

# I SISTEMI DI GEOSCAMBIO A CIRCUITO APERTO

## Associazione culturale GEOTERMIA VERONESE

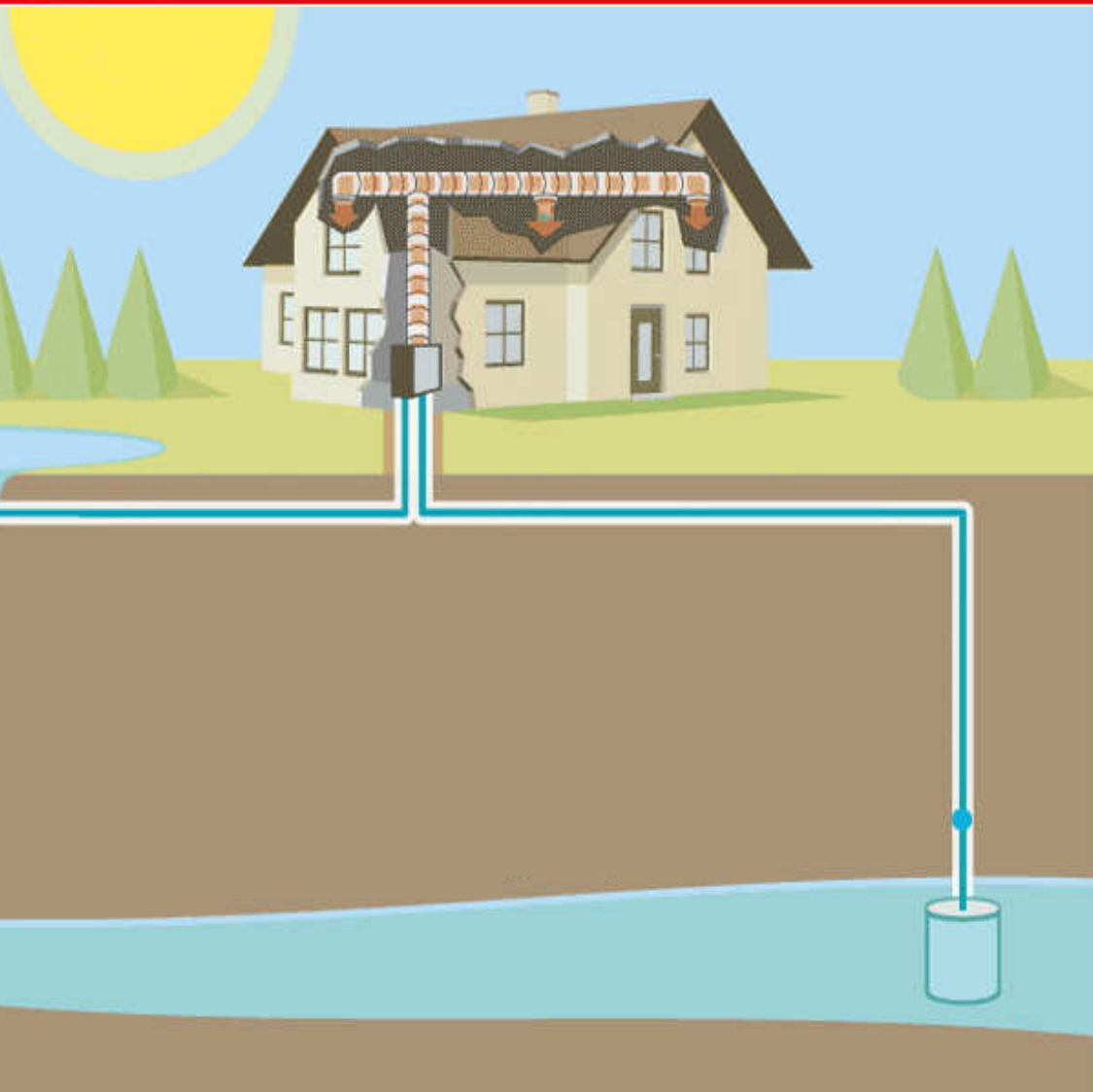
### *La progettazione dei pozzi di derivazione: criteri costruttivi*

*Ordine degli Ingegneri di Verona e provincia  
Verona, 4 dicembre 2015*



GALGARO ANTONIO  
*Università di Padova - Dipartimento di Geoscienze  
CNR-Consiglio Nazionale delle Ricerche  
IGG-Istituto di Geoscienze e Georisorse (U.O.S. di Padova)*

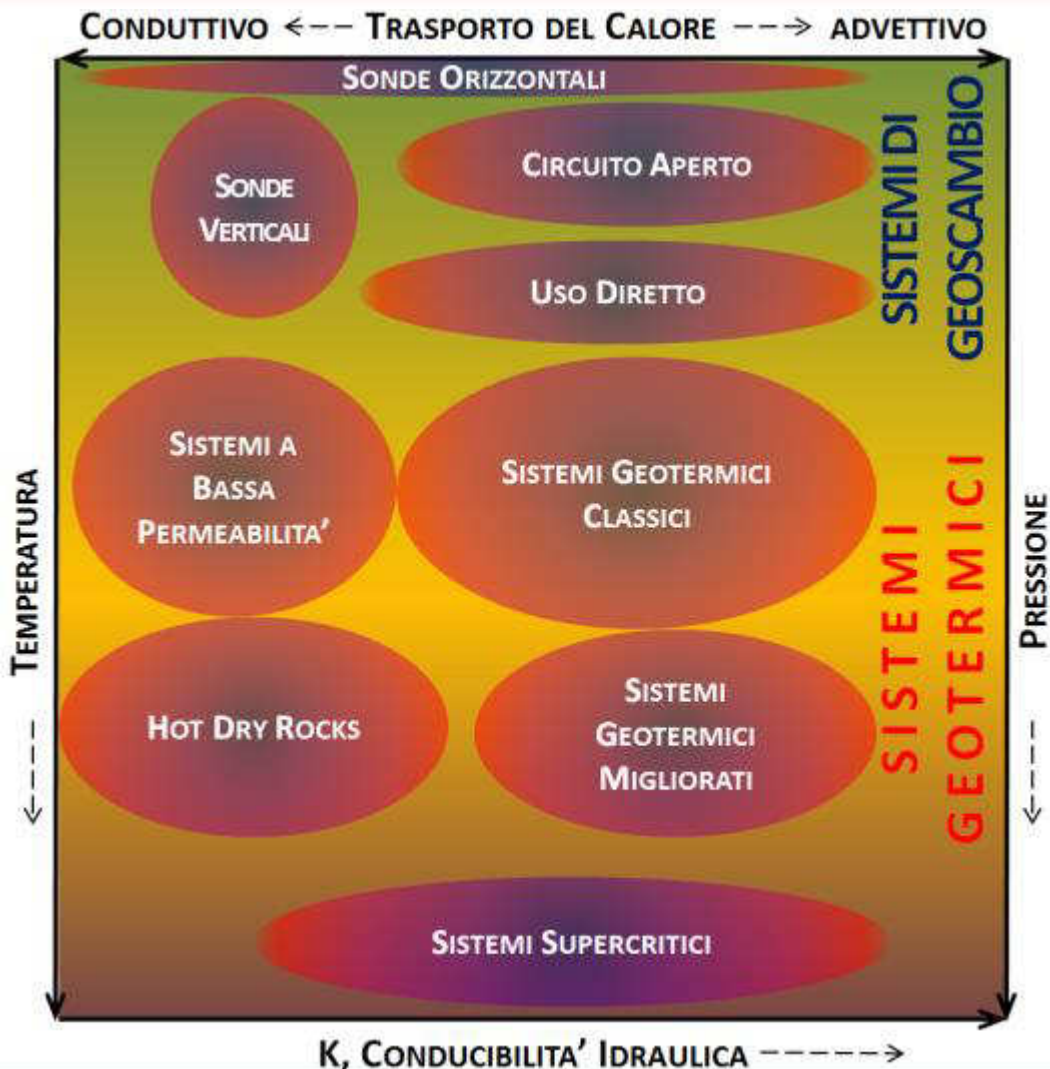




## SOMMARIO

- *INTRODUZIONE*
- *NORMATIVA*
- *GEOSCAMBIO*
- *OPEN LOOP*
- *PROGETTAZIONE*
- *CONCLUSIONI*

INTRODUZIONE – **GEOSCAMBIO** - OPEN LOOP – NORMATIVA - PROGETTAZIONE - CONCLUSIONI



## SISTEMI GEOTERMICI Vs SISTEMI DI GEOSCAMBIO

**Sistemi geotermici in senso stretto** dai quali è possibile estrarre fluidi per la generazione di energia elettrica (processo attuabile mediante centrali geotermiche)

**Sistemi di geoscambio** attraverso i quali è possibile scambiare ad immagazzinare calorie e frigorie (per mezzo di scambiatori di calore e pompe di calore)

## SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO: TIPOLOGIE

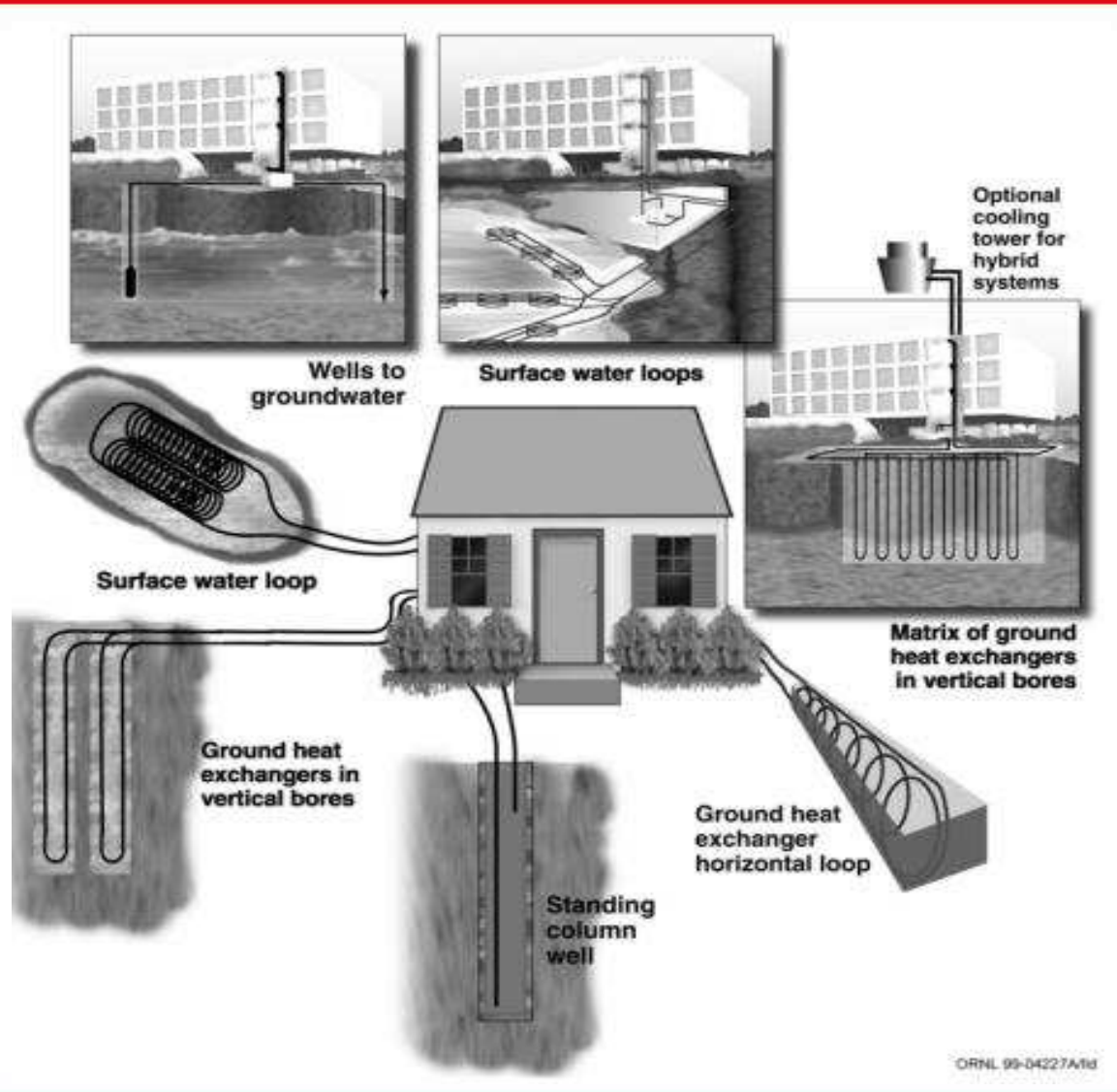
I sistemi di geoscambio usano il sottosuolo come:

- **sorgente di calore** (heat source) in modalità di riscaldamento (*trasferimento di calore dal sottosuolo alla pompa di calore*)
- **serbatoio di calore** (heat sink) in modalità di raffreddamento (*trasferimento di calore da un edificio ad un serbatoio più freddo come il terreno*)

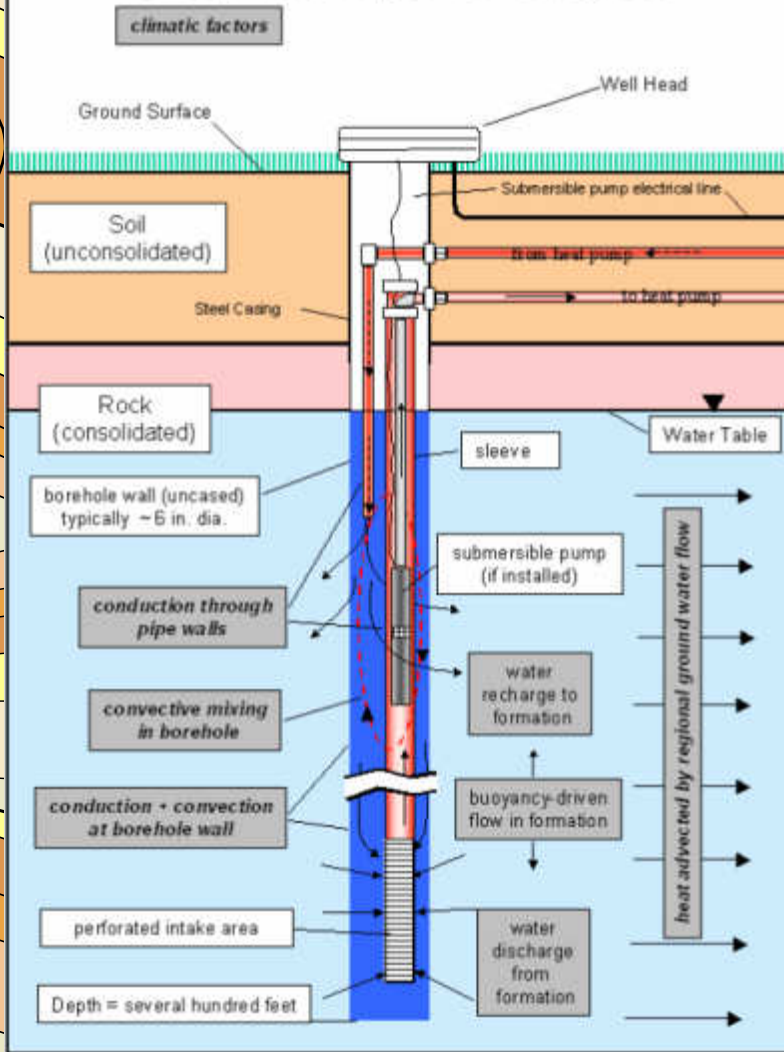
### ✘ Scambio con utilizzo diretto di ACQUE SOTTERRANEE

(sistema a circuito aperto);





## SISTEMI a pozzo singolo



## **UTILIZZO DI SISTEMI A CIRCUITO CHIUSO**

### **VANTAGGI**

- **LE RISORSE SUPERFICIALI SONO FACILMENTE ACCERTABILI E UBIQUITARIE**
- **ASSENZA DEL RISCHIO MINERARIO**
- **ASSENZA DI RISCHIO DI SUBSIDENZA O DI INDURRE PROBLEMI AD ALTRI USI DI ACQUE DI FALDA**
- **CHIMISMO IN GENERE POCO PROBLEMATICO**
- **PROCEDURE AUTORIZZATIVE GENERALMENTE SEMPLICI**

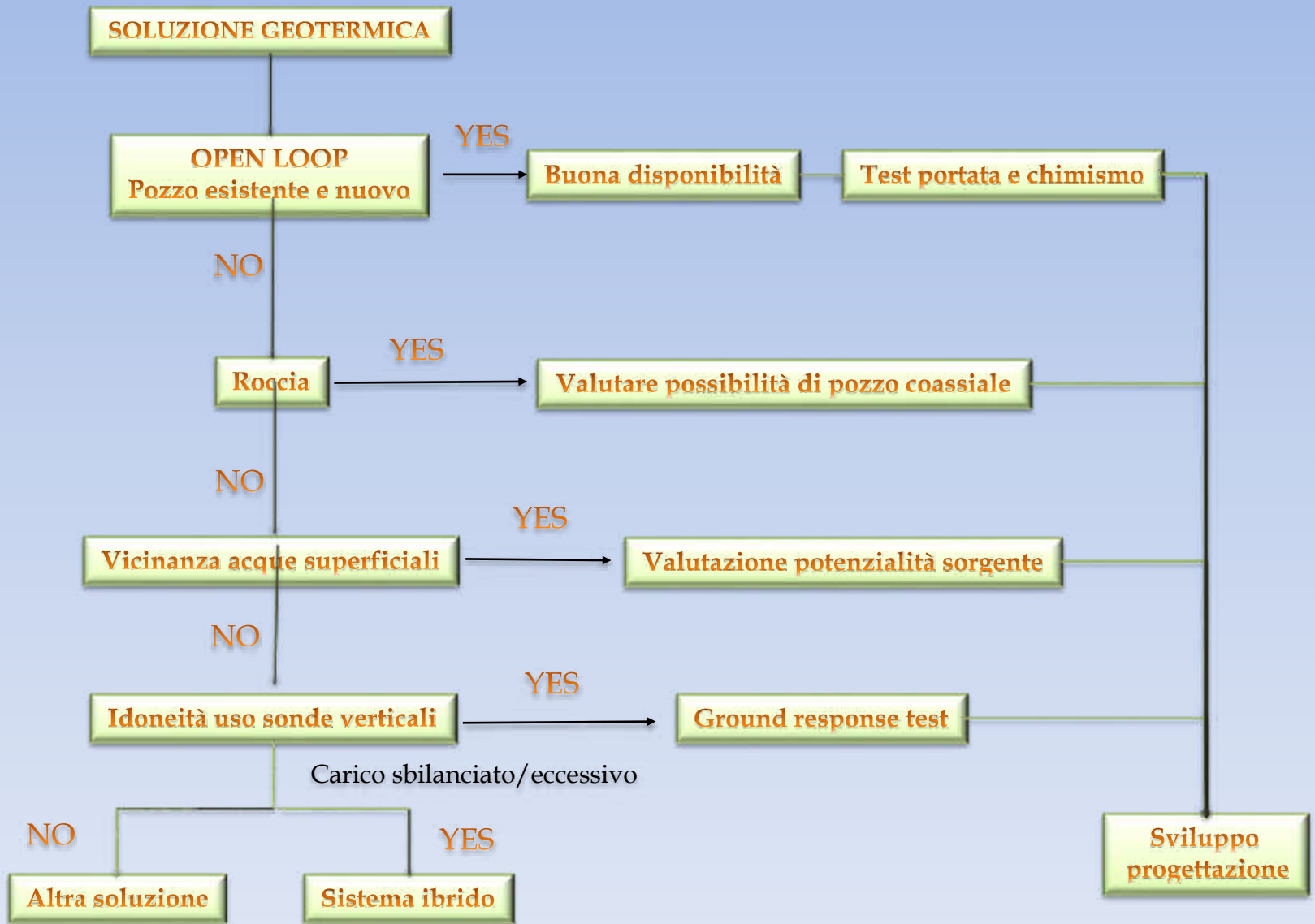
## SISTEMI CON PRELIEVO DI FLUIDO DAL SOTTOSUOLO

I SISTEMI CON PRELIEVO DI FLUIDO DAL SOTTOSUOLO HANNO I SEGUENTI VANTAGGI:

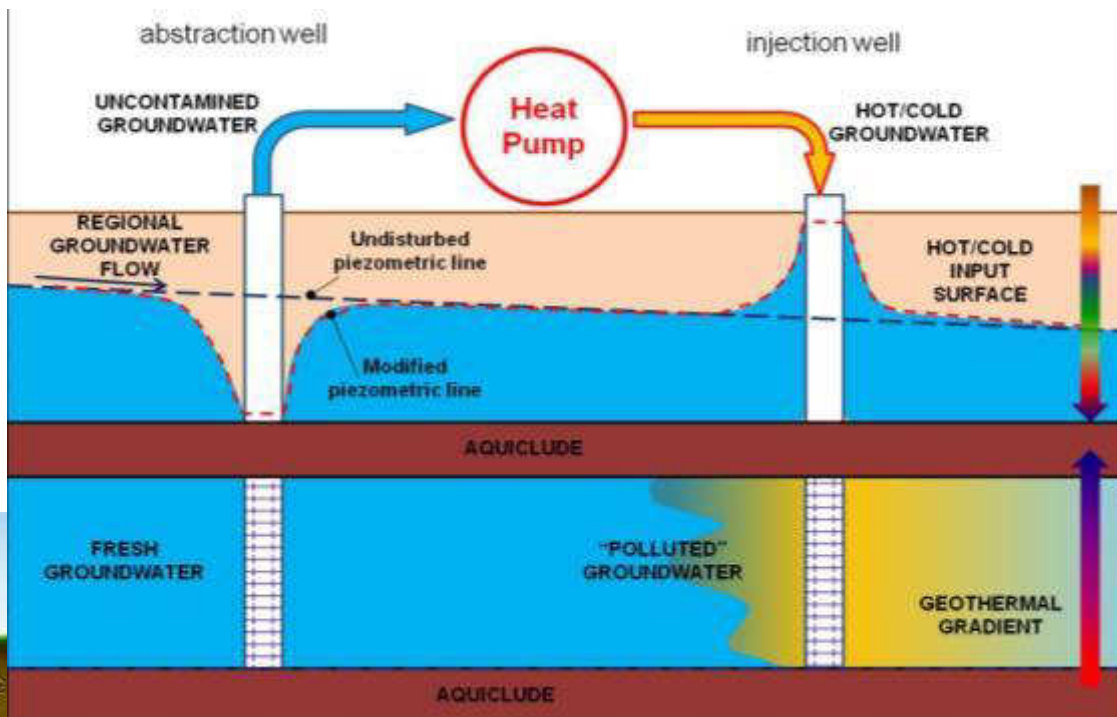
- MAGGIORE CONVENIENZA ECONOMICA
- LA POTENZA TERMICA RESA DISPONIBILE E' IN GENERALE SIGNIFICATIVA E ADATTA A SERVIRE NUMEROSE UTENZE
- POSSIBILITA' DI SFRUTTARE MAGGIORMENTE LA RISORSA GEOTERMICA, IN PARTICOLARE PER SISTEMI ABBINATI A POMPE DI CALORE, CON POSSIBILITA' DI RESTITUZIONE DEL FLUIDO GEOTERMICO, SE IL CHIMISMO LO CONSENTE, DIRETTAMENTE IN SUPERFICIE
- RIDOTTO NUMERO DI PERFORAZIONI



# Flusso decisionale



**SISTEMI A CIRCUITO APERTO**





# REGIONE DEL VENETO

**PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE Art. 121, DI 3 aprile 2006, n. 152**

**Art.31**

*In deroga al divieto, la provincia, dopo indagine preventiva, può autorizzare gli scarichi nella stessa falda dalla quale sono state prelevate, delle acque utilizzate per **scopi geotermici**, [...] ivi comprese quelle degli **impianti di scambio termico**, purché siano restituite in condizioni di qualità non peggiori rispetto al prelievo. [...]*



## **POSSIBILI SORGENTI FREDDE PER POMPE DI CALORE ACQUA-ACQUA**

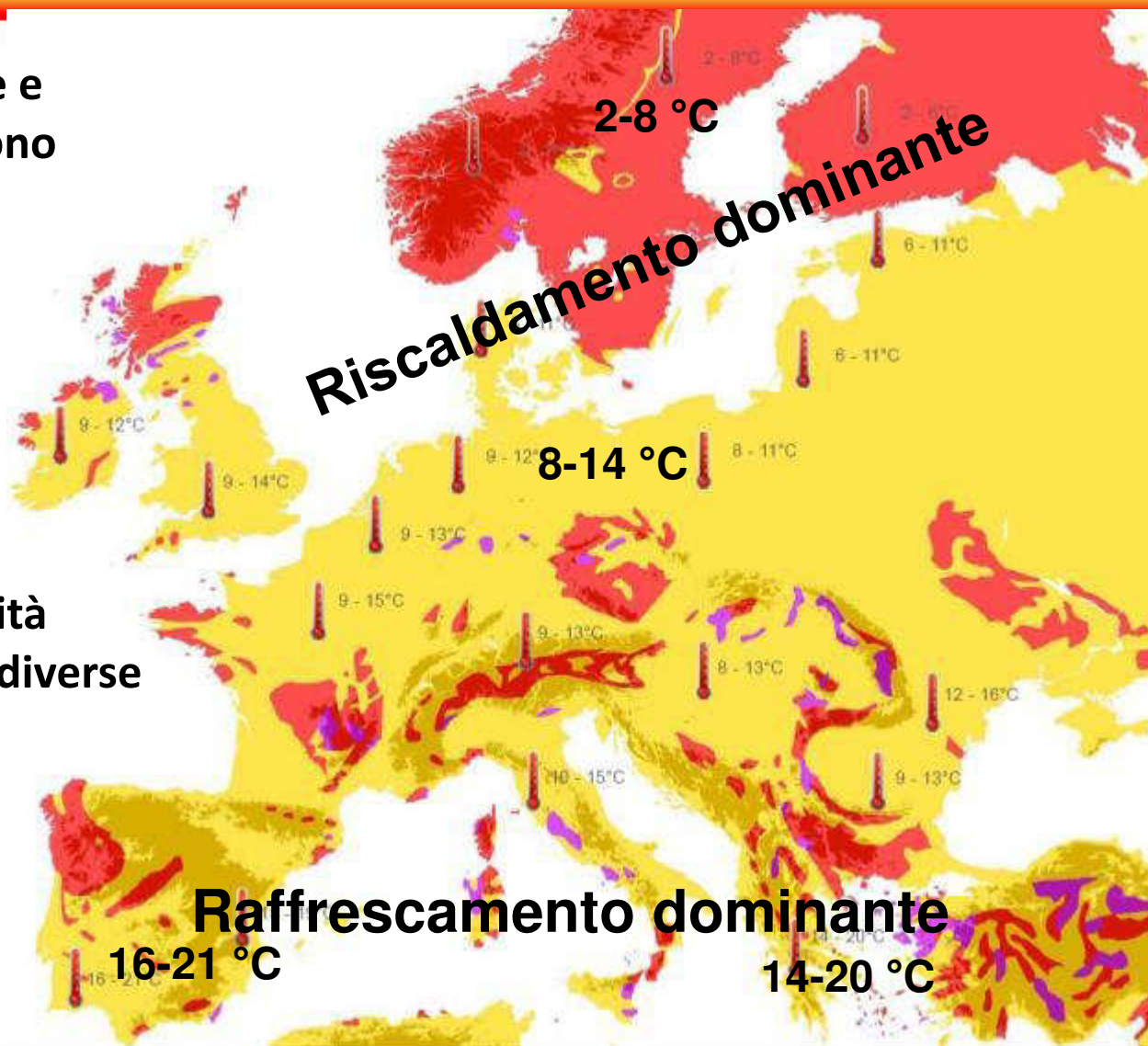
- CORSI D'ACQUA SUPERFICIALI (FIUMI , ROGGE, ETC.)
- LAGHI E BACINI IDRICI
- ACQUA DI MARE
- **ACQUA DI FALDA**
- **ACQUE GEOTERMICHE**
  
- **ACQUA DI ALIMENTAZIONE DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE DI ACQUA POTABILE COMUNALE**
- ACQUA IN USCITA DA IMPIANTI DI DEPURAZIONE
- ACQUE LURIDE DA SISTEMI FOGNARI CITTADINI
  
- ACQUA DI CIRCUITO LAVAGGIO FUMI DI FORNI INCENERITORI
- ACQUA DI CIRCUITI DI TORRE DI RAFFREDDAMENTO
- ACQUA DI CIRCUITI DI RAFFREDDAMENTO DI CENTRALI ELETTRICHE (COGENERATIVE E NON)

## ***SISTEMI GEOTERMICI A CIRCUITO APERTO, PROBLEMI???***

- ✓ Possibile sottrazione di solido con intasamento in restituzione e problemi alle pompe, subsidenza;
- ✓ Possibile chimismo problematico per circuito idraulico e filtri
- ✓ Interazioni con pozzi limitrofi;
- ✓ alterazioni nella dinamica delle falde, specie a fronte di prelievi e scarichi di rilevante entità o in numero elevato.

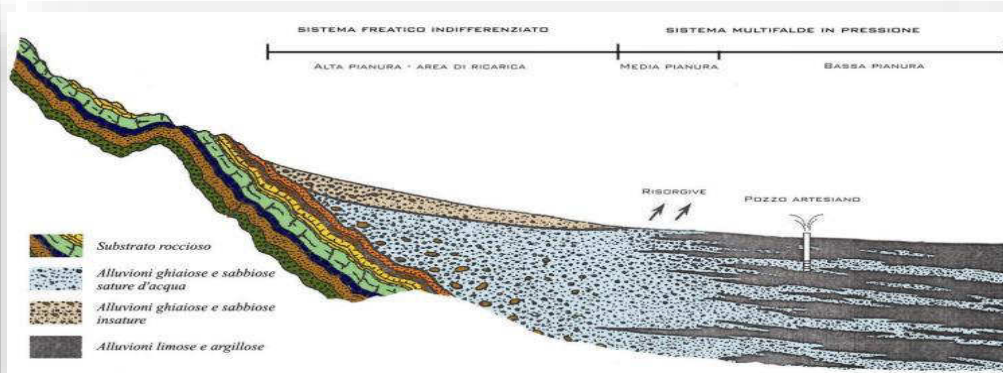
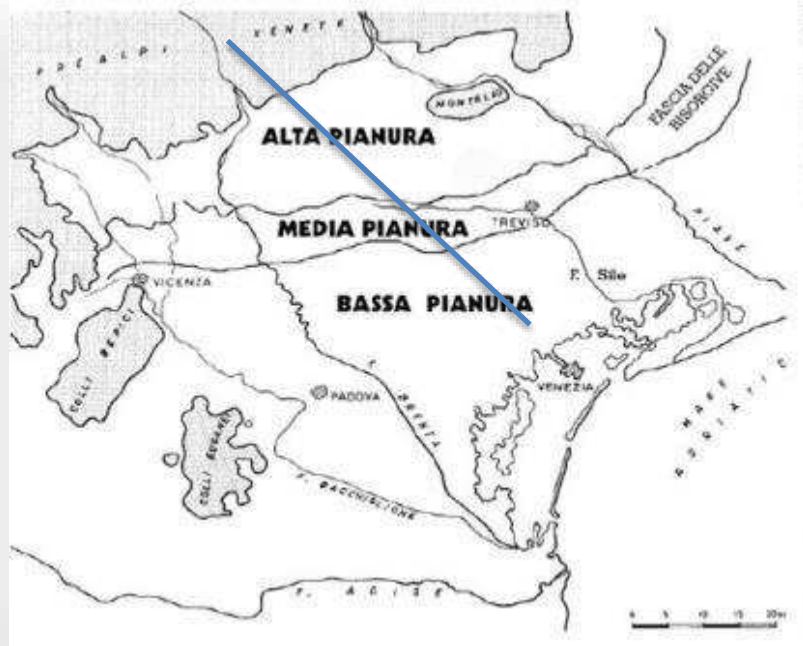
**Le condizioni climatiche e geologiche in Europa sono molto variabili**

**Anche le condizioni economiche e le modalità costruttive sono molto diverse**

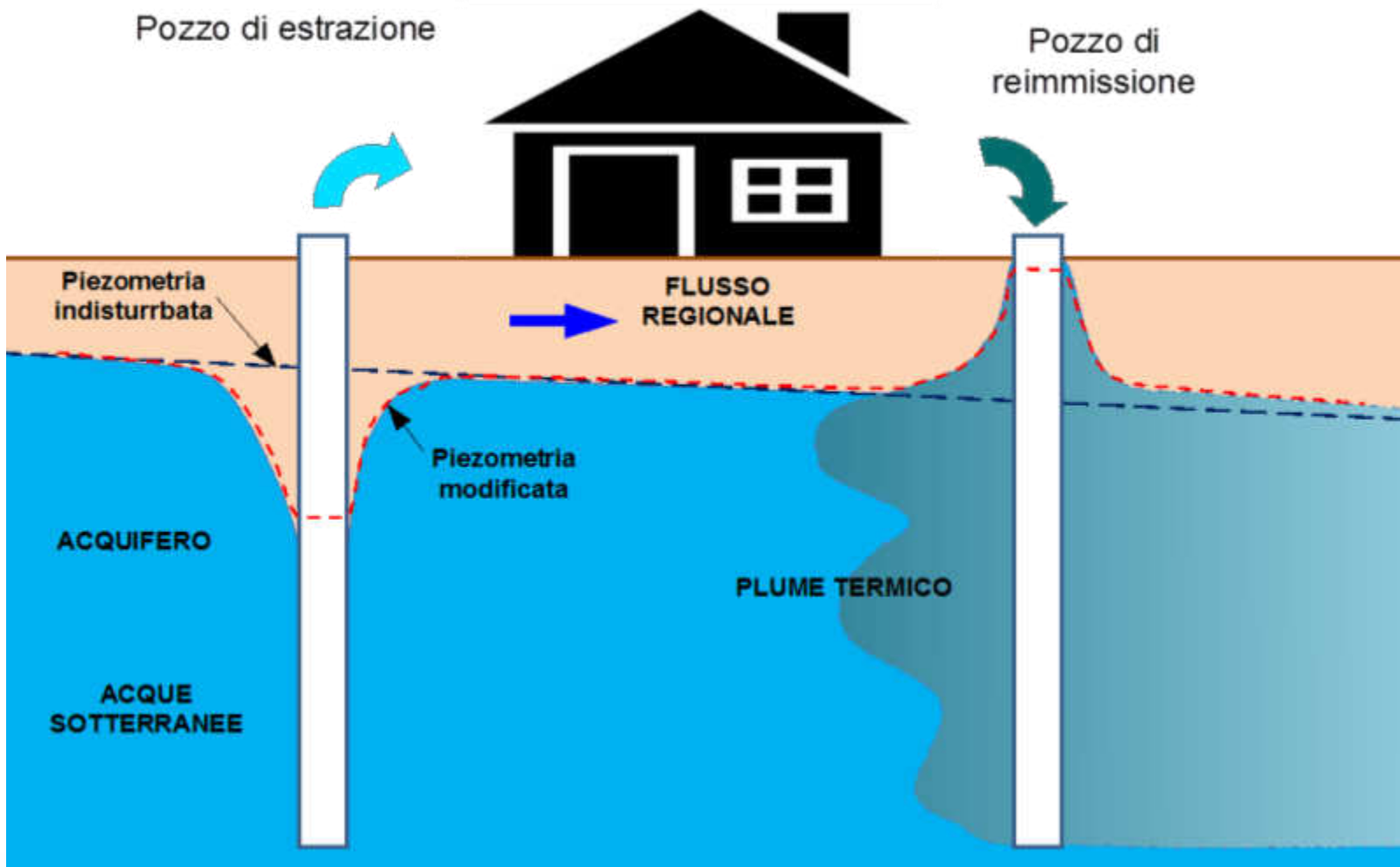


**Fonte: Sanner - European Geothermal Energy Council**

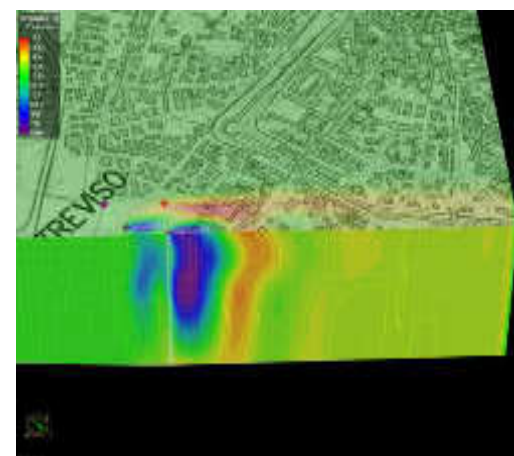
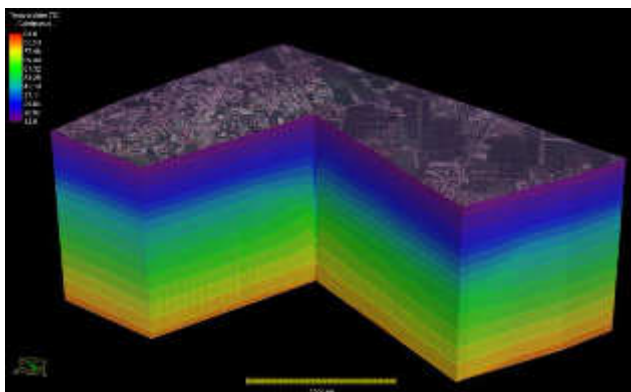
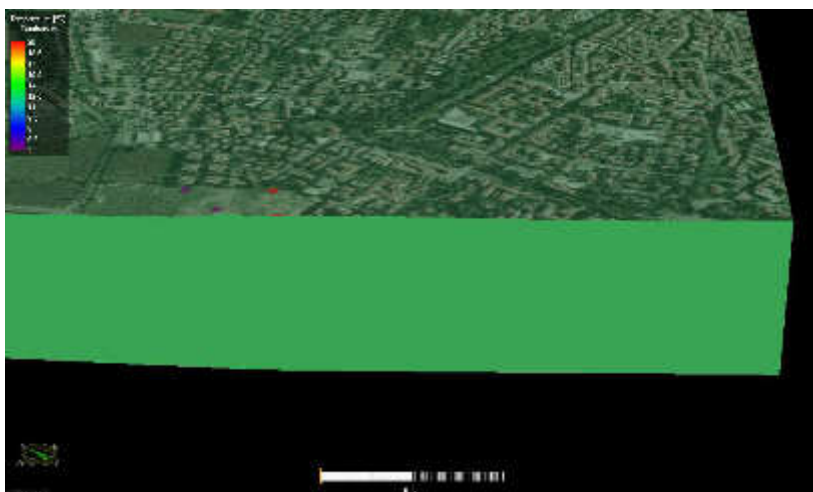
INTRODUZIONE – GEOSCAMBIO - OPEN LOOP – NORMATIVA - **PROGETTAZIONE** - CONCLUSIONI



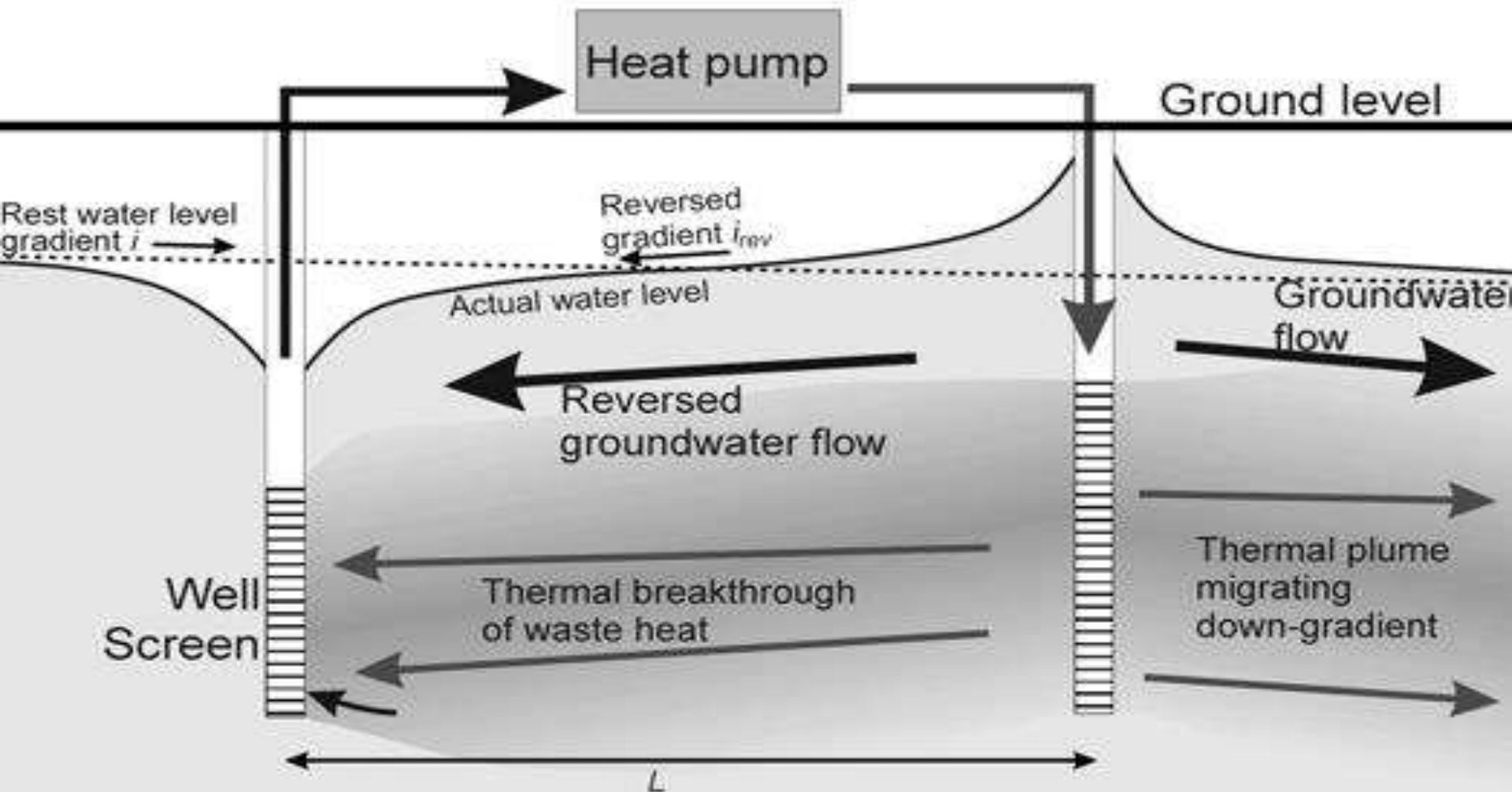
# CIRCUITO APERTO – FUNZIONAMENTO E PROGETTAZIONE







## CIRCUITO APERTO - CORTO CIRCUITO TERMICO



## CIRCUITO APERTO – VICENZA

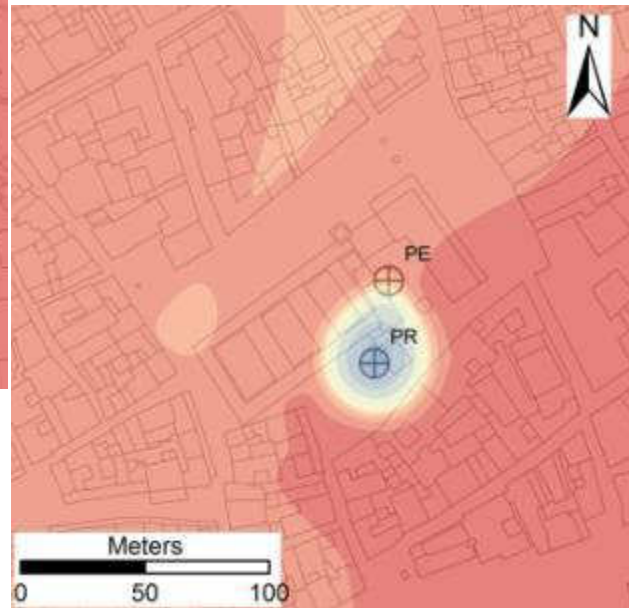
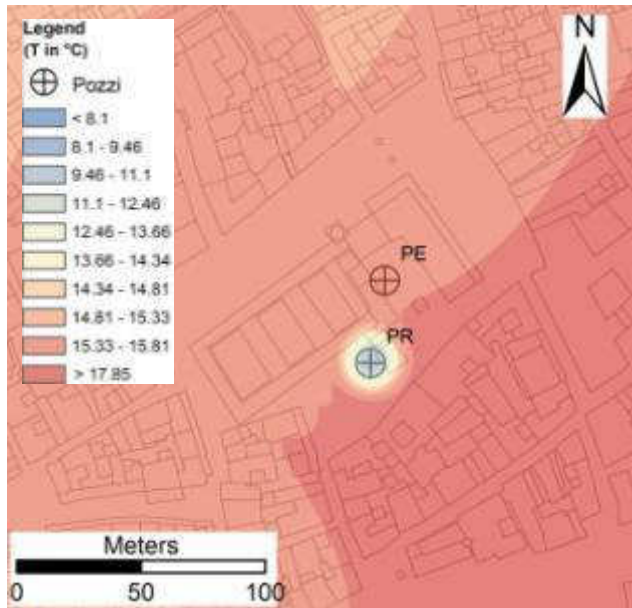
Regime invernale: 1 Gen -> 31 Mar

$Q = 561.6 \text{ m}^3/\text{d}$  (= 6.5 l/s)

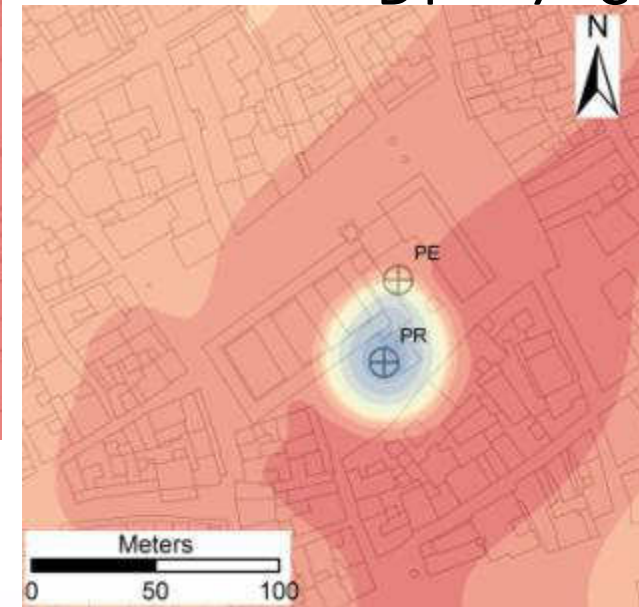
h.24

$T_i = 14.8^\circ\text{C}$

$DT = -7^\circ\text{C}$



Dati Sinergo (VI)



Plume “freddo” in fase di formazione

## CIRCUITO APERTO - VICENZA

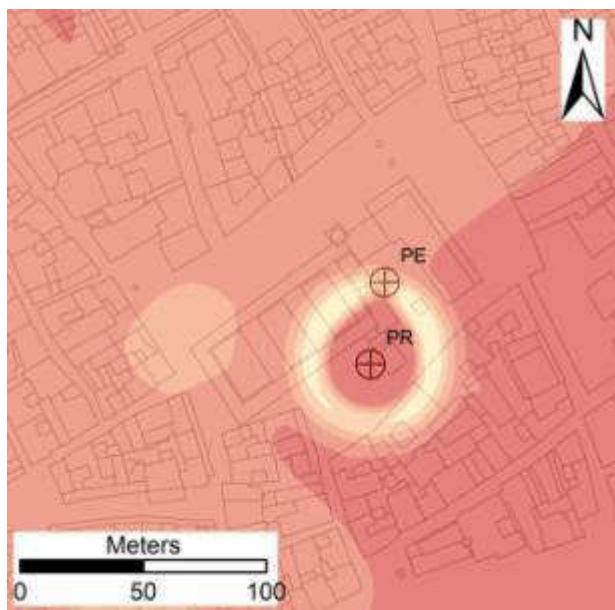
Regime estivo: 1 Giu -> 31 Ago

$Q = 561.6 \text{ m}^3/\text{d}$  (= 6.5 l/s)

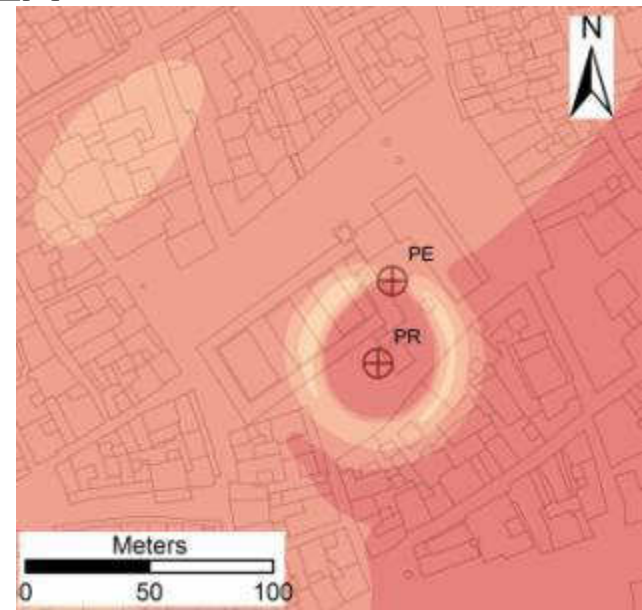
h.24

$T_i = 14.8^\circ\text{C}$

$\Delta T = +8^\circ\text{C}$



Dati Sinergo (VI)



Plume “caldo” in fase di formazione

## CIRCUITO APERTO - VICENZA

Nuovo gradiente  
piezometrico  
locale

↓

Cono di pressione  
(in PR)

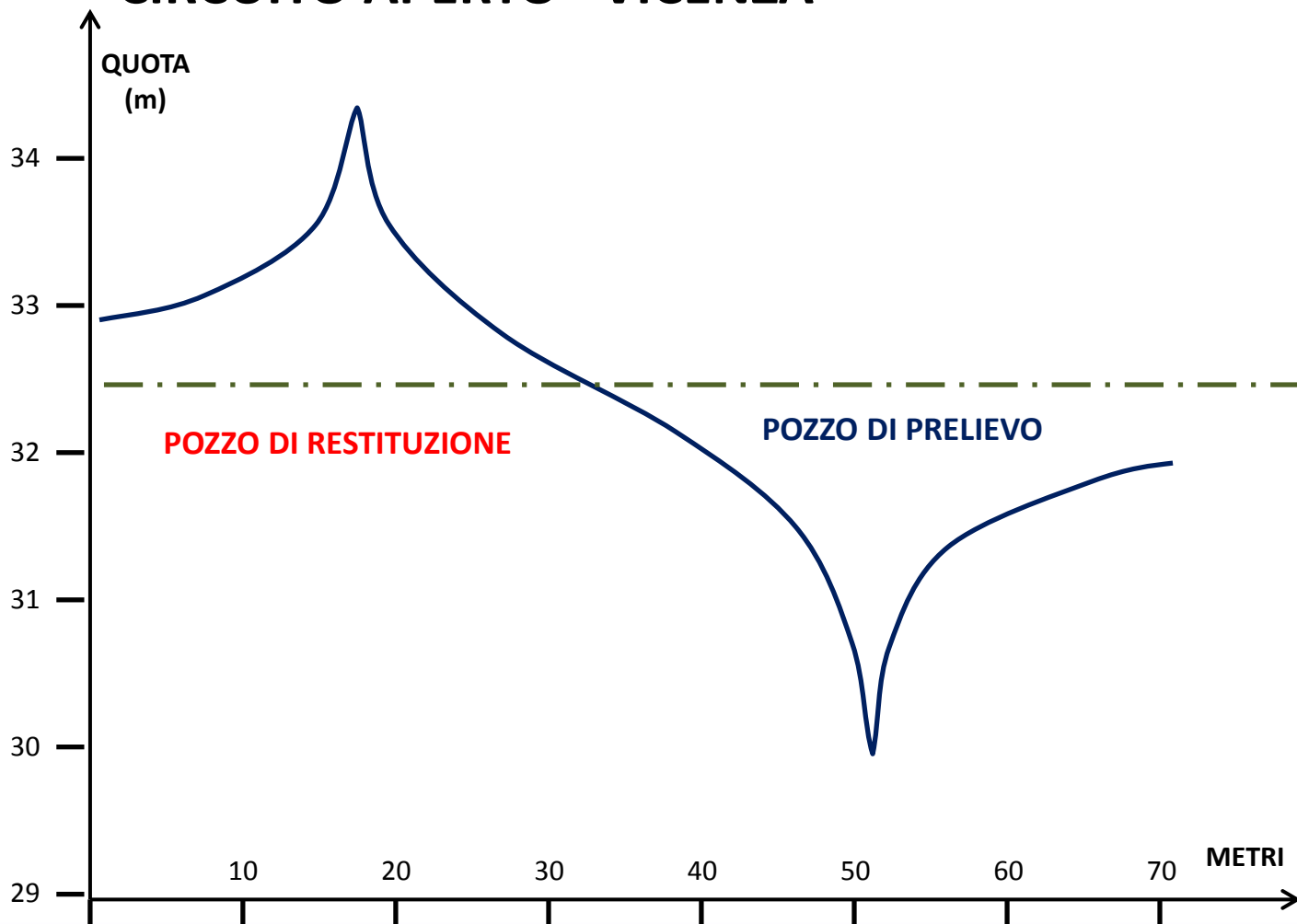
Cono di sovra-  
pressione (in PE)

↓

Richiamo d'acqua  
in PE

↓

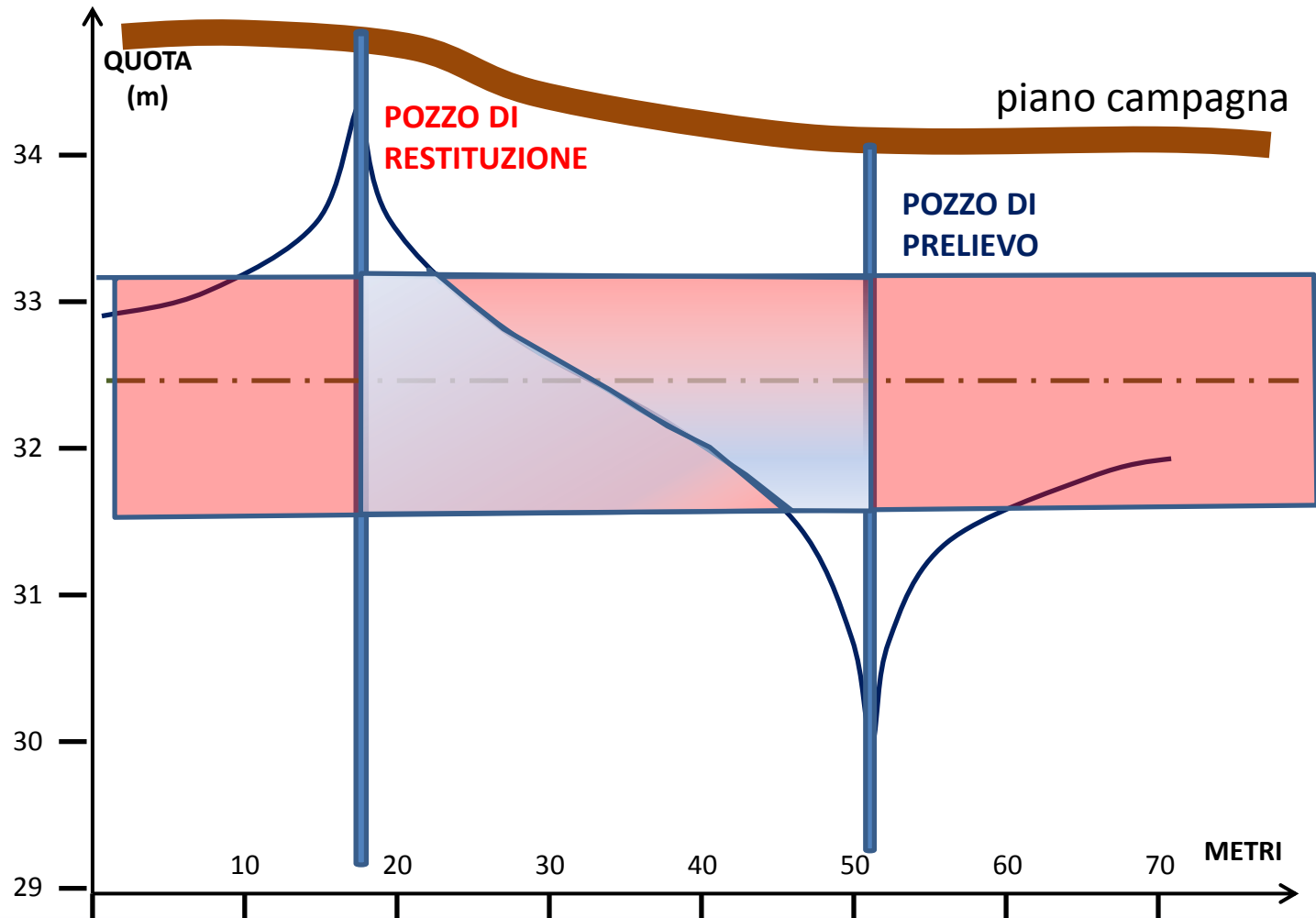
Corto-circuitazione  
termica

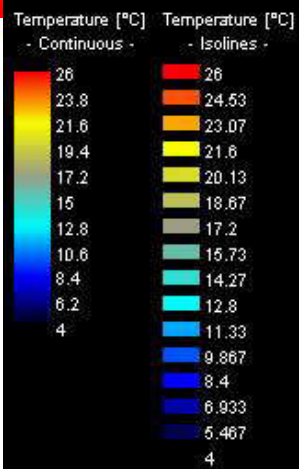


## CIRCUITO APERTO - VICENZA

### PROBLEMATICHE LEGATE AL CIRCUITO APERTO

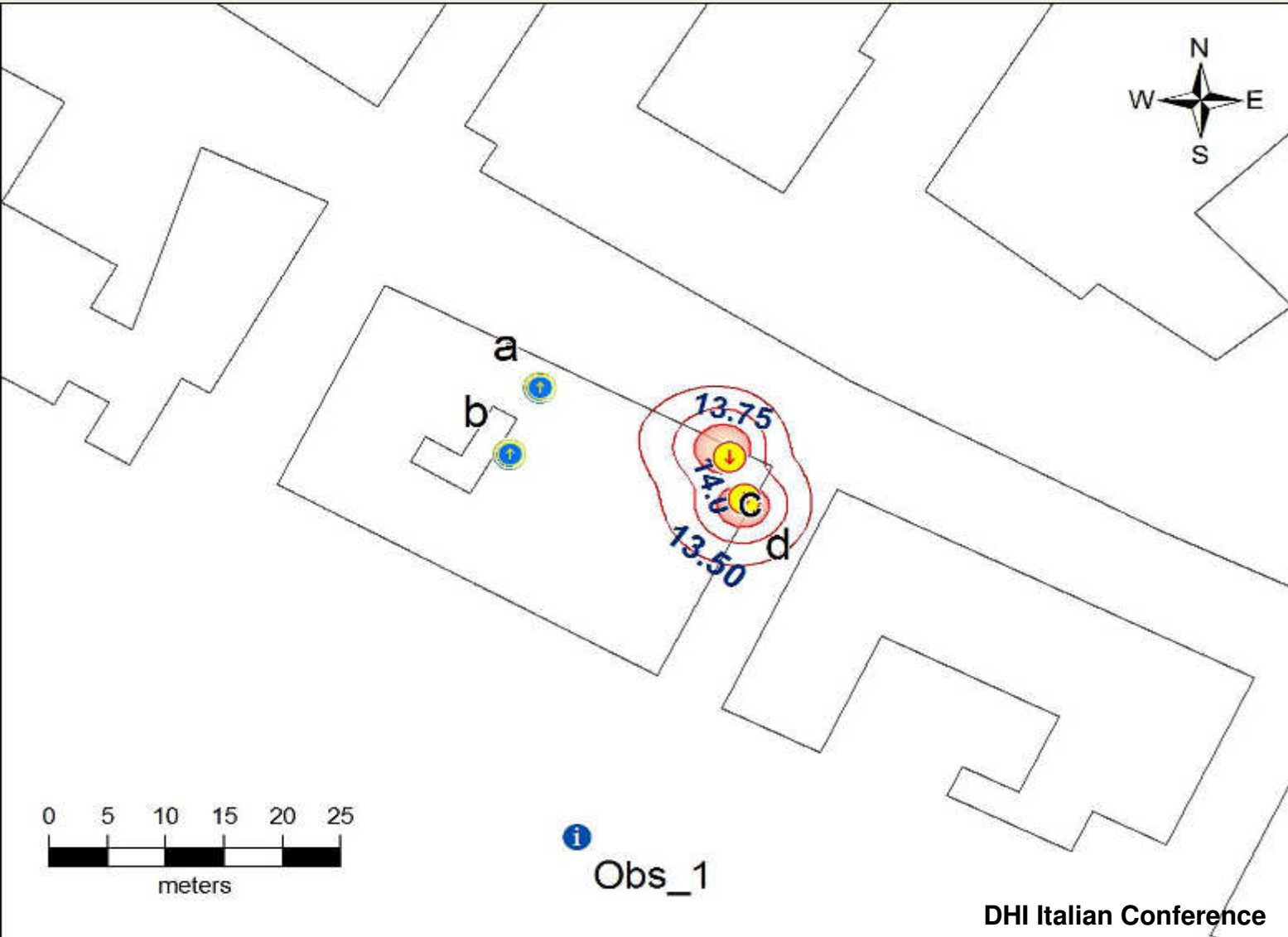
- Emungimento
  - Subsidenza indotta
  - Estrazione materiale fine
  - Il cono di restituzione e' sempre maggiore di quello teorico
- ↓
- Spesso la progettazione prevede piu' pozzi di restituzione per ciascun pozzo di prelievo





FEFLOW (R)

0 [d]

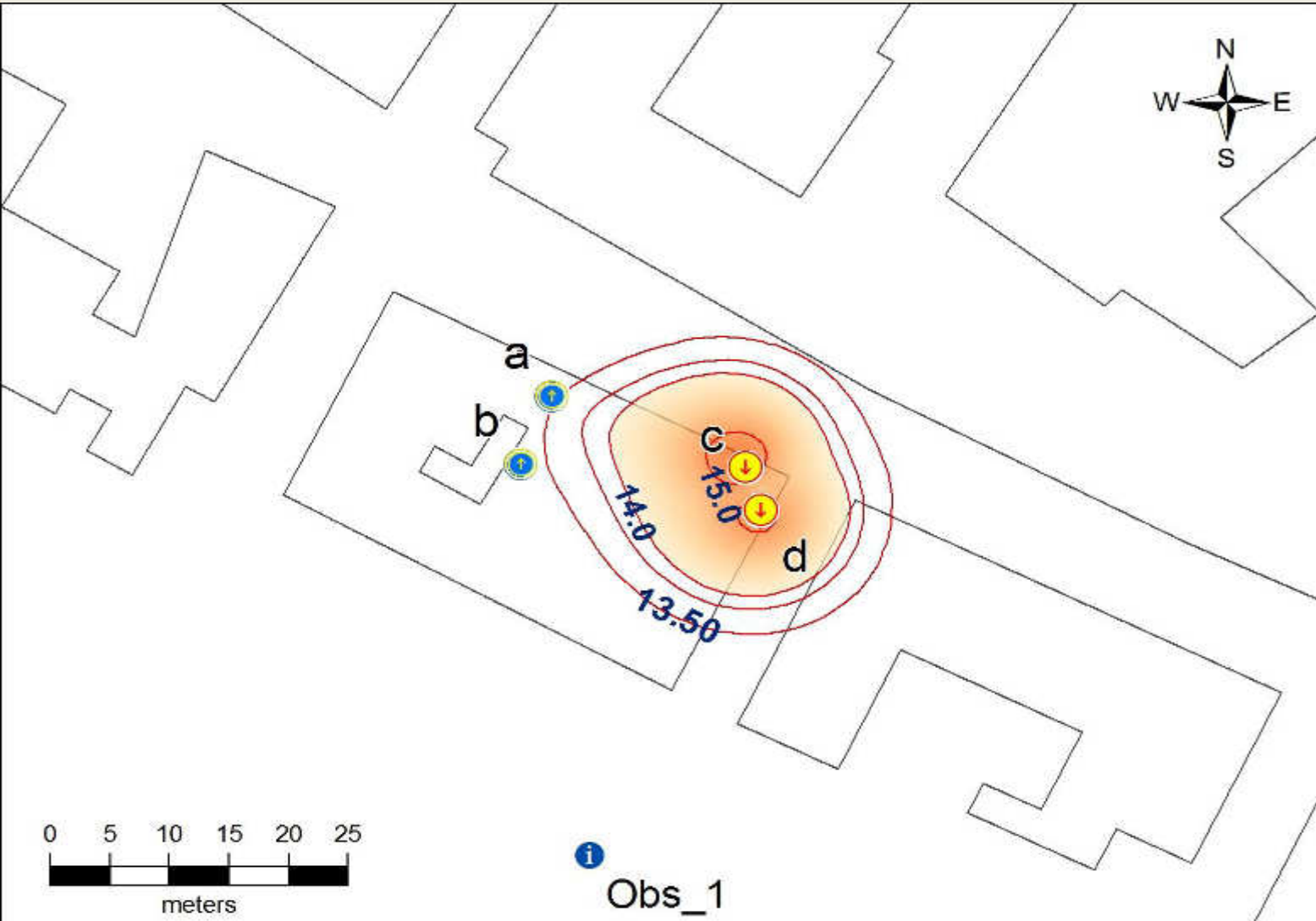


**CIRCUITO  
APERTO  
ROVIGO**

**THERMAL  
FEEDBACK  
DOPO 1  
GIORNO**

**DHI Italian Conference** Galgaro and Cultrera

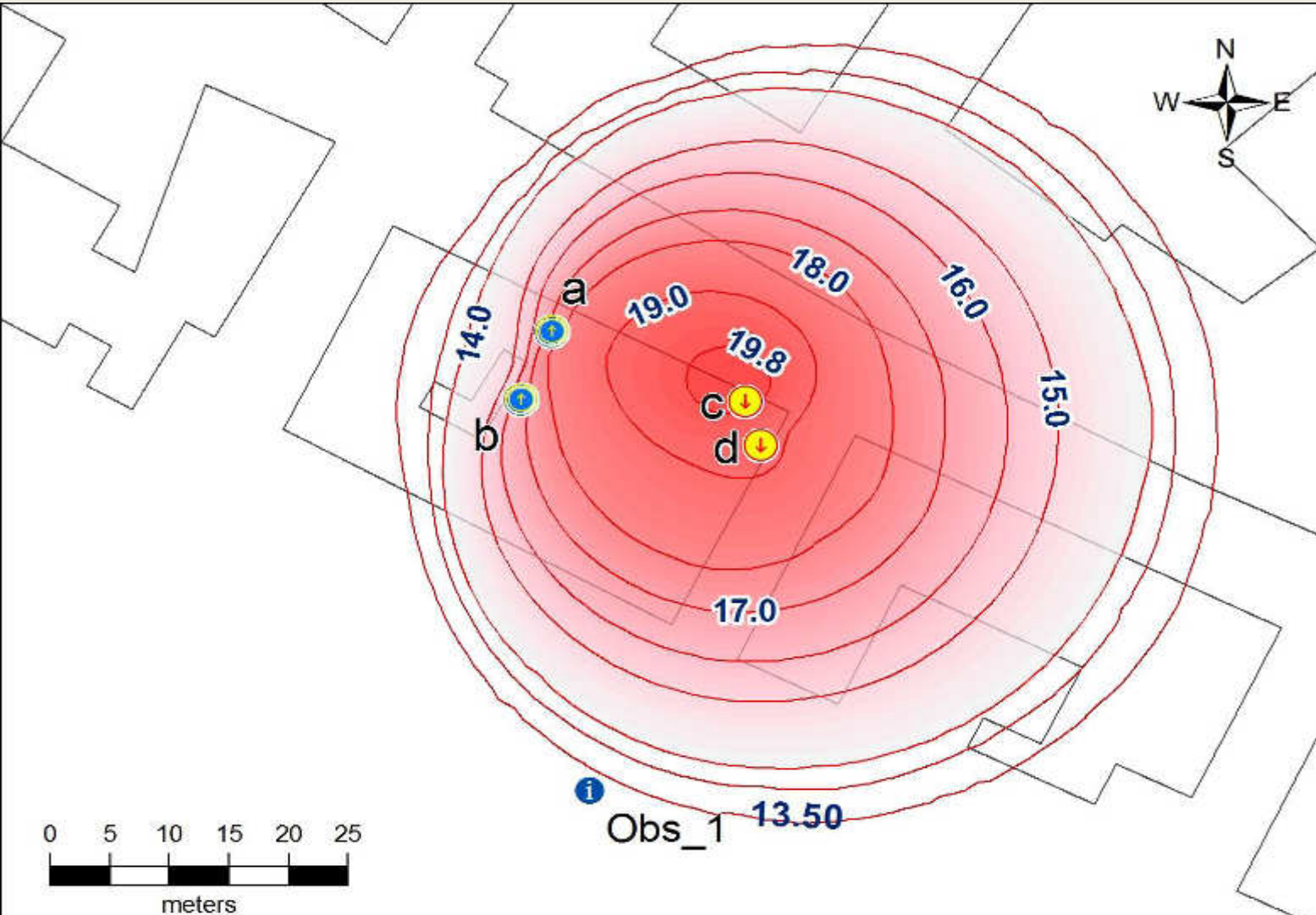




CASE  
HISTORY:  
ROVIGO

THERMAL  
FEEDBACK  
DOPO 4  
GIORNI

DHI Italian Conference Galgaro and Cultrera



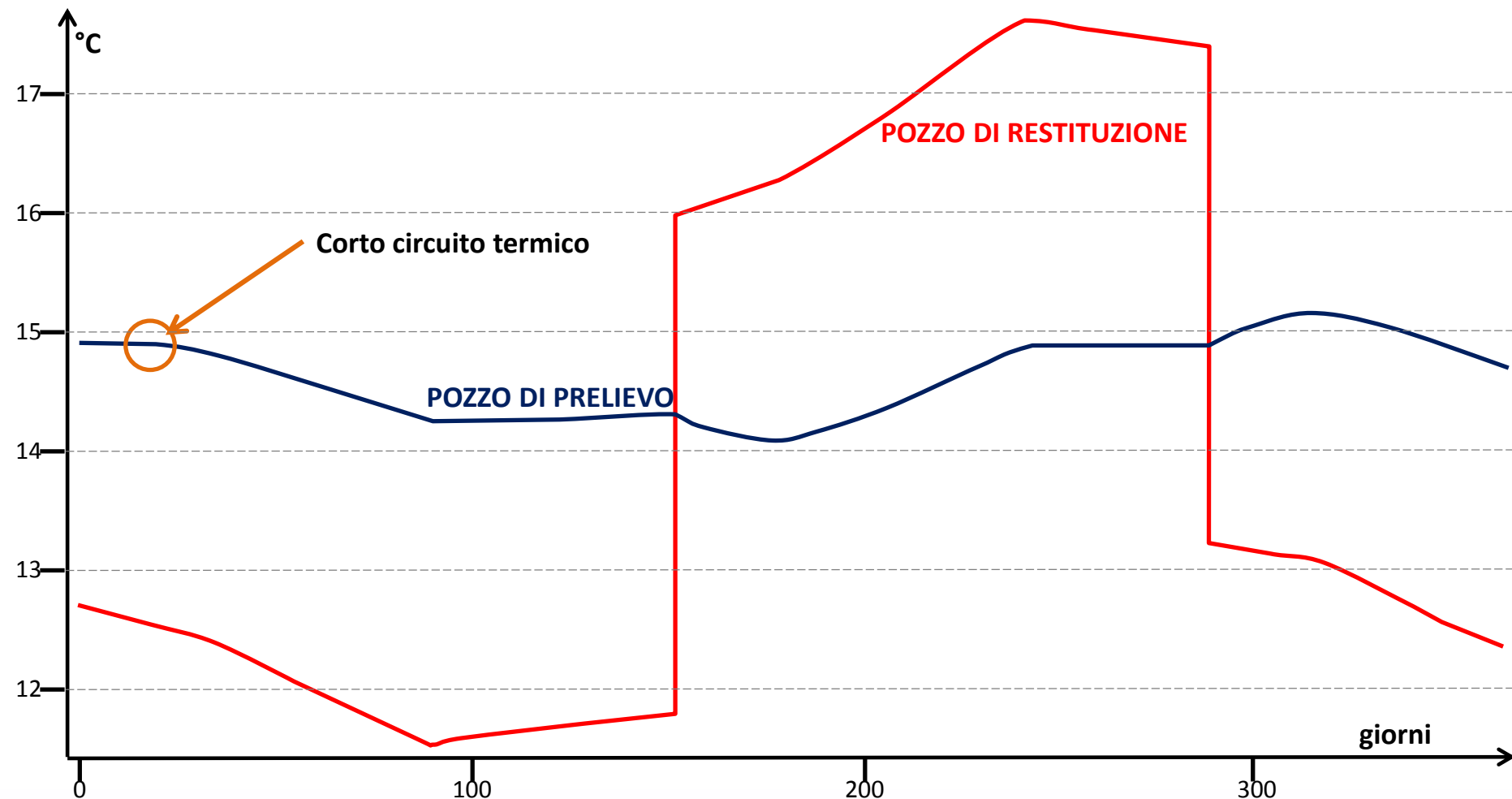
**CASE HISTORY:  
ROVIGO**

**THERMAL FEEDBACK DOPO 80 GIORNI**

**DHI Italian Conference** Galgaro and Cultrera

Galgaro and Cultrera, in progress

## CIRCUITO APERTO - VICENZA



## **PREVENIRE IL CORTO CIRCUITO TERMICO**

- **STIMA DEL FABBISOGNO ENERGETICO E DELLE PORTATE. DELTA T**
- **MODELLO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO PRELIMINARE:**
  - **RACCOLTA DATI BIBLIOGRAFICA**
  - **INDAGNI LIMITROFE**
  - **MISURA DELLA TRASMISSIVITA' E DEL GRADIENTE IDRAULICO**
  - **PROFONDITA' E LIVELLI PIEZOMETRICI**
  - **VALUTAZIONE DIREZIONE E VELOCITÀ DI FALDA**
  - **MODELLI DI SIMULAZIONE E VALIDAZIONE CON PROVE IN SITO**

## CIRCUITO APERTO – CORTO CIRCUITO TERMICO

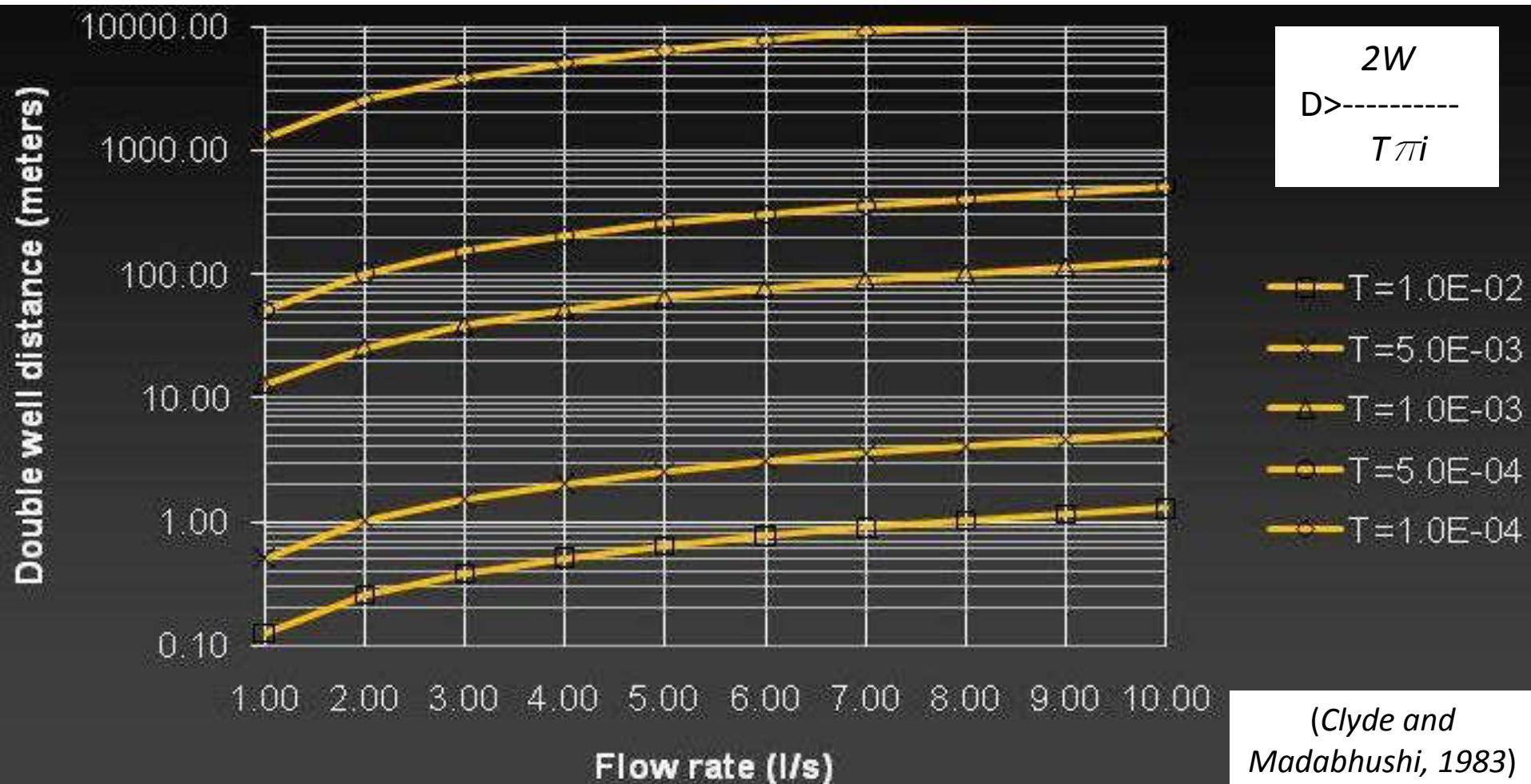
$$t_B = \left( \frac{\ln B}{Ki} \right) \left( 1 + \left( \frac{2Q}{\pi H D i L \sqrt{-1 - \frac{zQ}{\pi K D i L}}} \tan^{-1} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{-1 - \frac{zQ}{\pi K D i L}}} \right) \right)$$

### NOMENCLATURE

Symbol	Description	Dimensions			
C	Specific heat capacity	$L^2 \cdot t^{-2} \cdot T^{-1}$	$V_A$	Volume of aquifer where the original ground water has been displaced	$L^3$
D	Distance between wells	L	$V_T$	Volume of aquifer where the ground-water temperature has been changed	$L^3$
H	Aquifer thickness	L	$v_O$	Regional ground-water velocity	$L \cdot t^{-1}$
r	Radius, radial distance	L	$\alpha$	Angle measured counterclockwise between the vector connecting the injection and production wells and the regional ground-water velocity vector	
Q	Volumetric flow rate	$L^3 \cdot t^{-1}$	$\kappa$	Thermal diffusivity	$L^2 \cdot t^{-1}$
T	Temperature	T	$\rho$	Density	$M \cdot L^{-3}$
t	Time	t	$\phi$	Porosity	—
$t_B$	Breakthrough time	t			

Lippmann and Tsang, 1980

## CIRCUITO APERTO - CORTO CIRCUITO TERMICO



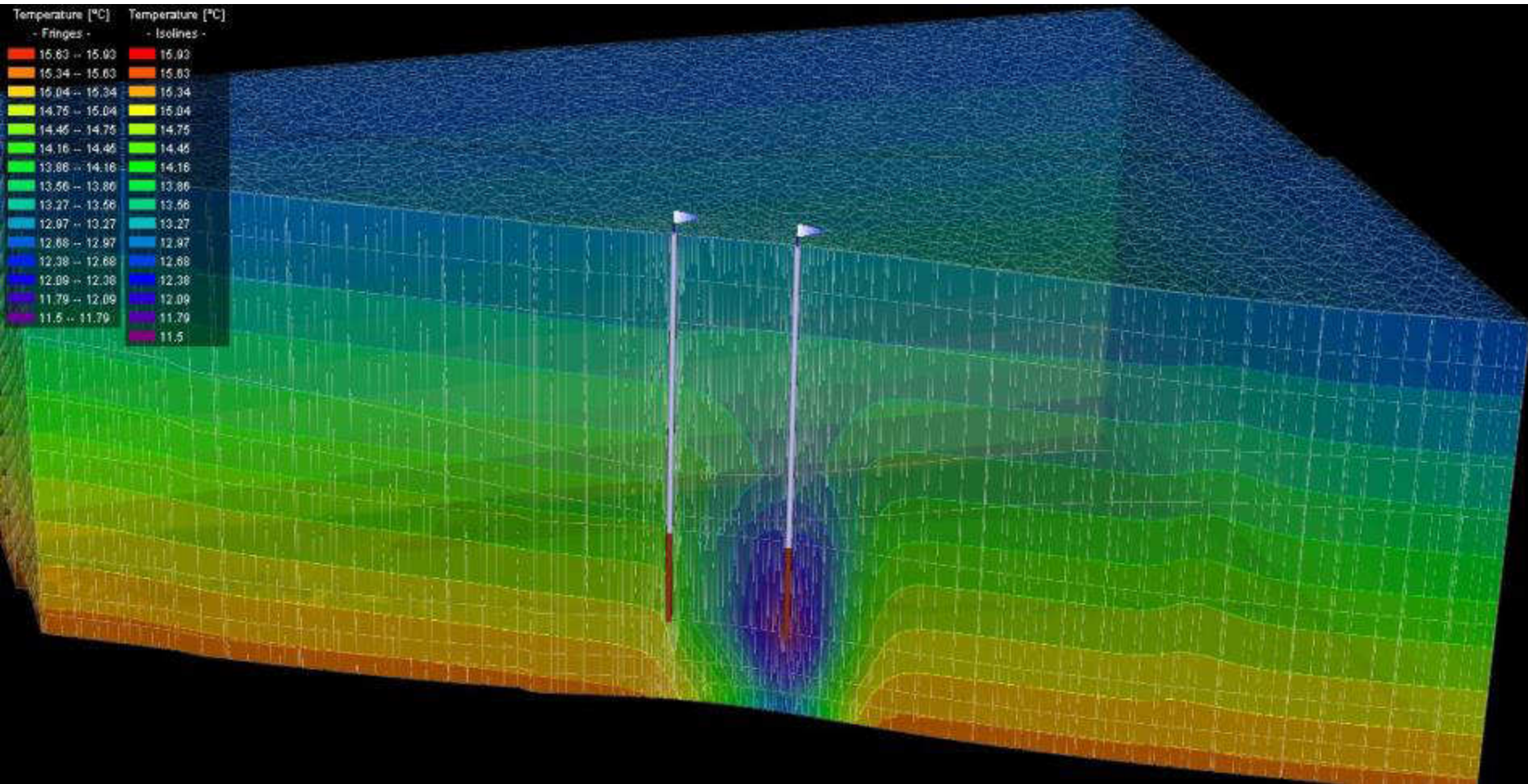
(Clyde and Madabhushi, 1983)

# CIRCUITO APERTO – MODELLAZIONE NUMERICA

The screenshot displays the 'Interface Manager' window of the DHI WASY software. The background shows a 2D numerical model grid. The 'Interface Manager' window is divided into several sections:

- Callback Description:** Contains a C++ function signature: `void ExceptionHandler (IfmHandle pHdl, IfmExceptionContext* pEx);` and a description: "The `ExceptionHandler()` is called whenever an exceptional condition in one of the interface functions occurs. The default exception handler prevents the interface function from returning. The execution skips to the next module." Below this, it states "pEx points to following exception structure:" followed by a C++ struct definition: `struct IfmExceptionContext {`.
- Interfaces:** A list box containing 'Regionalization' and 'Simulation'.
- Modules:** A list box containing 'Check Mesh Properties', 'BHE Integrator', 'OpenLoop 1.1' (highlighted), '3D Observation Points', and 'Pest 2.0'.
- Callbacks:** A list box containing '+ ExceptionHandler', '- OnActivate', '- OnBeginDocument', '- OnChangeProblemClass', '- OnChangeTopology', and '- OnEditDocument'.
- Module Information:** A text area stating "Applies a varying temperature difference between extraction and injection nodes of multiple open loop geothermal systems." with 'More info ...' and 'Copyright ...' buttons.
- Bottom Panel:** Contains four buttons: 'New Module', 'Add Module', 'Properties', and 'Build'.

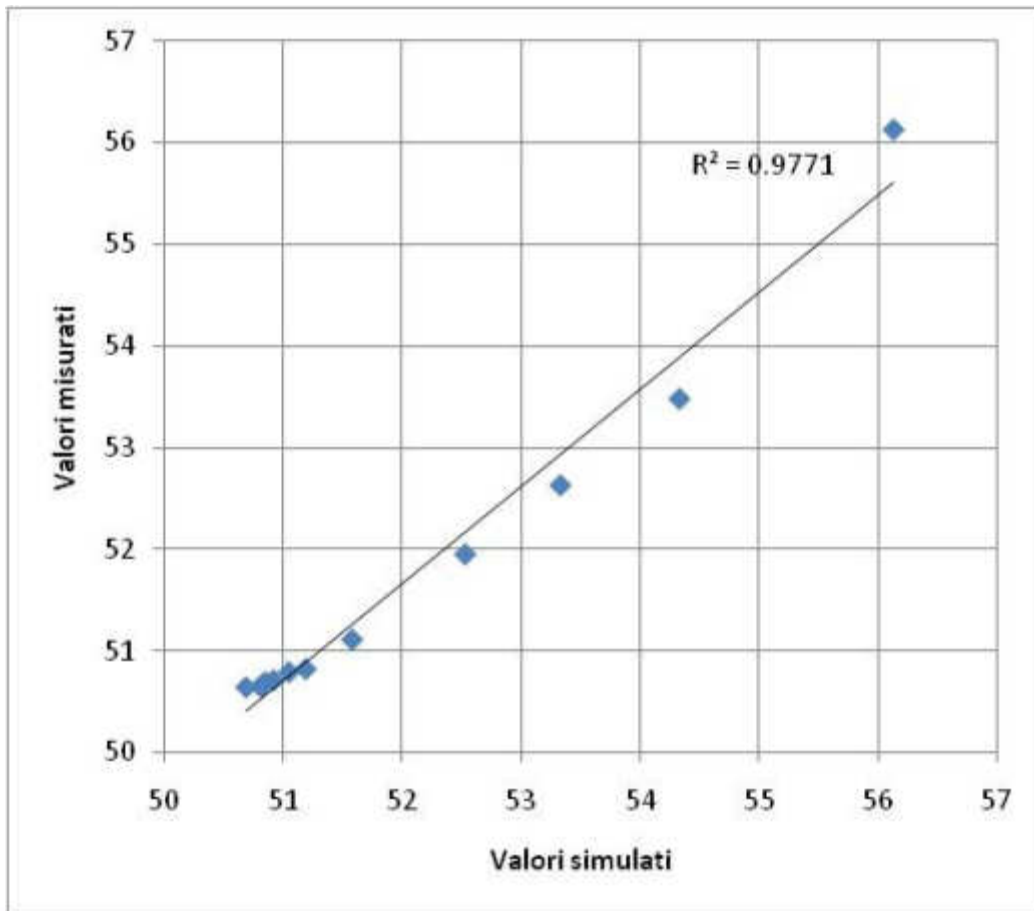
# CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)





# CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

## Calibrazione del modello



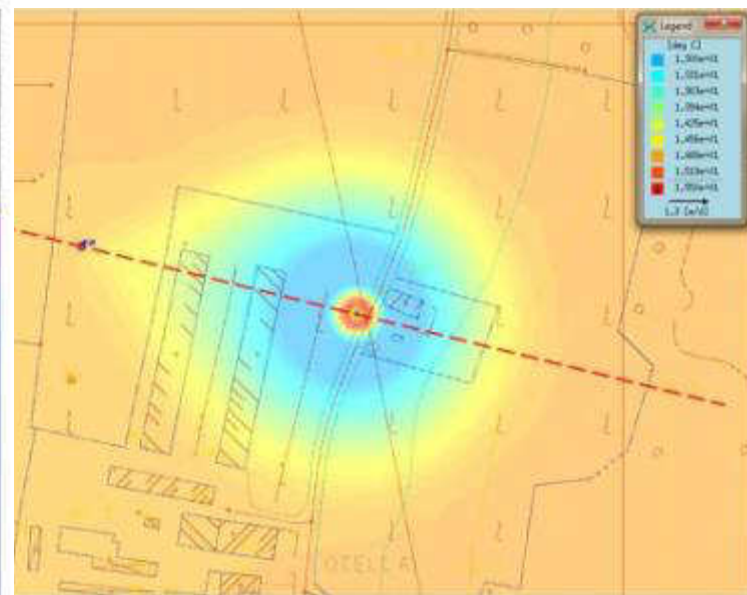
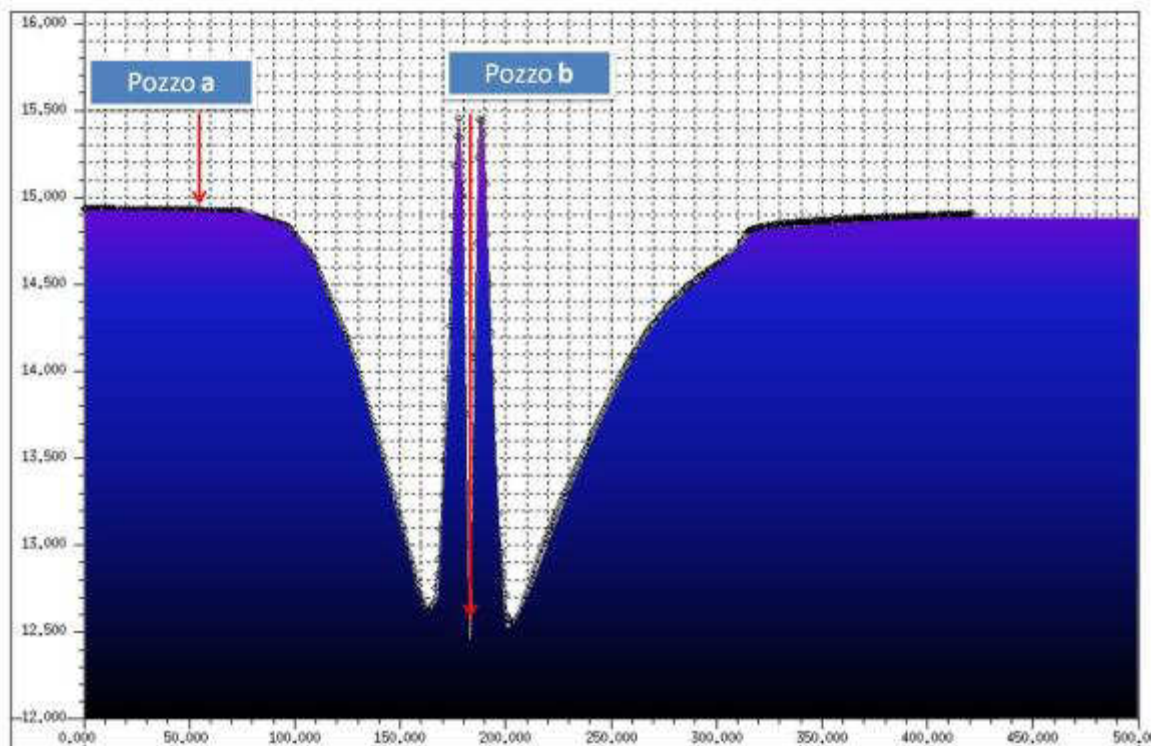
INTRODUZIONE – GEOSCAMBIO - OPEN LOOP – NORMATIVA - **PROGETTAZIONE** - CONCLUSIONI

# CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

## SCENARIO 1: POZZI DI PRELIEVO E RESTITUZIONE FISSI

Plume termico, all'inizio della stagione invernale dopo quasi 7 anni di utilizzo dell'impianto.

Temperature distribution in [deg C] along indicated section (Linear plot):



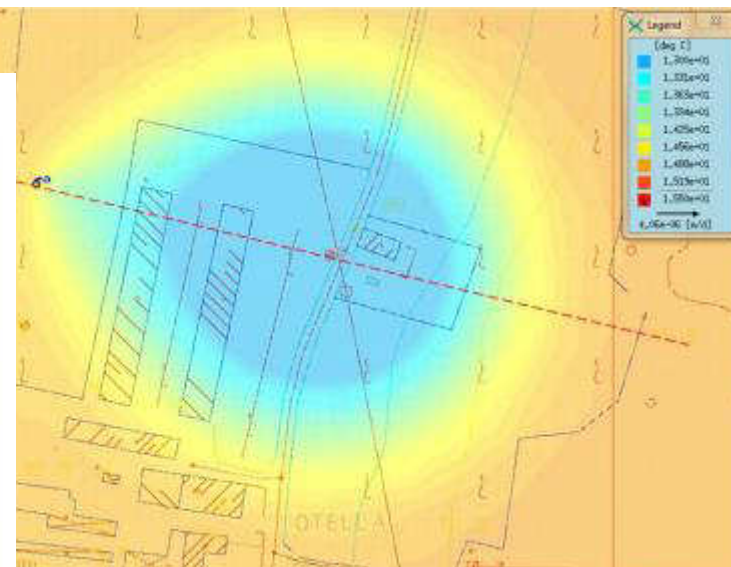
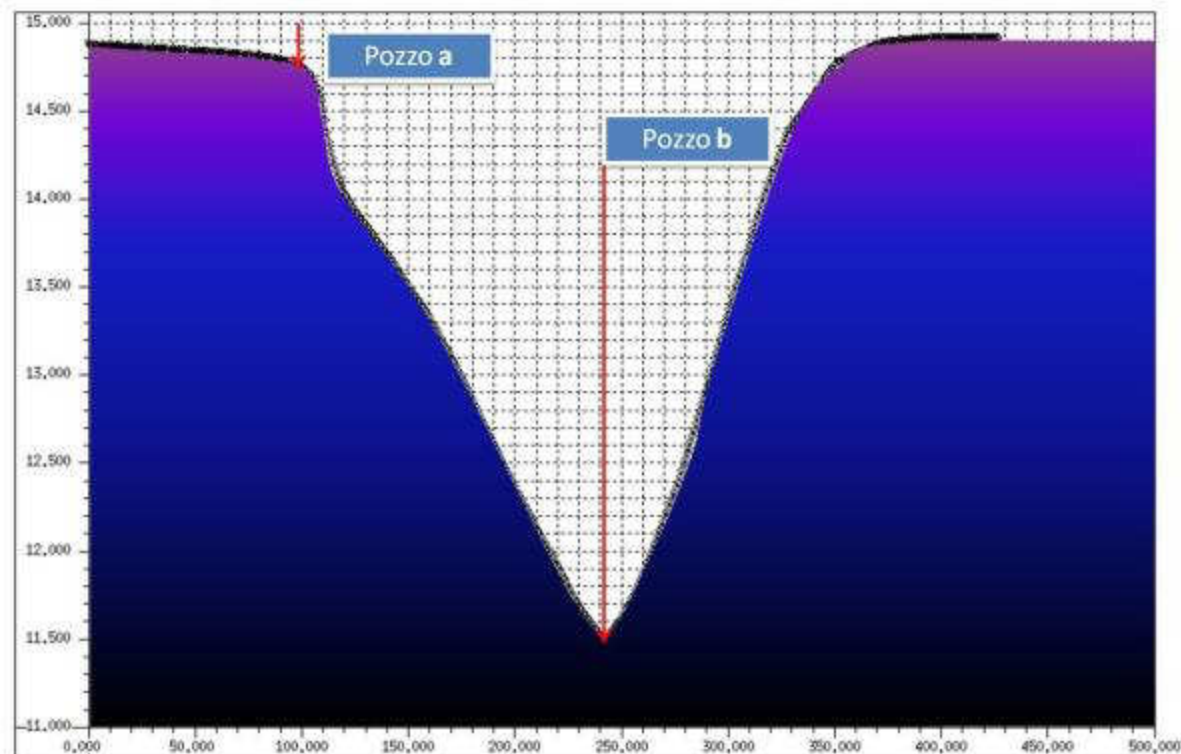
INTRODUZIONE - GEOSCAMBIO - OPEN LOOP - NORMATIVA - **PROGETTAZIONE** - CONCLUSIONI

# CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

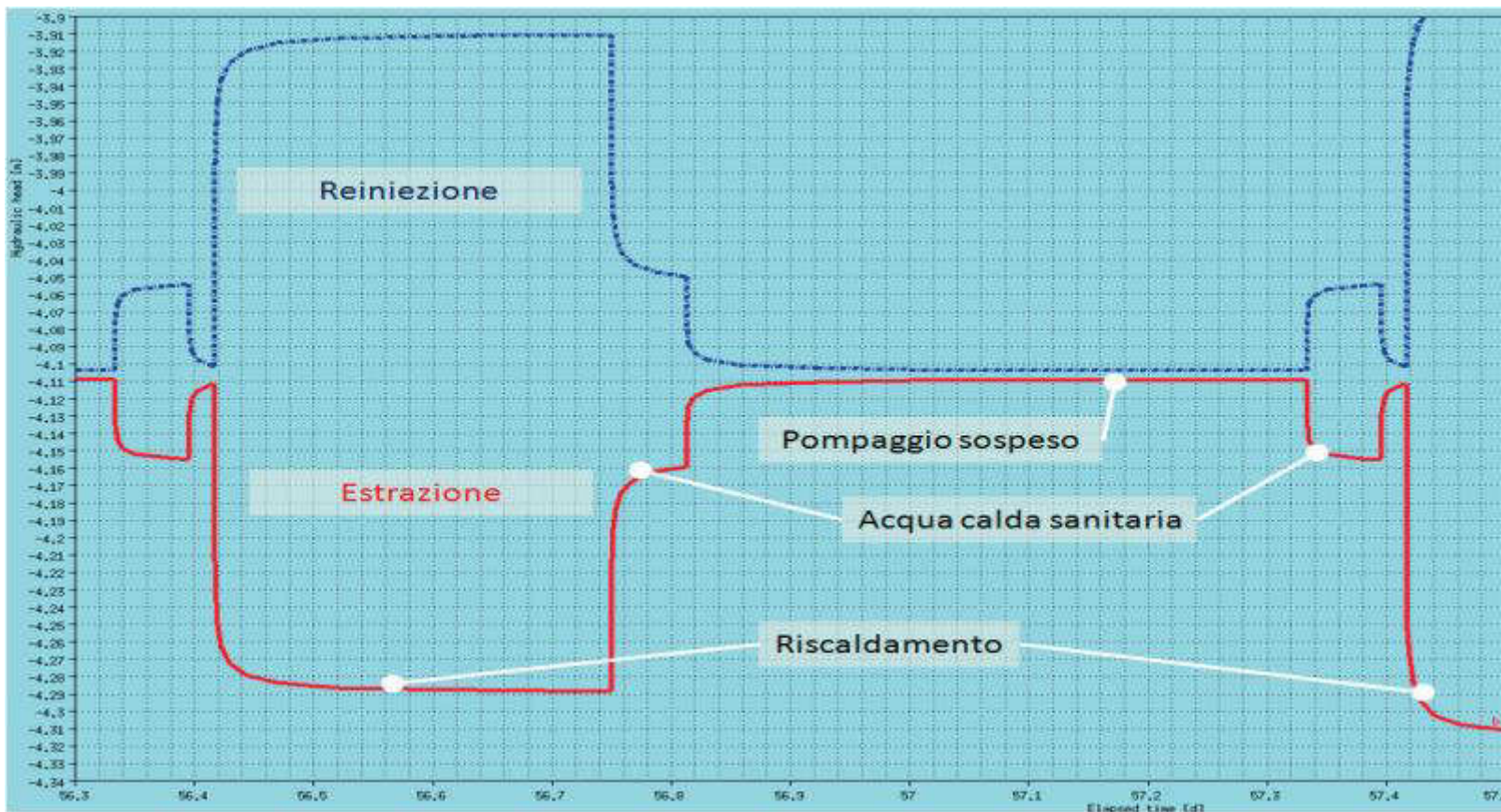
## SCENARIO 2: INVERSIONE DEI POZZI (SWITCH)

### Plume termico dopo 15 anni di utilizzo dell'impianto (switch)

Temperature distribution in [deg C] along indicated section (Linear plot):

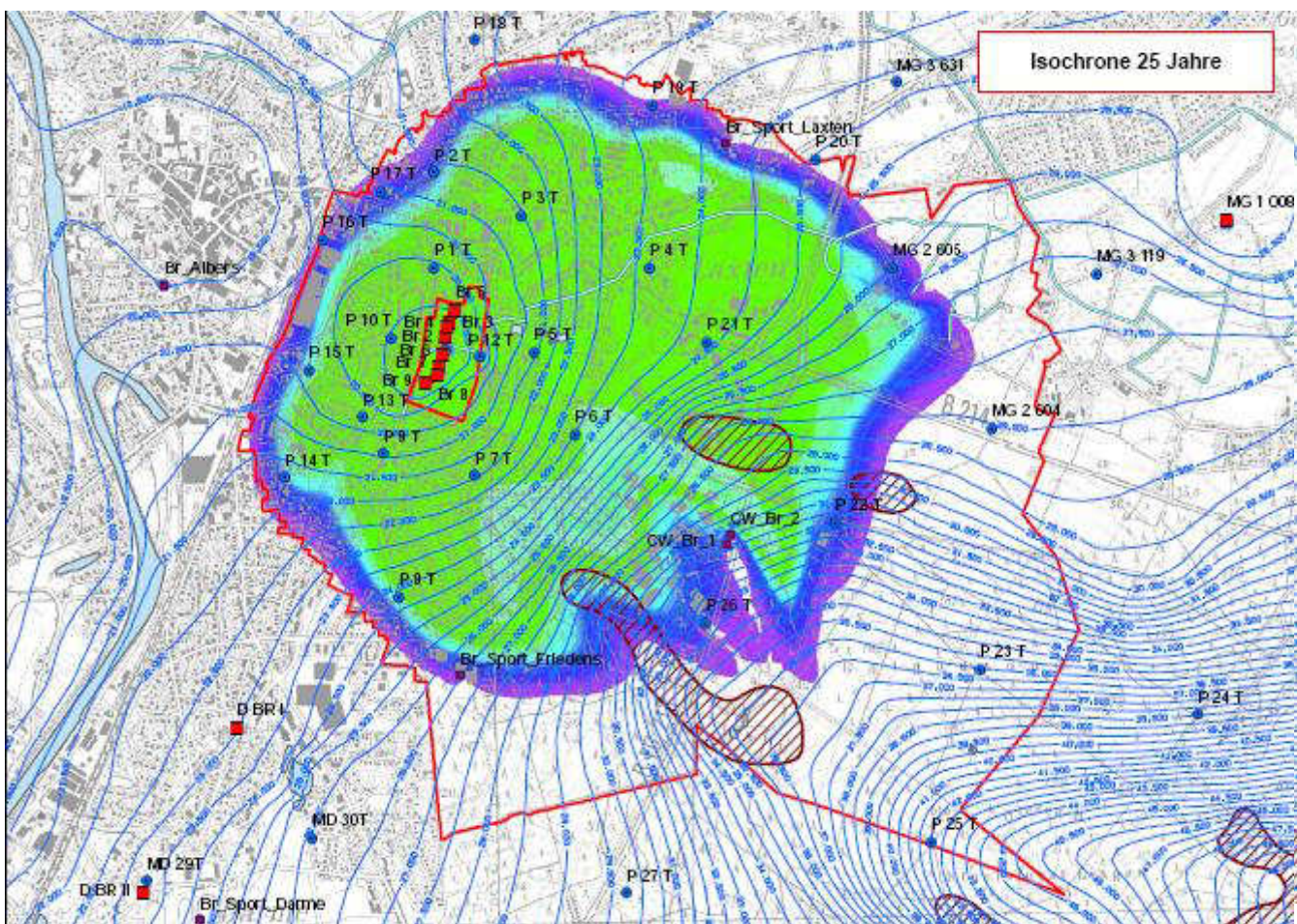


## PREVENIRE IL CORTO CIRCUITO TERMICO



**Abbassamenti (linea continua rossa) ed innalzamenti piezometrici (linea tratteggiata blu) durante le varie fasi giornaliere di funzionamento dell'impianto di geoscambio**

# IMPRONTA TERMICA



## **IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO “PALAZZO LOMBARDIA” DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA**



## **IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO “PALAZZO LOMBARDIA” DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA**

<b>Pozzi di prelievo</b>	8
<b>Profondità pozzi</b>	50 m
<b>Portata acqua di falda</b>	8 x 40 l/s = 320 l/s
<b>Temperatura acqua di falda ingresso / uscita</b>	15 / 6 °C
<b>Scarico acqua di falda</b>	in roggia superficiale
<b>Numero pompe di calore</b>	3
<b>Tipologia pompe di calore</b>	con compressore a vite
<b>Potenza termica pompe di calore ceduta a sorgente calda</b>	3 x 2.150 kW
<b>Copertura del fabbisogno termico invernale del complesso con pompe di calore</b>	100%
<b>Funzionamento estivo delle pompe di calore come ciclo frigorifero per produzione acqua gelida</b>	



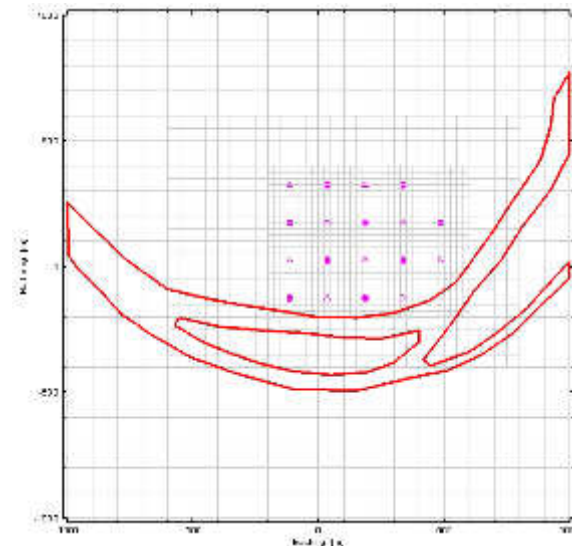
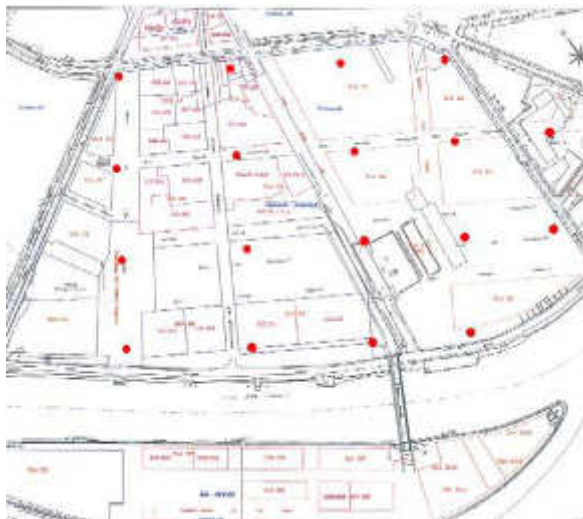
**SISTEMI DI  
TELERISCALDAMENTO DA 73 MWt  
E  
TELERAFFREDDAMENTO DA 23 MWf**

**A SERVIZIO DEL QUARTIERE DI  
BOULOGNE-BILLANCOURT A PARIGI**

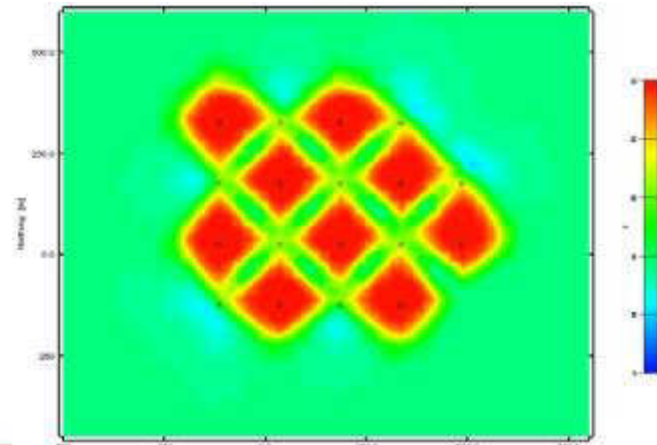
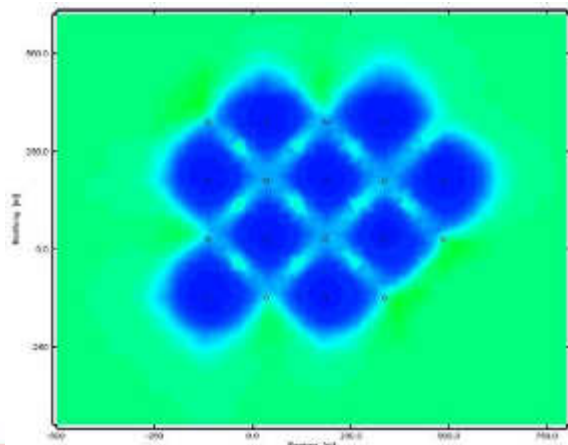




# CONFIGURAZIONE DEI POZZI DI ACQUA DI FALDA PER IL PROGETTO DI TELERISCALDAMENTO GEOTERMICO A SERVIZIO DEL QUARTIERE DI BOULOGNE-BILLANCOURT A PARIGI

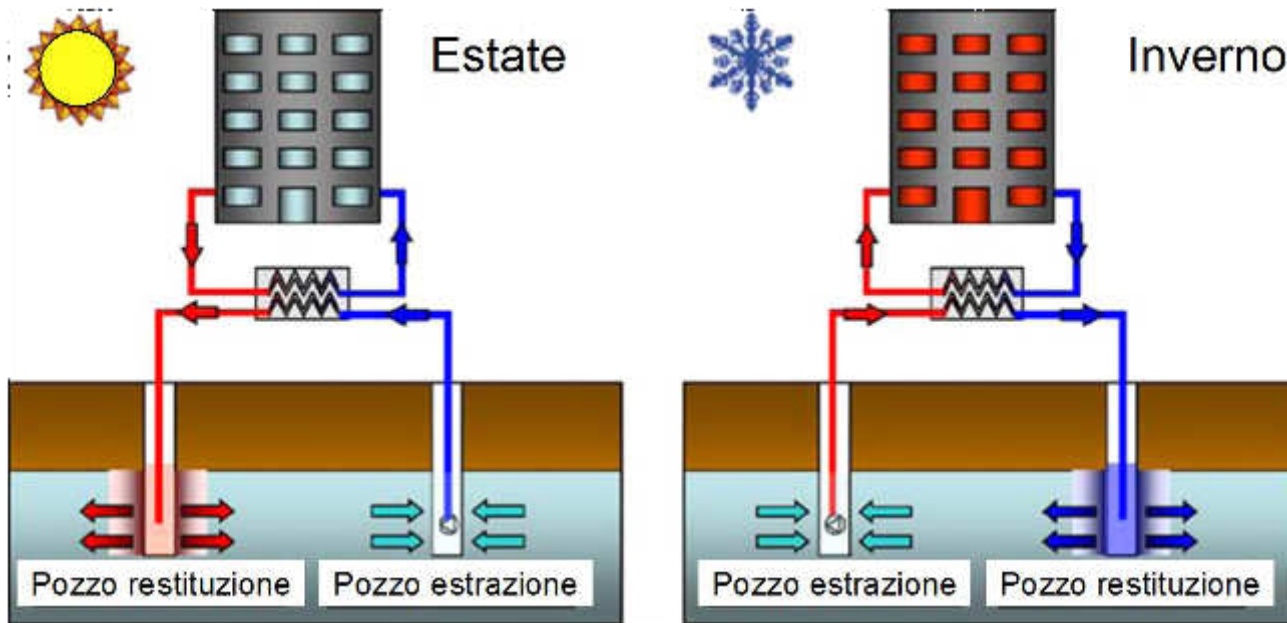


Implantation des 18 puits pour l'estimation du potentiel géothermique de la Craie

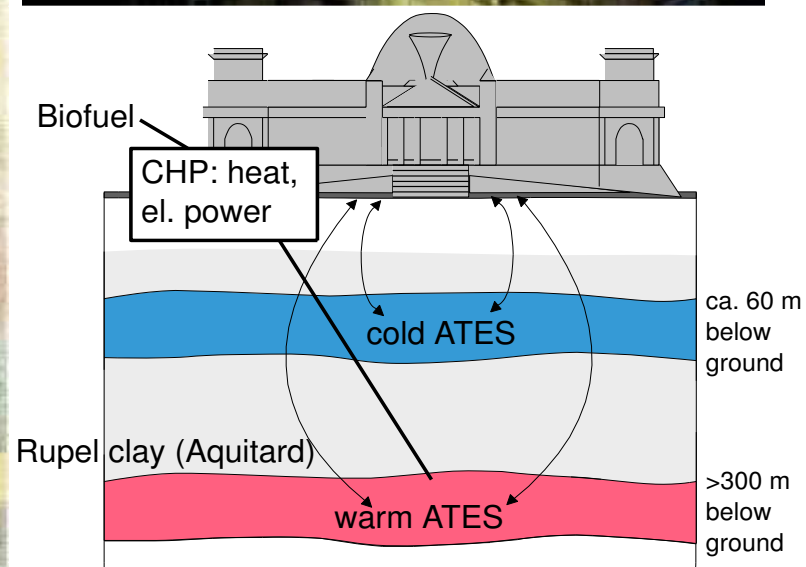
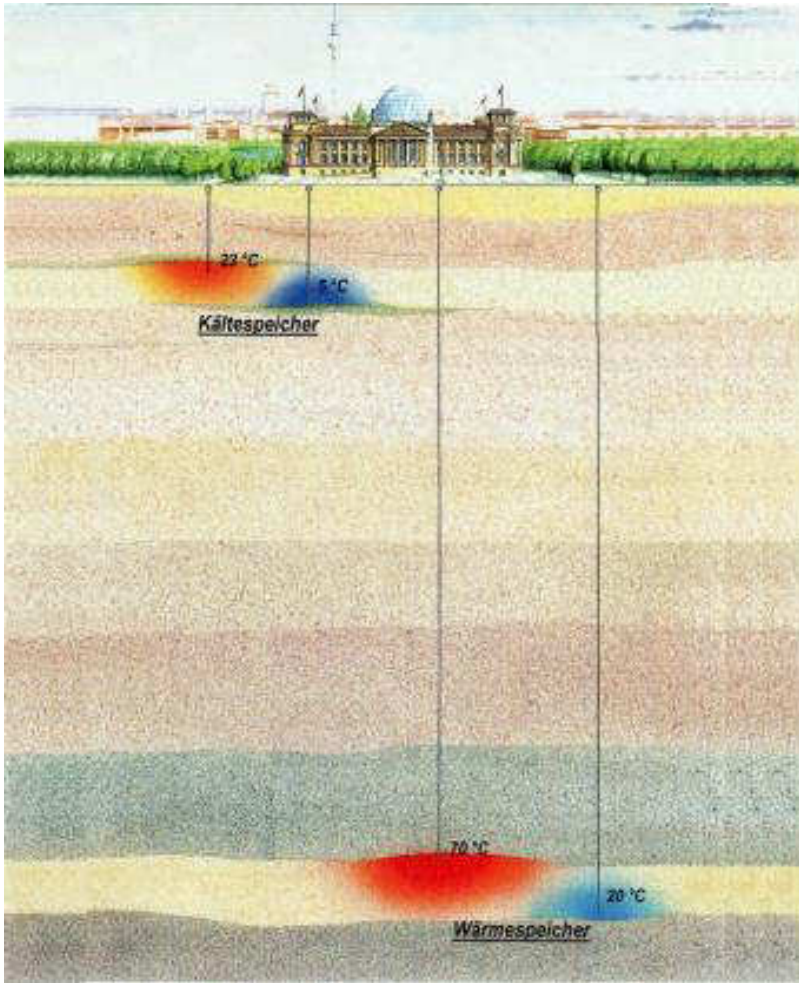


Etats de saturation thermique de la Craie (en froid à gauche - en chaleur à droite)

# AQUIFER THERMAL ENERGY STORAGE



# PALAZZO DEL PARLAMENTO TEDESCO (BERLINO)



## **MOTIVAZIONI PER UN PREVEDIBILE SVILUPPO DI SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO GEOTERMICI**

- AMPIA DISPONIBILITÀ SUL TERRITORIO NAZIONALE DI SITUAZIONI GEOLOGICHE FAVOREVOLI
- TENDENZA A UN CONSISTENTE SVILUPPO DEL TELERISCALDAMENTO PER LA NECESSITÀ DI FIDELIZZAZIONE DEL CLIENTE FINALE
- DISPONIBILITÀ DI POMPE DI CALORE CHE POSSONO EROGARE ACQUA CALDA ALLA TEMPERATURA DI 90° C
- TREND DI CRESCITA DEL PREZZO DELL'ENERGIA ELETTRICA INFERIORE A QUELLO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI
- CONTRIBUTO A FONDO PERDUTO (CREDITO D'IMPOSTA) PER SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO GEOTERMICI PARI A 0,0258 EURO/kWh<sub>t</sub> IN CONTO ESERCIZIO E 20,66 EURO/kWh<sub>t</sub> IN CONTO CAPITALE (SOLO PER ZONE CLIMATICHE E ED F)

