

- i) Metodi di gestione quantitativa delle
acque sotterranee come risorsa idrica ed energetica**
- ii) Integrazione di banche dati esistenti e
modellazione a scala locale/regionale di impianti geotermici**

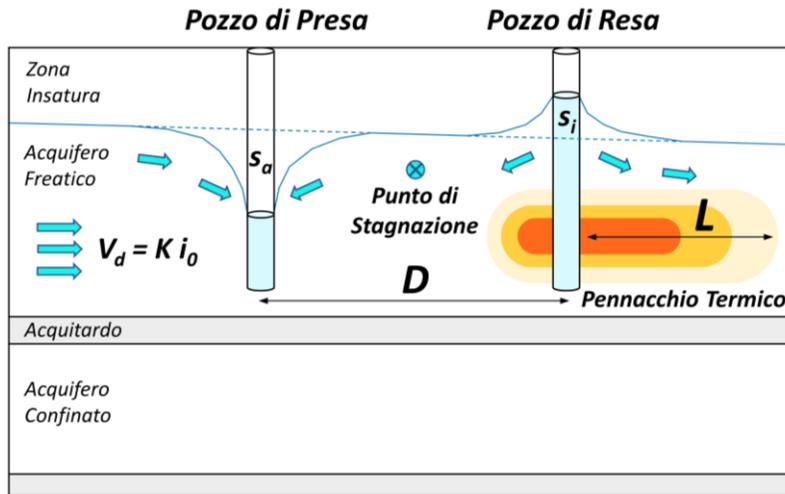
GRUPPO IDROGEO-TERMICO MUSA

Giovanni Crosta, Alberto Previati,

Riccardo Castellanza, Paolo Frattini, Alberto Presta Ascitutto, Valerio Silvestri

Università degli Studi di Milano-Bicocca

Dip. Scienze dell'Ambiente e della Terra(DISAT)

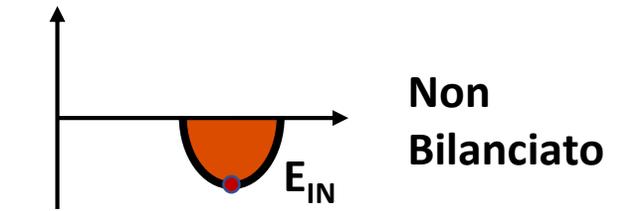
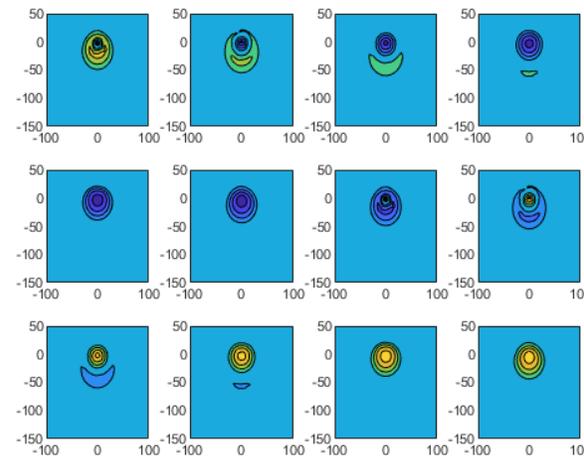
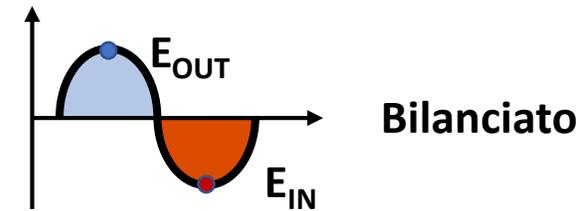
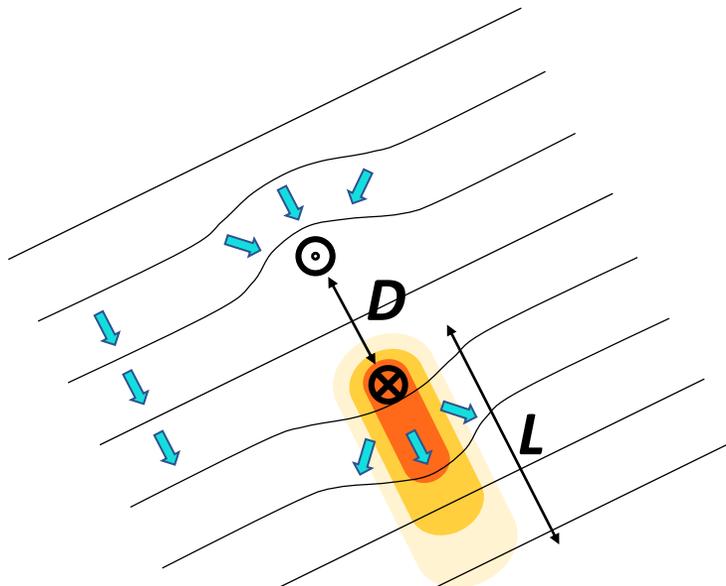


Interferenza Idraulica

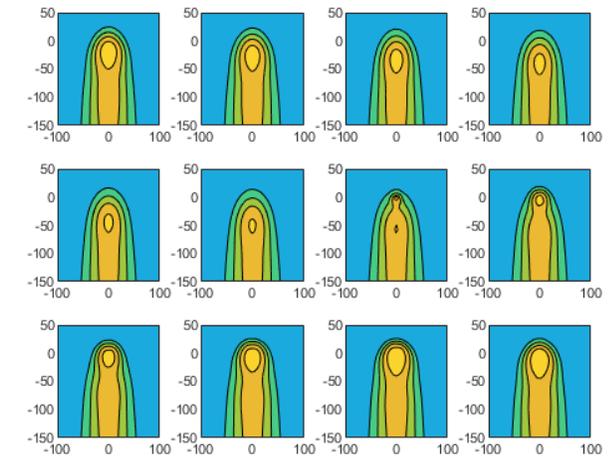
- Variazione piezometrica
- Deviazione flusso idrico e cattura idraulica
- Bilancio idrico

Interferenza Termica

- Volume emunto riscaldamento/raffrescamento
- Bilancio energetico del sistema e deriva termica a lungo termine

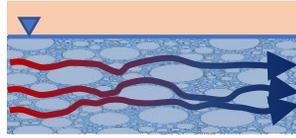


Lunghezza Plume

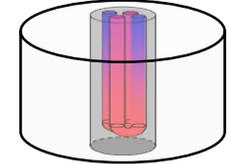




Acque Superficiali



Acque Sotterranee



Calore Sotterraneo

**Bilancio
Idraulico/Idrico**

**Bilancio
Idrogeologico**

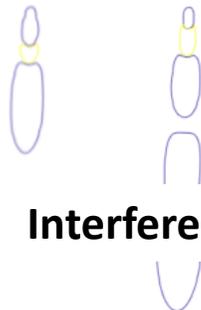
**Bilancio
Energetico**

**Analisi quantitative tramite sviluppo
di modelli di calcolo a scala urbana**

Modello Analitico

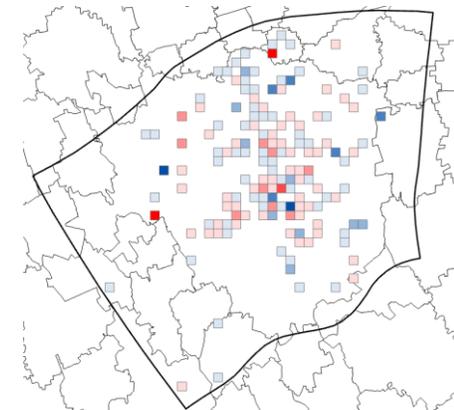
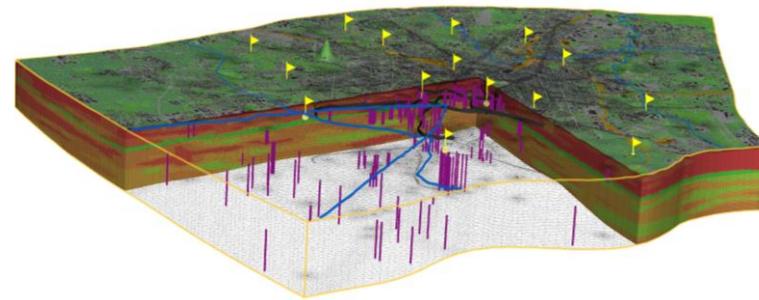
$$\Delta T(x, y, t) = \frac{Q_{inj} \Delta T_{inj}}{4nbv_a \sqrt{\pi \alpha_T}} \exp\left(\frac{x-r'}{2\alpha_L}\right) \frac{1}{\sqrt{r'}} \operatorname{erfc}\left(\frac{r' - v_a t/R}{2\sqrt{v_a \alpha_L t/R}}\right)$$

5 Anni 10 Anni



- Interferenze termiche

Modello numerico



- Interferenze termiche e idrauliche
- Bilancio idrico ed energetico

Database SIPIUI

(Regione Lombardia)

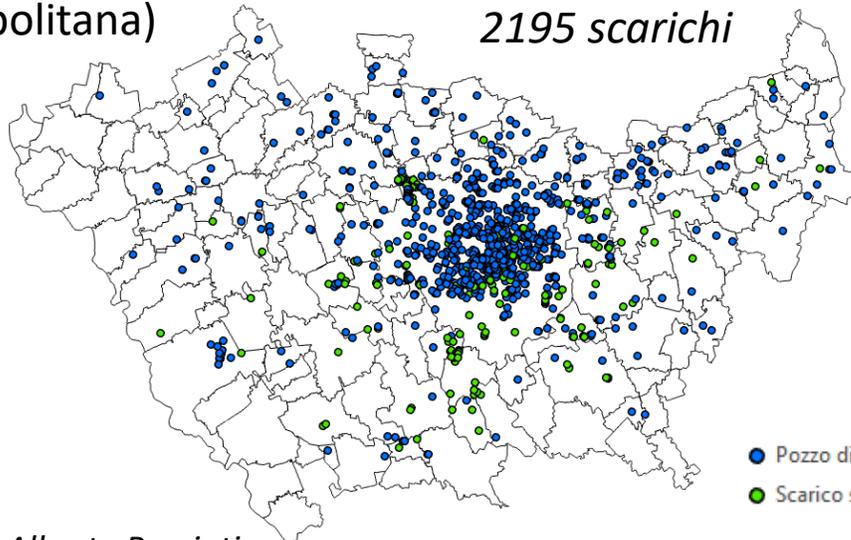
4063 pozzi in totale



Catasto Scarichi

(Città Metropolitana)

2195 scarichi



● Pozzo di resa
● Scarico superficiale

Dati attualmente raccolti e organizzati in database:

- Cod. Pratica
- Coordinate pozzi (presa/resa)
- Portata massima
- Resa in reticolo superficiale
- Volume emunto ANNUALE

Considerano la risorsa solo dal punto di vista IDRICO...

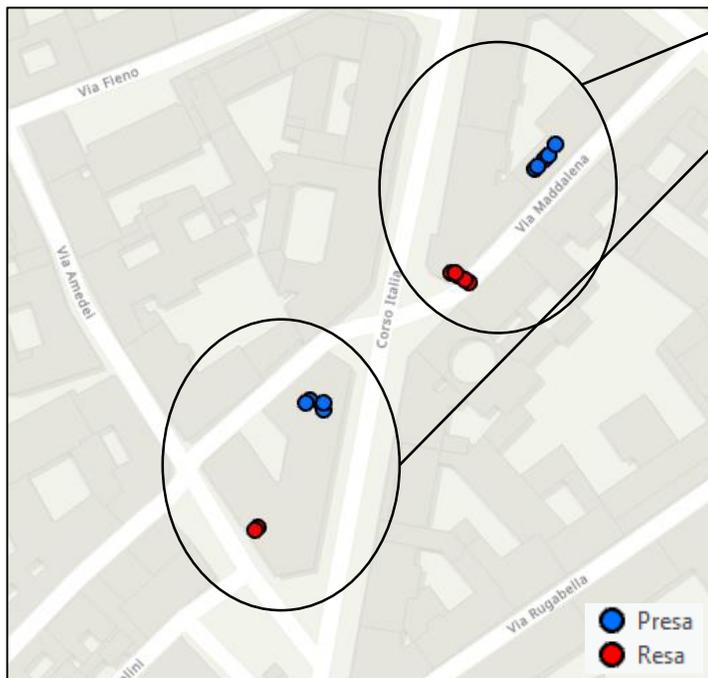


Dati necessari per una gestione IDRICA ed ENERGETICA

- Volume emunto H/C
- Fabbisogno energetico
- Potenza termica
- Salto termico
- Lunghezza pennacchio

RISCALDAMENTO
RAFFRESCAMENTO

(dato stagionale o mensile)



SCHEDA TECNICA IMPIANTO GEOTERMICO

Codice pratica	
Codice impianto	(collegamento con il database pozzi)
Data attivazione impianto	
Codice recettore	

Parametro	Tipo/Periodo	Unità di misura	Dato
Volumetria		m ³	
Numero pozzi	Presa	-	
	Resa		
ΔT	Invernale	(°C)	
	Estivo		
Potenza termica impianto	Invernale	kW	
	Estivo		
Potenza elettrica assorbita	Invernale	kW	
	Estivo		
Portata massima	Invernale	l/s	
	Estivo		
Spessore acquifero		m	
Permeabilità		m/s	
Gradiente Idraulico		-	
Lunghezza pennacchio (isoterma +/- 1°C)		m	

	Fabb. Energetico (kWh)			Vol. Out (m ³)	Vol. In ⁽¹⁾ (m ³)	ΔT (°C)
	Risc.	Raff.	ACS			
Gen						
Feb						
Mar						
Apr						
Mag						
Giu						
Lug						
Ago						
Set						
Ott						
Nov						
Dic						
Totale ⁽²⁾						

⁽¹⁾ Se l'impianto non prevede restituzione in falda per alcuni mesi o per l'intero periodo indicare 0
⁽²⁾ Se non è prevista progettazione mensile dell'impianto indicare il totale annuo

FAC-SIMILE

Proposta di scheda per una raccolta dati robusta sulle caratteristiche di nuovi impianti geotermici in richiesta di concessione:

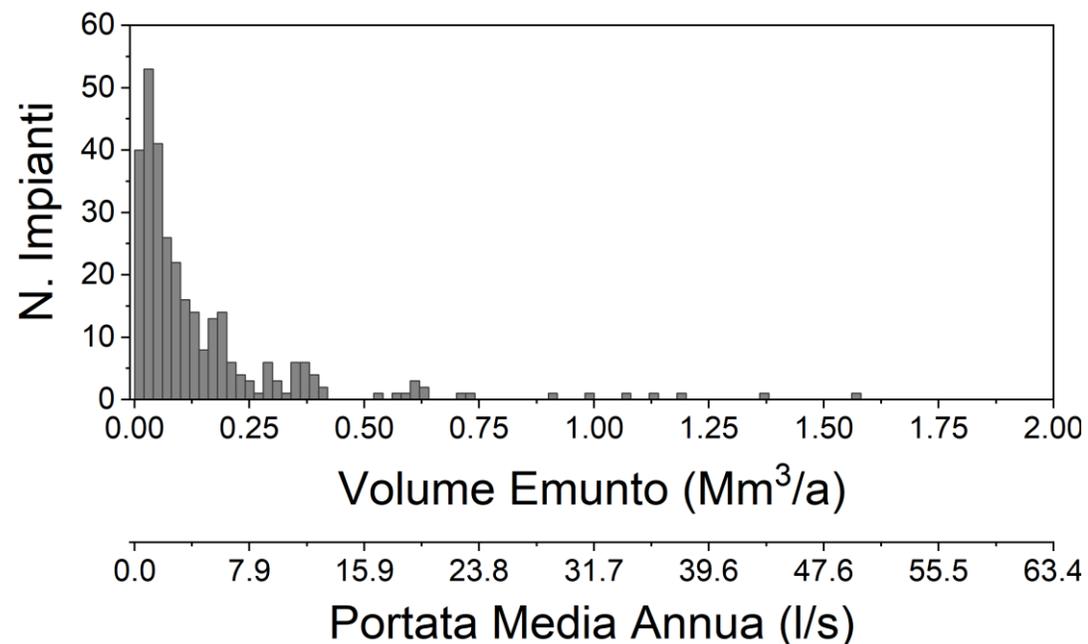
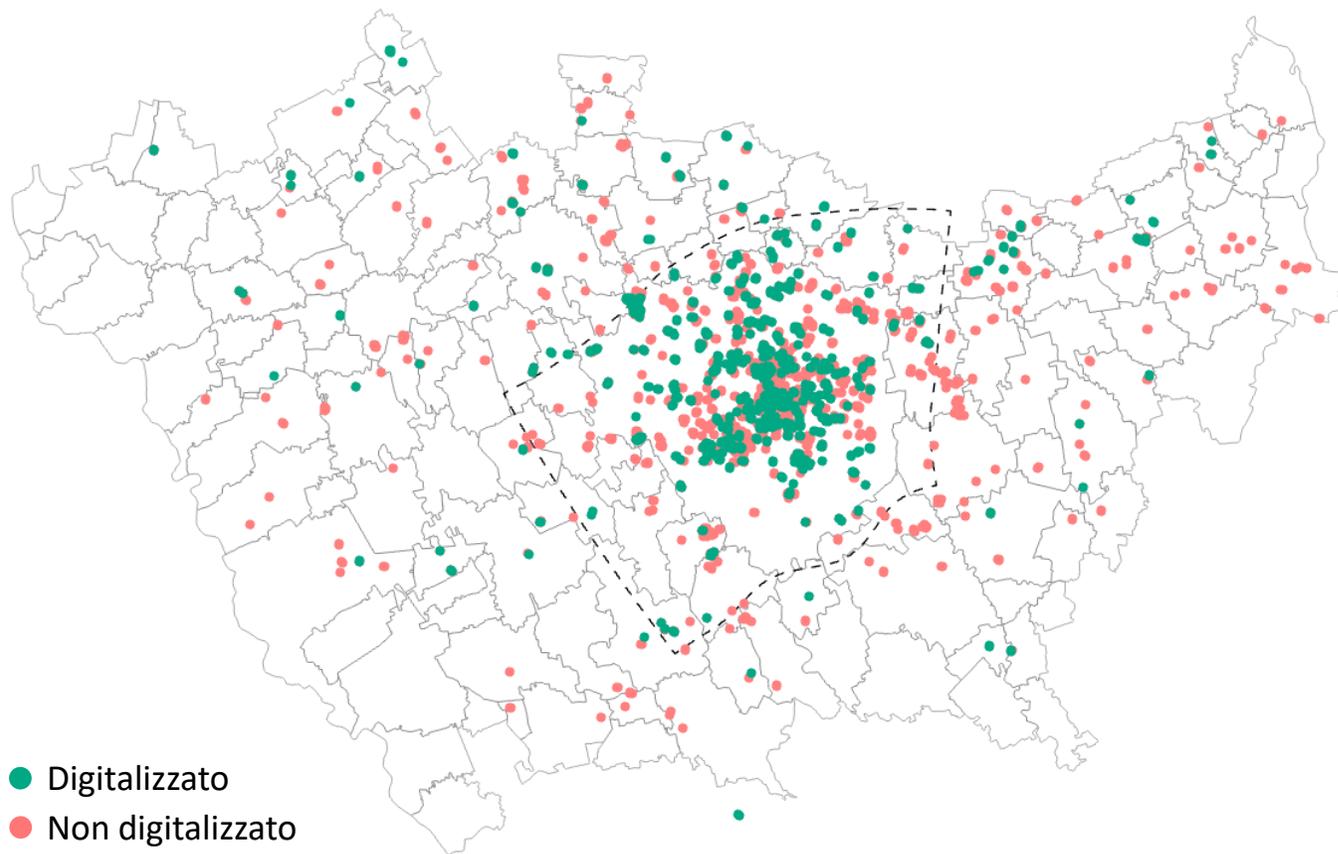
- **Condivisibile** tramite **webgis** in supporto ai professionisti pianificazione/modellazione di nuovi impianti
- Utile per **analisi quantitative** sullo stato di sfruttamento idrico/energetico della risorsa

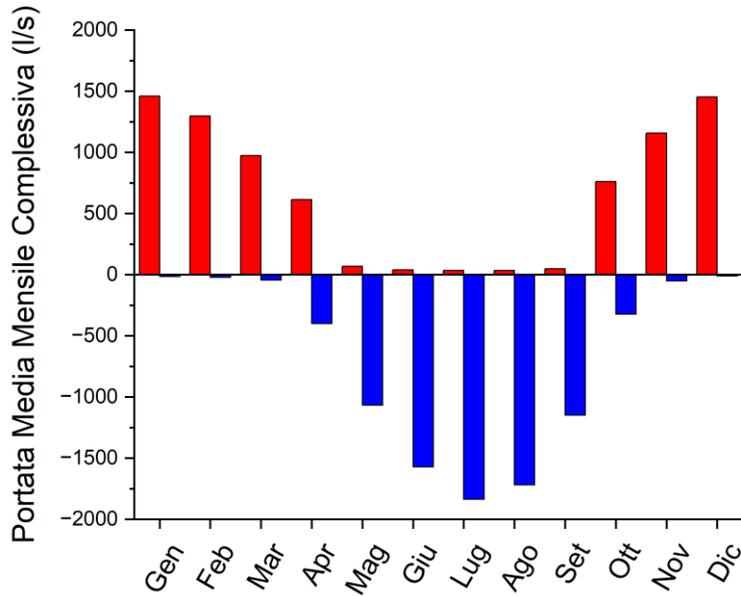
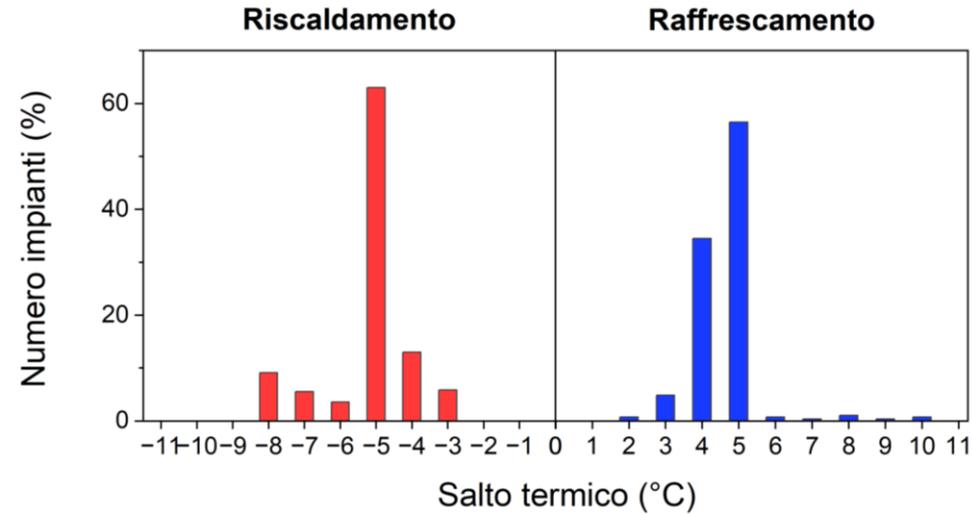
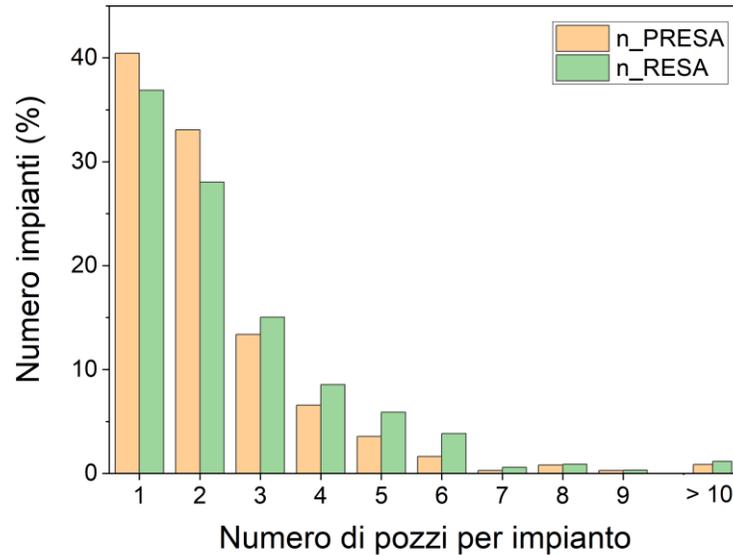
Digitalizzazione dati impianti geotermici già concessi per:
Analisi stato di fatto

890 Concessioni **435 Digitalizzate**
4063 Pozzi **1682 Digitalizzati**

febbraio 2023

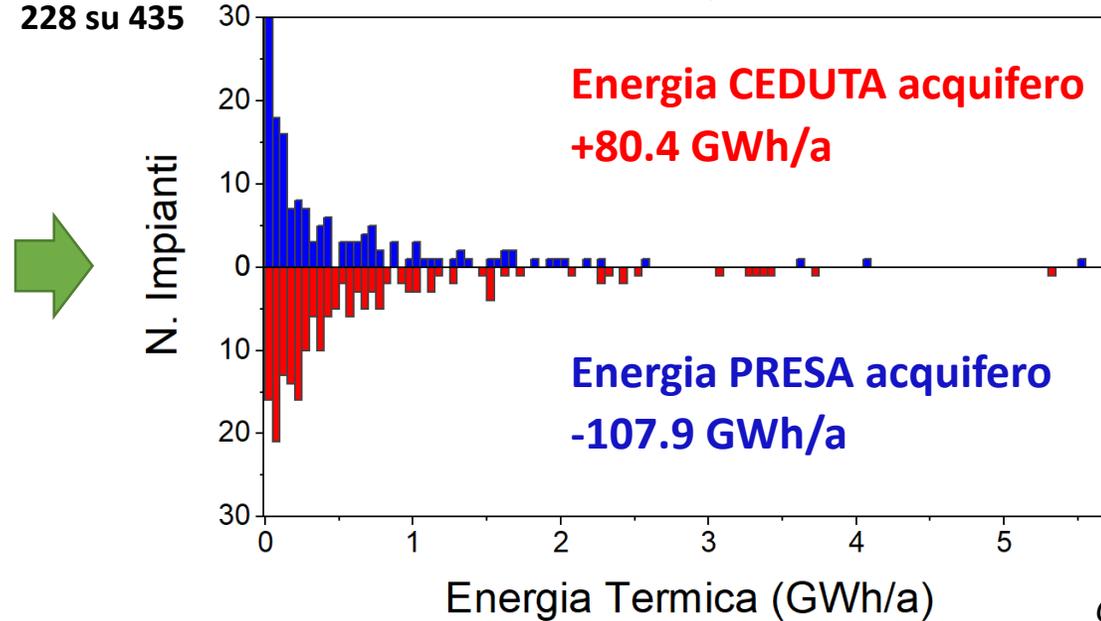
- Coordinate pozzi
- Portata massima
- Resa in reticolo superficiale
- Volume emunto **ANNUALE**
- Volume emunto **H/C**
- Fabbisogno energetico **H/C**
- Potenza termica **H/C**
- Salto termico **H/C**





Dato parziale derivato dalle concessioni digitalizzate nel dominio di modellazione
228 su 435

$$E = V * \rho c_w * \Delta T$$

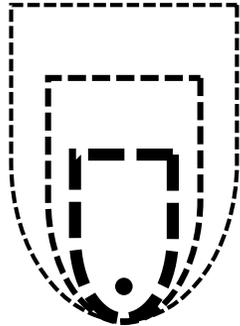


Raffrescamento

Riscaldamento

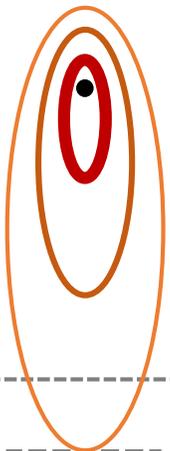
Variable nel tempo
Variable nello spazio

Tipologia di interferenza



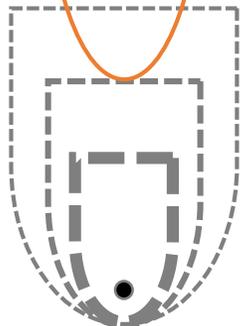
a) Zona di cattura del pozzo di presa

Impianti esistenti possono impattare su nuove realizzazioni



b) Zona di disturbo termico del pozzo di resa

Nuove realizzazioni possono impattare su impianti esistenti



Necessità di analisi quantitativa degli effetti cumulati degli impianti geotermici (attivi e previsti) per cui si rendono **necessari**:

- Dati di funzionamento degli **impianti** (progetto/monitoraggio)
- **Modelli** in grado di stimare l'evoluzione termica della risorsa

Possibili output divulgabili in forma di webgis e aggiornabili in continuo:

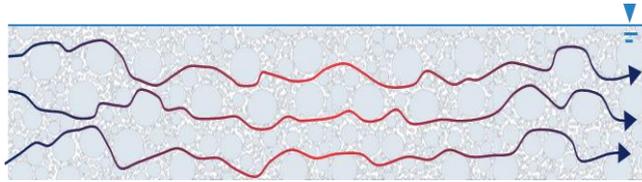
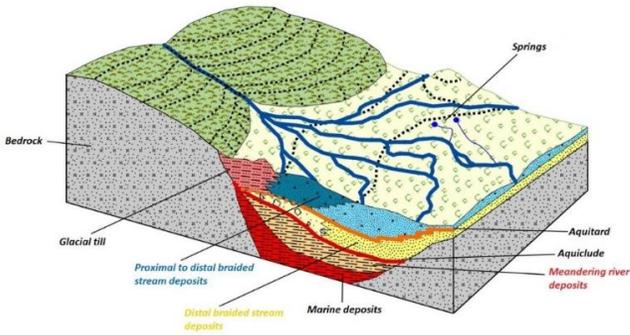
- Carta dei pennacchi termici
- Carta delle zone di cattura
- Carta della densità di sfruttamento della risorsa

Osservazione realtà

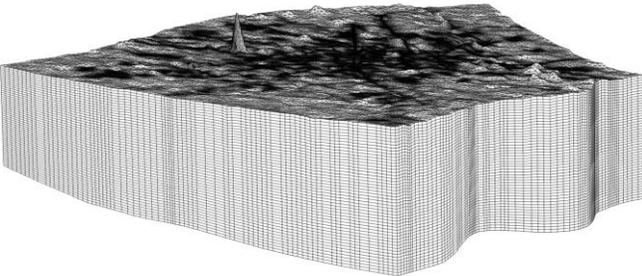
Teoria fisica

Previsione numerica

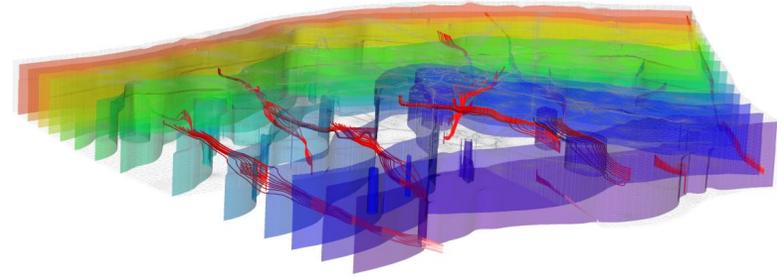
Geologia sottosuolo



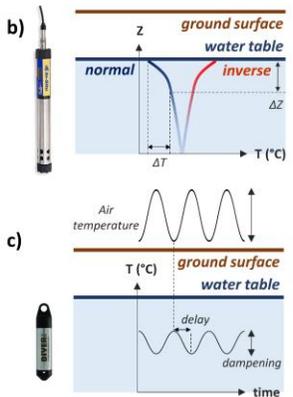
andamento accoppiato
fluido/calore in mezzi porosi nello
spazio/tempo



Carico idraulico $h(x,y,z,t)$



Monitoraggio falda



Moto di falda

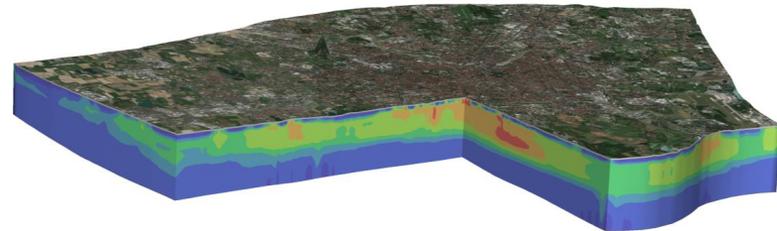
$$-\nabla \cdot (-K \nabla h) + w = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Trasporto di calore

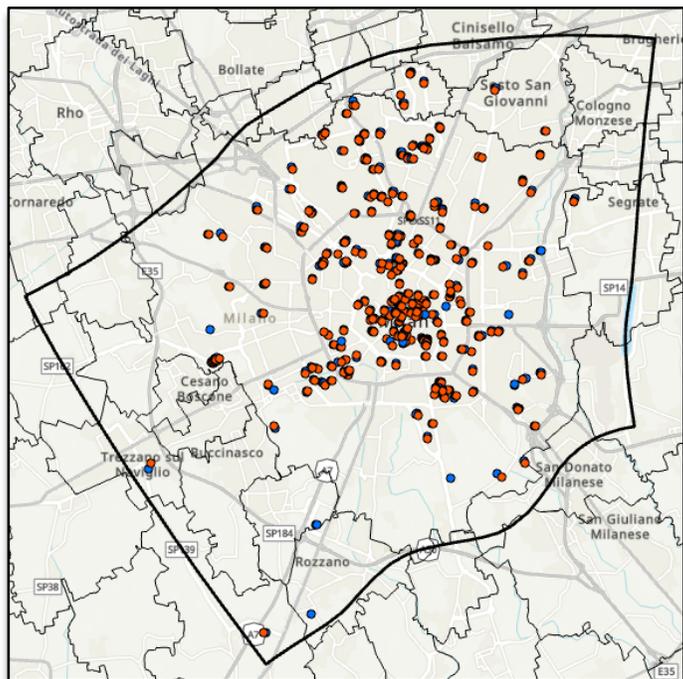
$$q \rho c_{fluid} \cdot \nabla T - \lambda_{bulk} \cdot \nabla^2 T + s = \rho c_{bulk} \frac{\partial T}{\partial t}$$

↓ ↓
Advezione **Conduzione**

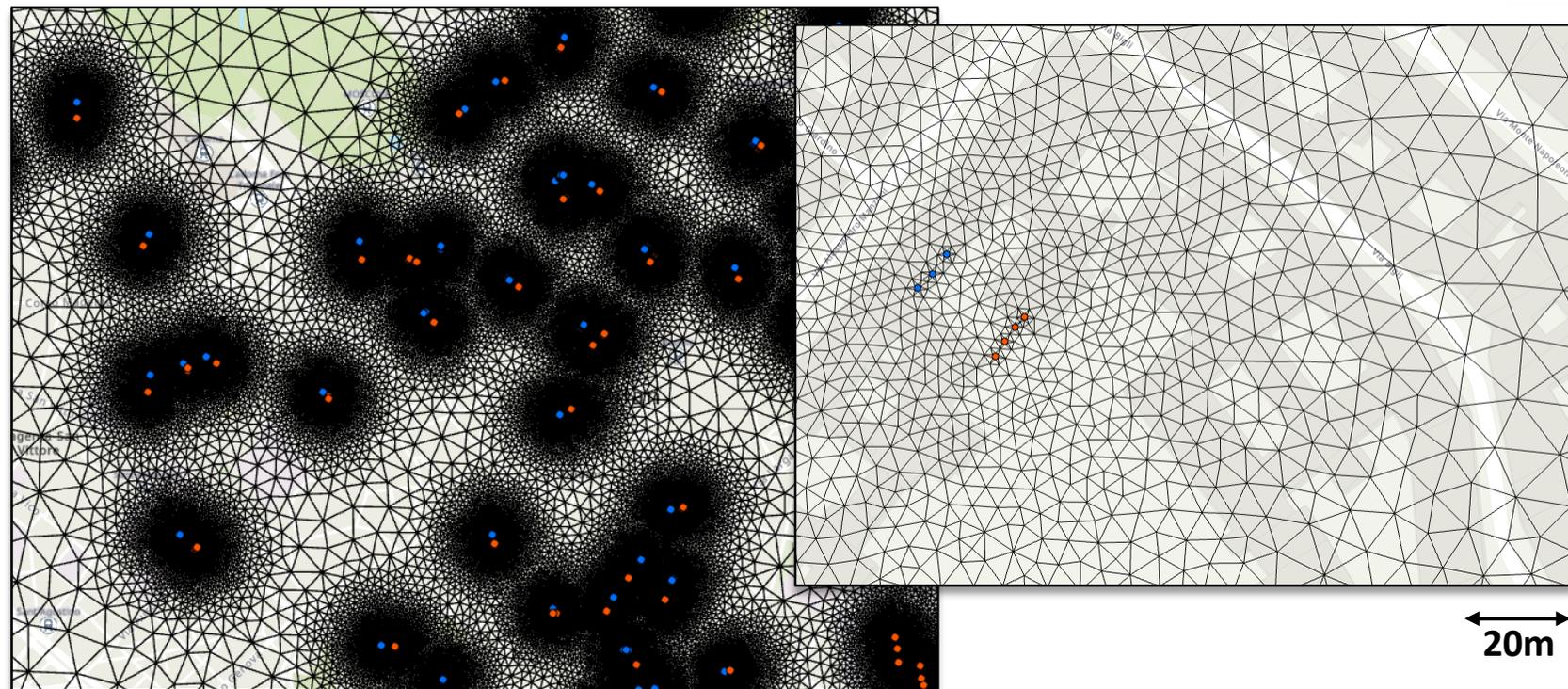
Temperatura $T(x,y,z,t)$



Modello numerico realizzato nell'ambito di questo progetto



Dominio: 15x15km 1M Elementi ca.

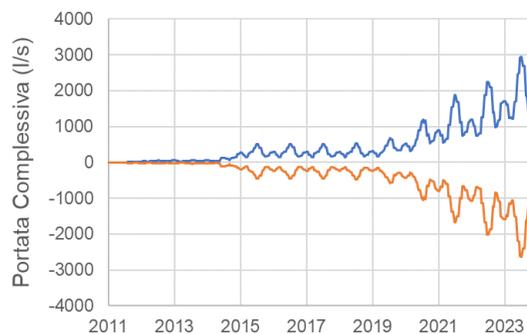


Condizioni al contorno

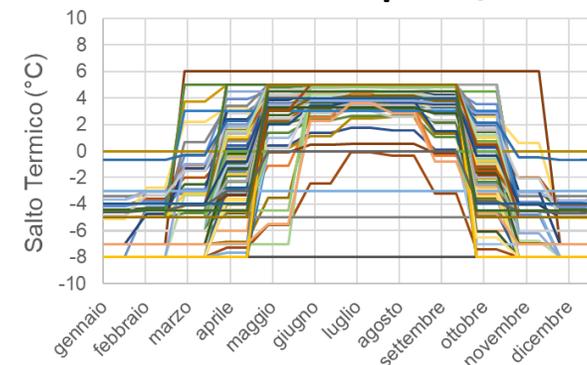
Modello 2D planare ad elevata risoluzione spaziale
Proprietà idrogeologiche equivalenti 1° Acquifero

1213 Pozzi (228 impianti): Sink/Source FLUIDO/CALORE

Emungimento/immissione



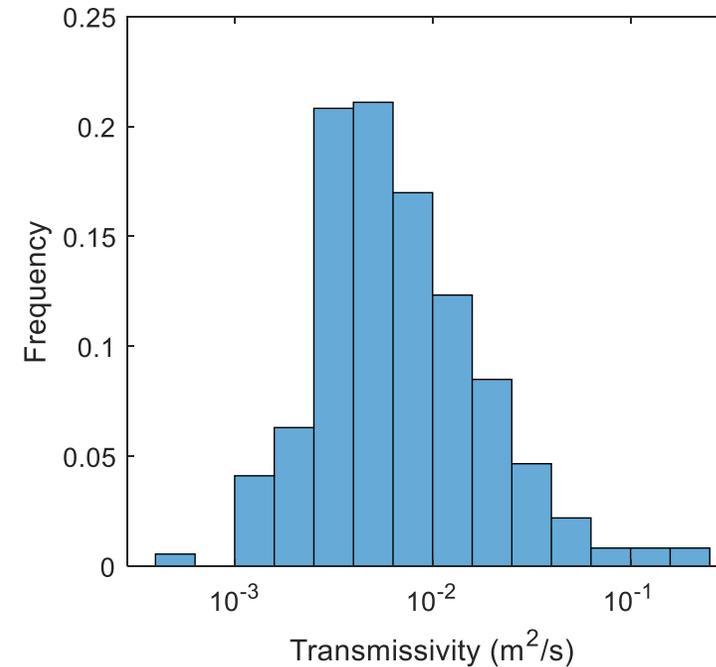
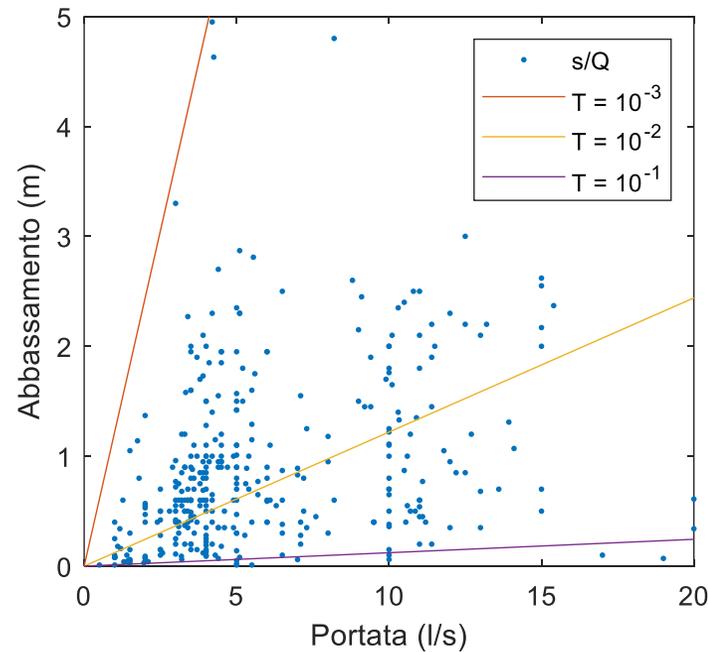
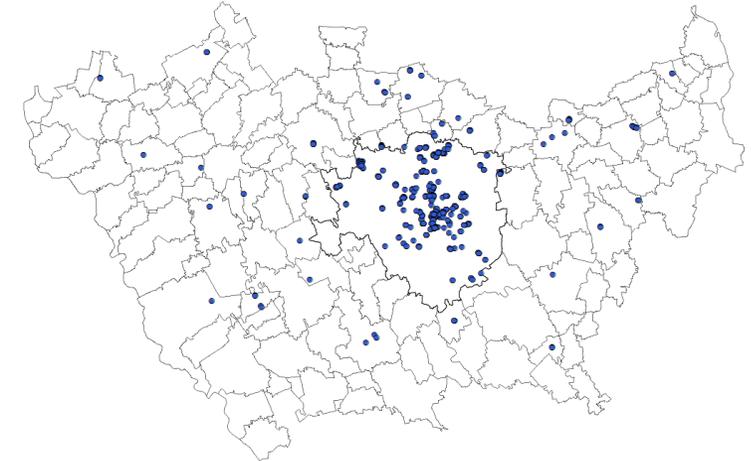
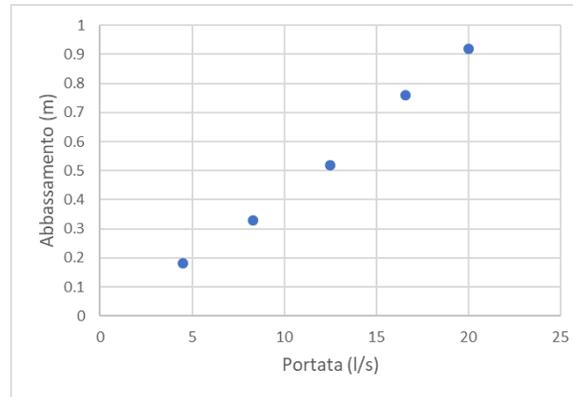
Salto termico presa/resa



693 di 1213 pozzi con prova di collaudo:

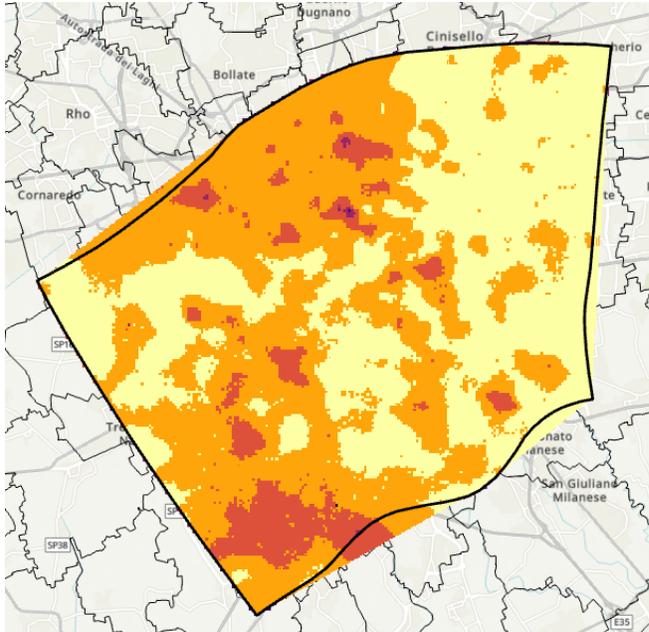
- 369 prove pompaggio
- 324 prove immissione

Per ogni pozzo n gradini di portata e relativo abbassamento massimo registrato

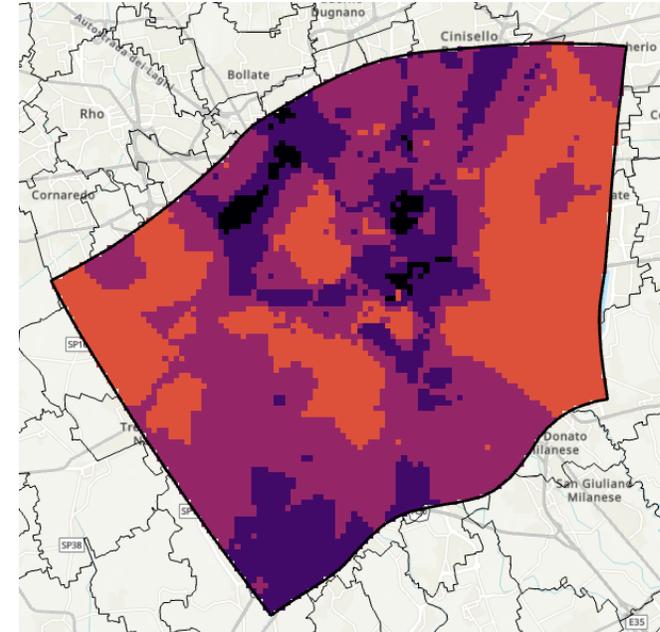


Tramissività 1° Acquifero

Da calibrazione
modello 3D su
piezometria



Da analisi
dati di
collaudo



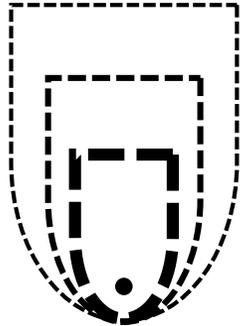
T (m²/s)



Calibrazione della risposta dinamica
del sistema per attivazione impianti
e confronto abbassamenti

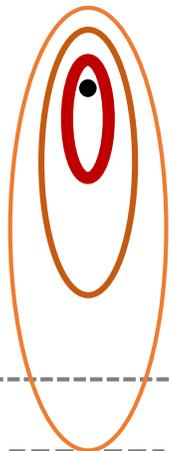


Tipologia di interferenza



a) Zona di cattura del pozzo di presa

Impianti esistenti possono impattare su nuove realizzazioni



b) Zona di disturbo termico del pozzo di resa

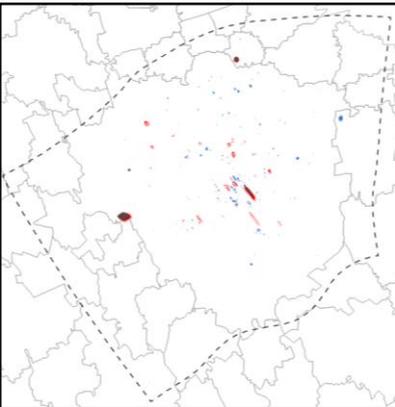
Nuove realizzazioni possono impattare su impianti esistenti

Necessità di analisi quantitativa degli effetti cumulati degli impianti geotermici (attivi e previsti) per cui si rendono **necessari**:

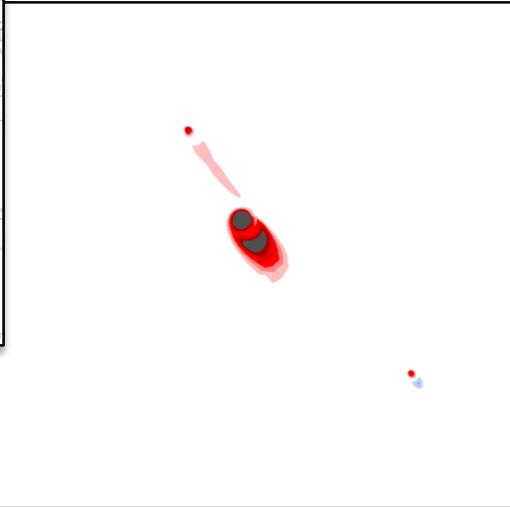
- Dati di funzionamento degli **impianti** (progetto/monitoraggio)
- **Modelli** in grado di stimare l'evoluzione termica della risorsa

Possibili output divulgabili in forma di webgis e aggiornabili in continuo:

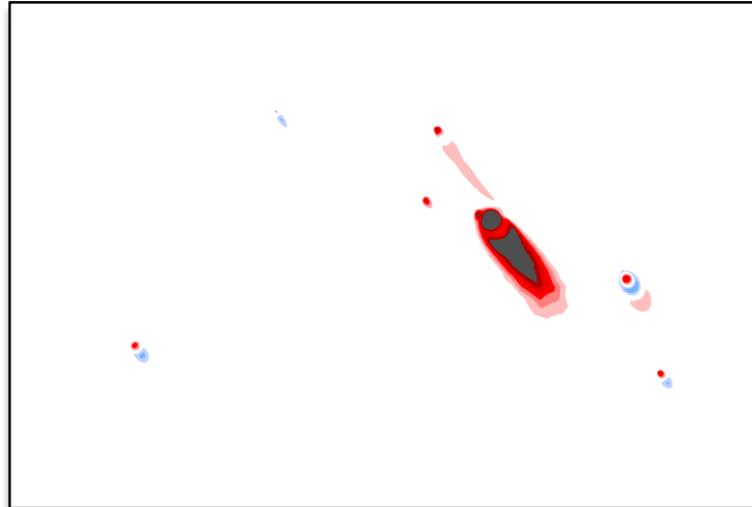
- Carta dei pennacchi termici
- Carta delle zone di cattura
- Carta della densità di sfruttamento della risorsa



2017

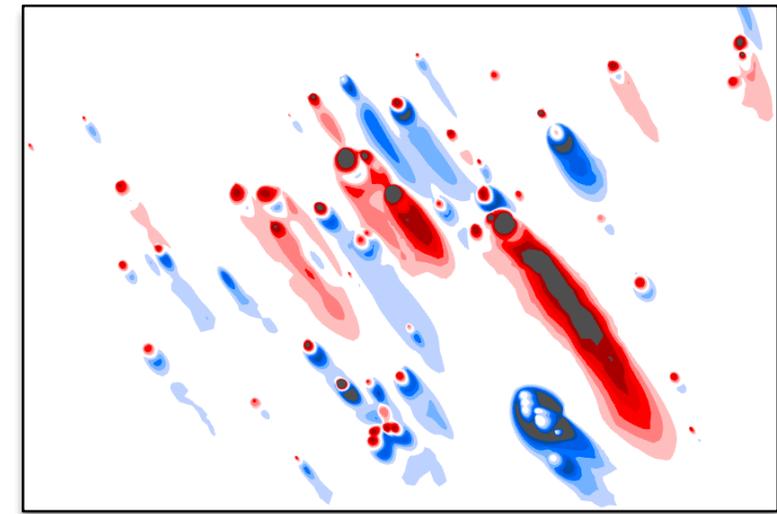


2019

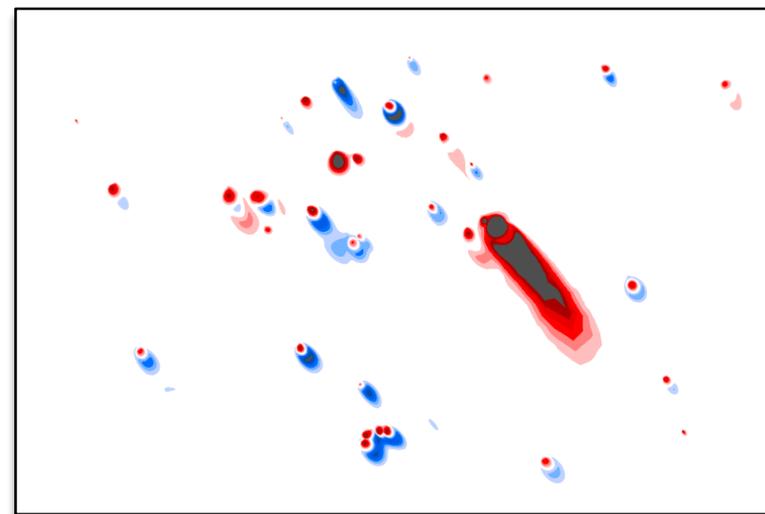


Direzione Flusso ↓

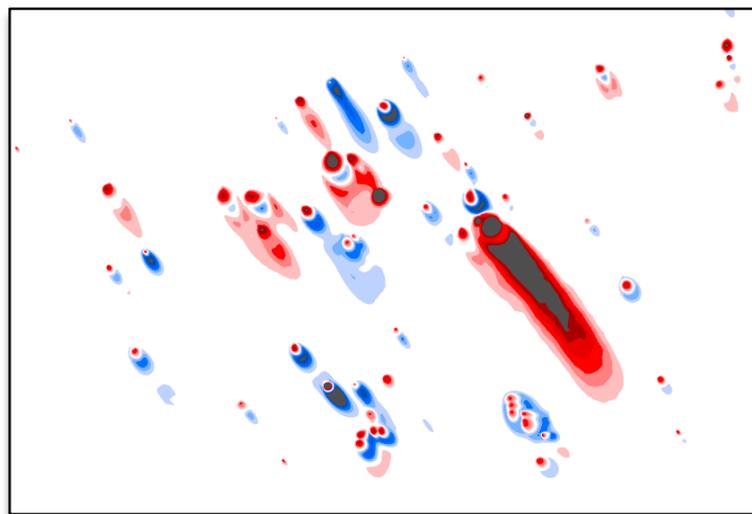
2026



2021



2023

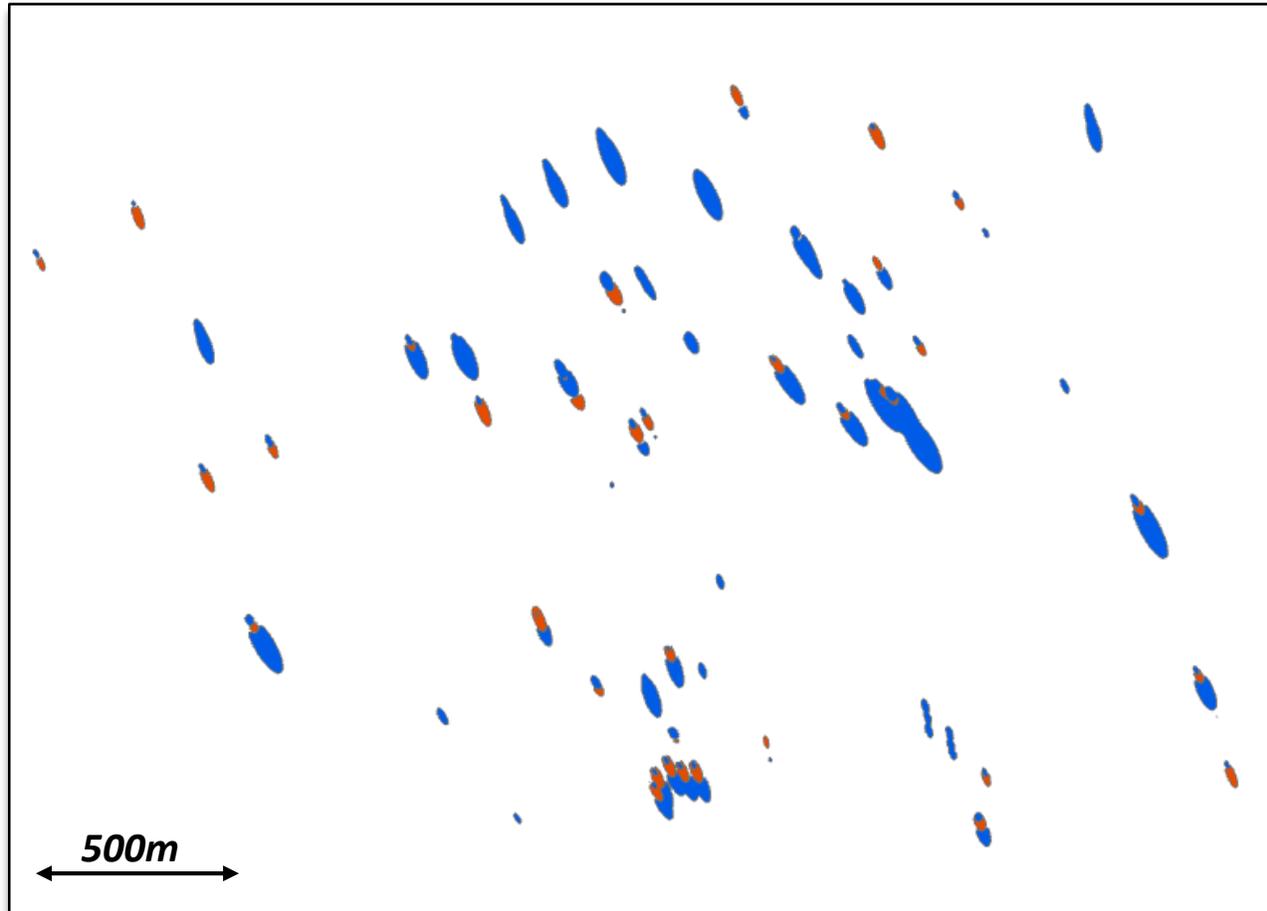


Parametri idrogeologici da calibrare
Carichi termici da validare

500m

$$\Delta T(x, y, t) = \frac{Q_{inj} \Delta T_{inj}}{4nbv_a \sqrt{\pi \alpha_T}} \exp\left(\frac{x - r'}{2\alpha_L}\right) \frac{1}{\sqrt{r'}} \operatorname{erfc}\left(\frac{r' - v_a t/R}{2\sqrt{v_a \alpha_L t/R}}\right)$$

Sovrapposizione spazio-temporale
del campo di perturbazione termica

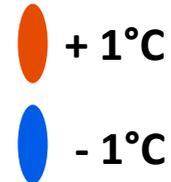
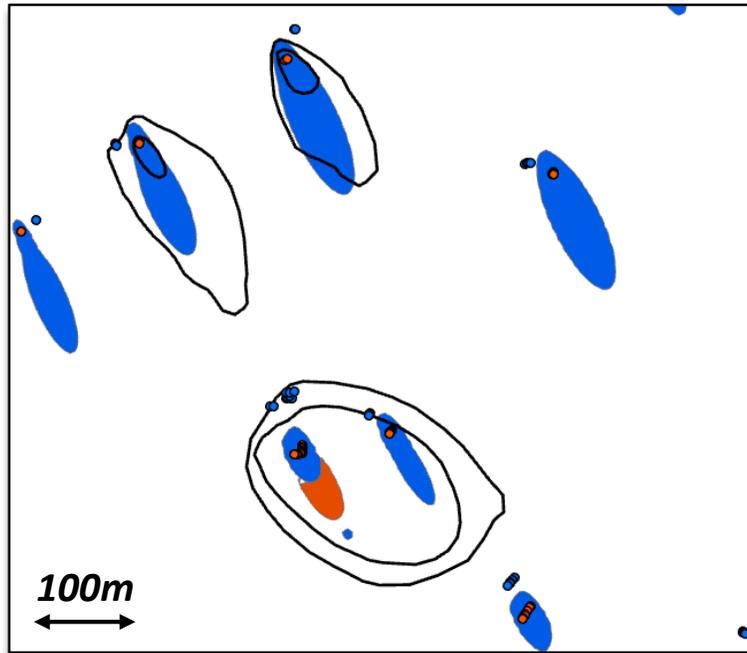


Direzione Flusso

Dipende da:

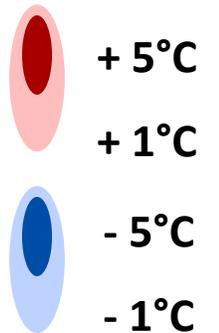
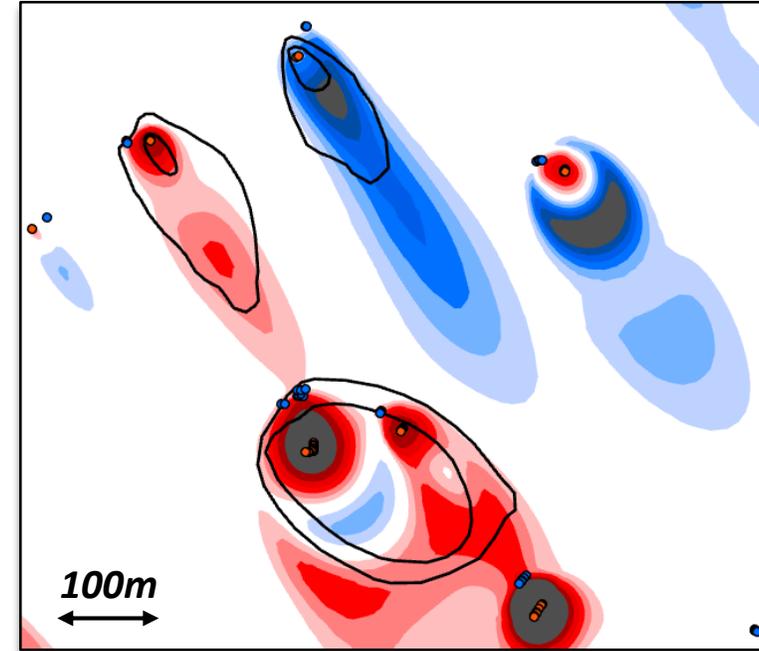
- Volume immesso
- Spessore acquifero
- Velocità flusso
- Porosità

Soluzione Analitica



○ +/- 1°C
Da modello per concessione

Soluzione Numerica



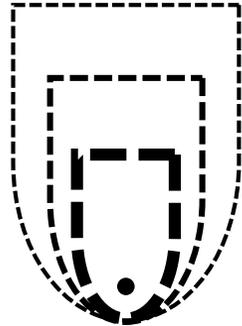
👍 Soluzione rapida e facile da implementare in GIS

👎 Poco Affidabile sul lungo termine
Soluzione solo 2D
Trascura effetti idrodinamici dei pozzi

👍 Soluzione affidabile e completa
Quantificare interferenze
Quantificare potenziale termico

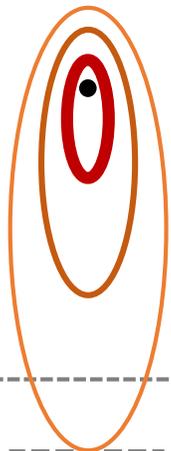
👎 Tempi di realizzazione lunghi/necessita calibrazione
Aggiornamento e analisi richiedono tempo

Tipologia di interferenza



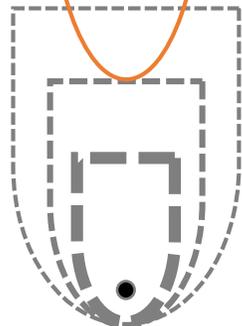
a) Zona di cattura del pozzo di presa

Impianti esistenti possono impattare su nuove realizzazioni



b) Zona di disturbo termico del pozzo di resa

Nuove realizzazioni possono impattare su impianti esistenti



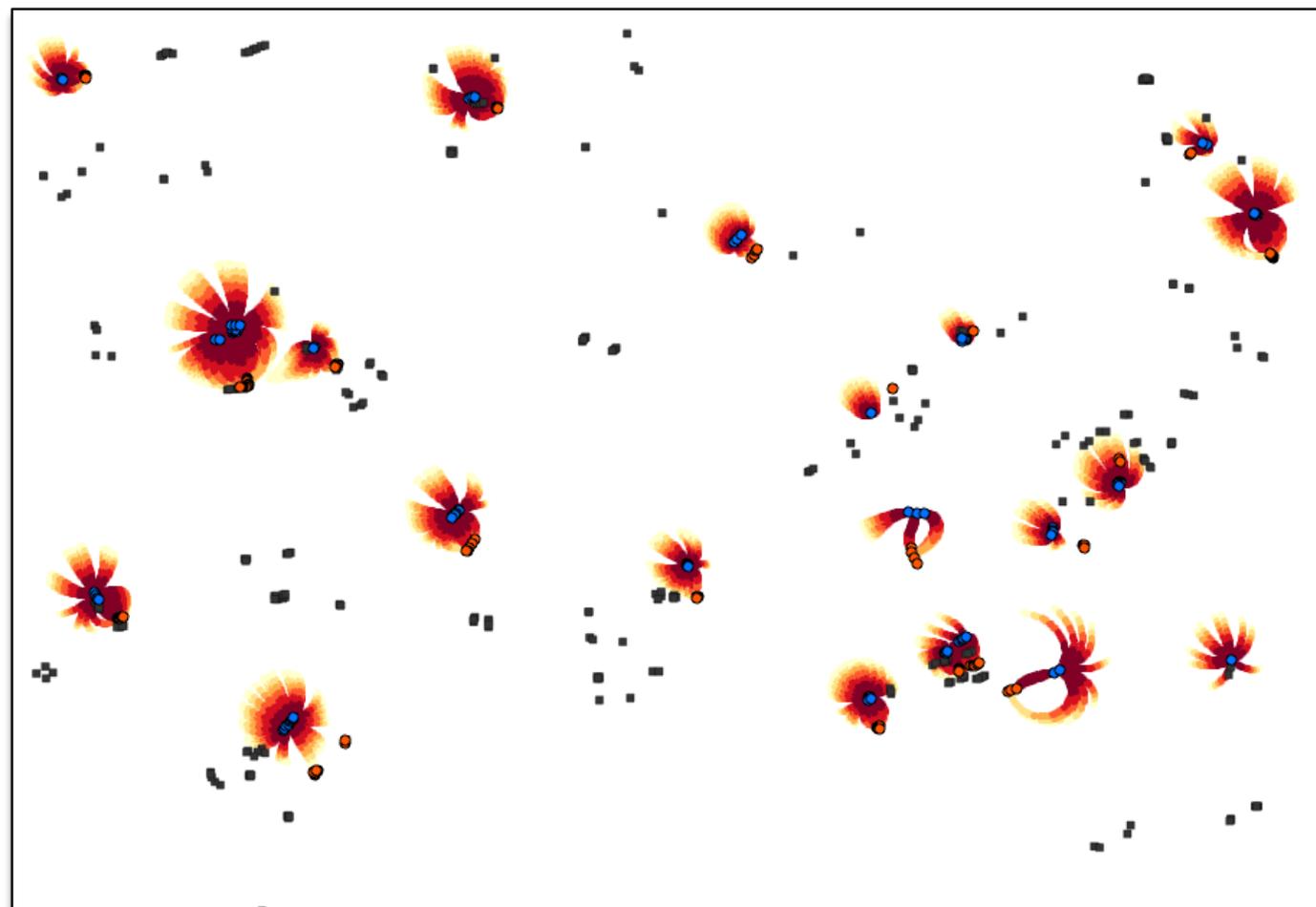
Necessità di analisi quantitativa degli effetti cumulati degli impianti geotermici (attivi e previsti) per cui si rendono **necessari**:

- Dati di funzionamento degli **impianti** (progetto/monitoraggio)
- **Modelli** in grado di stimare l'evoluzione termica della risorsa

Possibili output divulgabili in forma di webgis e aggiornabili in continuo:

- Carta dei pennacchi termici
- Carta delle zone di cattura
- Carta della densità di sfruttamento della risorsa

Risultati Soluzione Numerica



100m

Direzione Flusso

Pozzi geotermici

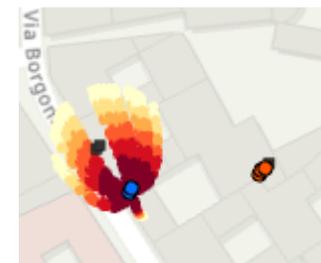
- Presa
- Resa
- Altri pozzi geotermici

database regionale
SIPIUI

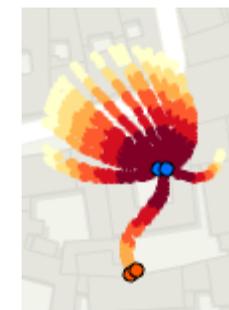
Travel time (gg)

- -10
- -20
- -30
- -40
- -50
- -60

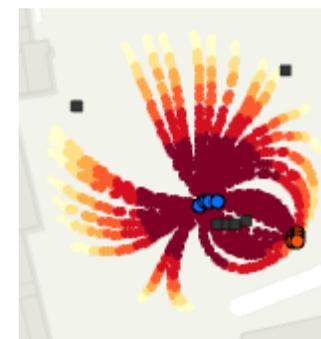
Interferenza interna



ASSENTE

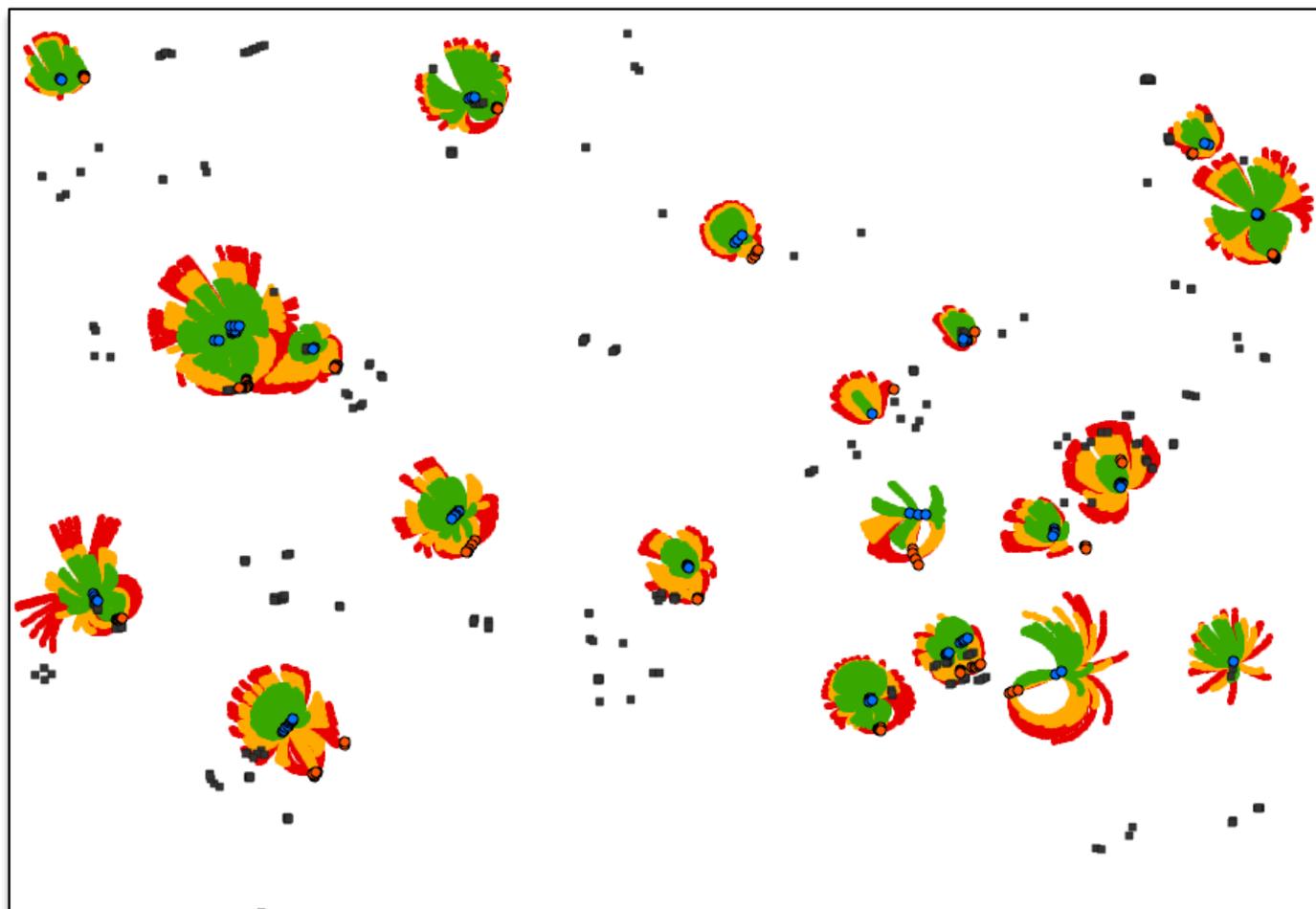


LIEVE



FORTE

Risultati Soluzione Numerica



Pozzi geotermici

- Presa
 - Resa
 - Altri pozzi geotermici
- database regionale SIPIUI*

Isocrone a 60gg

Portata:

- MIN
- MEDIA
- MAX

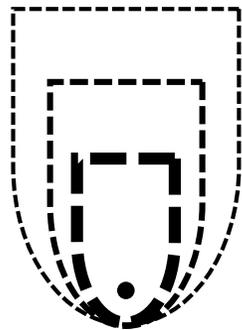
Valutazione impatti di nuove realizzazioni su impianti esistenti:



100m

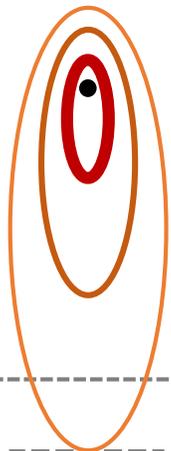
Direzione Flusso

Tipologia di interferenza



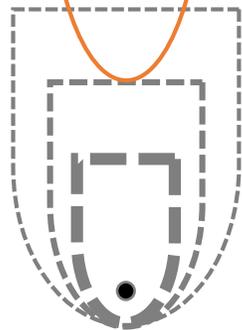
a) Zona di cattura del pozzo di presa

Impianti esistenti possono impattare su nuove realizzazioni



b) Zona di disturbo termico del pozzo di resa

Nuove realizzazioni possono impattare su impianti esistenti



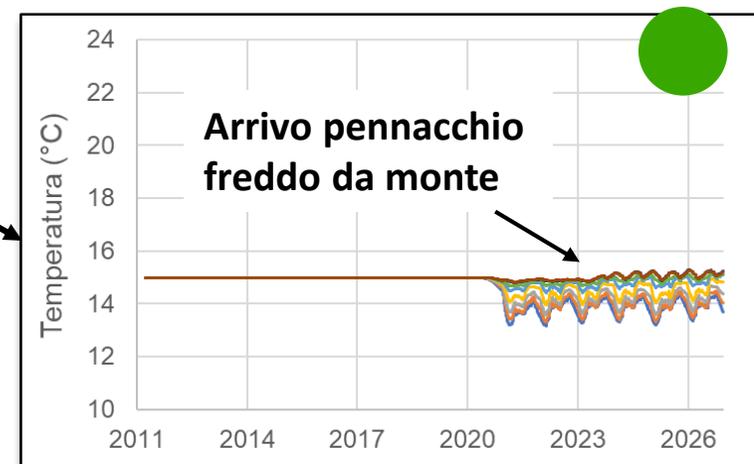
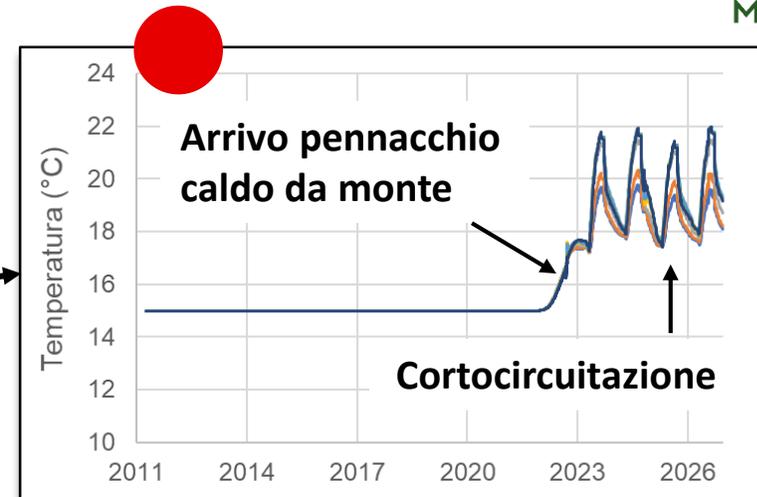
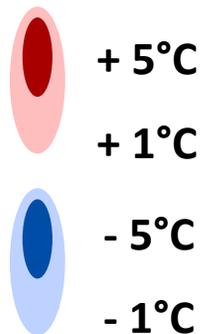
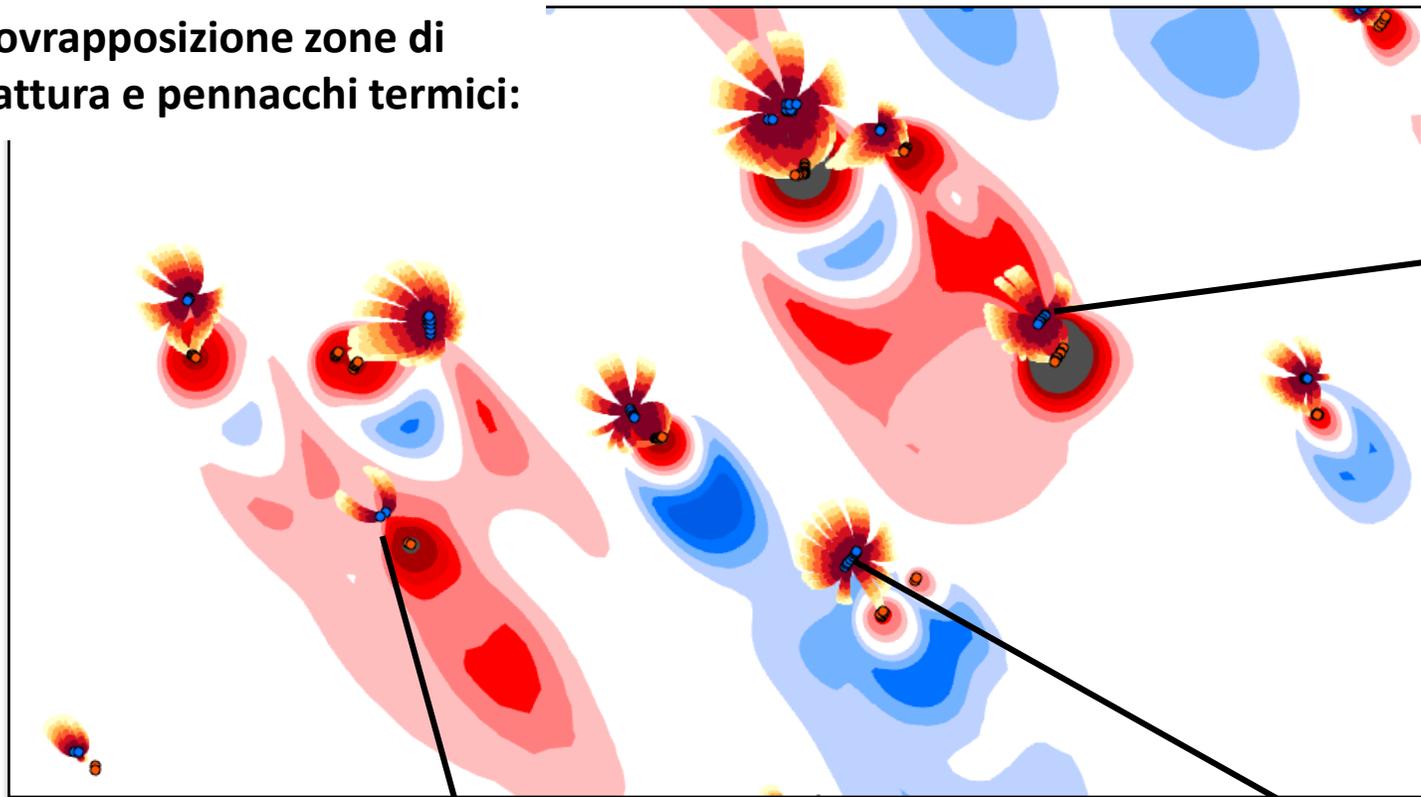
Necessità di analisi quantitativa degli effetti cumulati degli impianti geotermici (attivi e previsti) per cui si rendono **necessari**:

- Dati di funzionamento degli **impianti** (progetto/monitoraggio)
- **Modelli** in grado di stimare l'evoluzione termica della risorsa

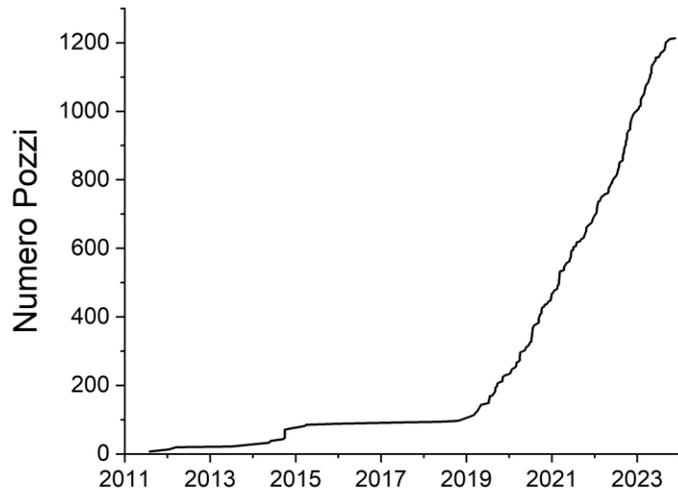
Possibili output divulgabili in forma di webgis:

- Carta dei pennacchi termici
- Carta delle zone di cattura
- Carta della densità di sfruttamento della risorsa

Sovrapposizione zone di cattura e pennacchi termici:

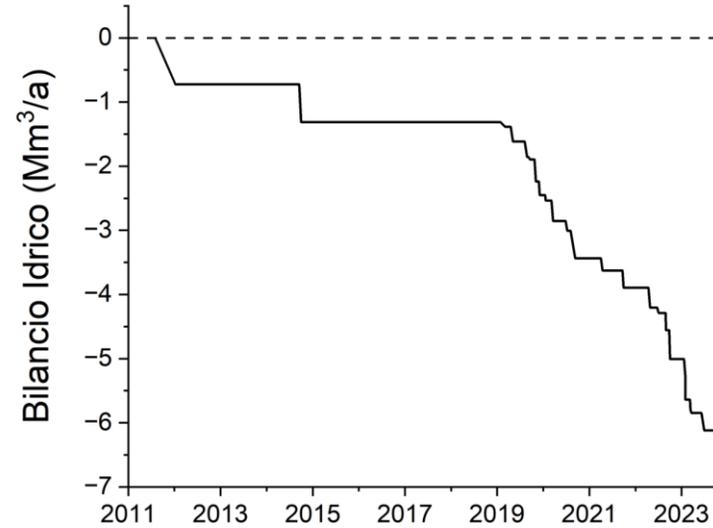


Incremento numero di pozzi geotermici entro dominio modellazione

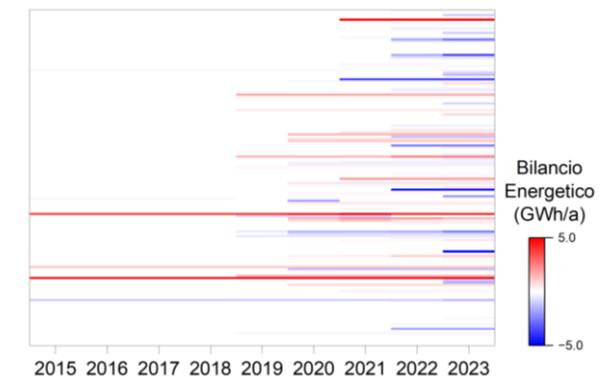
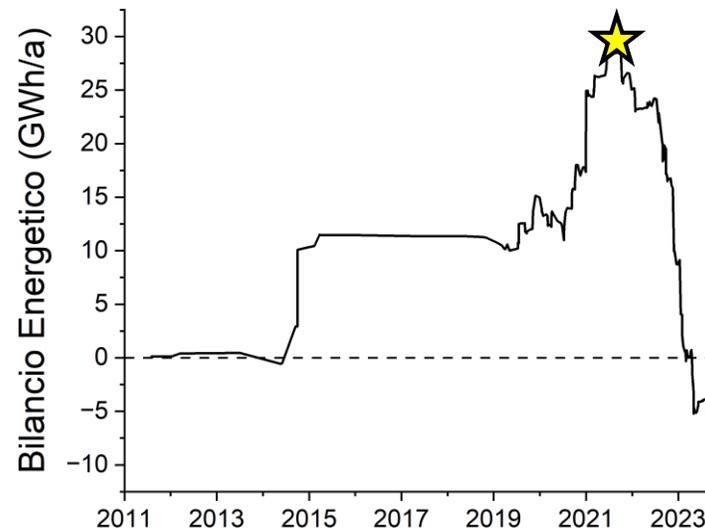


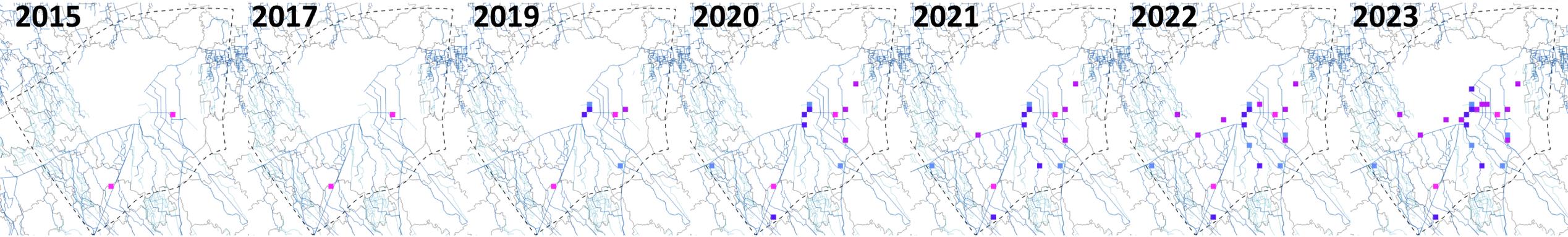
890 Concessioni	435 Digitalizzate
4063 Pozzi	1682 Digitalizzati

Variazione bilancio idrico sotterraneo



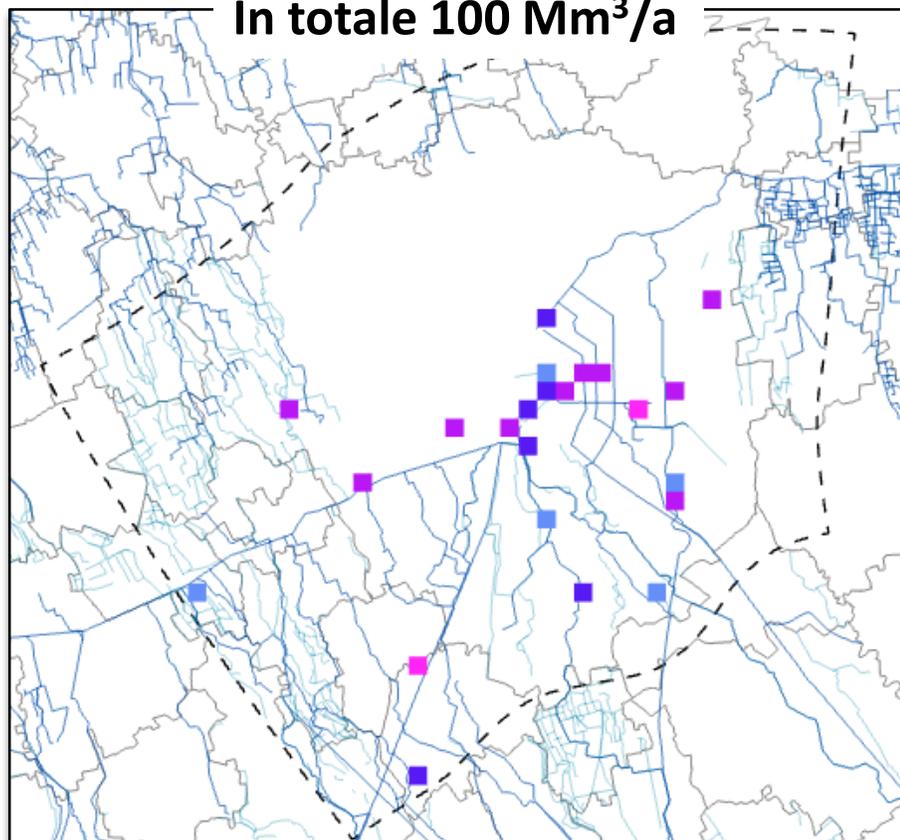
Variazione bilancio energetico sotterraneo



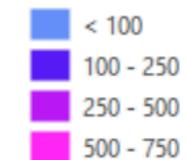


2023

In totale 100 Mm³/a



Volume Estratto
(*10³ m³/a)

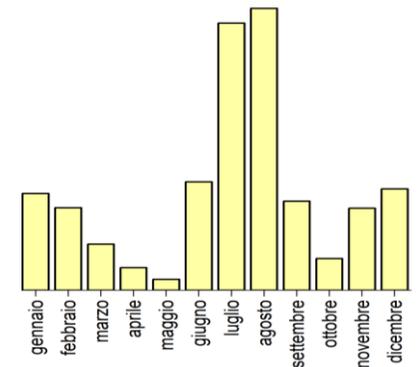


Quantificare l'impatto:

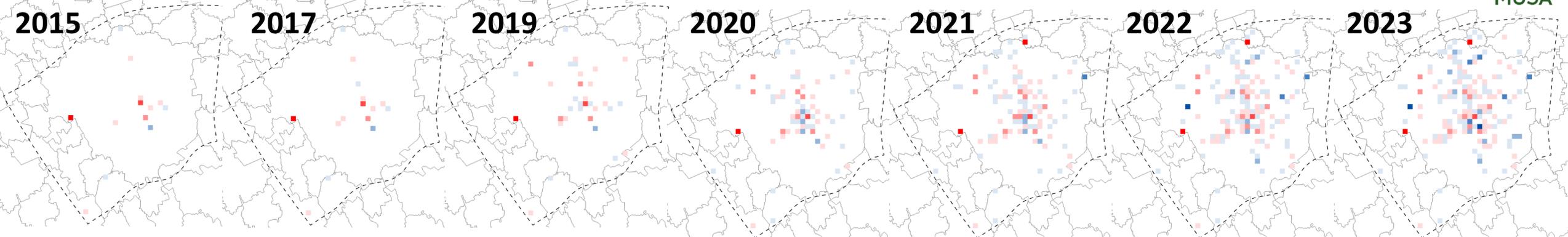
Livello piezometrico
(da modello numerico)



Reticolo idrico superficiale

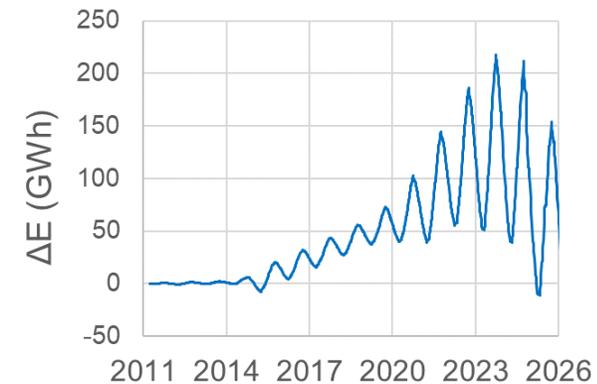
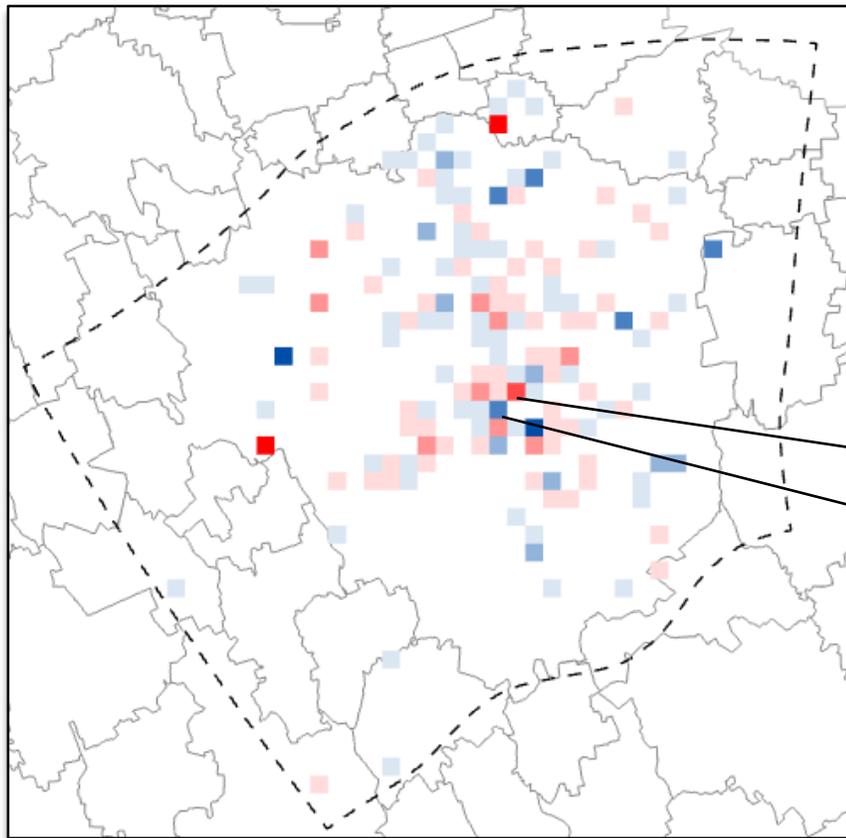


- Portata massima
- Volume totale
- Benefici irriguo ?
- Temperatura ?

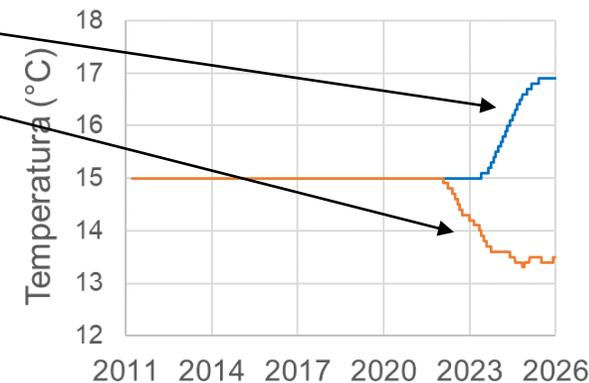


2023

Energia Falda
(GWth/a)



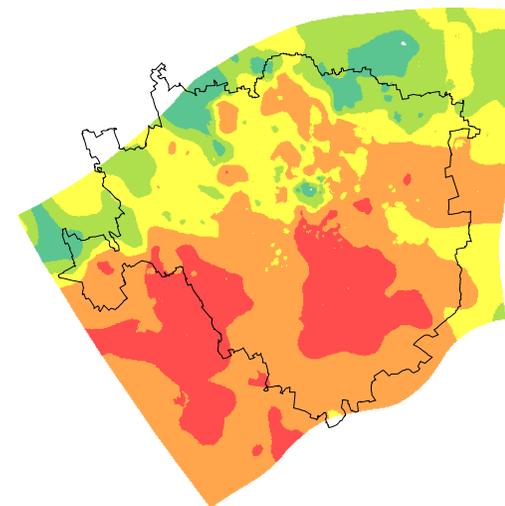
Variazione energia
termica entro il
dominio di
modellazione



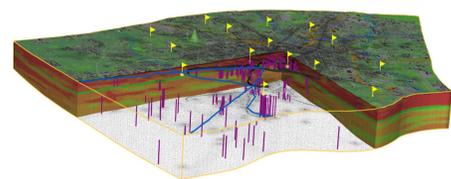
Variazione di
temperatura
locale

Quantità di calore che viene rimpiazzata (nel tempo) in un volume rappresentativo

Potenziale termico
[W/m³K]



Potenza max di scambio termico per m³

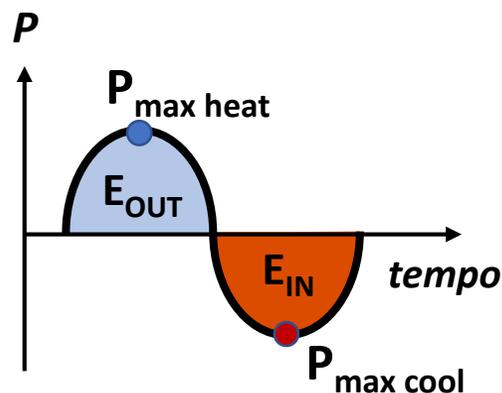


Modello Numerico

Stima campo
 q – Velocità flusso
 T – Temperatura

POTENZA (P)

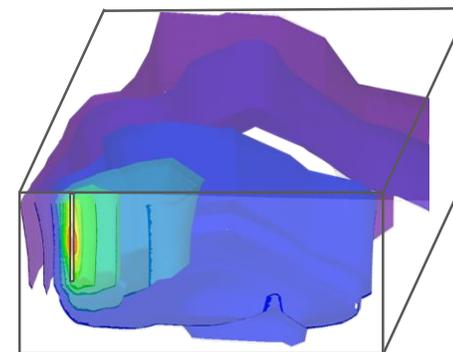
ENERGIA (E)



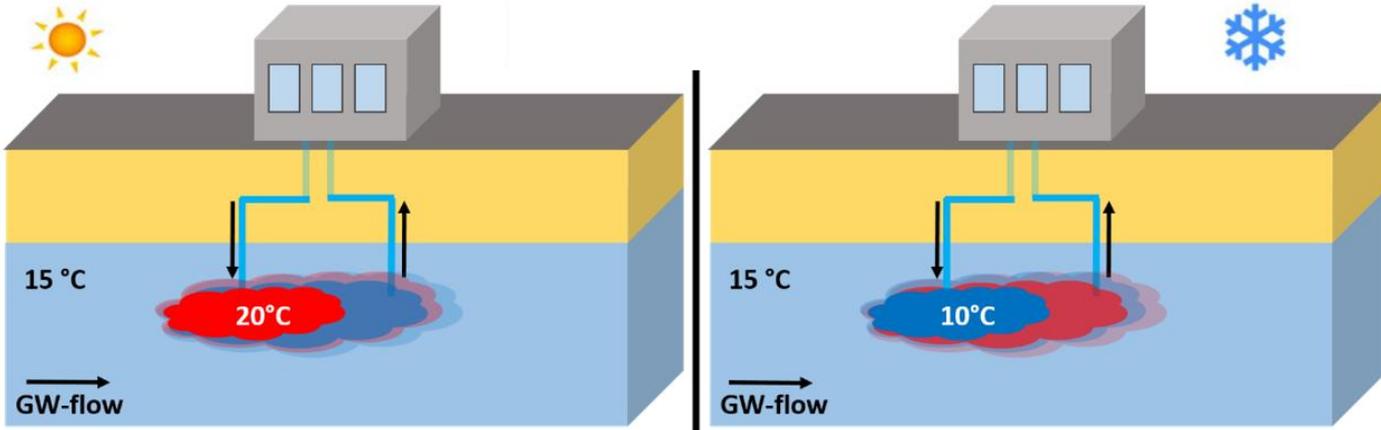
Bil. Energetico = $E_{IN} - E_{OUT}$

Densità energetica
[J/m³]

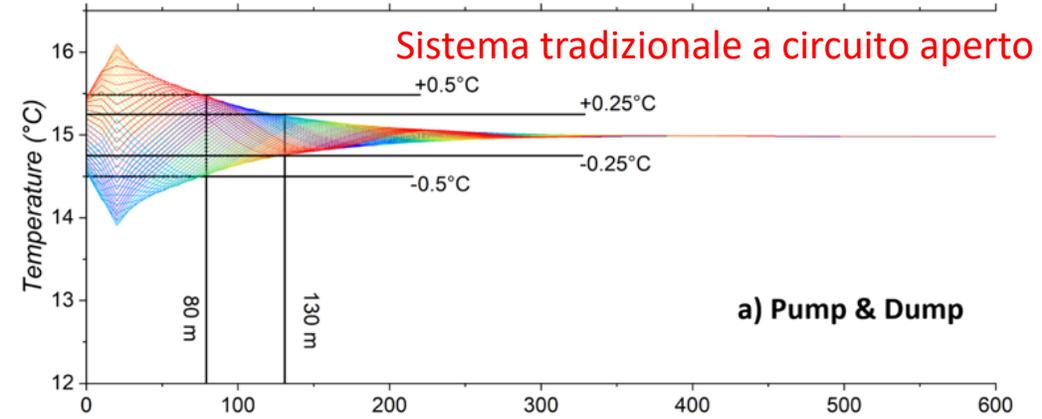
Quantità di calore che è possibile immagazzinare/prelevare in/da un volume di riferimento



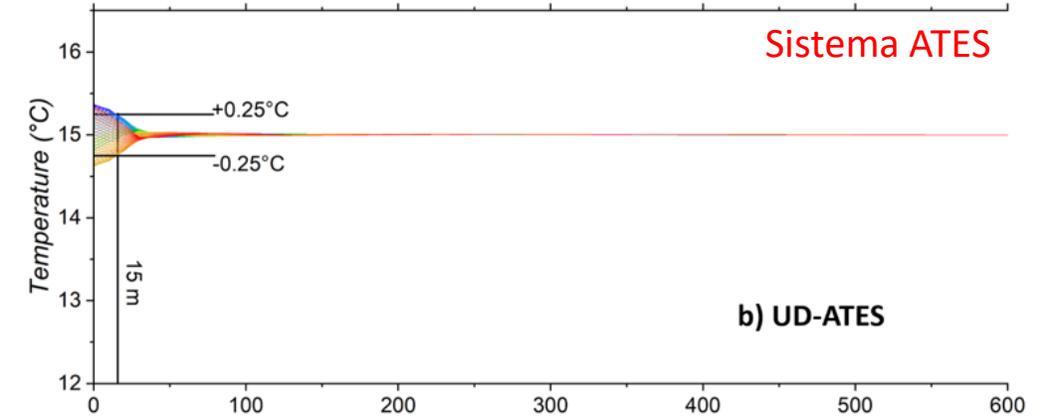
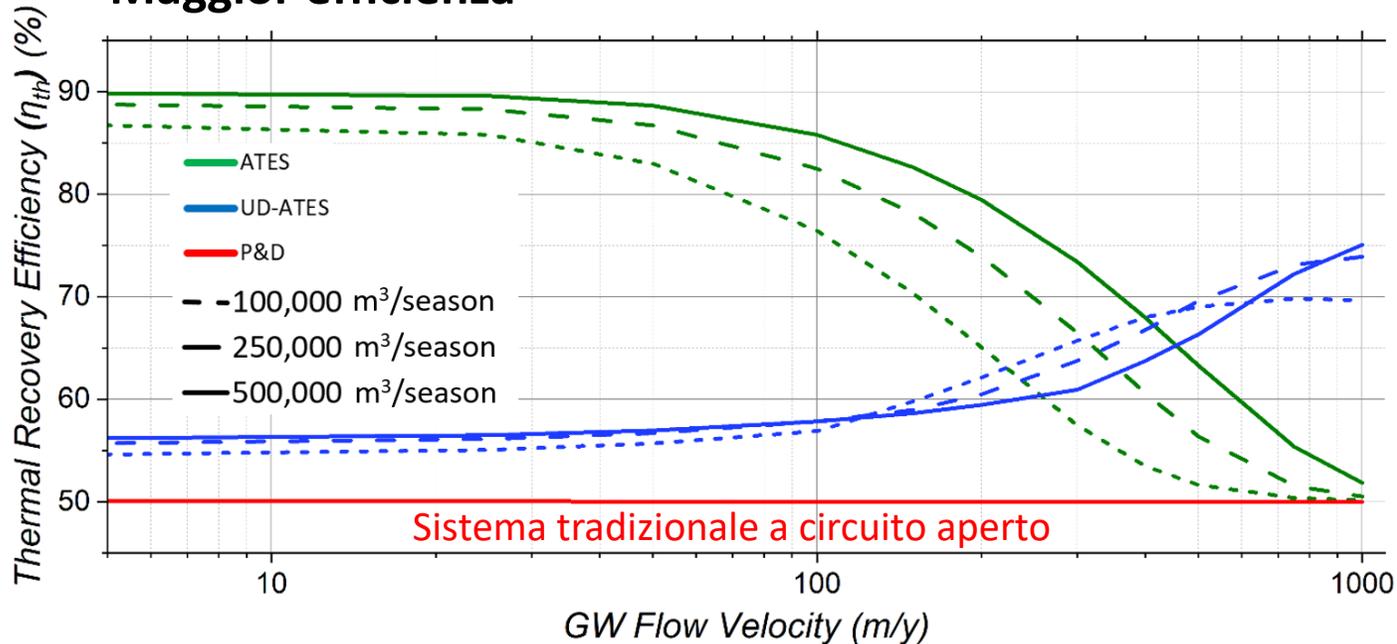
Energia totale per m³



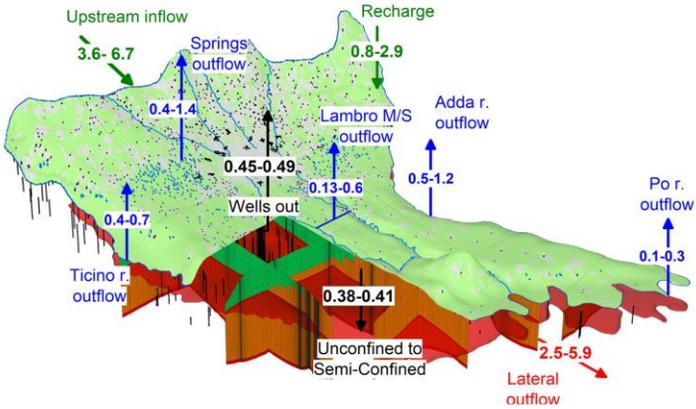
Minor impatto a valle



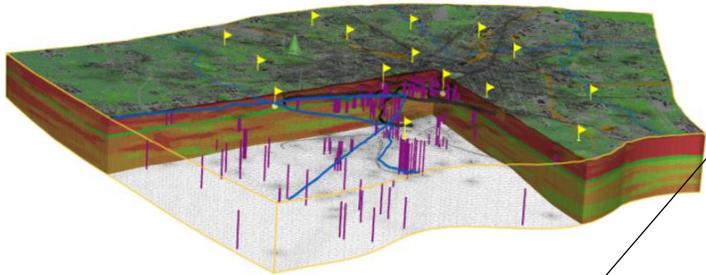
Maggior efficienza



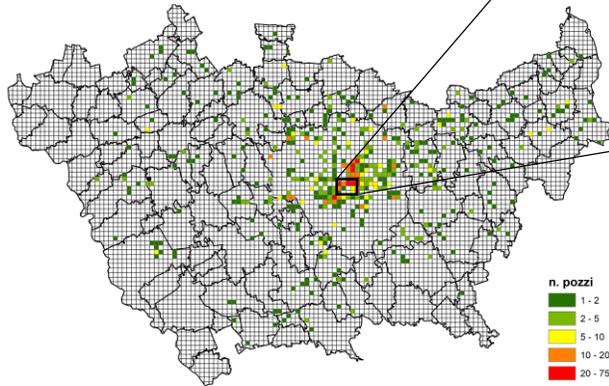
Modello regionale



Modello metropolitano

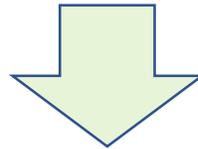


Griglia di analisi

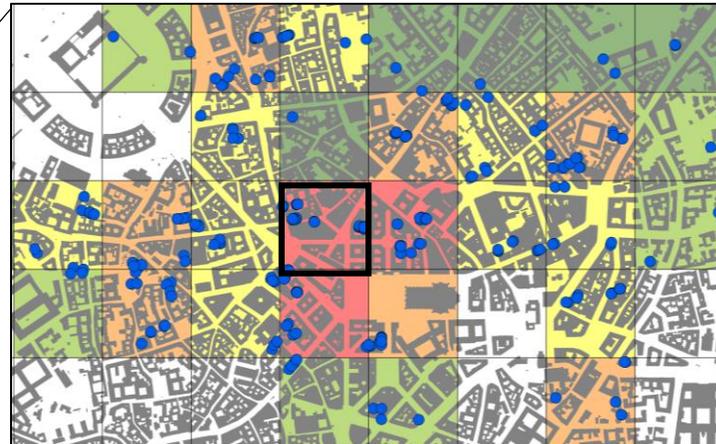


Obiettivi:

- Stimare l'impatto di nuove installazioni geotermiche considerando le esistenti
- Definire le massime quantità di energia e acqua utilizzabili considerando dinamiche di flusso/trasporto



Griglia di analisi → Gestione termica

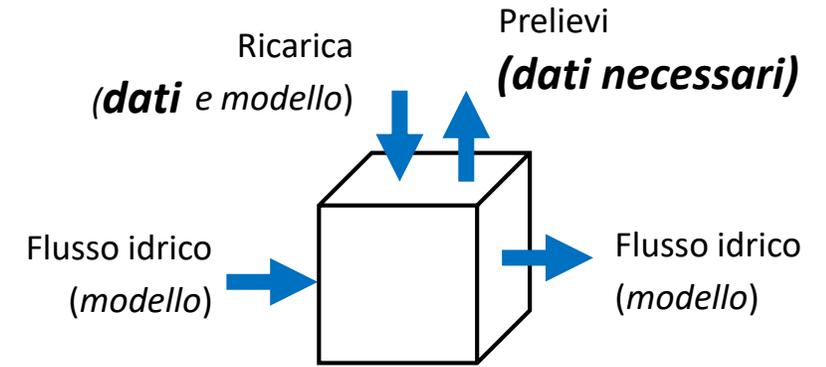


Interferenze → problematico alla scala

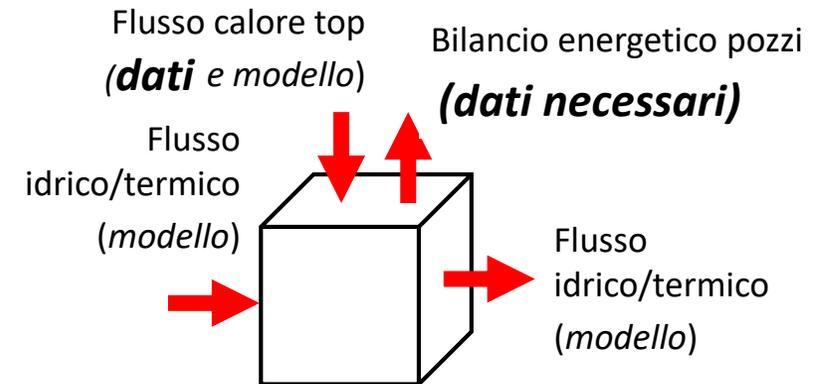
Aggiornamento in continuo del modello metropolitano



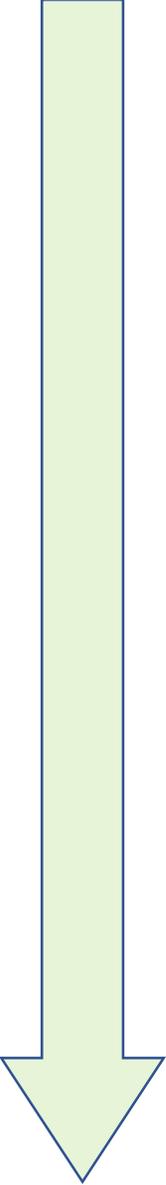
Bilancio Idrogeologico



Bilancio Energetico



Aggiornamento dati impianti e serbatoio/risorsa in continuo



- DATI NECESSITA'

- **PROPRIETA' GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE CONDIVISE**
- **IN CONTINUO – PIEZOMETRIA E TEMPERATURE**
- **IN CONTINUO – FUNZIONAMENTO IMPIANTI (BMS)**
(Portata emunta stagionale/mensile, salto termico stagionale/mensile, fabbisogno energetico stagionale/mensile)
MONITORAGGIO TERMICO A VALLE

- UTILIZZI DEL MODELLO

- ✓ *Fattibilita' di massima di impianti → aree di interesse (griglia)*
- ✓ *Impatto usi geotermici sulla risorsa idrica → bilancio idrico ed energetico*
- ✓ *Impatto nuove strutture e infrastrutture sulla risorsa geotermica*
- ✓ *Impatto scenari di evoluzione climatica e di gestione delle acque*

- **NORMATIVA E VINCOLISTICA**

Grazie per l'attenzione!

GRUPPO IDROGEO-TERMICO MUSA

Giovanni Crosta, Alberto Previati,

Riccardo Castellanza, Paolo Frattini, Alberto Presta Ascitutto, Valerio Silvestri

Università degli Studi di Milano-Bicocca

Dip. Scienze dell'Ambiente e della Terra(DISAT)