

**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)

Gestione acquiferi: tecniche, potenziale, problematiche

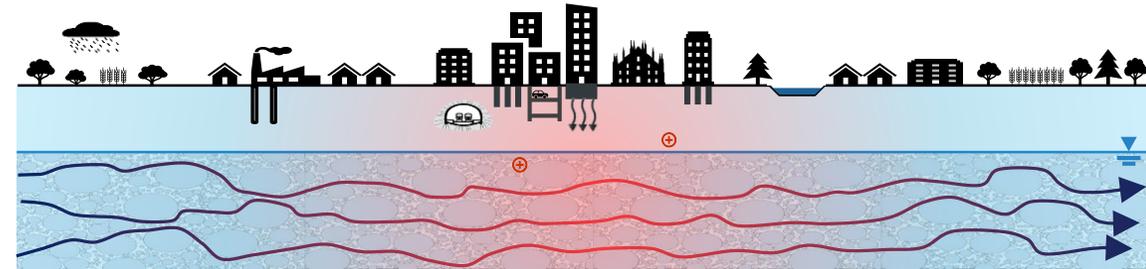
- *Obiettivi del progetto MUSA Geotermia - Idrogeologia*
- Risorse idriche e termiche → Potenziale termico
- Analisi GIS spazialmente distribuita → risorsa / sfruttamento attuale e prevedibile → studio CAP
- Generazione di un modello termo-idrogeologico 2D/3D
- Interazione con strutture

Prodotti del Progetto:

- Informatizzazione dati sistemi di geoscambio esistenti
- Schema di raccolta dati
- Monitoraggio continuo e discreto

Prospettive future:

- Implementazione di una rete di monitoraggio
- Strumento di gestione/interazione
- Metodi quantitativi per una gestione sostenibile



Enti e soggetti coinvolti:

- Città Metropolitana
- Comune di Milano
- Regione Lombardia
 - MM SpA
 - A2A – ACS

Creazione di un laboratorio urbano

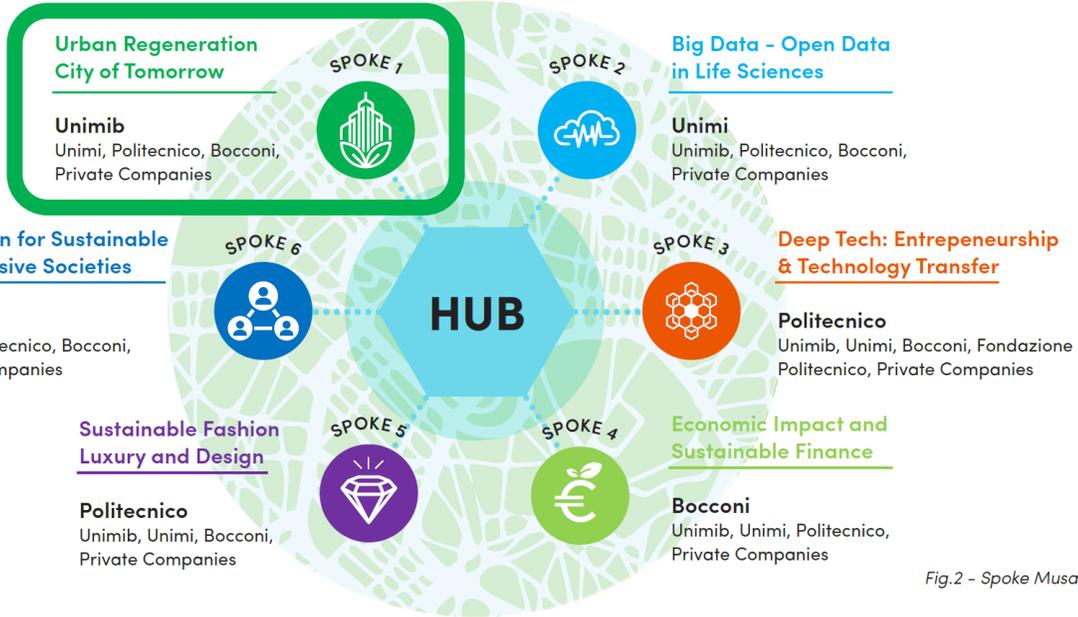
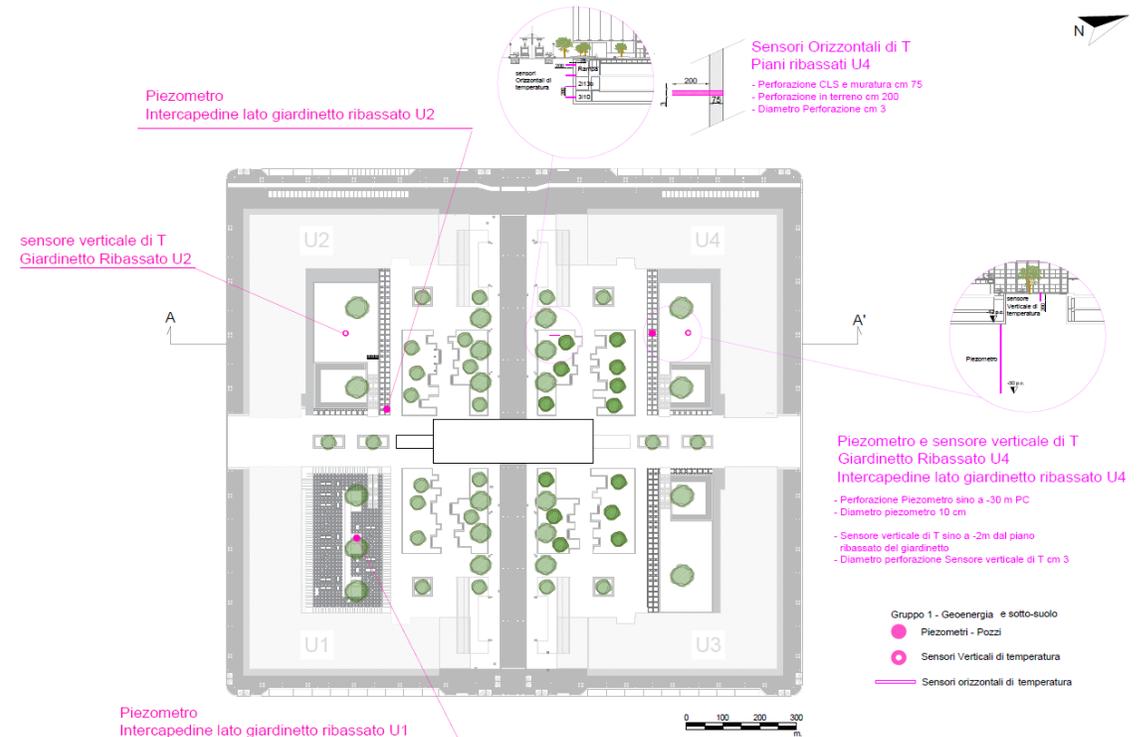


Fig.2 - Spoke Musa

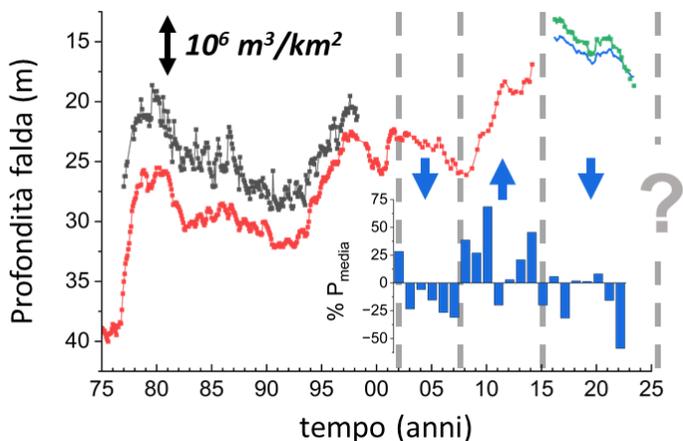
Spoke 1 – 8 Gruppi

1. Sottosuolo e Geotermia
2. Suolo
3. Piante e animali
4. Soundscape
5. Stressor e organismi
6. Isola di Calore
7. Qualità dell’Aria
8. Energia e Reti



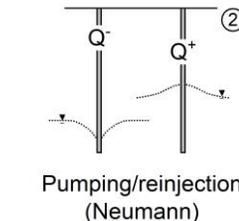
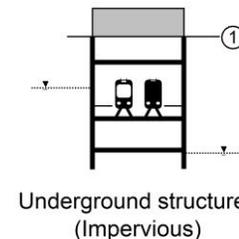
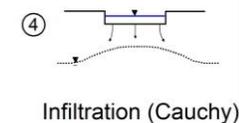
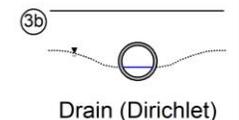
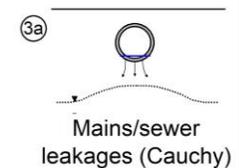
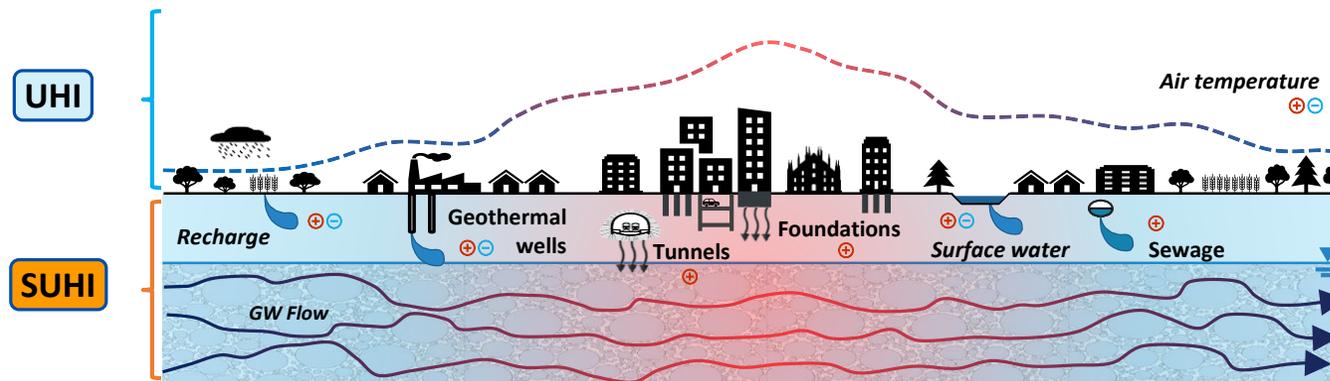
Clima e falda

- Temperatura aria
- Precipitazioni e acque superficiali
 - Ricarica e livello falda



Urbanizzazione (Heat island effect)

- Sfruttamento risorsa idrica
- Sorgenti antropiche:
 - contaminazione termica e chimica, superficiale e profonda
- Uso e impermeabilizzazione terreno



Impatti

Chimico, fisici e biologici
Sul costruito

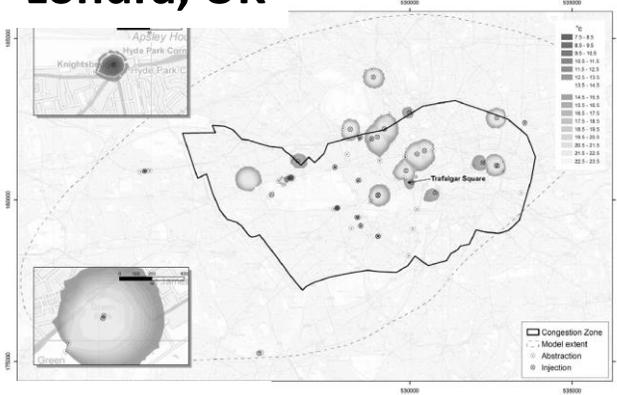
Sulle risorse idropotabili e energetiche

Misura
Impatti

Simulazione
sistema

Gestione
Quantificazione
Previsione
Scenari

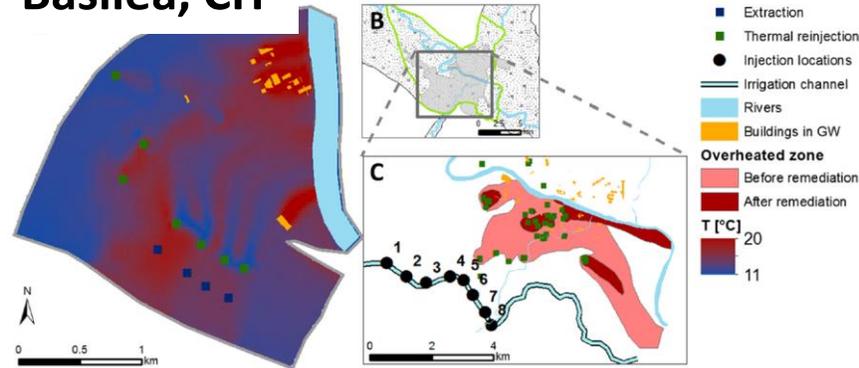
Londra, UK



Herbert et al. (2013)

- Quantificare sfruttamento risorsa
- Regolamentazione

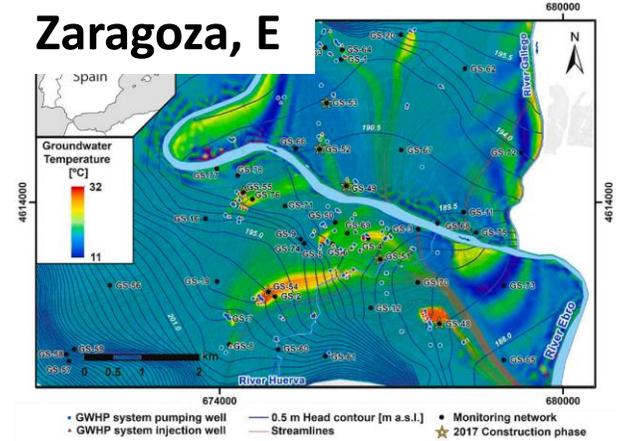
Basilea, CH



Epting et al. (2017)

- Quantificare sfruttamento risorsa
- Strategie mitigazione

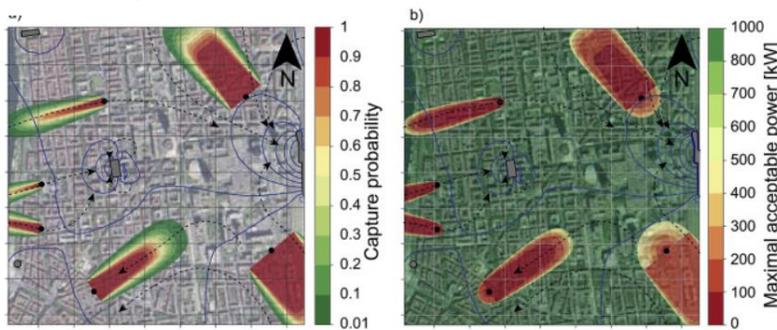
Zaragoza, E



Garcia-Gil et al. (2019,2020)

- Quantificare sfruttamento risorsa
- Effetti positivi/negativi

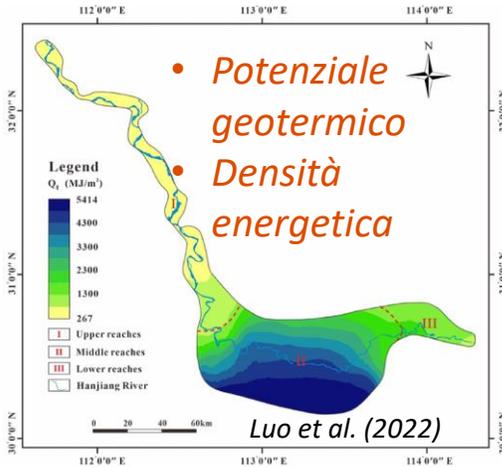
Lione, F



Attard et al. (2020)

- Definizione zone di cattura sulla base dei prelievi geotermici

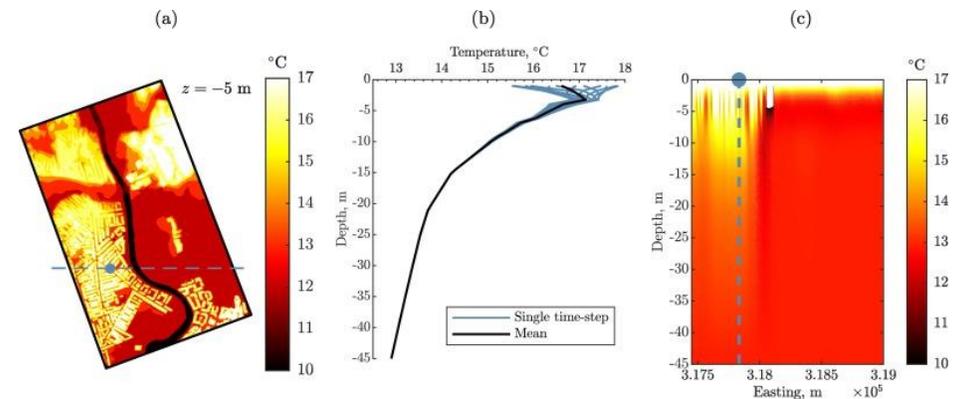
Hubei Province, China



- Potenziale geotermico
- Densità energetica

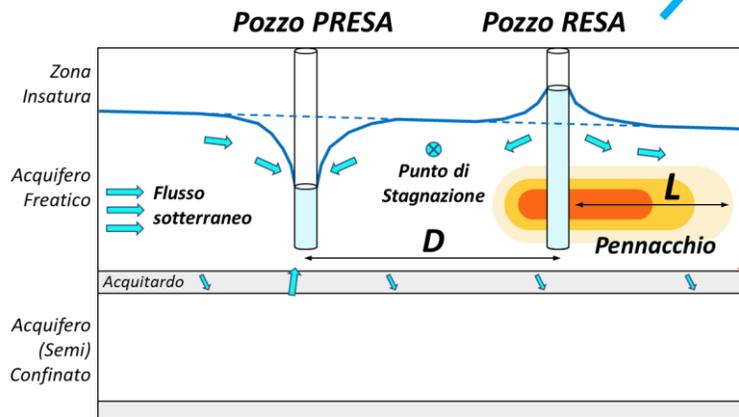
Luo et al. (2022)

Cardiff, UK



Giovanni Crosta, Alberto Previati

Gestione a breve/medio/lungo termine?



Acque Superficiali

Acque Sotterranee

Calore Sotterraneo

Bilancio
Idraulico/Idrico

Idrogeologico

Energetico

**Numero parametri e variabili
Incertezza**

- Immissione acqua nella rete superficiale**
 - Sovraccarico rete superficiale
 - Acqua irrigua disponibile
- Invarianza Idraulica**
 - Beneficio rete superficiale
- Invarianza idrochimica**
 - Mantenimento qualità risorsa
- Invarianza Idrogeologica**
 - Mantenimento quantità risorsa
- Sottrazione acqua dal sottosuolo**
 - Impatto sul bilancio
 - Efficienza impianto geotermico
- Immissione calore nel sottosuolo**
 - Interferenze
 - Sostenibilità
- Invarianza Energetica**
 - Miglior efficienza sistema
 - Minor interazioni tra sistemi
- Sottrazione calore dal sottosuolo**
 - Interferenze
 - Sostenibilità

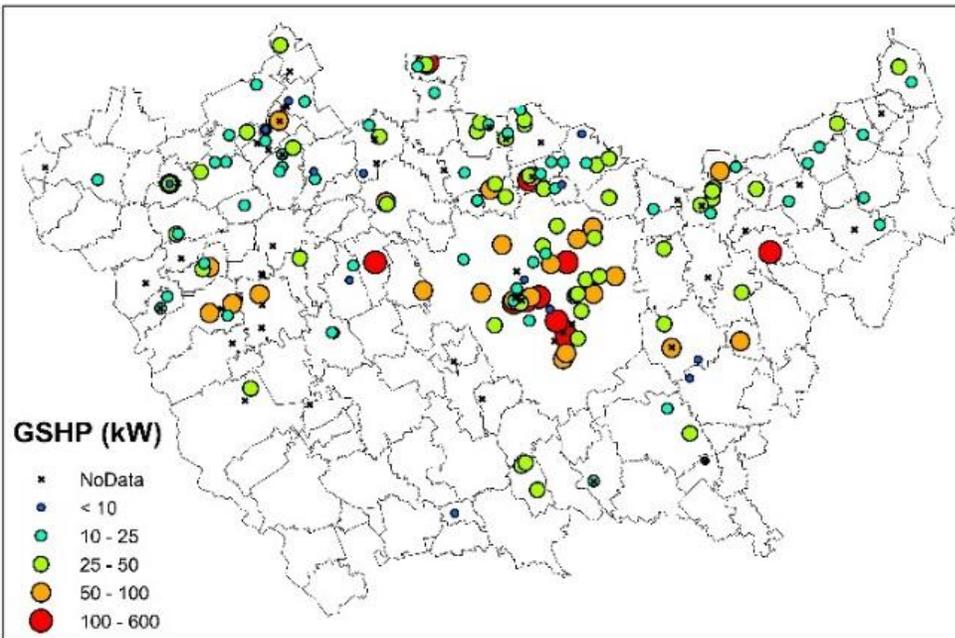
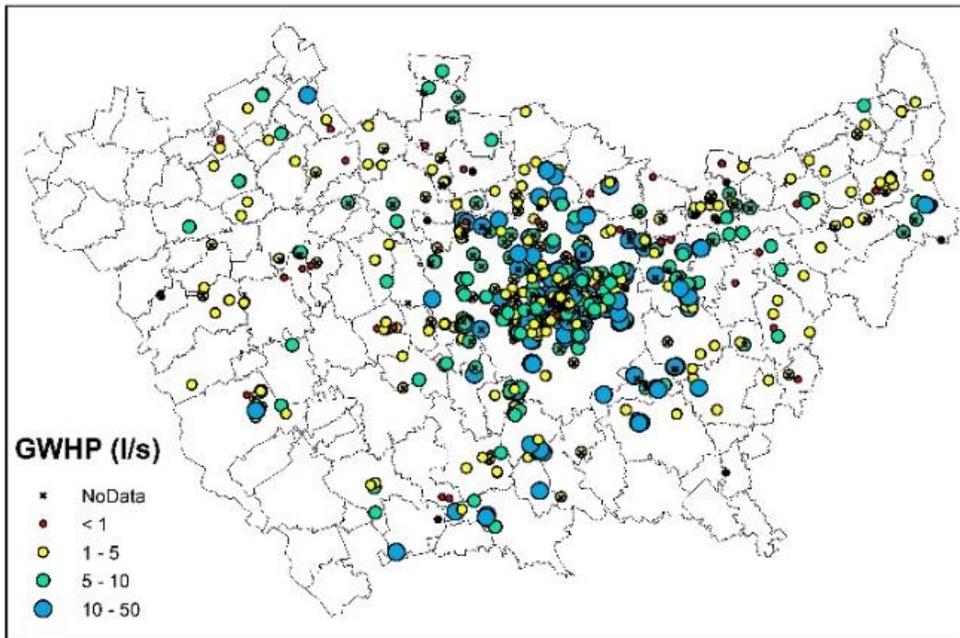
Circuito Aperto

Circuito Chiuso

956 Impianti
2112 Scarichi

Prelievo
300 Mm³/anno

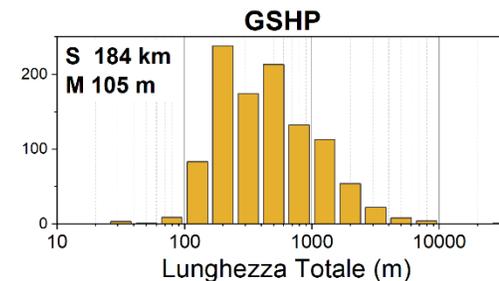
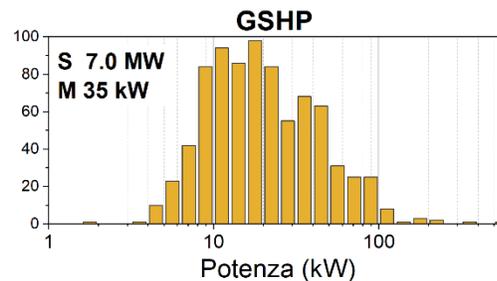
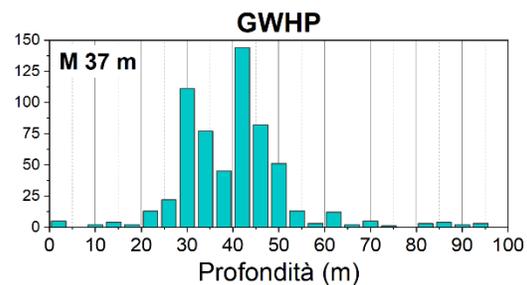
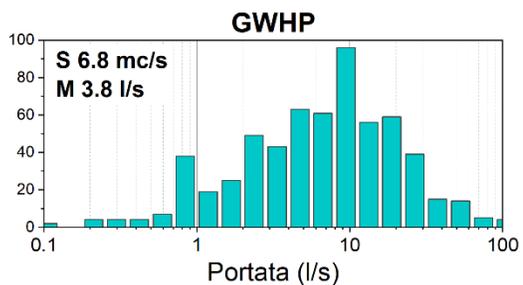
68 % immesso
32 % in CAS



202 Impianti
1749 Sonde
184 km

Potenza Totale
7 MWt

Energia Totale
8.7 GWht



Logica procedurale

Regionale

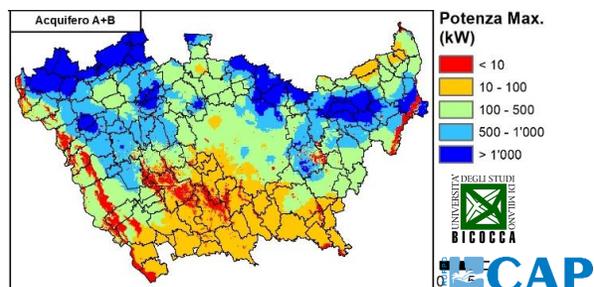
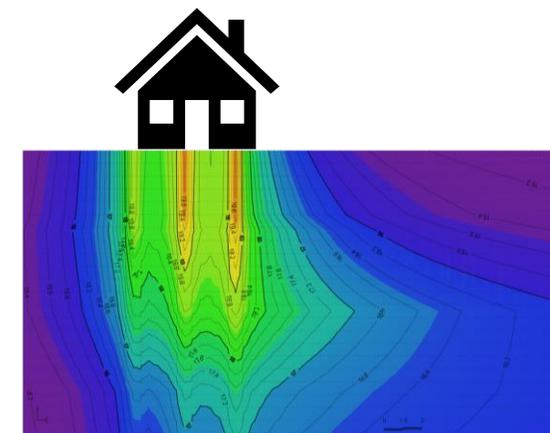
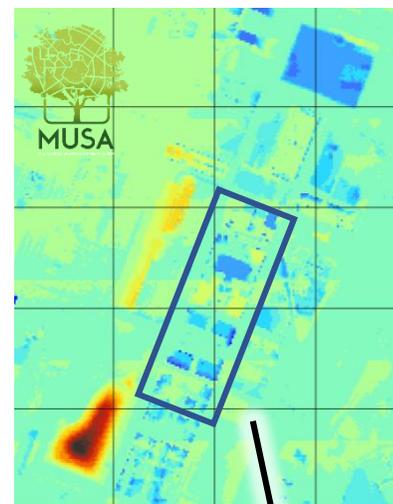
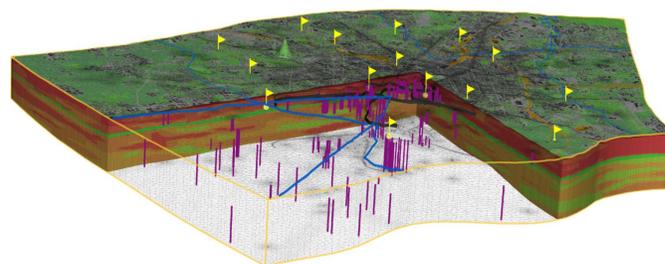
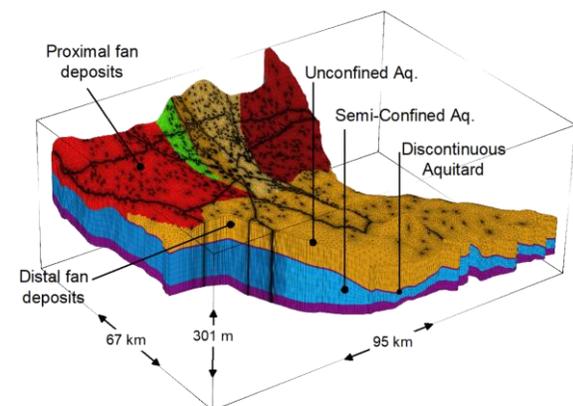
Metropolitana

Distretto

Impianto

Pianificazione/gestione a scala

Procedura autorizzativa



- × Quantificazione risorsa
- × Pianificazione e strategia gestione geo-energetica
- × Impatto complessivo sulla risorsa
- × Interferenze a lungo termine
- × Interferenze con altre strutture e infrastrutture

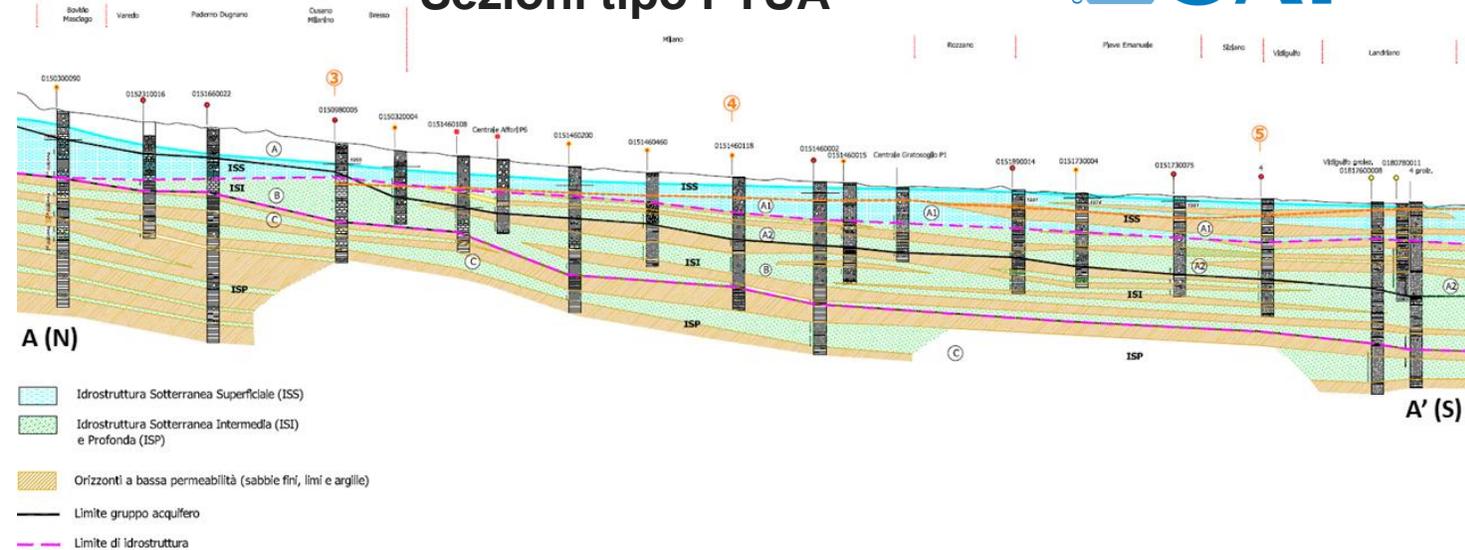


- ✓ Impatto locale sulla risorsa
- ✓ Interferenze tra sistemi limitrofi
- ✓ Cortocircuitazione sistema

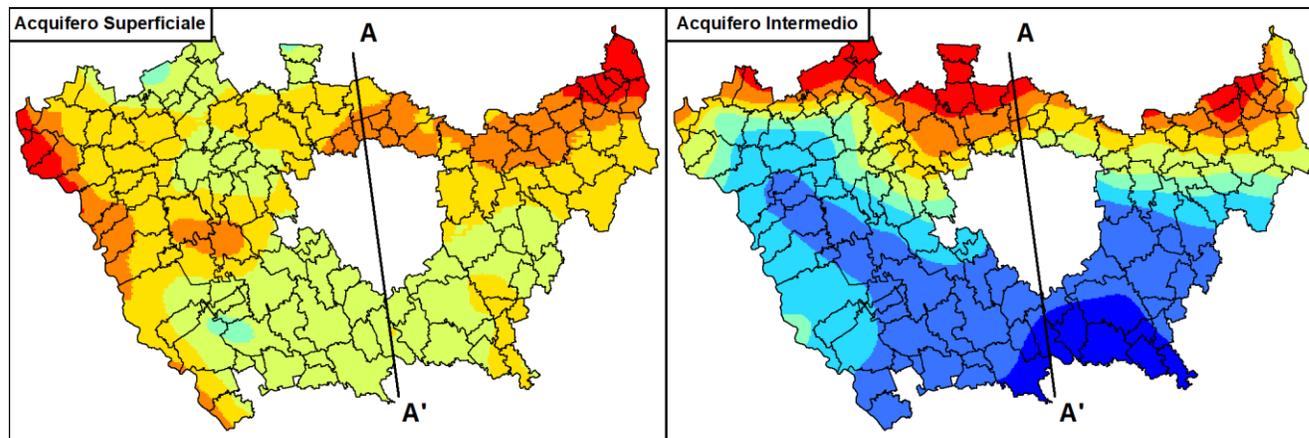
Stratigrafia e sottosuolo

SCALA CRONO-STRATIGRAFICA (milioni di anni)	SCALA MAGNETO-STRATIGRAFICA	BIOSTRATIGRAFIA A NANNOFOSSILI CALCAREI	UNITÀ STRATIGRAFICHE	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE TRADIZIONALI	UNITÀ IDROGEOLOGICHE ED IDROSTRATIGRAFICHE
0.01 PLEISTOCENE SUPERIORE 0.12	MNN2h MNN2i	MNN2h MNN2i	Foglio 118 Unità di sottosuolo SUPER SISTEMA LOMBARDO SUPERIORE (LS)	FLUVIOGLACIALE WURM Aucct. (Diluvium recente)	I ACQUIFERO GRUPPO ACQUIFERO A
PLEISTOCENE MEDIO	MNN20 MNN10f	MNN20 MNN10f	Foglio 118 Unità di superficie SUPER SISTEMA EMILIANO SUPERIORE (MES)	FLUVIOGLACIALE RISS-MINDEL Aucct. (Diluvium medio-antico)	II ACQUIFERO GRUPPO ACQUIFERO B
	0.78	0.78	SUPER SISTEMA LOMBARDO INFERIORE (LI)	"CEPPO" Aucct.	
	0.99 JARAMILLO 1.07	0.99 JARAMILLO 1.07	SUPER SISTEMA EMILIANO INFERIORE (MES)		
	1.24	1.24	SUPER SISTEMA QUATERNARIO MARINO Qm	VILLAFRANCIANO Aucct.	III ACQUIFERO GRUPPO ACQUIFERO C
CALABRIANO	MNN19c MNN19d	MNN19c MNN19d	SUPER SISTEMA PADANO (PD)		GRUPPO ACQUIFERO D
	1.49	1.49			

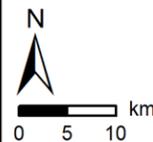
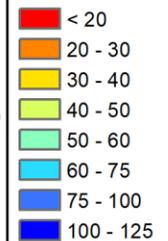
Sezioni tipo PTUA



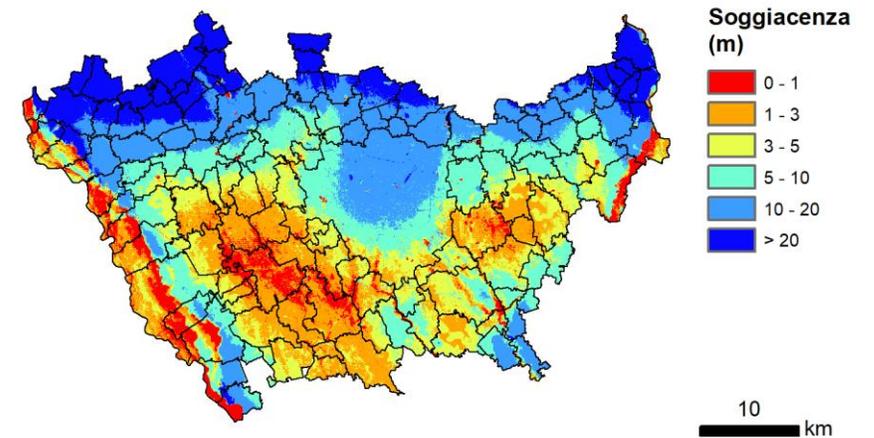
Spessore gruppi acquiferi



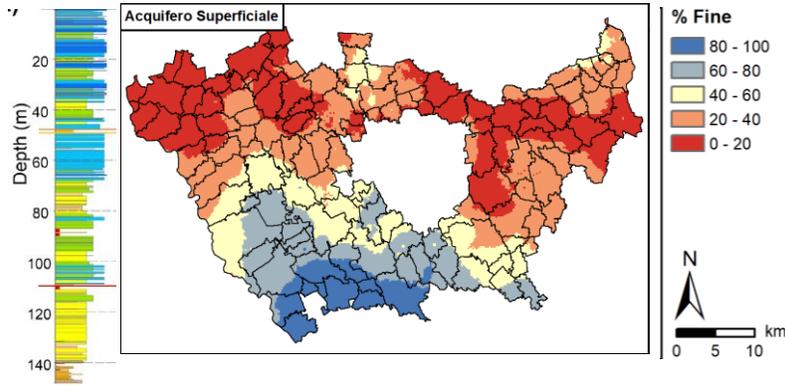
Spessore (m)



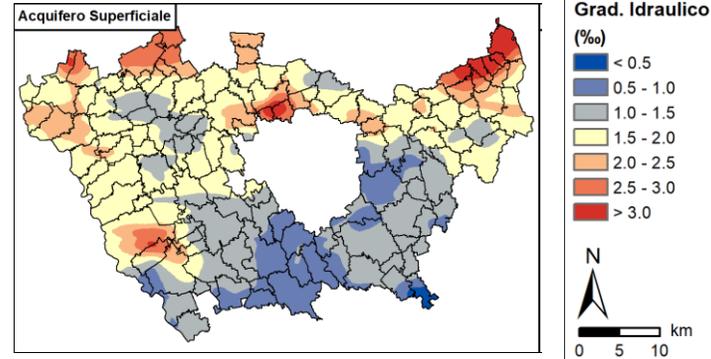
Soggiacenza



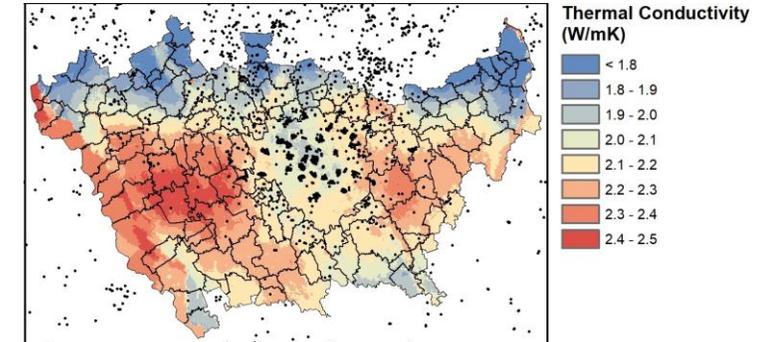
Depositi fini



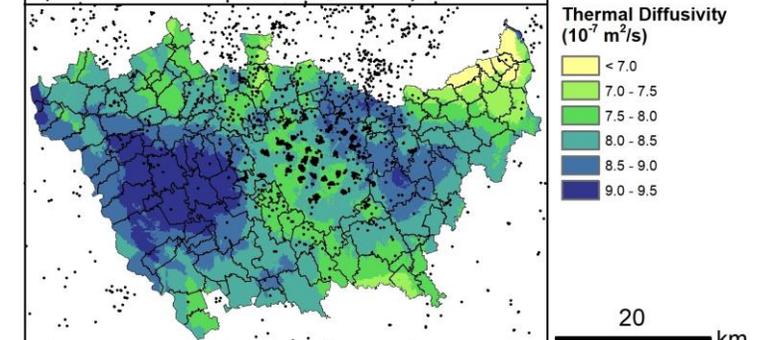
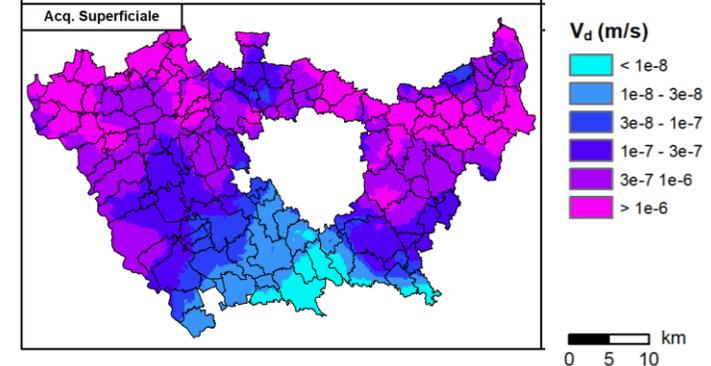
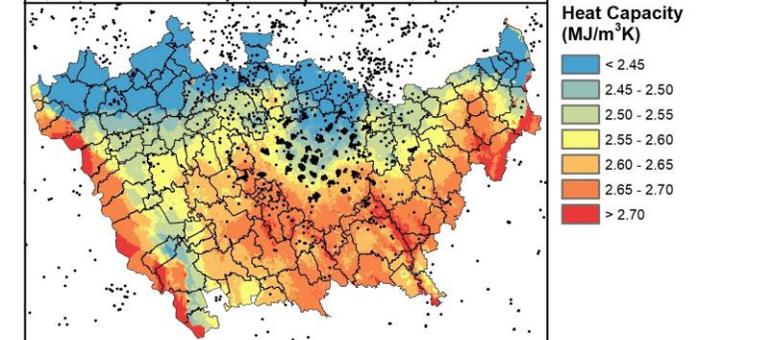
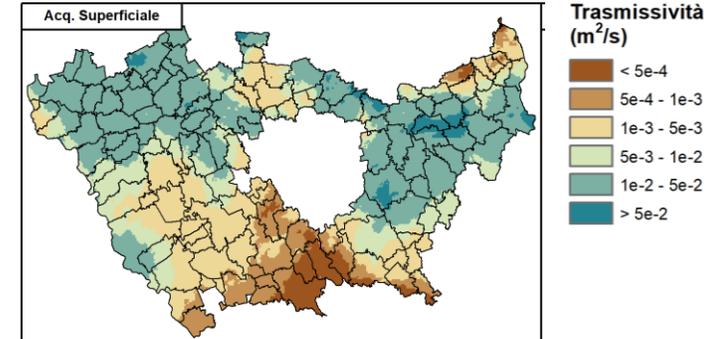
Gradiente idraulico



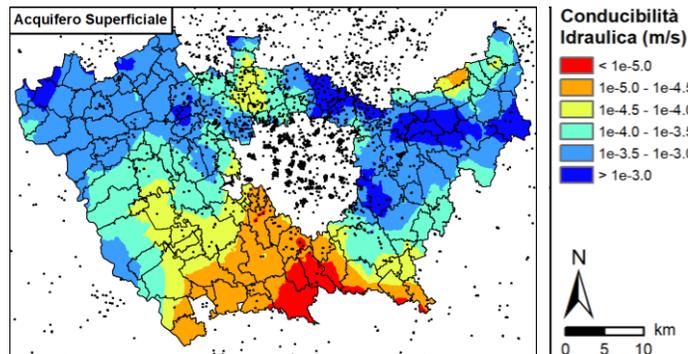
Conducibilità, diffusività e capacità



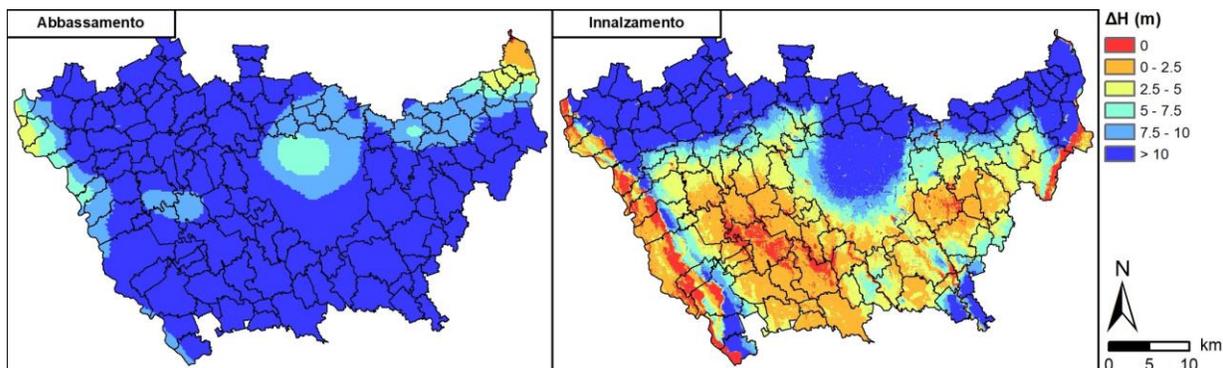
Trammissività e Velocità di flusso



Conducibilità idraulica equivalente

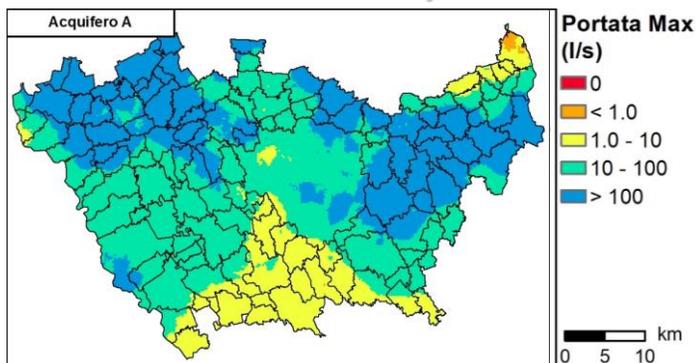


Oscillazione massima

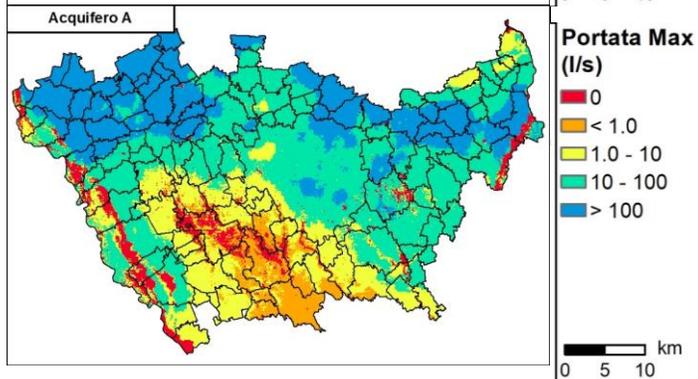


Portata massima impianto

Abbassamento

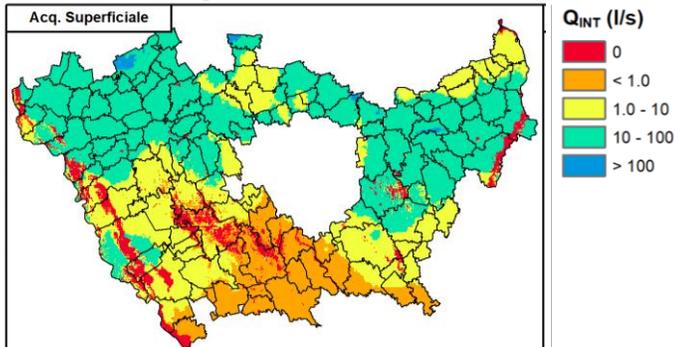


Innalzamento

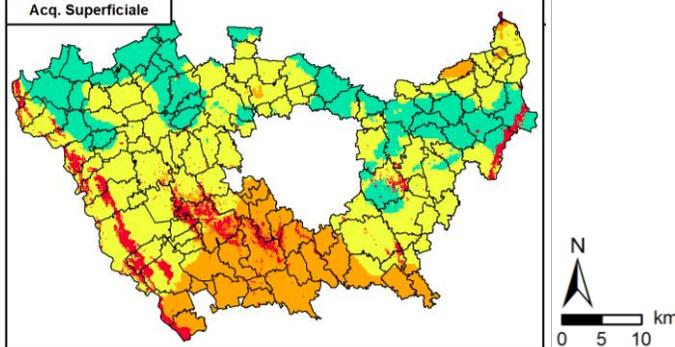


Interazione/cortocircuitazione

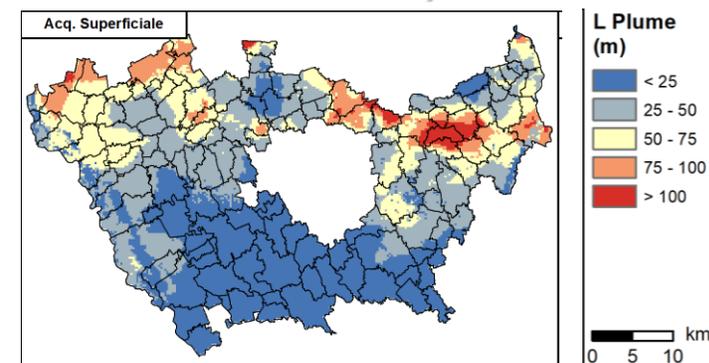
$d = 250m$



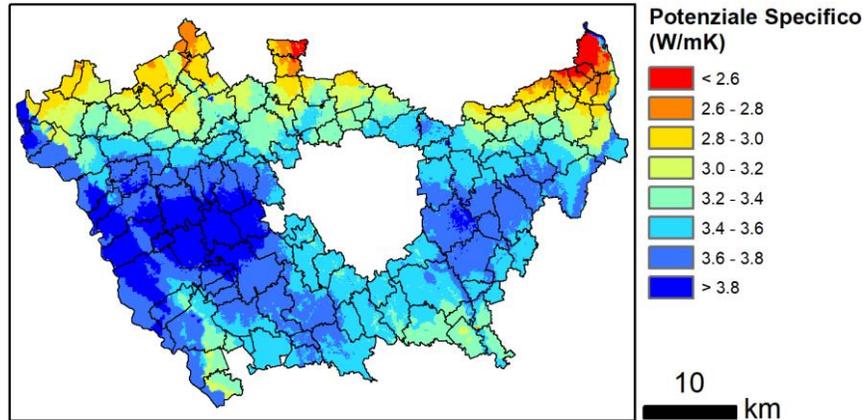
$d = 100m$



Interazione esterna: pennacchio

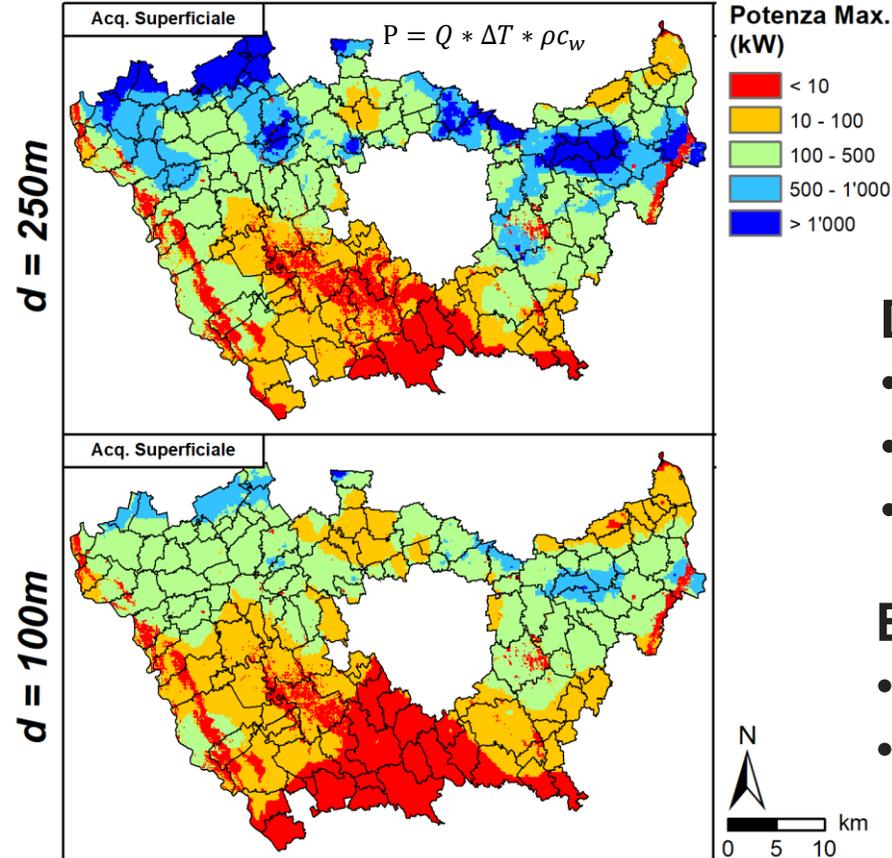


GSHP



$$P = \frac{\Delta T}{\left(\frac{q_h * EFLH_h - q_c * EFLH_c}{8760} \right) * R_{ga} + q_h * (R_b + PLF * R_{gm} + F_{sc} * R_{gs})}$$

GWHP



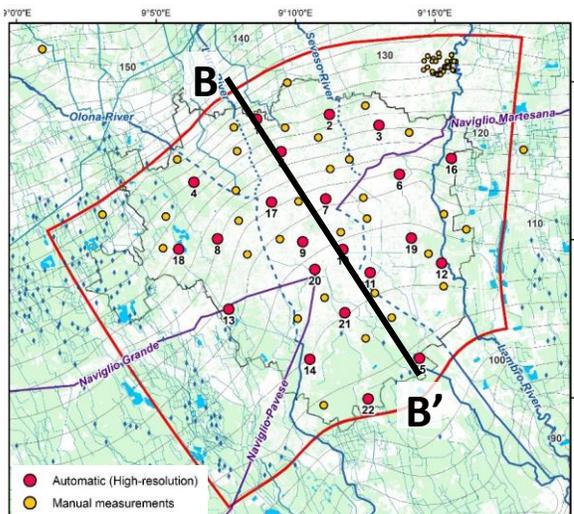
Da confrontare con:

- Infiltrazione efficace annua
- Sollevato idropotabile
- Scambio termico esistente

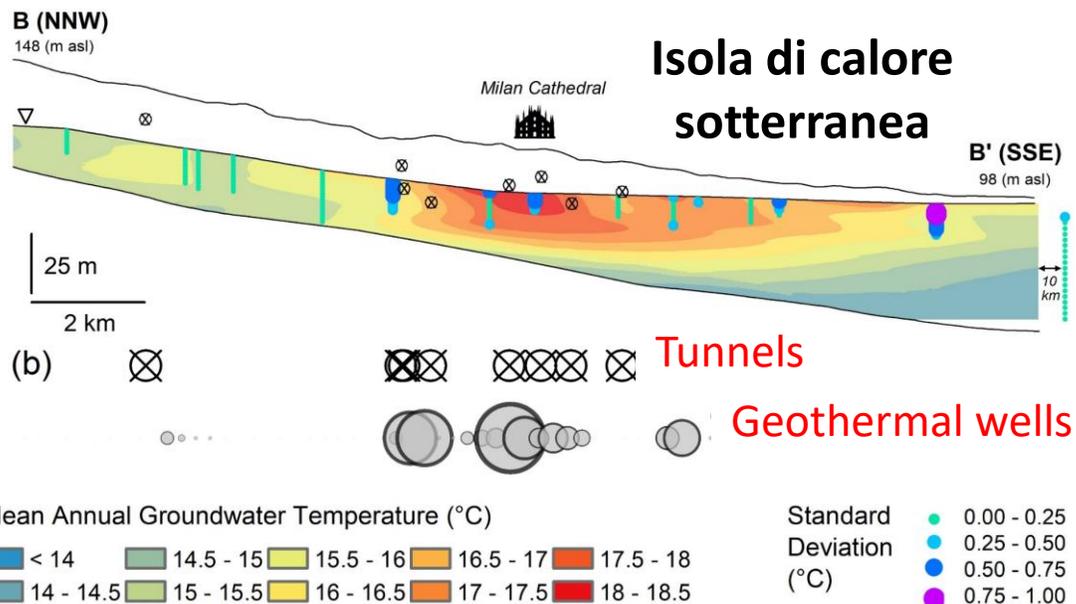
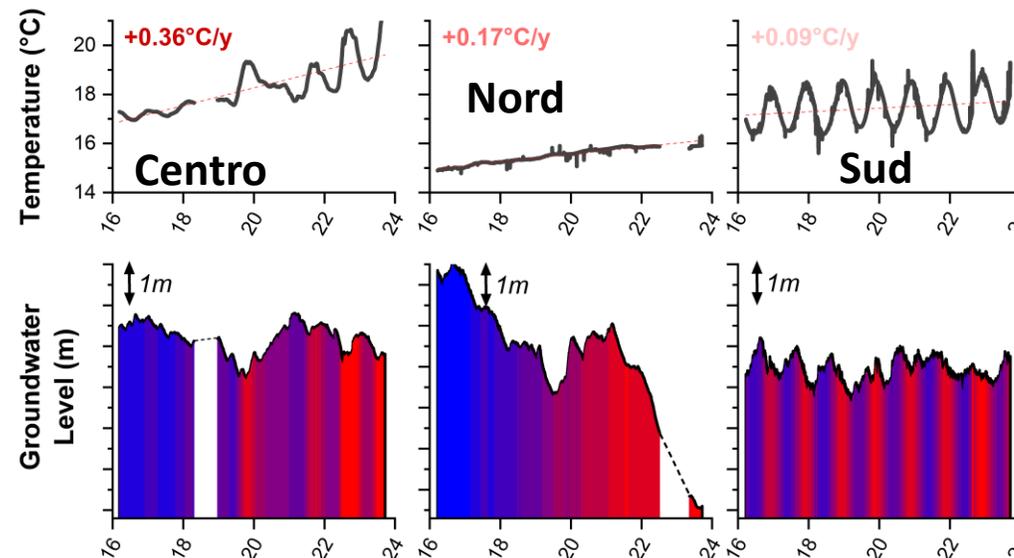
Bilancio idrico sotterraneo:

- Con rimmissione
- Senza rimmissione

● 22 punti di monitoraggio

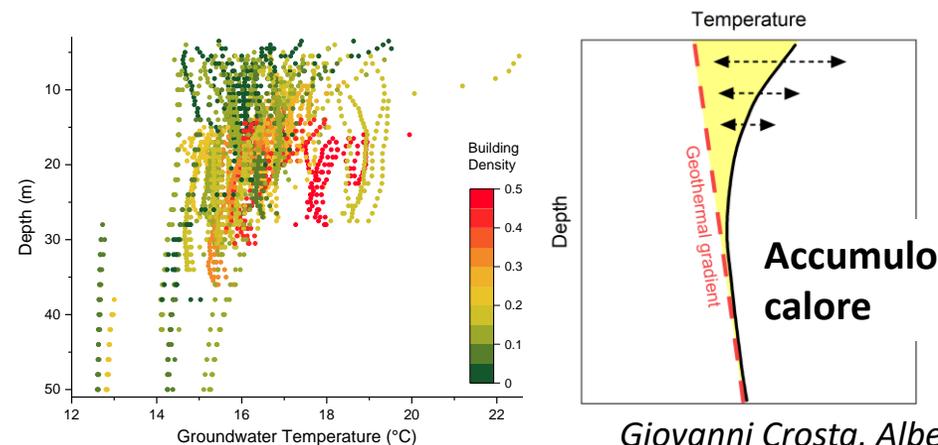


04/2016 → Serie temporali carico/temperature a prof. specifica

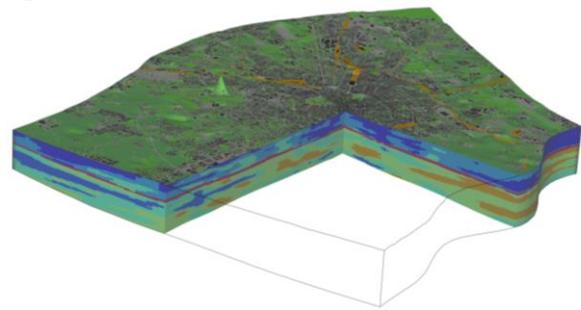
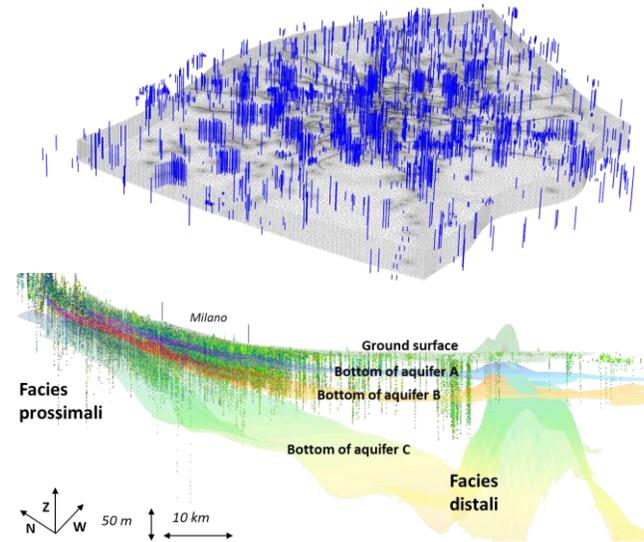


● 61 punti di monitoraggio

06/2019 → Profili verticali di temperatura in piezometro

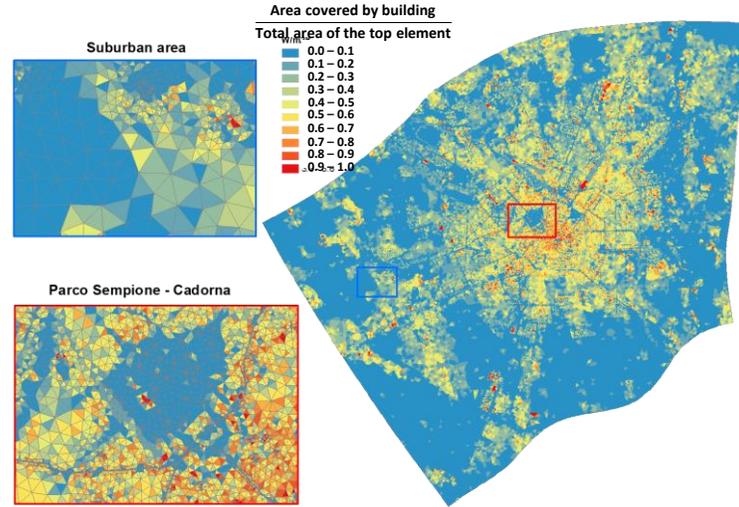


Geologici e idrostratigrafici



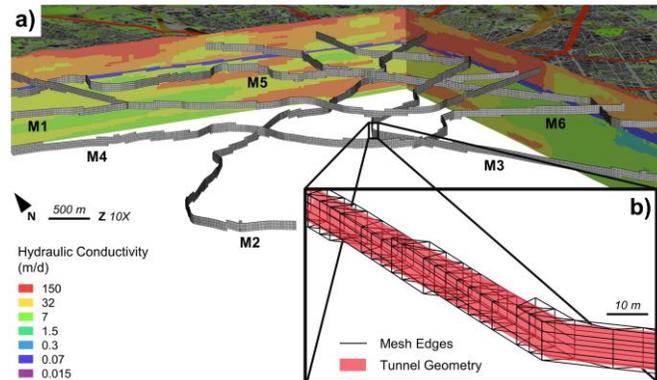
Edificato-Usolo Suolo:

Densità, tipo urbanizzato, fabbisogno energetico edificio



Infrastrutture sotterranee:

Gallerie metropolitane



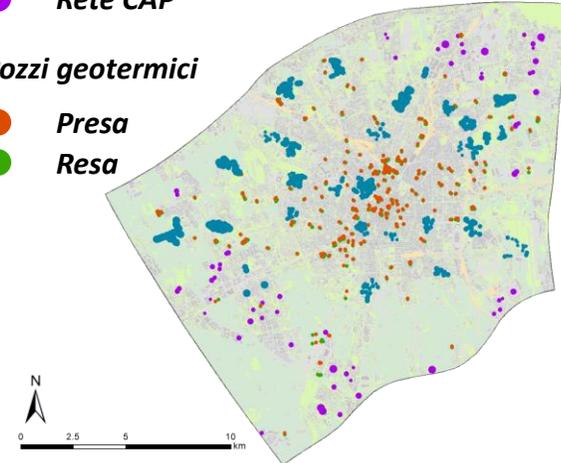
Punti sollevamento/iniezione:

Pozzi idropotabili

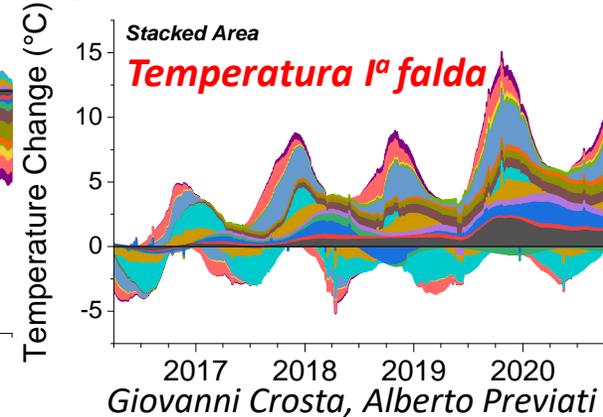
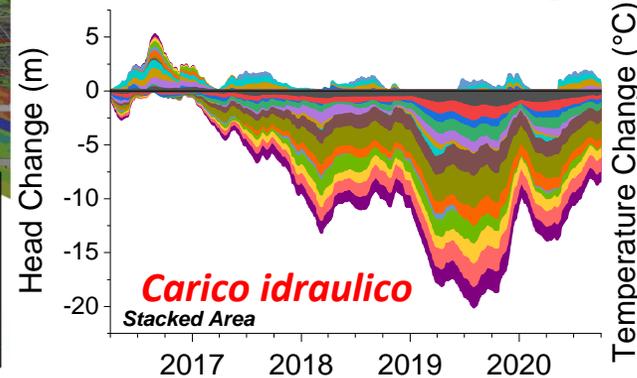
- Rete MM
- Rete CAP

Pozzi geotermici

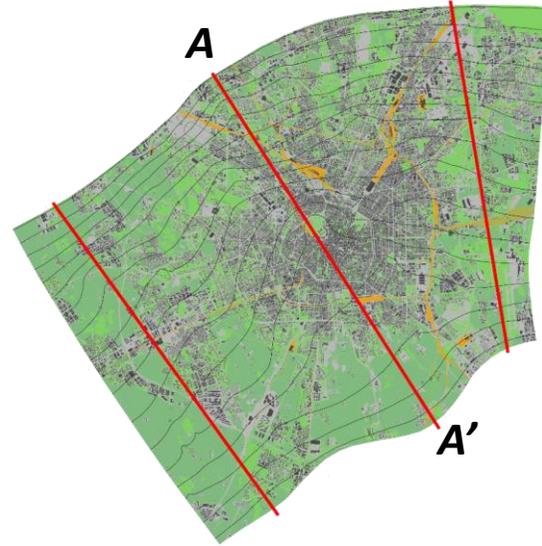
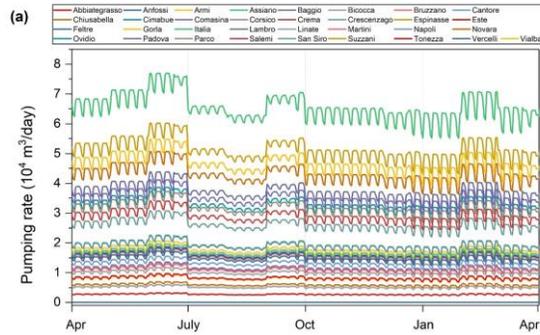
- Presa
- Resa



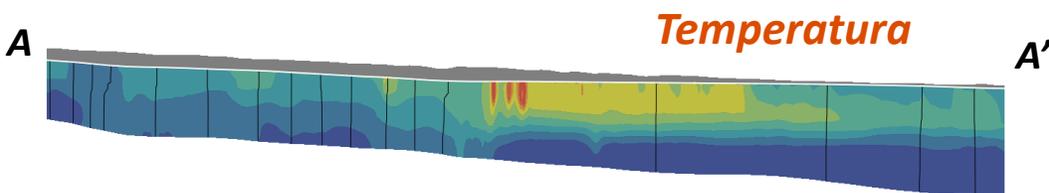
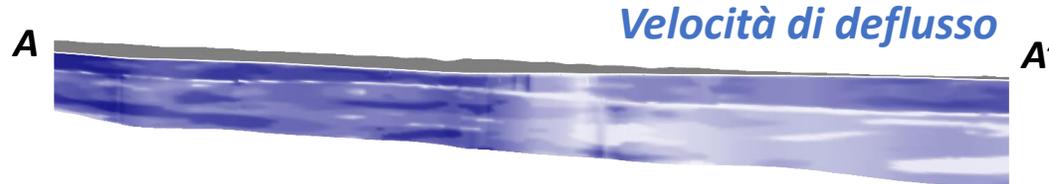
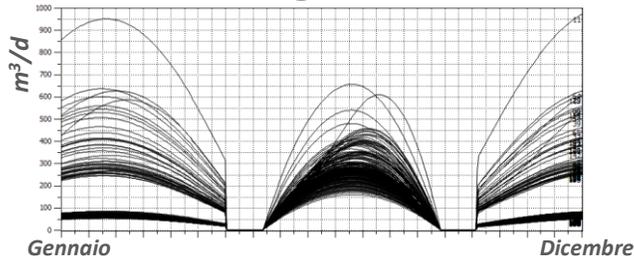
Serie storiche: variabili idrogeologiche



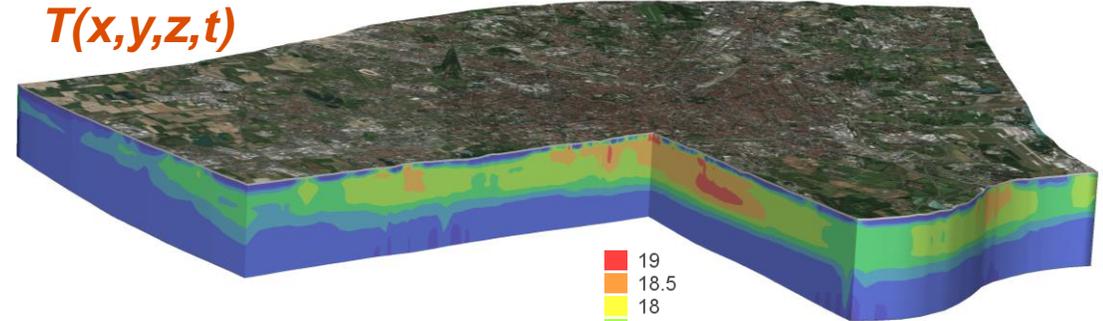
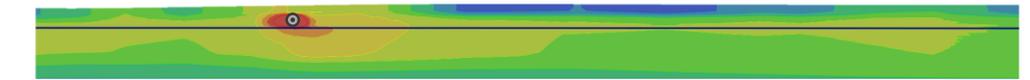
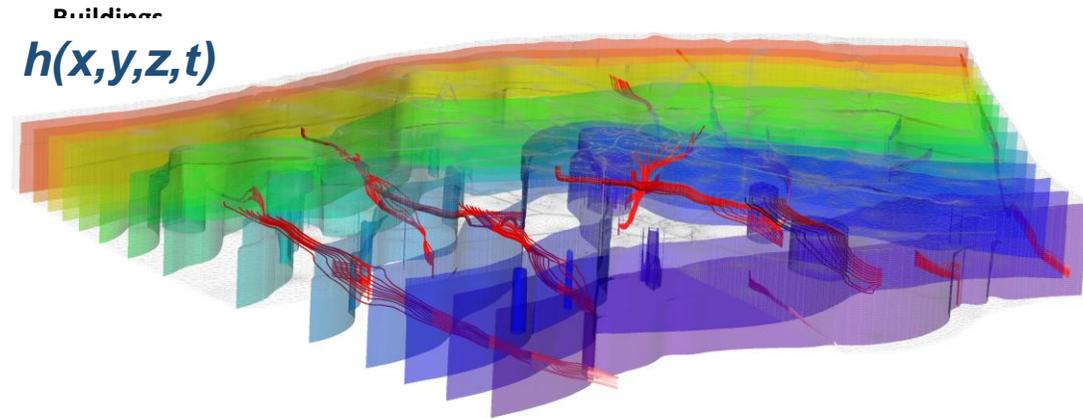
Pozzi idropotabili: $2.95 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$



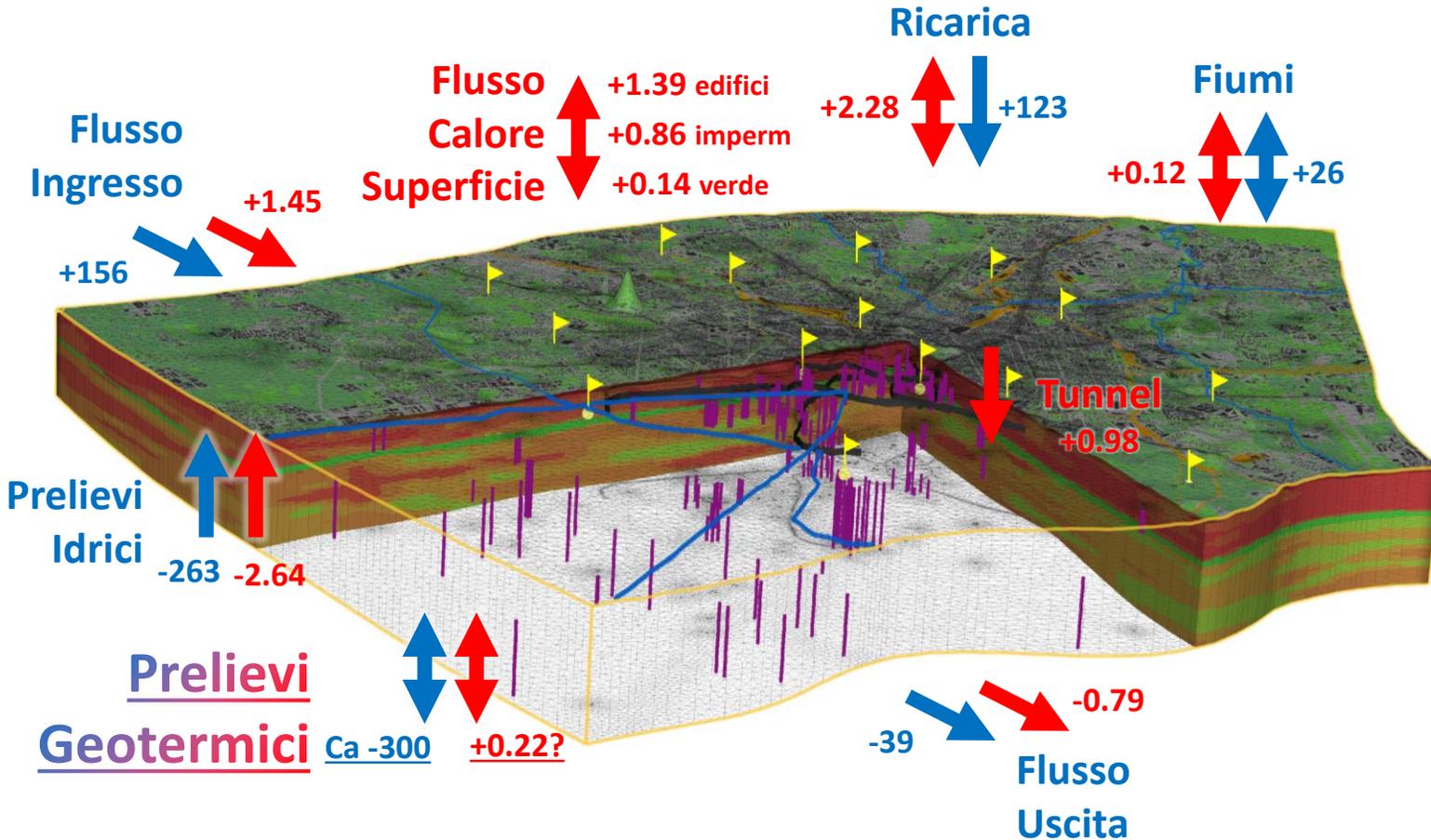
Pozzi geotermici



Effetto infrastrutture sotterranee



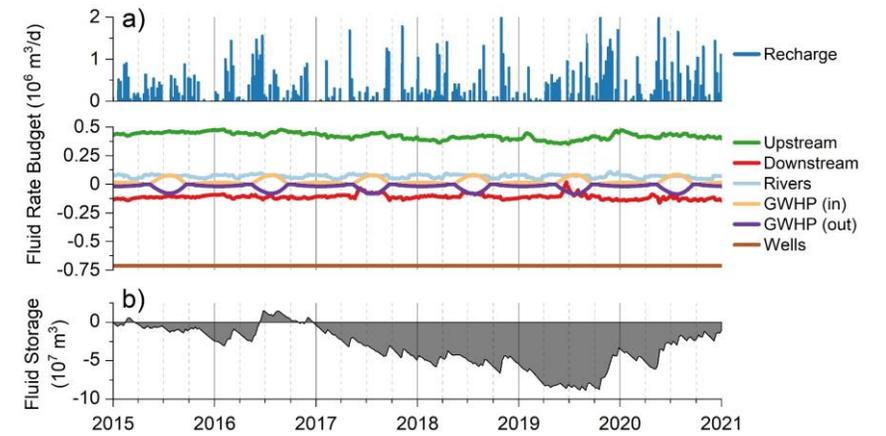
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152119>



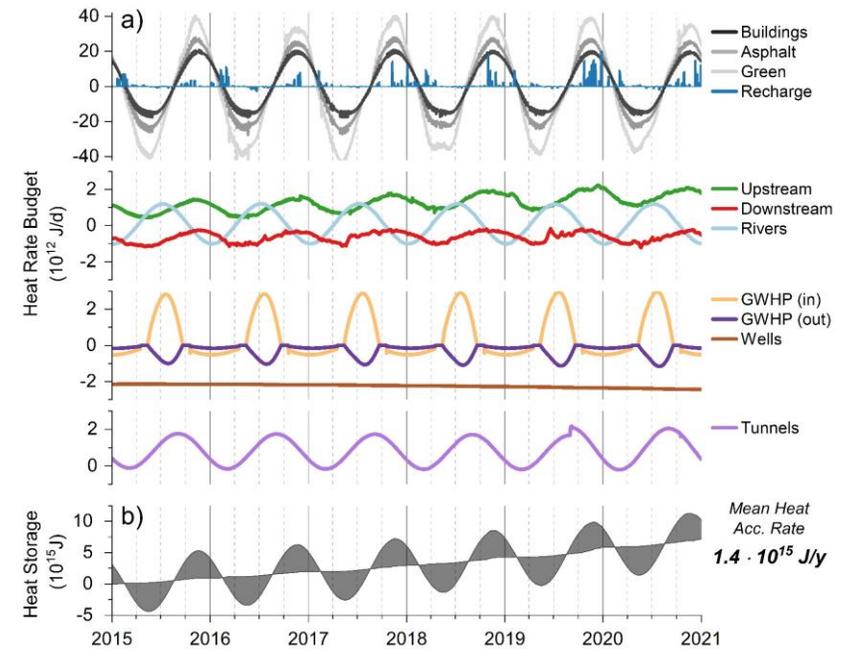
* 10^6 m³/a

* 10^2 GWh/a

Idrogeologico

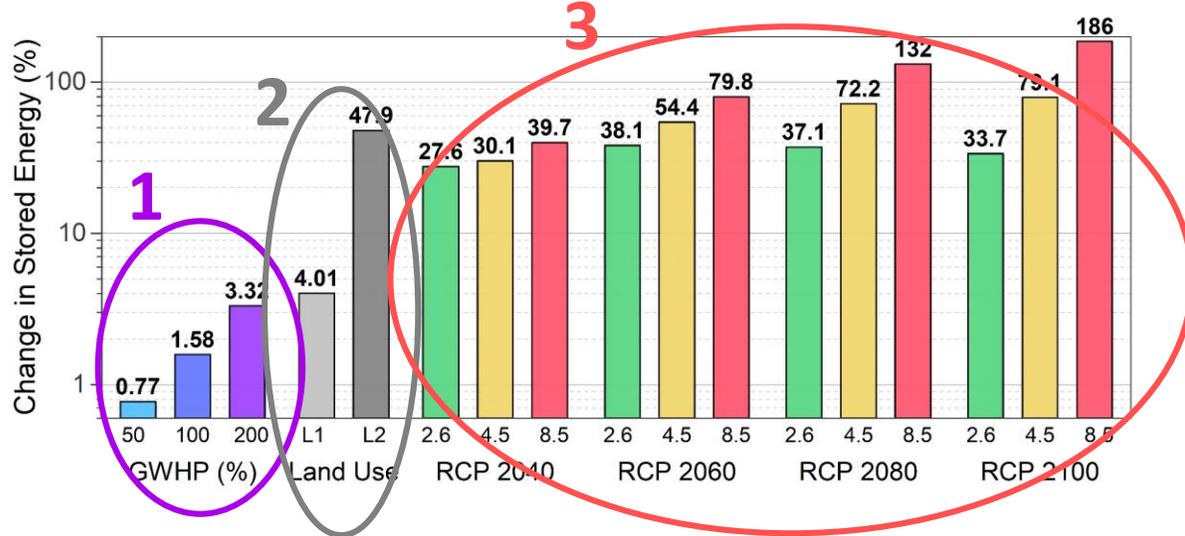


Termico



Regime Termico

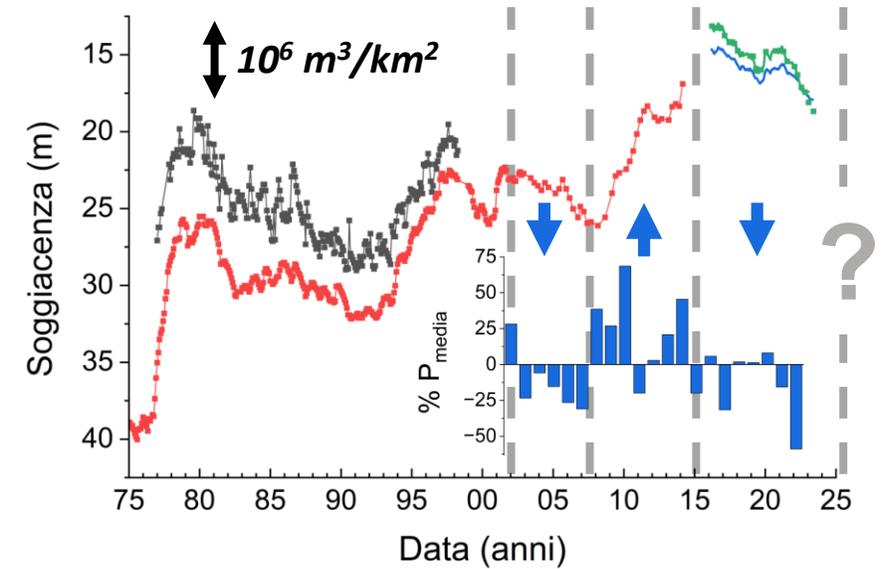
- 1. Usi Geotermici
- 2. Urbanizzazione
- 3. Variazione Climatica
Temperatura



+

Regime Meteo-Idrogeologico

4. Precipitazioni e Ricarica



Regime Idrogeo-Termico

Raccolta dati

- Rete di monitoraggio → *di controllo, di sistema, di impianto (MBS) → qualità acqua*
- Dati → *topografici ed edificato*
- Alimentazione di un database «pubblico» degli impianti → *parametri/variabili*

Realizzazione di un modello numerico termo-idrogeologico:

- Comprensione → stato attuale e sensibilità
- Stima dell'evoluzione del sistema: perturbazioni → *di tipo idrico, termico, climatico*

Risultati:

- Supporto: *alla gestione e pianificazione*
- Supporto: *alla progettazione di impianti → professionisti → autorizzazioni*
- Scelte strategiche: *resa in superficie o in falda, pozzi backup, presenza e precedenza strutture e infrastrutture strategiche*
- Creazione di un *modello «completo» dell'area metropolitana*