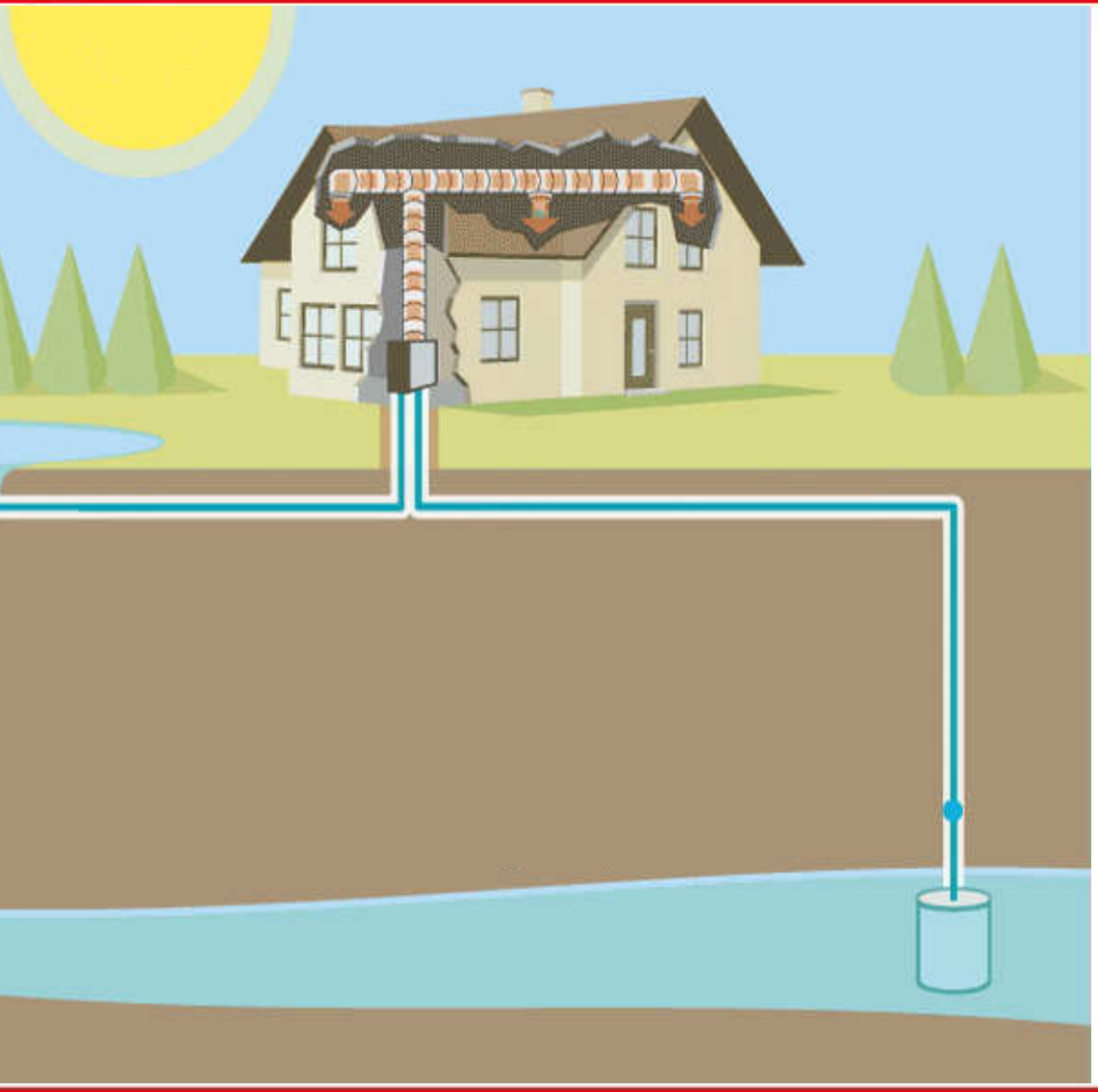
I SISTEMI DI GEOSCAMBIO A CIRCUITO APERTO

Associazione culturale GEOTERMIA VERONESE

La progettazione dei pozzi di derivazione: criteri costruttivi

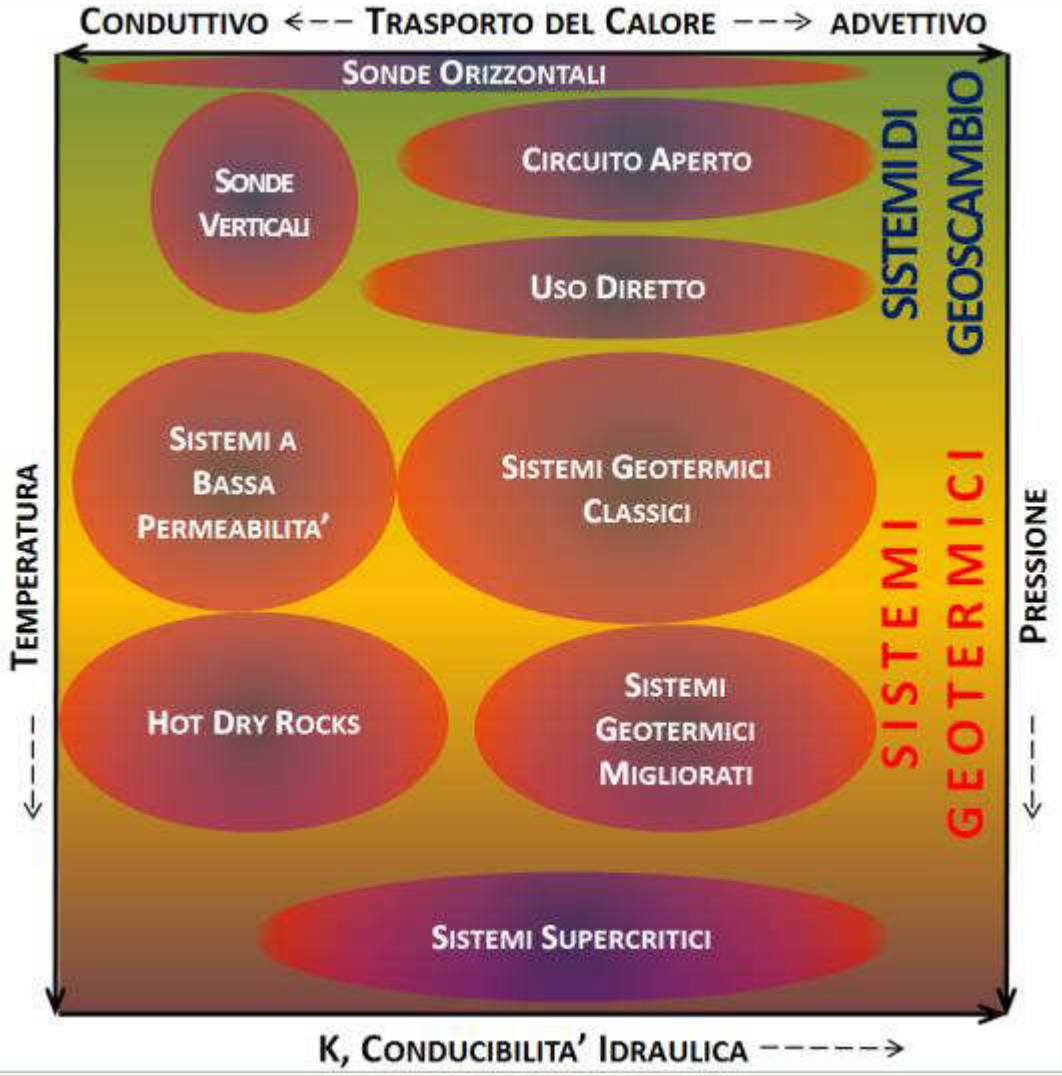
Ordine degli Ingegneri di Verona e provincia
Verona, 4 dicembre 2015

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*



SISTEMI GEOTERMICI Vs SISTEMI DI GEOSCAMBIO

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

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

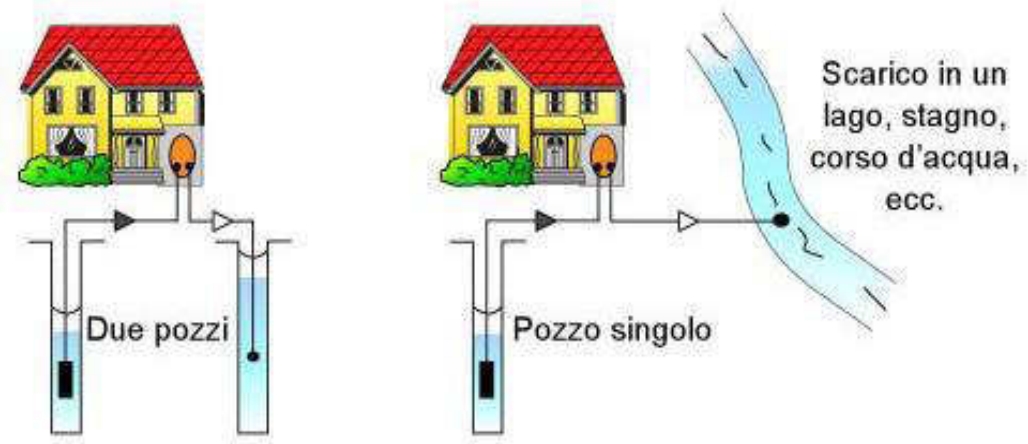
SISTEMI DI SCAMBIO TERMICO: TIPOLOGIE

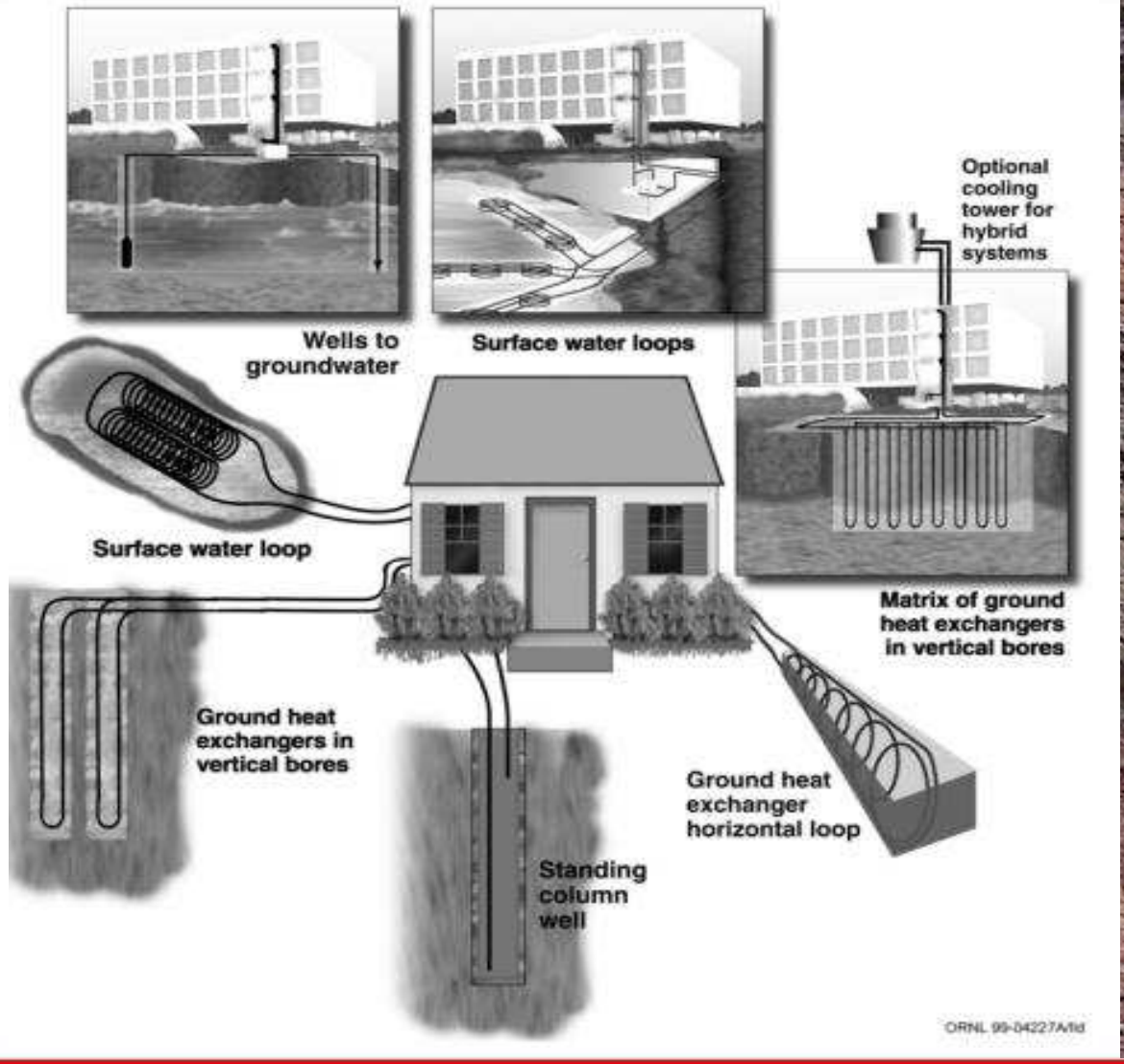
I **sistemi di geoscambio** usano il sottosuolo come:

- **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)*

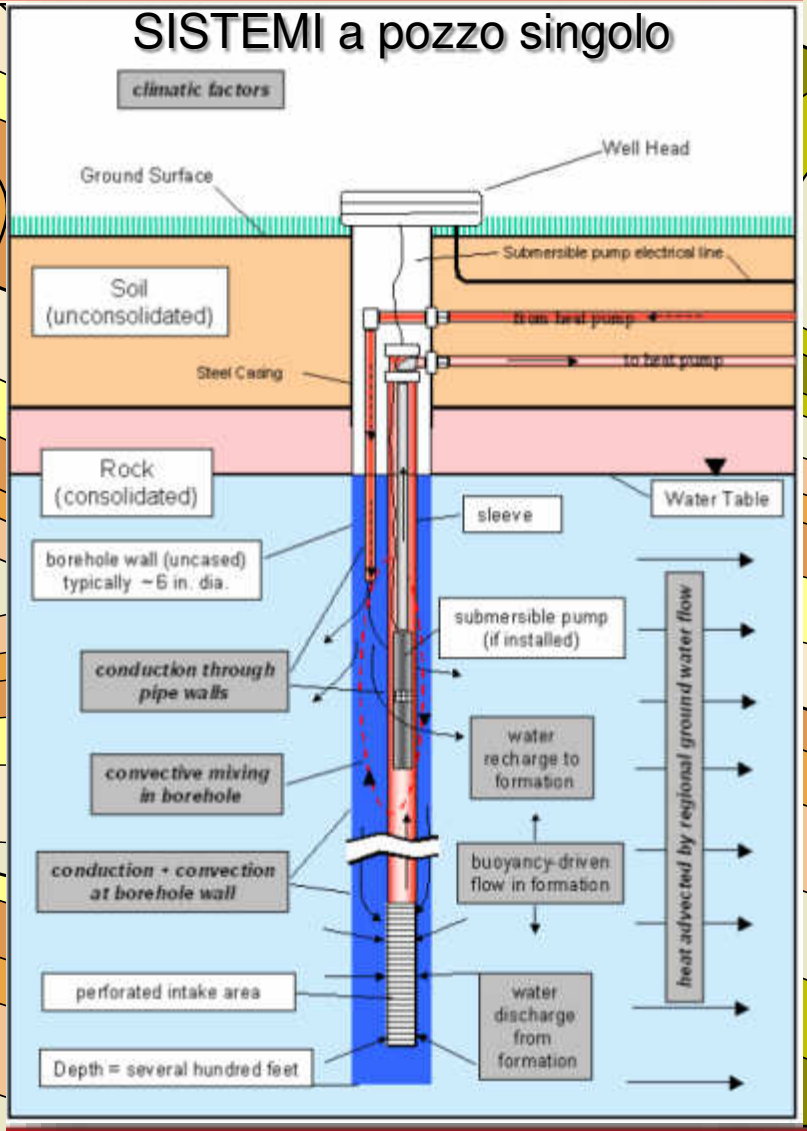
✖ Scambio con utilizzo diretto di ACQUE SOTTERRANEE

(sistema a circuito aperto);




Wells to groundwater
Surface water loops
Optional cooling tower for hybrid systems
Surface water loop
Matrix of ground heat exchangers in vertical bores
Ground heat exchangers in vertical bores
Ground heat exchanger horizontal loop
Standing column well
ORNL 99-04227A/td

SISTEMI a pozzo singolo



UTILIZZO DI SISTEMI A CIRCUITO CHIUSO

VANTAGGI

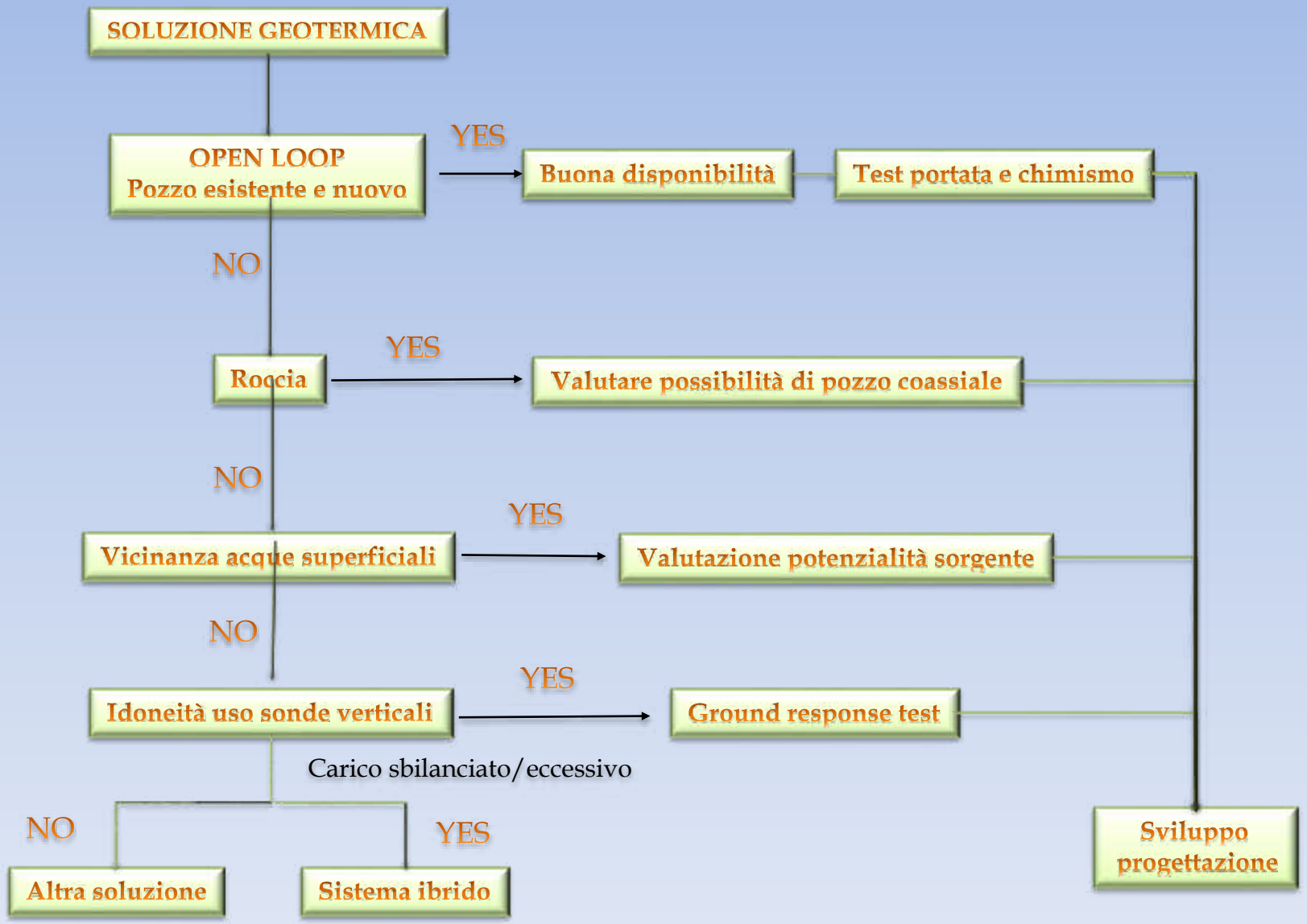
- LE RISORSE SUPERFICIALI SONO FACILMENTE ACCERTABILI E UBIQUITARIE
- ASSENZA DEL RISCHIO MINERARIO
- ASSENZA DI RISCHIO DI SUBSIDENZA O DI INDURRE PROBLEMI AD ALTRI USI DI ACQUE DI FALDA
- CHIMISMO IN GENERE POCO PROBLEMATICO
- PROCEDURE AUTORIZZATIVE GENERALMENTE SEMPLICI

SISTEMI CON PRELIEVO DI FLUIDO DAL SOTTOSUOLO

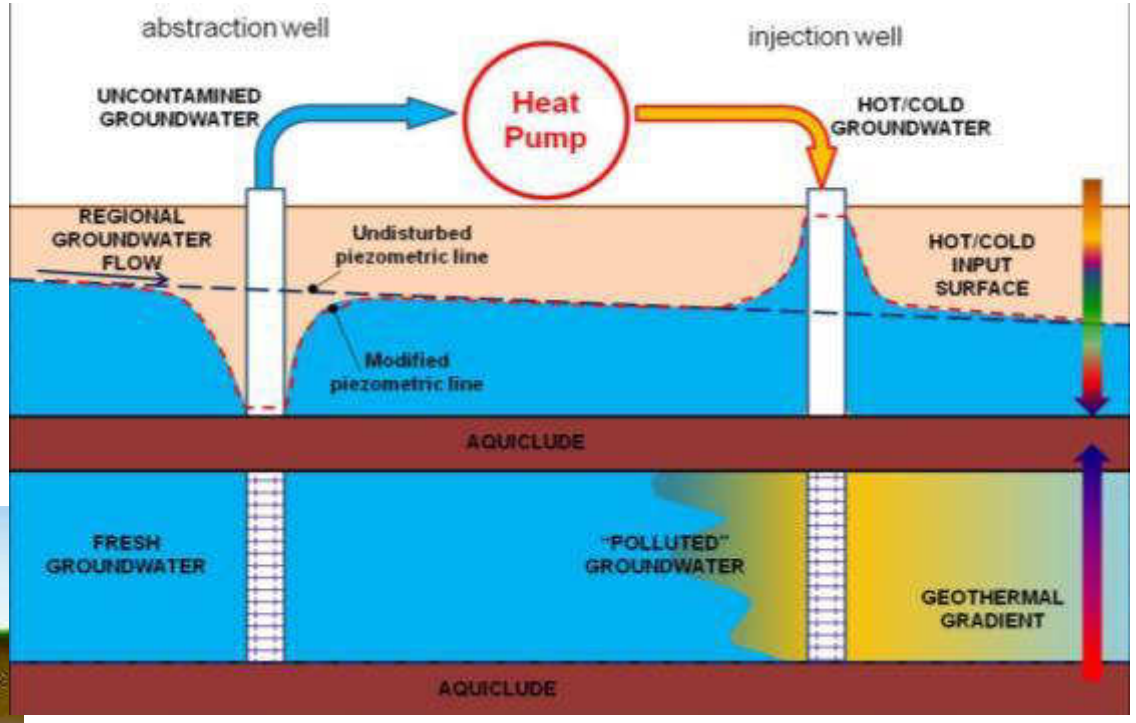
I SISTEMI CON PRELIEVO DI FLUIDO DAL SOTTOSUOLO HANNO I SEGUENTI VANTAGGI:

- 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, Dl 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;

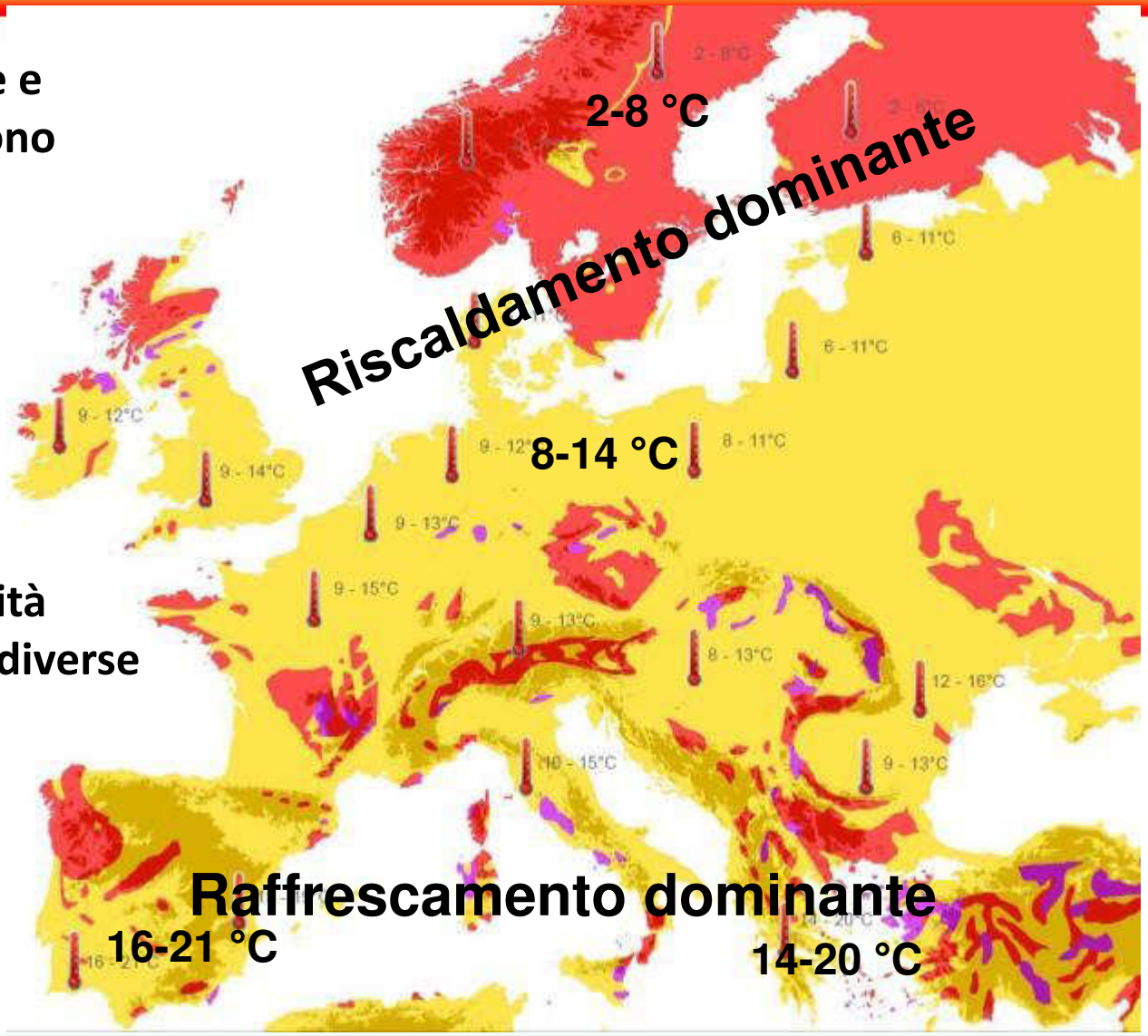
✓Possibile chimismo problematico per circuito idraulico e filtri

✓Interazioni con pozzi limitrofi;

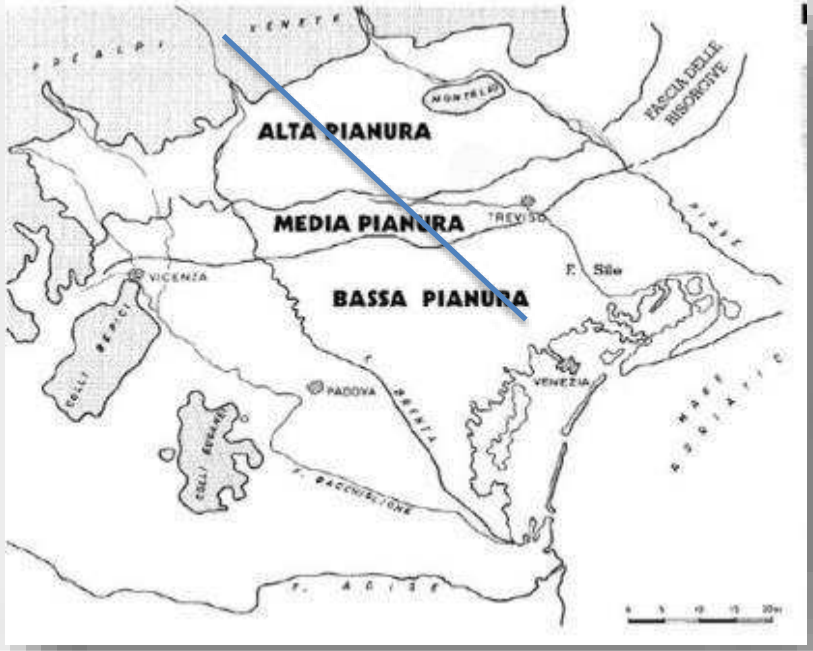
✓alterazioni nella dinamica delle falde, specie a fronte di prelievi e scarichi di rilevante entità o in numero elevato.

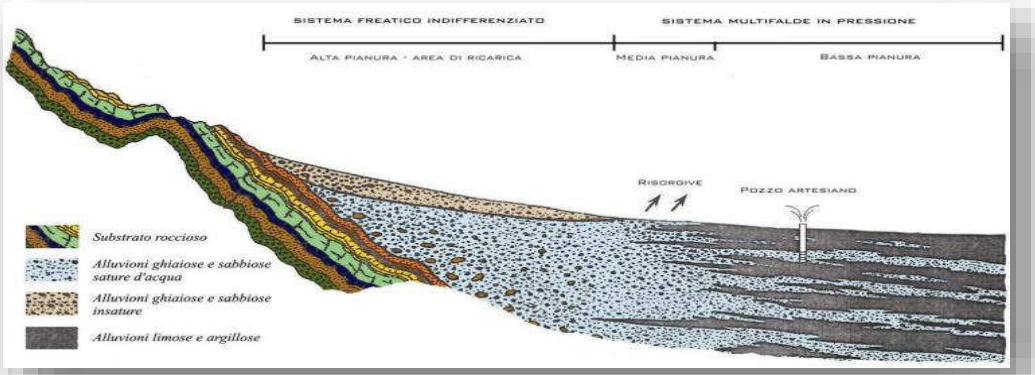
Le condizioni climatiche e geologiche in Europa sono molto variabili

Anche le condizioni economiche e le modalità costruttive sono molto diverse

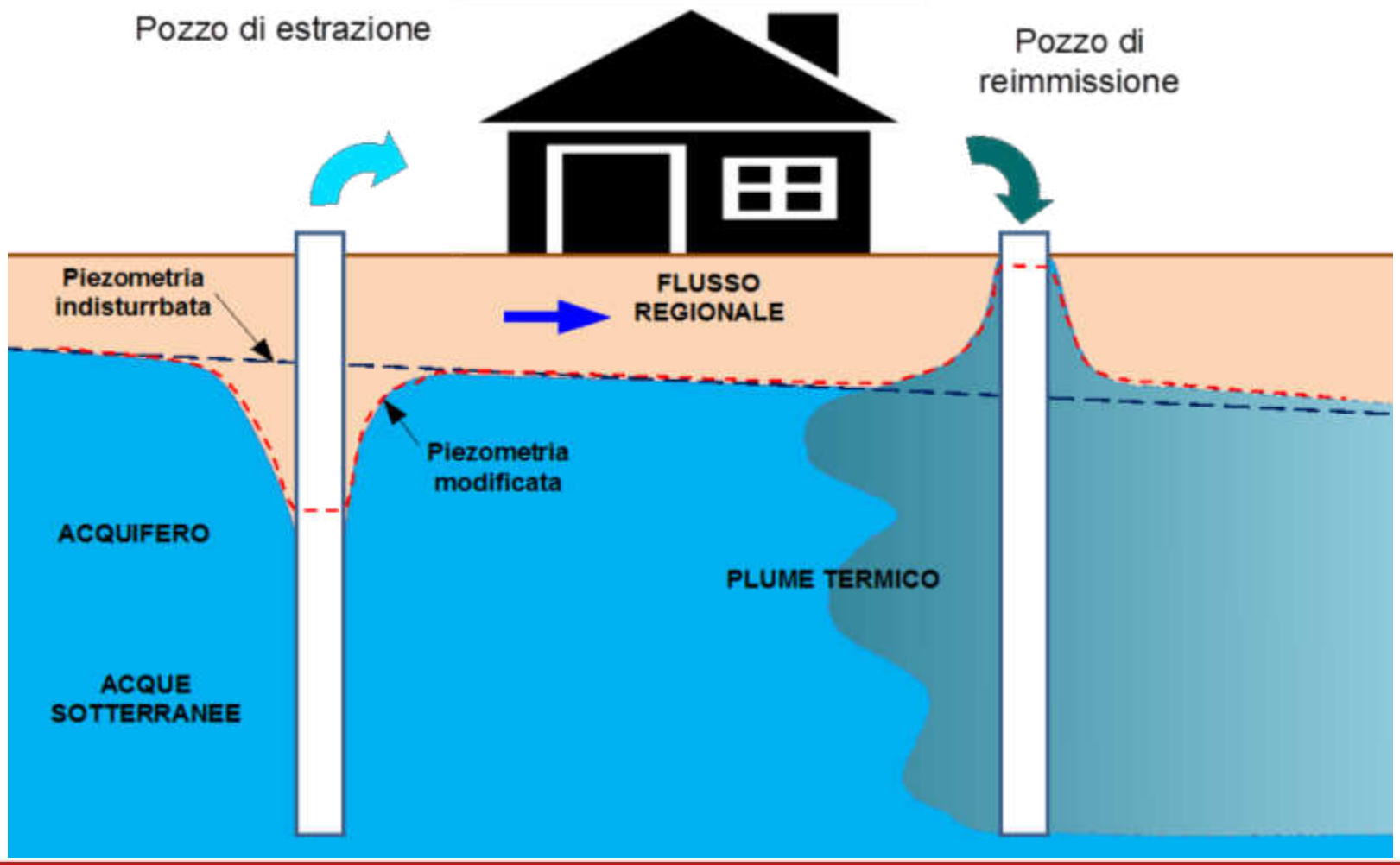


Fonte: Sanner - European Geothermal Energy Council


ALTA PIANURA
MEDIA PIANURA
BASSA PIANURA
MONTELLO
FASCIA DELLE RISORGIVE
TREVISO
VICENZA
F. Sile
PADOVA
VENEZIA
COLLI BERICI
COLLI EUGANEI
F. BACCHIGLIONE
F. ADIGE

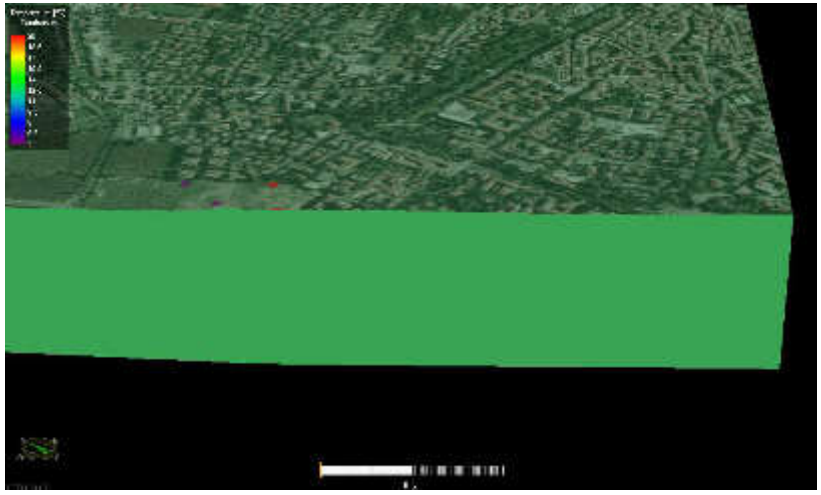

SISTEMA FREATICO INDIFFERENZIATO
SISTEMA MULTIFALDE IN PRESSIONE
ALTA PIANURA - AREA DI RICARICA
MEDIA PIANURA
BASSA PIANURA
RISORGIVE
POZZO ARTESIANO
Substrato roccioso
Alluvioni ghiaiose e sabbiose sature d'acqua
Alluvioni ghiaiose e sabbiose insature
Alluvioni limose e argillose

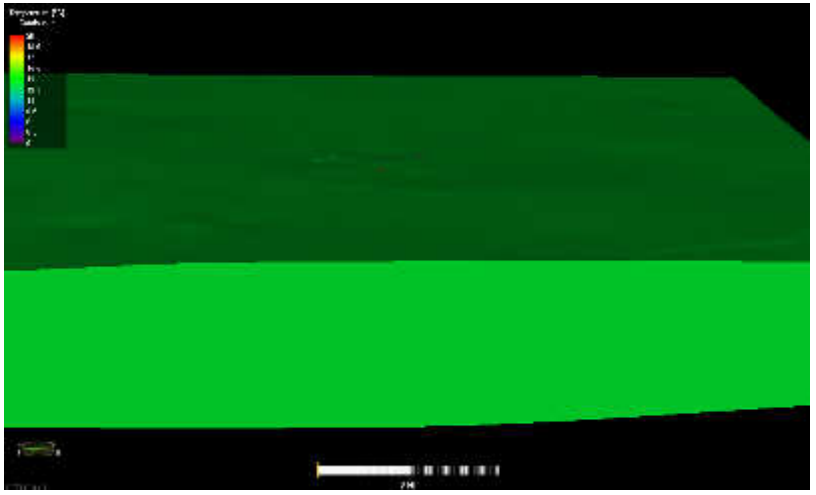
CIRCUITO APERTO – FUNZIONAMENTO E PROGETTAZIONE

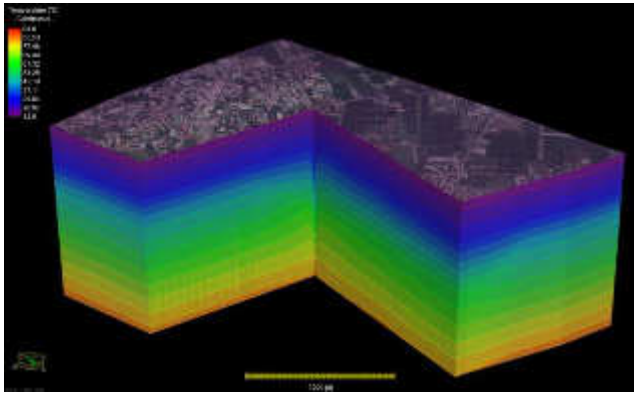


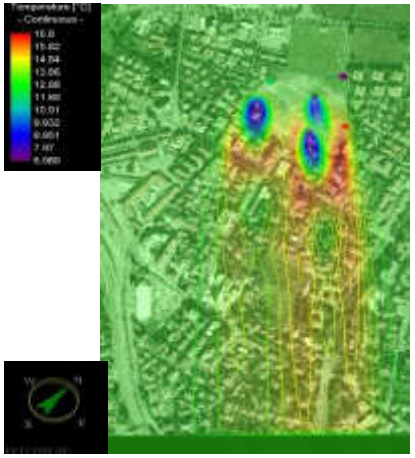
GEOTERMIA *VERONESE* - 04.12.2015 - I SISTEMI DI GEOSCAMBIO A CIRCUITO APERTO

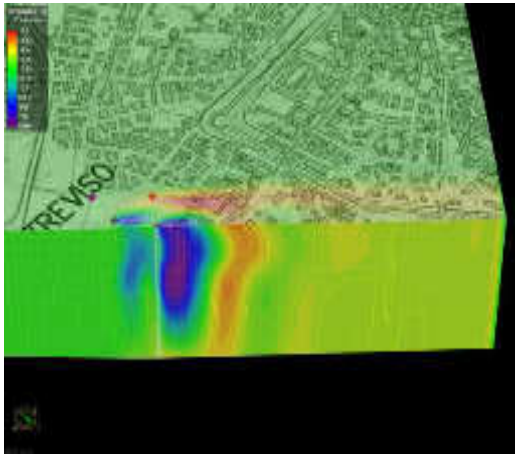
Impianto geotermico dell'area Appiani (Treviso)



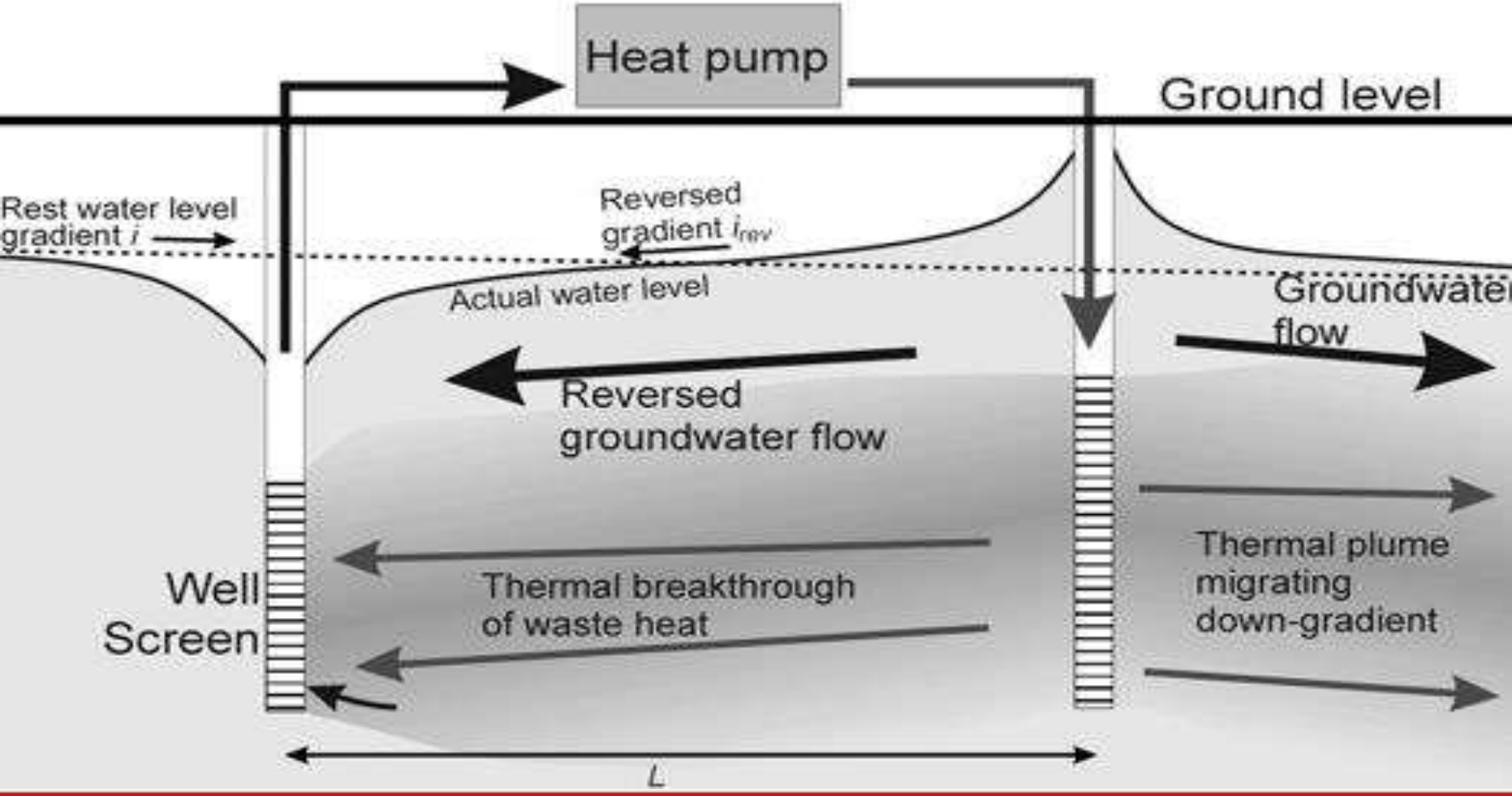






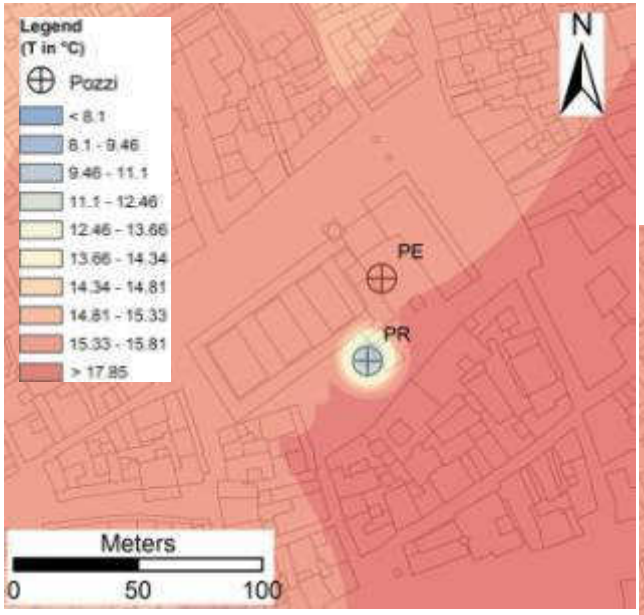


CIRCUITO APERTO – CORTO CIRCUITO TERMICO



Banks, 2007

CIRCUITO APERTO – VICENZA



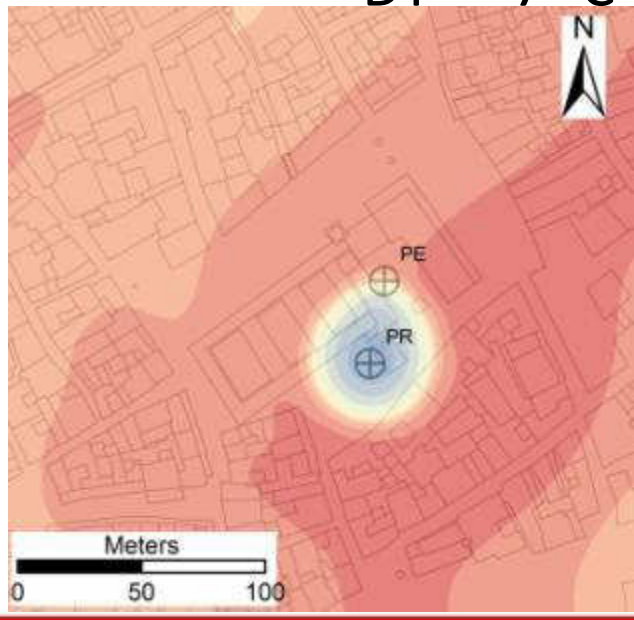
Regime invernale: 1 Gen -> 31 Mar

Q = 561.6 m^3/d (= 6.5 l/s)

h.24

Ti = 14.8°C

DT = -7 °C



Dati Sinergeo (VI)

Plume “freddo” in fase di formazione

CIRCUITO APERTO –VICENZA

Regime estivo: 1 Giu -> 31 Ago

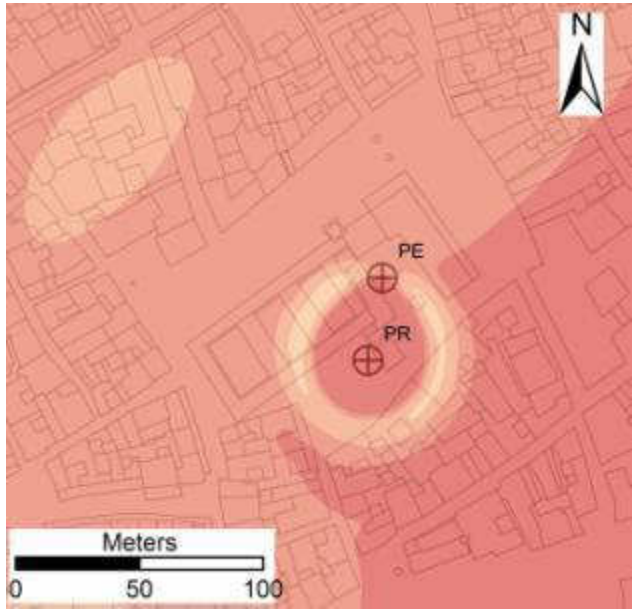
Q = 561.6 m^3/d (= 6.5 l/s)

h.24

Ti = 14.8°C

ΔT = +8 °C

Dati Sinergeo (VI)



Plume “caldo” in fase di formazione

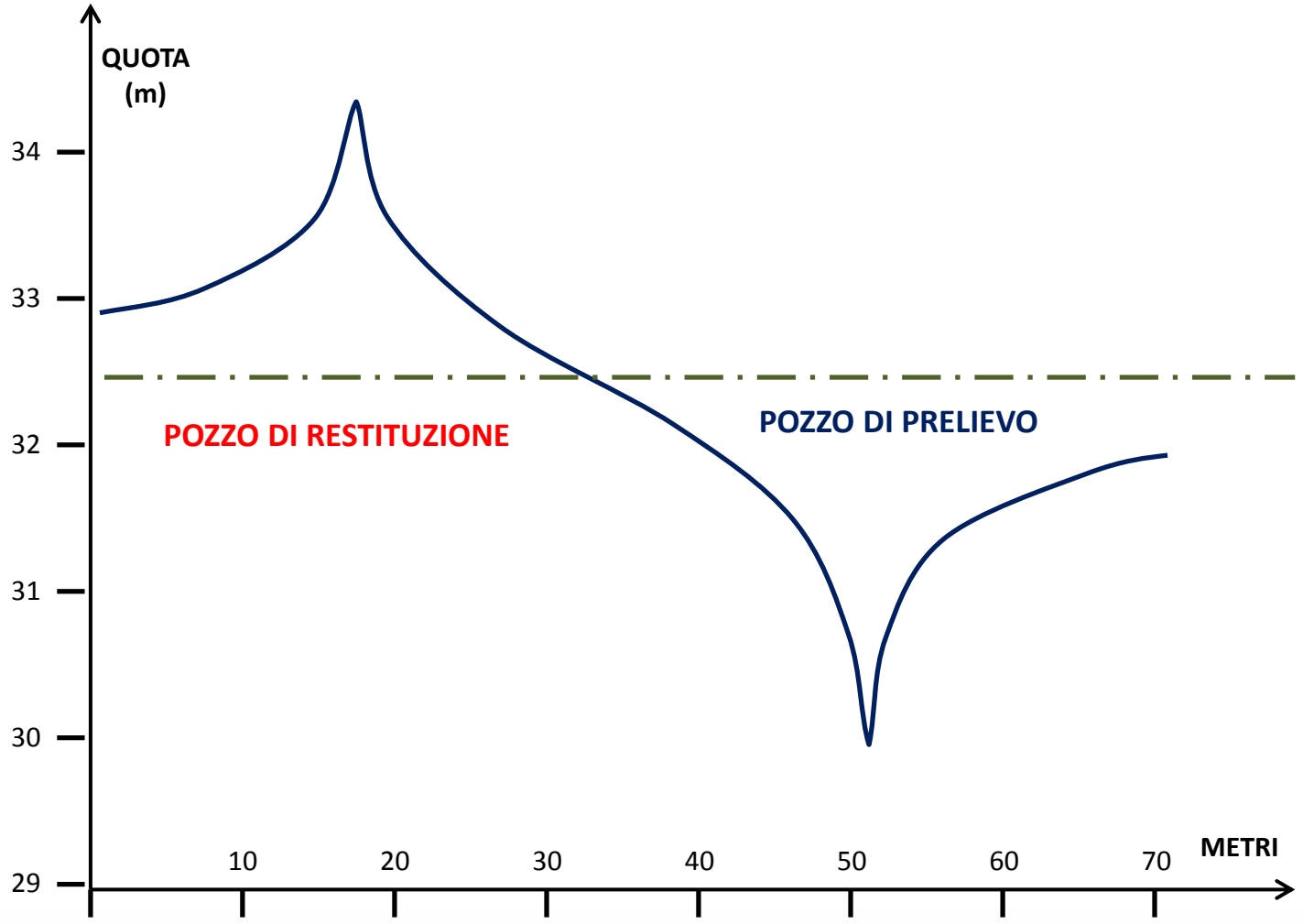
CIRCUITO APERTO –VICENZA

Nuovo gradiente piezometrico locale

Cono di pressione (in PR)
Cono di sovra-pressione (in PE)

Richiamo d'acqua in PE

Corto-circuitazione termica



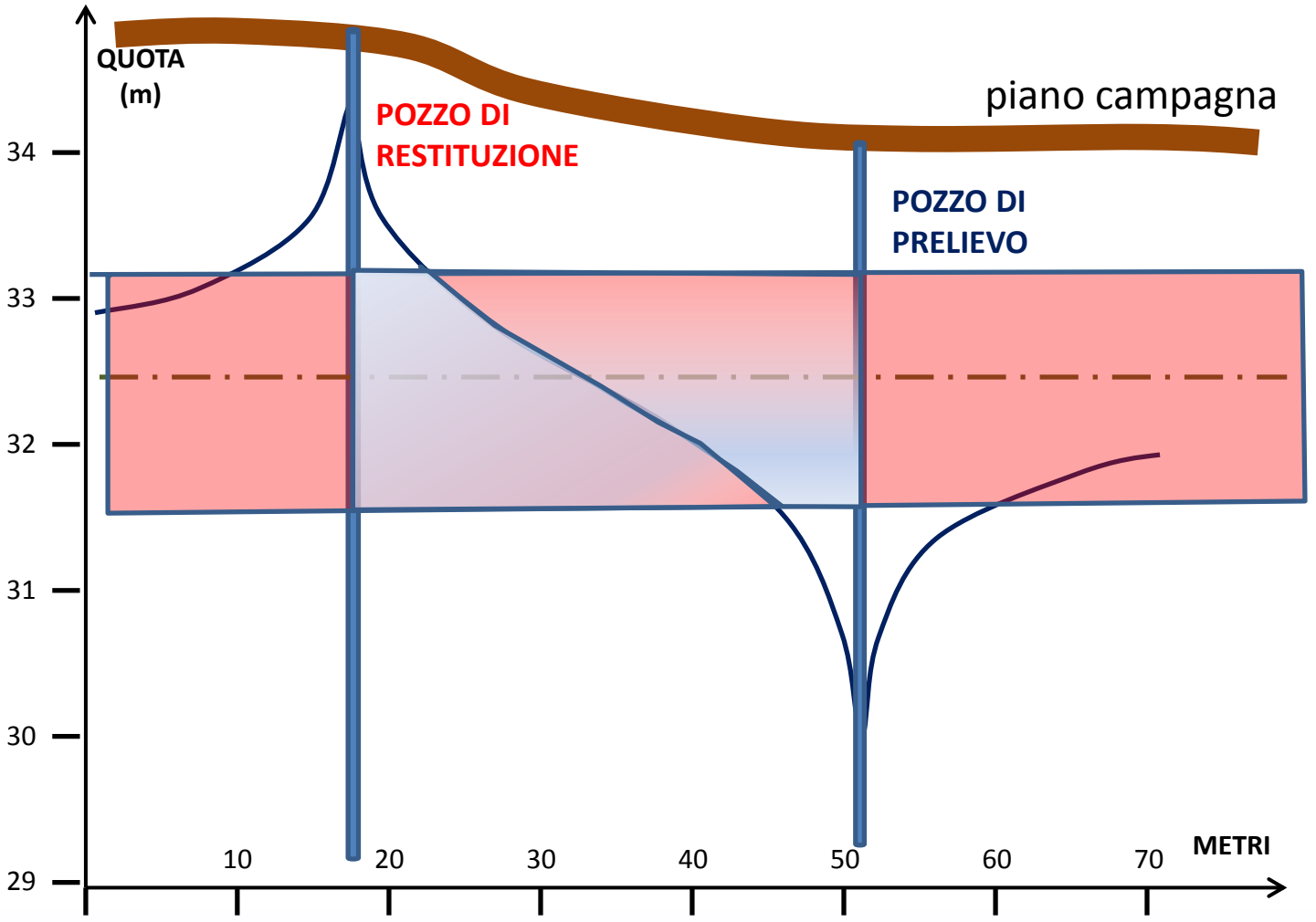
CIRCUITO APERTO –VICENZA

PROBLEMATICHE LEGATE AL CIRCUITO APERTO

- Emungimento
- Subsidenza indotta
- Estrazione materiale fine
- Il cono di restituzione e' sempre maggiore di quello teorico

↓

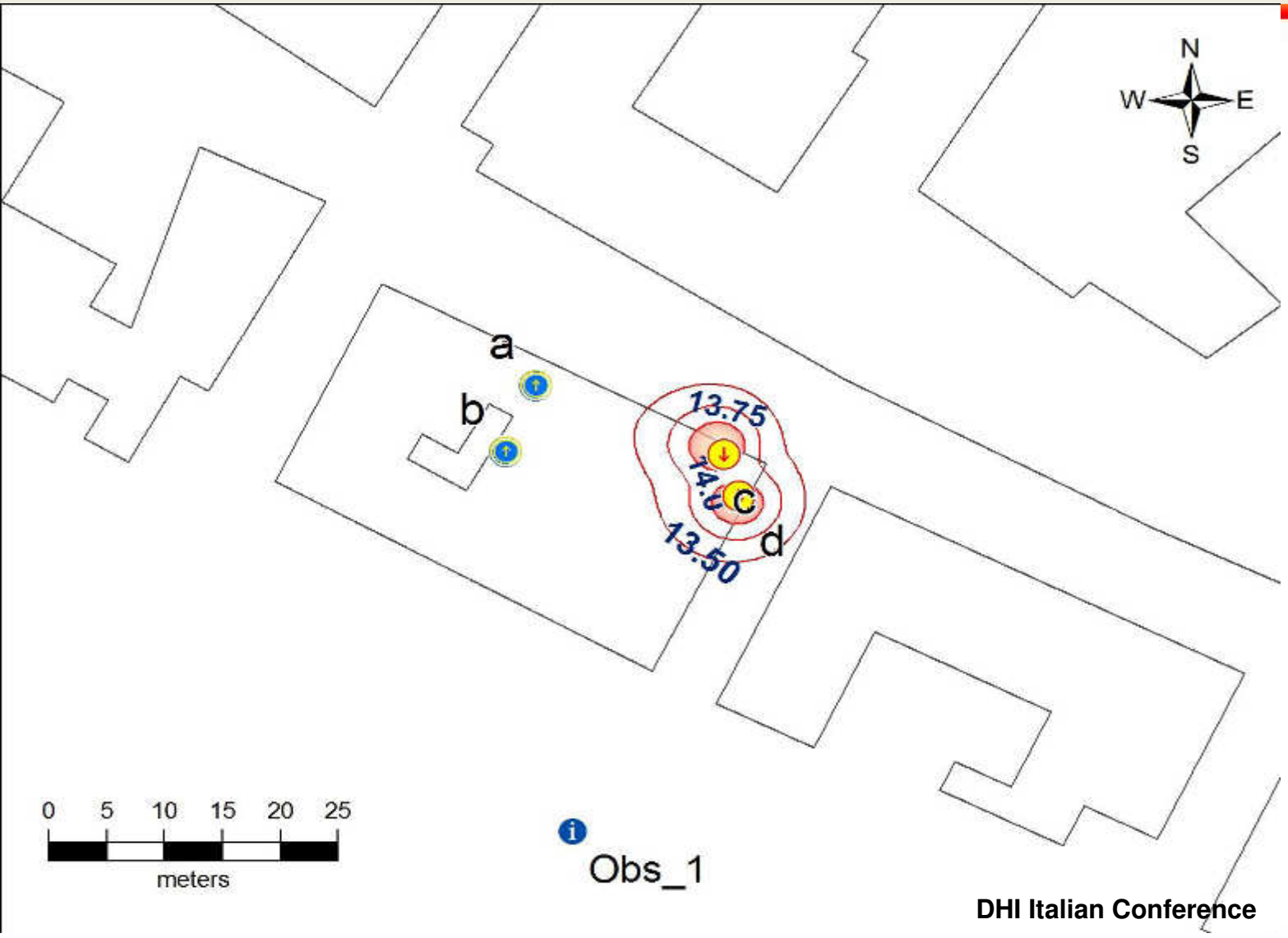
Spesso la progettazione prevede piu' pozzi di restituzione per ciascun pozzo di prelievo



Temperature [°C]
- Continuous -
26
23.8
21.6
19.4
17.2
15
12.8
10.6
8.4
6.2
4
Temperature [°C]
- Isolines -
26
24.53
23.07
21.6
20.13
18.67
17.2
15.73
14.27
12.8
11.33
9.867
8.4
6.933
5.467
4
0 [d]
FEFLOW (R)

CIRCUITO APERTO ROVIGO

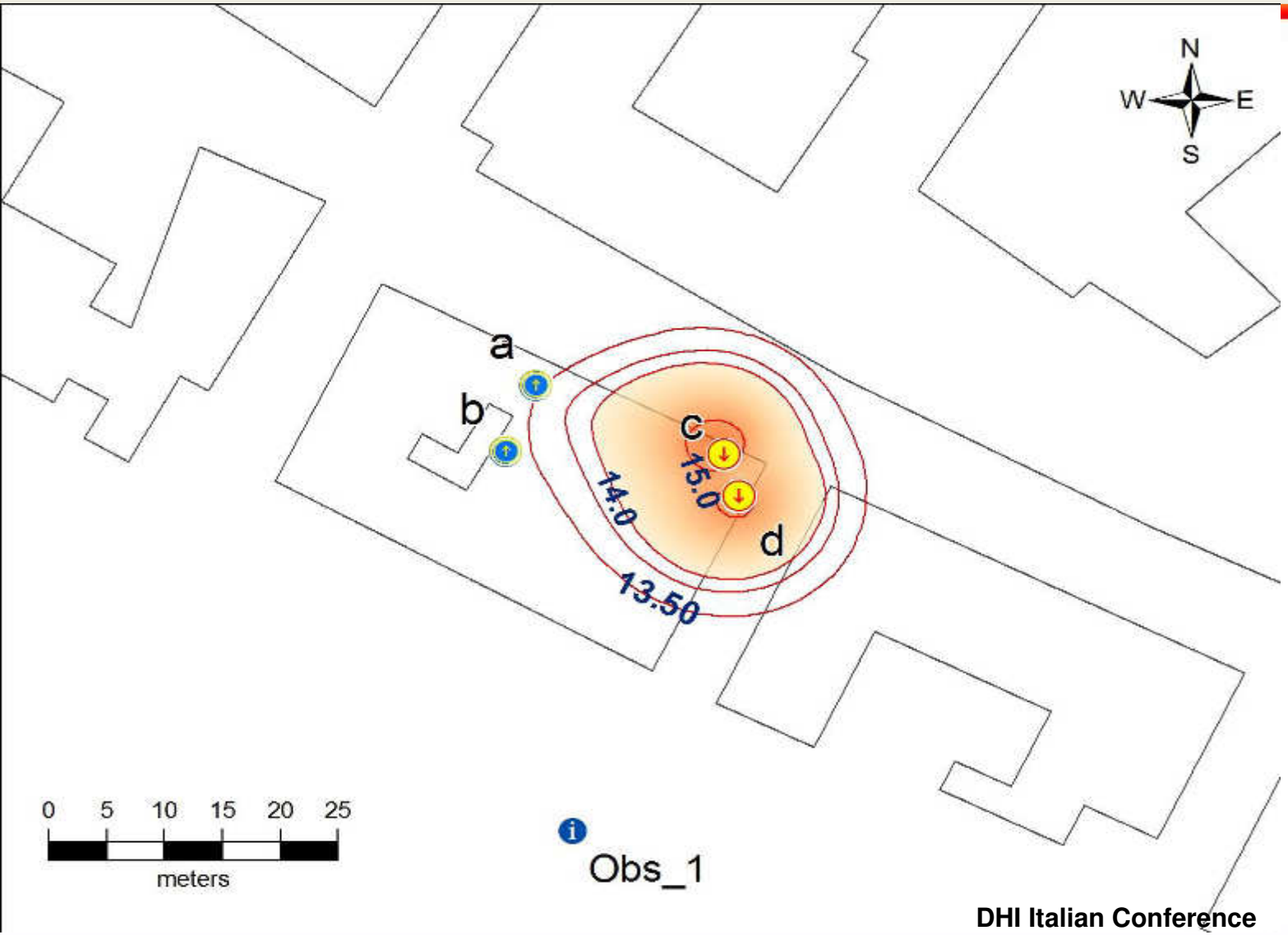
THERMAL FEEDBACK DOPO 1 GIORNO



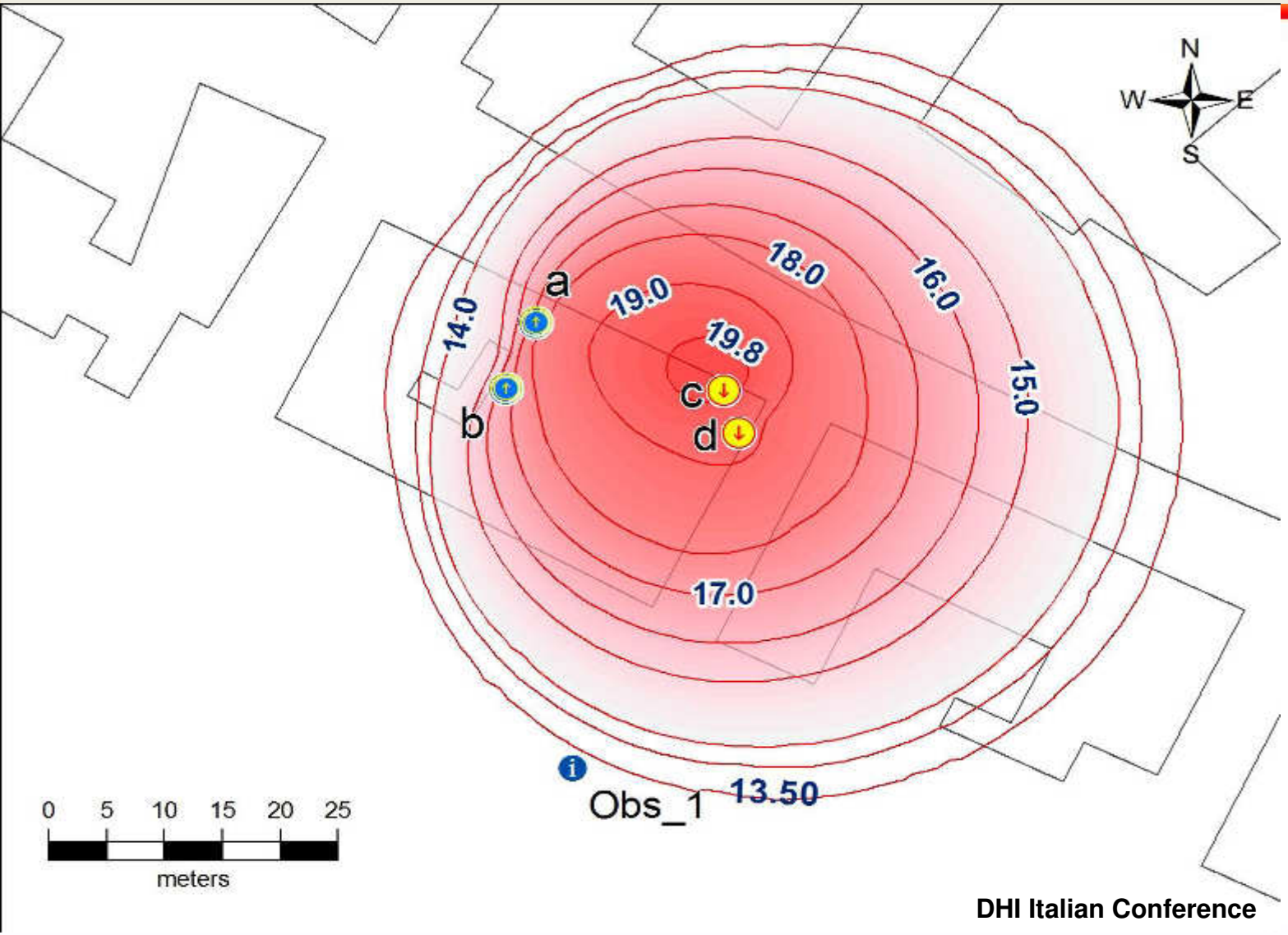
DHI Italian Conference Galgaro and Cultrera

CASE HISTORY: ROVIGO

THERMAL FEEDBACK DOPO 4 GIORNI



DHI Italian Conference Galgaro and Cultrera



CASE HISTORY: ROVIGO

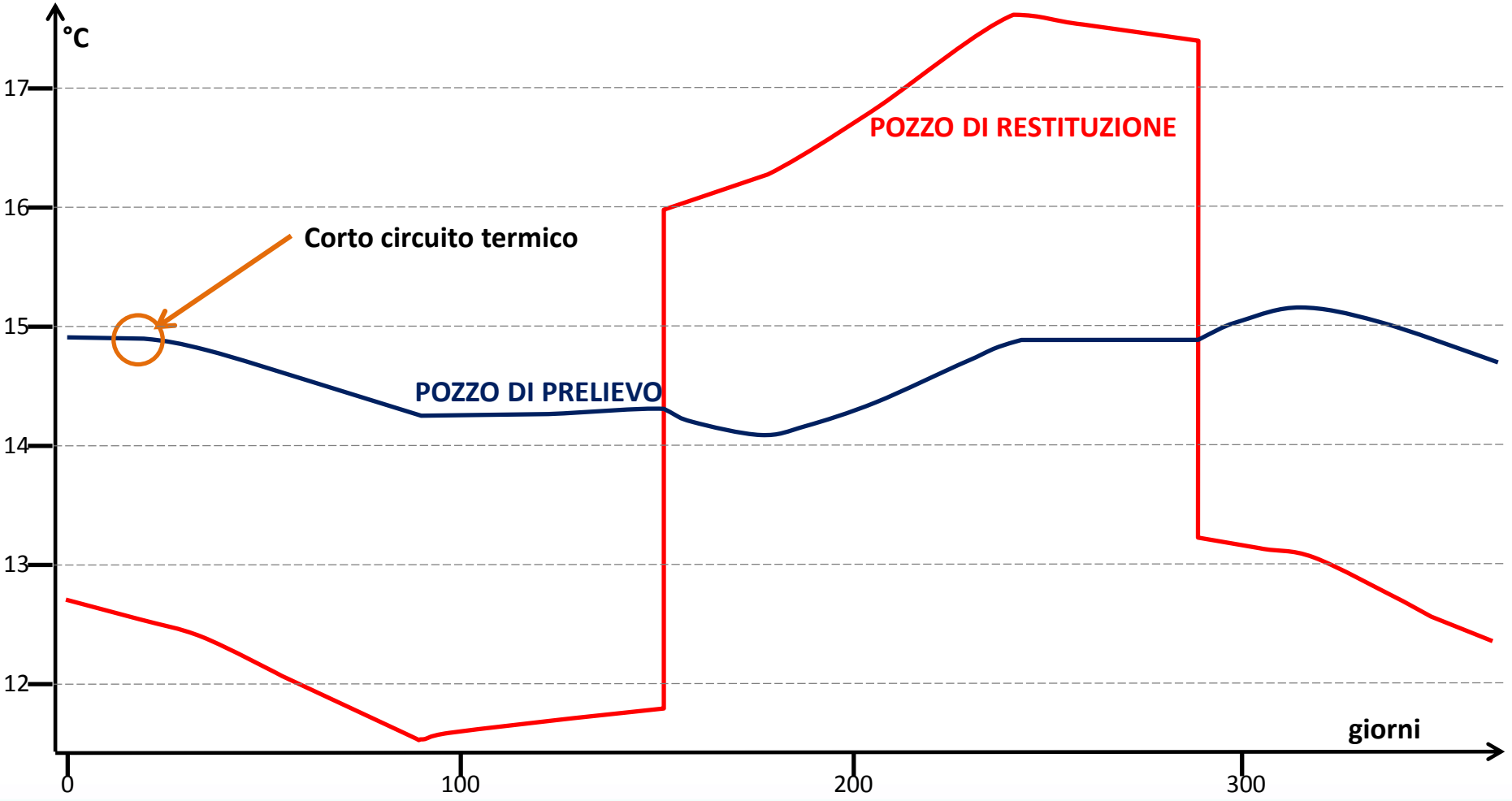
THERMAL FEEDBACK DOPO 80 GIORNI

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

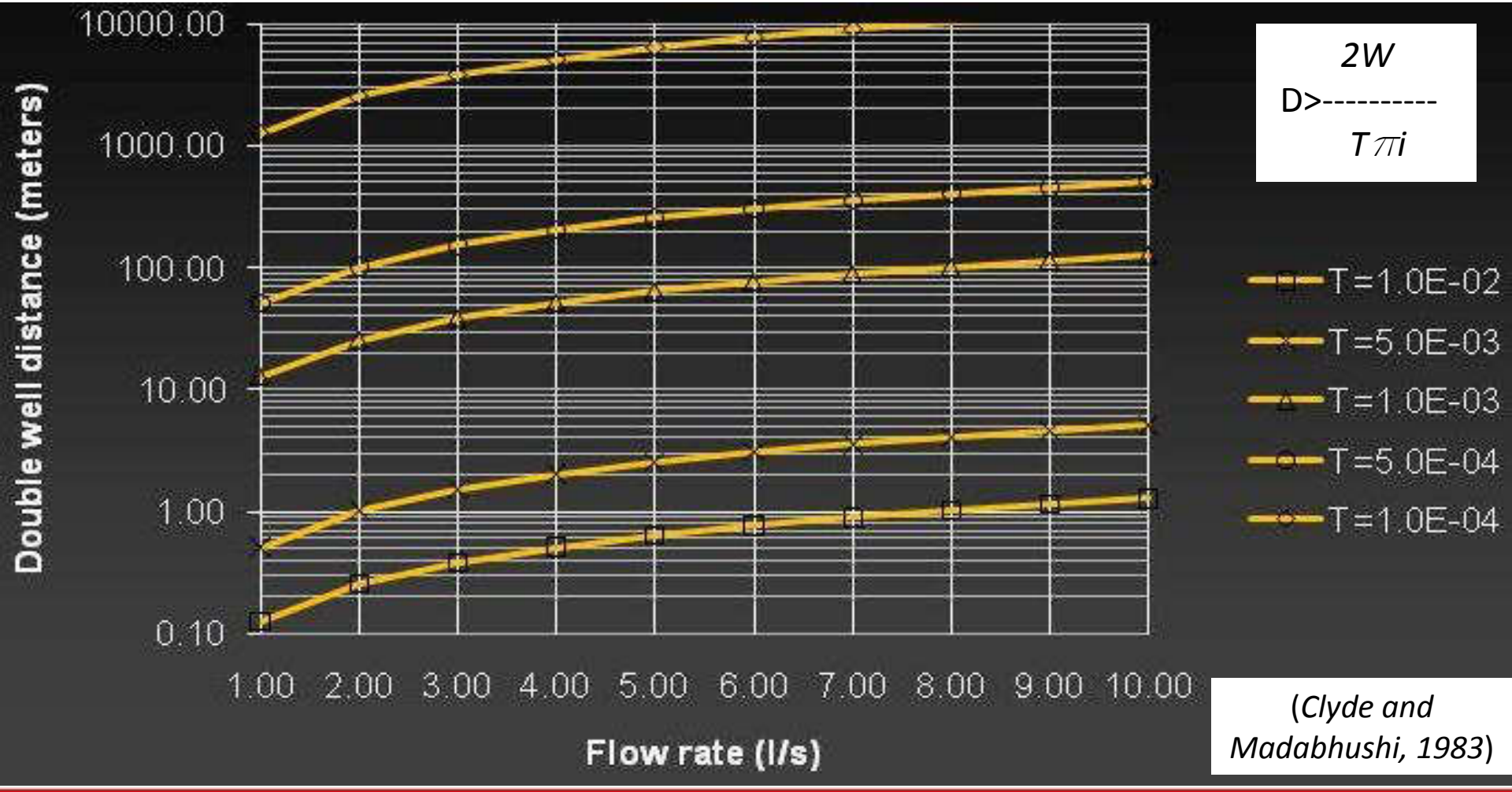
$$t_B = \left(\frac{Ln_s}{Ki}\right)\left(1 + \left(\frac{2Q}{\pi HDiL\sqrt{-1-\frac{2Q}{\pi KDiL}}}\tan^{-1}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{-1-\frac{2Q}{\pi KDiL}}}\right)\right)$$

NOMENCLATURE

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

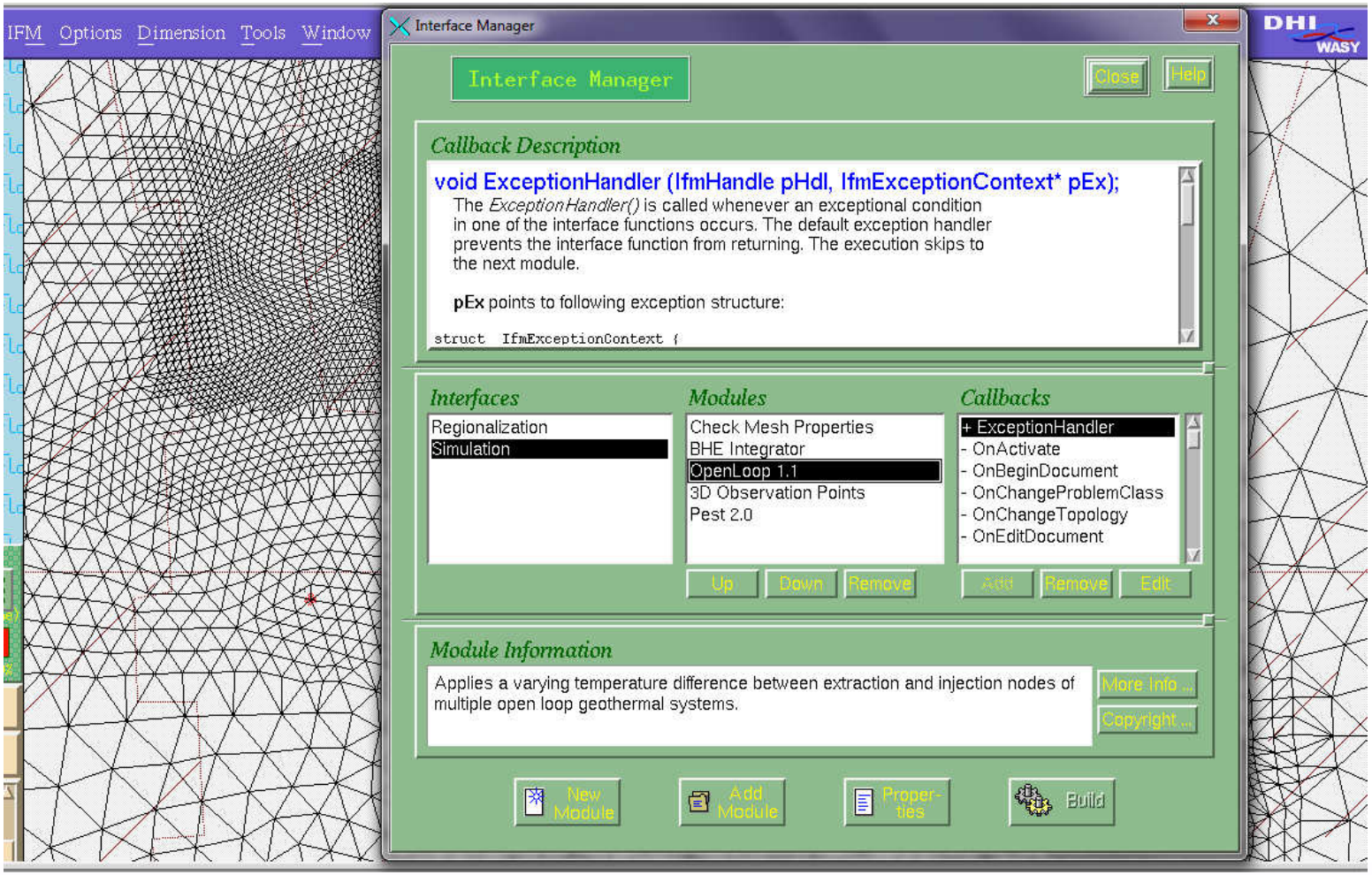
Lippmann and Tsang, 1980

CIRCUITO APERTO – CORTO CIRCUITO TERMICO

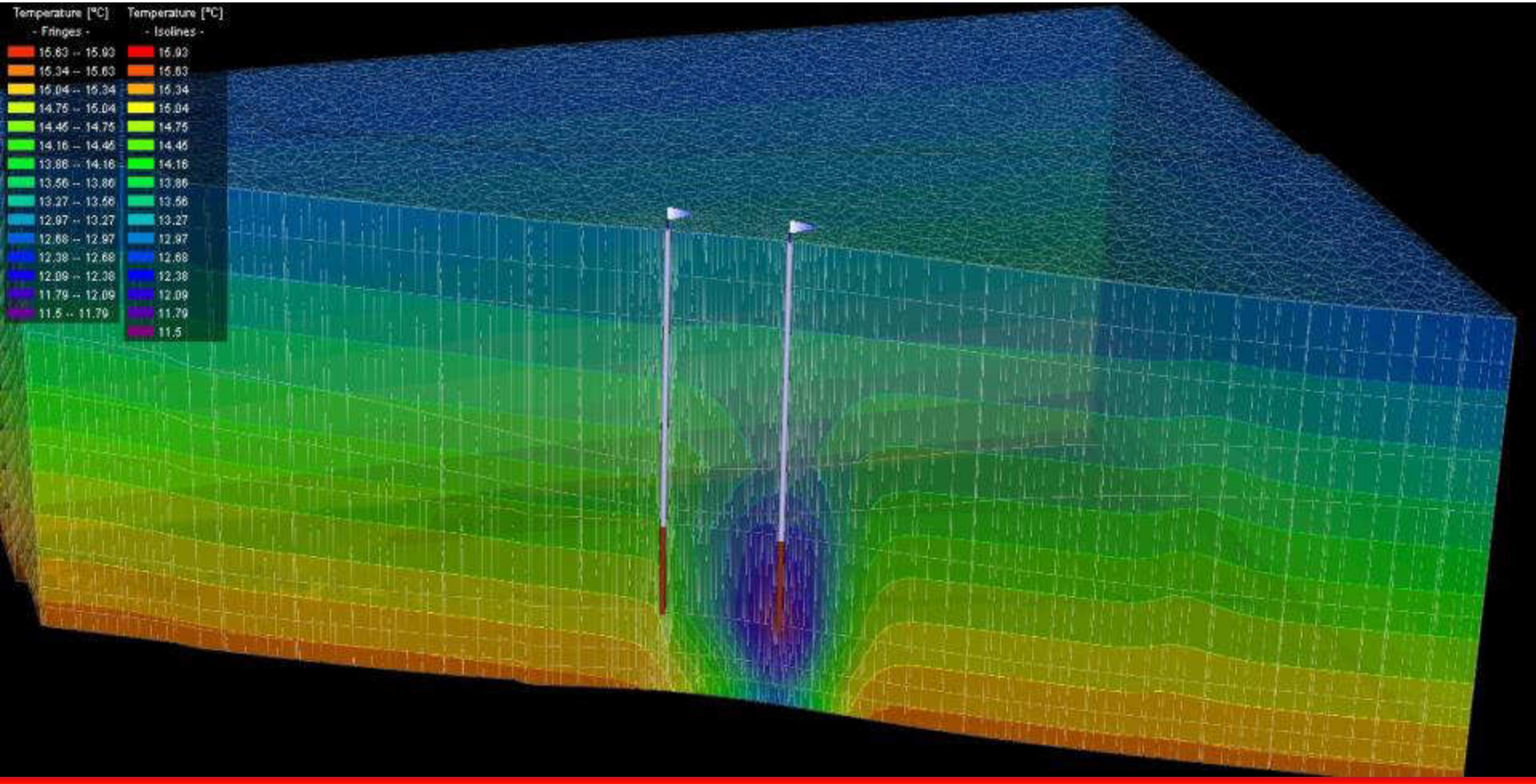


(*Clyde and Madabhushi, 1983*)

CIRCUITO APERTO – MODELLAZIONE NUMERICA

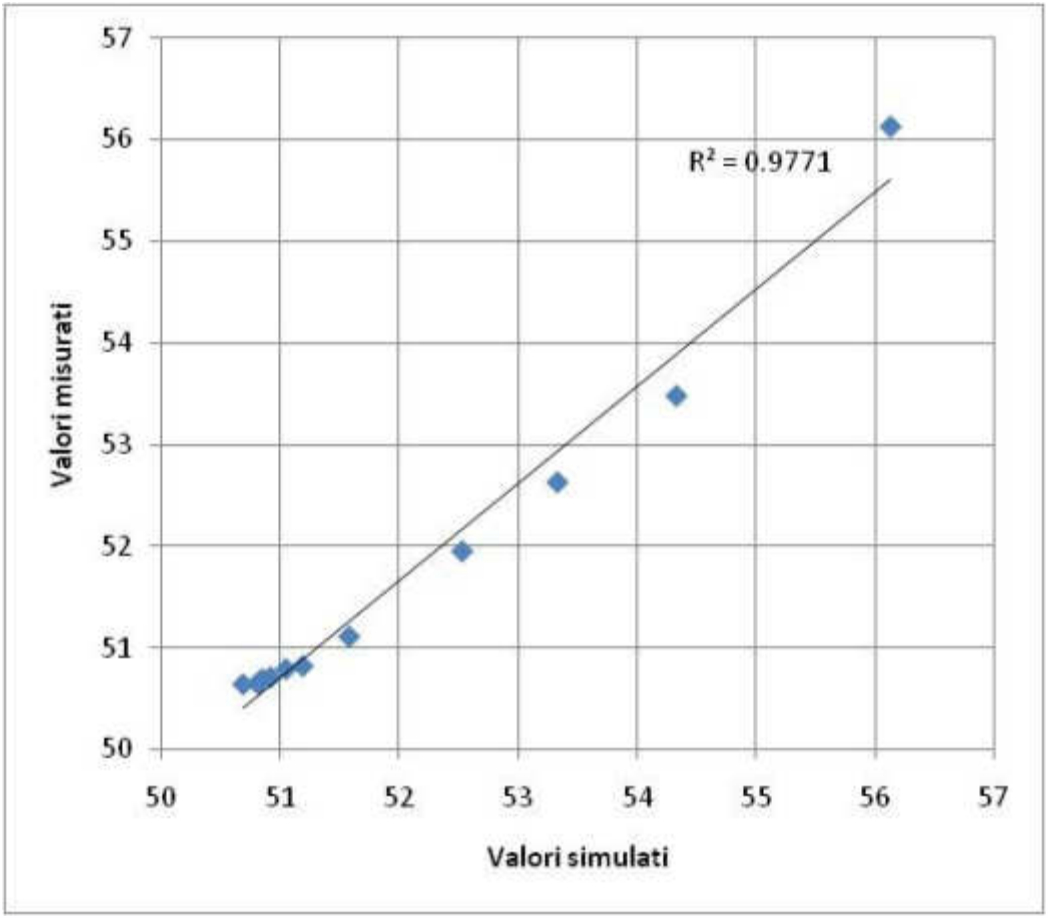


CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)



CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

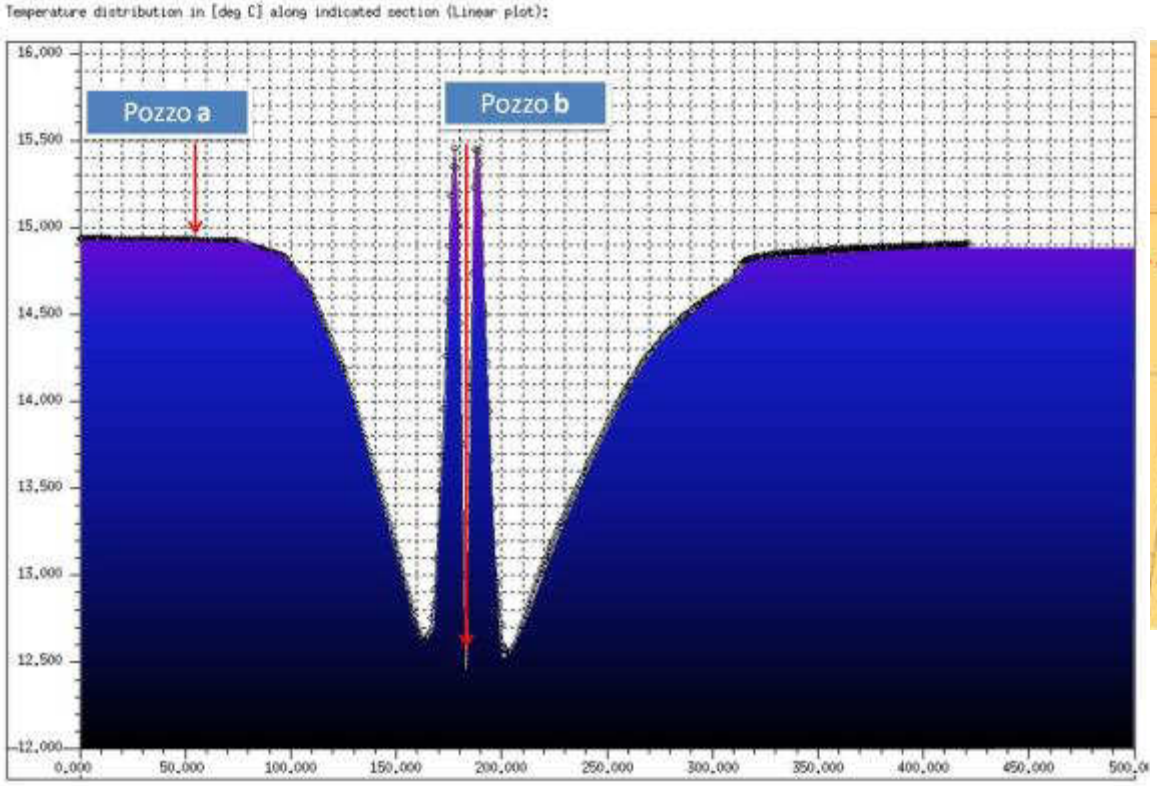
Calibrazione del modello

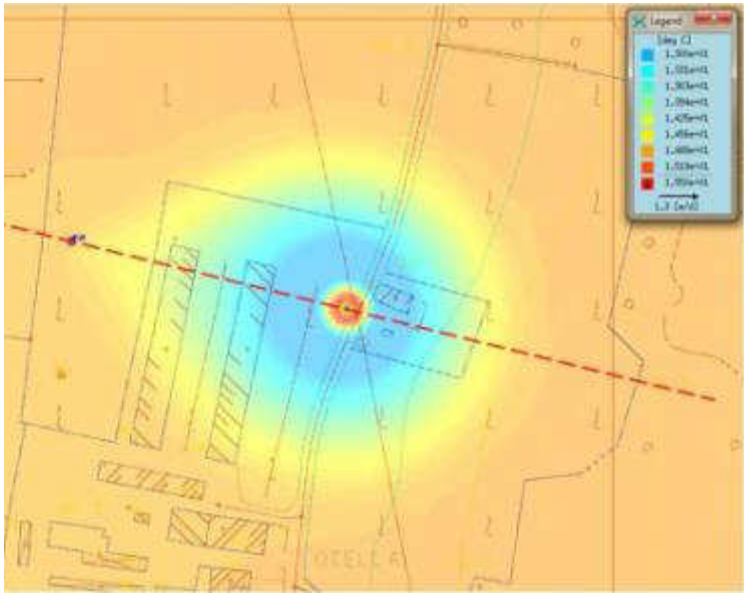


CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

SCENARIO 1: POZZI DI PRELIEVO E RESTITUZIONE FISSI

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

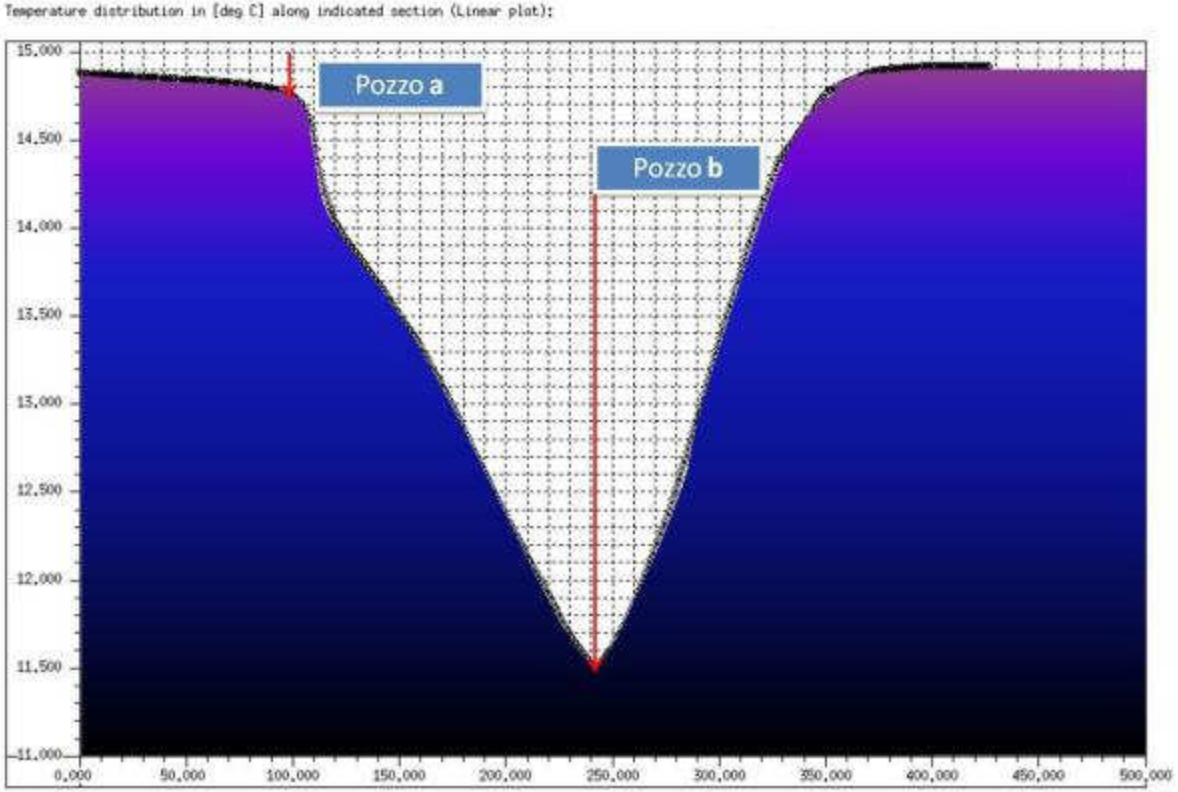


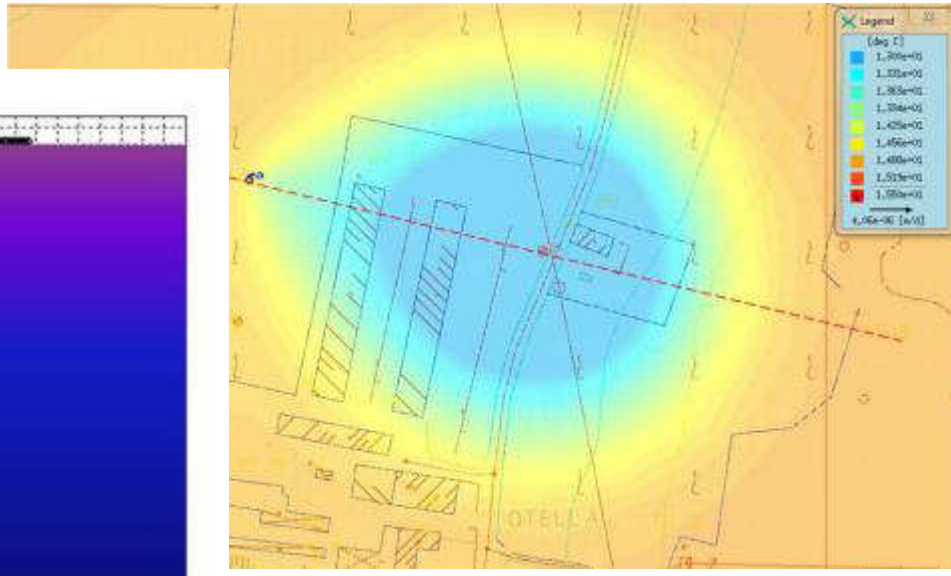


CIRCUITO APERTO – PROVINCIA DI VERONA (PESCHIERA)

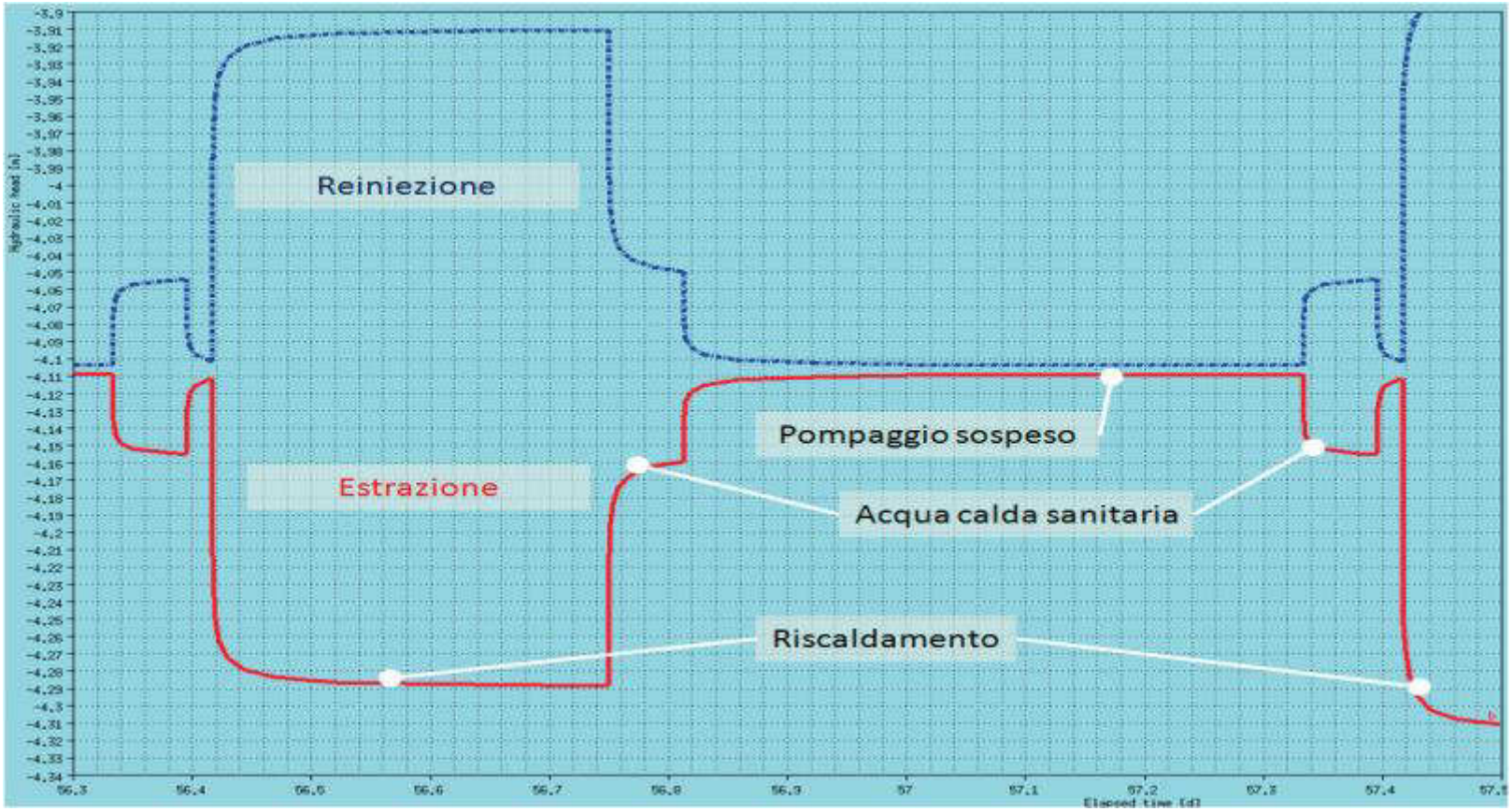
SCENARIO 2: INVERSIONE DEI POZZI (SWITCH)

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



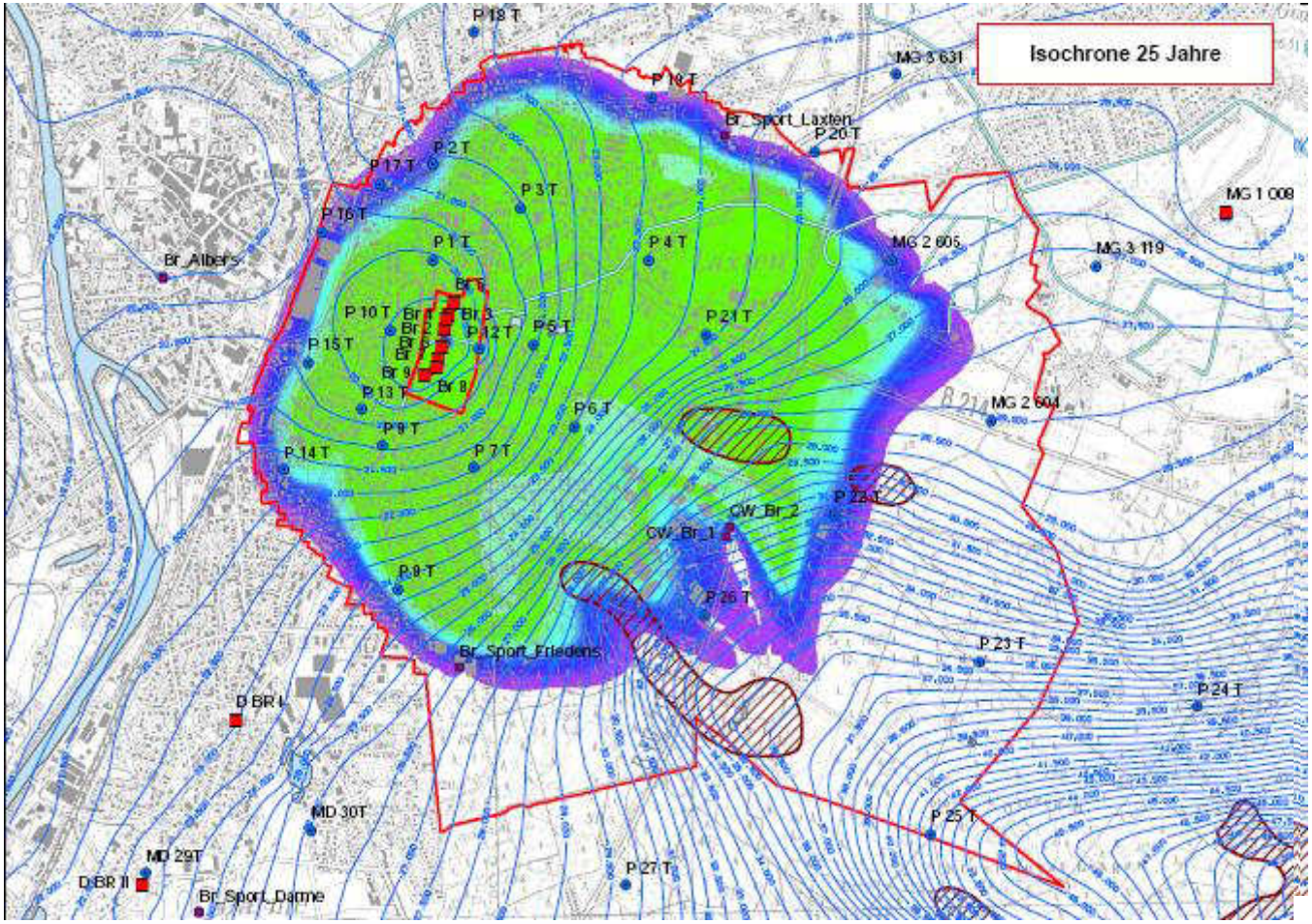


PREVENIRE IL CORTO CIRCUITO TERMICO



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

IMPRONTA TERMICA

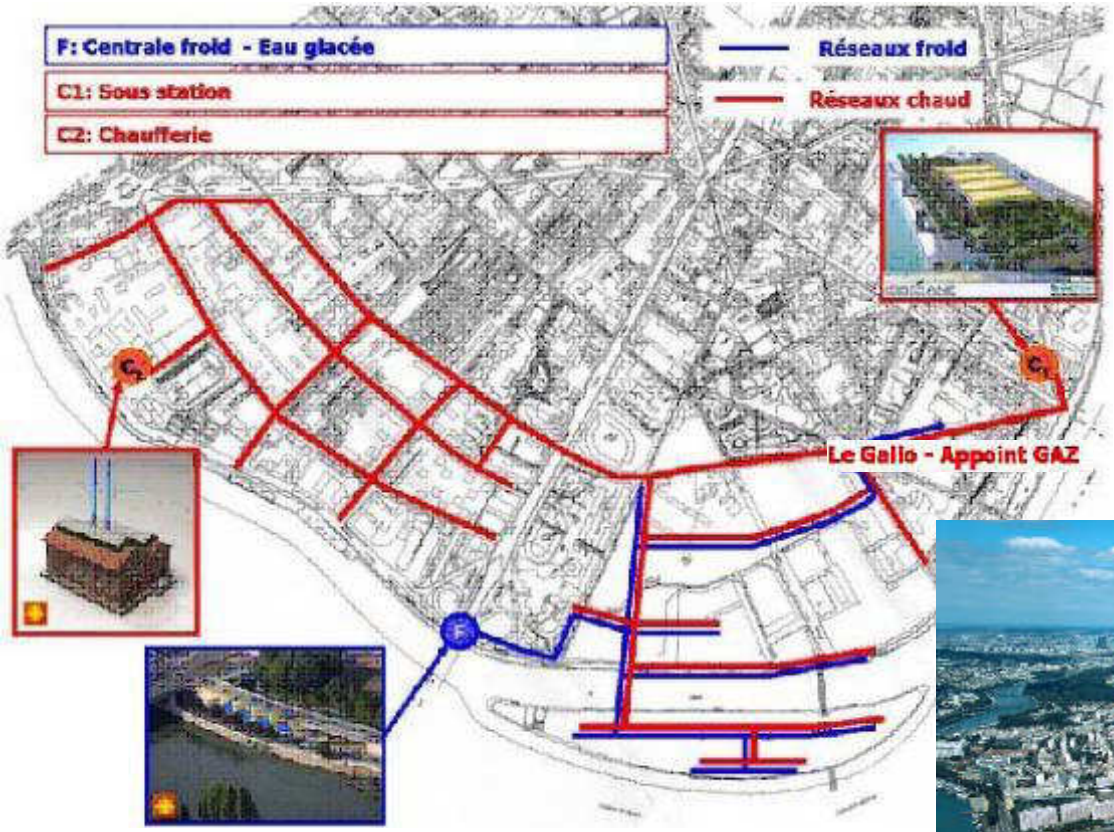


IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO "PALAZZO LOMBARDIA" DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO DEL NUOVO COMPLESSO "PALAZZO LOMBARDIA" DELLA REGIONE LOMBARDIA CON POMPE DI CALORE A VITE AD ACQUA DI FALDA

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

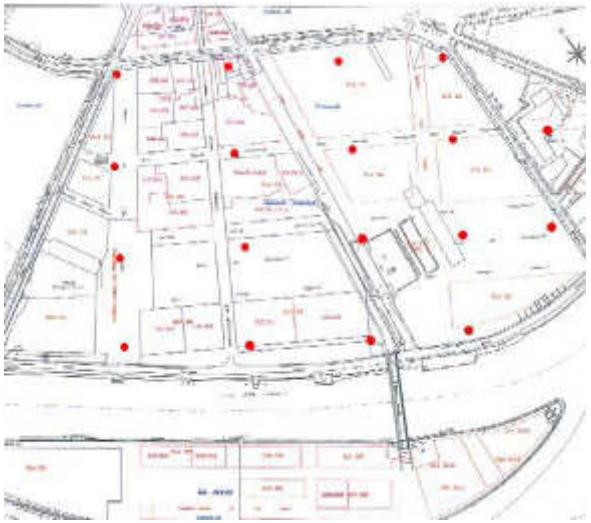
GEOTERMIA *VERONESE* - 04.12.2015 - I SISTEMI DI GEOSCAMBIO A CIRCUITO APERTO

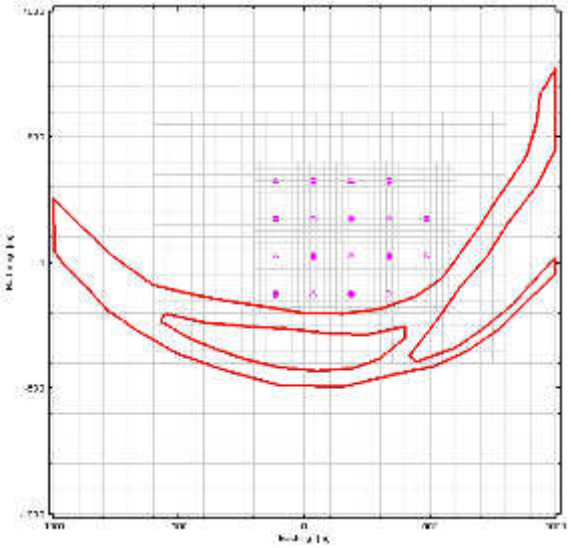


SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO DA 73 MWt E TELERAFFREDDAMENTO DA 23 MWf

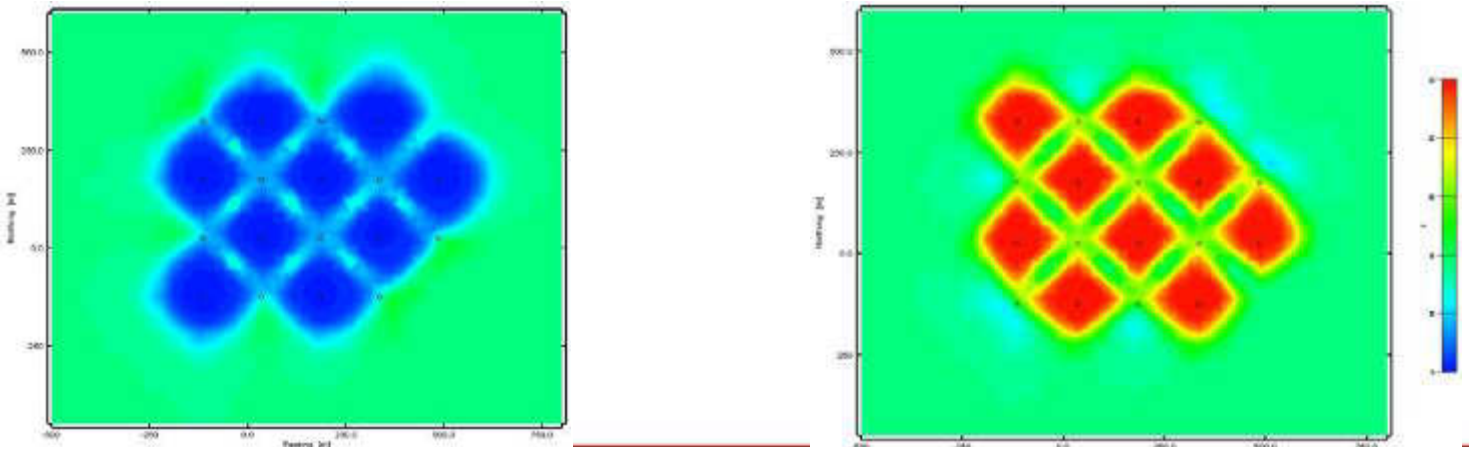
A SERVIZIO DEL QUARTIERE DI BOULOGNE-BILLANCOURT A PARIGI

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



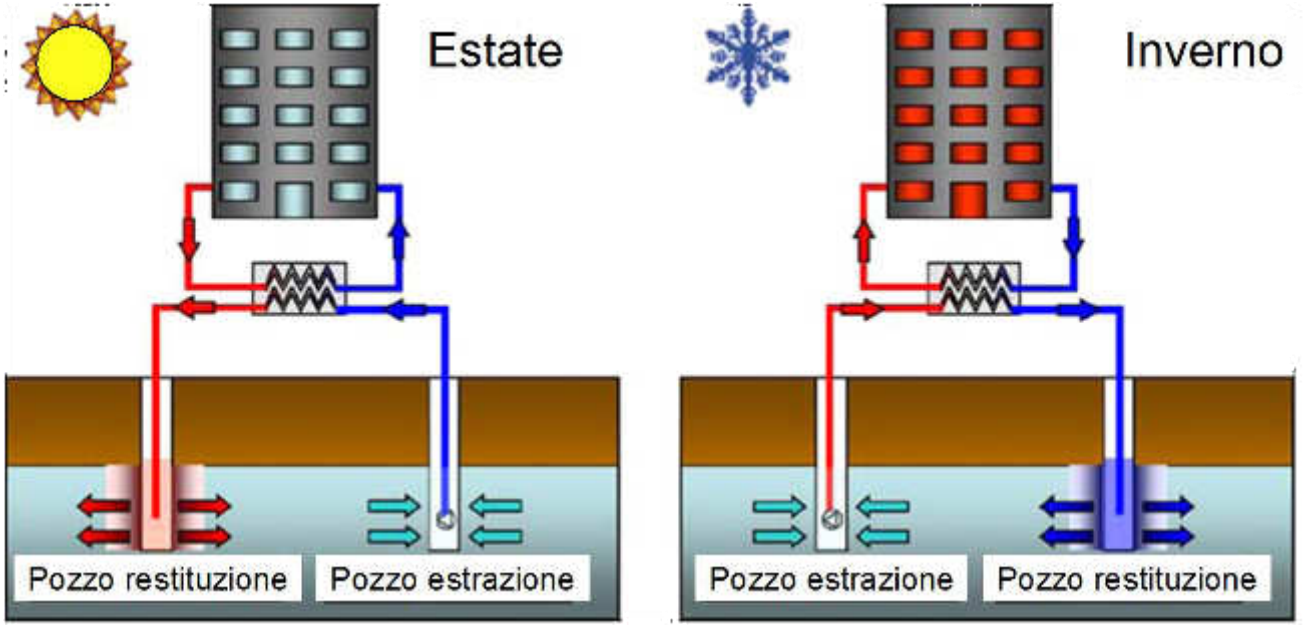


Implantation des 18 puits pour l'estimation du potentiel géothermique de la Craie

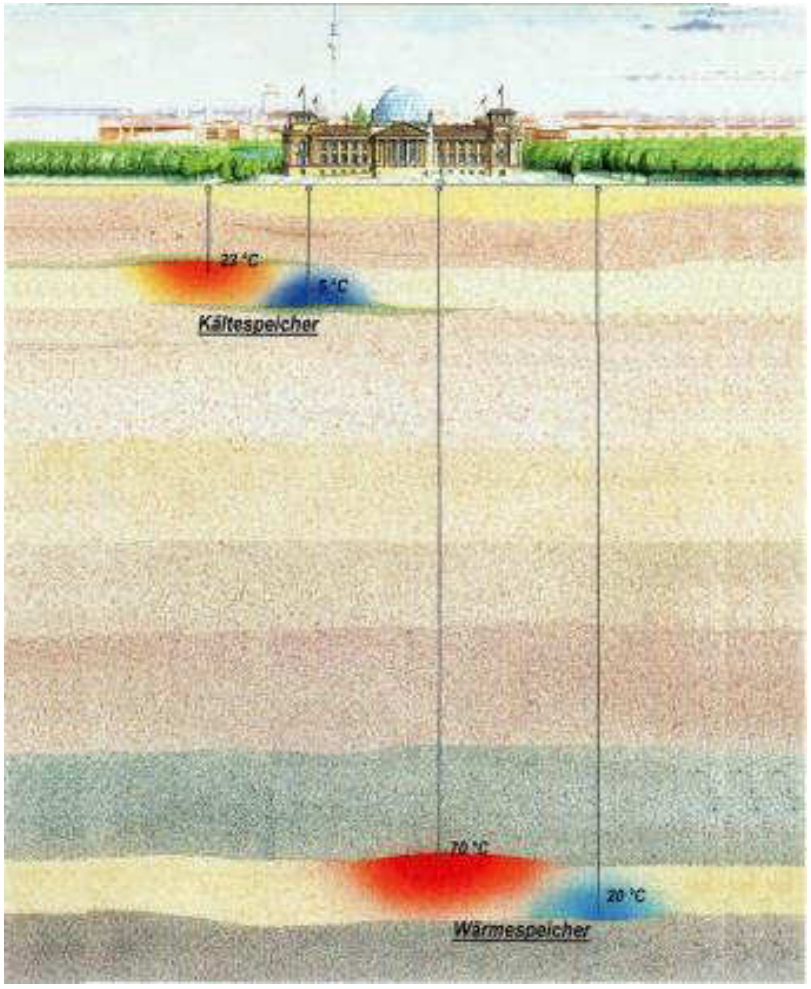


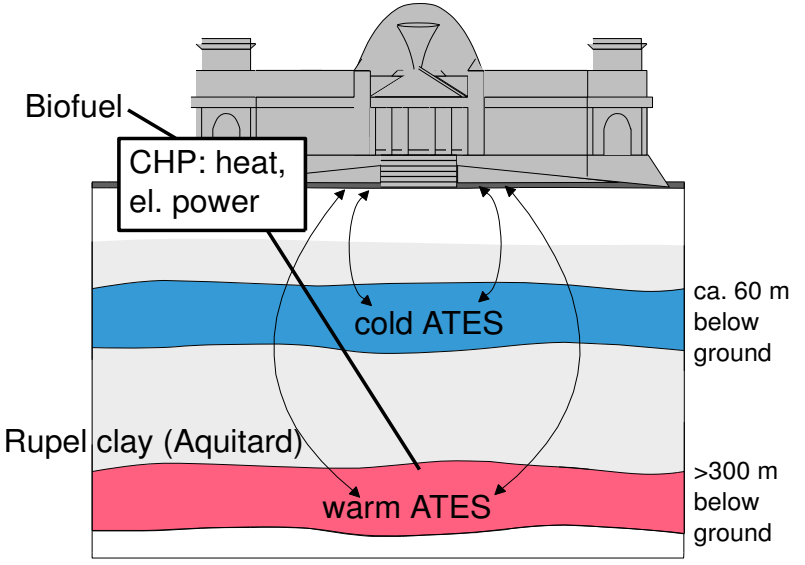
Etats de saturation thermique de la Craie (en froid à gauche - en chaleur à droite)

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/kWht IN CONTO ESERCIZIO E 20,66 EURO/kWt IN CONTO CAPITALE (SOLO PER ZONE CLIMATICHE E ED F)