

Convegno

GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA E GEOSCAMBIO

Fonte energetica rinnovabile e sostenibile, per politiche energetiche alternative all'uso dei combustibili fossili

Modelli di flusso e di trasporto di calore per geoscambio termico a bassa temperatura a circuito chiuso

Umberto Puppini – Geologo

www.piuvallitv.it/news/2018-04-20_tragedia-sfiorata-a-sovere



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

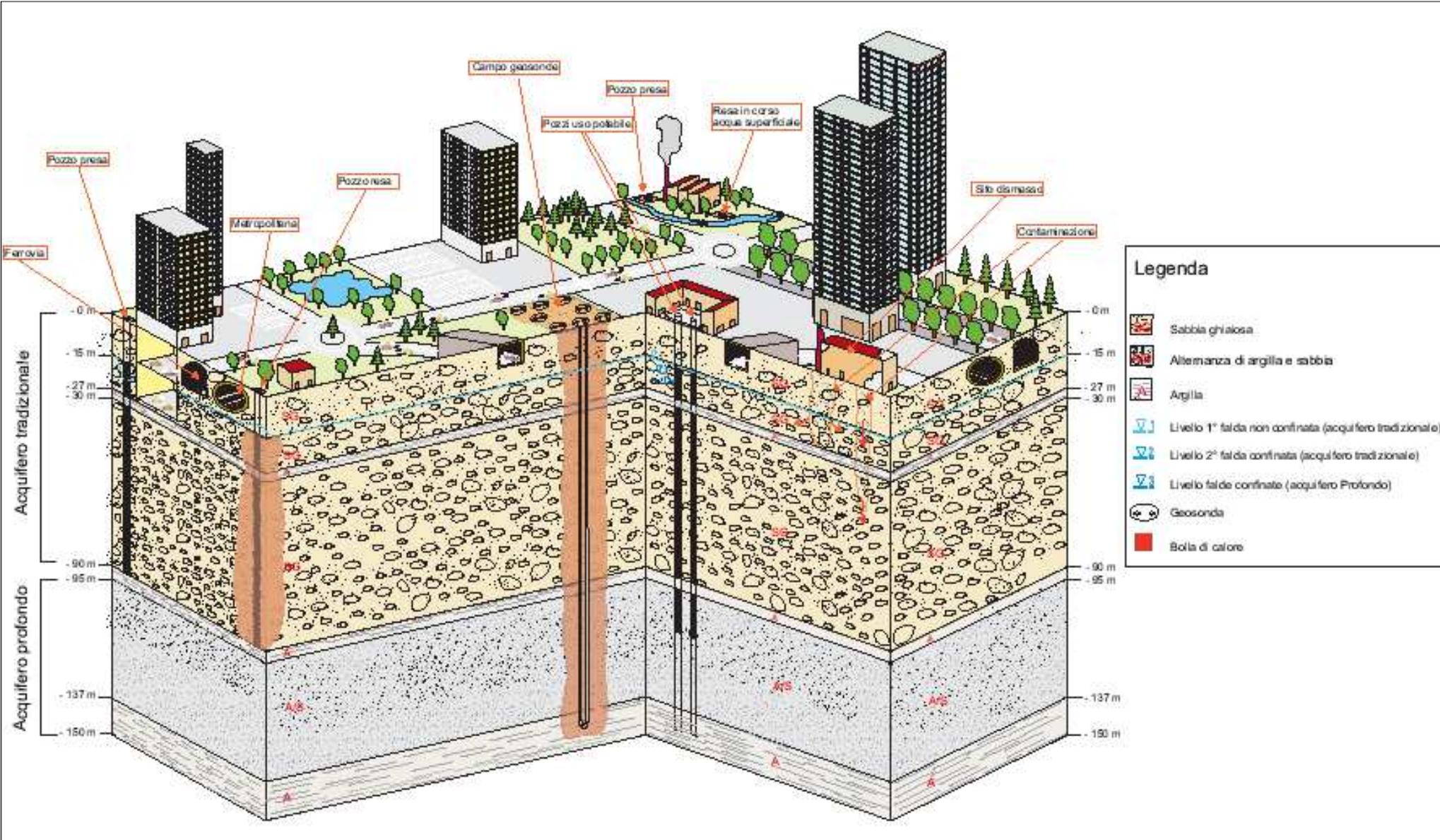
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:

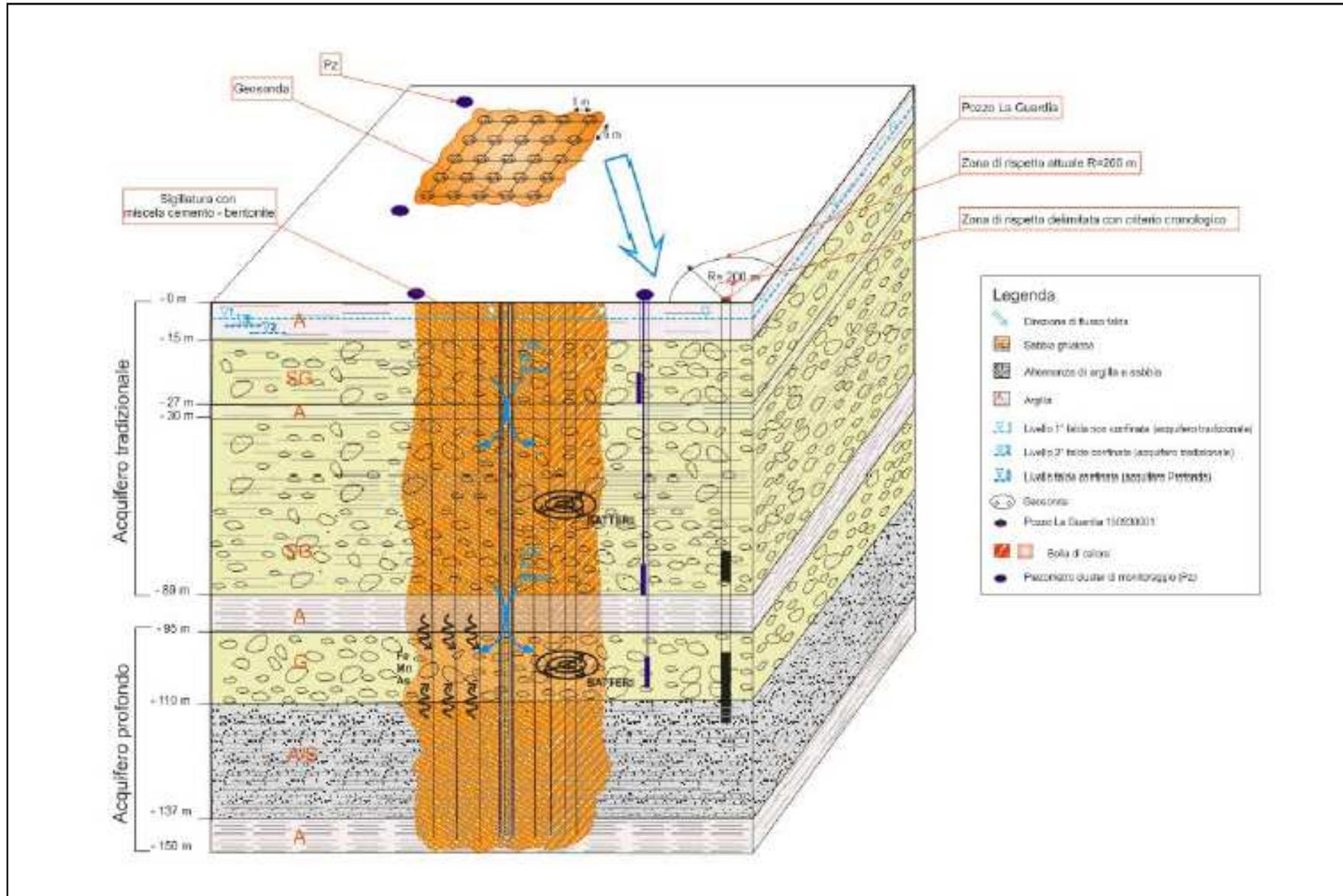


Collegio Geometri Torino

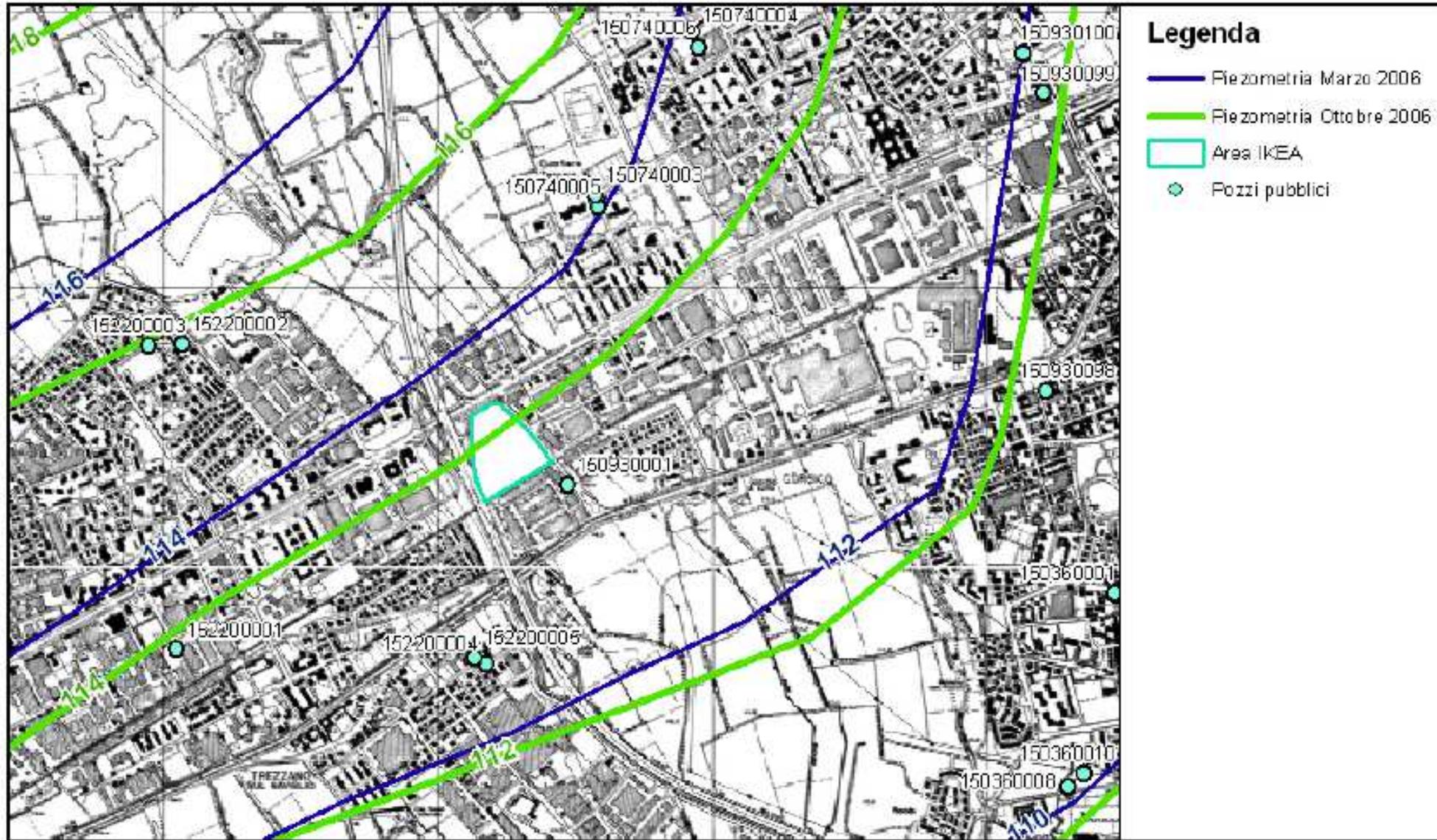
IL SOTTOSUOLO URBANO



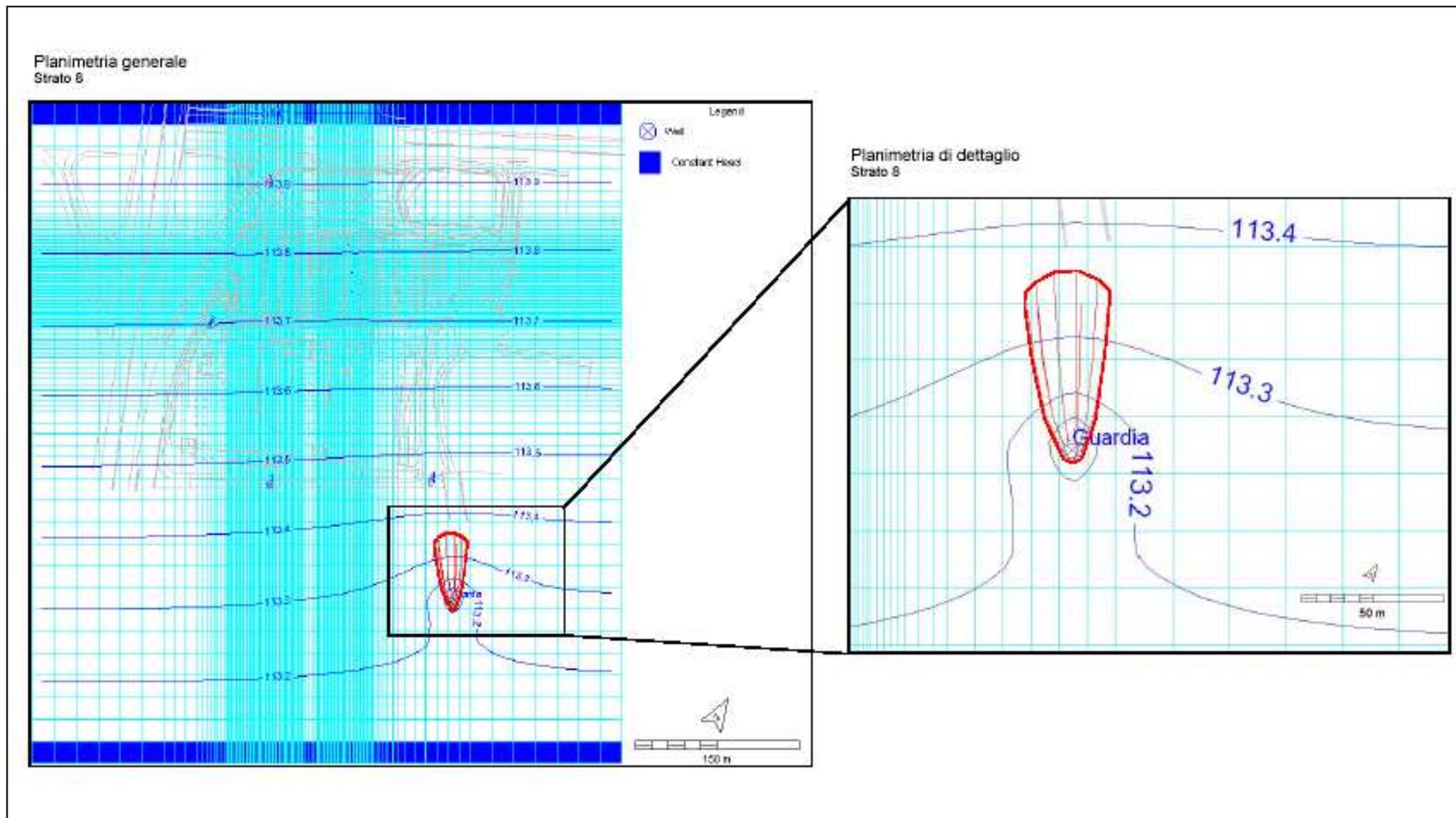
MILANO 2007 - MODELLO CONCETTUALE (Fonte: IKEA – GROUNDHEAT SYSTEMS)



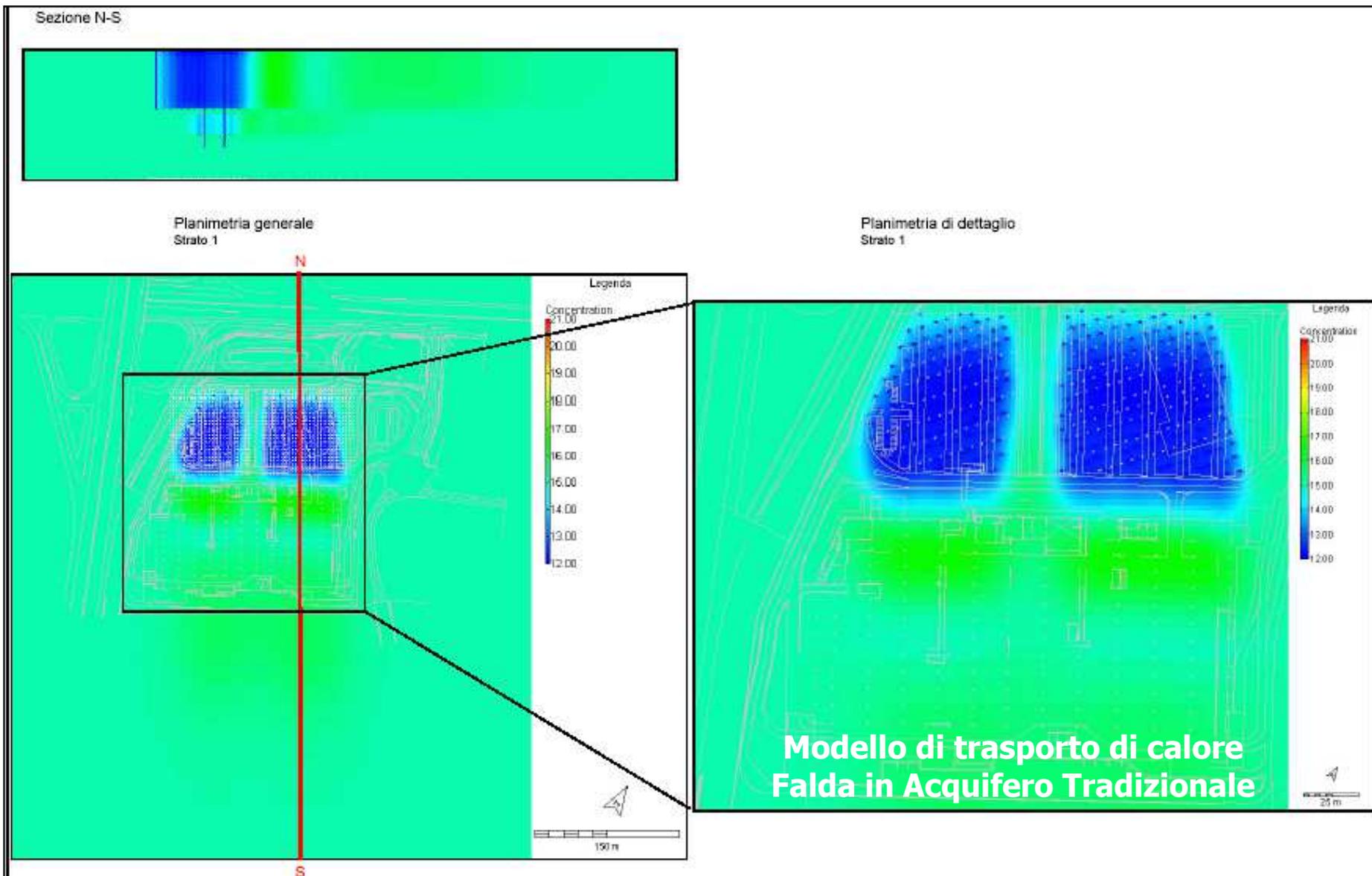
MORFOLOGIA DELLA FALDA (Fonte: SIF)



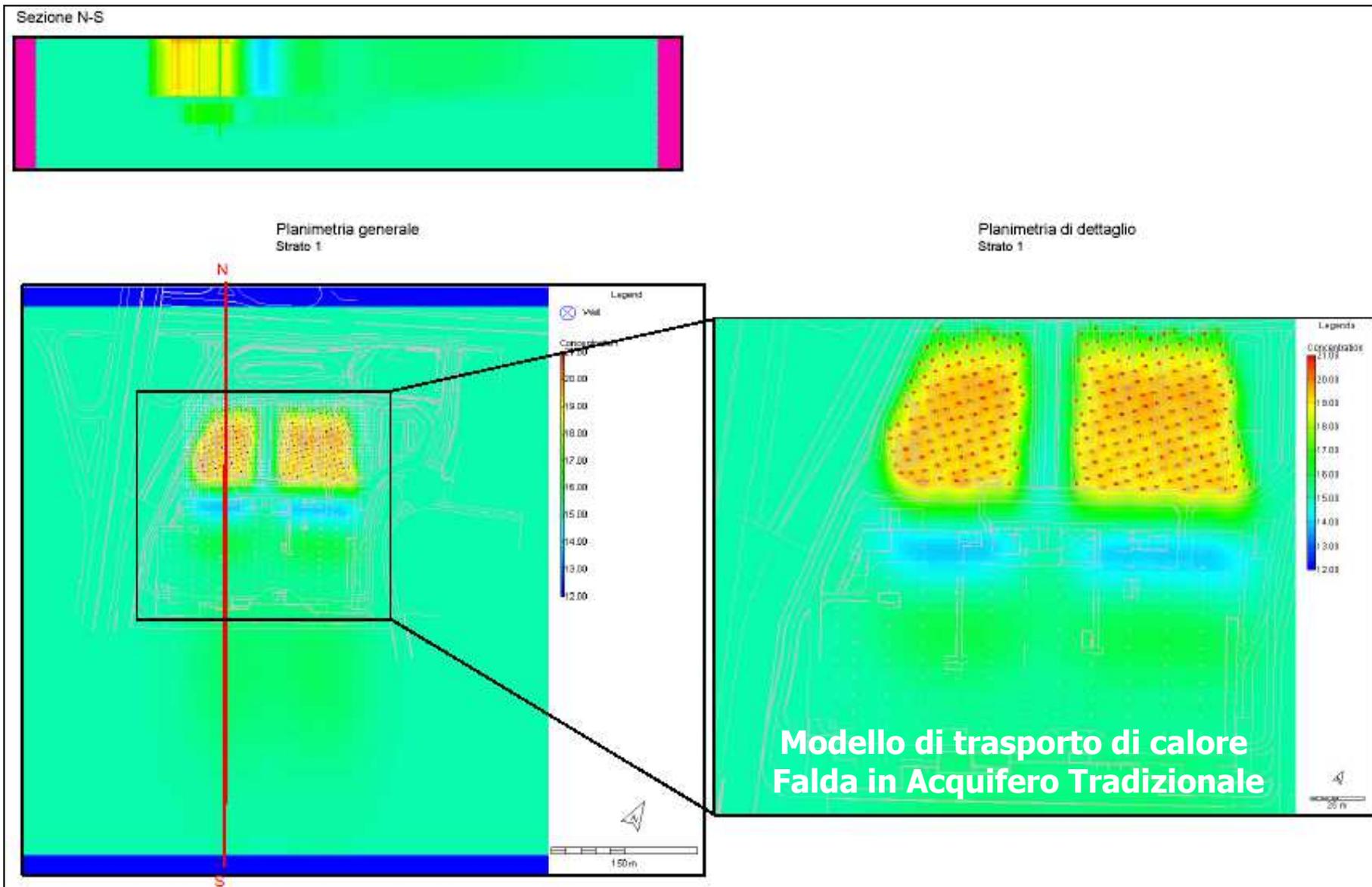
ZONA DI RISPETTO POZZO LA GUARDIA (CRITERIO CRONOLOGICO 60 GIORNI)



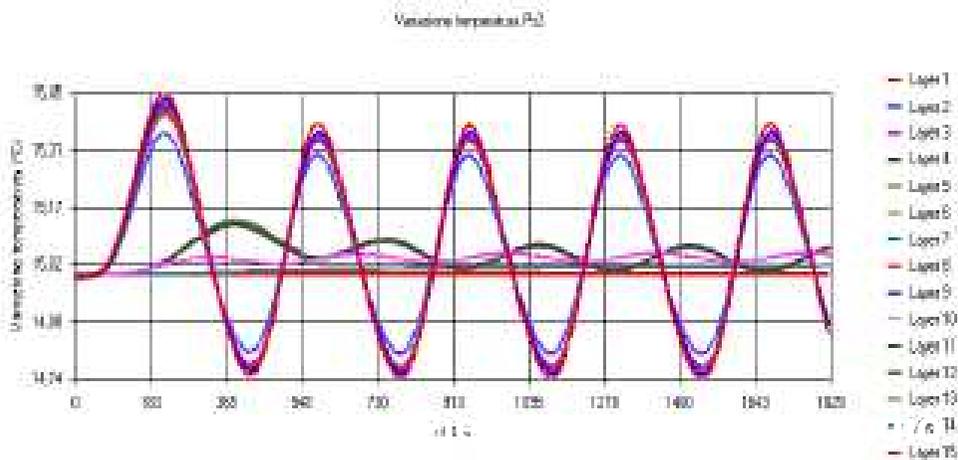
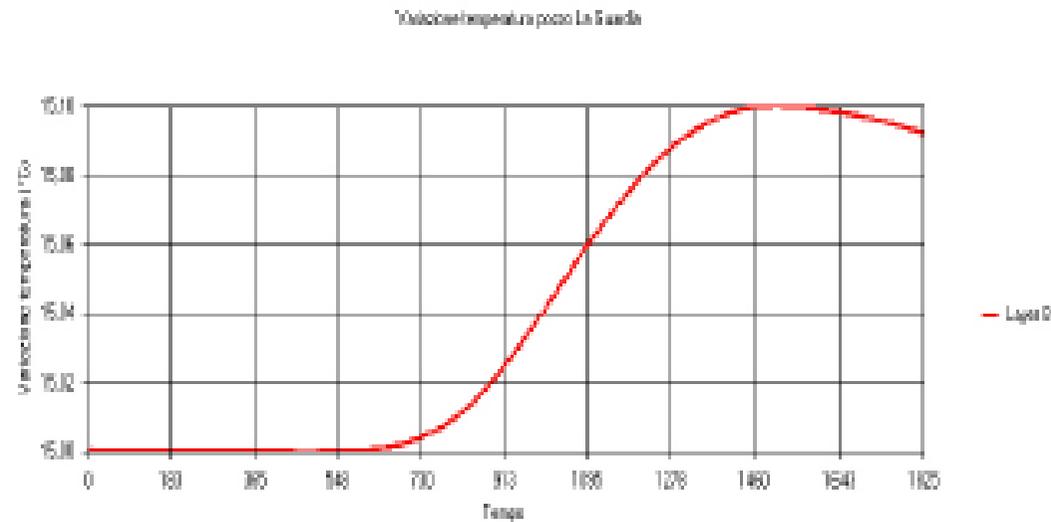
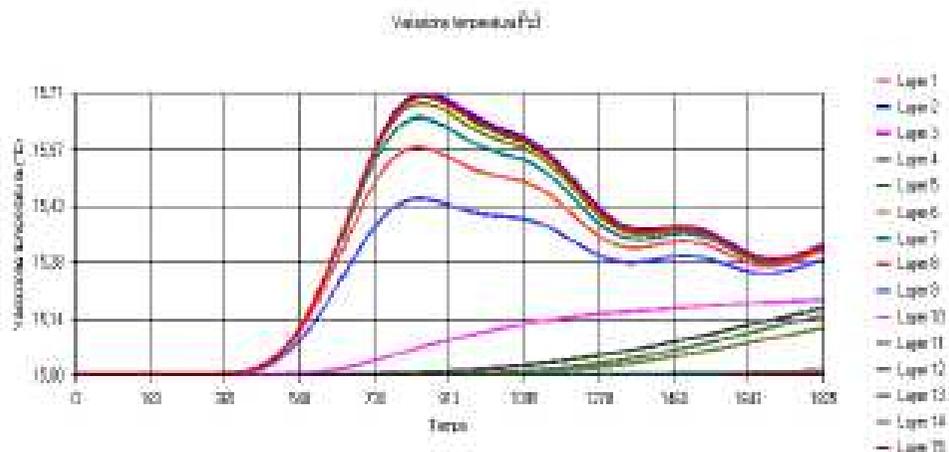
SIMULAZIONE VARIAZIONE TEMPERATURA FALDE – FINE INVERNO 5 ANNI



SIMULAZIONE VARIAZIONE TEMPERATURA FALDE - FINE ESTATE 5 ANNI



VALORI PREVISTI AI RECETTORI



Con il patrocinio di: **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**

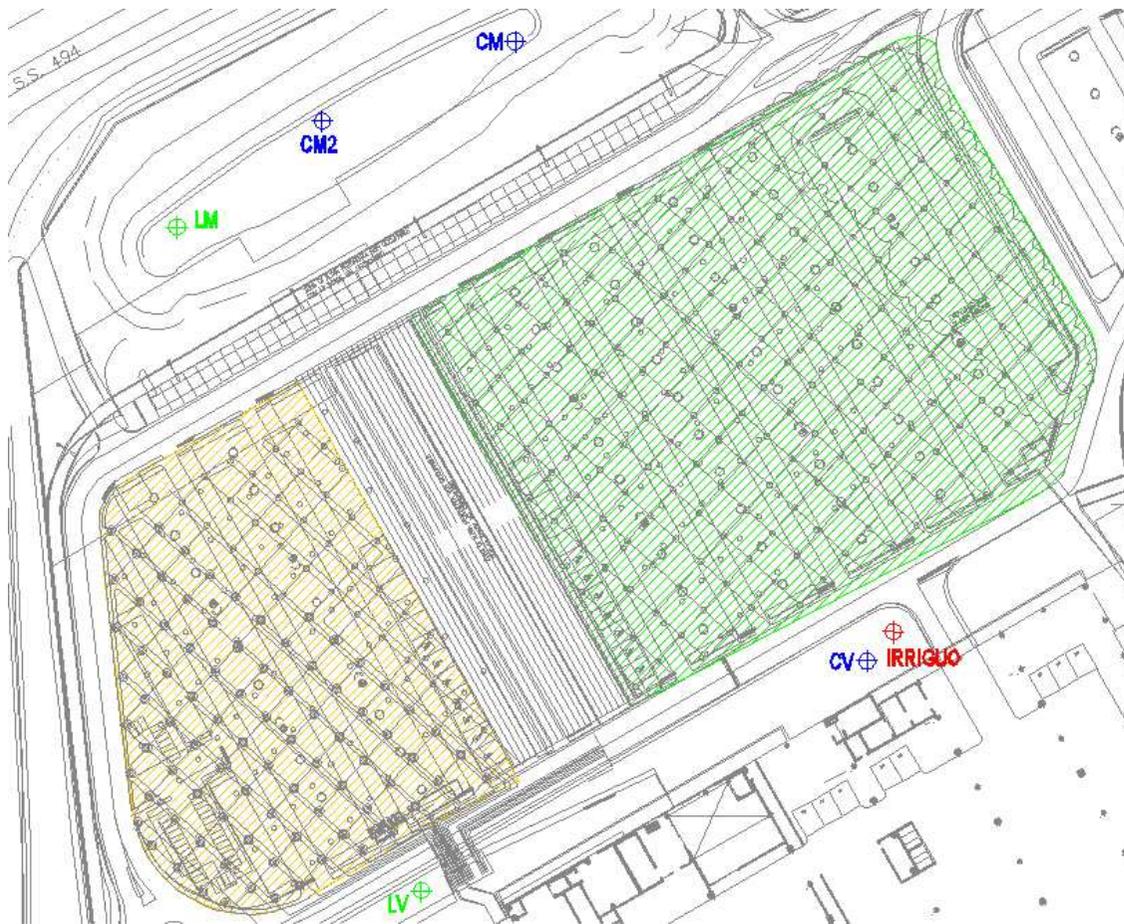
Con la collaborazione scientifica di: **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MONITORAGGIO 2007-2010



- | | | | |
|--|-------------------|---|-----------------------|
|  | Piezometri corti |  | Campo geosonde h=120 |
|  | Piezometri lunghi |  | Campo geosonde h=90 m |
|  | Pozzo irriguo | | |

- Misure preliminari
- Misure, prelievi e analisi prima dell'avviamento dell'impianto
- Misure, prelievi e analisi dopo l'avviamento dell'impianto per 2,5 anni



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

ACQUIFERO TRADIZIONALE VARIAZIONE DI TEMPERATURA MONTE – VALLE FALDE

L'insieme dei dati mostra l'effetto degli scambi termici con l'atmosfera anche a scala locale, a causa della moderata inerzia termica delle falde superficiali che reagiscono alle variazioni di temperatura stagionali.

La stratificazione osservata può essere dovuta alla contiguità del mezzo poroso con l'atmosfera e ai moti convettivi interni al piezometro.

ACQUIFERO PROFONDO VARIAZIONE DI TEMPERATURA MONTE – VALLE FALDA

I valori misurati sembrano influenzati solo in parte dal flusso della falda sovrastante. La rettificazione della curva termica localizzata presso gli acquitardi suggerisce una certa influenza della componente del flusso di calore terrestre.

L'assenza di stratificazione può essere dovuta al confinamento della falda che riduce gli scambi termici con l'atmosfera a scala locale, aumentandone l'inerzia termica, come dimostra anche la minore entità delle oscillazioni in valore assoluto (3,5°C nelle Falde Superficiali e circa 1,0°C in quella Profonda tra Gennaio e Luglio 2008, prima di ogni azione).



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

SINTESI

- Incremento di temperatura immediatamente a valle rispetto alle misure precedenti l'avvio dell'impianto sia delle falde nell'Acquifero Tradizionale che della falda nell'Acquifero Profondo inferiore a 2° C
- Innalzamento di quota del punto di flesso del log termico in seguito al funzionamento estivo dell'impianto geotermico
- Stratificazione termica delle falde nell'Acquifero Tradizionale, presente già prima dell'esecuzione delle geosonde e dell'avviamento dell'impianto
- Assenza di significative modificazioni della qualità delle falde attraversate dal punto di vista sia chimico che microbiologico (variazione conducibilità non significativamente legata alle geosonde, diminuzione del pH per esaurimento della maturazione del cemento usato per sigillare le geosonde, sostanziale stabilità di Ossigeno Disciolto, flora batterica patogena assente)



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



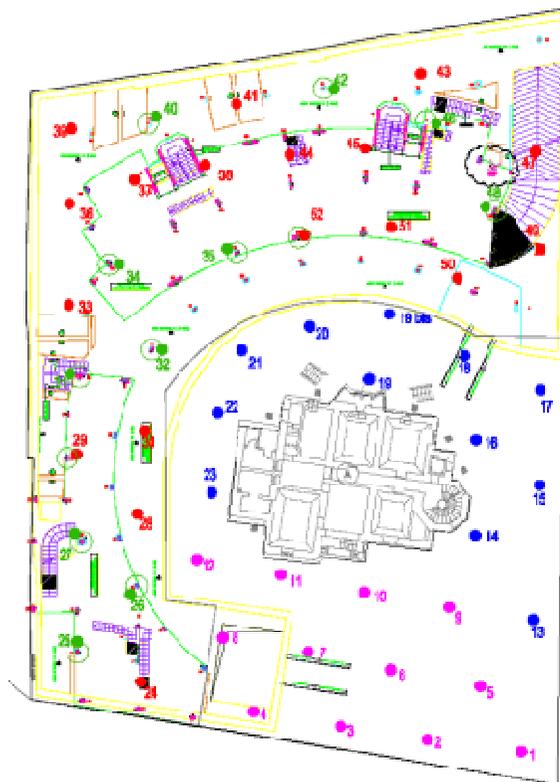
Collegio Geometri Torino

Con il TRT sono stati definiti i seguenti valori:

- T_g (temperatura terreno indisturbato)= 16,1 °C
- λ (conducibilità termica media del terreno)= 2,12 W/m K
- R_b (resistenza termica sonda-terreno)= 0,053 W/m K

LAY-OUT

- 54 sonde
- Profondità min 120 m max 150 m
- D foro 140 mm HDPE doppia U d= 32 mm



POTENZA IMPEGNATA MEDIA MENSILE

	Picco invernale kWh	70,97	Picco estivo kWh	212,26
Gennaio	76%	53,66	0%	0,00
Febbraio	76%	40,56	0%	0,00
Marzo	76%	30,67	0%	0,00
Aprile	76%	23,18	0%	0,00
Maggio	0%	0,00	74%	156,42
Giugno	0%	0,00	76%	162,34
Luglio	0%	0,00	78%	165,68
Agosto	0%	0,00	77%	164,41
Settembre	0%	0,00	73%	154,00
Ottobre	76%	53,66	0%	0,00
Novembre	76%	40,56	0%	0,00
Dicembre	76%	30,67	0%	0,00



Con il patrocinio di: Con la collaborazione scientifica di:



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO**



**POLITECNICO
DI TORINO**
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

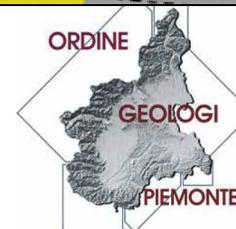
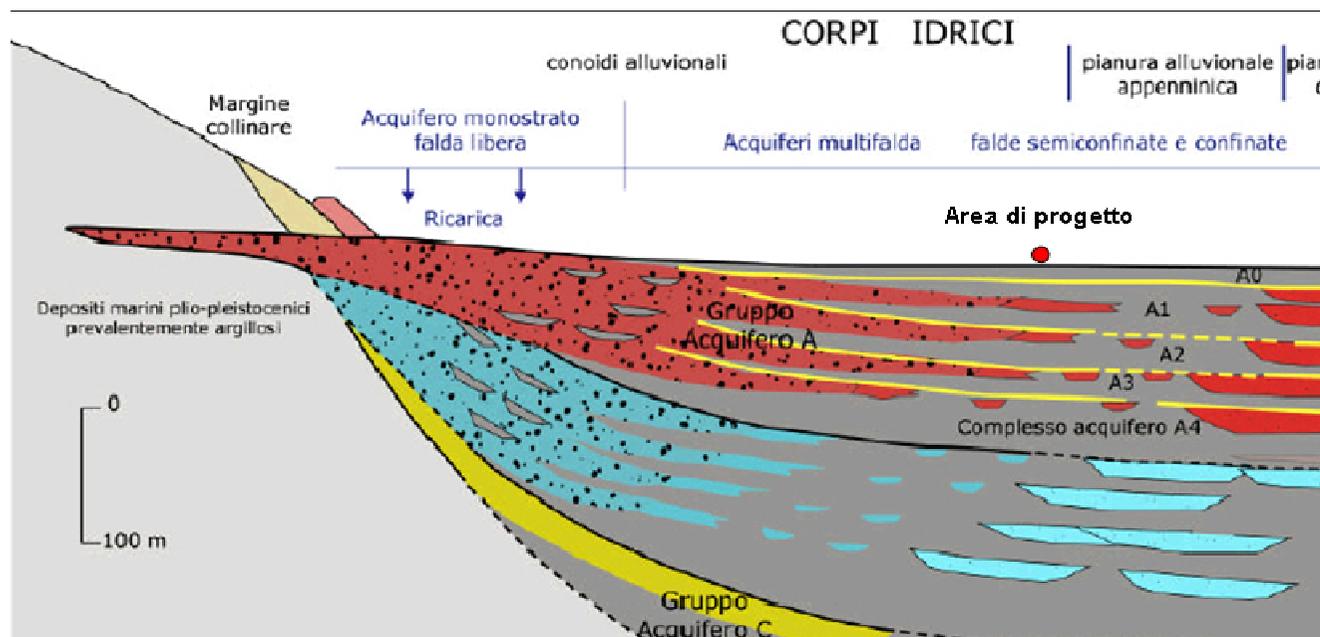
Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

STRUTTURA IDROGEOLOGICA REGIONALE, SEZIONE IDROGEOLOGICA E STRATIGRAFIA PRESUNTA

Gruppo A	
Complesso a₀	
0,0 – 2,0 m	Sabbia asciutta
2,0 – 10,0 m	Sabbia umida
10,0 – 30,0 m	Argilla
Complesso a₁	
30,0 – 36,0 m	Ghiaia
36,0 – 80,0 m	Argilla
Complesso a₂	
80,0 – 86,0 m	Ghiaia
86,0 – 130,0 m	Argilla
Complesso a₃	
130,0 – 133,0 m	Ghiaia e argilla
133,0 – 151,0 m	Argilla



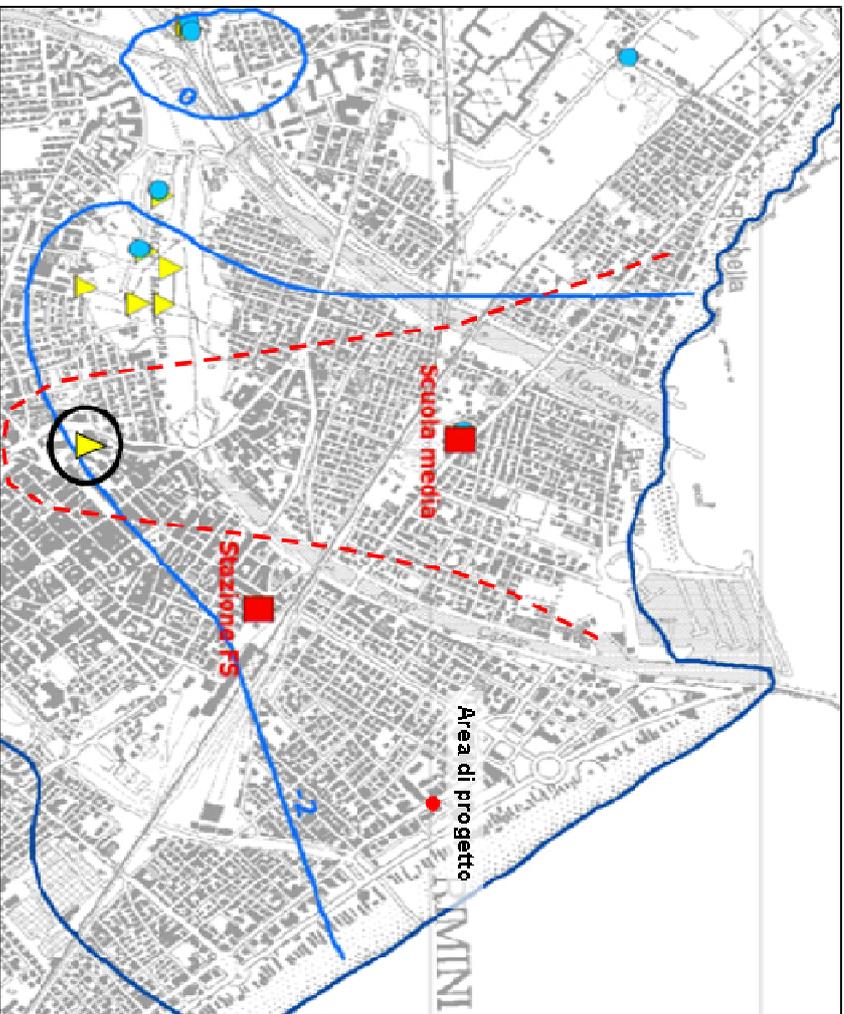
Con il patrocinio di: **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**

Con la collaborazione scientifica di: **POLITECNICO DI TORINO**
 Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

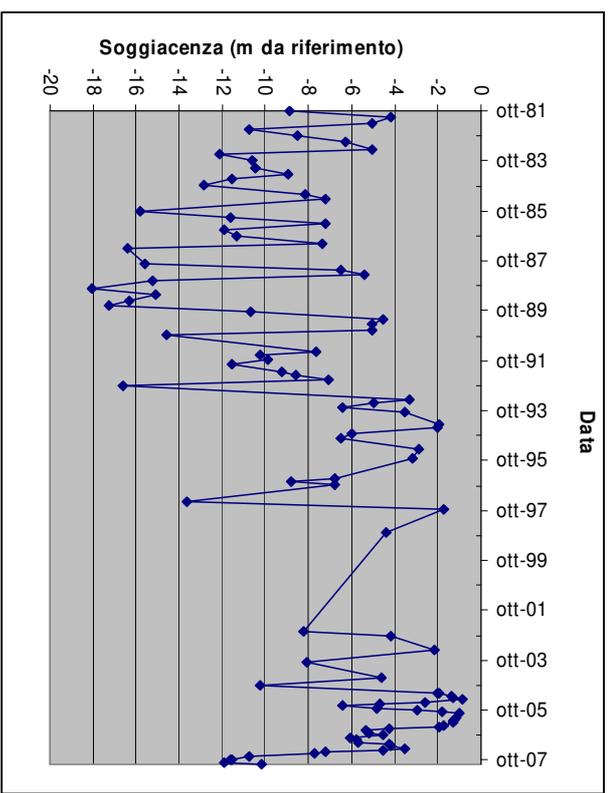
Con la collaborazione e patrocinio di: **Collegio Geometri Torino**

ALTRE INFORMAZIONI

Soggiacenza falda 2009



- Legenda**
- Soggiacenza
 - - - Area di ingressore del cuneo salino



Soggiacenza falda presso RN34-00



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:

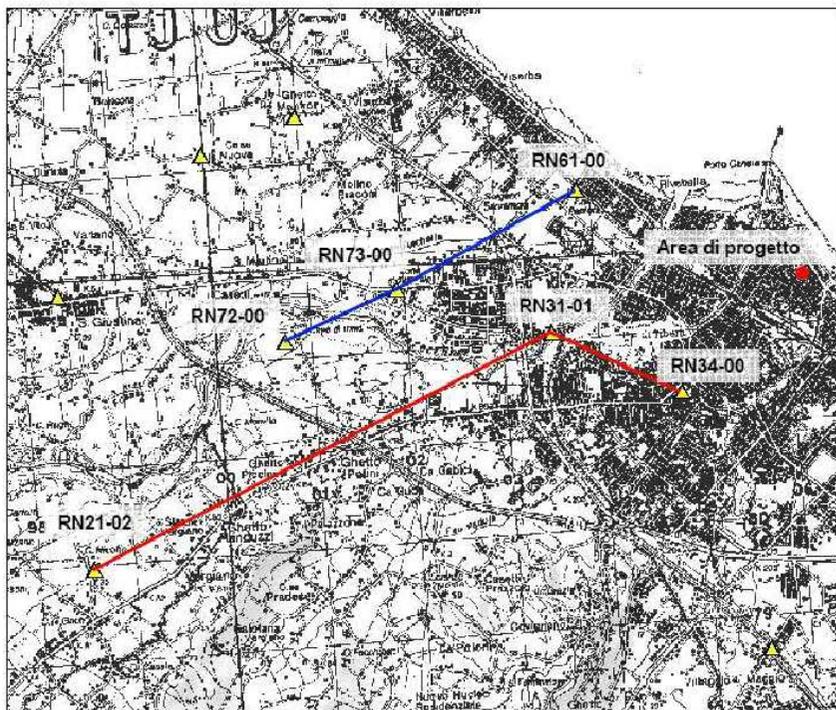


Collegio Geometri Torino

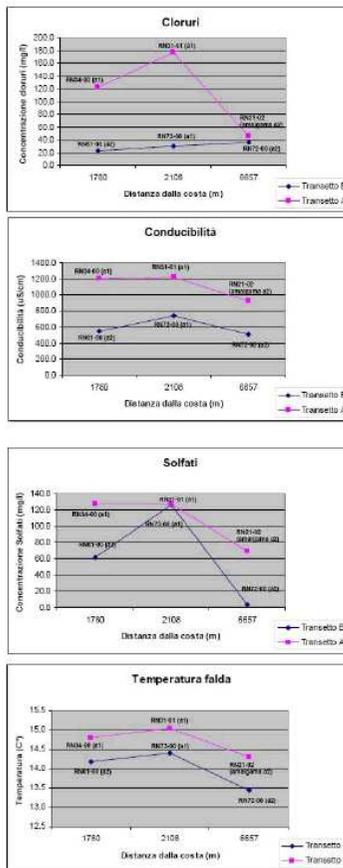
ALTRE INFORMAZIONI

Parametri chimico-fisici acqua di mare

Parametro	Valore
Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	45.000
Cloruri (g/kg)	18,98
Solfati (g/kg)	2,643
Temperatura media Giugno/Ottobre 2010 ($^{\circ}\text{C}$)	23,7
Temperatura media Novembre/Maggio 2010 ($^{\circ}\text{C}$)	10,8
Temperatura media* ($^{\circ}\text{C}$)	17,8
Temperatura di congelamento ($^{\circ}\text{C}$)	-2



Legenda
— Transetto A
— Transetto B



Con il patrocinio di: **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**
 Con la collaborazione scientifica di: **POLITECNICO DI TORINO**
 Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:

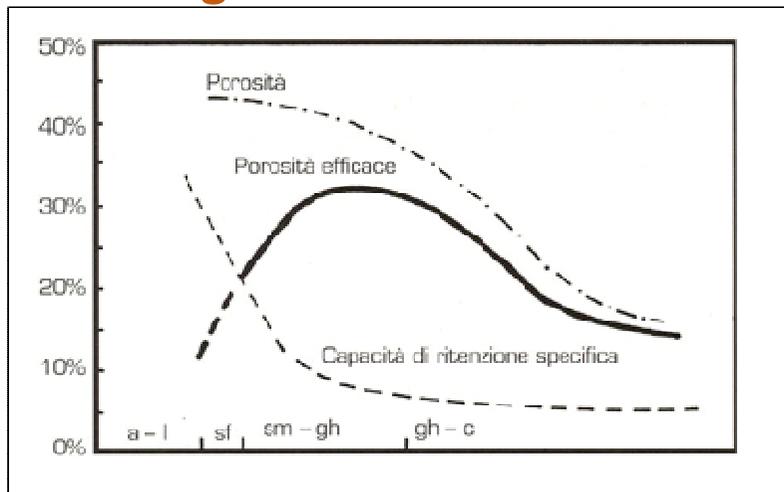


Collegio Geometri Torino

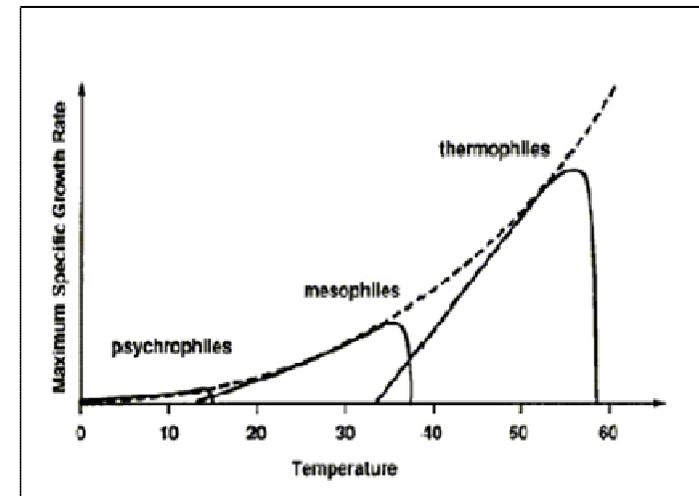
Provincia di Rimini

VALUTAZIONE RISCHI

Congelamento dei terreni



Crescita microbica in falda



Soluzione di continuità degli orizzonti acquitardi e acquicludi che separano i diversi acquiferi:

- **breve durata e transitorietà della fase di perforazione (1-2 giorni)**
- **rivestimento del foro con colonna in acciaio per tutta la lunghezza**
- **ripristino della continuità tramite isolamento della sonda con iniezione di miscela a base di cemento a partire dal fondo del foro**
- **breve durata della presa della miscela (24 ore)**
- **impermeabilità della miscela indurita.**



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

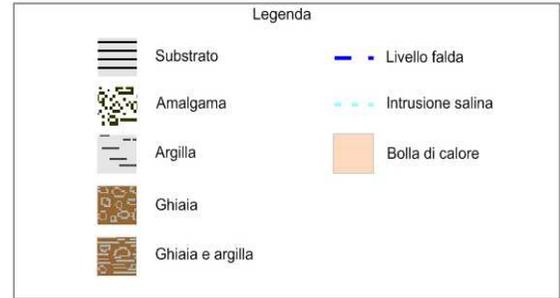
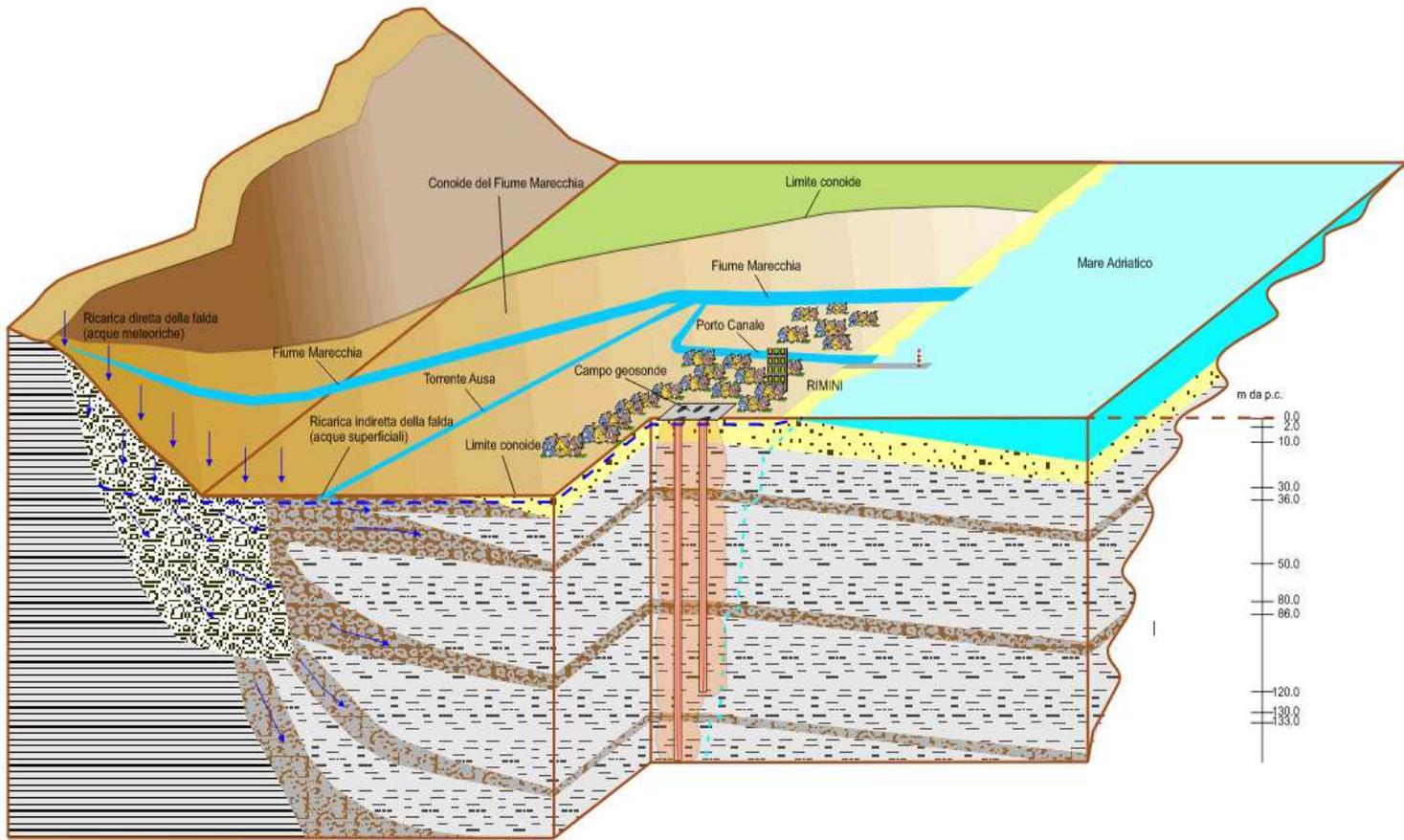
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MODELLO CONCETTUALE



Con il patrocinio di: Con la collaborazione scientifica di:



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO**



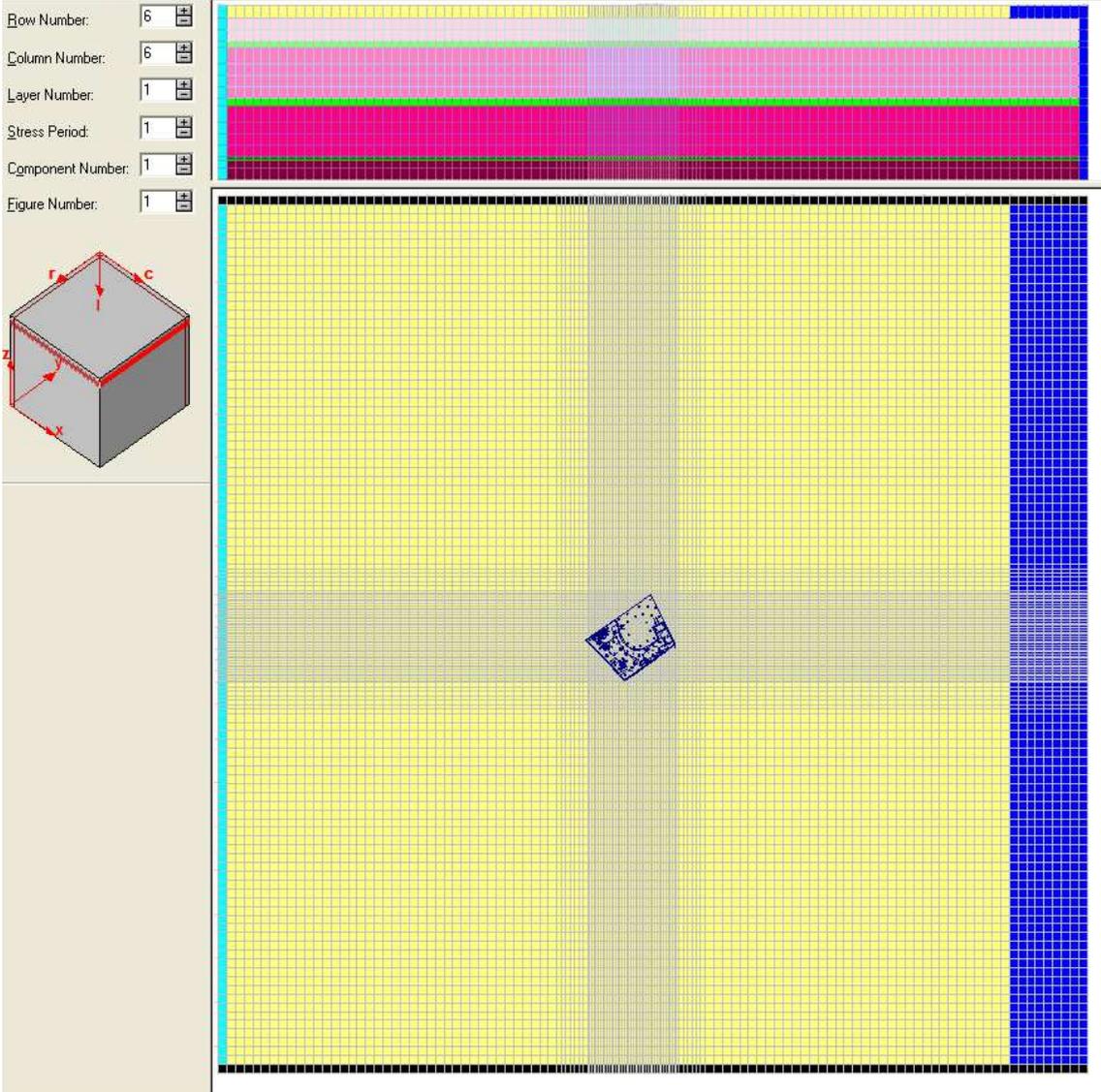
**POLITECNICO
DI TORINO**
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MODELLO FISICO E SIMULAZIONE PRELIMINARE TRASPORTO CALORE



Modello fisico: conducibilità



Con il patrocinio di:

Con la collaborazione scientifica di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



POLITECNICO
DI TORINO

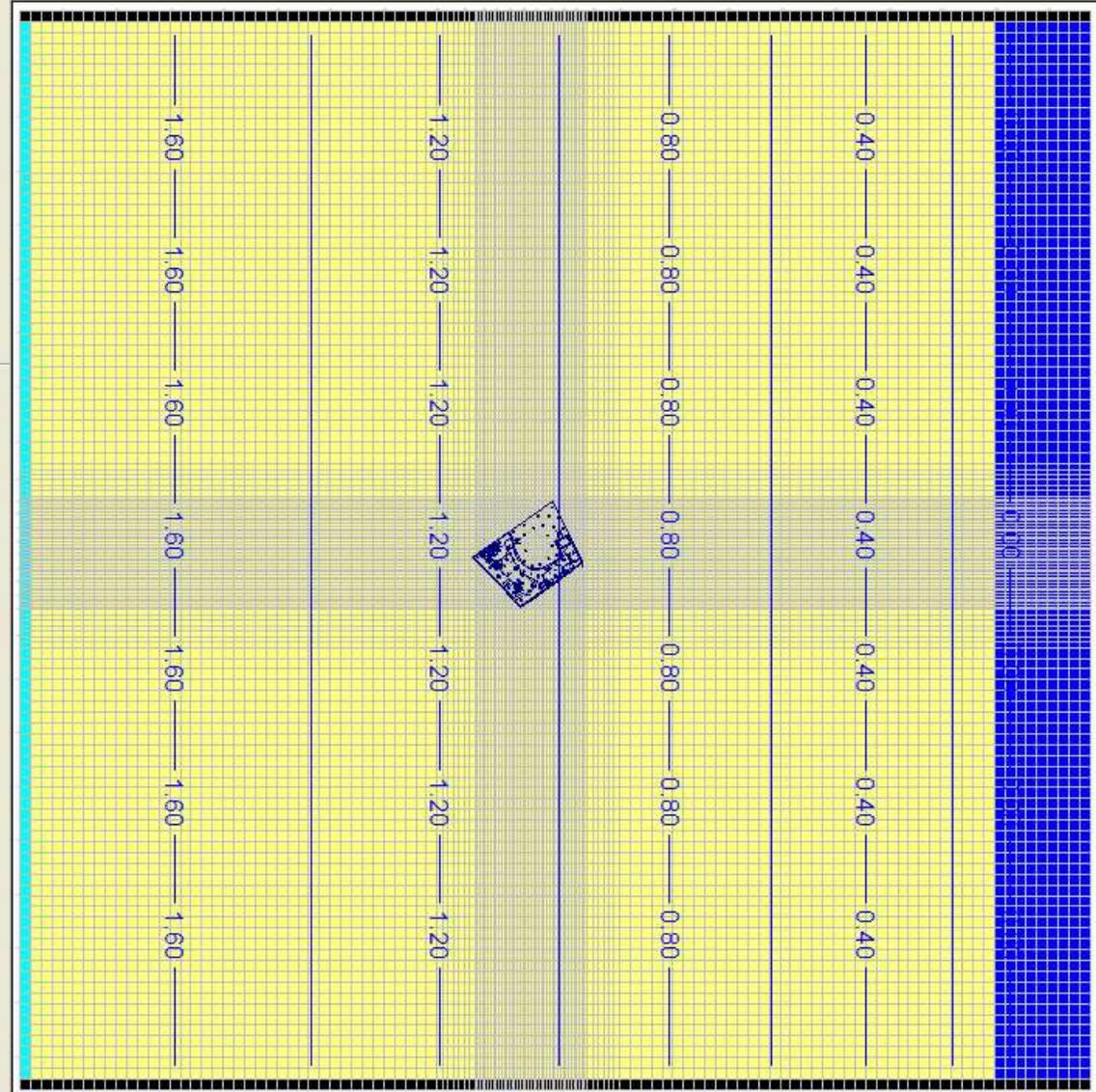
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:

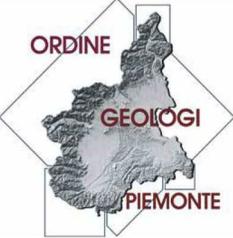


Collegio Geometri Torino

MODELLO FISICO E SIMULAZIONE PRELIMINARE TRASPORTO CALORE



Simulazione di flusso



Con il patrocinio di: Con la collaborazione scientifica di:



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO**



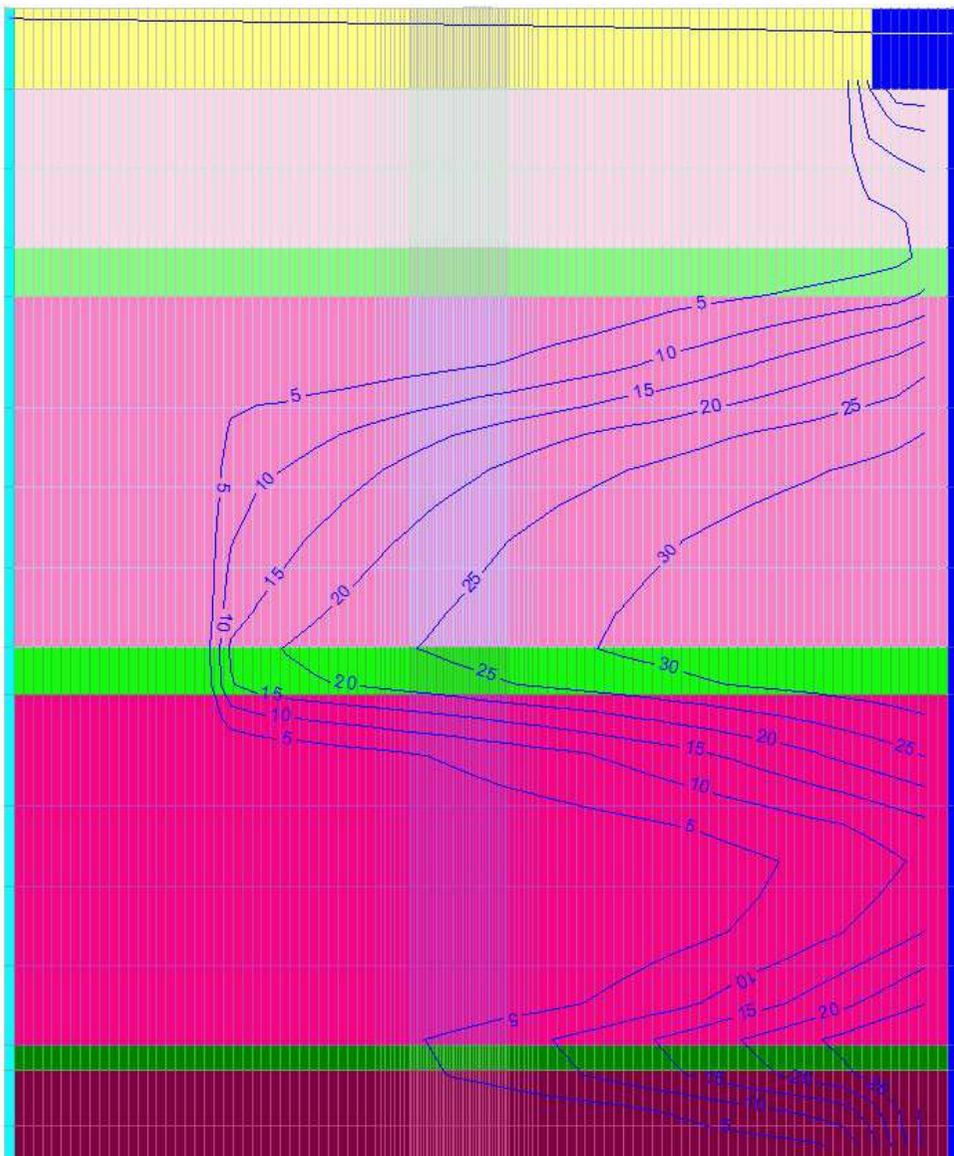
**POLITECNICO
DI TORINO**
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MODELLO FISICO E SIMULAZIONE PRELIMINARE TRASPORTO CALORE



Simulazione di trasporto: concentrazione salina



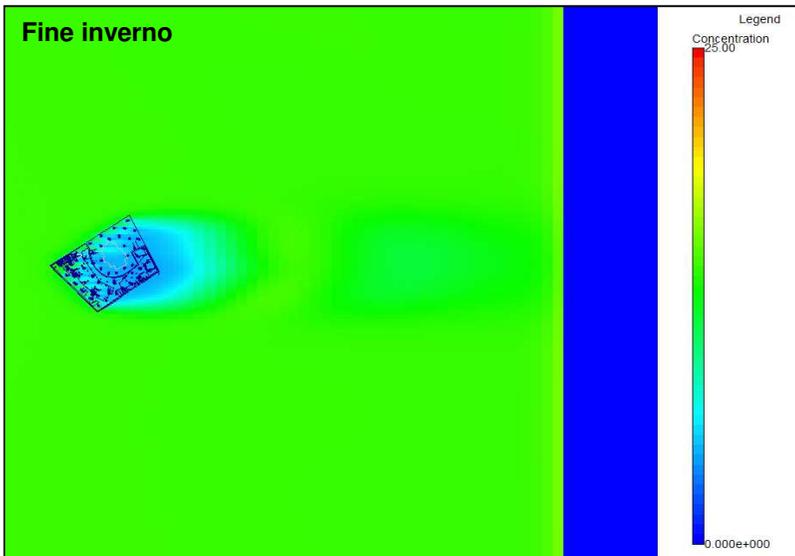
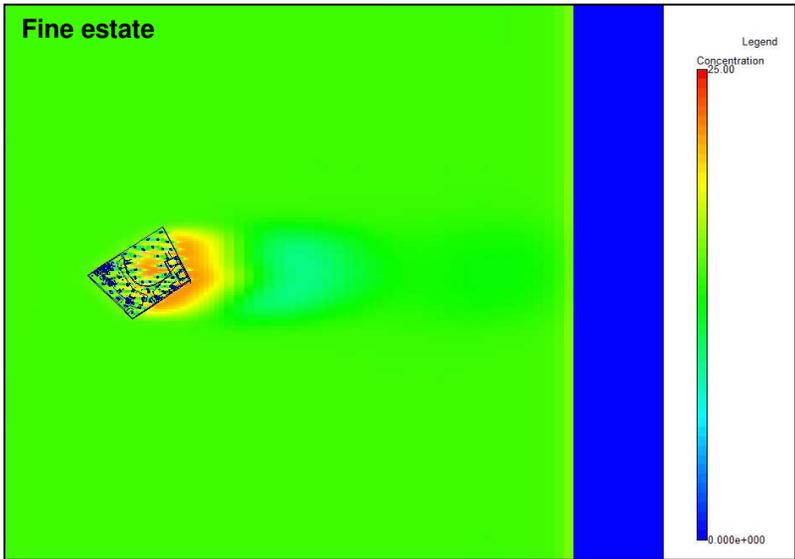
Con il patrocinio di: Con la collaborazione scientifica di:

 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO	 POLITECNICO DI TORINO <small>Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture</small>
--	---

Con la collaborazione e patrocinio di:


Collegio Geometri Torino

MODELLO FISICO E SIMULAZIONE PRELIMINARE TRASPORTO CALORE



Massima variazione 2°C 50 m a valle



Con il patrocinio di: Con la collaborazione scientifica di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



POLITECNICO
DI TORINO
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:

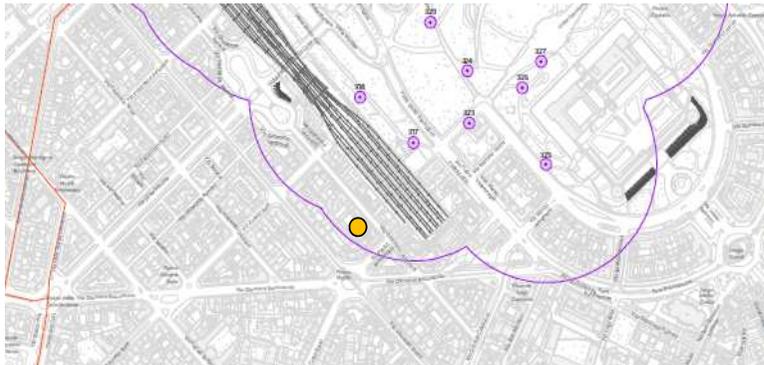


Collegio Geometri Torino

VIA LEOPARDI – MILANO 2015 - 2018 (Fonte: E.GEO)

Obiettivi:

- stimare variazione di temperatura indotta in falda dallo scambio termico su spessore di 200 m
- stimare rischi dell'eventuale alterazione chimico-fisico-biologica della qualità delle acque destinate all'uso potabile.



La simulazione di flusso è stata eseguita suddividendone la durata in 94 *stress periods* che coprono un'ampiezza di 12 anni, per rappresentare l'attivazione dei soli pozzi ad uso potabile a portata costante nei primi 5 anni e, dal sesto anno in poi, anche l'attivazione dei pozzi privati degli impianti a scambio termico a circuito aperto presenti nell'area del modello.

IDROGEOLOGIA

Pozzi (DLgs 3-04-2006 n. 152 e DGR 7/12693)

- Pozzi di captazione
- Zona di tutela assoluta (10 m.)
- Fasce di rispetto (200 m.)

Estate

- Temperatura fluido in ingresso alle geosonde: 28 °C
- Temperatura fluido in uscita dalle geosonde: 25 °C
- Potenza in frigoriferie: 200 kW
- Energia prodotta: circa 197.000 kWh/anno

Inverno

- Temperatura acqua in ingresso alle geosonde: 2 °C
- Temperatura acqua in uscita dalle geosonde: 6 °C
- Potenza in calorie: 180 kW
- Energia prodotta: circa 198.000 kWh/anno



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

STRATIGRAFIA PRESUNTA

LITOLOGIA	Spessore (m)	λ (W/m K)	α (m ² /s)
ghiaia satura	25,70	1,54	3,0E-07
argilla	2,60	1,50	4,0E-07
ghiaia argillosa	3,20	1,53	3,6E-07
sabbia con ghiaia satura	28,00	2,33	4,8E-07
argilla	5,00	1,50	4,0E-07
sabbia satura	4,80	2,83	5,3E-07
argilla	4,50	1,50	4,0E-07
sabbia satura	7,50	2,83	5,3E-07
ghiaia satura	7,00	1,54	3,0E-07
argilla	1,70	1,50	4,0E-07
sabbia ghiaiosa satura	7,00	2,58	5,0E-07
sabbia satura	11,00	2,83	5,3E-07
argilla	16,00	1,50	4,0E-07
sabbia satura	4,00	2,83	5,3E-07
argilla	32,00	1,50	4,0E-07
sabbia satura	4,50	2,83	5,3E-07
argilla	29,50	1,50	4,0E-07
sabbia satura	6,00	2,83	5,3E-07
TOTALE	200,00		

$$\alpha \text{ media (m}^2\text{/s)} = 4,3\text{-}07$$

$$\lambda \text{ media (W/mK)} = 1,91$$



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



**POLITECNICO
DI TORINO**

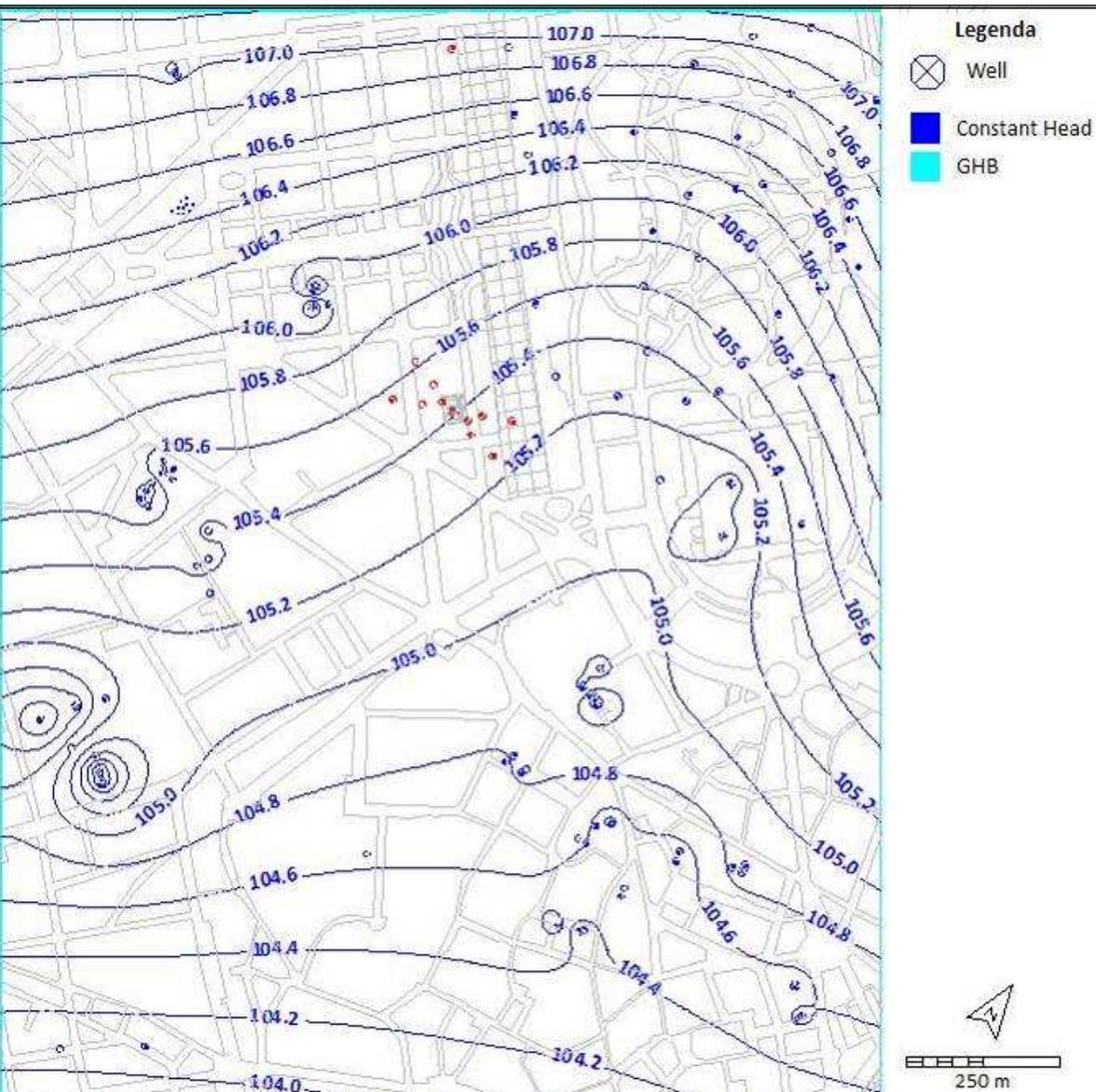
Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MODELLAZIONE DI FLUSSO

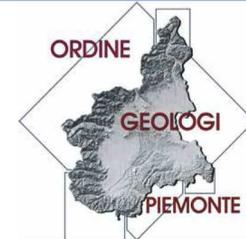


Pozzi inseriti nel TMR (modello di dettaglio)

Simulazione di flusso in regime transitorio
(12° anno – Falda porzione superiore AT)

Simulazione di flusso in regime transitorio
(12° anno - Falda porzione inferiore AT)

Simulazione di flusso in regime transitorio
(12° anno - Falda profonda)



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

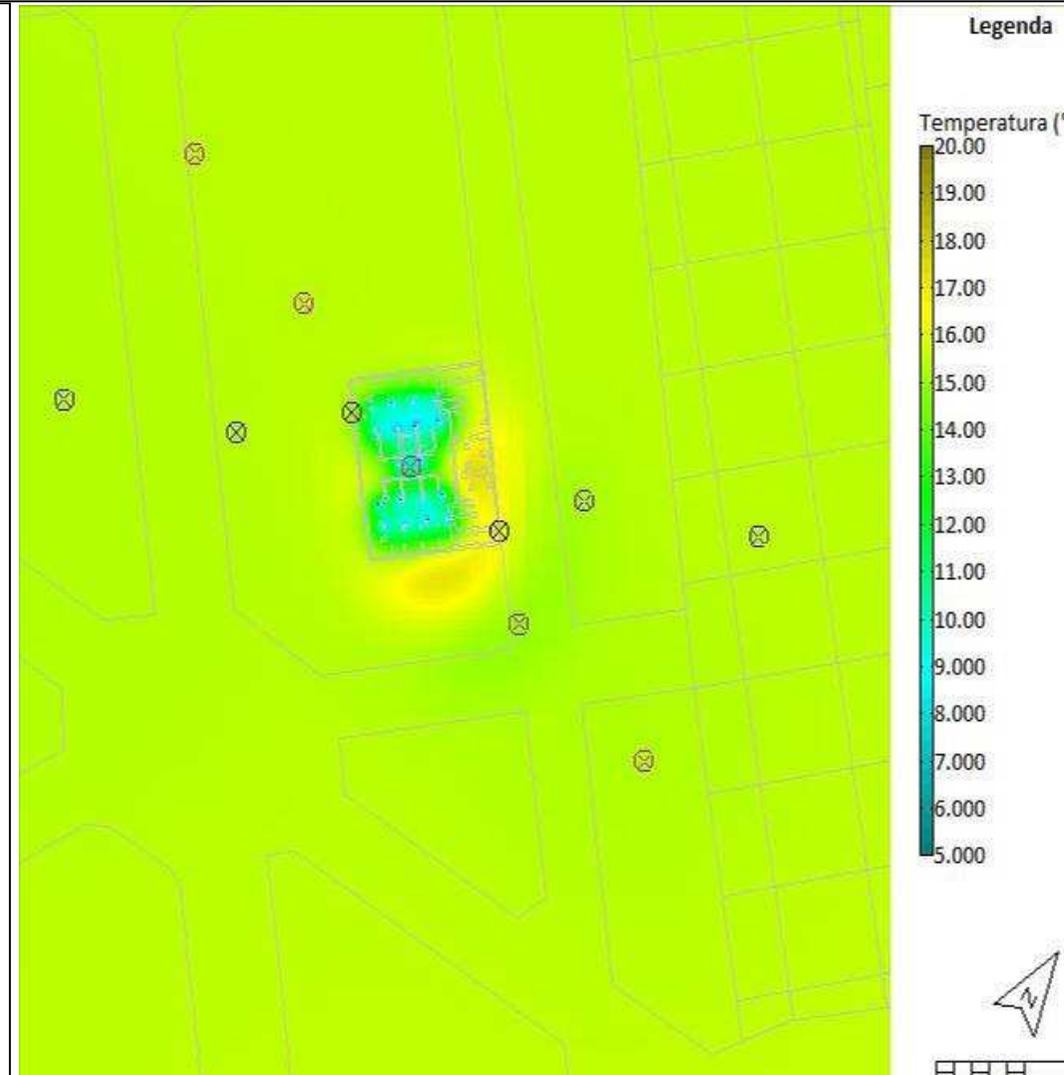
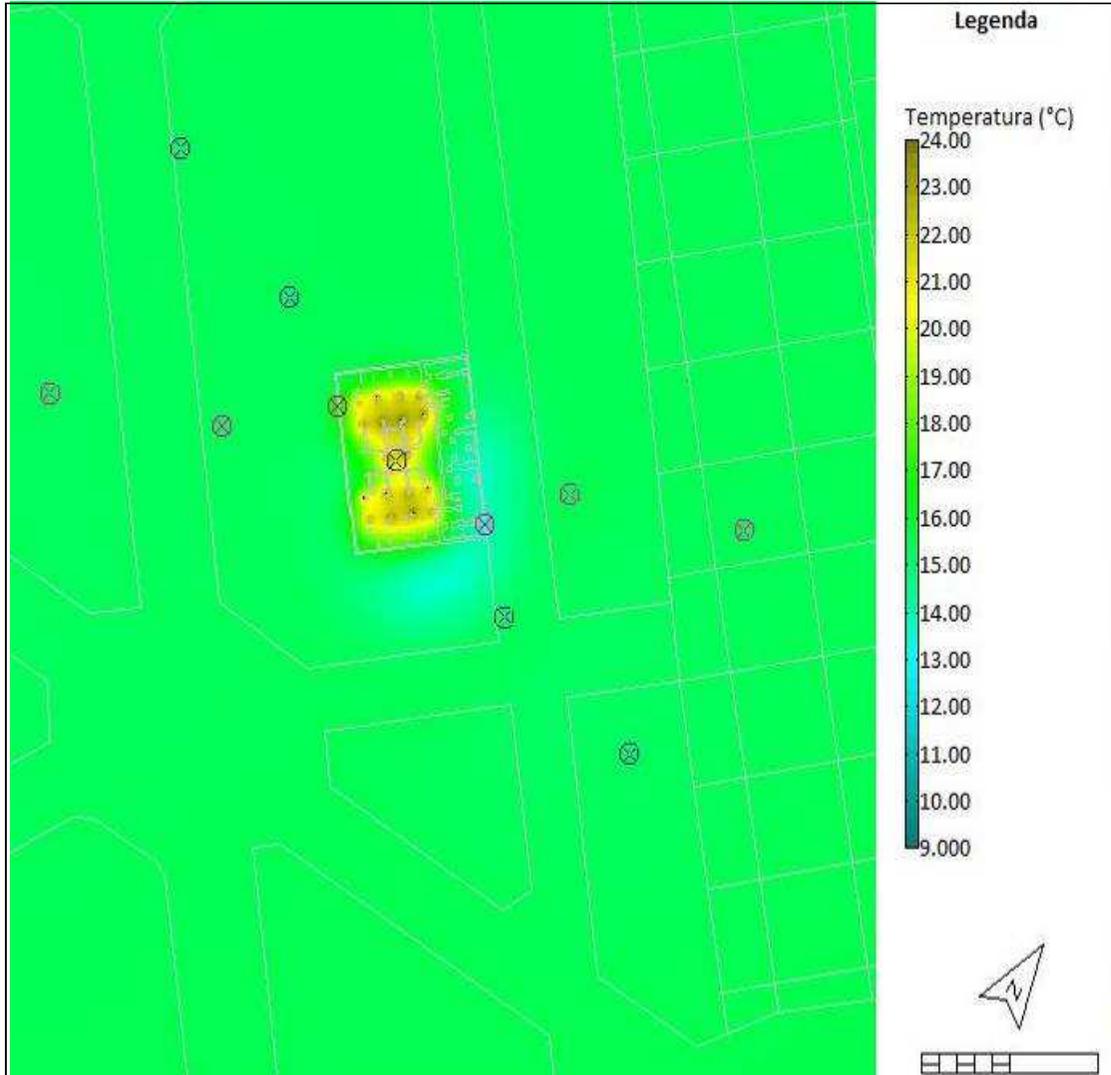
Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

MODELLAZIONE DI TRASPORTO DI CALORE

Estate



PREVISIONI

Confronto temperature medie simulate presso i piezometri virtuali interni al sito con quelle del piezometro indisturbato di controllo, dopo 6 anni di esercizio. Si osserva:

- un modesto raffreddamento della prima falda (in media - 0,3 °C)
- un modesto riscaldamento della falda nella porzione inferiore dell'Acquifero Tradizionale (in media + 0,2 °C)
- un minimo riscaldamento delle falde profonde (in media + 0,1 °C)
- un'oscillazione di temperatura dell'estifero nel centro del campo sonde
 - tra 7,0°C e i 23,0°C nella prima falda
 - tra 9,5°C e 20,5°C nella falda contenuta nella parte inferiore dell'Acquifero Tradizionale
 - tra 11,5°C e i 17,5°C nelle falde profonde
- valori ridotti di più del 50 % vicino al confine di proprietà
- 50 m a valle del sito oscillazioni inferiori a 0,5°C solo nelle falde superficiali rispetto al valore medio annuo
- nessuna variazione significativa ai piezometri virtuali 100 m a valle.

In sintesi, si prevede che lo scambio termico non interferisca negativamente sulle falde attraversate.

MONITORAGGIO PER VALIDAZIONE

Installazione di doppia catena termica in una delle sonde per il monitoraggio continuo delle temperature a diverse profondità durante il primo anno di esercizio dell'impianto.

Obiettivo: validare la previsione del modello di trasporto di calore.



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

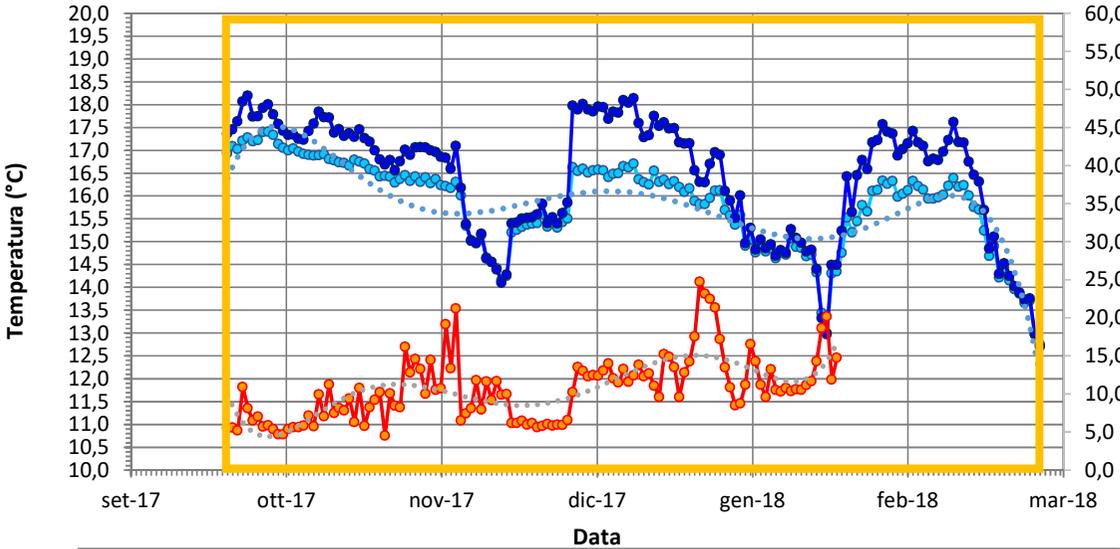
Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

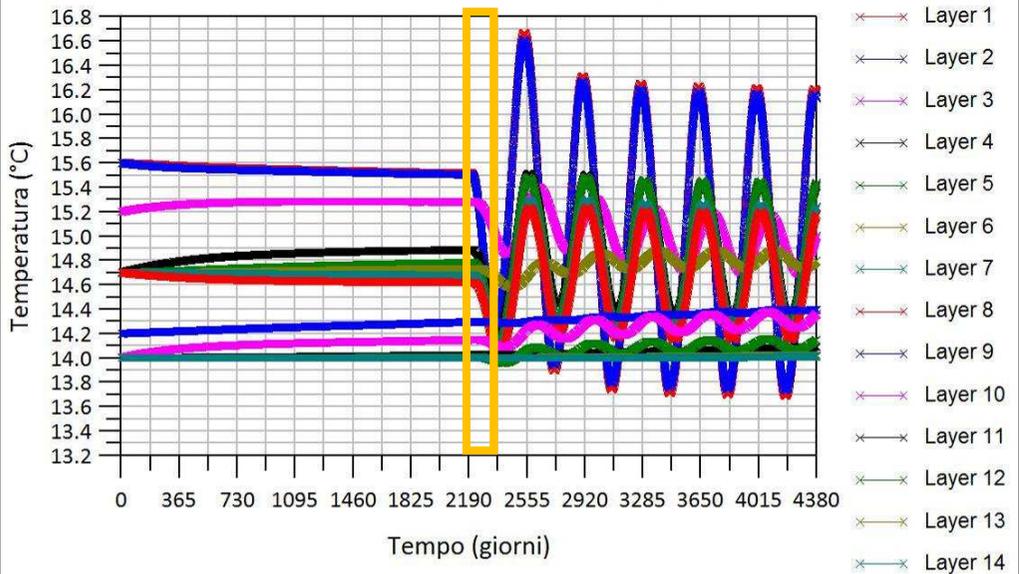
PRIMI RISCONTRI – WORK IN PROGRESS

Temperatura media (5 m - 105 m e 110 m - 180 m da p.c.)
vs.
Potenza media giornaliera



- Acquifero Tradizionale
- Potenza impegnata
- Poli. (Potenza impegnata)
- Acquiferi Profondi
- Poli. (Acquifero Tradizionale)

Temperatura vs. Tempo - Pz interno valle



Potenza impegnata (kWe)

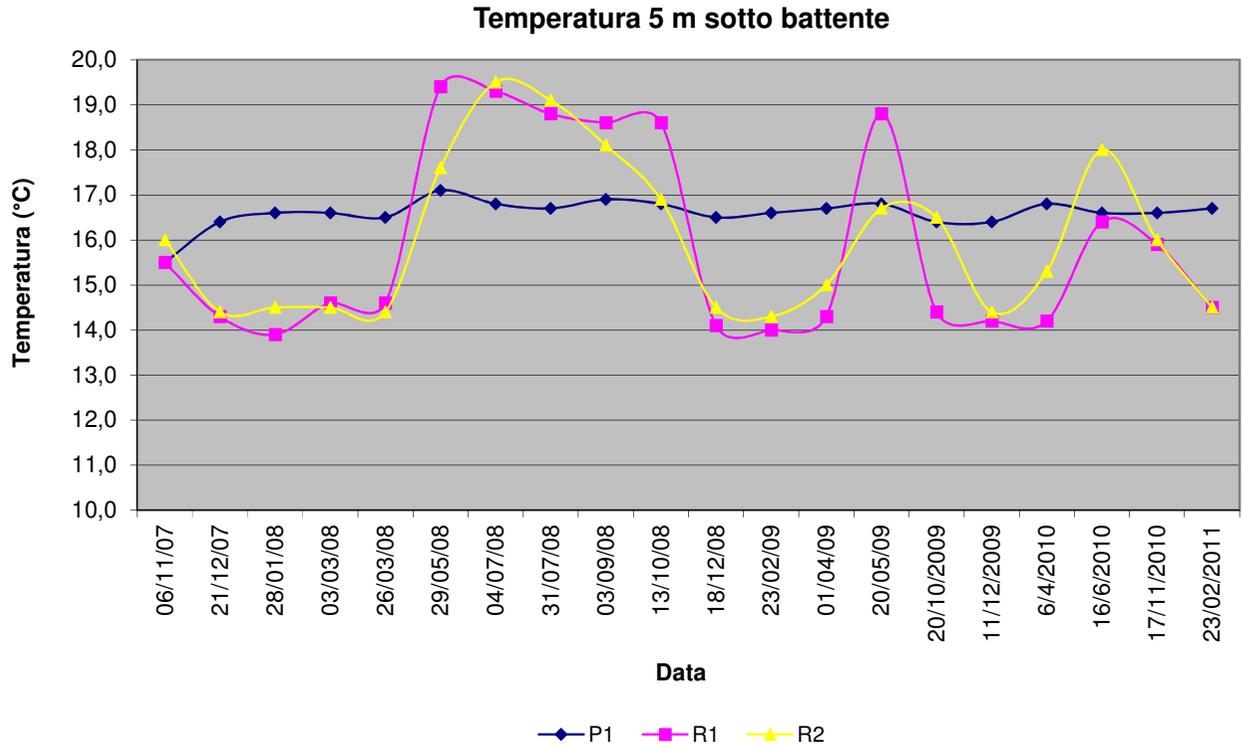


Con il patrocinio di: **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**

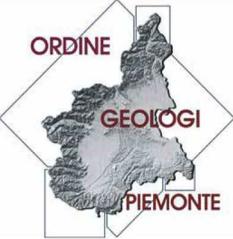
Con la collaborazione scientifica di: **POLITECNICO DI TORINO**
Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di: **Collegio Geometri Torino**

TEATRO FRANCO PARENTI – MILANO – 2007-2018



**Validazione circuito aperto:
monitoraggio assenza interferenza
tra pozzo di prelievo e pozzi di resa
nell’arco di oltre 4 anni di esercizio
(e in seguito)**



Con il patrocinio di: **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO**
 Con la collaborazione scientifica di: **POLITECNICO DI TORINO**
 Dipartimento di Ingegneria dell’Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

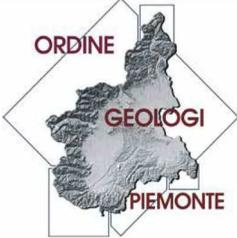
Con la collaborazione e patrocinio di:



Grazie dell'attenzione!



Umberto Puppini



Con il patrocinio di:

Con la collaborazione scientifica di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

UNI 11466:2012 - Requisiti per il dimensionamento e la progettazione. La norma definisce i criteri di progettazione e le procedure di calcolo per la determinazione delle prestazioni di progetto degli impianti a pompa di calore geotermica. La norma inoltre permette di determinare le temperature medie mensili del fluido termovettore lato terreno che servono per determinare le prestazioni energetiche delle pompe di calore ai fini della certificazione energetica degli edifici.

UNI 11467:2012 - Requisiti per l'installazione. La norma definisce le metodologie di perforazione, le procedure di realizzazione delle geosonde e dei test di risposta geotermica, i requisiti di scelta, di installazione e i limiti di funzionamento delle pompe di calore e delle altre apparecchiature dell'impianto; le caratteristiche dei fluidi di geoscambio e di perforazione, dei materiali di riempimento e di geoscambio; i macchinari, gli utensili, le attrezzature di realizzazione delle geosonde e per i test di risposta geotermica; la stesura della documentazione e dei rapporti di realizzazione.

UNI 11468:2012 - Requisiti ambientali. La norma definisce una procedura di valutazione del livello di compatibilità ambientale degli impianti geotermici a pompa di calore.

UNI11517:2013 - Sistemi geotermici a pompa di calore. La norma definisce i requisiti per la classificazione delle imprese che realizzano scambiatori geotermici e in particolare descrive i requisiti, le capacità tecniche, organizzative, gestionali, economiche e finanziarie che un'impresa deve possedere per poter eseguire le attività peculiari presso i propri clienti.

UNI TS 11487:2013 - Sistemi geotermici a pompa di calore. La norma definisce i requisiti per l'installazione di impianti ad espansione diretta.

Temperature_Fondo_Falde_rev3



Con il patrocinio di:



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

Con la collaborazione scientifica di:



POLITECNICO
DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

Con la collaborazione e patrocinio di:



Collegio Geometri Torino

2016
Impianti di
geoscambio con
acqua di falda

