



*Università degli Studi di Trieste*

*Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile*

*Curriculum Ambientale*

*Tesi di Laurea in: Idrogeologia e sfruttamento dei fluidi*

# **CARATTERIZZAZIONE DEL SERBATOIO GEOTERMICO DI GRADO (GO) DOPO LA PERFORAZIONE DEL SECONDO POZZO**

*Laureanda: Antonella Schiavone*

*Relatore: Prof. Bruno Della Vedova*

A.A. 2013/2014

# OBIETTIVI:

- Analizzare e integrare i dati raccolti nell'ambito del **progetto Geotermia Grado**
- **Caratterizzare** il *reservoir carbonatico di Grado* → *modello 3D*
- Stimare la **potenzialità** di una porzione del sistema

# SOMMARIO

**1. PROGETTO GEOTERMIA GRADO**

**2. CARATTERIZZAZIONE**

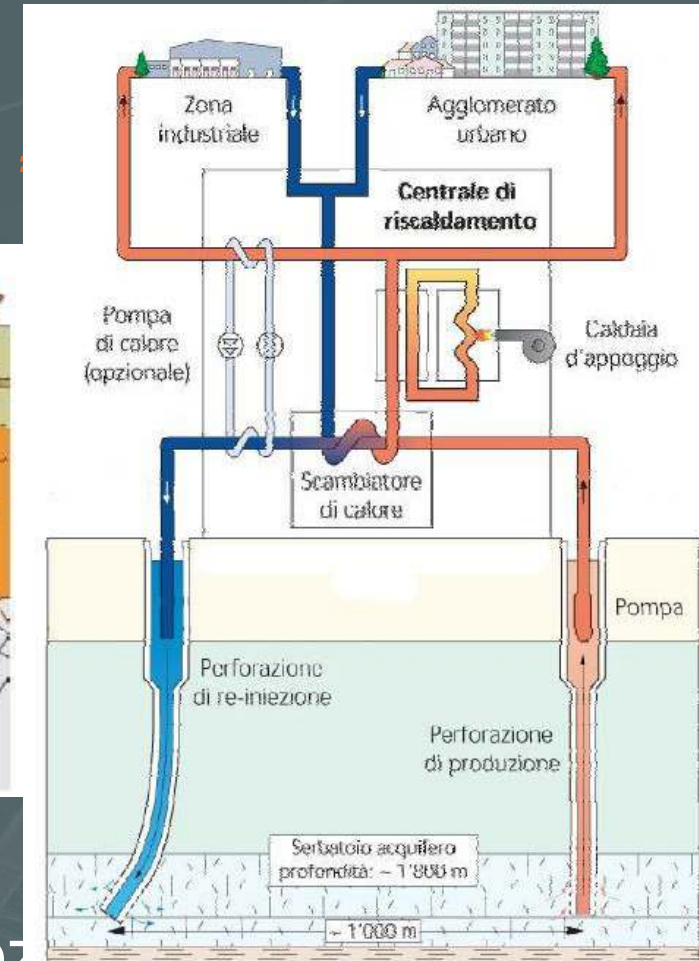
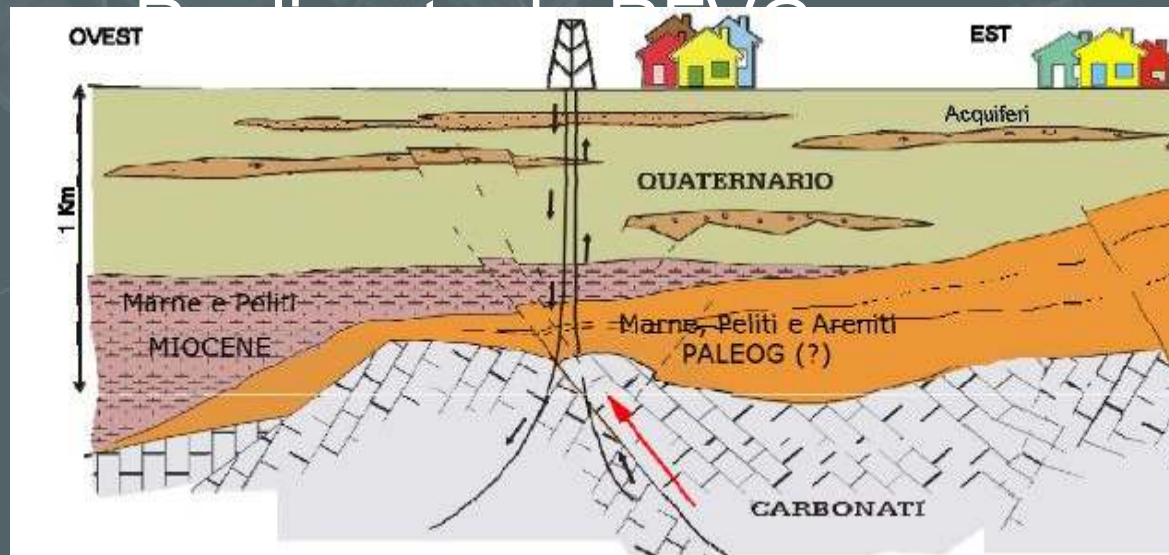
**3. STIMA POTENZIALITA' DEL SISTEMA**

**4. RISULTATI E VALUTAZIONI**

# PROGETTO GEOTERMIA GRADO

Realizzazione di un impianto pilota di teleriscaldamento per edifici pubblici mediante 2 pozzi (fondi europei)

I fase (2002-2008 - 2,5 milioni di €)



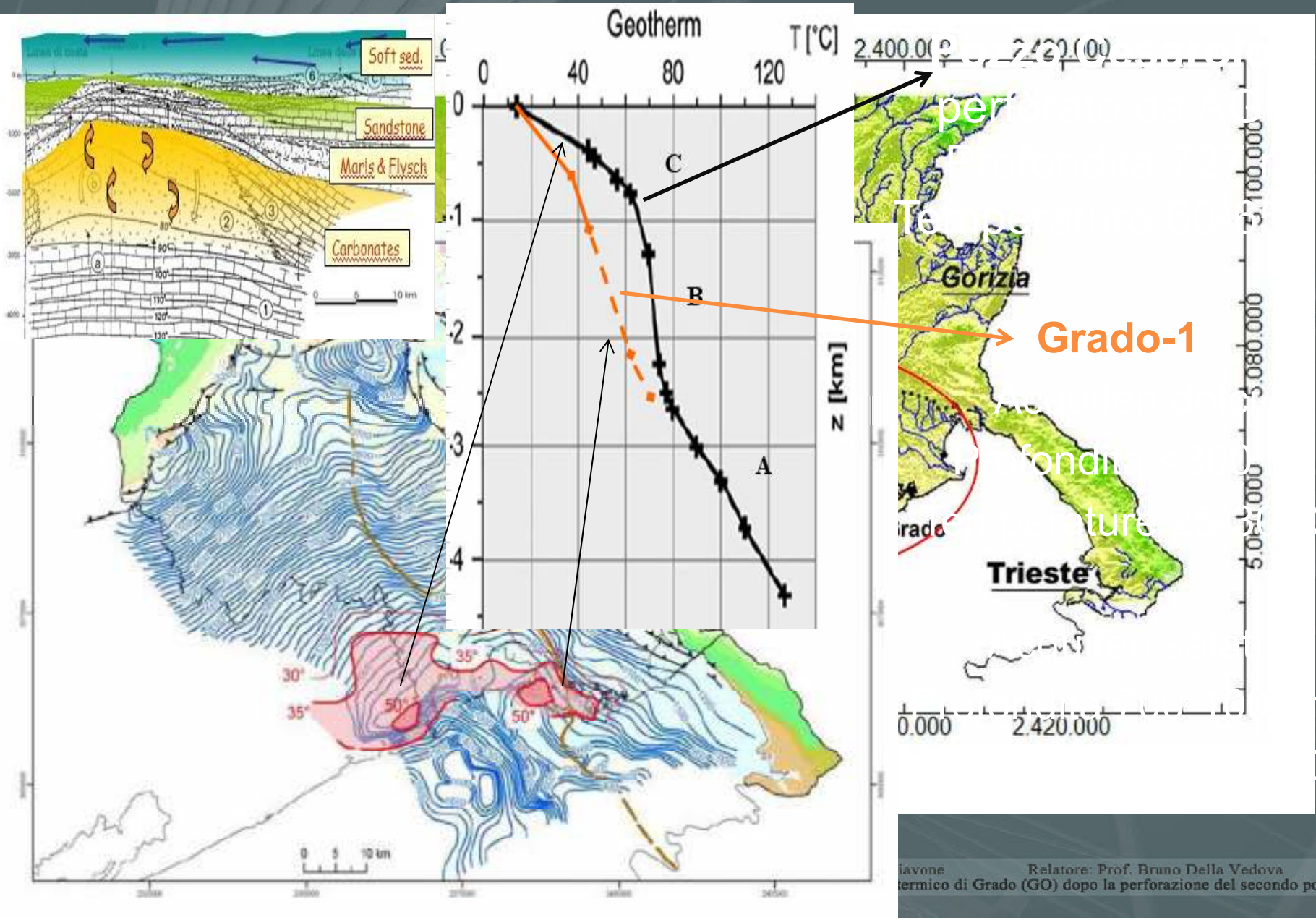
- Utilizzo ottimale della risorsa
- Indagini geofisiche, secondo pozzi

# RISORSA GEOTERMICA SOTTERRANEA

## Perché a Grado?

- **Esiste una vasta area di interesse geotermico:**  
presenza di acquiferi superficiali e strutture favorevoli allo sviluppo di un *reservoir* geotermico
- **Contributi DOCUP-2**
- **Città balneare con utilizzi diversificati**

# TERMALISMO NEGLI ACQUIFERI ARTESIANI



# SOMMARIO

***1. PROGETTO GEOTERMIA GRADO***

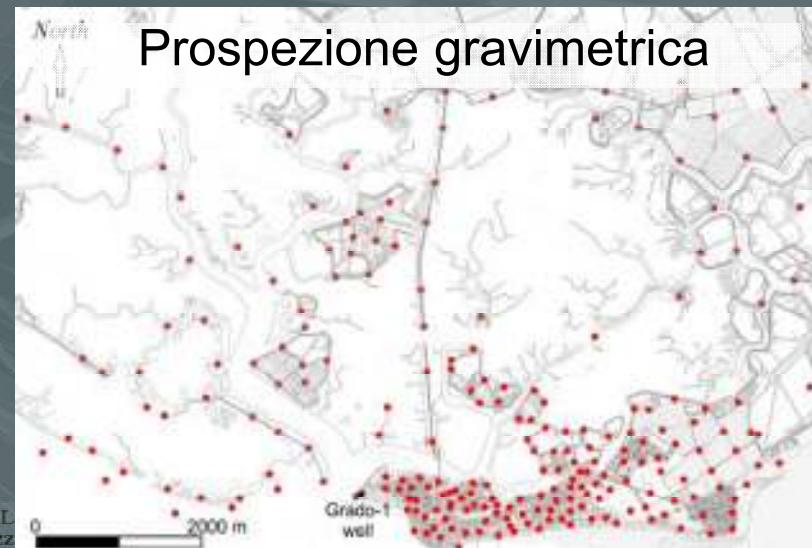
***2. CARATTERIZZAZIONE***

***3. STIMA POTENZIALITA' DEL SISTEMA***

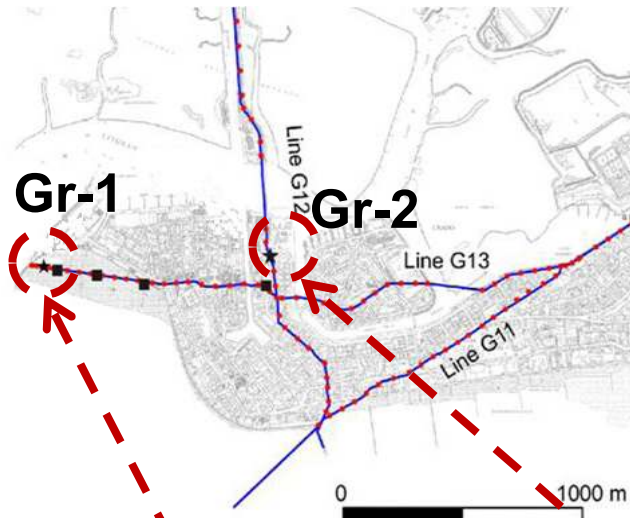
***4. RISULTATI E VALUTAZIONI***

# INDAGINI PRECEDENTI ALLA PERFORAZIONE

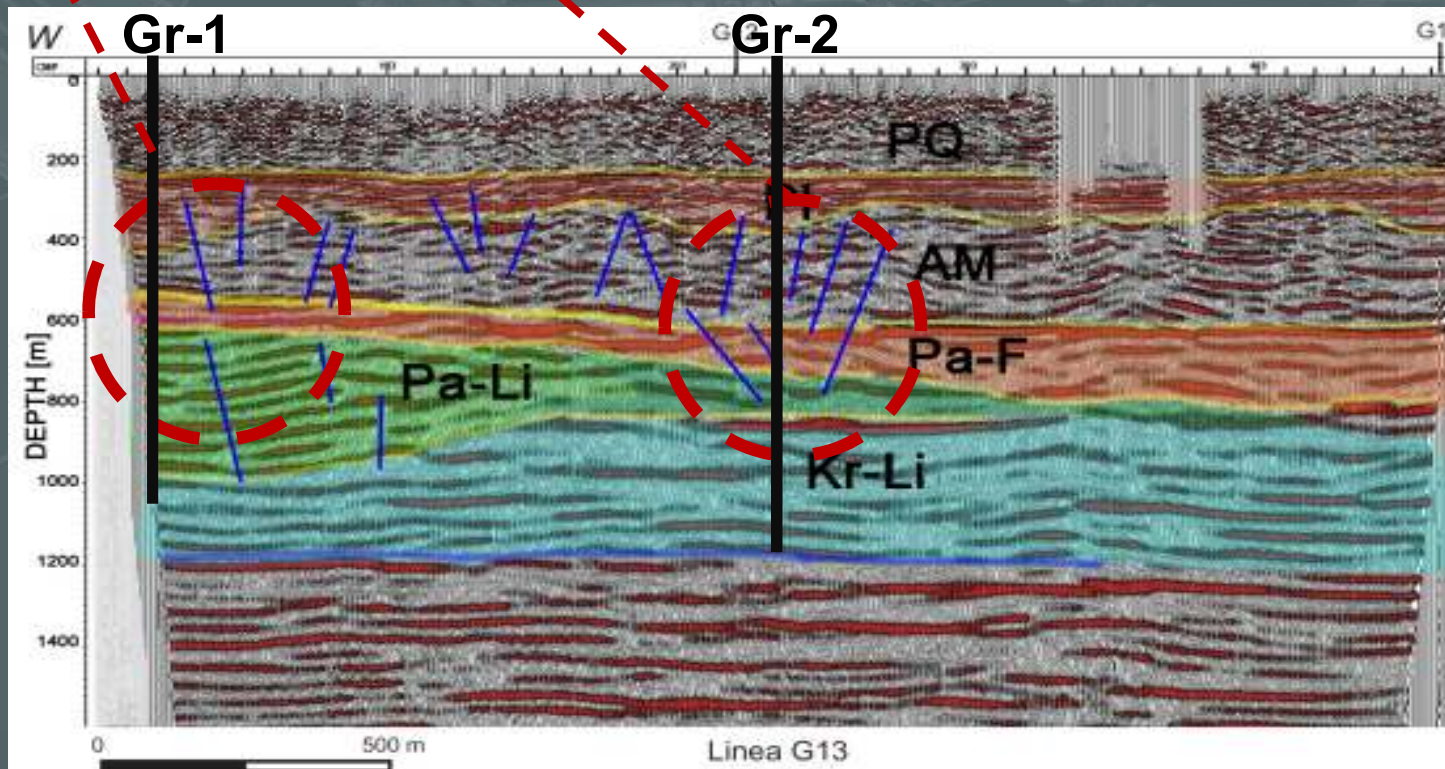
Individuazione delle zone  
più adatte al posizionamento  
dei due pozzi







- ▶ Riconoscimento dei cambiamenti nelle proprietà elastiche delle rocce
- ▶ Individuazione, a grande scala, di una rete aperta e diffusa di fratture
- ▶ **Ubicazione dei pozzi in corrispondenza delle zone fratturate**



# PERFORAZIONE



Impianto a circolazione inversa  
30-272 m

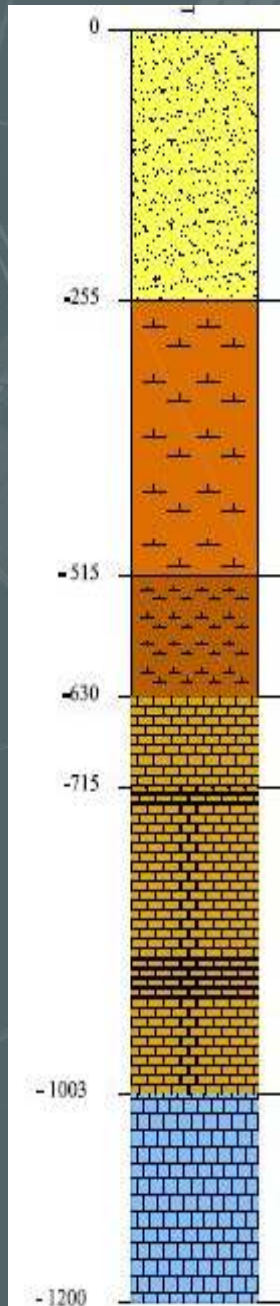


Impianto a circolazione diretta  
(con BOP da 5000 psi)  
272-1200 m



Impianto a circolazione diretta  
1108 m

# STRATIGRAFIA



0-255 m  
Sedimenti  
sabbie, limi

255-630 m  
Marne e arenarie

630-1003  
Calcari del Paleogene

1003-1200 m  
Calcari del Cretacico

Carote prelevate in Gr-1



CORE 1: 791 m  
Calcari a Nummuliti  
ed Alveoline



CORE 2: 1005 m  
Calcari bianchi di  
Aurisina

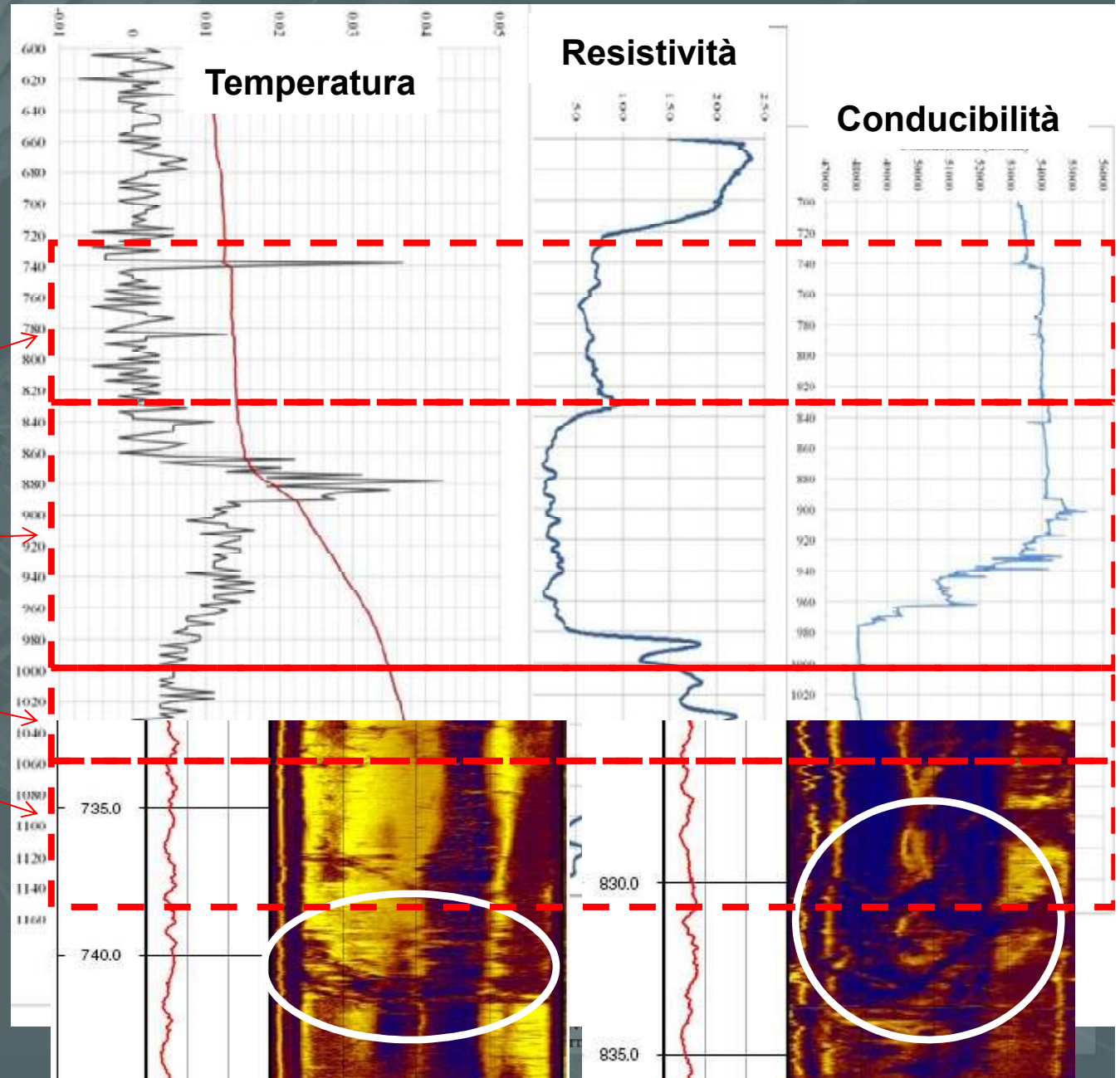
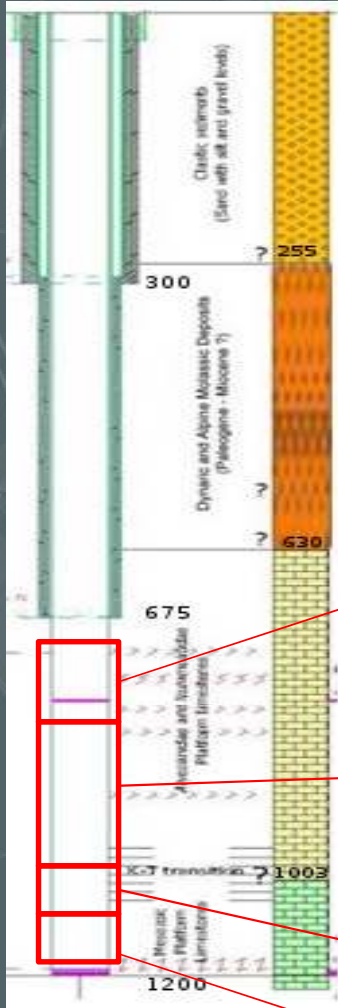
# LOGS

Esecuzione di logs geofisici nella sezione non rivestita della piattaforma carbonatica



- ❖ Acquisizione di parametri fisici del serbatoio geotermico
- ❖ Individuazione di diversi sistemi di circolazione all'interno della formazione

# LOGS GEOFISICI



**Tratto 800-830m**

- è un campo di fratture  
 - reservoir geotermico  
 - sistema ad apertura  
 -  $C_{app} = 18-49 \text{ mS/cm}$   
 - importanti fratture  
 -  $T > 49^\circ\text{C}$

# SOMMARIO

**1. PROGETTO GEOTERMIA GRADO**

**2. CARATTERIZZAZIONE**

**3. STIMA POTENZIALITA' DEL SISTEMA**

**4. RISULTATI E VALUTAZIONI**

# PROVE DI PORTATA

- I prova: agosto 2014
- II prova: novembre 2014

Parametri monitorati:

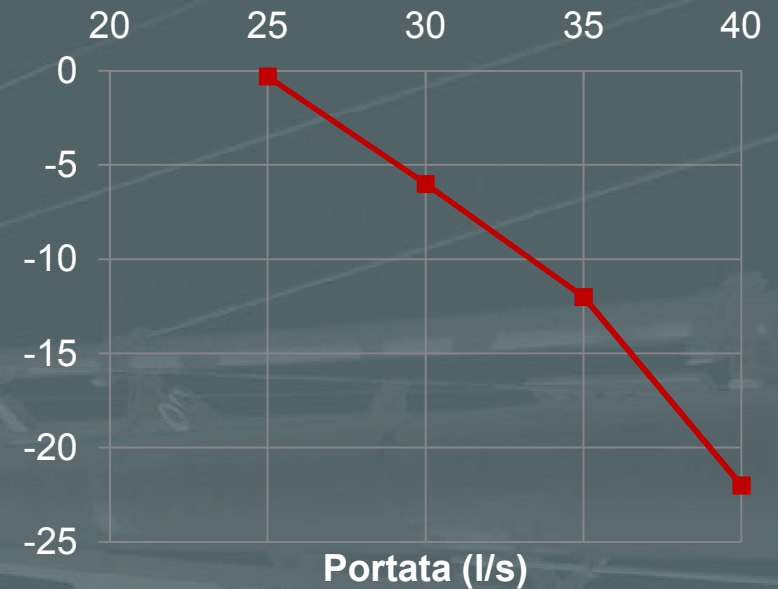
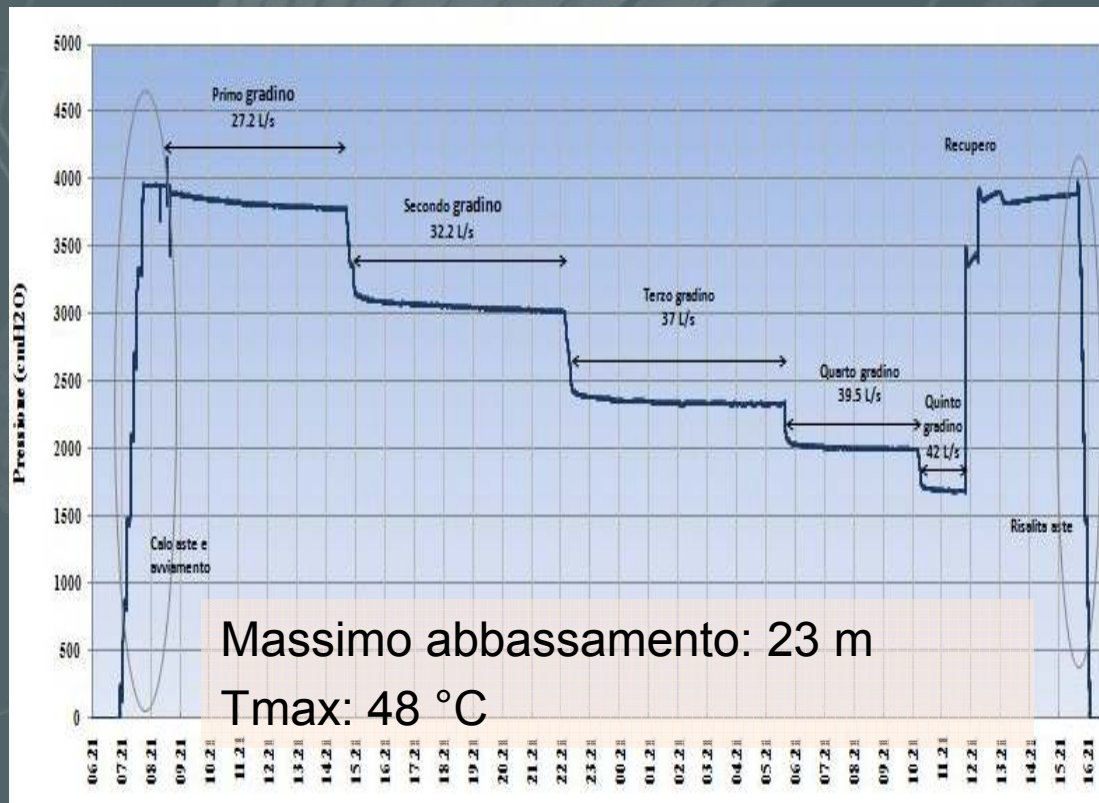
- carico idraulico
- temperatura
- conducibilità



mediante 2 CTD-Diver



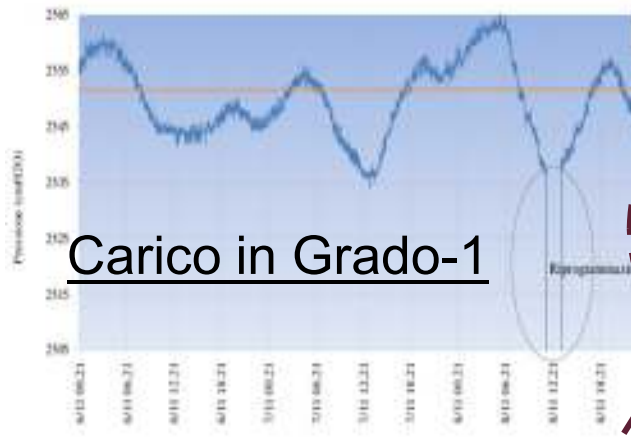
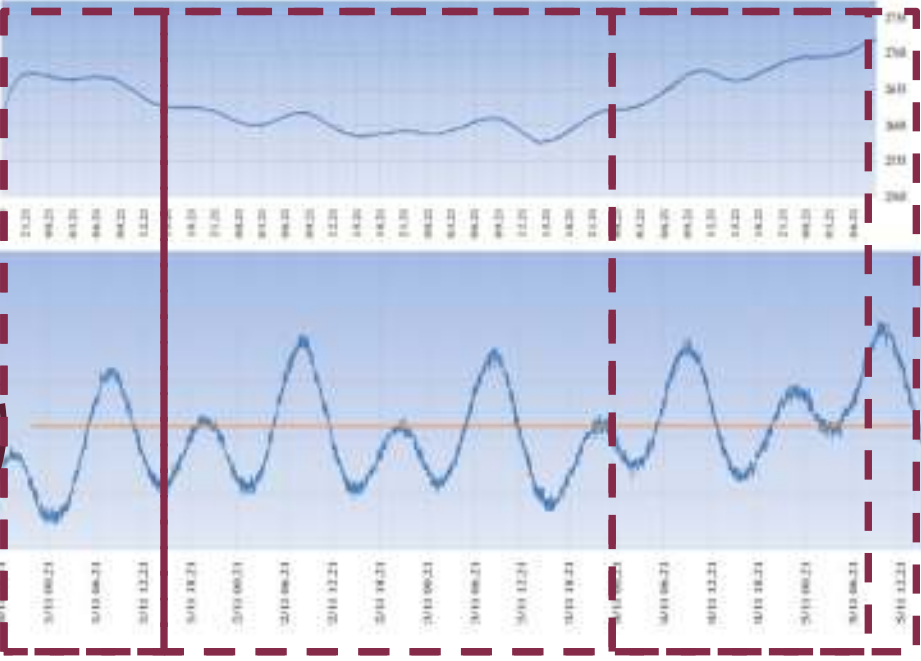
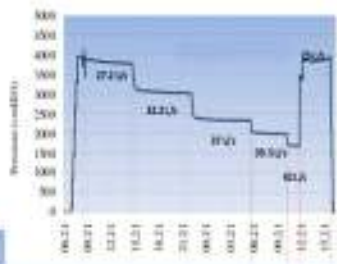
# SECONDA PROVA (19/11 e 20/11)



- **Portata spontanea:** 27,2 l/s (~100 ton/ora)
- **Potenza:** 2,3 MW<sub>th</sub>
- **Portata sostenibile:** 35 l/s (~126 ton/ora)
- **Potenza:** 3 MW<sub>th</sub>



Carico in Grado-2 →



Carico in Grado-1

Segnali in fase

Carico statico dell'acquifero carbonatico  
profondo modulato dalle maree

Marea Trieste



Marea Grado



# SOMMARIO

**1. PROGETTO GEOTERMIA GRADO**

**2. CARATTERIZZAZIONE**

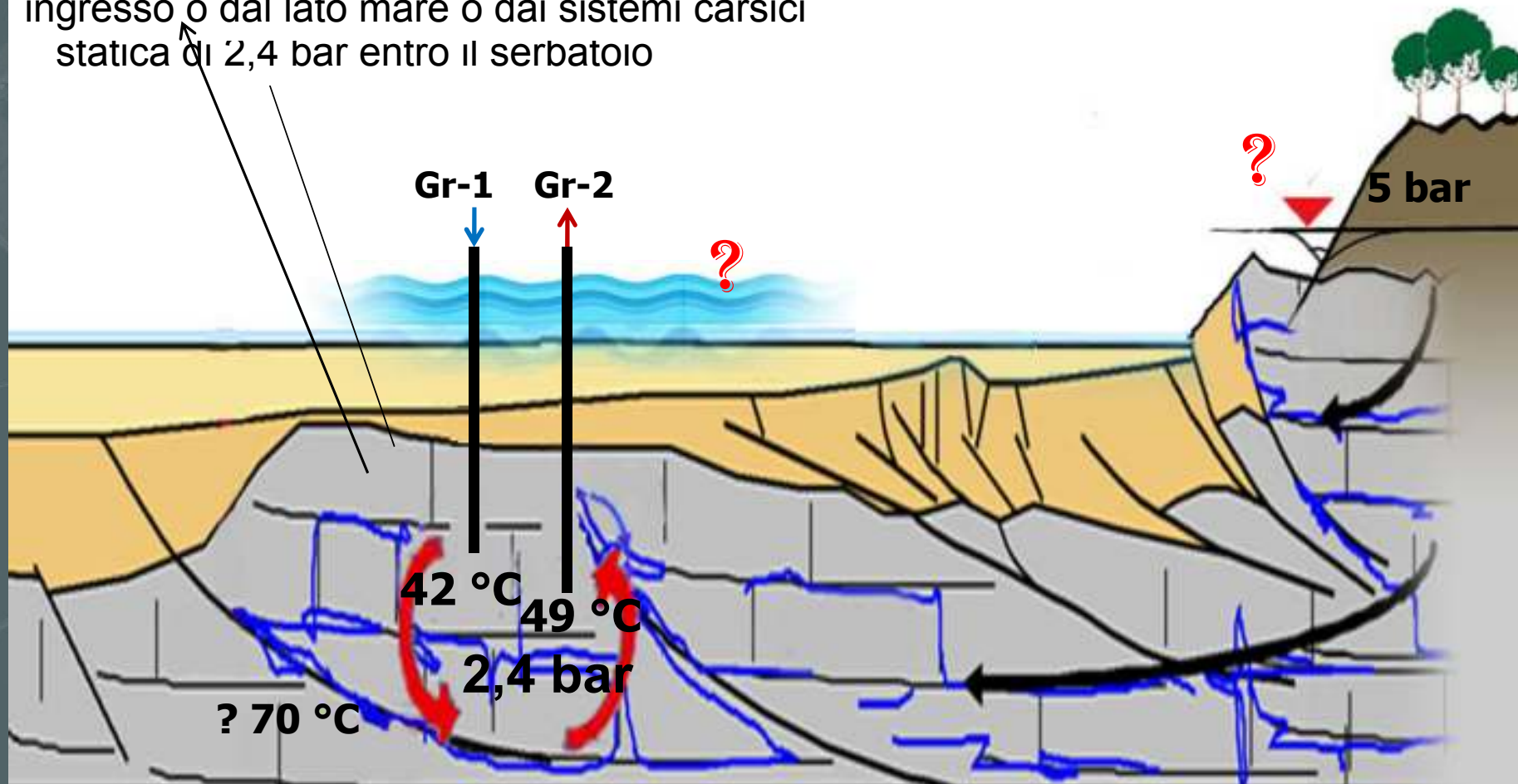
**3. STIMA POTENZIALITA' DEL SISTEMA**

**4. RISULTATI E VALUTAZIONI**

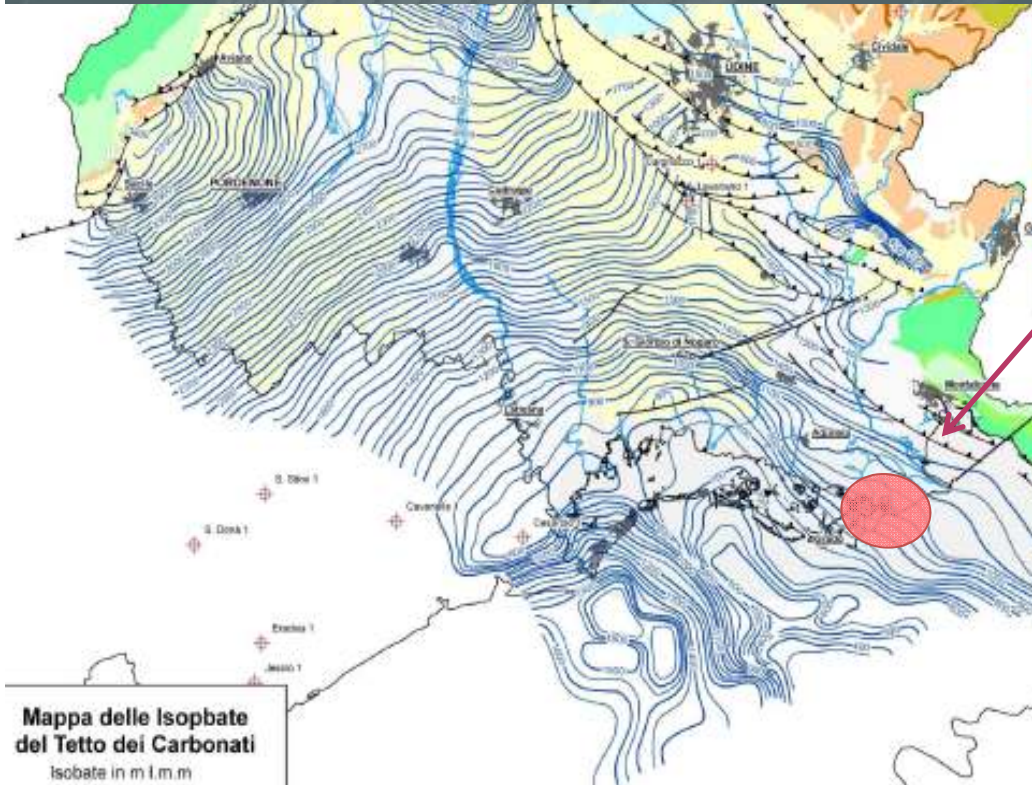
# MODELLO CONCETTUALE RISULTANTE

Acque fossili - Il serbatoio è in condizioni di equilibrio dinamico in assenza di forzanti esterne

Senza re-immissione si imporrebbe un flusso in uscita - ricarica in ingresso o dal lato mare o dai sistemi carsici statica di 2,4 bar entro il serbatoio



# MODELLO CONCETTUALE RISULTANTE



A: 50 km<sup>2</sup>  
s: 1,5-2 km

Vt: 75-100 km<sup>3</sup>

85% Vt: rocce massicce,  $n_e$  0,1%

5% Vt: fratture rilevanti,  $n_e$  10%

10% Vt: zone debolmente  
fratturate,  $n_e$  1%

Volume d'acqua entro i calcari: 0,55 km<sup>3</sup>  
(6\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> acqua / km<sup>3</sup> ammasso)

# POTENZIALITA'

Pozzo di estrazione Grado-2:

$Q = 27,2 \text{ l/s}$ ,  $T = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$    $P = 2,3 \text{ MW}_{\text{th}}$

Pozzo di re-immissione Grado-1

- **Potenzialità energetica teorica:**  $20\,000 \text{ MWh}_{\text{th}}$  (24 h x 12 mesi)  
 $1\,700 \text{ TEP/a} \rightarrow 11\,630 \text{ barili/a}$  (60 \$/barile)  $\rightarrow 700\,000 \text{ \$/a}$  (646 000 €/a)
- **Uso previsto energia termica:**  $5\,000 \text{ MWh}_{\text{th}}$  (12 h x 6 mesi)  
 $425 \text{ TEP/a} \rightarrow 2\,900 \text{ barili/a}$  (60 \$/barile)  $\rightarrow 175\,000 \text{ \$/a}$  (161 500 €/a)
- **Fattore di carico:** 0,25
- **Vita impianto:** 30 a

**→ Sarebbe opportuno incrementare l'utilizzo mediante  
allacciamento di ulteriori edifici  
applicazioni aggiuntive durante il periodo estivo**

- **Impianto pilota:**  $0,8 \cdot 10^6 \text{ €}$  ricerca,  $1,5 \cdot 10^6 \text{ €}$  rete,  $2,1 \cdot 10^6 \text{ €}$  pozzi,  $0,6 \cdot 10^6 \text{ €}$  oneri progettazione

# LIMITI E SVILUPPI FUTURI

1. Ulteriori indagini geofisiche per ricostruire strutture e zone di deformazione

(progettazione estensione della rete e perforazione di un eventuale altro pozzo)

2. Proseguire studio riguardante modulazione del carico ad opera delle maree

(individuazione area con la quale il serbatoio è connesso)

3. Ulteriori analisi chimiche sulle acque

(maggiori informazioni su origine e miscelamento)

4. Ottimizzare la gestione della risorsa

Valutazione tempi di ricarica e sostenibilità relativi ad un utilizzo continuato dell'impianto, mediante:

- modelli numerici
- monitoraggio dei parametri in fase di utilizzo dell'impianto



**FINE**

**Grazie per l'attenzione**

# INDAGINI PRECEDENTI ALLA PERFORAZIONE DEL POZZO GRADO 2

2012 nuove indagini geofisiche

Principali obiettivi:

1. Estendere su scala più ampia i dati ricavati grazie alla perforazione del pozzo Grado-1
2. Ottenere informazioni riguardanti la distribuzione spaziale delle fratture
3. Scegliere la collocazione più adeguata per il pozzo Grado-2



# INDAGINI PRECEDENTI ALLA PERFORAZIONE DEL POZZO GRADO 2

## ➤ Sismica a riflessione

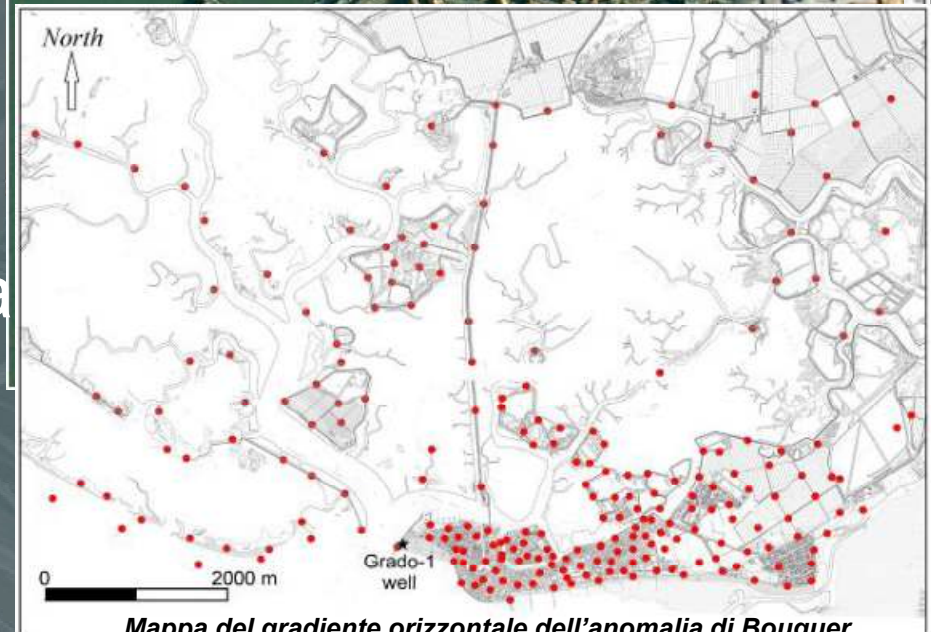
Acquisizione lungo tre linee:  
G11 (2,4 km), G12 (2,6 km), G13 (2,4km)

## ➤ Sismica down-hole

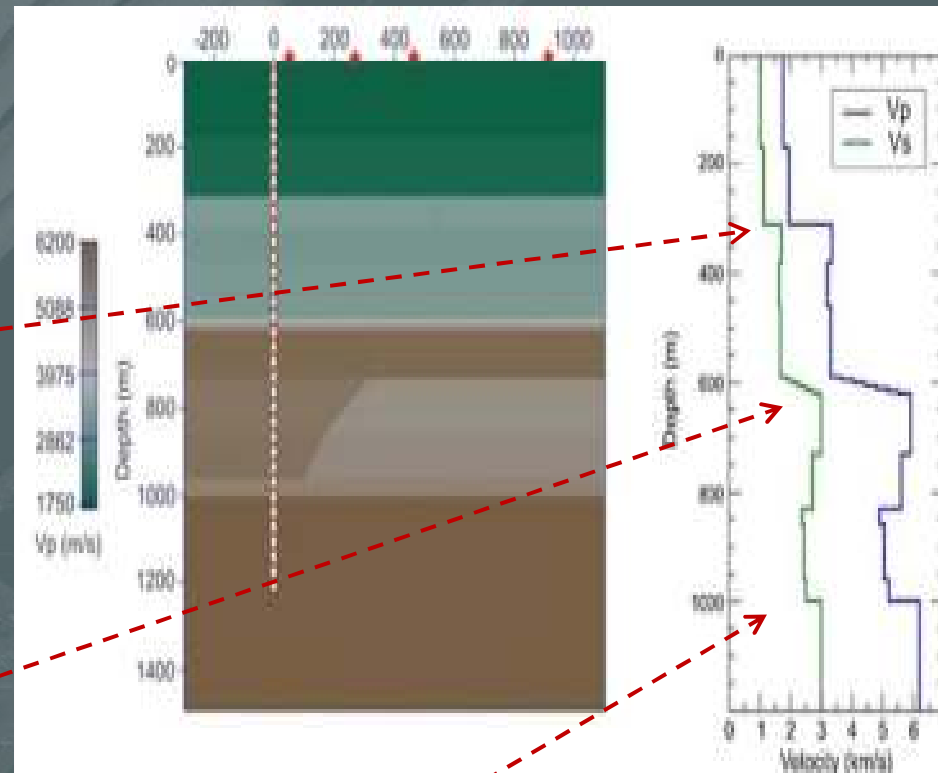
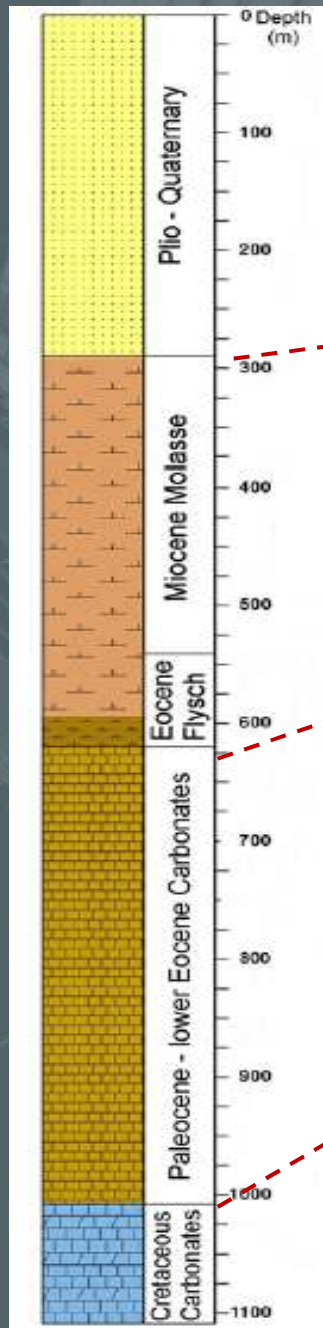
Generazione onde in superficie  
e acquisizione in GR1

## ➤ Prospezione gravimetrica

Acquisizione valori puntuali accelerazione  
di gravità nelle stazioni esistenti  
e nuove acquisizioni lungo linee sismiche



**Mapa del gradiente orizzontale dell'anomalia di Bouguer**



## Modello ottenuto mediante analisi dei tempi di percorrenza di onde P ed S

Mostra 3 brusche variazioni di velocità:

- ▶ 300m: passaggio da sedimenti Plio Quaternario alle marne e arenarie del Eocene-Miocene
- ▶ 618m: passaggio alla piattaforma carbonatica del Paleogene
- ▶ 1007m: passaggio ai carbonati mesozoici

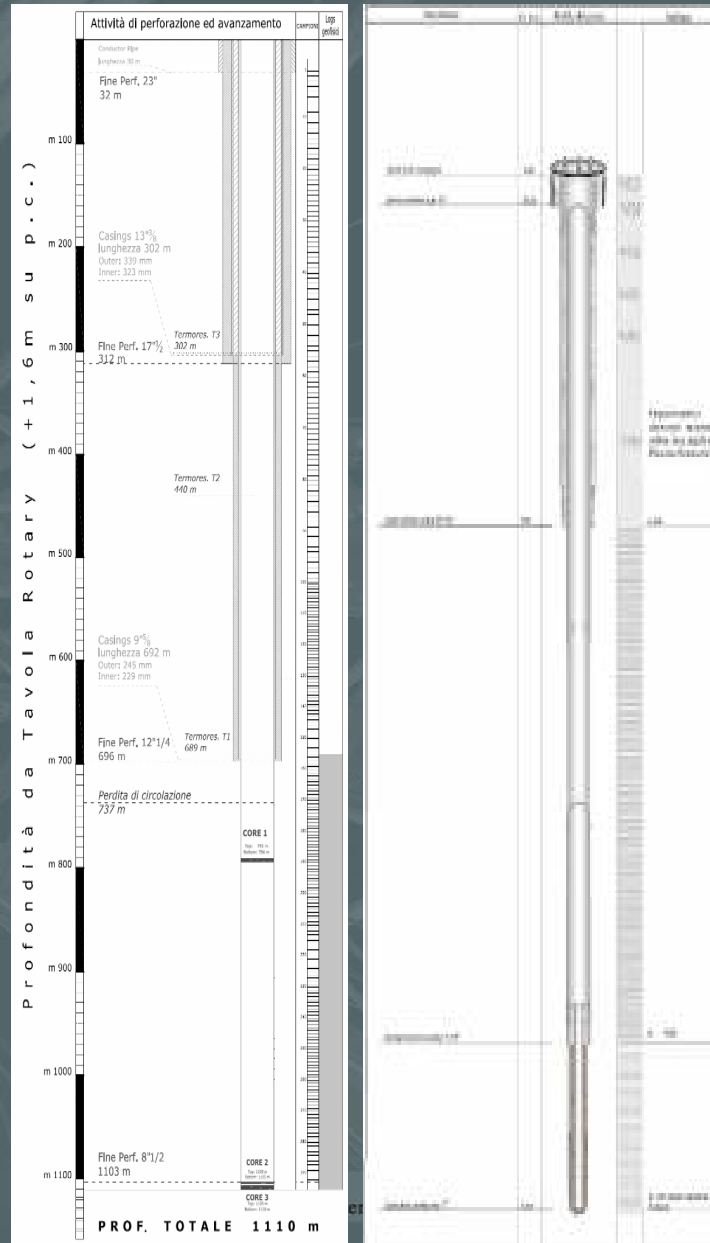
# PROFILO TELESCOPICO

▶ 0-30 m:  
avampozzo da 20"

▶ 30-300 m:  
scalpello 17" 1/2  
casing da 13" 3/8

▶ 300-701 m:  
scalpello da 12" 1/4  
casing da 9" 5/8

▶ 702-1108 m:  
scalpello da 8" 1/2



▶ 0-30 m:  
avampozzo da 24"

▶ 30-272 m:  
scalpello 17" 1/2  
casing da 13" 3/8

▶ 272-675 m:  
scalpello da 12" 1/4  
casing da 9" 5/8

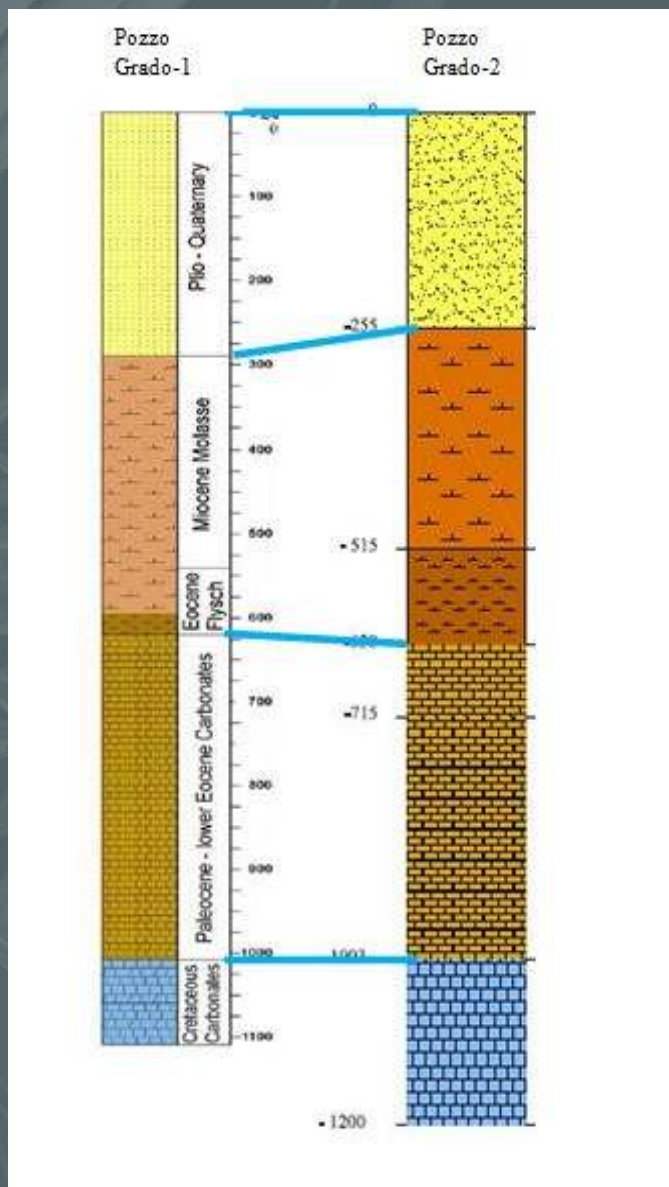
▶ 672-fondo foro:  
scalpello da 8" 1/2

# STRATIGRAFIA

0-255 m  
Sedimenti  
sabbie, limi

300-618 m  
Marne  
consolidate e  
depositi marini

618-1108 m  
Carbonati con  
presenza di  
fratture sede  
del serbatoio  
geotermico



0-255 m  
Sedimenti sabbie,  
limi e argille

255-630 m  
Marne e arenarie

630-1200 m  
Carbonati con  
presenza di  
fratture - sede del  
serbatoio  
geotermico

# POTENZIALITA'

$$P=(Q*Cs*\Delta T)/Vs$$

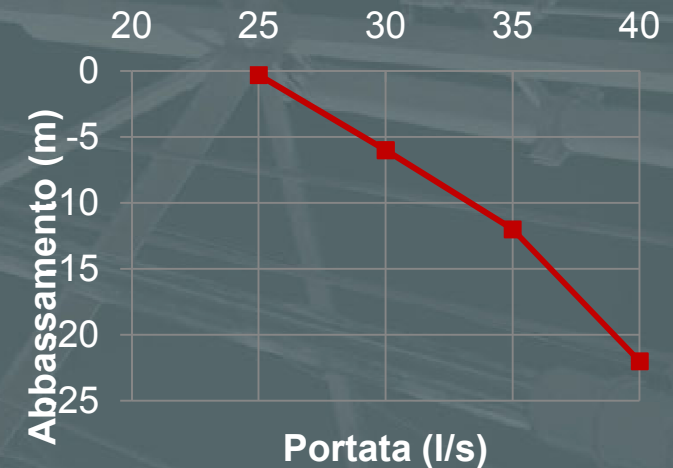
- P è la Potenza Termica in (kW);
- Q è la portata d'acqua in (m<sup>3</sup>/sec);
- Cs è la capacità termica media dell'acqua (4,186 kJ/kg °C);
- Δt è il salto termico fra mandata e ritorno (20°C);
- Vs è il volume specifico (1/1030 m<sup>3</sup>/kg).

- Q=27,2 l/s (~100 ton /ora)

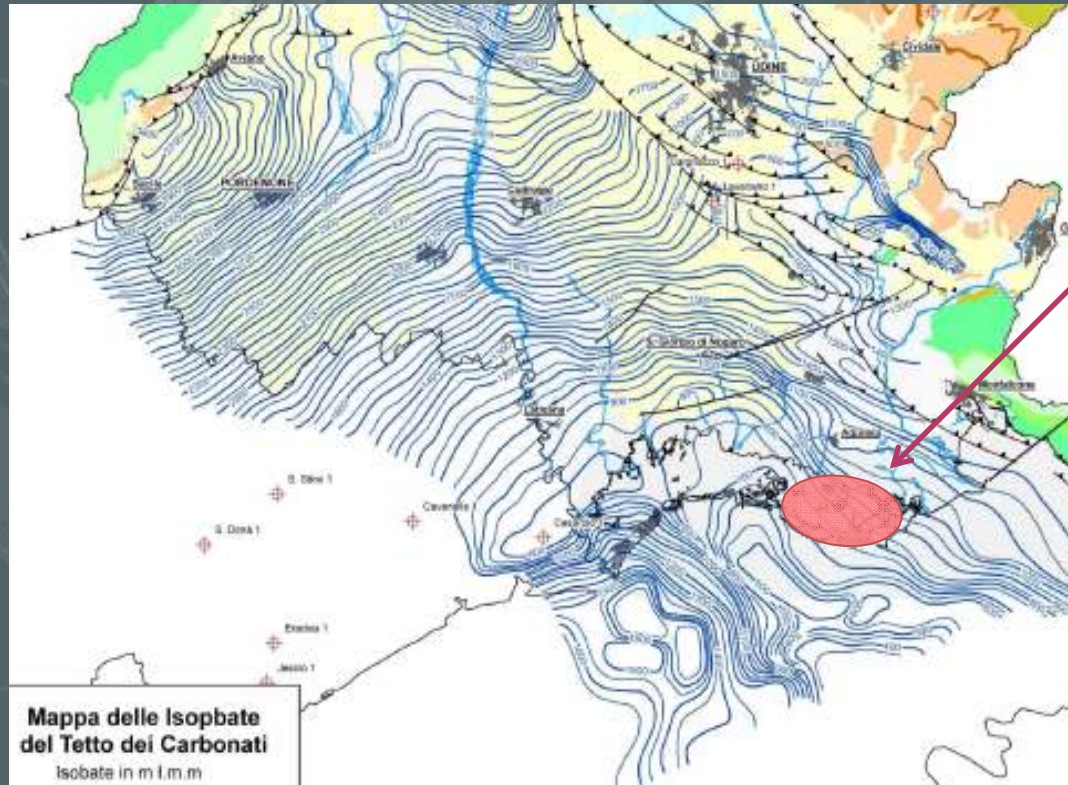
- P=2,3 MW

- Q=35 l/s

- P=3 MW



# MODELLO CONCETTUALE RISULTANTE



A : 50 km<sup>2</sup>  
s: 1,5-2 km

Vt: 75-100 Km<sup>3</sup>  
85 % Vt: n<sub>e</sub> 0,1 %  
5 % Vt: n<sub>e</sub> 10 %  
10 % Vt: n<sub>e</sub> 1 %

$V_{H_2O}$  entro i calcari: 0,55 km<sup>3</sup> ( $\approx 6 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> acqua/ km<sup>3</sup> ammasso)

Q=30 l/s

in 6 mesi si circolano circa  $0,5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> d'acqua

in 12 anni si ricambia totalmente l'acqua di 1 km<sup>3</sup> amm.



# Analisi sui campioni di acqua

- Elevata concentrazione di calcio (reazioni di scambio ionico tra carbonati e acqua di mare a temperature elevate)
- Acque fossili
- Provenienti da una riserva di acque di mare anossiche rimaste intrappolate per milioni di anni

# IMPATTI AMBIENTALI

## In fase d'esecuzione (perforazione)

Impatti limitati grazie al monitoraggio di

1. Inquinamento acustico → schermature
2. Inquinamento chimico → cementazione e analisi reflui
3. Gas pericolosi → BOP

## A lungo termine:

1. No depauperamento risorsa naturale
2. No inquinamento falde
3. No subsidenza
4. No sismicità indotta