



Campo Termico e Area di Influenza di una Sonda Geotermica



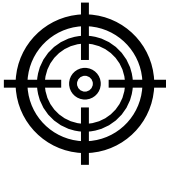
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Claudio Alimonti

DICMA - Sapienza Università di Roma

Focus points



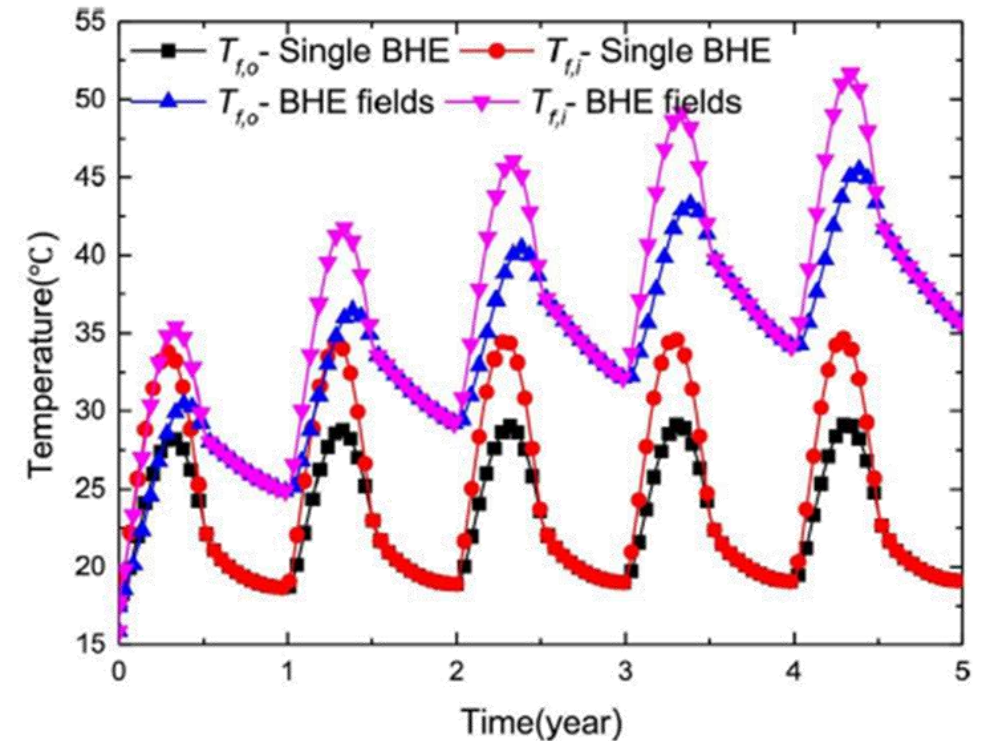
- L'applicazione delle tecnologie di **geoscambio** sono una potenziale alternativa ai sistemi di riscaldamento e raffrescamento con pompe di calore. In particolare, nei **centri urbani** dove l'effetto di isola di calore è presente il ricorso all'impiego del sottosuolo come sorgente termica consente una **maggiore sostenibilità**.
- In questi spazi, che possono risultare ristretti, la problematica maggiore è la possibile **interferenza tra impianti** con conseguente degrado dell'efficienza dei medesimi.
- L'obiettivo principale è focalizzare la nostra attenzione sulla distribuzione della **temperatura nel terreno** circostante ad una sonda geotermica o di un campo sonde e su come cambia nel tempo in risposta al suo utilizzo.



**EFFETTO DI UN CAMPO SONDE RISPETTO ALLA
SINGOLA SONDA**

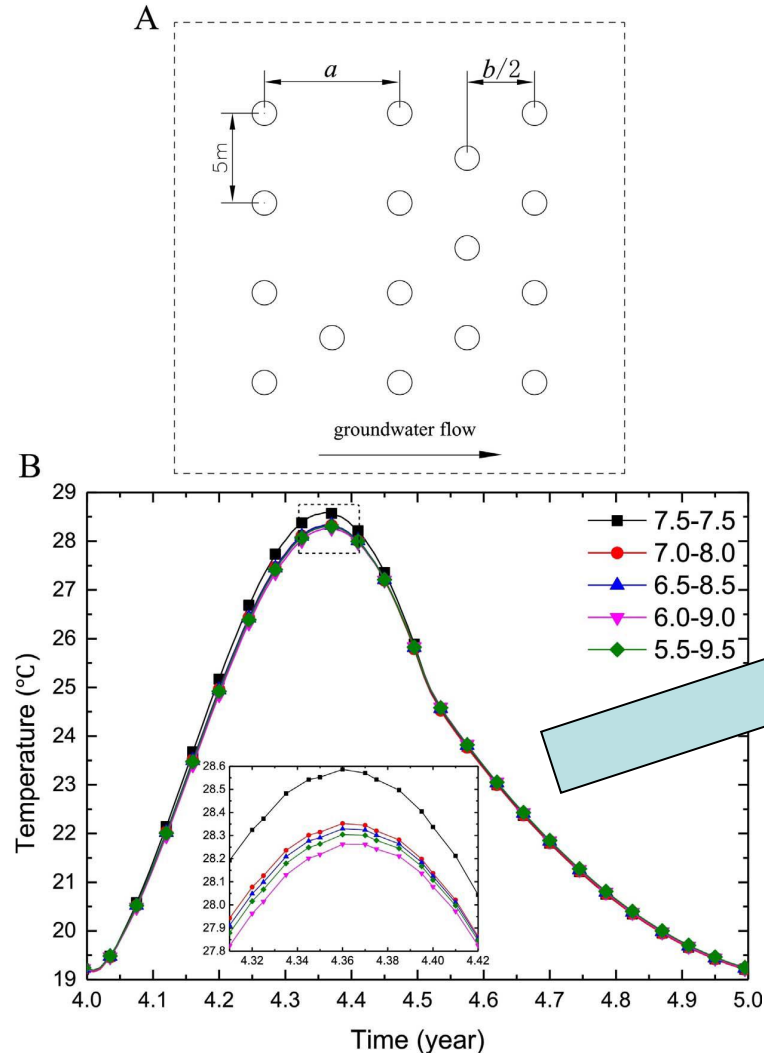
Interazione Termica tra sonde geotermiche

- **L'interazione termica** tra le sonde geotermiche è significativa quando la **distanza tra le sonde** è limitata e il **carico degli edifici è sbilanciato**.
- L'interazione termica tra i le sonde geotermiche diventa inevitabile quando sono disposte in spazi ristretti.
 - **Raccomandazioni** indicano distanze tra le sonde geotermiche tra 5 e 8 metri.
 - Le simulazioni numeriche mostrano che le interazioni termiche possono influenzare le **prestazioni a lungo termine** dei le sonde geotermiche .
 - L'influenza del flusso di acqua sotterranea è stata spesso trascurata.



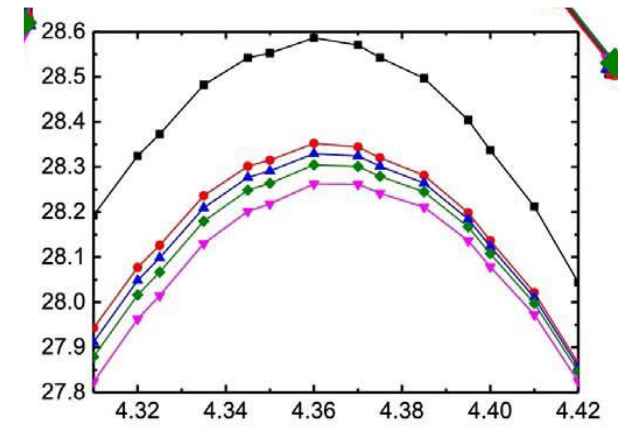
Il campo di sonde consiste in 36 sonde disposte in una griglia regolare (6 × 6) a 5 m di distanza.

Influenza della disposizione geometrica



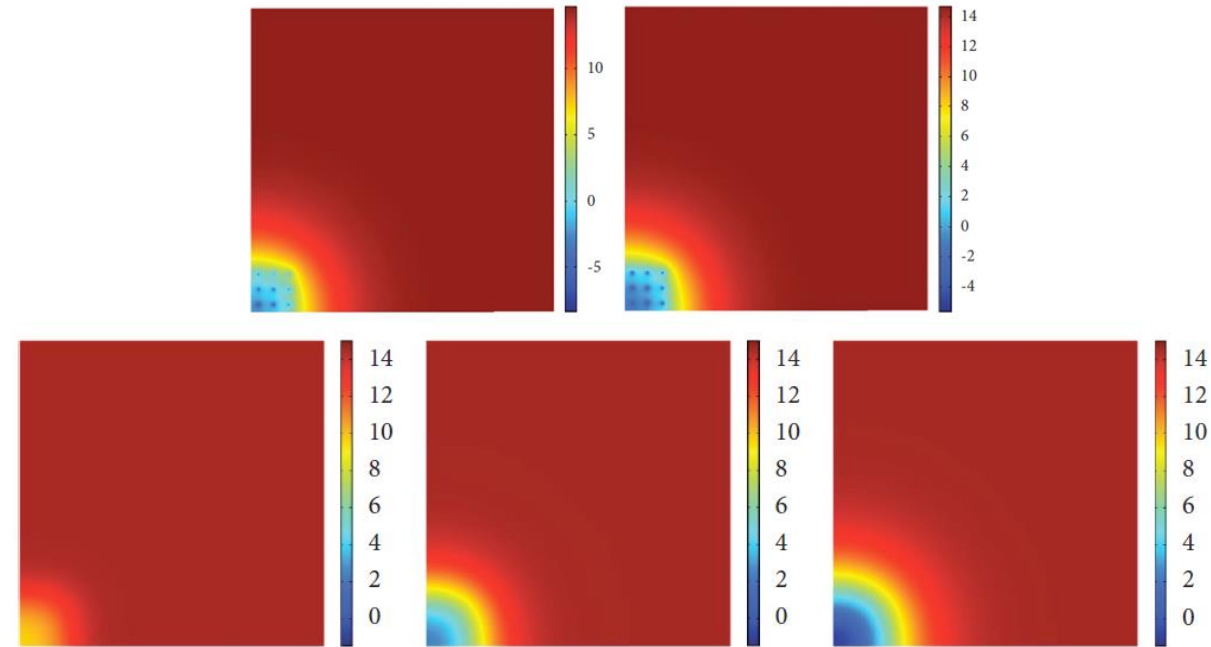
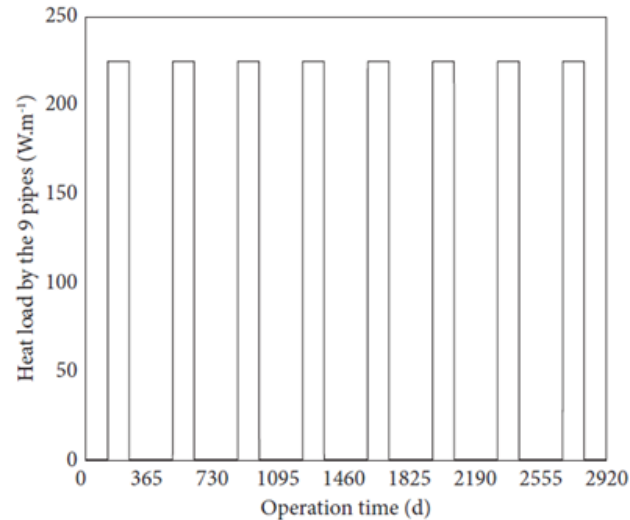
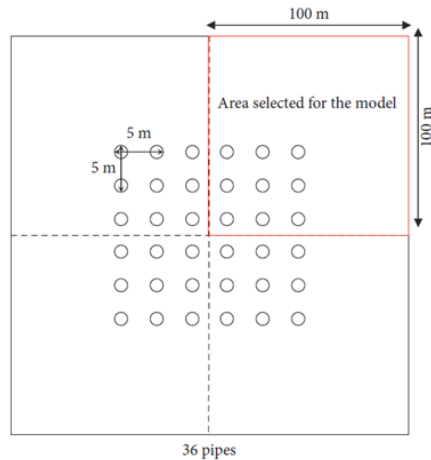
- La **disposizione geometrica** delle sonde geotermiche influisce notevolmente sulla diffusione del calore e **sull'efficienza del sistema**.

- La temperatura massima del fluido in uscita varia tra 28.44 °C e 27.79 °C a seconda della disposizione.



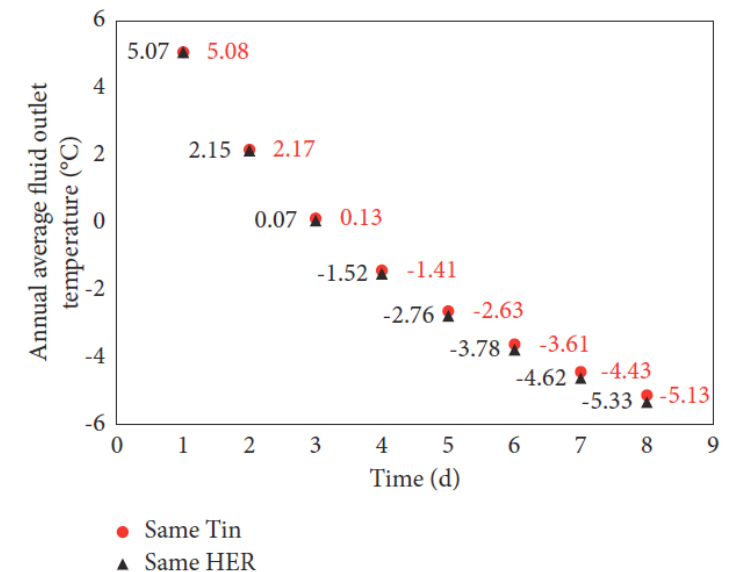
- La disposizione con la maggiore area di contatto con il suolo mostra le migliori prestazioni.
- Aumentare** il numero di sonde geotermiche **lateralmente migliora** le caratteristiche operative del sistema.

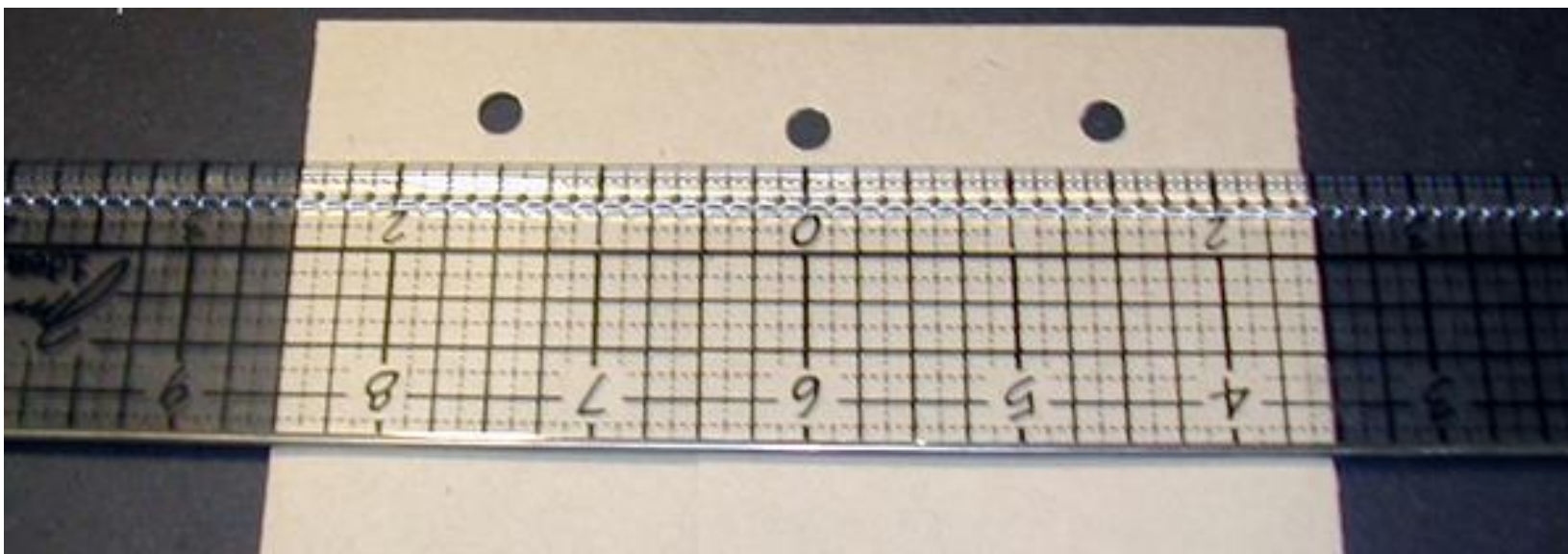
Influenza del bilanciamento energetico



I risultati mostrano che sia la **temperatura** del suolo che le **prestazioni** delle sonde **diminuiscono** con l'estrazione del calore durante il periodo di funzionamento del sistema, e che la temperatura del suolo non può essere completamente compensata dopo la stagione di recupero della temperatura.

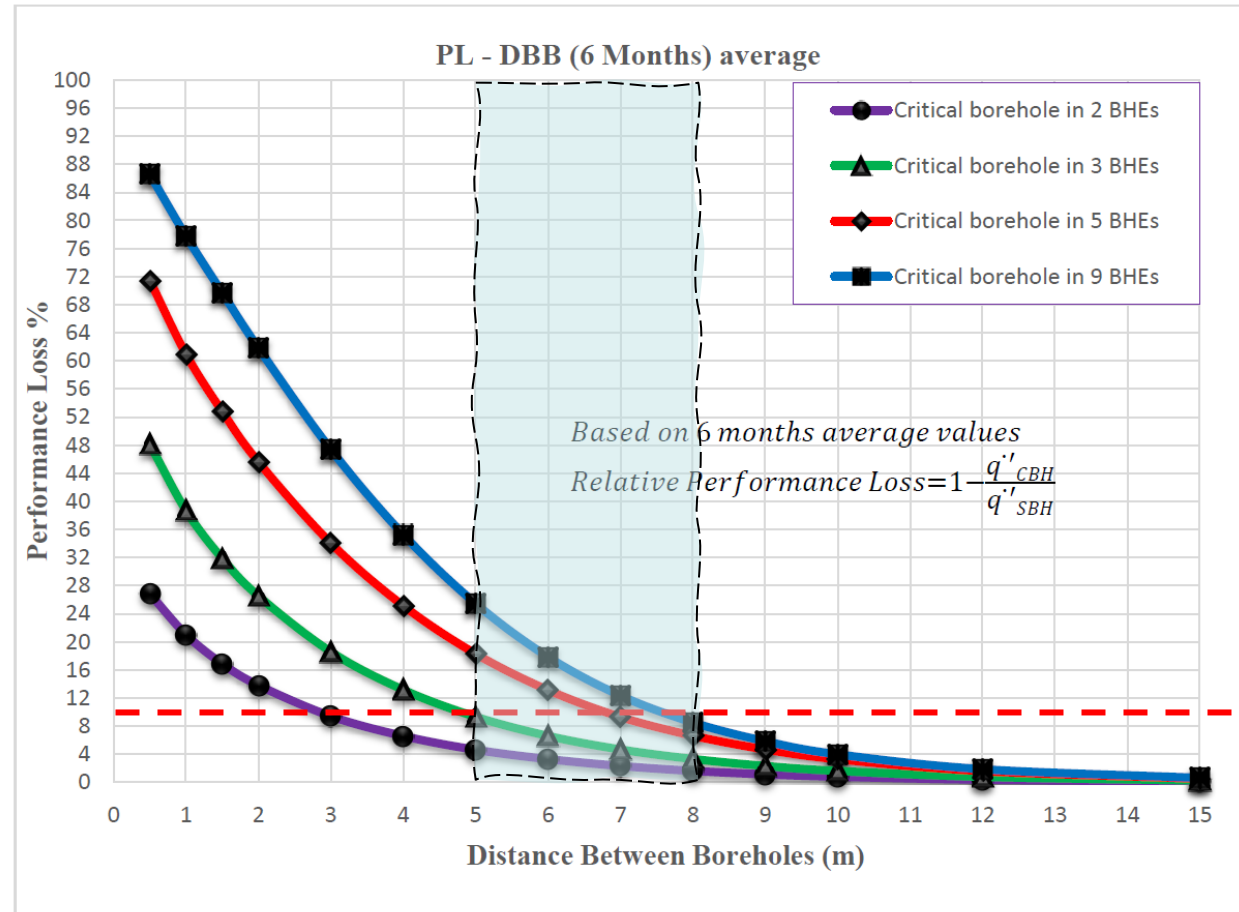
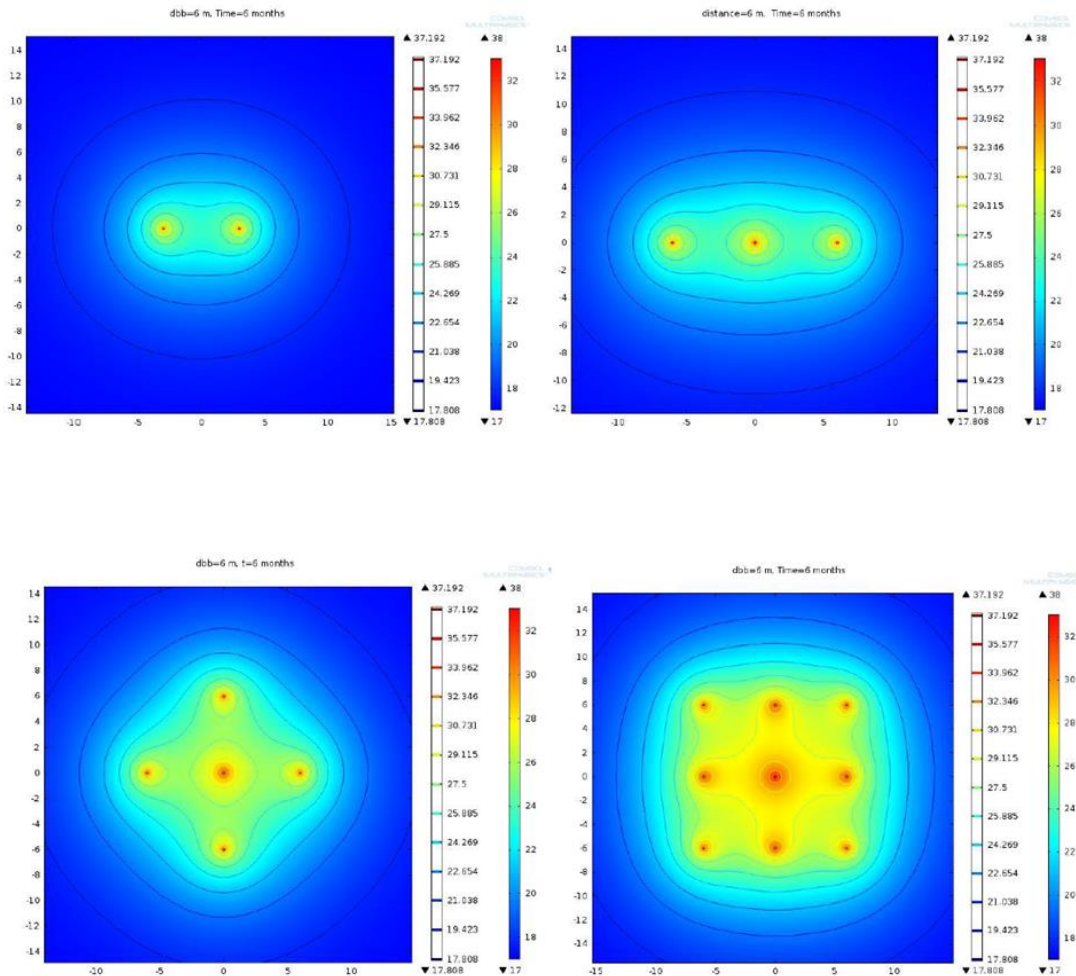
Y. Zhang, X. Yang, J. Liu, B. Liu, F. Tang, H. Nowamooz, *Long-Term Investigation of a Borehole Heat Exchanger (BHE) Array with the Influence of Same Inlet Temperature (SIT) and Same Heat Load (SHL) Boundaries*, Advances in Civil Engineering Volume 2023, Article ID 3232062, <https://doi.org/10.1155/2023/3232062>





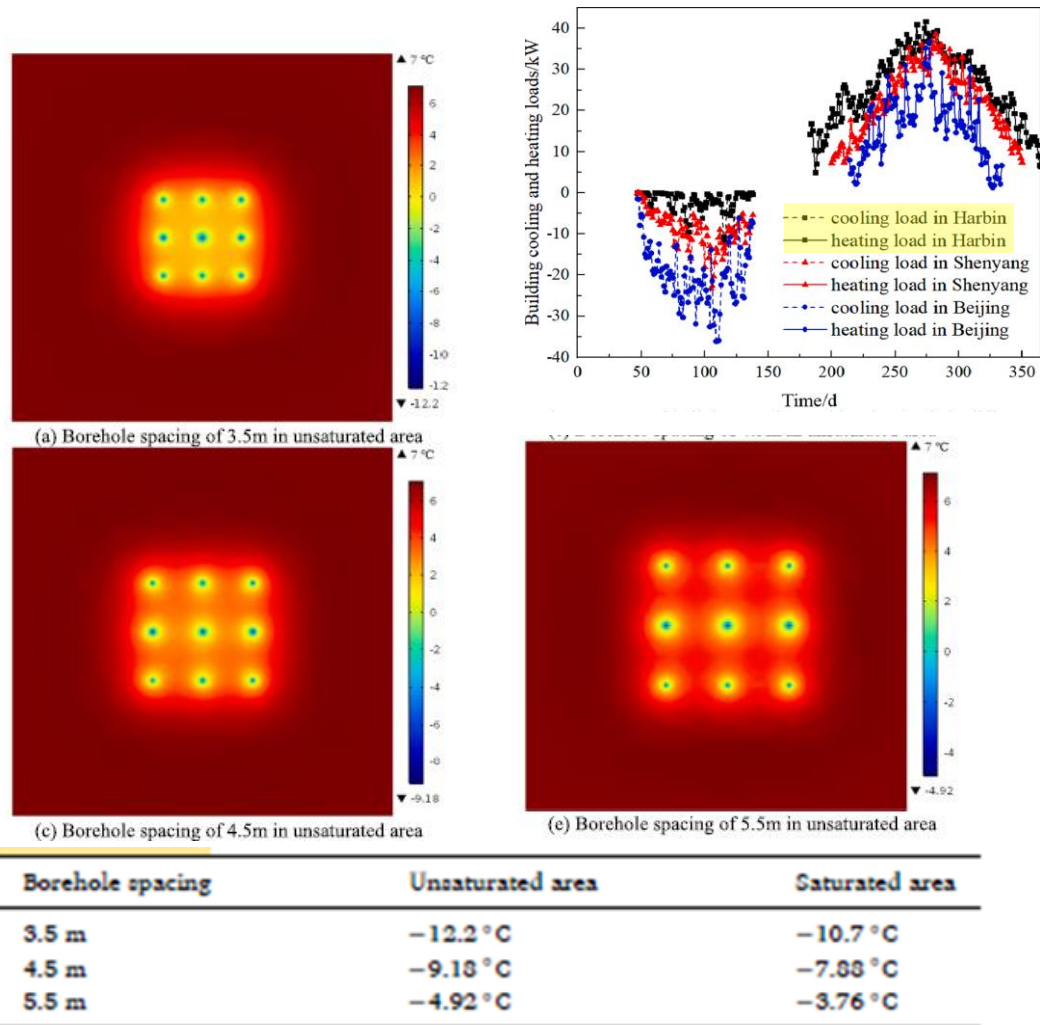
DISTANZA OTTIMALE TRA SONDE

Effetto della configurazione geometria e distanza tra fori



A. Gultekin, M. Aydın, A. Sisman, *Determination of Optimal Distance Between Boreholes*, Proceedings of Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 24-26, 2014

Effetto carichi non bilanciati ed effetto sulla distanza tra sonde



H. Zhang, Z. Han, X. Li, M. Ji , X. Zhang, G. Li, L. Yang, *Study on the influence of borehole spacing considering groundwater flow and freezing factors on the annual performance of the ground source heat pump*, Applied Thermal Engineering 182 (2021) 116042

- **L'aumento della spaziatura** dei fori di sondaggio può ridurre significativamente la **distanza** di penetrazione del **raffreddamento** e il **tempo** di raffreddamento del terreno.

Rispetto a 3.5 m	Disturbo - insaturo	Disturbo - saturo
4.5 m	-0.23 m	-0.19 m
5.5 m	-0.41 m	-0.33 m

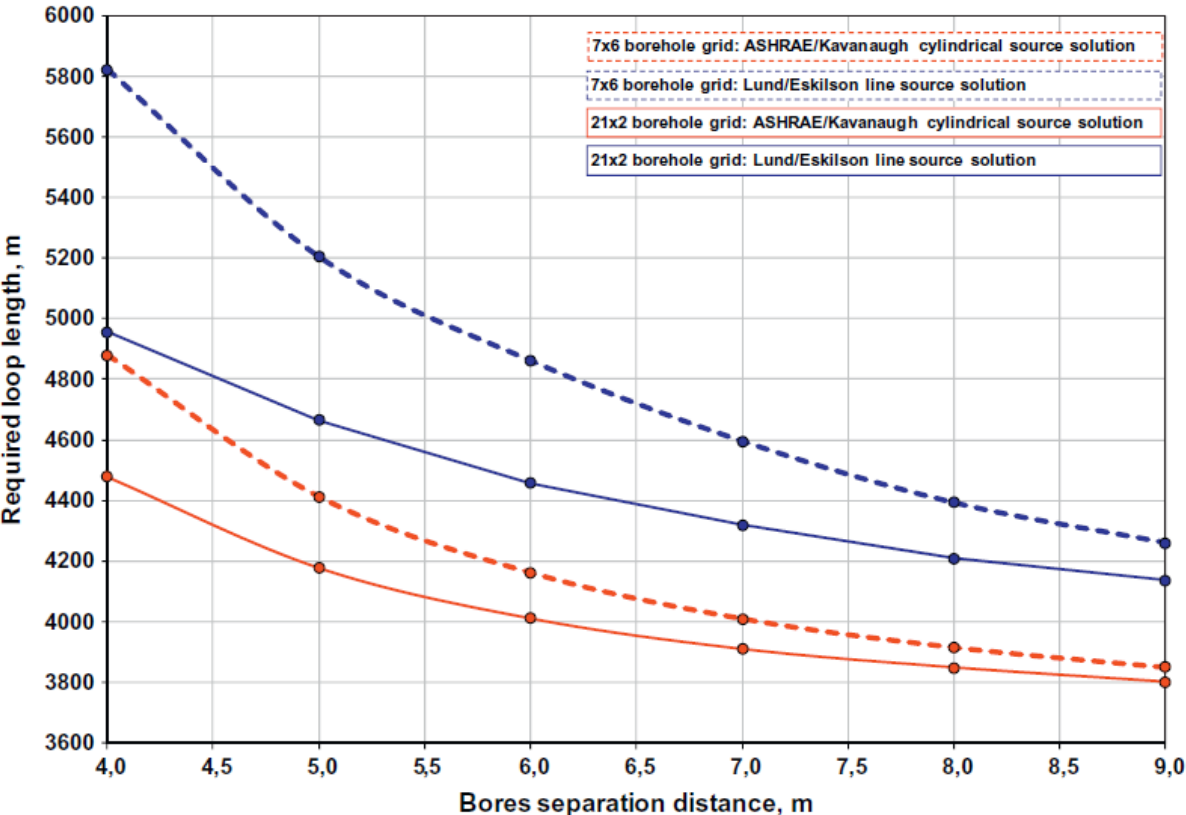
- Durante il funzionamento a **lungo termine** del GSHPs, minore è la spaziatura dei fori di sondaggio, maggiore è la distanza di penetrazione del raffreddamento del terreno.

- **L'aumento della spaziatura** dei fori di trivellazione può **migliorare** efficacemente le **prestazioni**.

Rispetto a 3.5 m	Raffrescamento	Riscaldamento
4.5 m	1%	6.8%
5.5 m	2.2%	15.4%

Andamento interferenza termiche e metodologie di progettazione

- Le **differenze** tra i due **approcci** di modellazione sono chiaramente evidenti attraverso le discrepanze nella **lunghezza richiesta** del loop del foro di sondaggio.
- La discrepanza è dovuta al fatto che il modello **A/K** utilizza un **modello di interazione dei fori semplicistico**, mentre il modello **L/E** utilizza un **modello più avanzato** per prevedere l'interferenza termica/l'accumulo di calore, che si traduce in valori più elevati di lunghezza del circuito richiesta.



Il modello **A/K** è adatto per **calcoli rapidi** con dati di carico minimi (**dati di picco e annuali**), mentre il modello **L/E** richiede **dati mensili o orari più dettagliati**.

Borehole spacing (m)	A/K		L/E	
	Difference between 7×6 and 21×2 borehole array (m)			
	Change in loop size (%)			
	m	%	m	%
4	400.4	8.2	865.4	14.9
5	234.8	5.3	538.1	10.3
6	151.7	3.6	403.7	8.3
7	101.0	2.5	276.8	6.0
8	67.5	1.7	183.4	4.2
9	49.0	1.3	124.2	2.9

T. Kurevija, D. Vulin, V. Krapec, *Effect of borehole array geometry and thermal interferences on geothermal heat pump system*, Energy Conversion and Management 60 (2012) 134–142 135

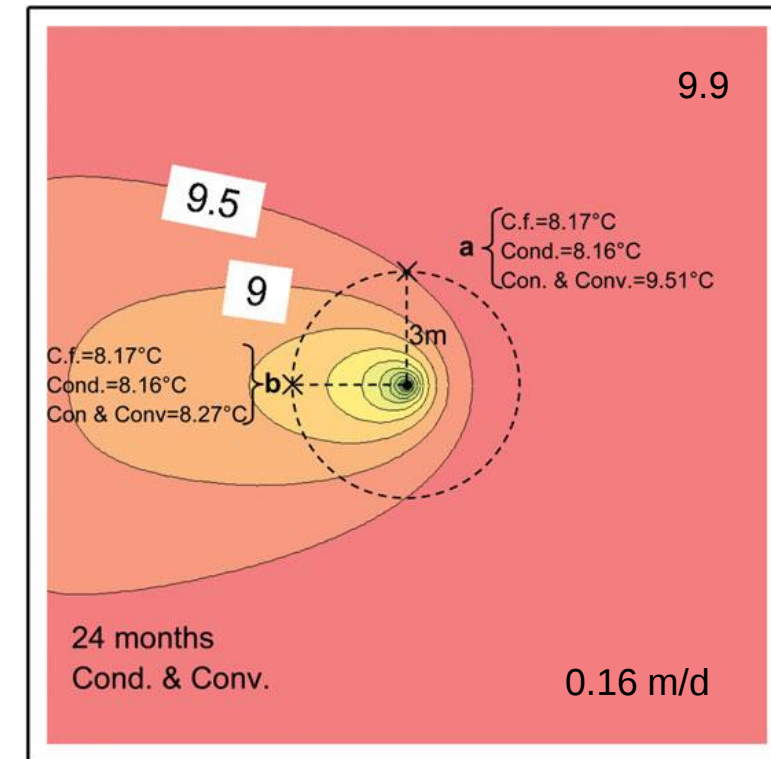
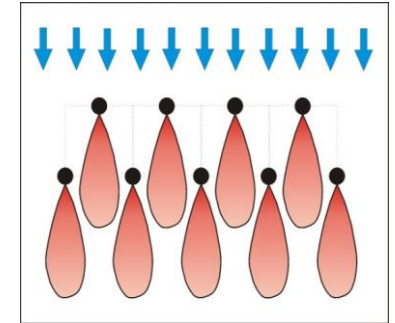
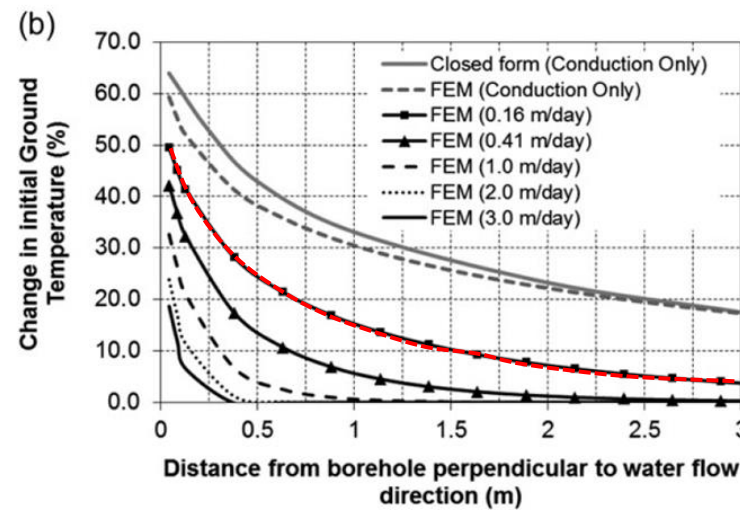
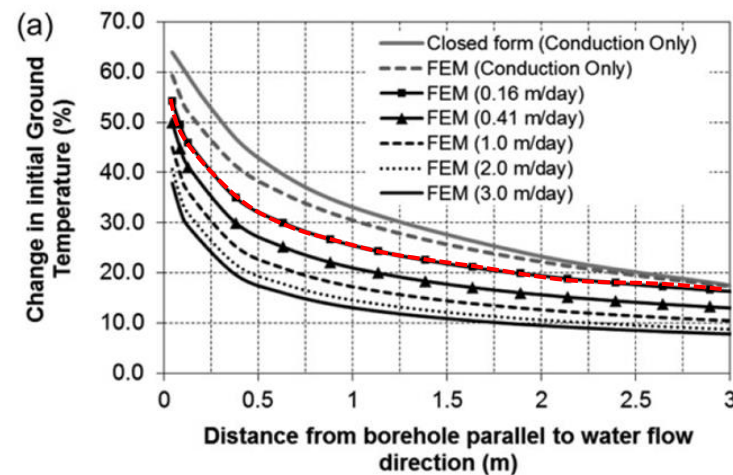


EFFETTO DELLA PRESENZA DI UN ACQUIFERO

Quanto può influenzare la presenza dell'acquifero?

Si sottolinea l'importanza di **considerare** il flusso d'acqua nel **progettare sistemi** di energia geotermica. Si suggerisce di sviluppare ulteriormente i modelli per una comprensione più approfondita.

- **Flusso in falda** di 0,16 m/giorno ha un **impatto significativo** sul regime termico.
- **Necessità** di comprendere le **interazioni** termiche tra **pozzi e sistemi vicini**.
- **Raccomandazione** di **orientare** i pozzi per **ridurre** l'interazione termica.



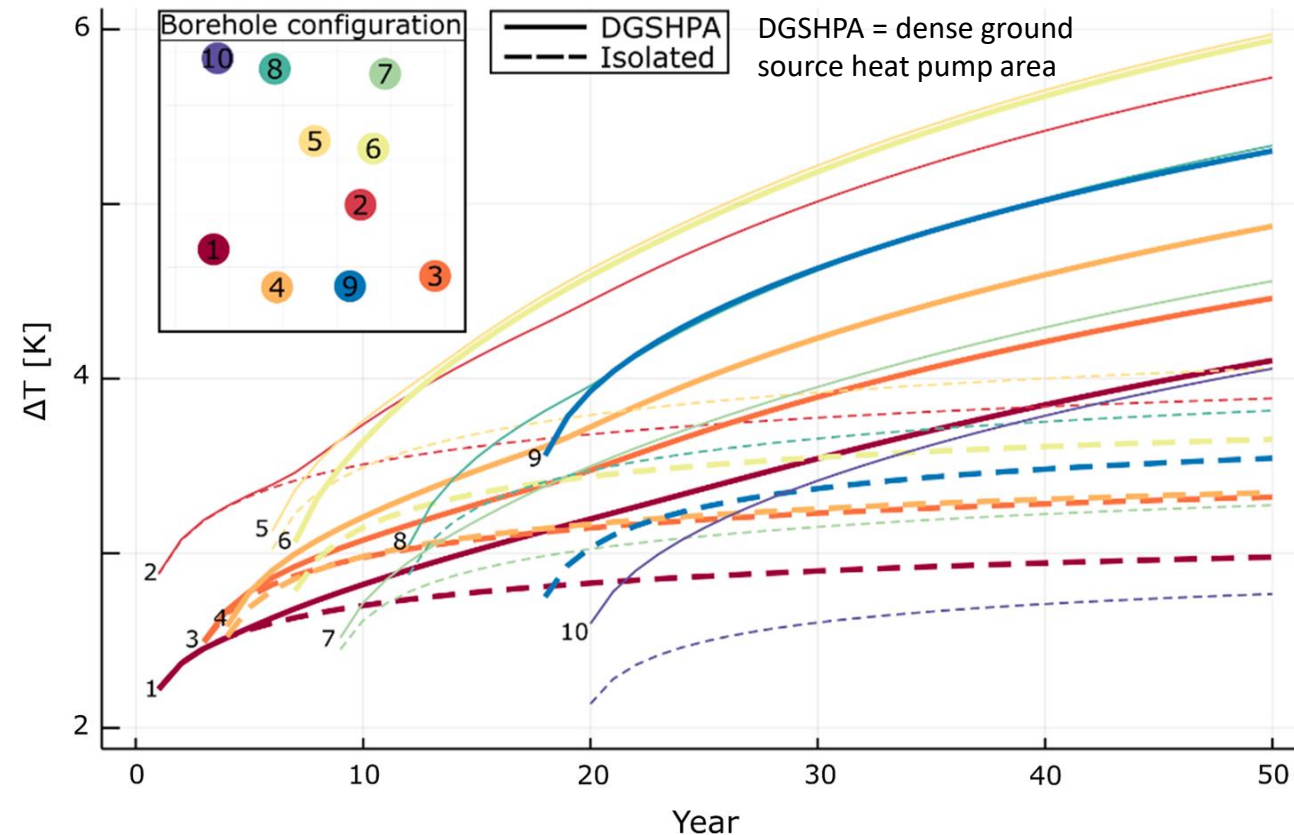


EFFETTI IN AREE DENSAMENTE POPOLATE

Interazione tra campi sonde, quanto è importante?

Attualmente, le **conoscenze** sugli effetti **dell'interazione termica** tra campi sonde sono **scarse** e alcuni approcci consentono di considerare efficacemente tali effetti nella progettazione di questi scambiatori di calore.

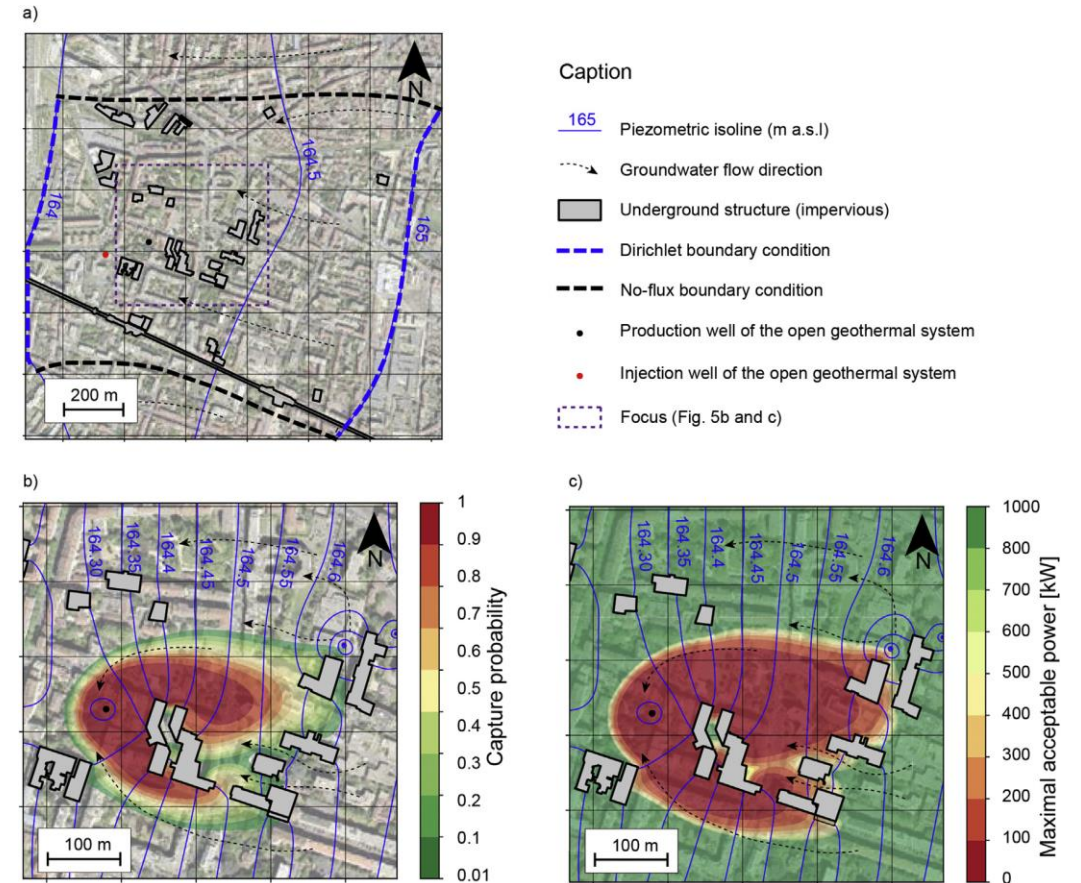
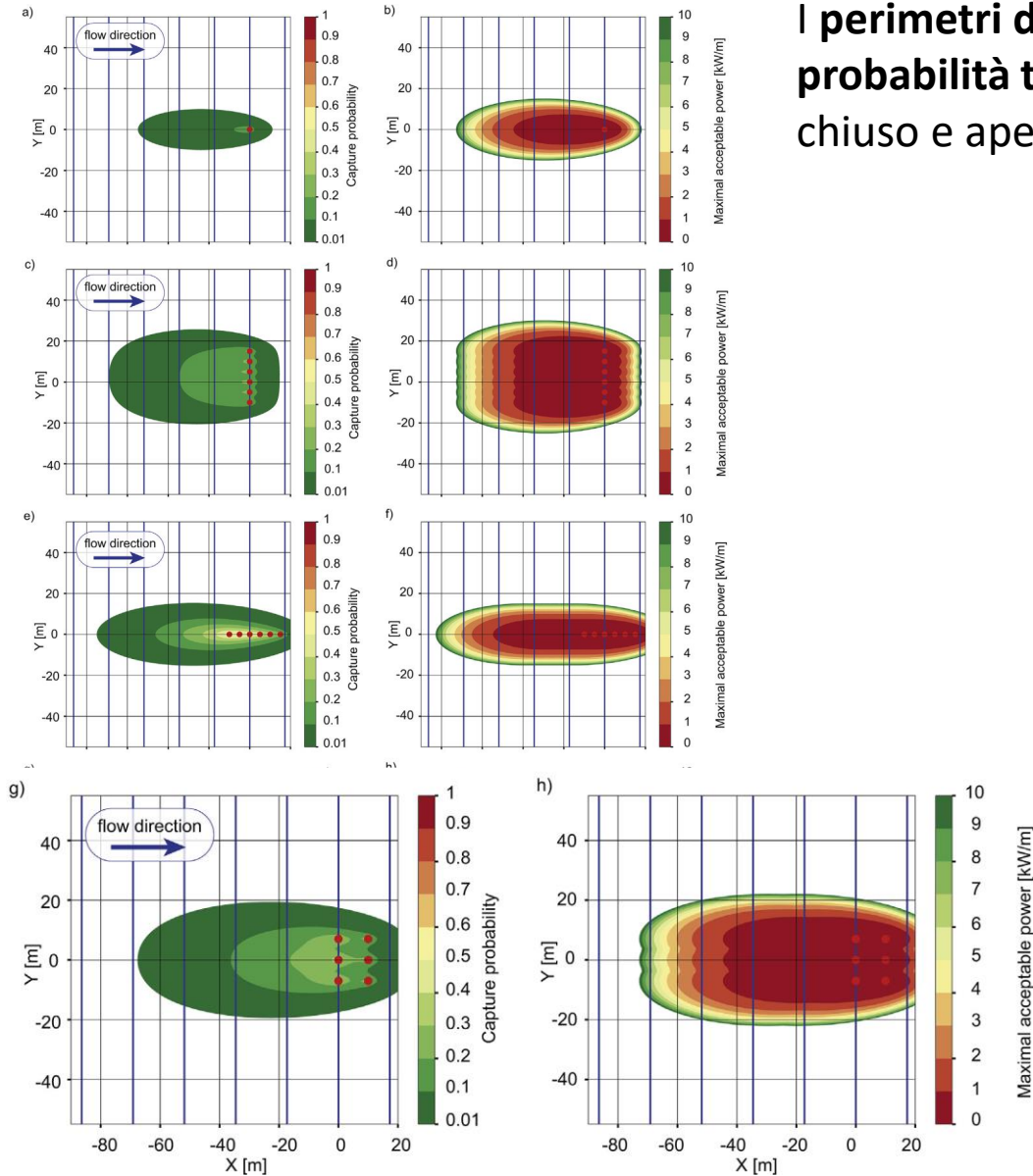
- La metodologia consente di assegnare **carichi termici diversi** a **diverse sonde** geotermiche e impone condizioni al contorno di **temperatura uniforme** su ciascuna **parete** della sonda.
- Il caso di studio mostra un'influenza termica fino a 1,5 K durante il ciclo di vita di una pompa di calore geotermica e fino a 0,8 K durante il primo anno di lavoro. (**Piccole variazioni di temperatura**)
- **L'errore** causato da una sottostima della conducibilità termica è parzialmente **compensato** dall'errore causato dalla conseguente sottostima della diffusività termica. Tuttavia, il ruolo della diffusività termica diminuisce per tempi più lunghi.



M.L. Fascì, A. Lazzarotto, J. Acuna, J. Claesson, *Simulation of thermal influence between independent geothermal boreholes in densely populated areas*, Applied Thermal Engineering 196 (2021) 117241

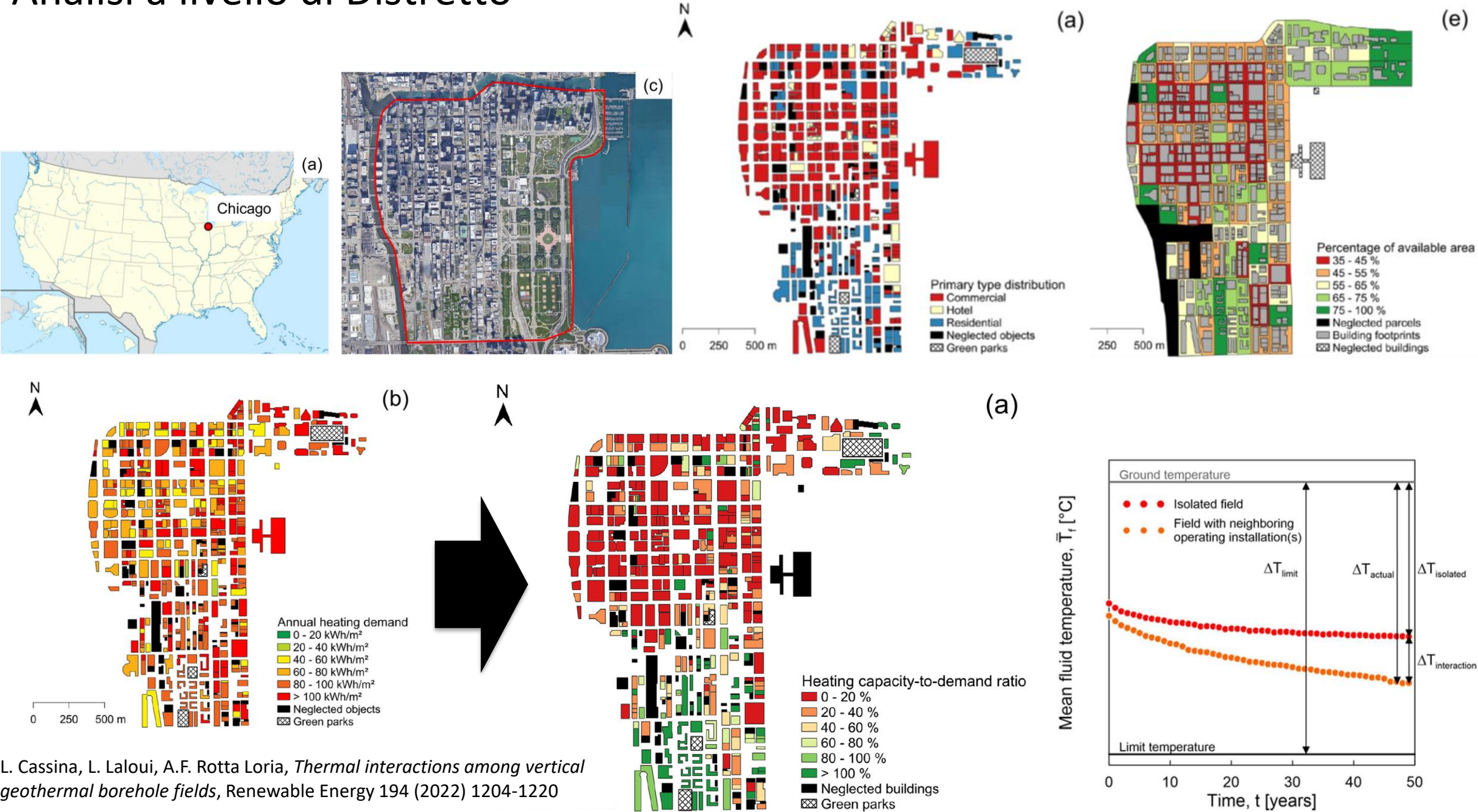
Definizione dei perimetri di protezione termica

I **perimetri di protezione** vengono determinati quantificando la **probabilità termica di cattura** attorno ai sistemi geotermici a circuito chiuso e aperto.



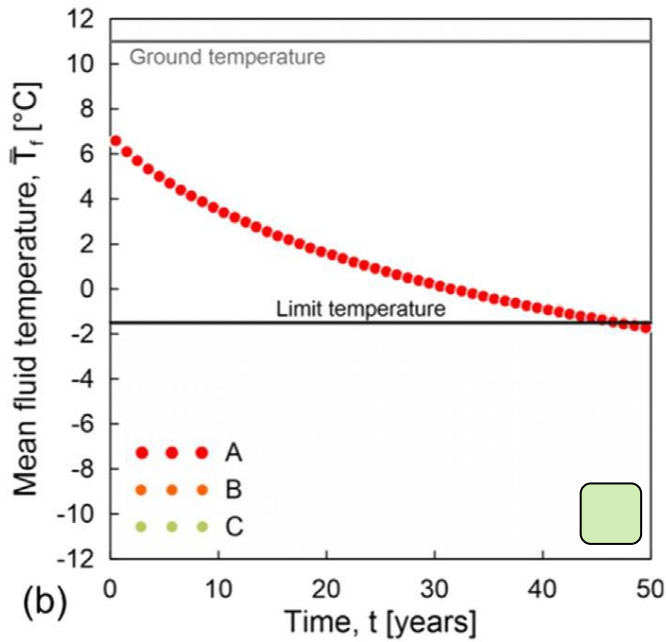
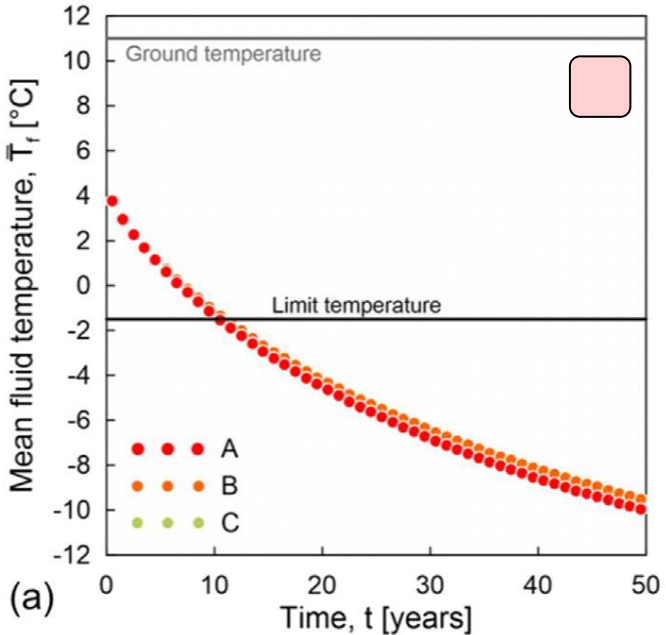
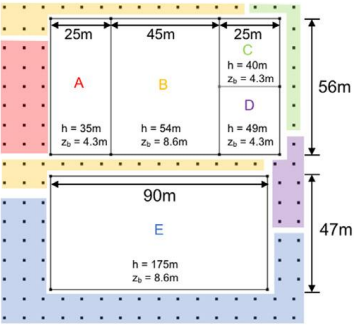
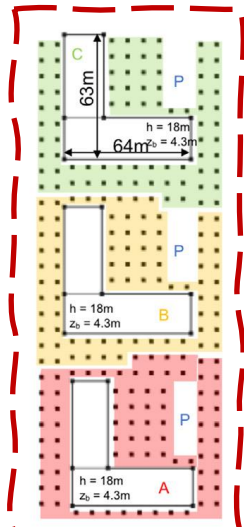
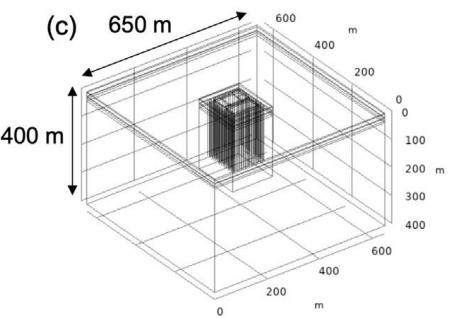
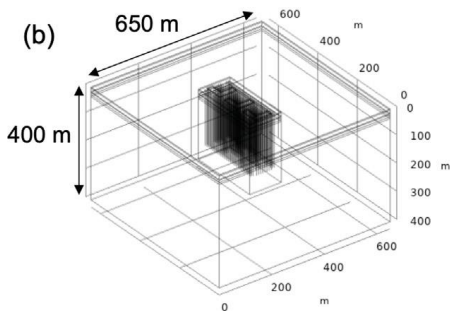
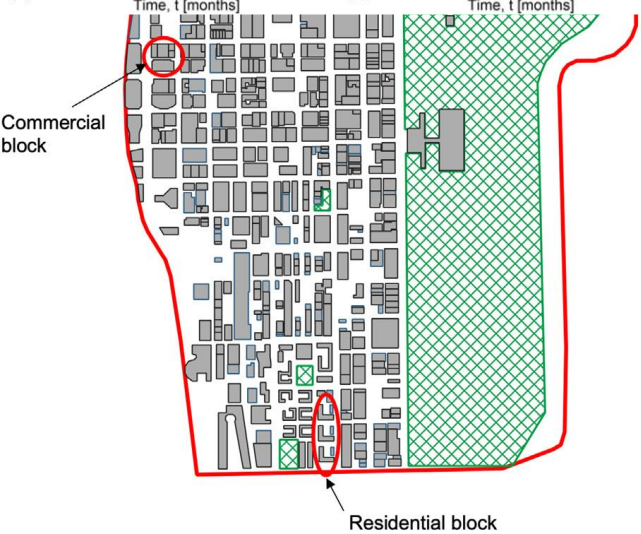
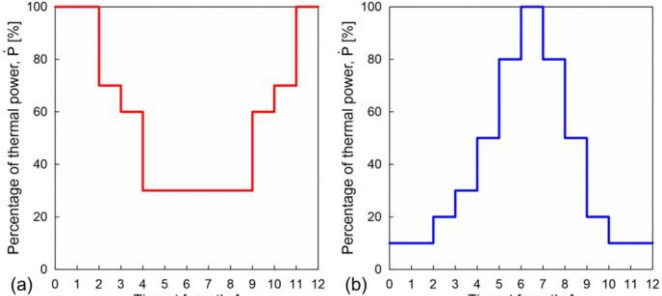
G. Attard, P. Bayer, Y. Rossier, P. Blum, L. Eisenlohr, *A novel concept for managing thermal interference between geothermal systems in cities*, Renewable Energy 145 (2020) 914-924

Analisi a livello di Distretto



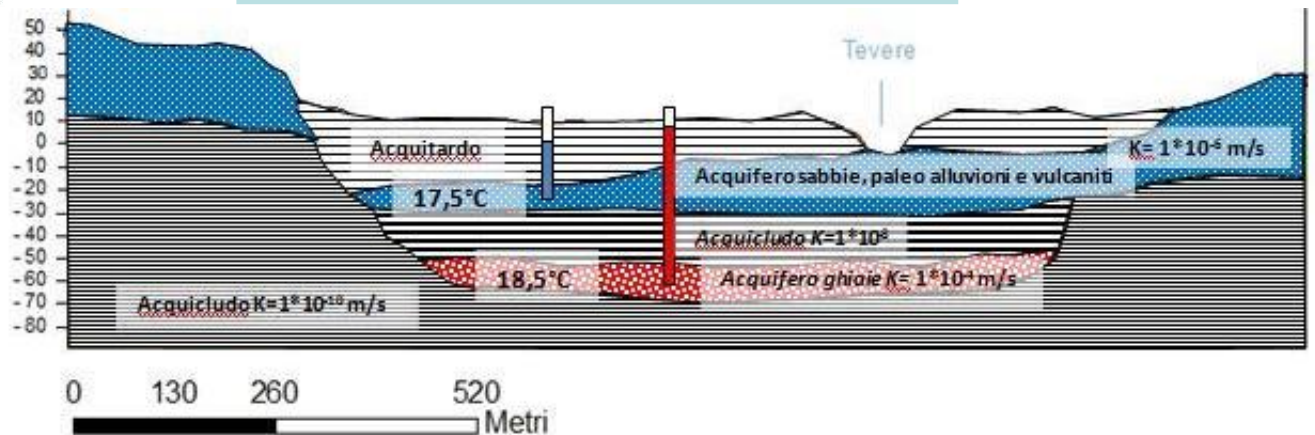
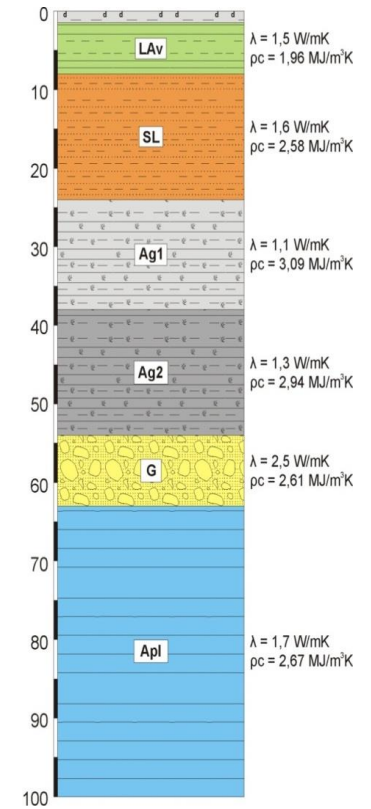
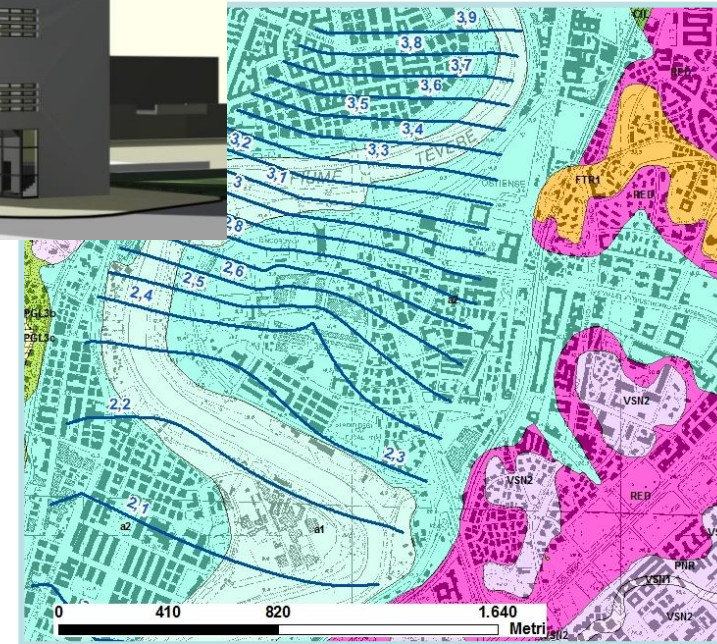
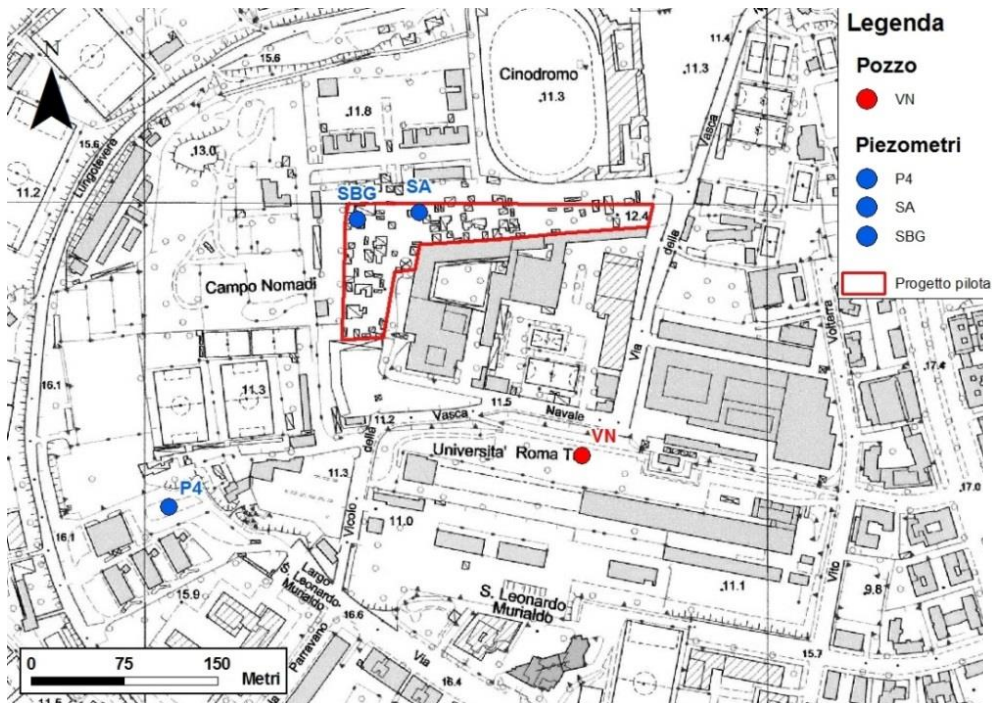
L. Cassina, L. Laloui, A.F. Rotta Loria, *Thermal interactions among vertical geothermal borehole fields*, Renewable Energy 194 (2022) 1204-1220

Esempio per il blocco residenziale



	ΔT_{actual} [°C]	ΔT_{limit} [°C]	Covered demand – Initial scenario		B_Q [%]	Covered demand – Revised scenario	
			Heating [%]	Cooling [%]		Heating [%]	Cooling [%]
Field A	21	12.5	122	146	60	73.2	87.6
Field B	20.5	12.5	95.3	95	61	58.2	57.9
Field C	20.6	12.5	133	159	61	81.1	97

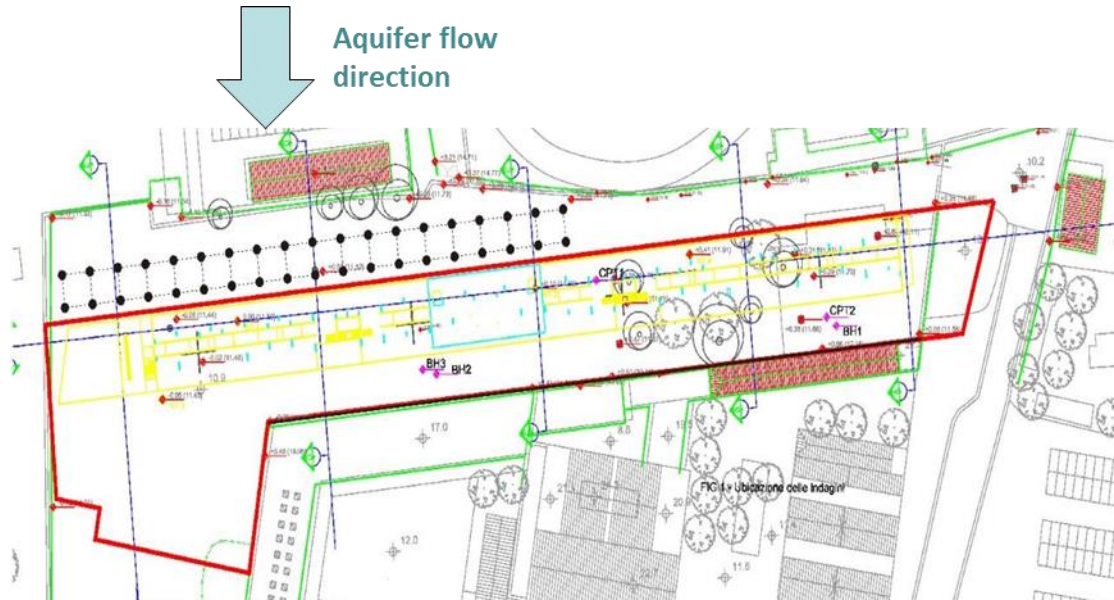
Casa dello studente di ROMA3



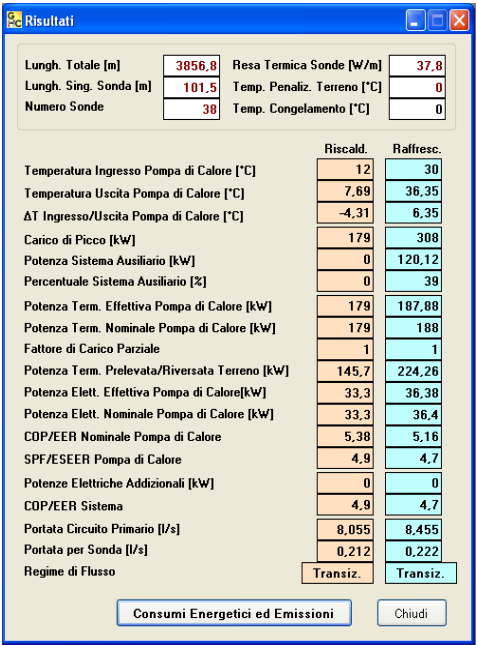
Progettazione campo sonde

Utilizzati due software per ottenere output differenti:

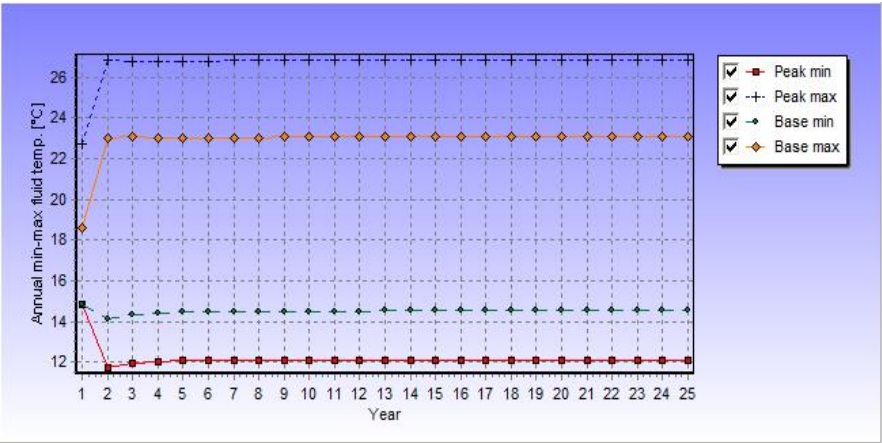
- Metodologia analitica ASHRAE (A/K):
 - dimensionamento della lunghezza e configurazione del campo sonde.
- Metodologia numerico-analitica di Eskilson (L/E):
 - Variazione della temperatura media del fluido termovettore a lungo termine (25 anni).
- L'utilizzo combinato dei due software ha permesso di effettuare una valutazione completa degli aspetti connessi alla progettazione dei campi sonde



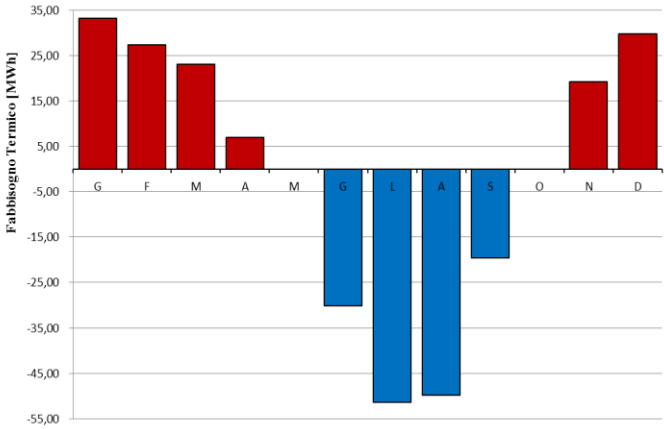
A/K



L/E



Unità abitativa	Potenza di picco[kW]	
Residenze	Raffrescamento	Riscaldamento
	308	178



Concludendo

- Si può ritenere soddisfacente **definire** una **distanza minima** tra sonde ma anche tra campi sonde ma uno **studio numerico sito specifico** contribuisce a definire con maggior accuratezza la distanza di influenza e la possibile interazione.
- Operare un **bilanciamento** dei **carichi termici** in riscaldamento e raffrescamento consente di evitare derive termiche nel terreno.
- Si evidenzia come una **metodologia** di **progettazione** corretta dell'impianto sia **fondamentale** per garantire il rispetto delle distanze di mutua influenza. Anche **l'impiego** di **differenti metodologie** aiuta a migliorare la progettazione