

LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



Modellazione numerica come strumento di gestione sostenibile degli emungimenti: potenzialità e trappole

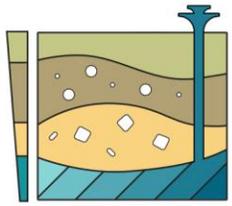
Francesca Lotti

f.lotti@hydrosymple.com



School of
hydrogeological
modelling &
Project-related
strategies

<https://hydrosymple.com>



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Cosa ci aspettiamo da un modello numerico?

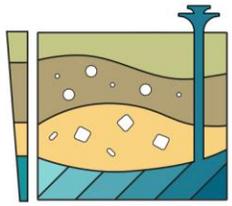
Migliorare le conoscenze vs risolvere un problema



Soluzione di un problema specifico



Migliorare le conoscenze (se fine a se stesso!)



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

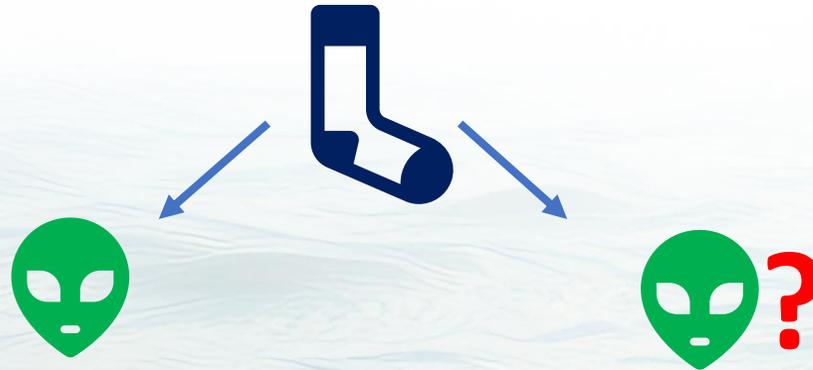
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Cosa ci aspettiamo da un modello numerico?

Domanda: dove sono i miei calzini?



Ipotesi alternativa (H_1)

Gli extra-terrestri hanno invaso casa e rubato i miei calzini.

C'è una possibile correlazione tra due variabili - di solito ciò che il modellista pensa e cerca di confermare con

Certezza

Ipotesi nulla (H_0)

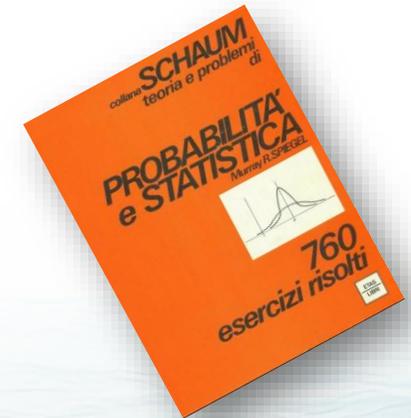
Non sono proprio sicura che siano stati gli alieni. Potrebbero esserci altre spiegazioni alla scomparsa dei miei calzini.

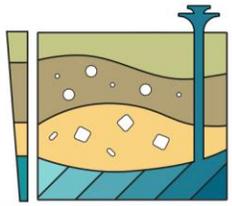
Non c'è correlazione diretta tra due variabili - di solito è l'ipotesi che il modellista vorrebbe respingere, ammettendo un

Range di Possibilità

Un'ipotesi nulla può essere **respinta** se la sua probabilità di verificarsi viene valutata come bassa.

Se non è possibile, è necessario dimostrare che le informazioni disponibili sono **insufficienti per consentire il rifiuto dell'ipotesi.**





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Cosa ci aspettiamo da un modello numerico?

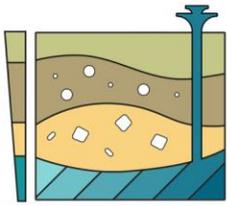
Prodotto vs Processo



- Inviare i dati a un modellista consulente esterno;
- Ottenere il report del modello il prima possibile;
- Se non soddisfatti, incolpare il modellista e chiedergli di cambiare l'output del modello.

Il “**Processo**” è il prodotto...

Se la modellazione genera **discussioni, dubbi, lacune nei dati, incongruenze concettuali**... allora il modello avrà fatto bene il suo lavoro!



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

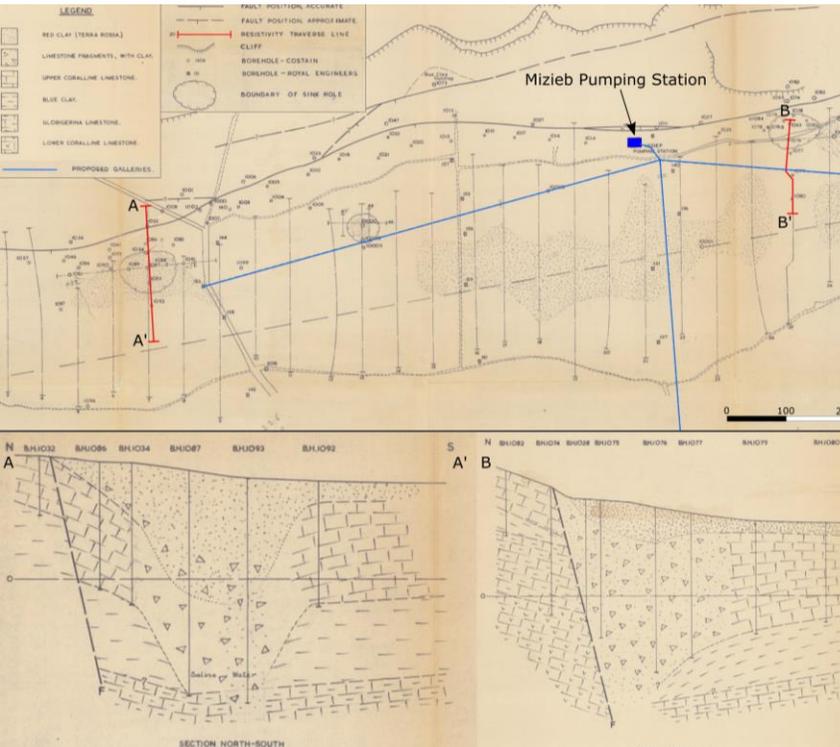
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da



Cos'è che "nutre" un modello numerico?

Data assimilation



MALTA B.H. No. 54.

No. 7, BORING SECTION, R.E.

Light Mt. Type.

BORING CREW: *601/3001*
 DATE COMMENCED: *17. 4. 44.*
 DATE COMPLETED: *24. 4. 44.*

STRATA	THICKNESS	DEPTH
<i>Yellow calcareous marls with thin pebbly bands (Upper Sub. C.)</i>	<i>36</i>	<i>0-36</i>
<i>Transition zone</i>	<i>2</i>	<i>36-38</i>
<i>Grey-green marls (Lower Sub. B.)</i>	<i>86</i>	<i>38-124</i>

TUBES USED: *NIL*
 DRIVE SHOES: *NIL*
 DRIVE CAPS: *NIL*
 OTHER STORES: *NIL*

YIELD: *NIL*
 GROUND LEVEL O.D.: *15' A.S.L.*
 REST WATER LEVEL: *3.2*
 WATER STRUCK AT DEPTHS: *NIL*

DETAILS OF PUMPING/BAILING TESTS: *See remarks opposite*

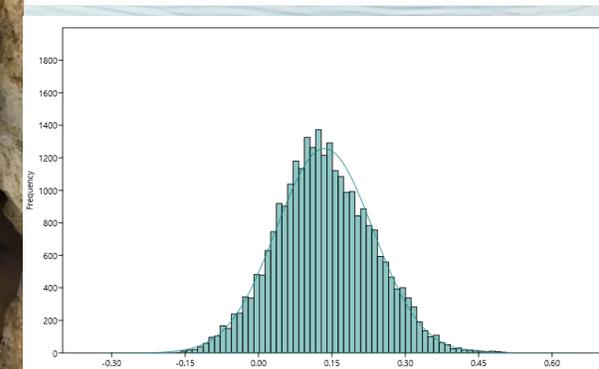
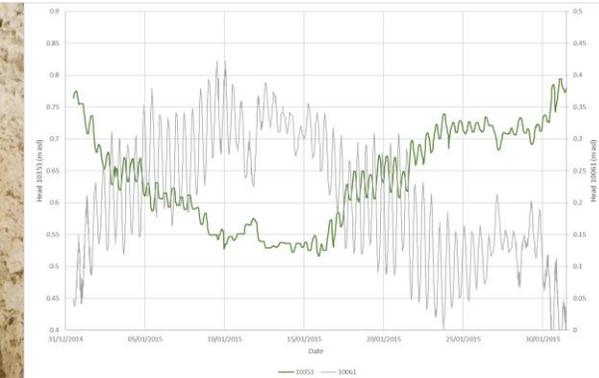
INDICATED YIELD: *negligible*
 RECOMMENDED RATE OF PUMPING: *0 g.p.h.*
 RECOMMENDED TYPE OF PUMP: *NIL*

QUALITY OF WATER: *Salty*

Please find Section of Borehole on Reverse.

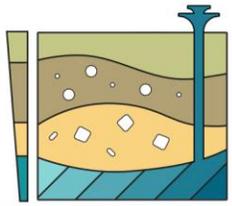
Station: *Malta*
 Date: *23. 4. 44.*

T. G. ... O.C.
 No. 7, Boring Section, R.E.
 SERIAL NUMBER, 69.



Process = veicolo che consente il FLUSSO dell'informazione da dove risiede...

fino a dove SERVE!!



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

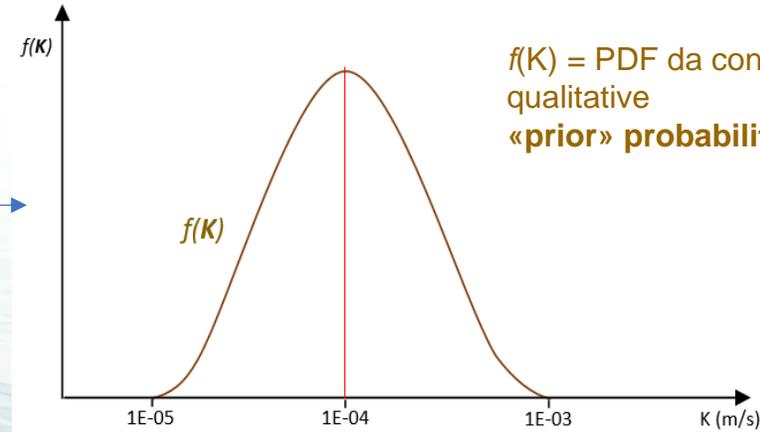
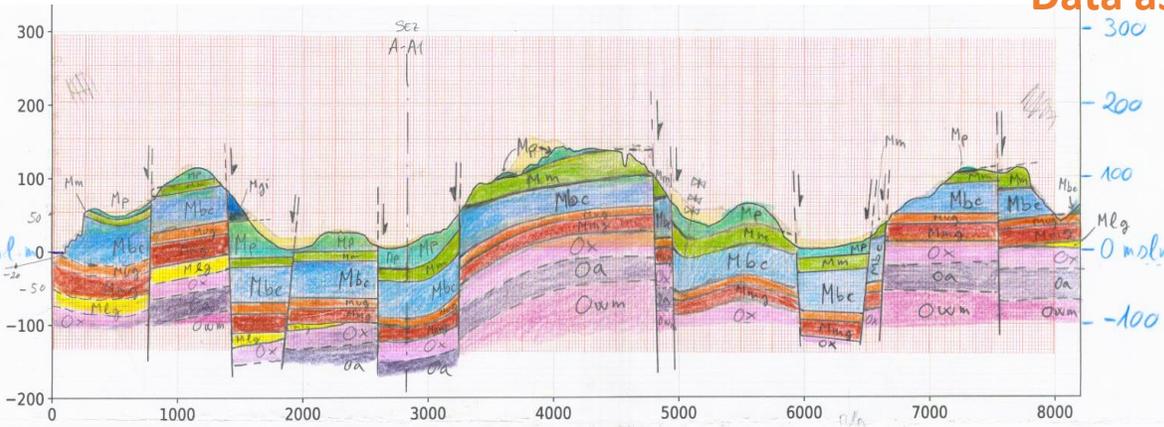
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

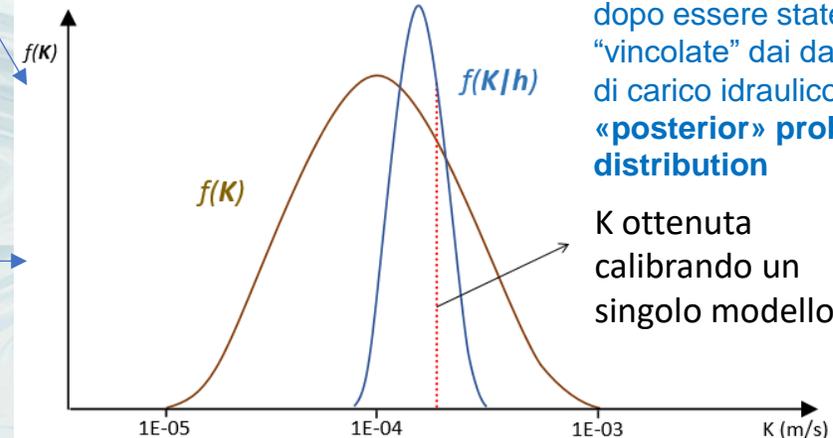
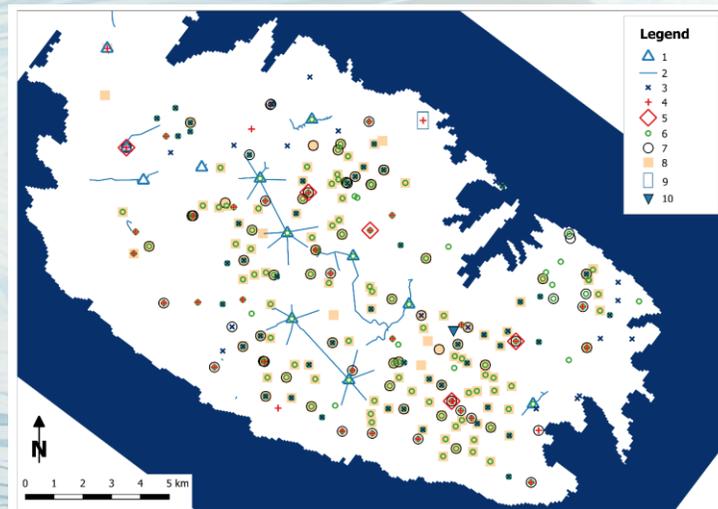


Cos'è che "nutre" un modello numerico?

Data assimilation



$f(K)$ = PDF da conoscenze qualitative
«prior» probability distribution



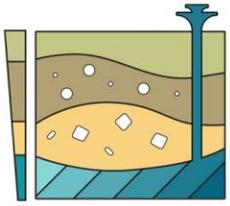
$f(K|h)$ = PDF da conoscenze qualitative dopo essere state "vincolate" dai dati osservati di carico idraulico h .
«posterior» probability distribution

K ottenuta calibrando un singolo modello



[Lotti et al. \(2021\). NECoM \(Numerically Enhanced COncceptual Modelling\) of two small Maltese Aquifers: Mizieb and Pwales. Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater, 10\(1\).](#)

<https://doi.org/10.7343/as-2021-496>



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

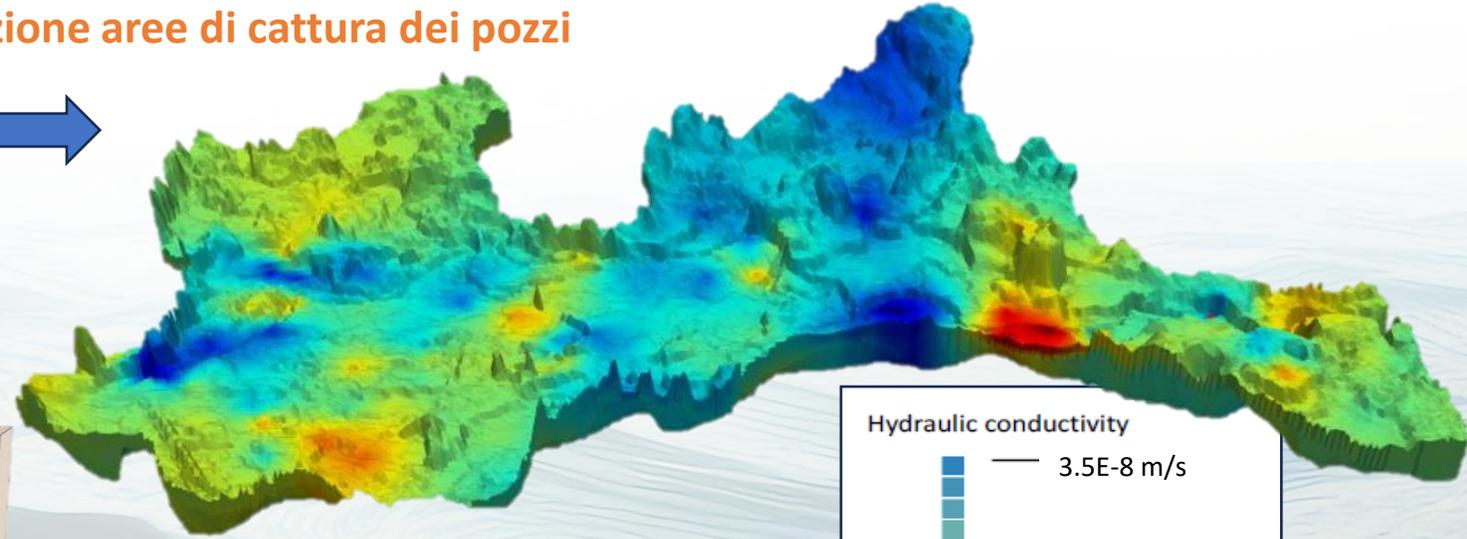
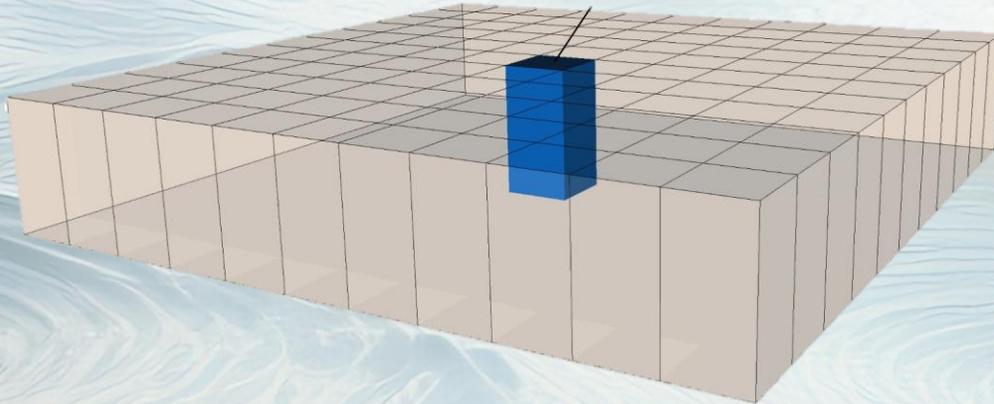
Due esempi di Modelli Numerici

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

MODFLOW

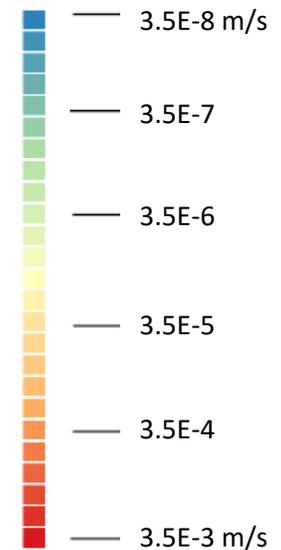


Pozzo di pompaggio

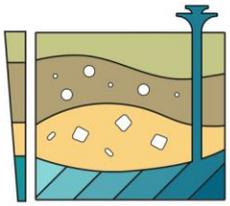


- Gradiente idraulico 0.0001 – 0.01

Hydraulic conductivity



- Conducibilità idraulica 2.3E-4 m/s
- Gradiente idraulico 0.003



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

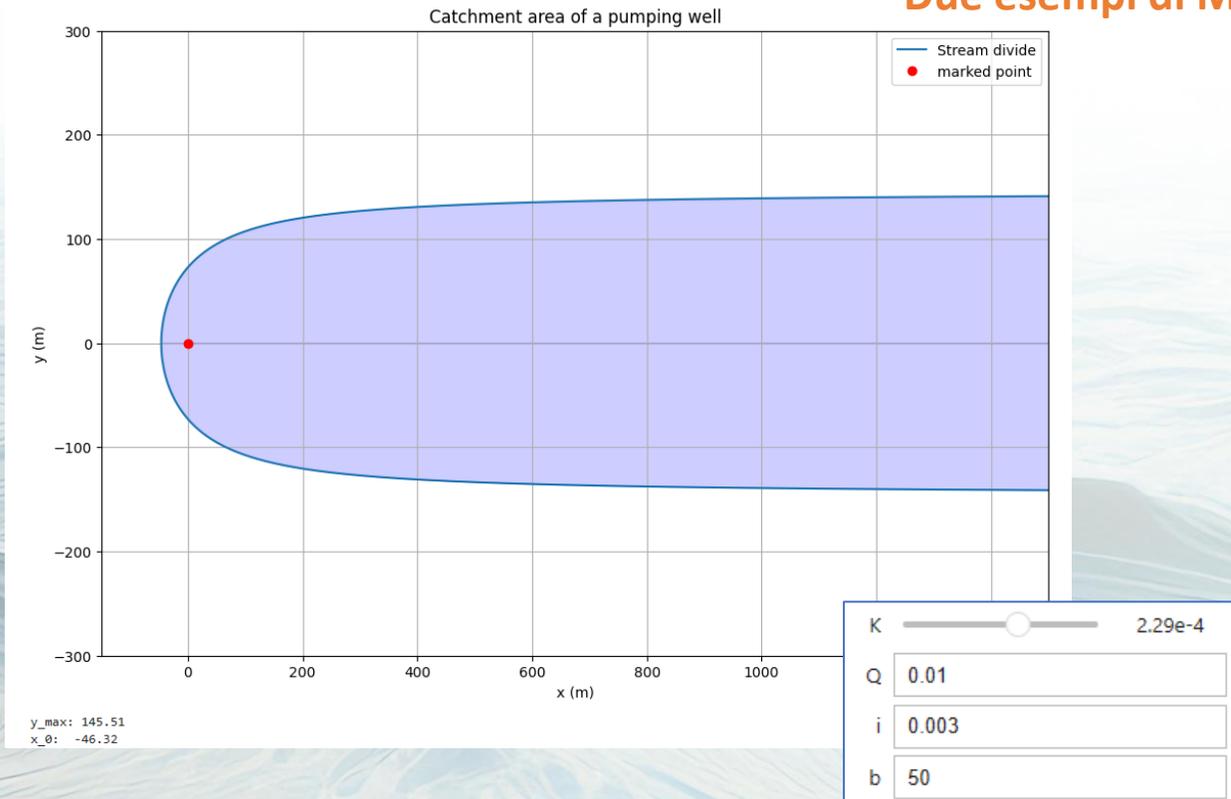
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

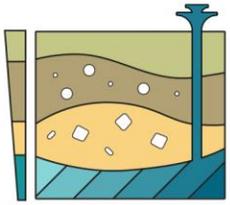


Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Due esempi di Modelli Numerici



- Q = 0.01 # Portata, in m³/s
- K = 2.3E-4 # Conducibilità idraulica in m/s
- i = 0.003 # Gradiente idraulico «regionale»
- b = 50 # Spessore dell'acquifero **omogeneo ed isotropo** in m



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

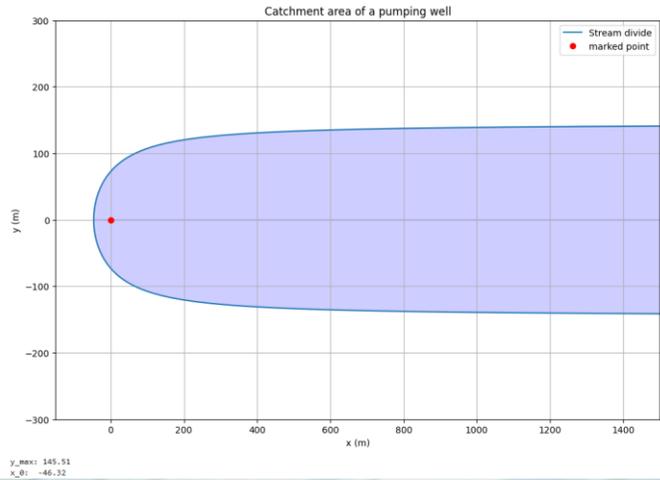
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

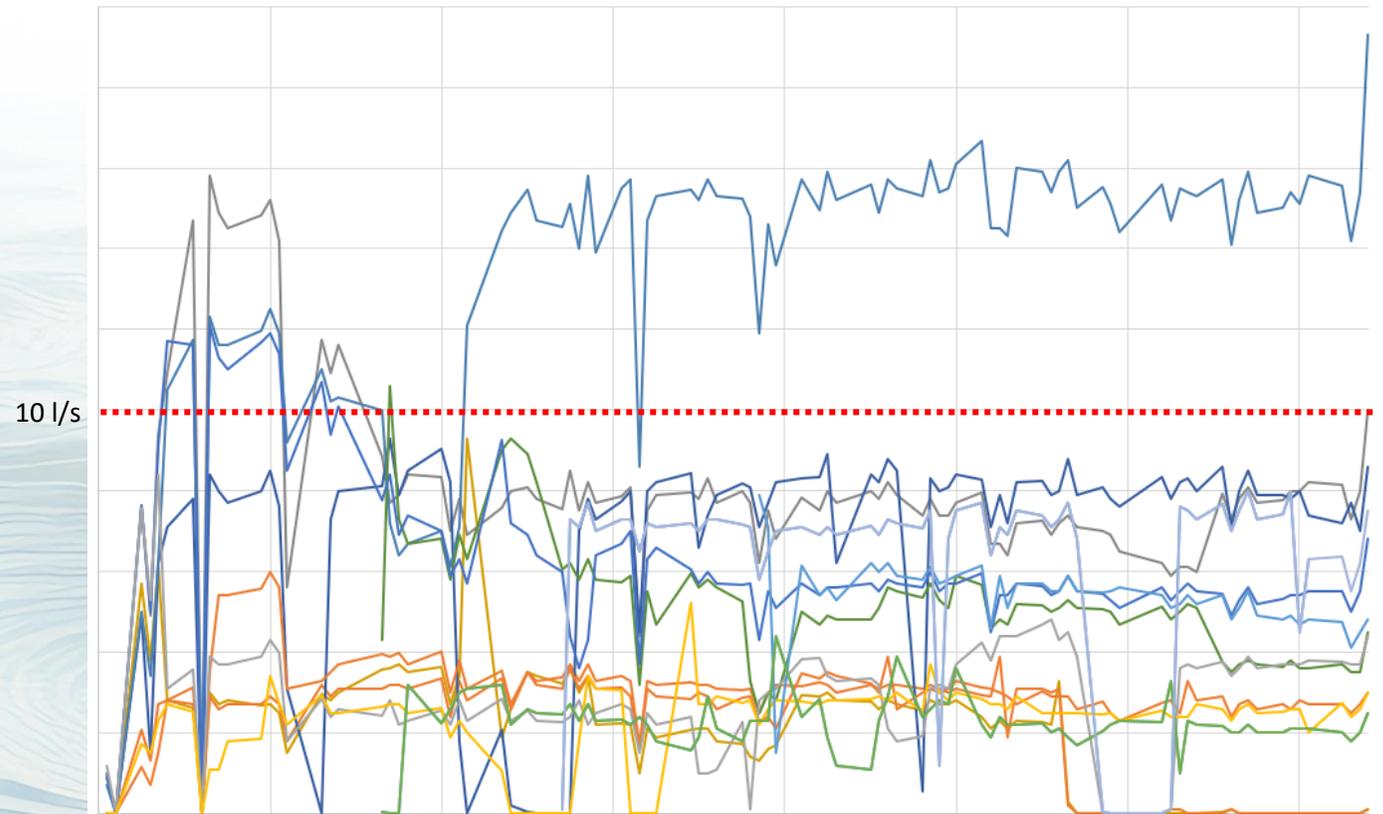
ORDINE
geologi
MARCHE

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

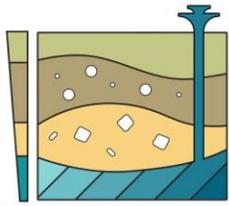
Definizione degli INPUT



K	<input type="text" value="2.29e-4"/>
Q	<input type="text" value="0.01"/>
i	<input type="text" value="0.003"/>
b	<input type="text" value="50"/>



Q = 0.01 # Portata di emungimento, in m³/s



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

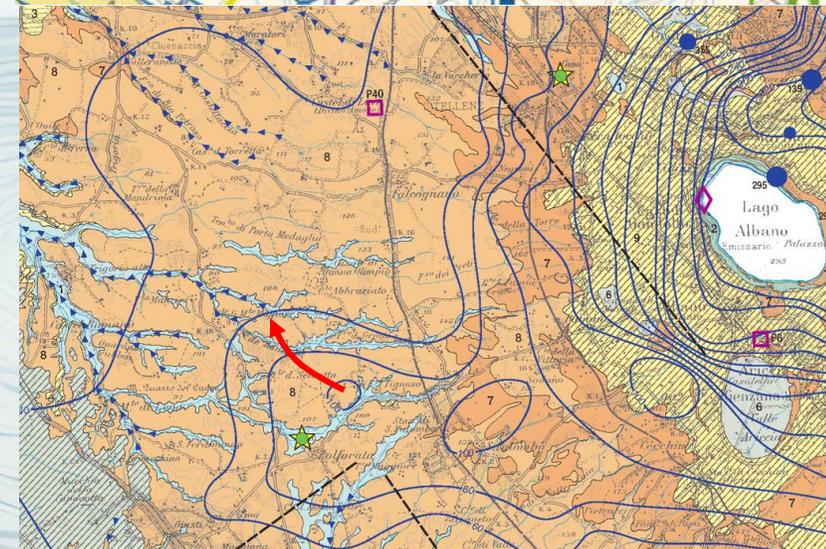
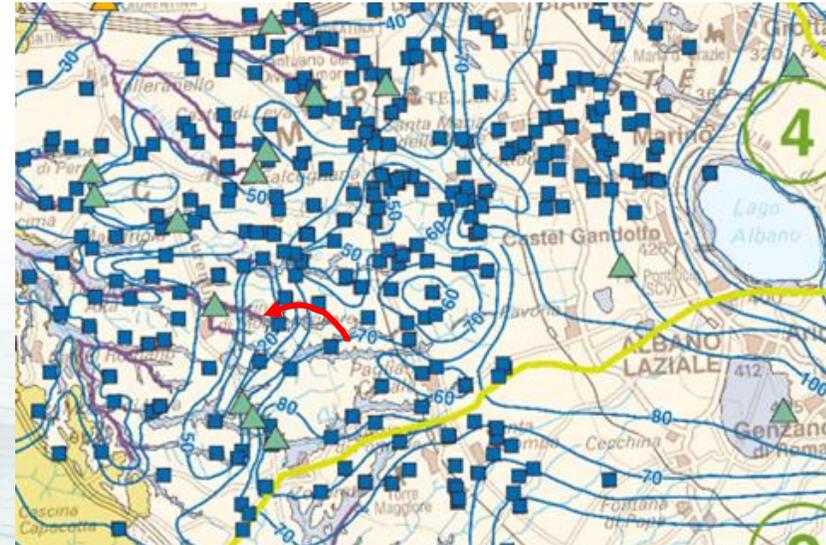
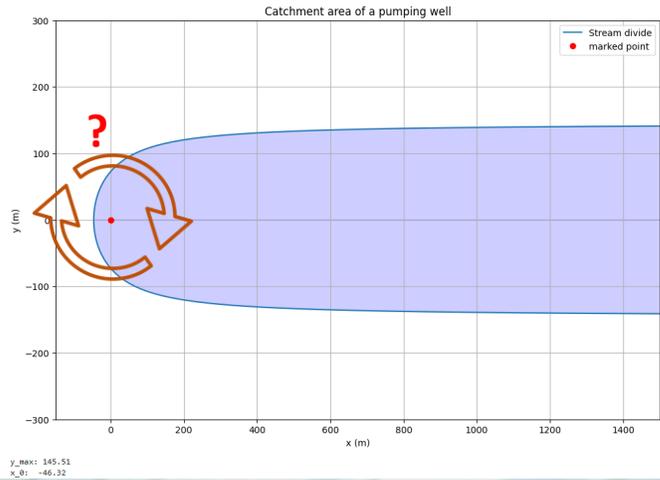
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da



Delimitazione aree di cattura dei pozzi

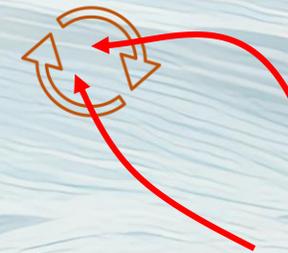
Definizione degli INPUT

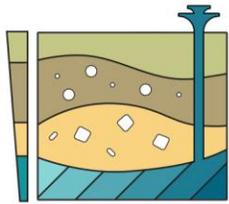


$$i_{\text{medio}} = (70 - 20) / 1400 = 0.036$$

$$i_{\text{medio}} = (100 - 60) / 2000 = 0.020$$

K	<input type="text" value="2.29e-4"/>
Q	<input type="text" value="0.01"/>
i	<input type="text" value="0.003"/>
b	<input type="text" value="50"/>





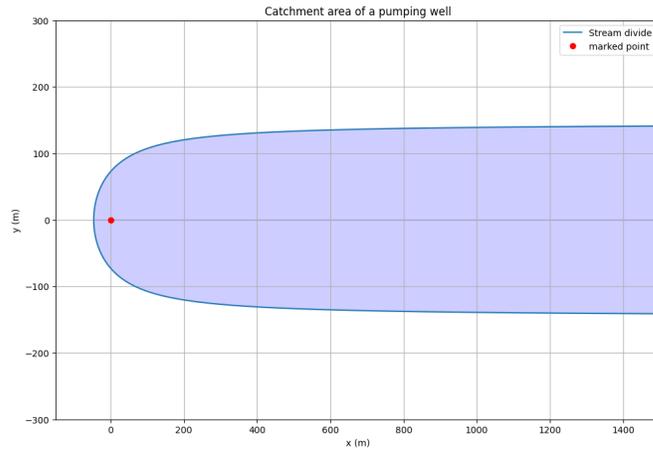
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER A...

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la

organizzato da

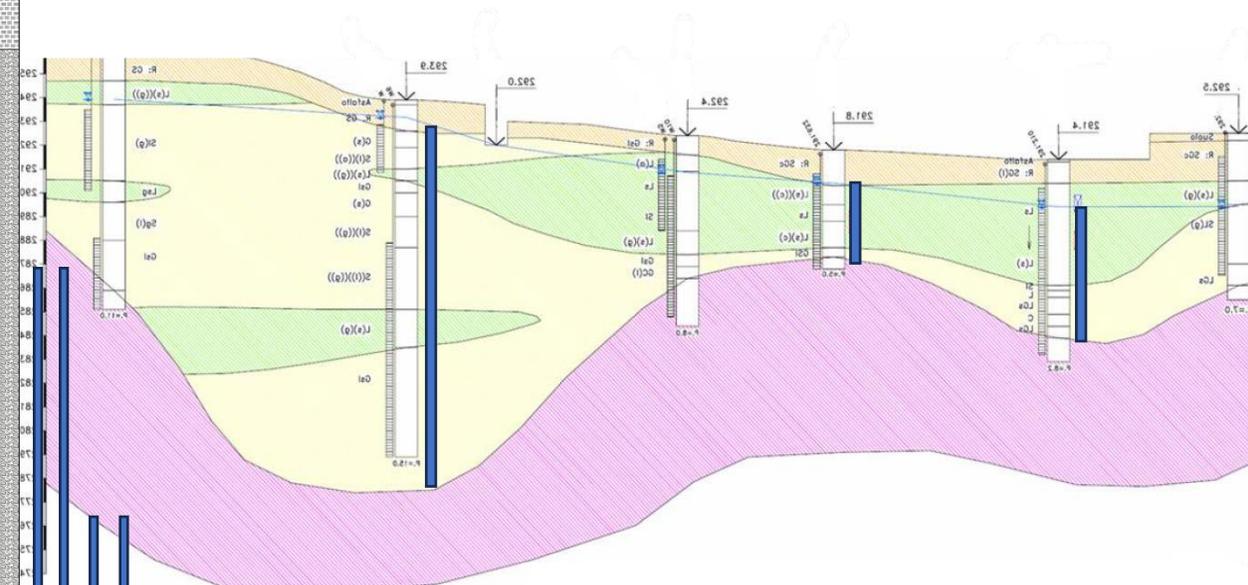
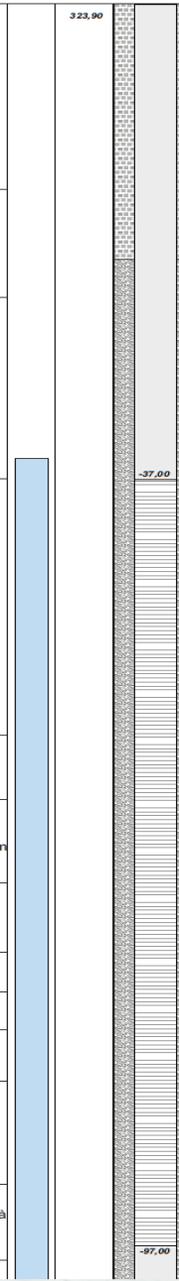
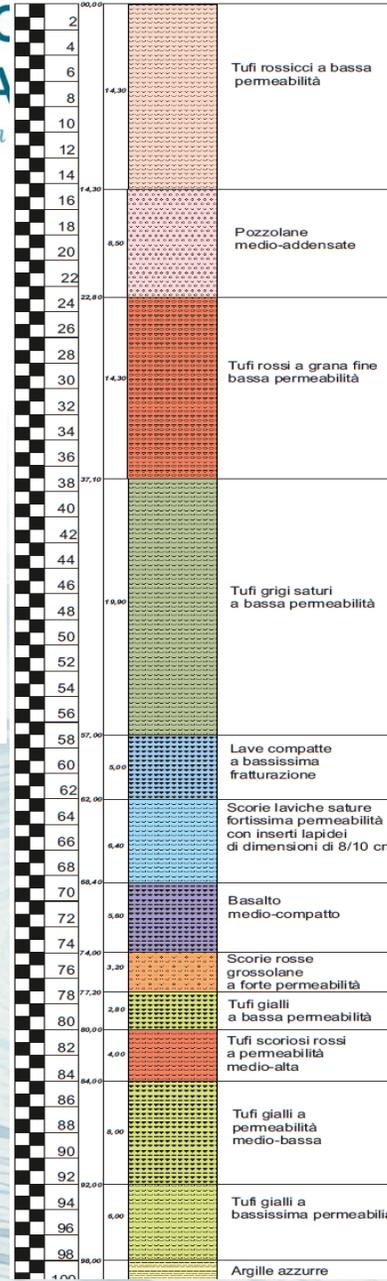


Delimitazione aree di cattura dei pozzi Definizione degli INPUT

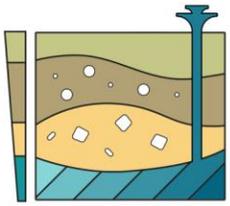


y_max: 145.51
x_0: -46.32

K 2.29e-4
 Q
 i
 b



60 - 48 - 34 - 28 m

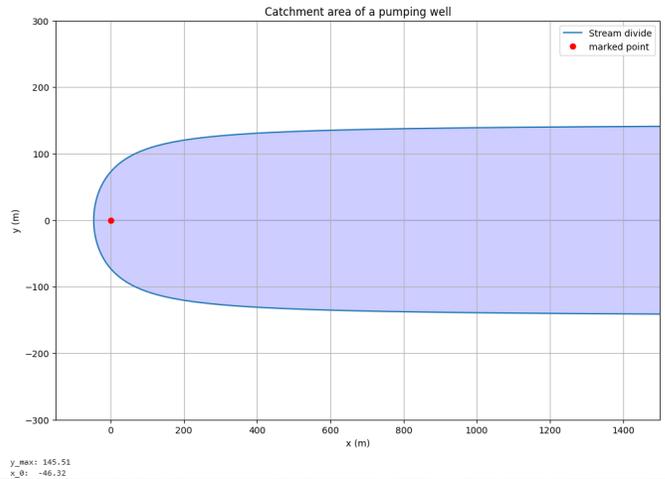


LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

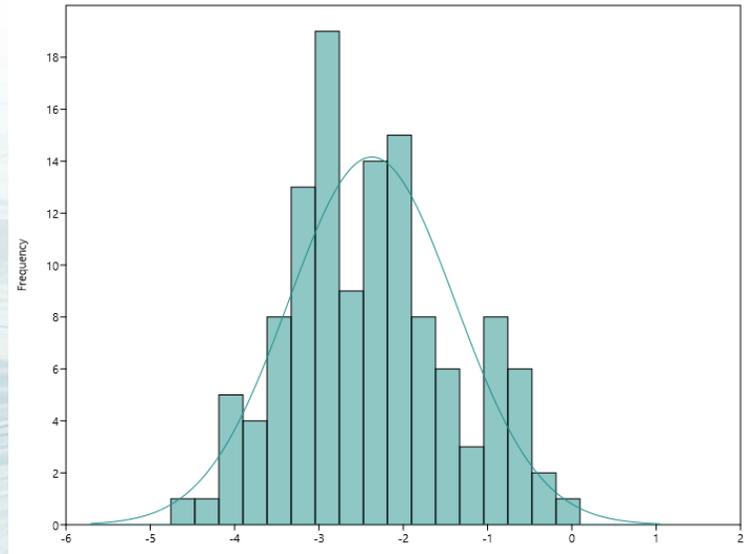
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Definizione degli INPUT

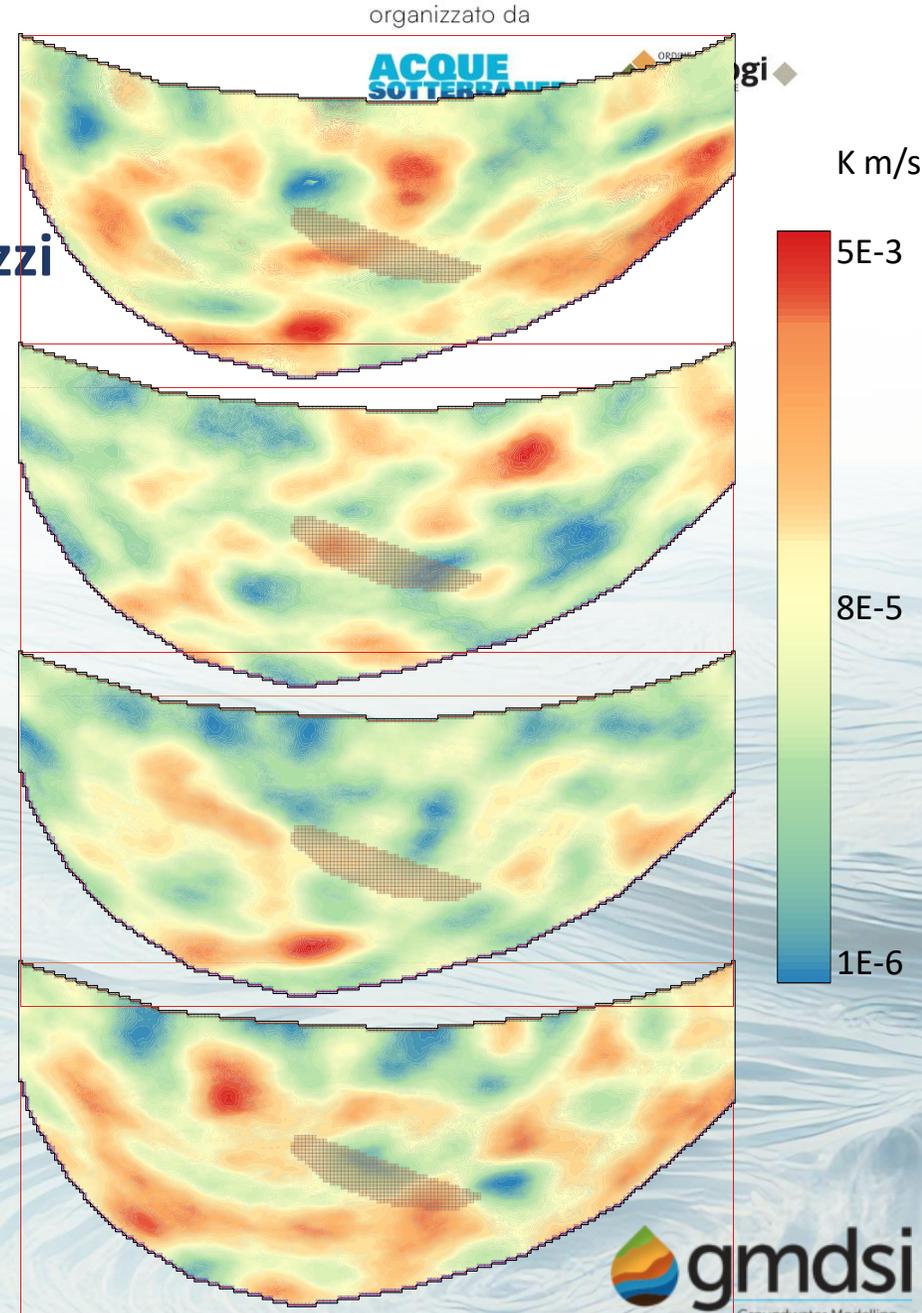


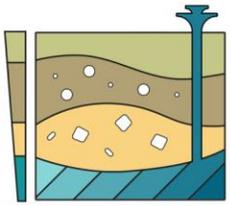
K	<input type="text" value="2.29e-4"/>
Q	<input type="text" value="0.01"/>
i	<input type="text" value="0.003"/>
b	<input type="text" value="50"/>



1E-5 m²/s ←→ 1.4 m²/s

$K = T/b???$





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

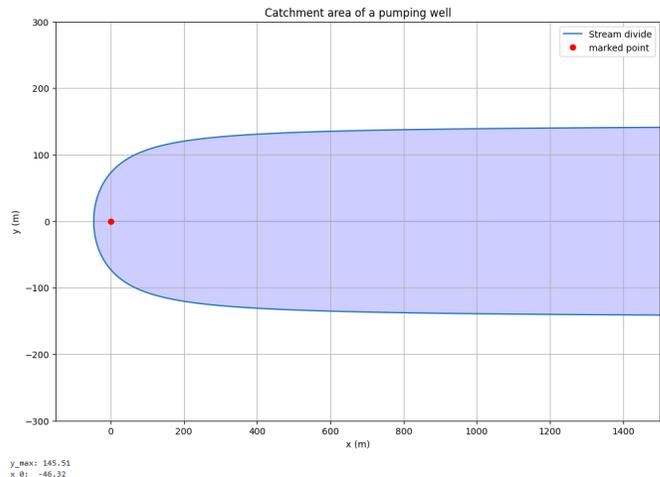
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

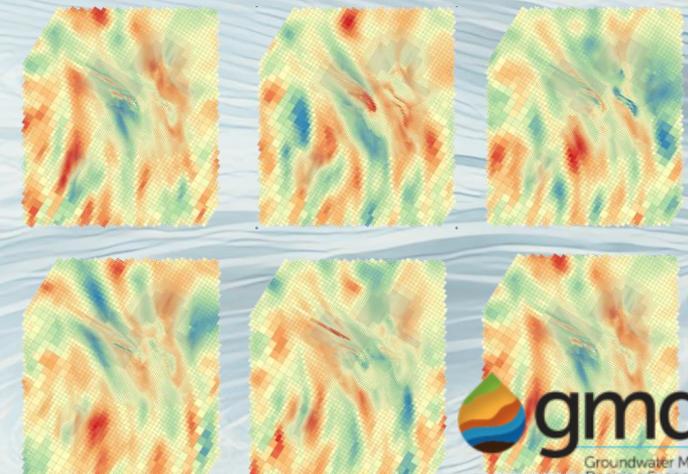
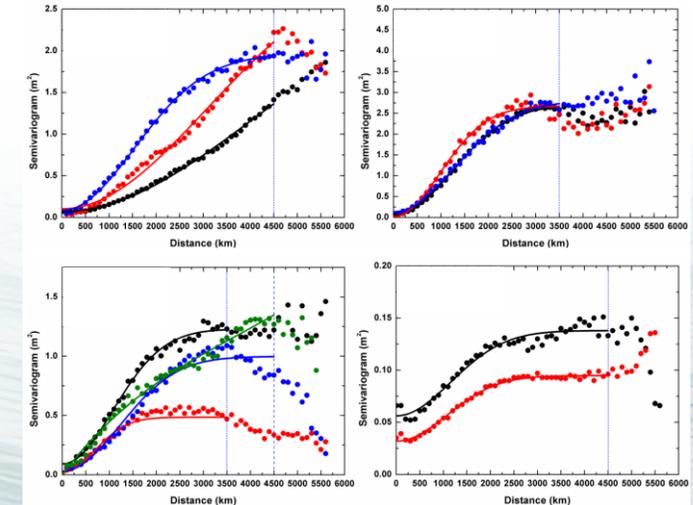
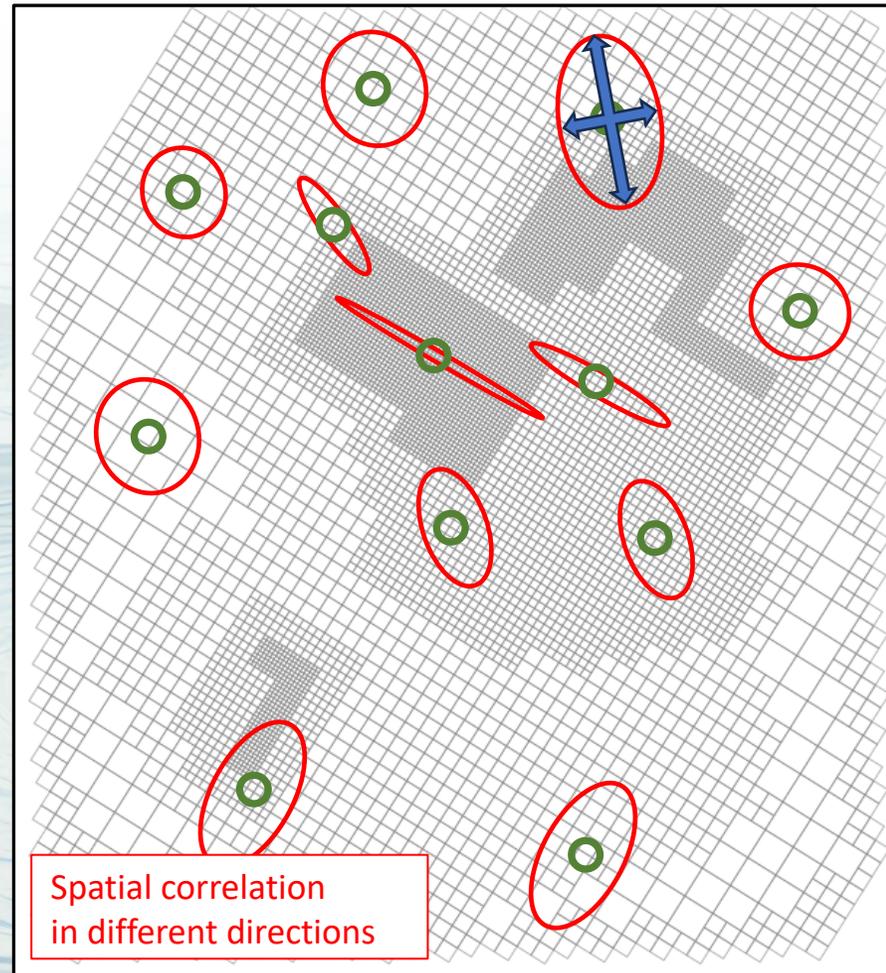


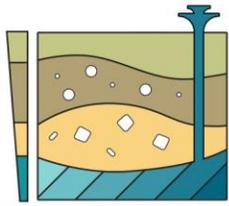
Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Definizione degli INPUT



K	<input type="text" value="2.29e-4"/>
Q	<input type="text" value="0.01"/>
i	<input type="text" value="0.003"/>
b	<input type="text" value="50"/>





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

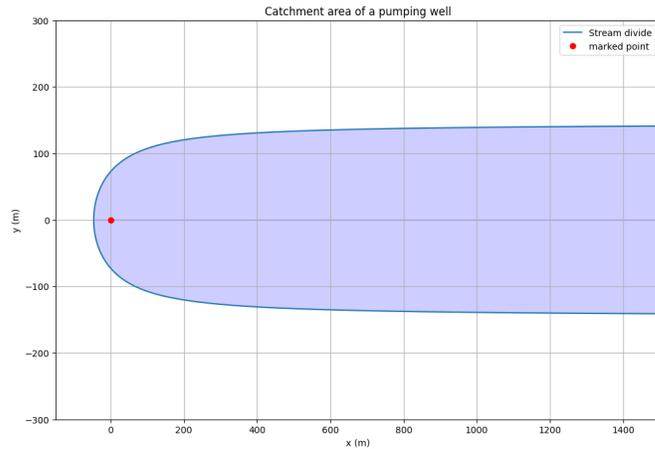
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

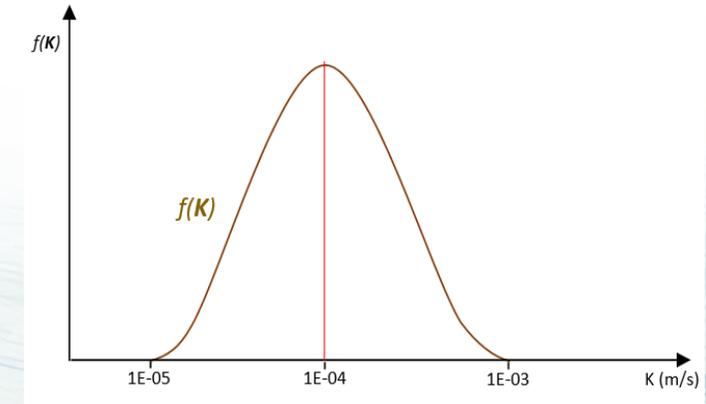


Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Definizione degli INPUT



K più probabile: $2.3E-3$ m/s
in un range possibile tra
 $6.1E-4$ e $1.01E-2$ m²/s



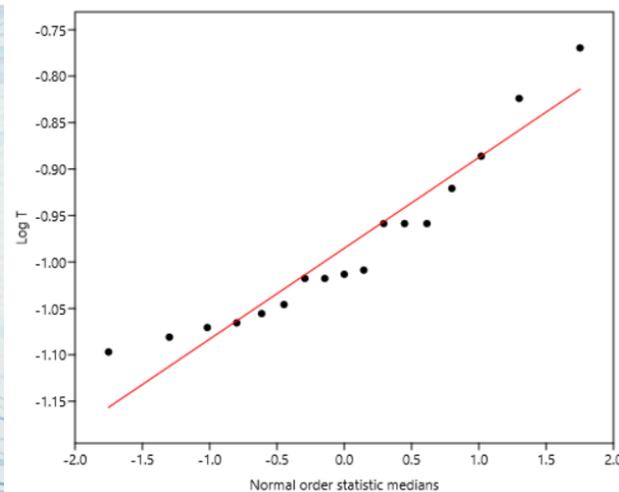
y_max: 145.51
x_0: -46.32

K

Q

i

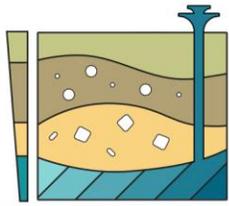
b



Transmissivity (m²/s; Log-transformed)

N	17	Median	0.097
Min	0.011	25 prcntil	0.087
Max	0.17	75 prcntil	0.115
Sum	1.799	Skewness	1.439484
Mean	0.1058235	Kurtosis	1.756973
Std. error	0.006009328	Geom. mean	0.1034609
Variance	0.0006139044	Coeff. var	23.4136
Stand. dev	0.02477709		

**Most probable T value: $1E-1$ m²/s in a possible range from
 $1.1E-2$ to $1.15E-1$ m²/s**



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

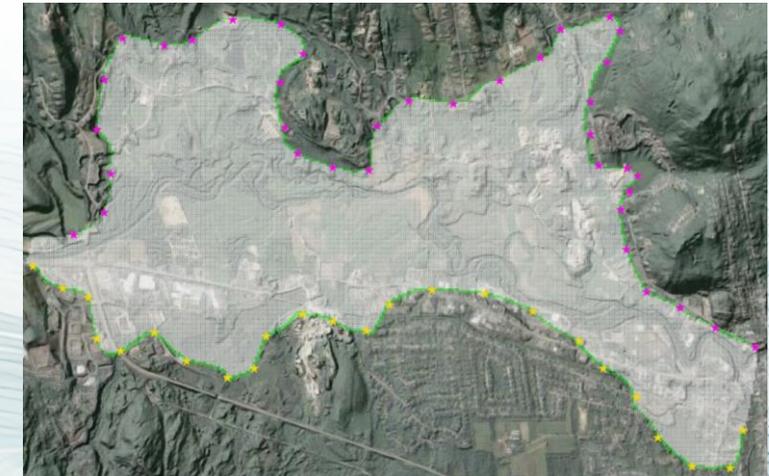
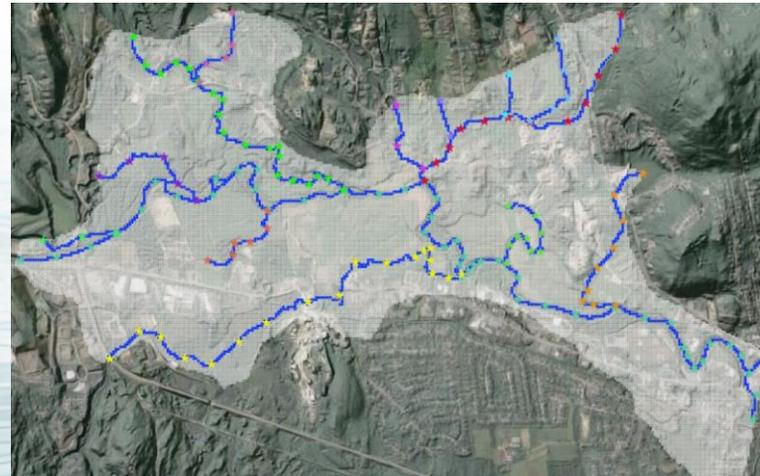
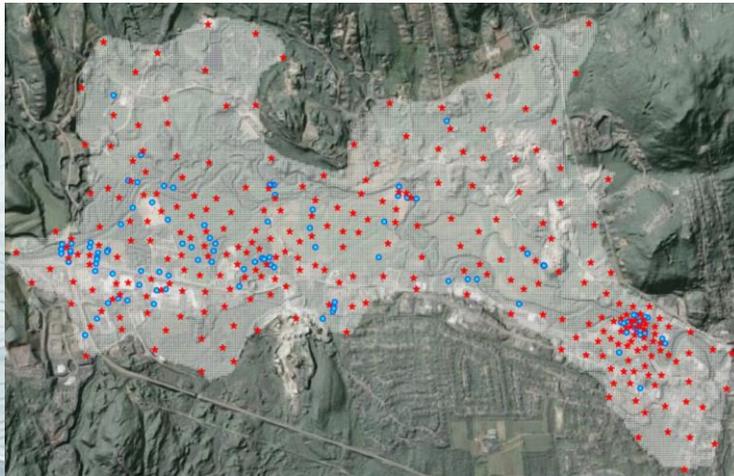
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

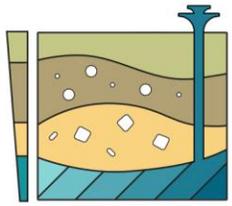
Osservazioni e assimilazione dell'informazione



Data assimilation tramite **PEST** (Doherty, 2015)
associata a **200 realizzazioni equiprobabili ed
ugualmente calibrate**
(range di K, conduttanza del fiume, conduttanza
GHB, Ricarica, Porosità, spessore acquifero...)



[Doherty, J., Rumbaugh, J. and Muffels, C., \(2021\). Probabilistic Contributing Area Analysis. A GMDSI Worked Example Report. National Centre for Groundwater Research and Training, Flinders University, South Australia. ISBN: 978-1-925562-57-6; DOI: <https://doi.org/10.25957/m47c-ra29>](#)



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

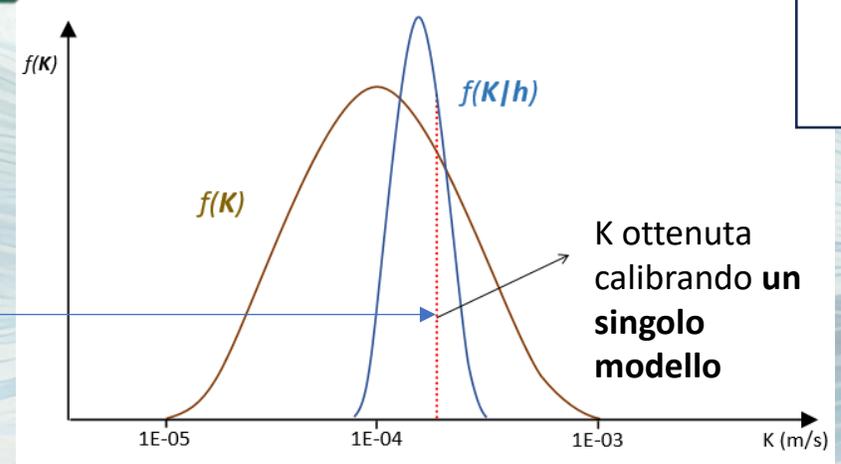
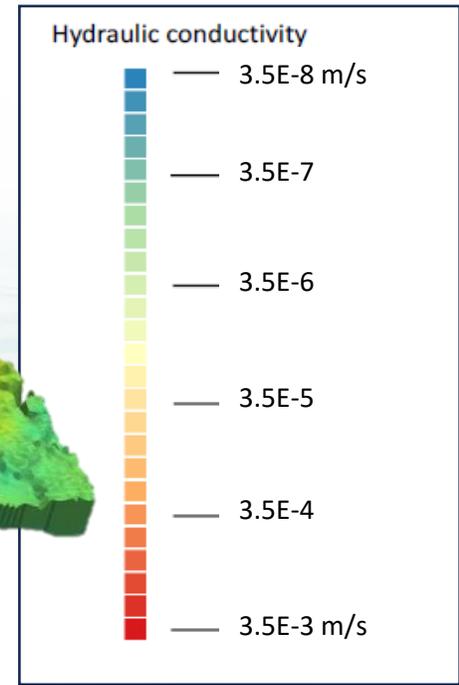
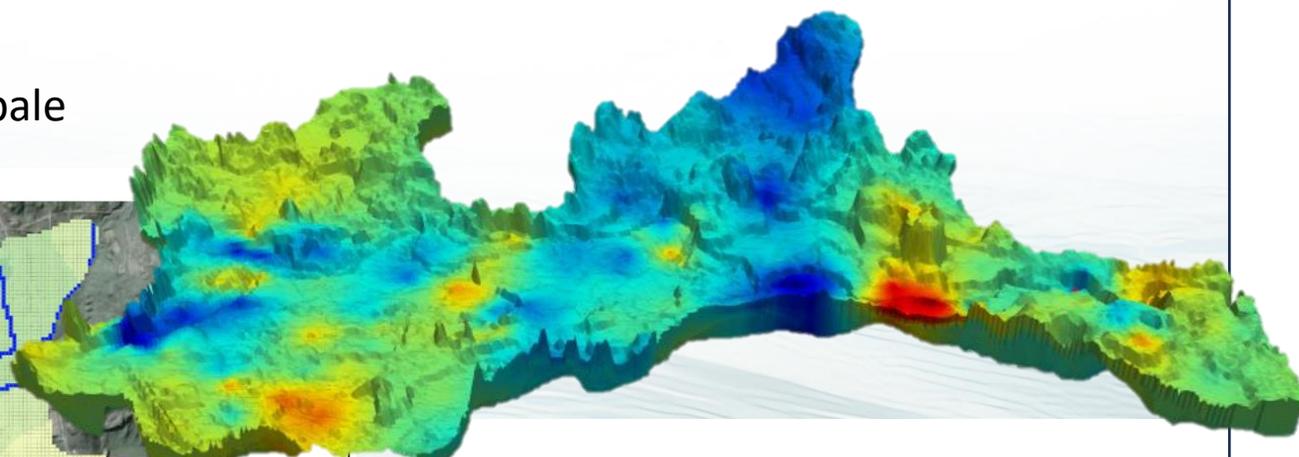
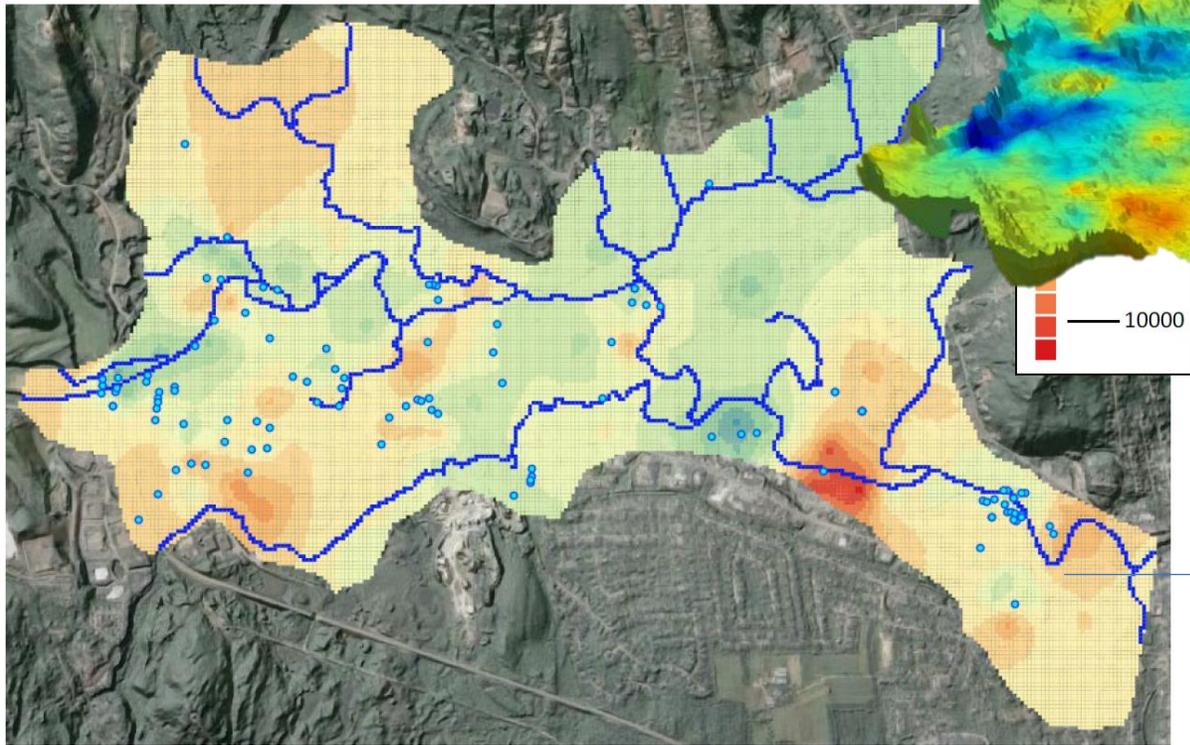
**ACQUE
SOTTERRANEE**

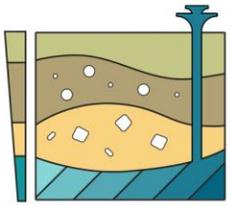
ORDINE
geologi
MARCHE

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Osservazioni e assimilazione dell'informazione

Osservazioni: 124 pozzi e piezometri, 45
sezioni su corso d'acqua drenante principale
(Milford, New Hampshire)





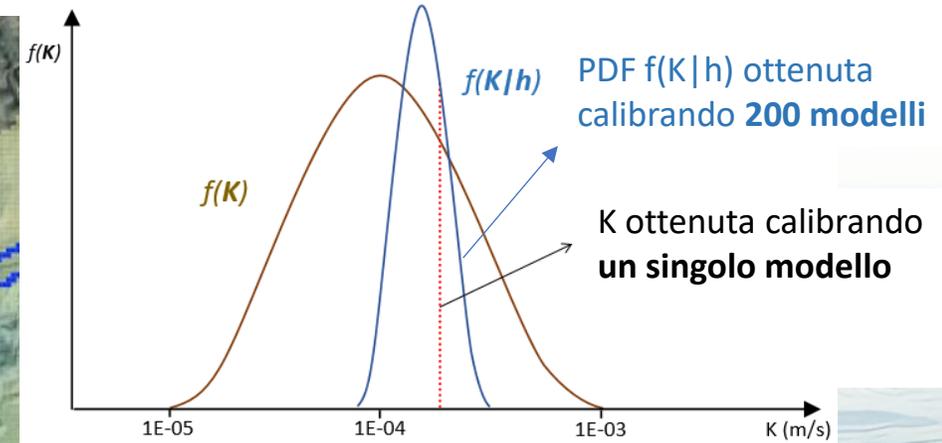
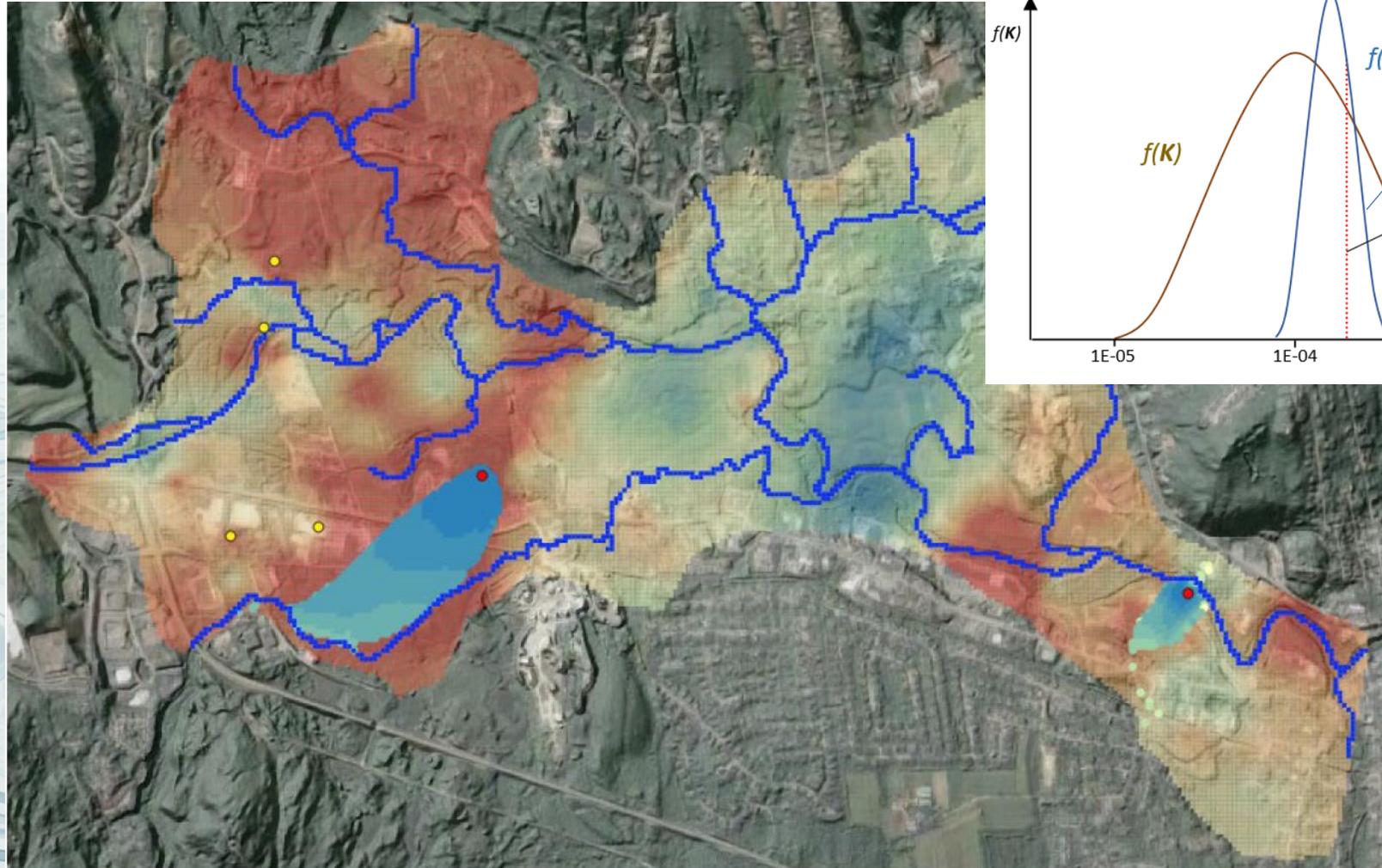
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

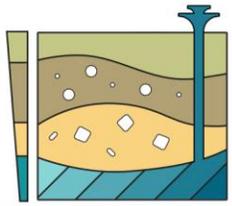
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE





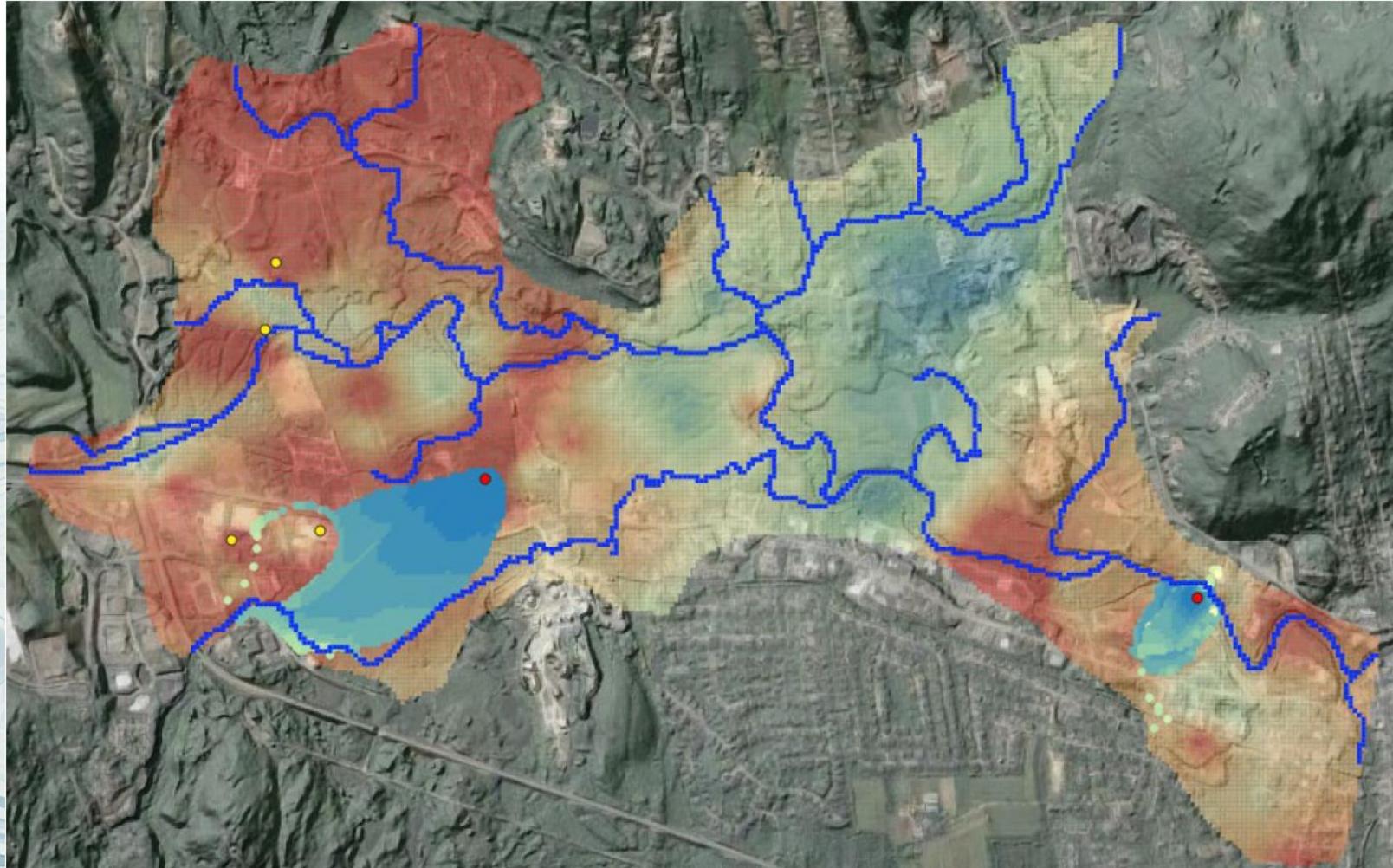
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

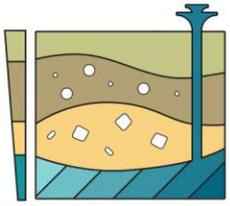
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE



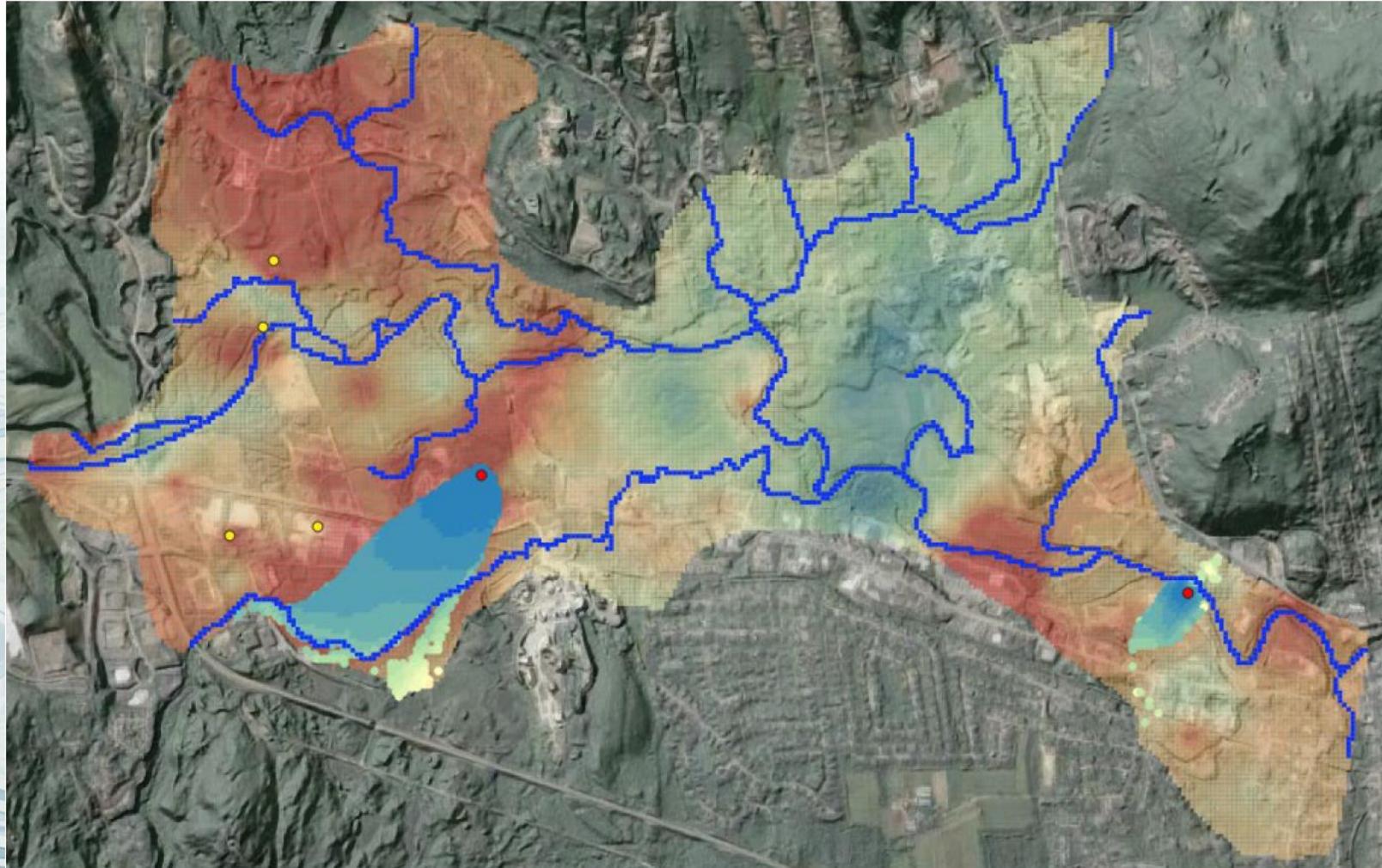


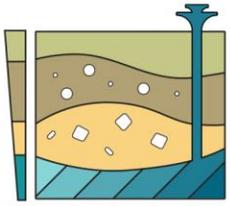
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



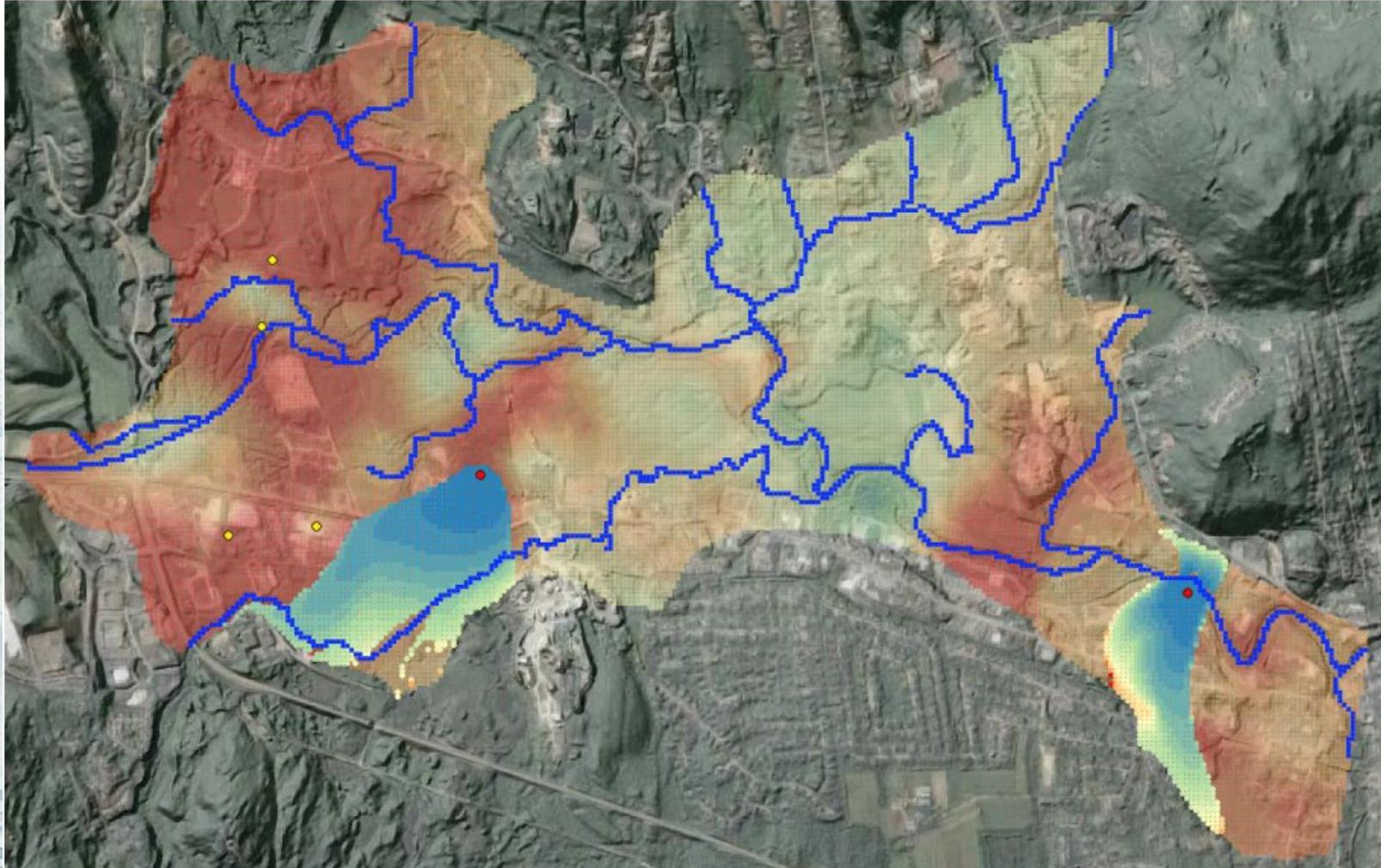


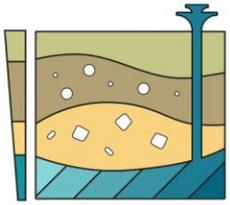
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



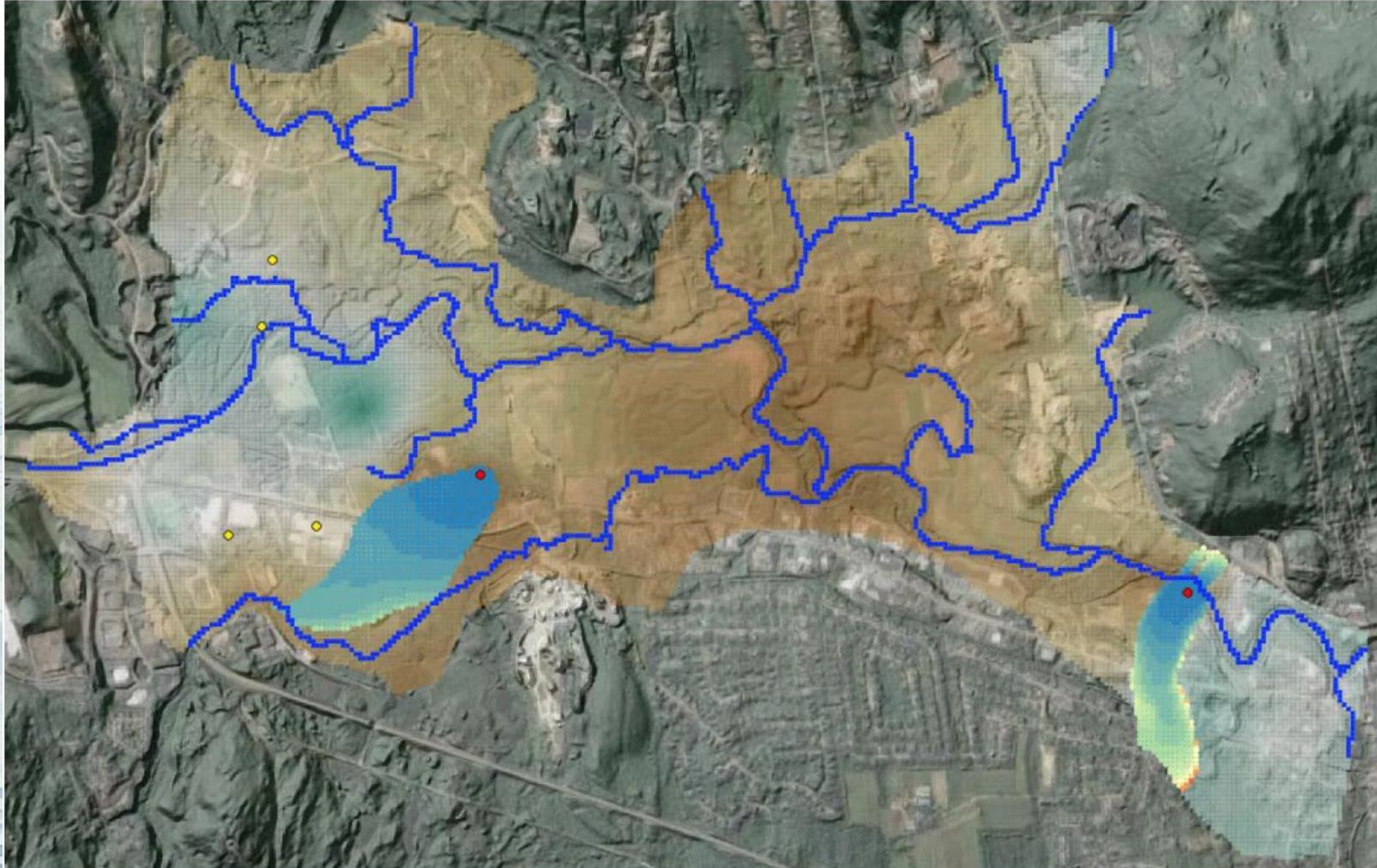


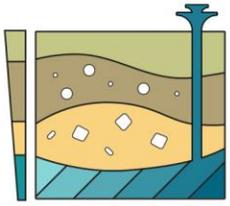
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**





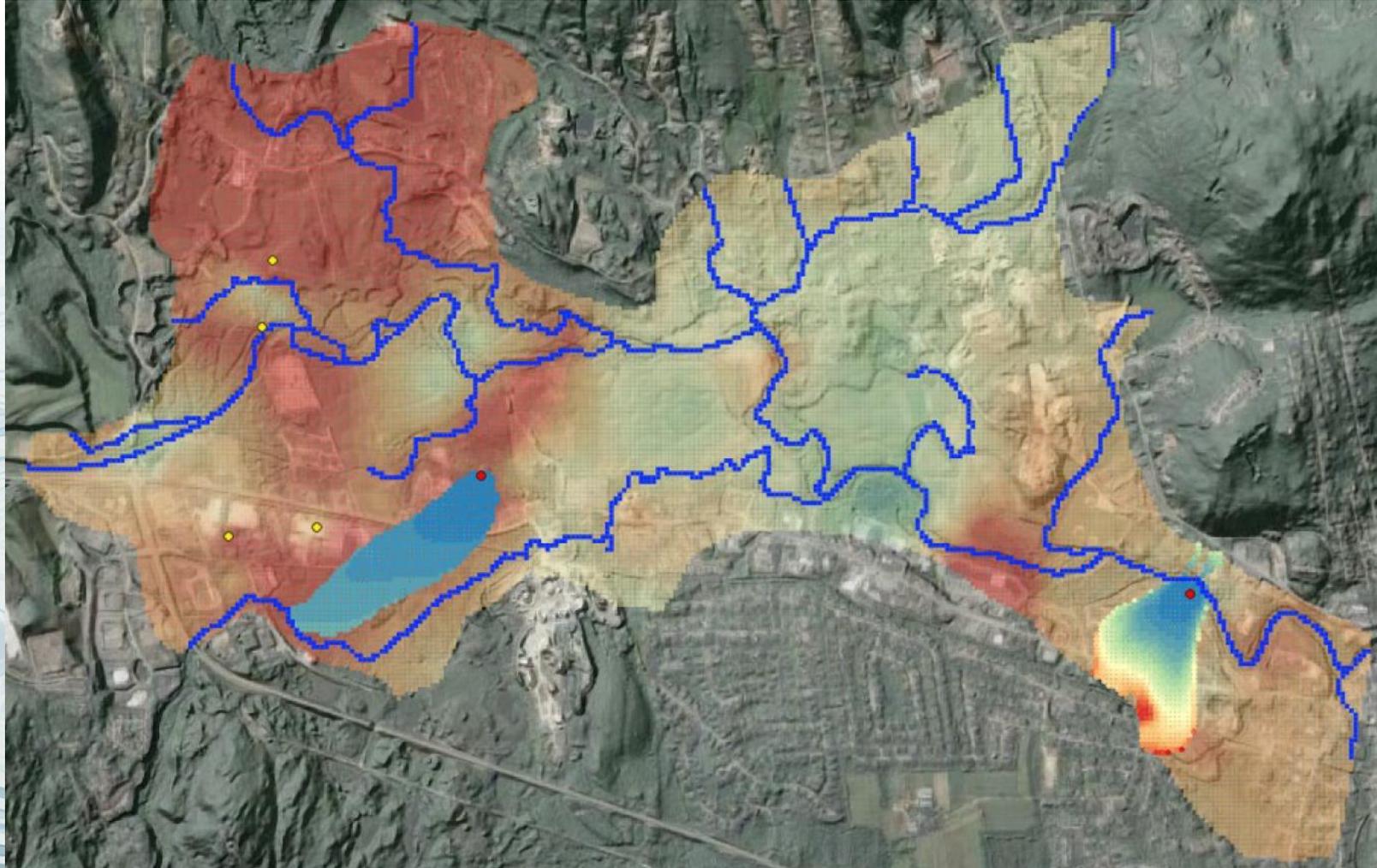
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

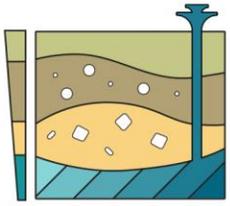
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE





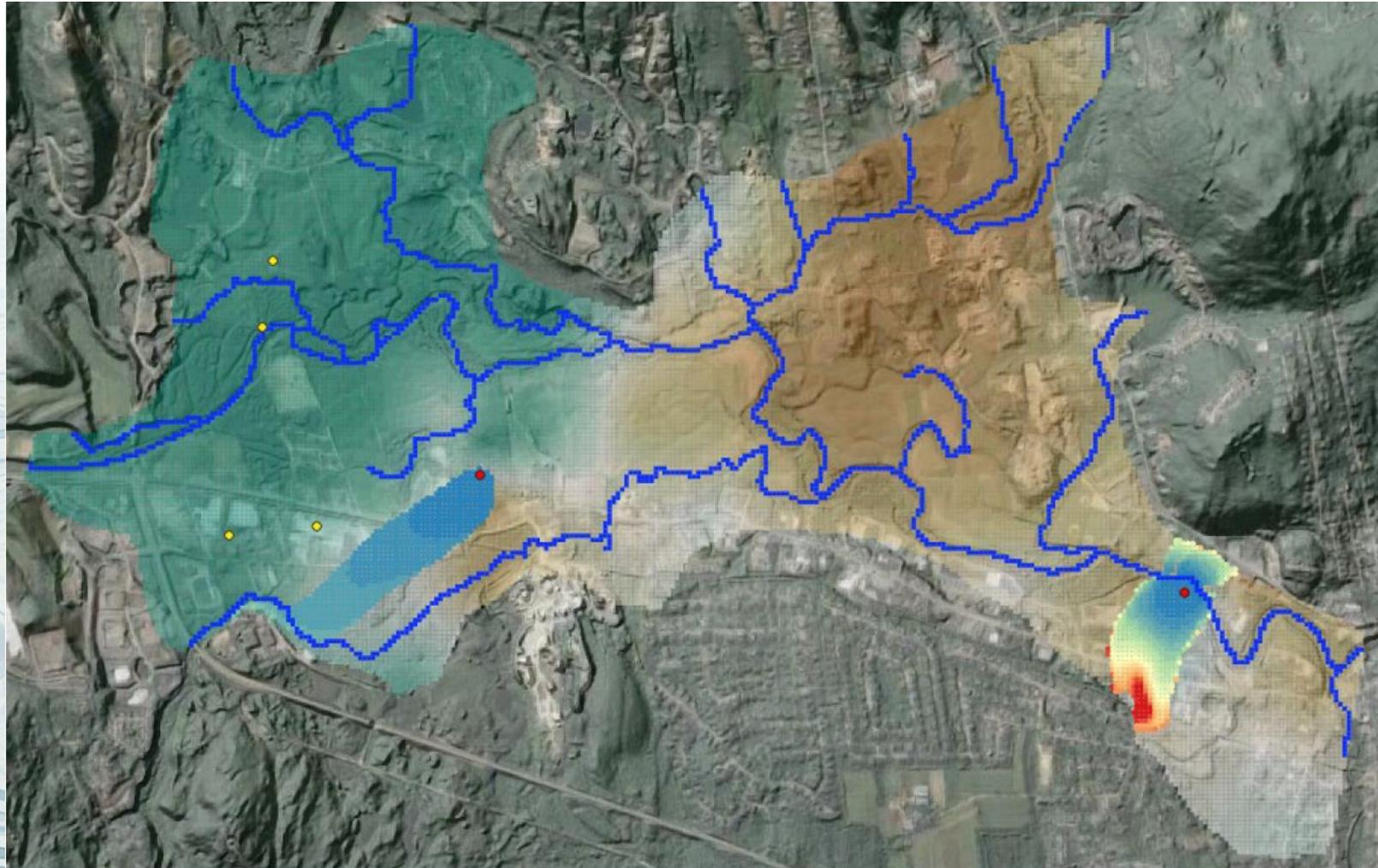
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

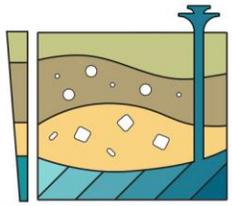
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

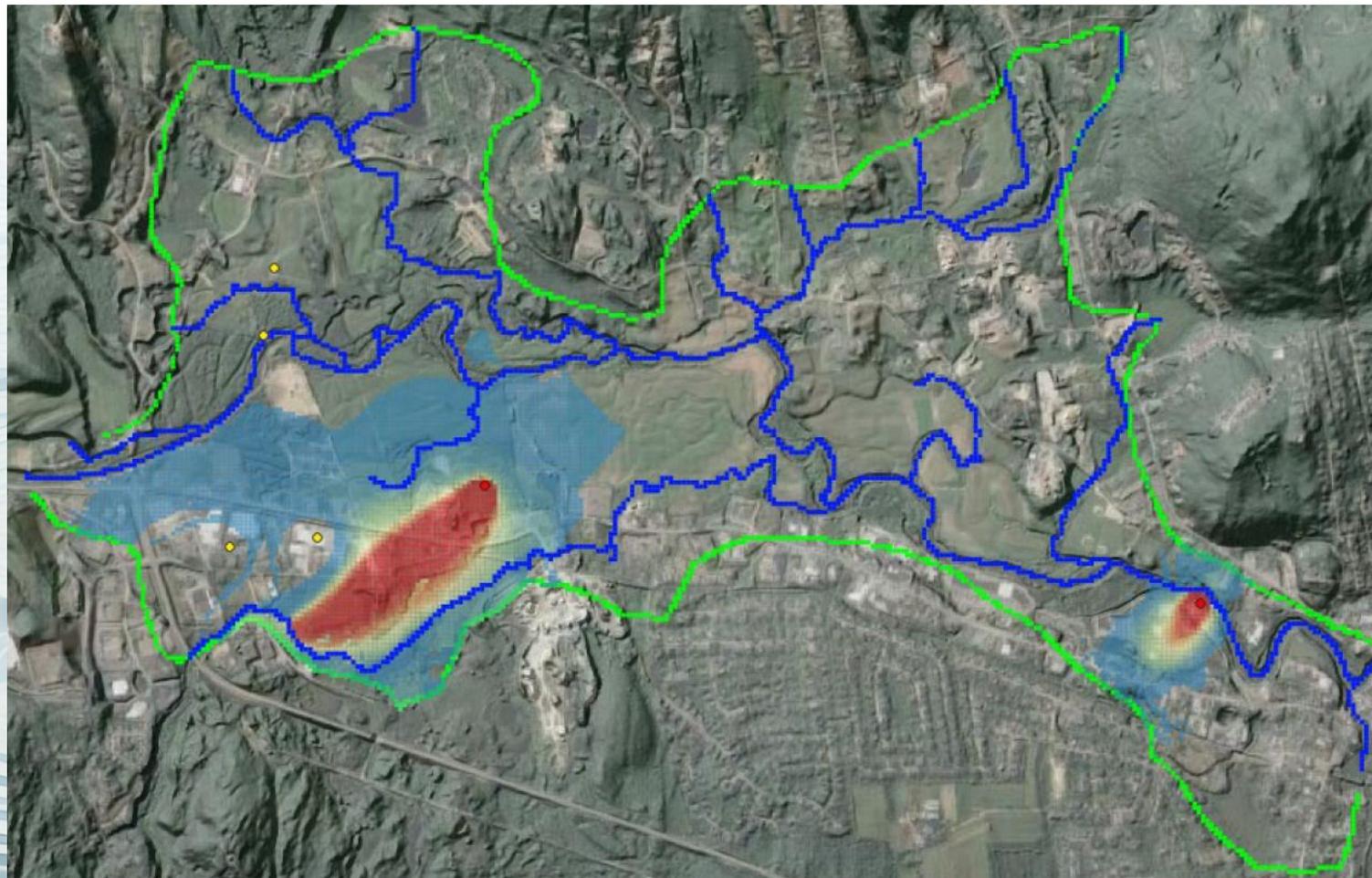
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

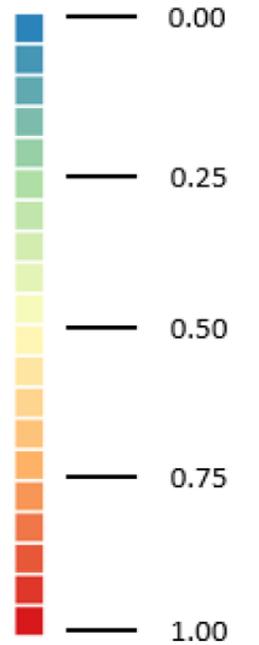
ORDINE
geologi
MARCHE

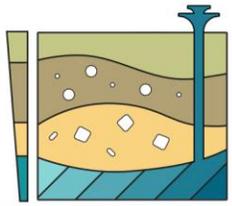
Delimitazione aree di cattura dei pozzi

La previsione chiesta al modello



Contribution probability





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

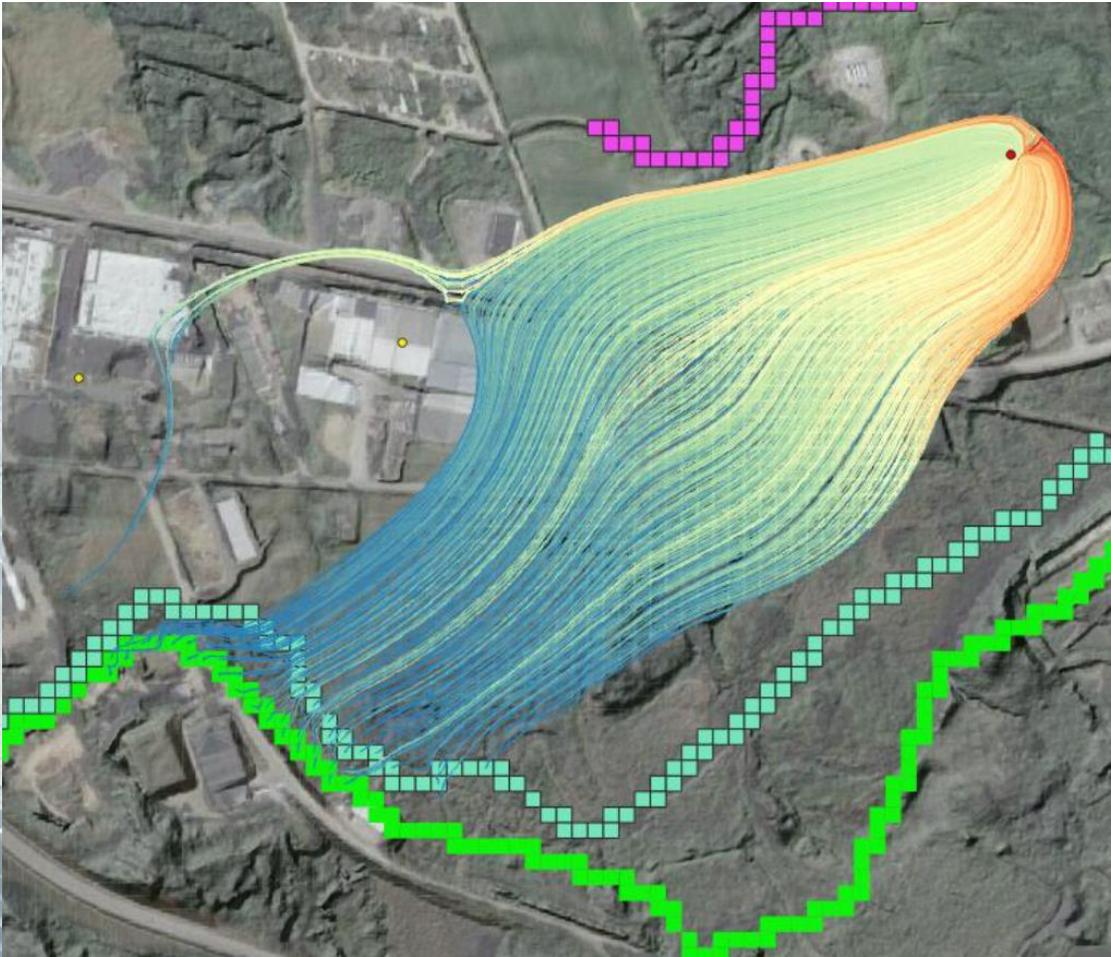
**ACQUE
SOTTERRANEE**

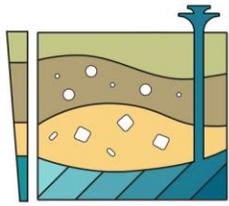
ORDINE
geologi
MARCHE

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

La previsione chiesta al modello

Tempo di residenza (fino a max 400 giorni)





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

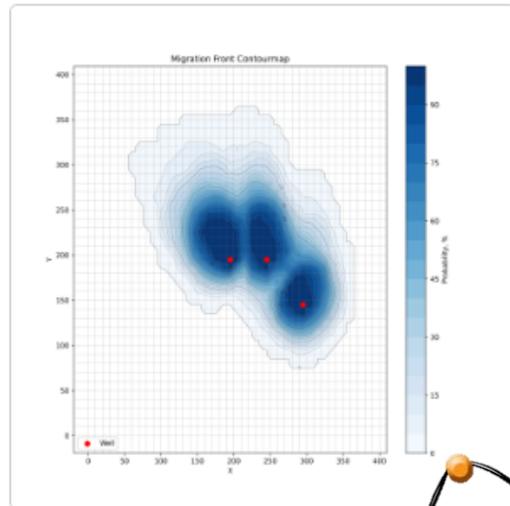
ORDINE
geologi
MARCHE

Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Serve un modello numerico?

Construction of probabilistic contours of sanitary protection zones

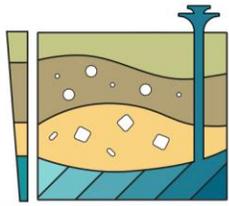
A numerical-analytical probabilistic approach to modeling migration and constructing capture zones makes it possible to optimize the size of sanitary protection zones and, with great reliability, reflects the real picture of migration, in comparison with analytical and conventional numerical-analytical models.



Go to

https://github.com/SizNi/geol_mod

Parameter name	Minimum value	Maximum value	Dimension
Filtration coefficient	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="40"/>	m/day
Groundwater flow gradient	<input type="text" value="0.0001"/>	<input type="text" value="0.005"/>	
Direction of groundwater flow	<input type="text" value="270"/>	<input type="text" value="350"/>	degrees from 0 to 360
Aquifer thickness	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="70"/>	m
Porosity of water-bearing rocks	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="0.4"/>	dimensionless
Type of distribution of parameters in the interval	<input type="text" value="Random"/>		



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

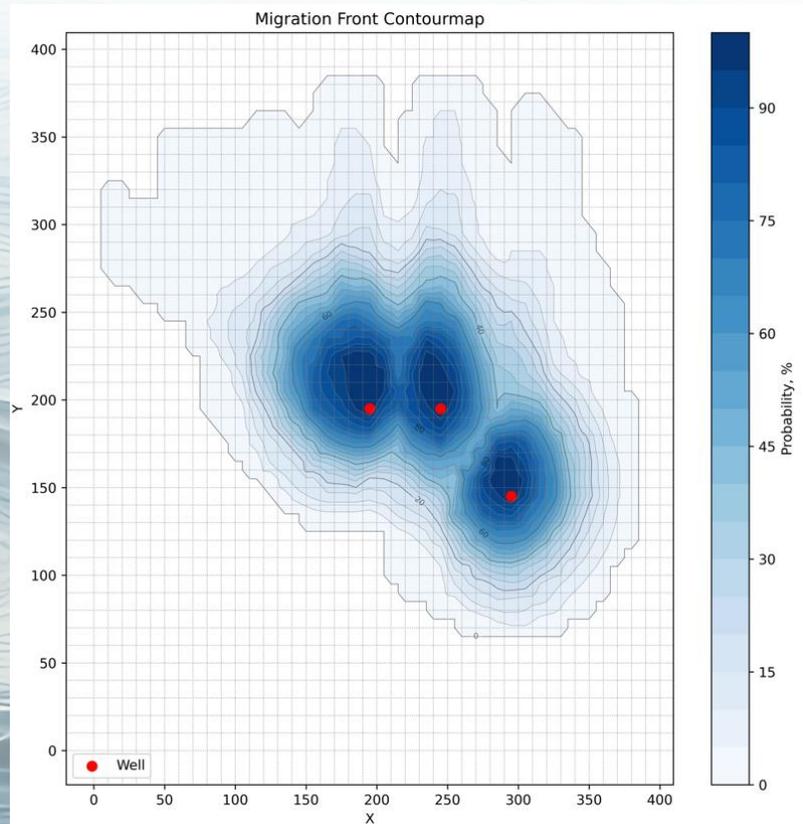
**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

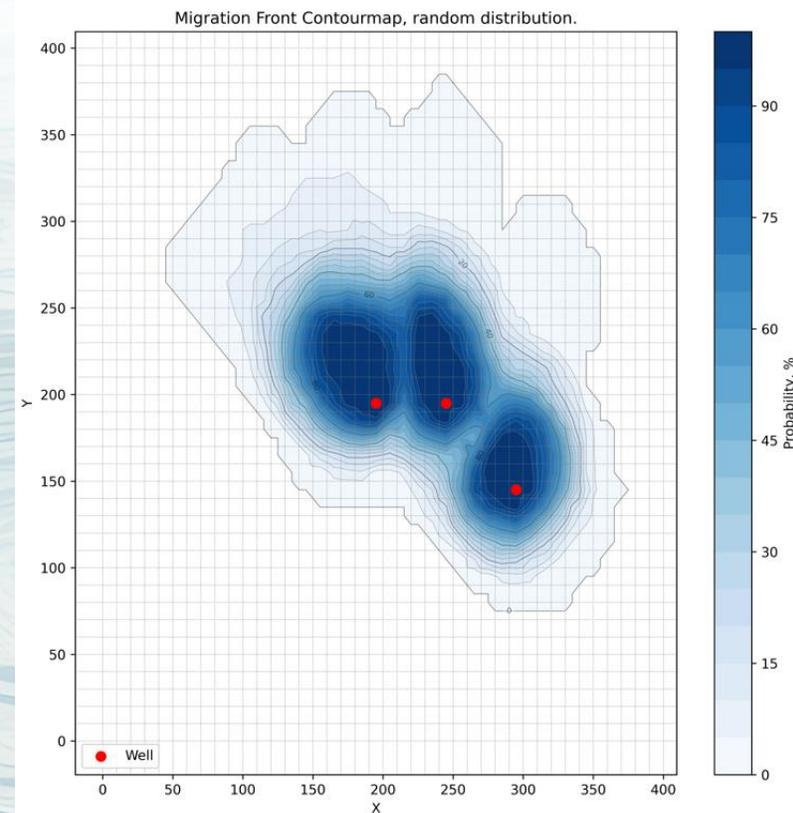
Delimitazione aree di cattura dei pozzi

Serve un modello numerico?

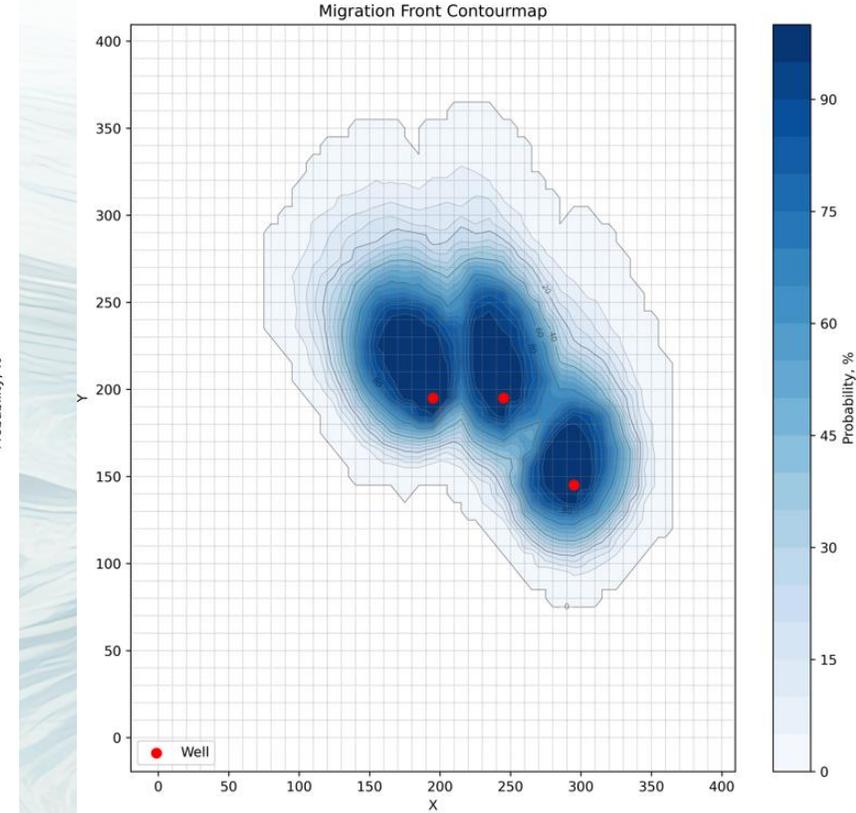
Distribuzione dei parametri Normale

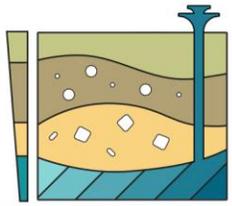


Distribuzione dei parametri Random



Distribuzione dei parametri Log-Normale





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



Utilità o meno dei modelli numerici

Ma se modello numerico deve essere...

Semplicità strategica

Un modello **non può replicare la realtà** complessa.

La sua costruzione deve essere concentrata SOLO sui dettagli che contano nel contesto specifico legato al problema da risolvere

Project-related strategies



Data assimilaton

Trasferire tutte le informazioni possibili **dai dati alla previsione**.

Parametrizzazione complessa per rendere il modello 'fluida' e NON ostacolare il flusso delle informazioni: i parametri che «non tornano» possono mettere in evidenza le incongruenze del modello concettuale.

Flusso di informazione

The “process” must provide a means for information to **FLOW** from where it resides

to where it is needed.



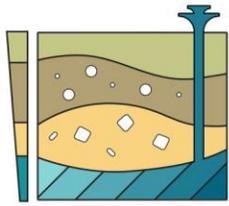
Quantificazione dell'Incertezza

Un elevato numero di parametri rappresentati stocasticamente consente di rilevare l'inadeguatezza delle informazioni e trasferirla all'incertezza previsionale.

Se l'incertezza non può essere ridotta, è necessario tornare sul campo.

Analisi Data Worth, MC, IES...





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

Grazie!

Francesca Lotti

f.lotti@hydrosymple.com



School of
hydrogeological
modelling &
Project-related
strategies

<https://hydrosymple.com>



Prossimi corsi:

organizzato da



Field Hydrogeology Course

*The first "run" of a numerical model
is actually a walk... in the field!*

Onsite sessions: Viterbo, October 21st-24th, 2024

Online sessions: October 15th, October 31st, 2024

Ottobre 2024

Aree di Salvaguardia

Contesto normativo, teoria e modalità di delimitazione

Novembre 2024

Blended Course 2025

Introduction to Applied Groundwater Flow Modelling

with
GW Vistas

March 10th - May 8th, 2025

Marzo 2025

