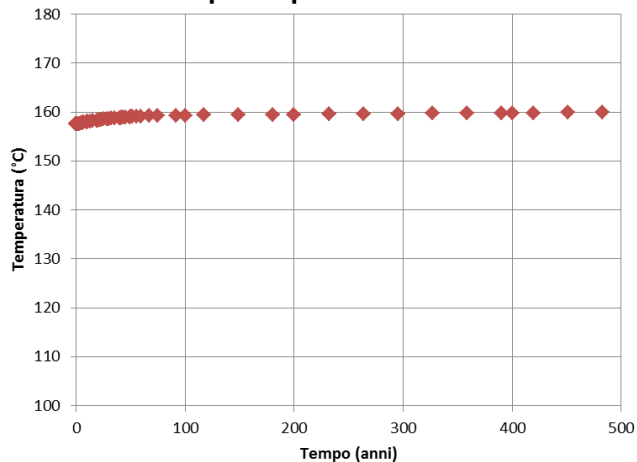
pozzo re-iniettivo



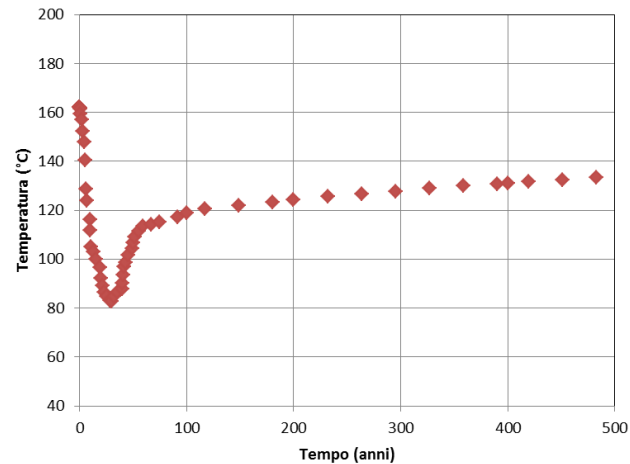
Nel pozzo produttivo  $T > 2.5^{\circ}\text{C}$

**Case b)**

pozzo produttivo



pozzo re-iniettivo



Nel pozzo produttivo  $T > 2.5^{\circ}\text{C}$

# Considerazioni riassuntive

---

- *I dati geologici e geofisici disponibili hanno consentito di realizzare un accurato modello geologico statico 3D e relativa mesh che riproduce fedelmente la strutturazione profonda del campo geotermico*
- *E' stato realizzato numericamente lo stato naturale del campo geotermico e della relativa cella convettiva con un ottimo riscontro fra i dati sperimentali di P e T in pozzo e quelli calcolati (tempo di simulazione: 1.000.000 di anni)*
- *Per la realizzazione dello stato naturale è stata considerata la presenza di vapore e CO<sub>2</sub> utilizzando il modulo di stato Eos2*
- *Gli scenari di estrazione e reiniezione totale nel serbatoio dei fluidi geotermici con portata di 1050 T/h (n. 5 pozzi di produzione e n. 4 pozzi di iniezione) per 50 anni dimostrano la sostenibilità della produzione geotermoelettrica (5 MWe) con modesti effetti sulla sovra-pressione e depressione nel serbatoio geotermico*
- *Analoghi risultati si ottengono mantenendo la stessa configurazione dei pozzi ma raddoppiando i volumi dei fluidi a 2100 T/h*