



2° CONVEGNO GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA prospettive di sviluppo: dall' esperienza nazionale alla scala locale

Sinergeo - 8 novembre 2013 - Palazzo Bonin Longare - Confindustria Vicenza



Sistemi geotermici a bassa entalpia a ciclo aperto: modellazione dell'impatto termico nel sottosuolo



Stefano LO RUSSO

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

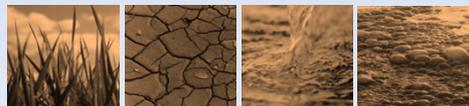
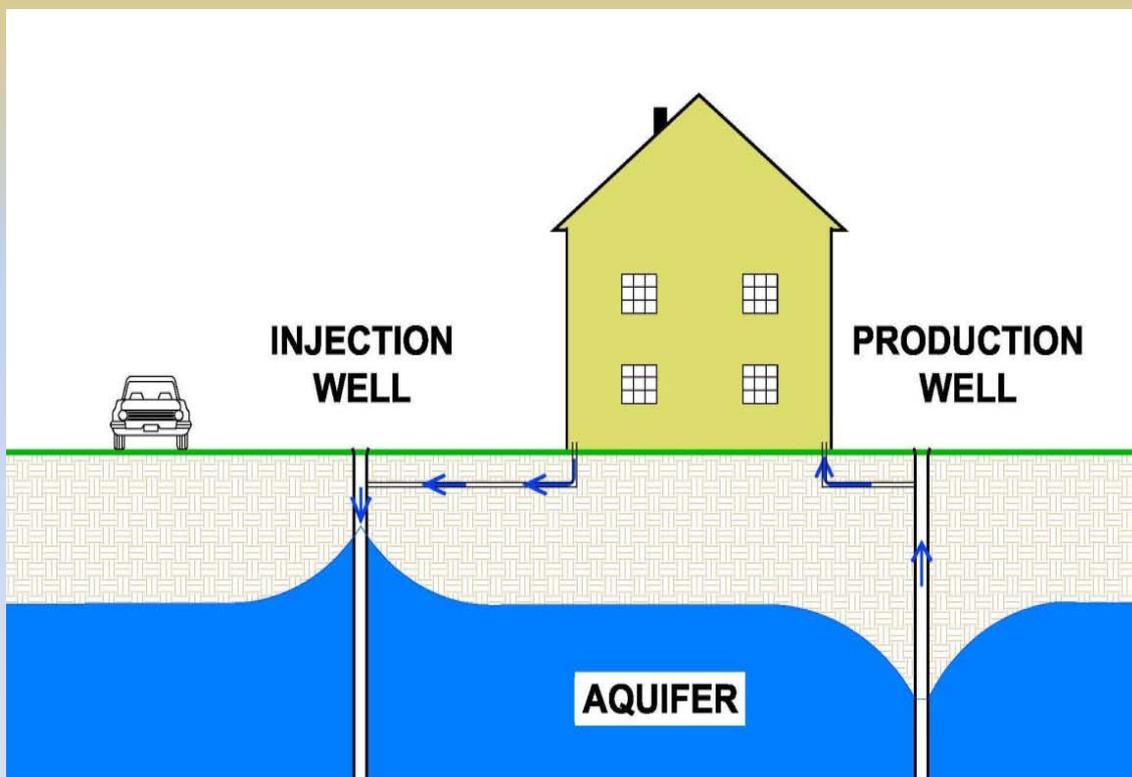
POLITECNICO DI TORINO

E-mail: stefano.lorusso@polito.it

Tel. +39 011 0907648, Fax. +39 011 0907699, Mobile +39 349 4162387

Come funziona un sistema geotermico di tipo open-loop

Il sistema geotermico a pompa di calore di tipo open-loop utilizza un pozzo di produzione da cui viene estratta l'acqua sotterranea che viene fatta circolare attraverso uno scambiatore di calore (pompa di calore) e re-immessa in acquifero attraverso un pozzo di re-iniezione posto a valle dell'impianto o scaricata in un corpo idrico superficiale.



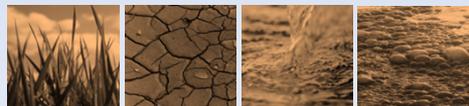
Effetti della re-iniezione dell'acqua nell'acquifero

A seconda della modalità di utilizzo dell'impianto (riscaldamento o raffrescamento) l'energia termica in forma di calore immagazzinata nell'acqua prelevata dal sottosuolo può essere estratta (funzionamento invernale) o ceduta (funzionamento estivo).

Pertanto a valle della pompa di calore la temperatura dell'acqua è differente da quella prelevata (+fredda in inverno e +calda in estate). La re-immissione in acquifero produce una perturbazione termica rispetto alle condizioni termiche (ed idrauliche) indisturbate con la formazione della cd. plume termica

La plume termica può comportare un rischio "esterno" per interferenze con altri impianti posti a valle e un rischio "interno" per fenomeni di feedback termico.

La valutazione degli effetti ambientali necessita quindi un'accurata caratterizzazione geologica e idrogeologica del sito e di tools di modellazione numerica che siano in grado di accoppiare modelli di flusso idrodinamico transitorio con modelli di trasporto di calore.



Condizioni indispensabili per la modellazione numerica

Conoscenza dettagliata delle condizioni geologiche e idrogeologiche del sito

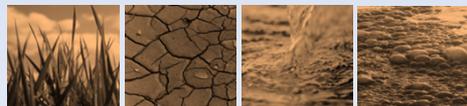
- ✓ Geometria 3D dei corpi geologici
- ✓ Determinazione condizioni idrodinamiche: piezometria
- ✓ Caratterizzazione idrodinamica dei corpi acquiferi
- ✓ Censimento degli usi delle acque sotterranee nell'intorno e loro dinamica temporale

Costruzione del modello concettuale

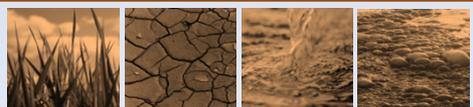
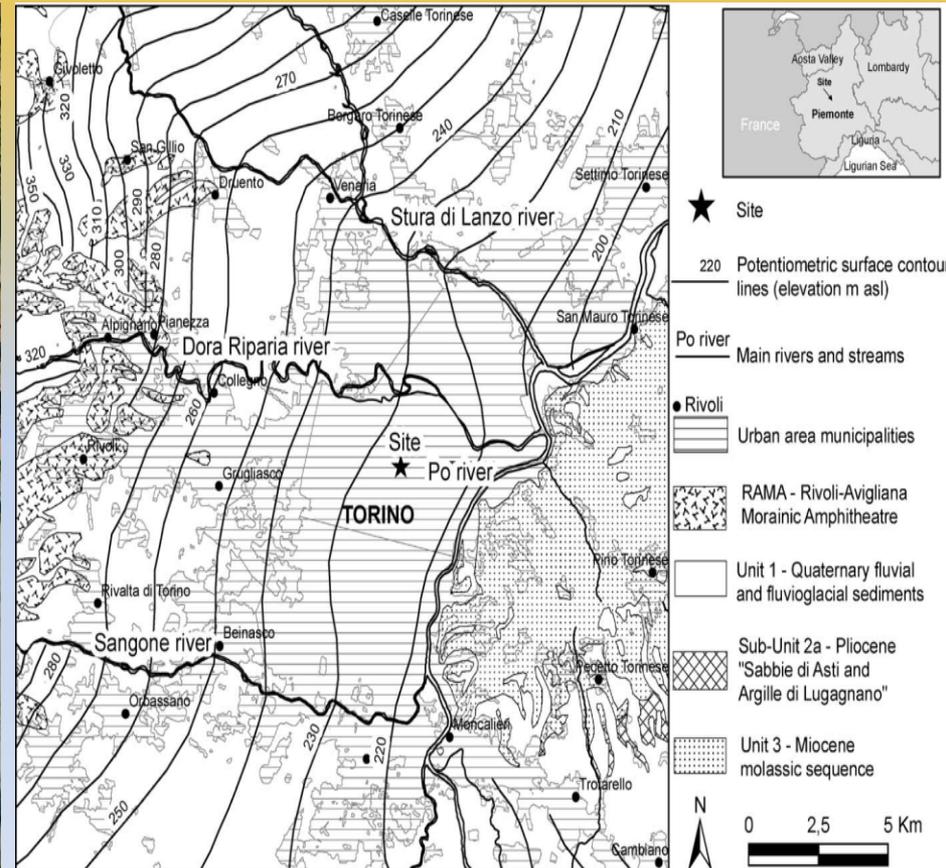
- ✓ Dimensioni del dominio di calcolo

Identificazione e modellazione del transitorio

- ✓ Prelievi idrici e temperature di re-immissione seguono i fabbisogni termici dell'edificio: sempre variabili nel tempo – modellazione transitorio
- ✓ Condizioni al contorno sia idrauliche che termiche stazionarie e/o variabili nel tempo (attenzione al top boundary e interferenze con superficie)



Esempi di applicazioni: caratterizzazione del *test site* Politecnico



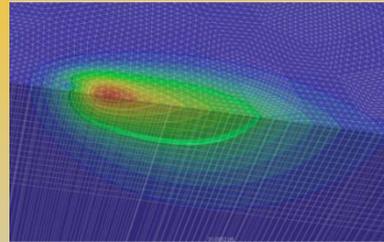
2° CONVEGNO GEOTERMIA A BASSA ENTALPIA - VICENZA
 prospettive di sviluppo: dall'esperienza nazionale alla scala locale



Esempi di applicazioni: caratterizzazione del *test site* Politecnico



- site
- ▲ injection well P4
- ◆ extraction well P2
- ★ piezometer S2



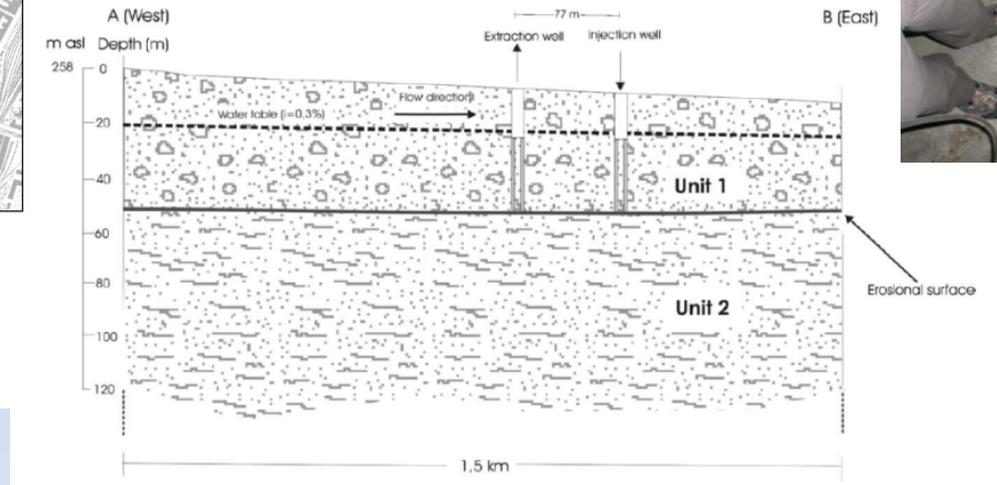
Pozzo di estrazione P2



Pozzo di immissione P4



Piezometro S2



Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

PARAMETRI			VALORE
Kxx; Kyy	conducibilità idraulica orizzontale	(m/s)	0,00027
Kzz	conducibilità idraulica verticale	(m/s)	0,000054
S	coefficiente di immagazzinamento	-	0,106
n	porosità	-	0,2
$\rho^f c^f$	capacità termica volumetrica del fluido	$[10^6 \text{J}/(\text{m}^3 \text{K})]$	4,2
$\rho^s c^s$	capacità termica volumetrica del solido	$[10^6 \text{J}/(\text{m}^3 \text{K})]$	2,52
λ^f	conducibilità termica del fluido	$[\text{J}/\text{msK}]$	0,65
λ^s	conducibilità termica del solido	$[\text{J}/\text{msK}]$	3
α_L	dispersione longitudinale	[m]	5
α_T	dispersione trasversale	[m]	0,5

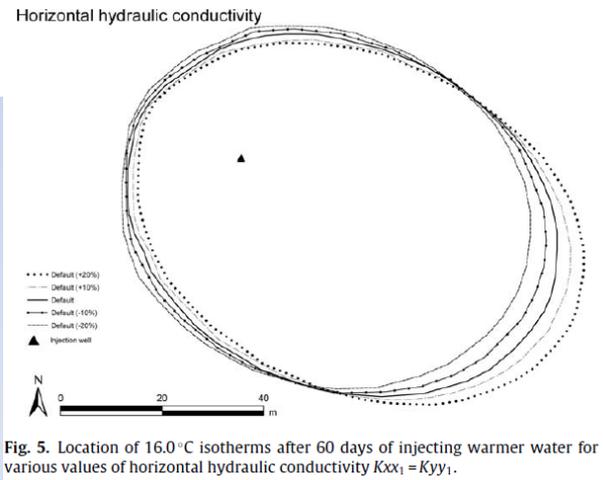


Fig. 5. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of horizontal hydraulic conductivity $K_{xx1} = K_{yy1}$.

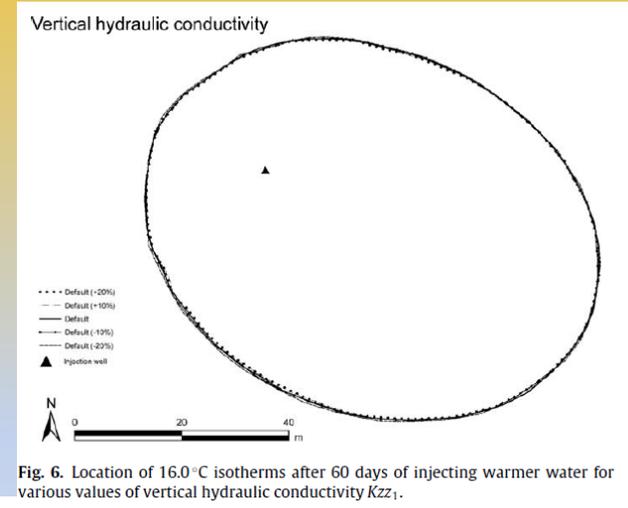
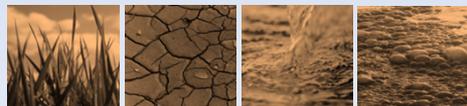


Fig. 6. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of vertical hydraulic conductivity K_{zz1} .



Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

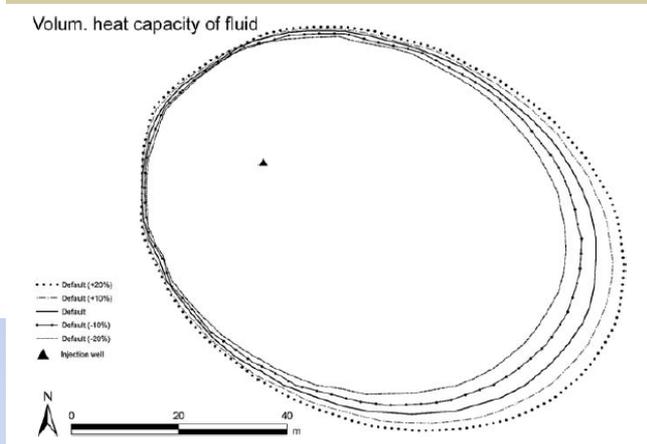
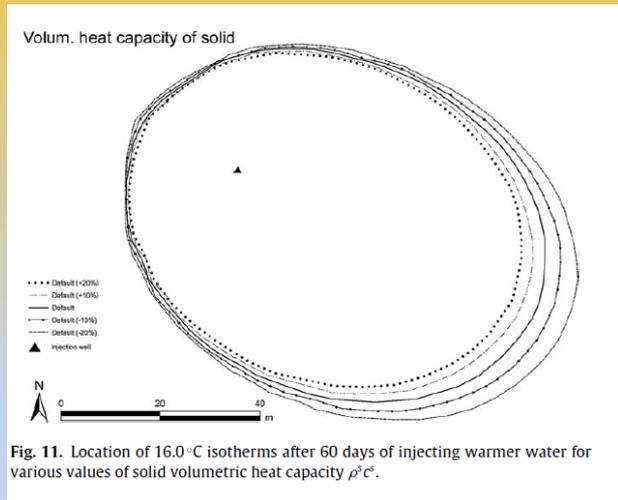


Fig. 10. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of fluid volumetric heat capacity $\rho^f c^f$.

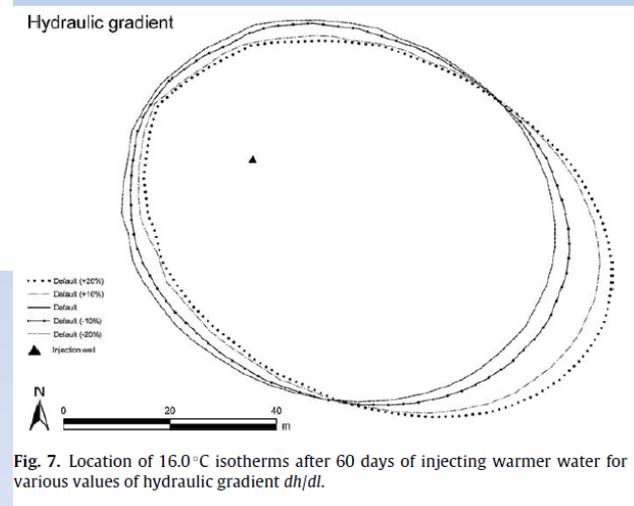
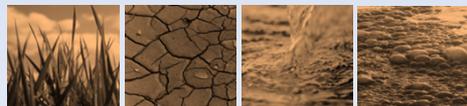


Fig. 7. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of hydraulic gradient dh/dl .



Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

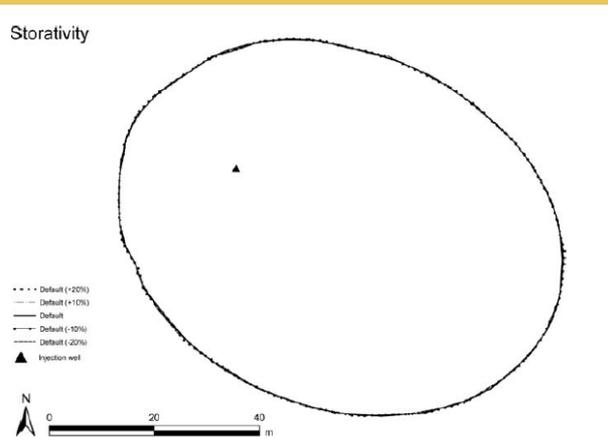


Fig. 8. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of storativity S_1 .

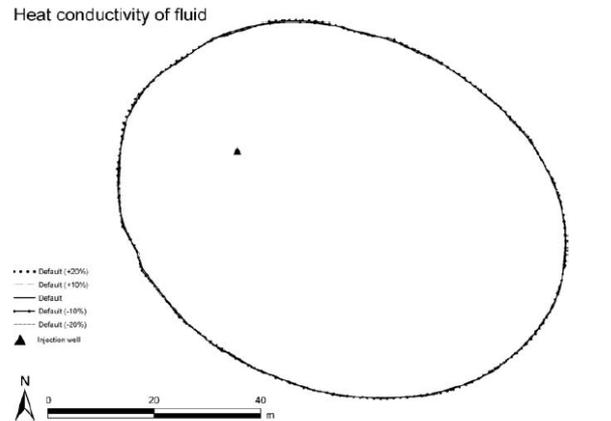


Fig. 12. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of fluid thermal conductivity λ_f .

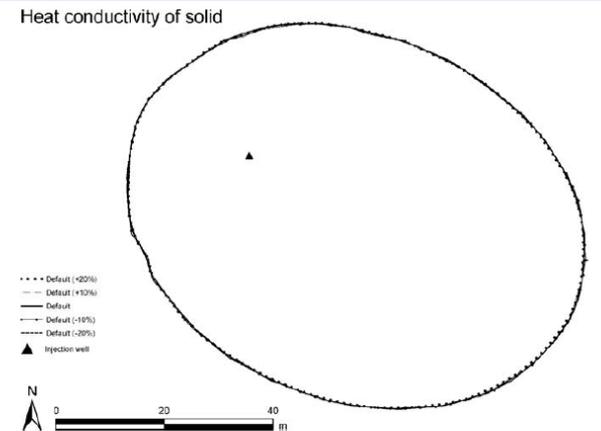
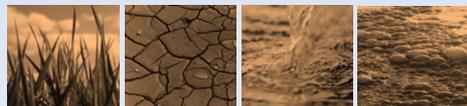


Fig. 13. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of solid thermal conductivity λ_s .



Esempi di applicazioni: Analisi di sensitività sui principali parametri dell'acquifero

Porosity

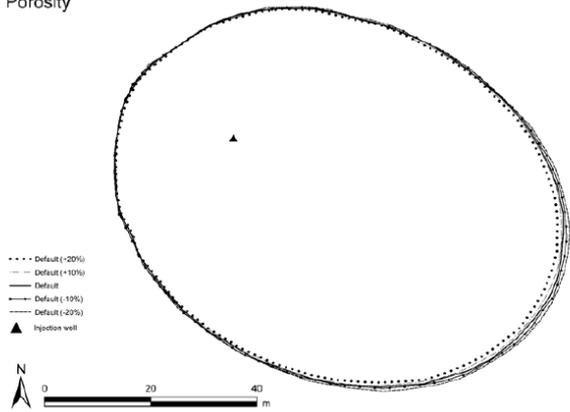


Fig. 9. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of porosity n_1 .

Transverse dispersivity

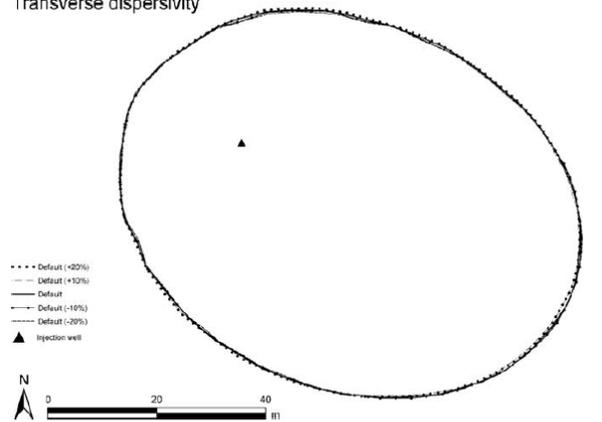


Fig. 15. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of transverse thermo-dispersivity α_T .

Longitudinal dispersivity

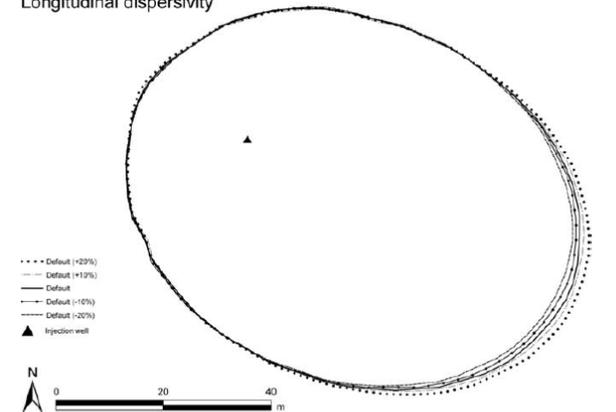
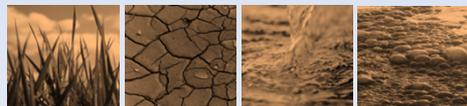


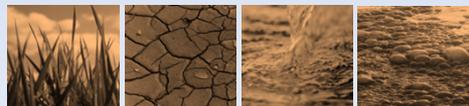
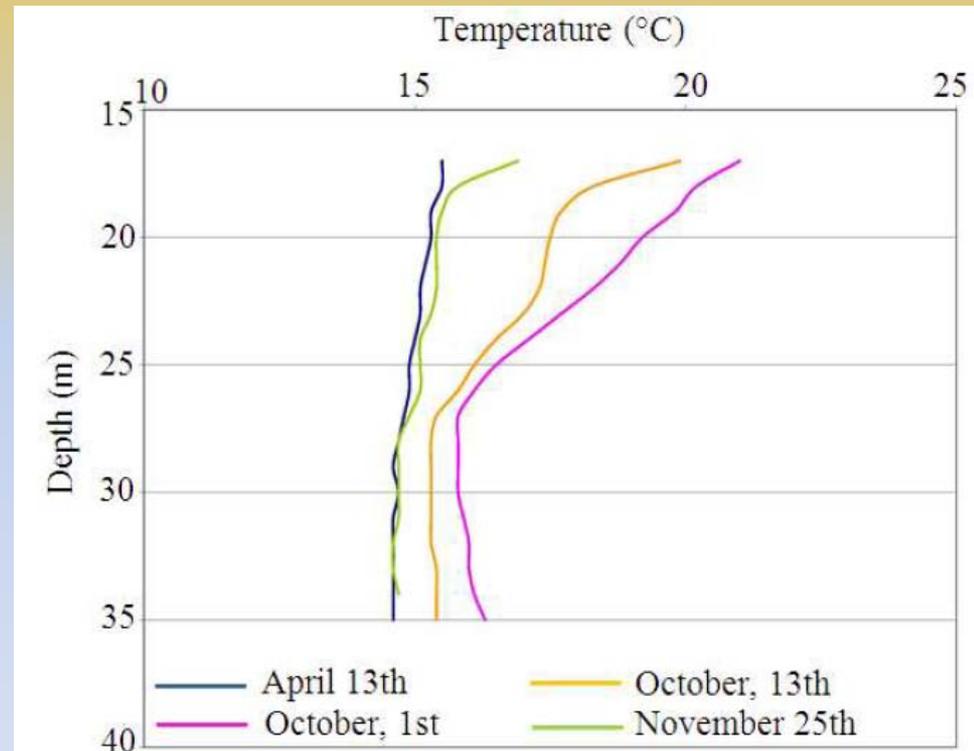
Fig. 14. Location of 16.0°C isotherms after 60 days of injecting warmer water for various values of longitudinal thermo-dispersivity α_L .



Esempi di applicazioni: stratificazione termica verticale

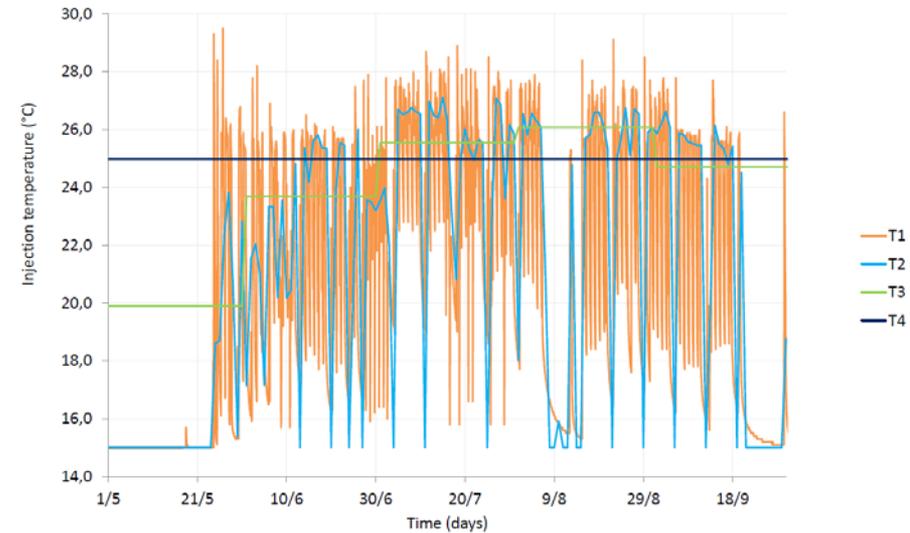
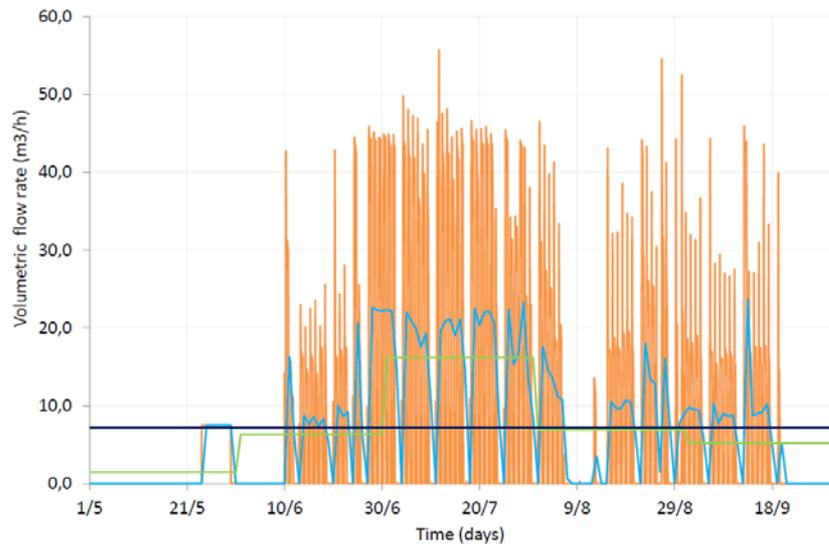
Osservazioni sperimentali evidenziano che lo scarico delle acque re-immesse sul top dell'acquifero produce una evidente stratificazione termica: solo la porzione superficiale dell'acquifero viene interessata dalla plume termica mentre il calore non si propaga in profondità

Se le variazioni di temperatura sono limitate ad alcuni gradi le variazioni di densità e viscosità del fluido con la temperatura possono essere considerate trascurabili nella modellazione numerica



Esempi di applicazioni: Effetti delle variazioni di portata e di temperatura - la modellazione del transitorio a entalpia costante

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Delta t}{n \cdot \Delta t}$$



$$\overline{\Delta T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot c_i \cdot \Delta T_i \cdot \Delta t}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot c_i \cdot \Delta t}$$



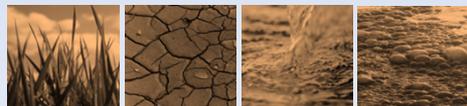
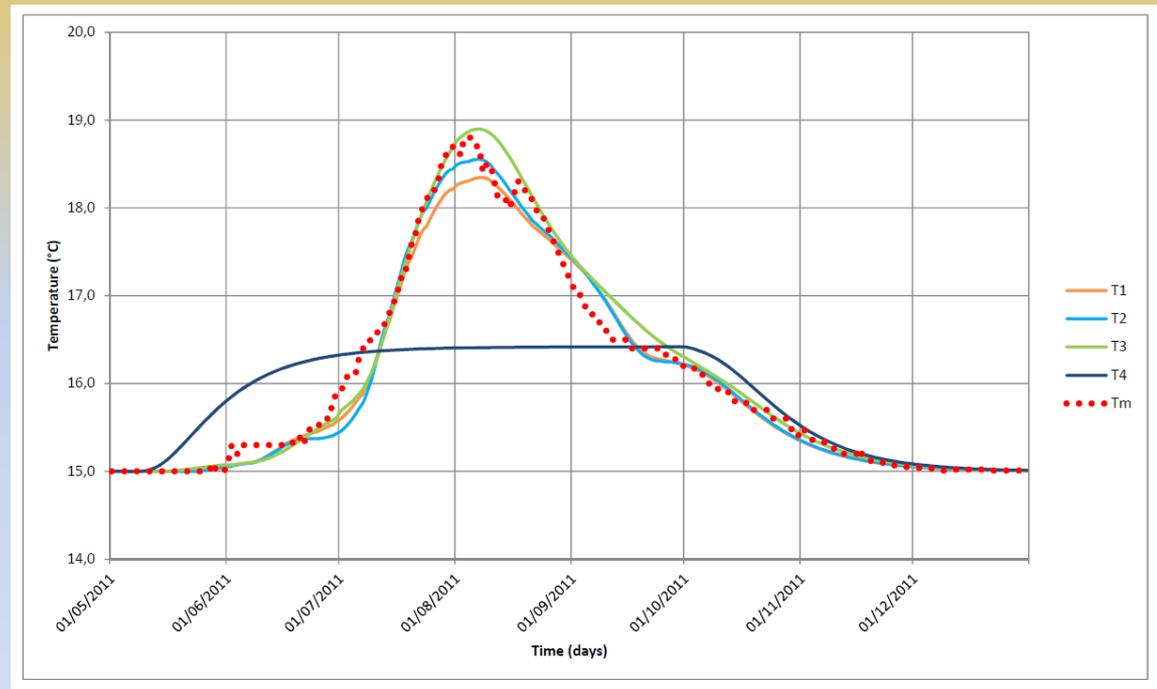
Esempi di applicazioni: Effetti delle variazioni di portata e di temperatura - la modellazione del transitorio a entalpia costante

T1 and **Q1**: valori reali (**orari**)

T2 and **Q2**: media **settimanali**

T3 and **Q3**: medie **mensili**

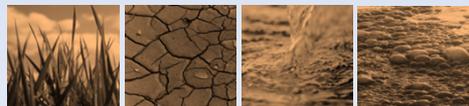
T4 and **Q4**: medie **stagionali**



Conclusioni: cosa influenza la dinamica della plume termica?

Gli studi sperimentali e la modellazione numerica hanno evidenziato che:

- ✓ i parametri idrodinamici che più influenzano lo sviluppo e la dinamica spazio-temporale della *plume termica* sono quelli connessi con la componente advettiva del flusso di calore.
- ✓ la caratterizzazione in sito e la modellazione numerica devono quindi prestare particolare cura nella determinazione dei parametri prettamente idrodinamici connessi alla velocità del flusso idrico (conducibilità idraulica, gradiente, porosità efficace, dispersività longitudinale e trasversale) mentre di minore importanza sono i fenomeni dispersivi di natura conduttiva
- ✓ occorre prestare particolare attenzione alla definizione corretta del modello concettuale, soprattutto in aree urbane intensamente antropizzate
- ✓ è fondamentale riprodurre nella modellazione numerica le reali condizioni transitorie di prelievo e re-immissione sia in termini di portata che di temperatura



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Stefano LO RUSSO

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

POLITECNICO DI TORINO

E-mail: stefano.lorusso@polito.it

Tel. +39 011 0907648, Fax. +39 011 0907699, Mobile +39 349 4162387

