

TAKING
COOPERATION
FORWARD



SOLVENTI CLORURATI NELLE FALDE ACQUIFERE: IL PROGETTO “AMIIGA” INTERREG CENTRAL EUROPE E ALTRE ESPERIENZE REGIONALI

Parma, 4 maggio 2018



La modellazione numerica degli acquiferi



Andrea Zanini, Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Parma

Introduzione ai
modelli

Esempio sintetico

Modello
preliminare
dell'acquifero
Parmense



- Fornire uno strumento che permette di prendere decisioni mirate al raggiungimento di un determinato obiettivo, senza violare vincoli sia tecnici che legislativi. Per esempio:
 - Valutazione della posizione ottimale e quantificazione dell'emungimento di un campo pozzi a scopo idropotabile;
 - Valutazione dell'impatto di un'opera su un acquifero;
 - Progettazione di opere di controllo idraulico in siti contaminati (barriere idrauliche, pump and treat, ...);
 - ...

United States
Environmental Protection
Agency

Office of
Research and
Development

Office of Solid Waste
and Emergency
Response

EPA/540/S-92/005
April 1992



Ground Water Issue

Fundamentals of Ground-Water Modeling

Jacob Bear^a, Milovan S. Beljin^b, and Randall R. Ross^c

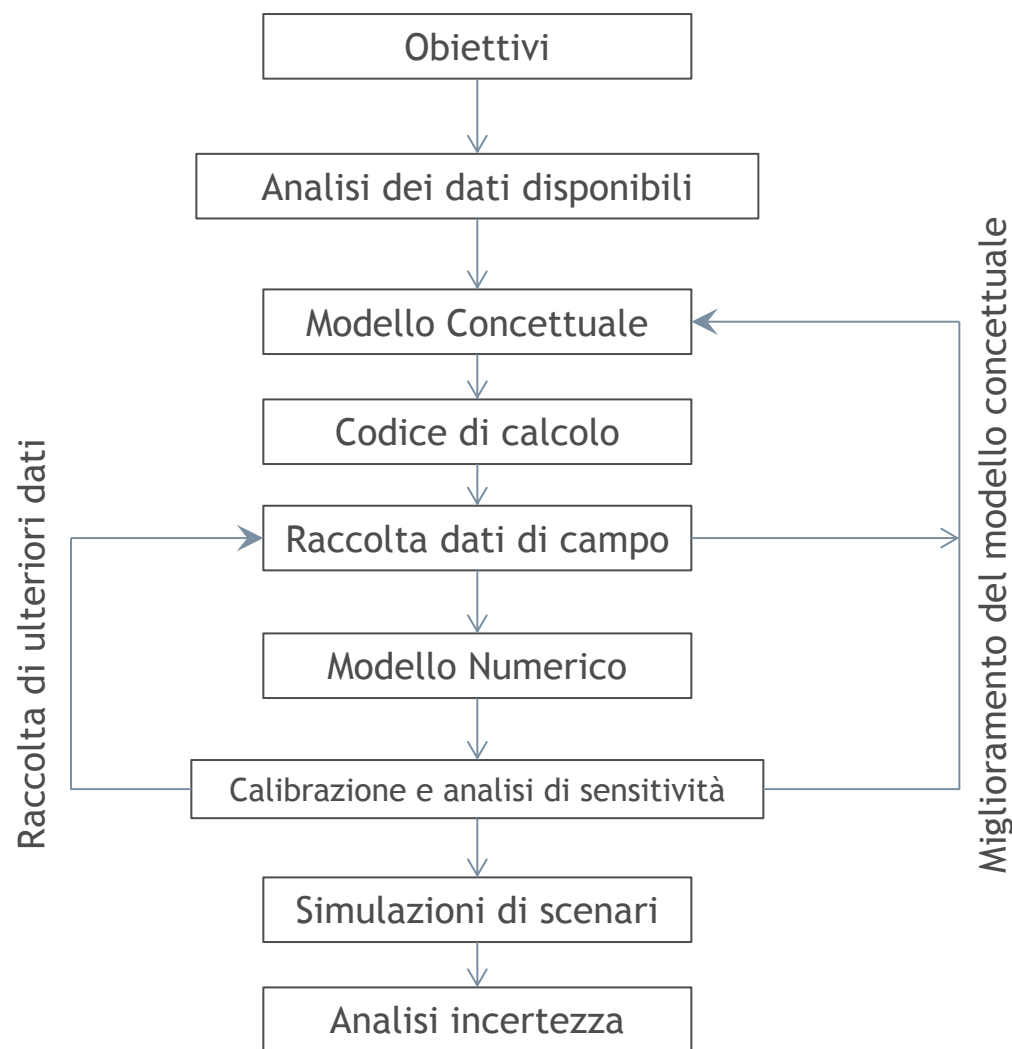


- Un modello può essere definito come la versione semplificata della realtà che permette di analizzare le risposte a date sollecitazioni.
- Vista la complessità dei fenomeni naturali, il modello richiede la necessità di alcune semplificazioni relative alla geometria del problema, la natura del mezzo poroso, le proprietà del fluido, le condizioni al contorno, ...
- **Differenti ipotesi portano a modelli e risultati differenti.**
- *Il primo passo nella modellazione è la costruzione di un modello concettuale mirato allo studio di un preciso problema.*



I modelli numerici forniscono sempre un risultato





■ La selezione di un modello concettuale appropriato e il grado di semplificazione dipende da:

1. Obiettivo dello studio
2. Livello di dettaglio dello studio (locale/regionale)
3. Risorse disponibili
4. Dati disponibili
5. Normativa di riferimento

Una volta completato il modello concettuale lo si trasforma in numerico



- Geometria dell'acquifero in studio: Confini, Topografia, Stratigrafia
- Tipologia del mezzo poroso: Omogeneo? Isotropo? proprietà idrauliche, ...
- Tipologia di flusso: 1-D, 2-D, 3-D
- Proprietà dell'acqua (densità, comprimibilità, ...)
- Tipologia di acquifero: Confinato, Libero, Semi-confinato
- Presenza di sorgenti o di prelievi sia di acqua che di contaminanti all'interno del dominio in studio
- Condizioni iniziali
- Condizioni al contorno
- Analisi in stazionario o in transitorio



■ Definizione della geometria e confini (Semplificazioni)

- Dimensioni planimetriche maglie della griglia di calcolo
- Numero di strati e loro spessore
- Condizioni al contorno
- Stazionario/transitorio
- Parametri idraulici

■ Equazioni di bilancio delle variabili in oggetto

■ Equazioni di moto delle variabili in oggetto $\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$

■ Equazioni che definiscono il comportamento dei fluidi

■ Equazioni che definiscono le condizioni iniziali (stato di fatto ad un certo tempo per una determinata variabile, per esempio livello, concentrazione, ...)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C) + q_s C_s$$

■ Equazioni che definiscono le condizioni al contorno (interazioni del dominio oggetto di studio con l'ambiente circostante)

■ Scelta del software di calcolo



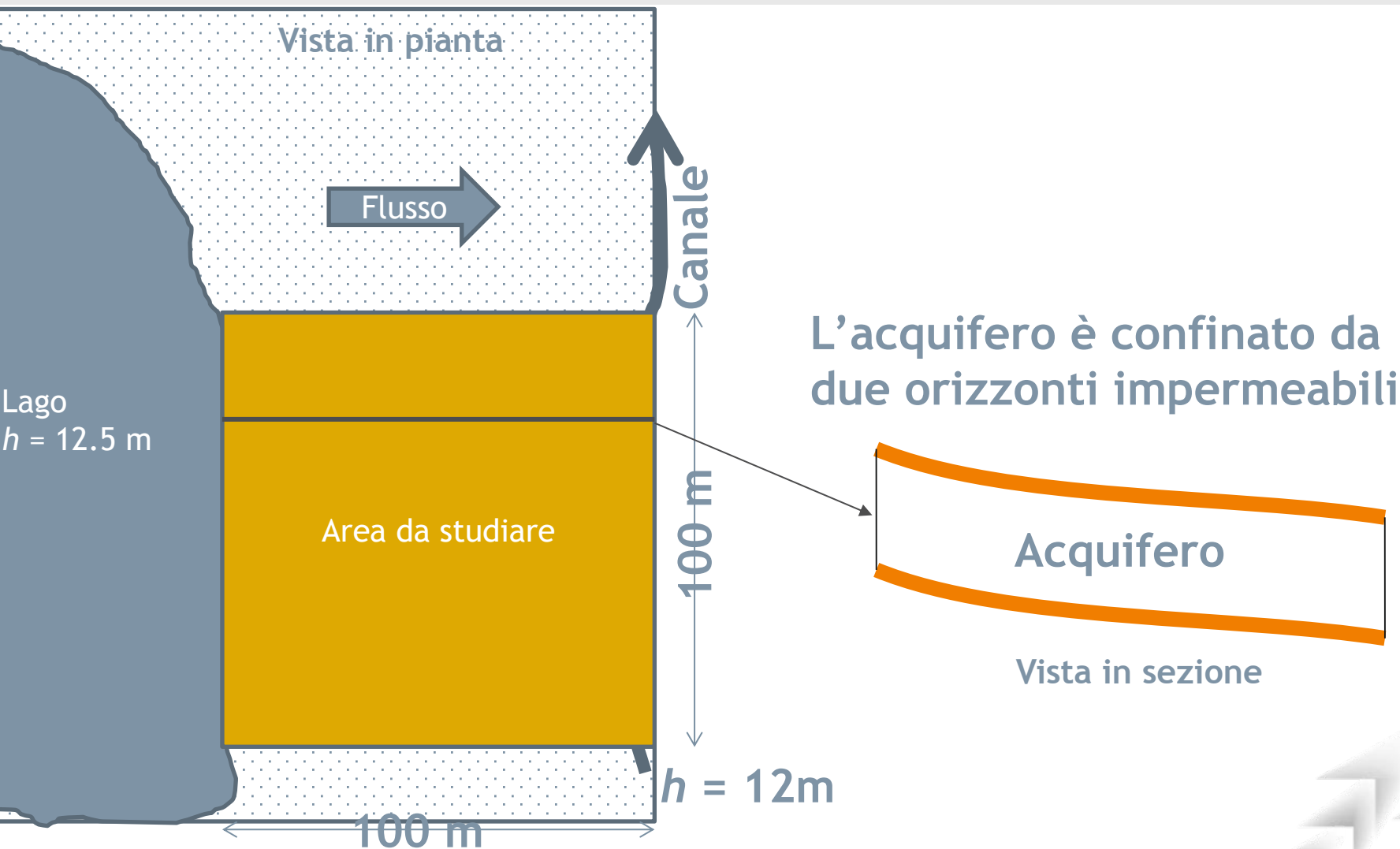
Introduzione ai
modelli

Esempio sintetico

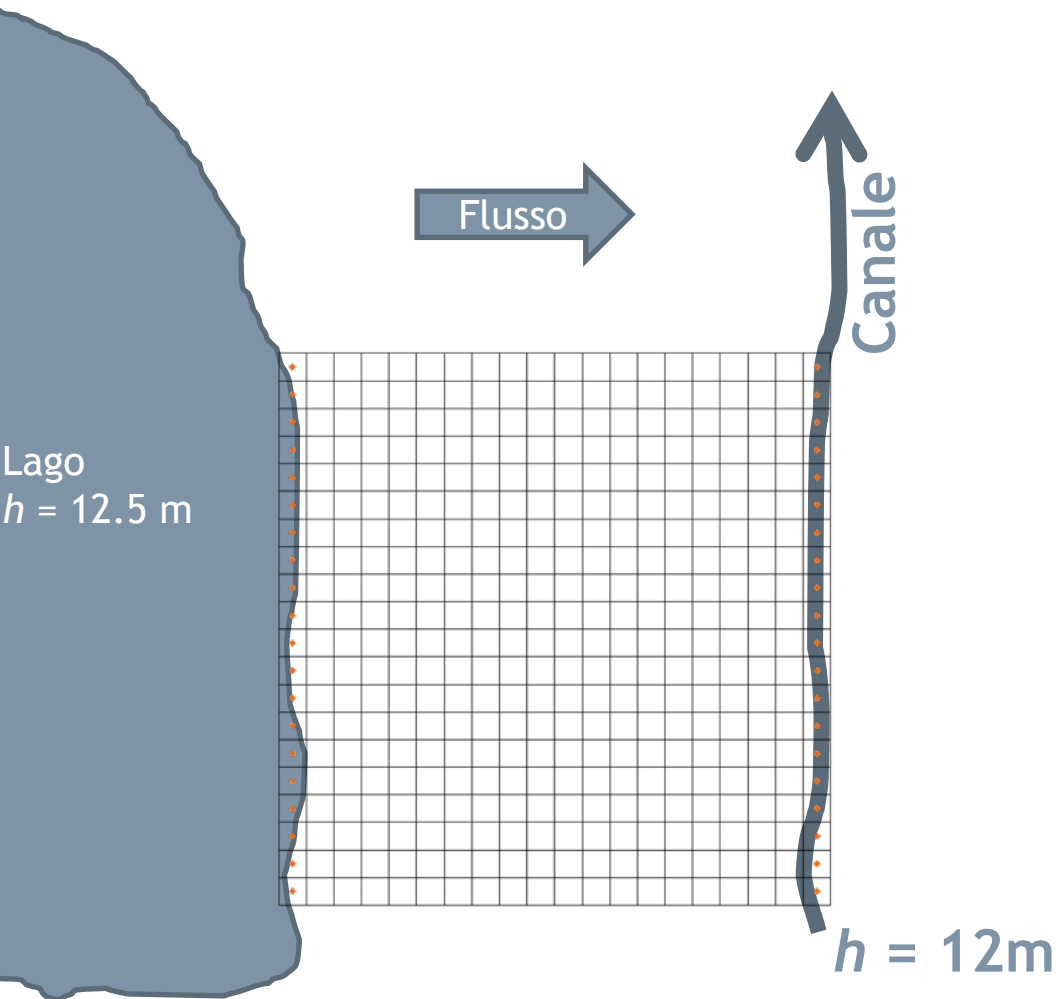
Modello
preliminare
dell'acquifero
Parmense



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO

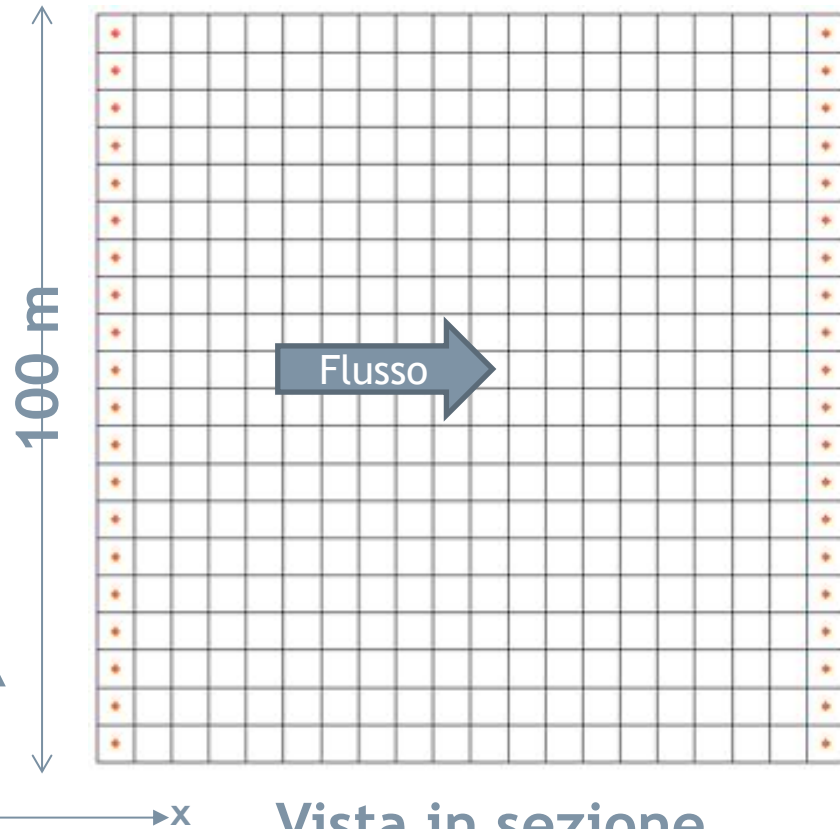


Definizione della griglia
di calcolo 3D:
planimetrica e in sezione



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO

Vista in pianta



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + Q$$

Ipotesi

- Acquifero confinato
- Omogeneo, isotropo ($T_{xx} = T_{yy}$)
- Stazionario ($\partial h / \partial t = 0$)
- Assenza di termini sorgente ($Q=0$)

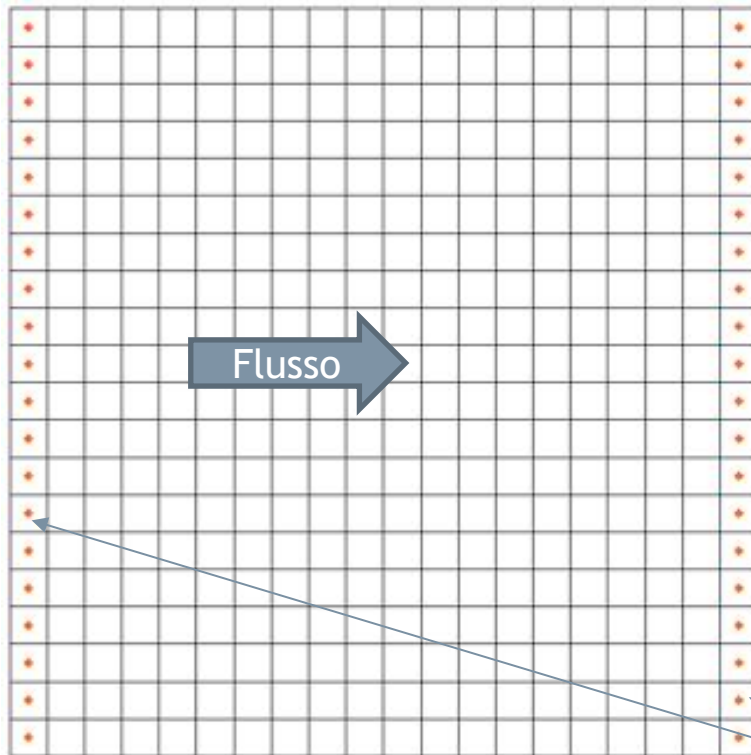
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

$$\nabla^2 h = 0$$



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO

Vista in pianta



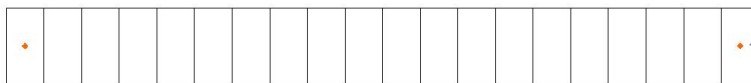
$$\nabla^2 h = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

Vista in sezione

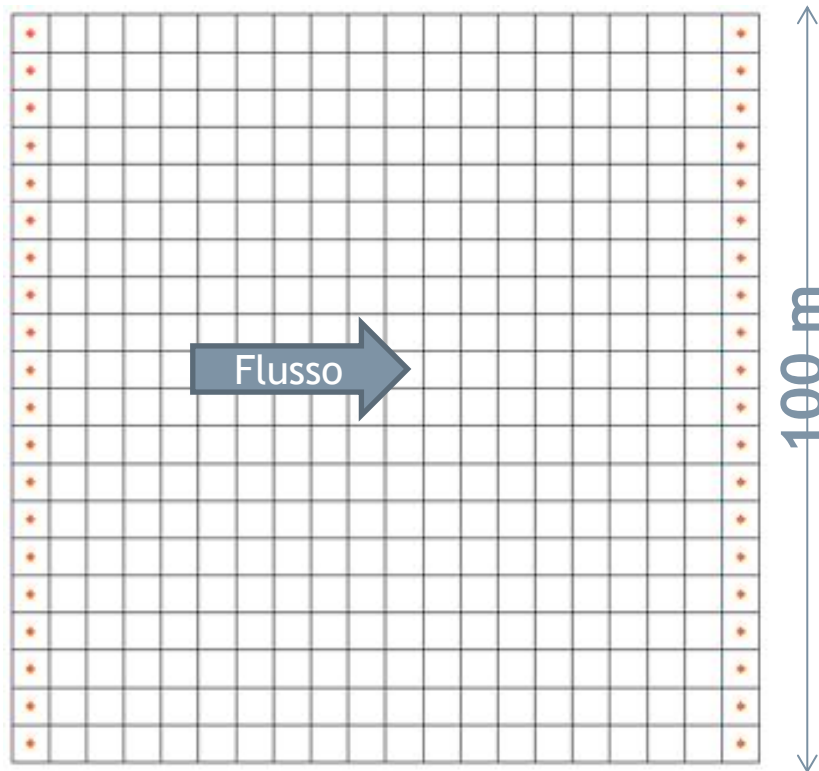


Condizione al contorno



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO

Vista in pianta



$$\nabla^2 h = 0$$

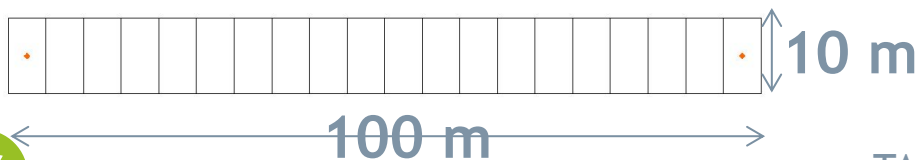
$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

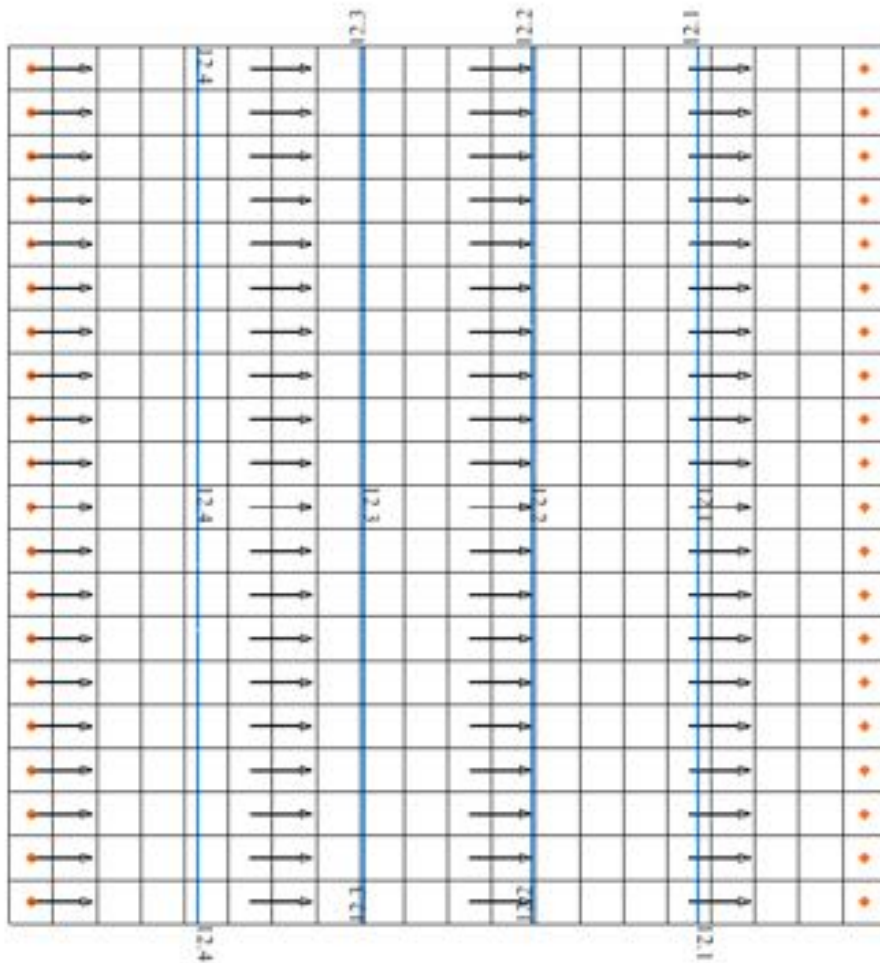
$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

Proprietà idrauliche:
Tramissività o permeabilità

Vista in sezione



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



$$\nabla^2 h = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

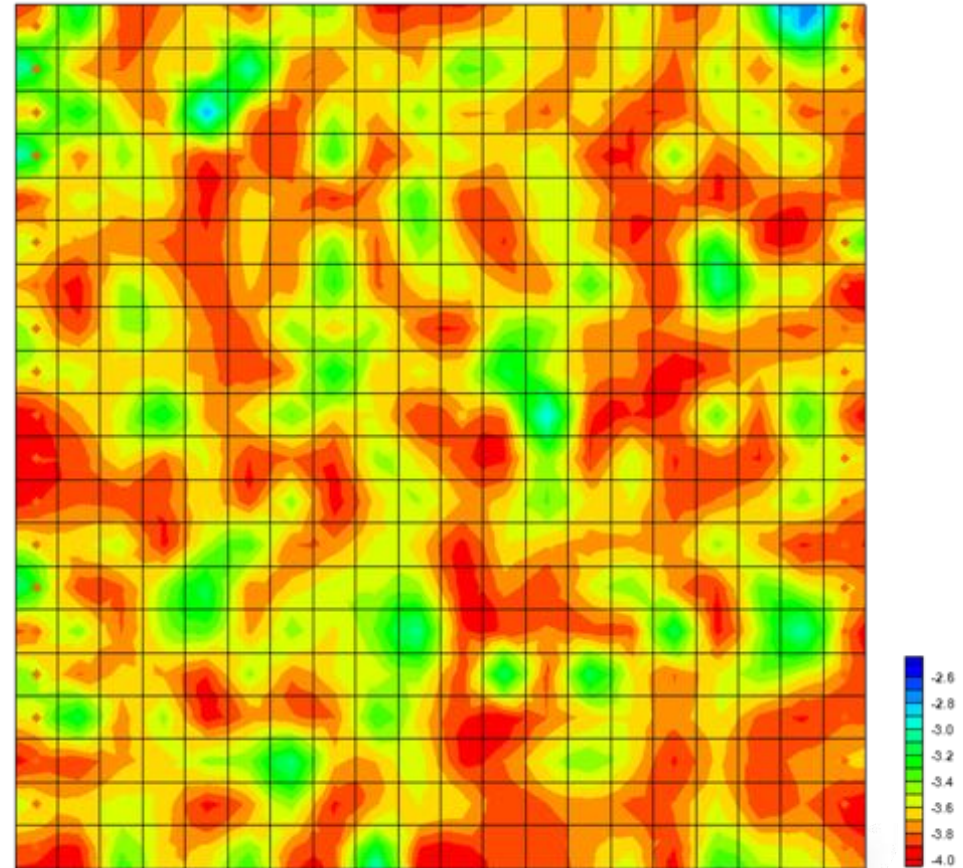
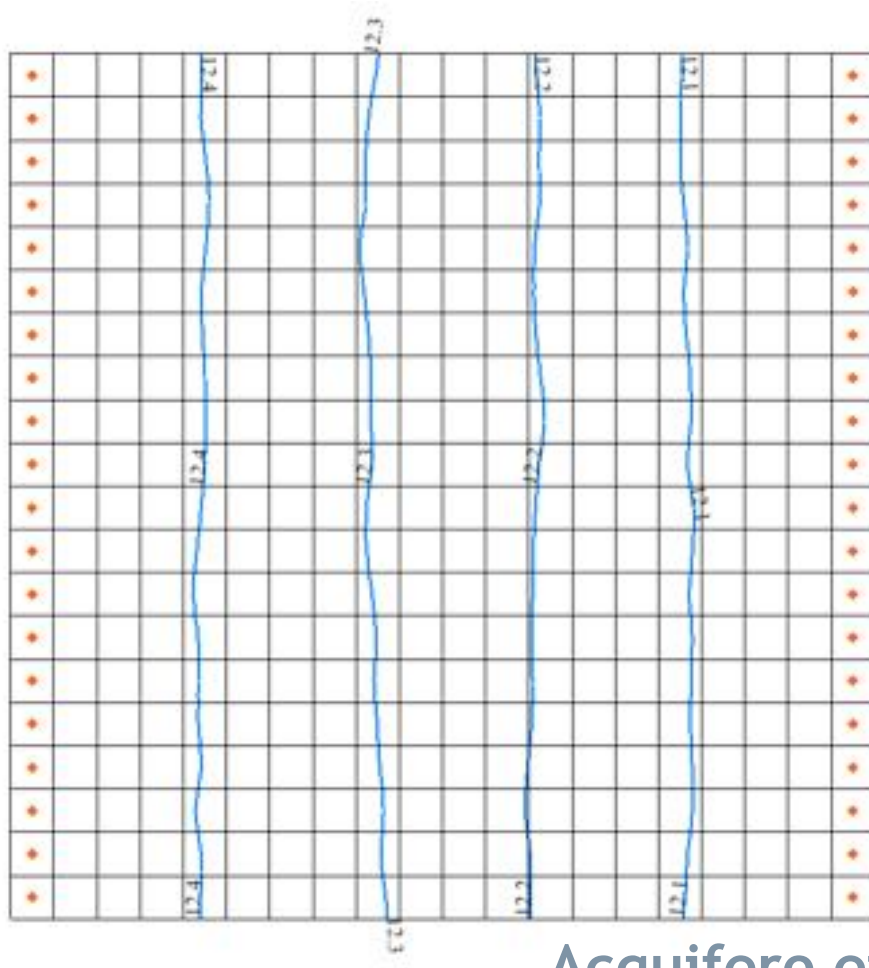
Acquifero omogeneo e isotropo

Permeabilità = 10^{-4} m/s

Flusso = $5 \cdot 10^{-4}$ m³/s = 43 m³/d



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



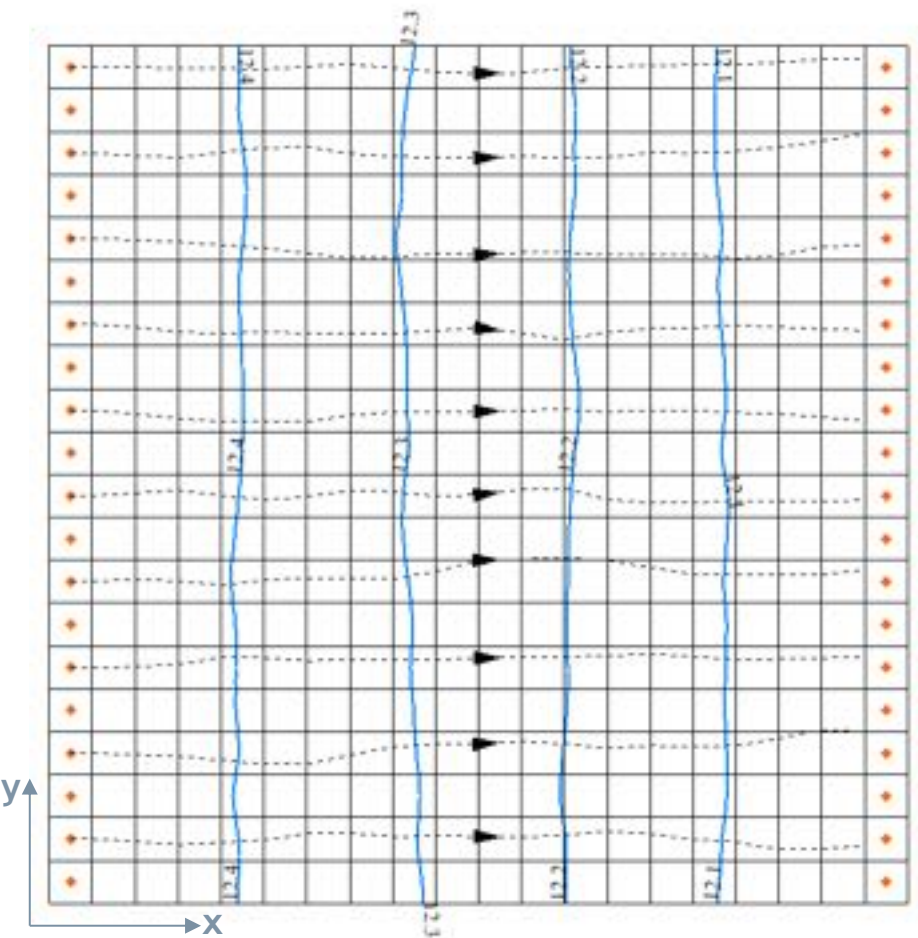
Acquifero eterogeneo

Permeabilità media = 10^{-4} m/s

TAKING COOPERATION FORWARD



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



Acquifero eterogeneo

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

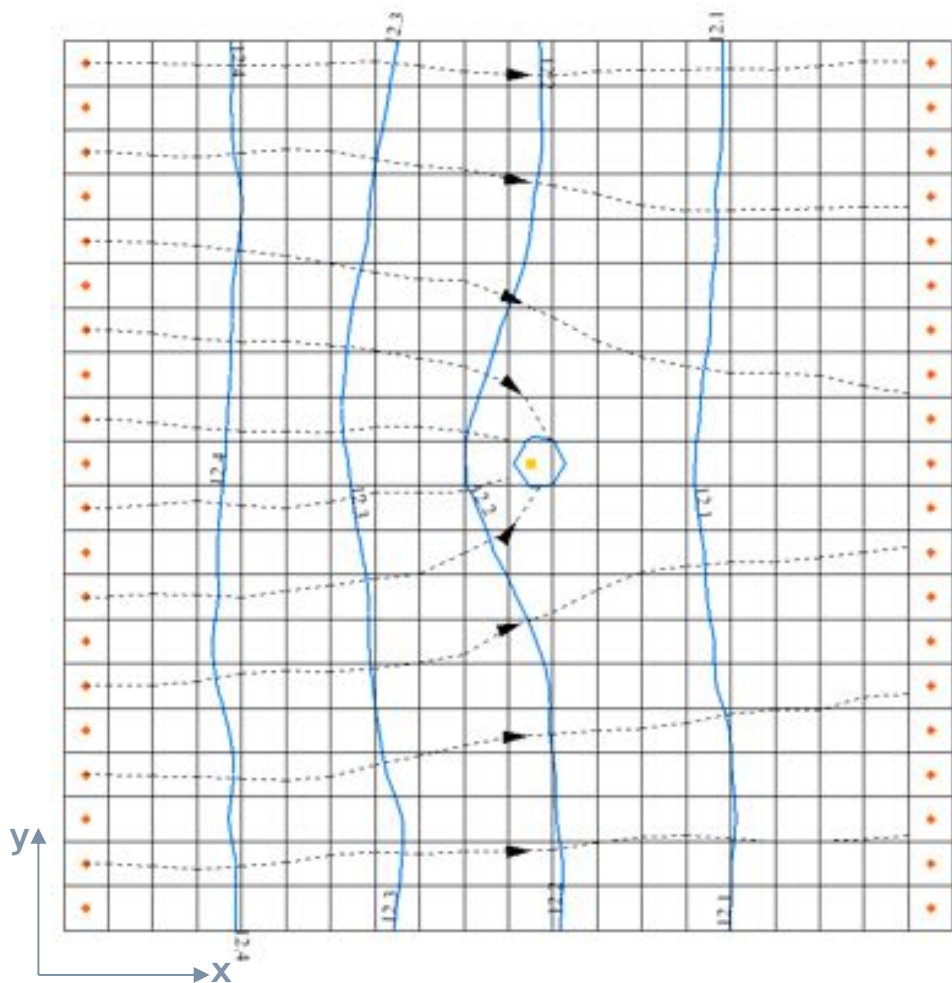
$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

Traiettorie in avanti



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

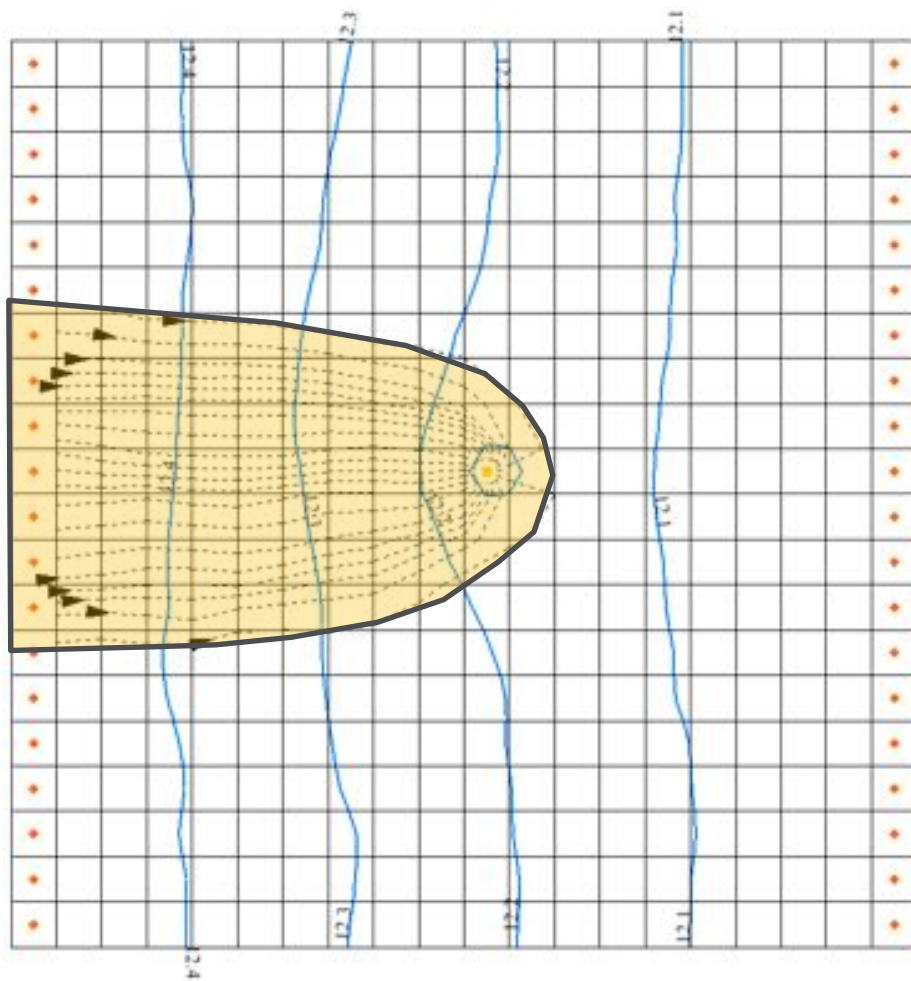
$$Q = 43\text{m}^3/\text{d}$$

Pozzo in fase di estrazione
Flusso = 115 m³/d

Traiettorie in avanti



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

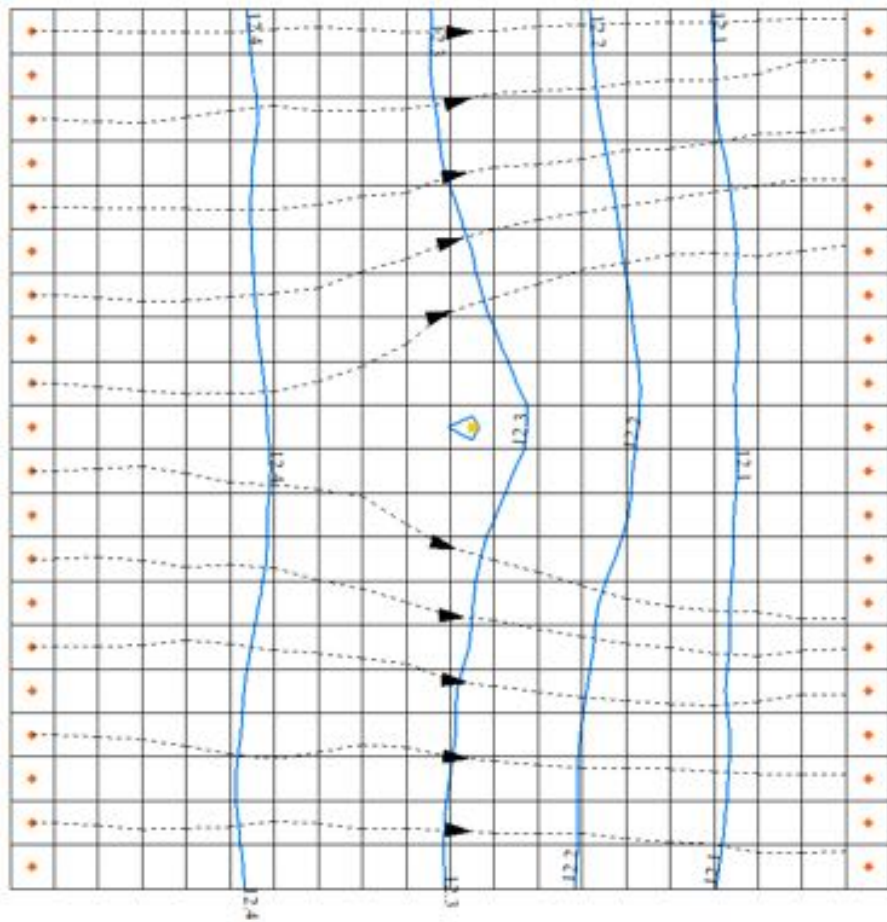
$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

$$Q = 43\text{m}^3/\text{d}$$

Pozzo in fase di estrazione
Traiettorie all'indietro



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) = Q$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad y = 0, y = 100\text{m}$$

$$h = 12.5\text{m}, x = 0\text{m}$$

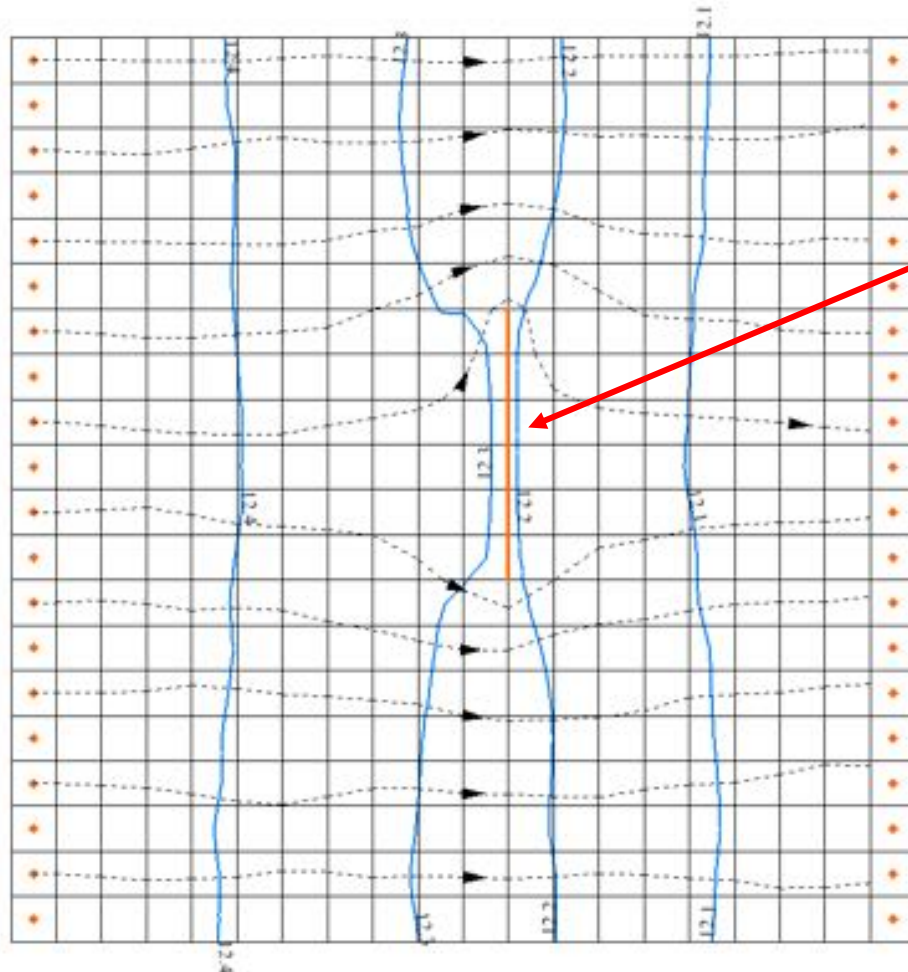
$$h = 12\text{m}, x = 100\text{m}$$

$$Q = -43\text{m}^3/\text{d}$$

Pozzo in fase di immissione



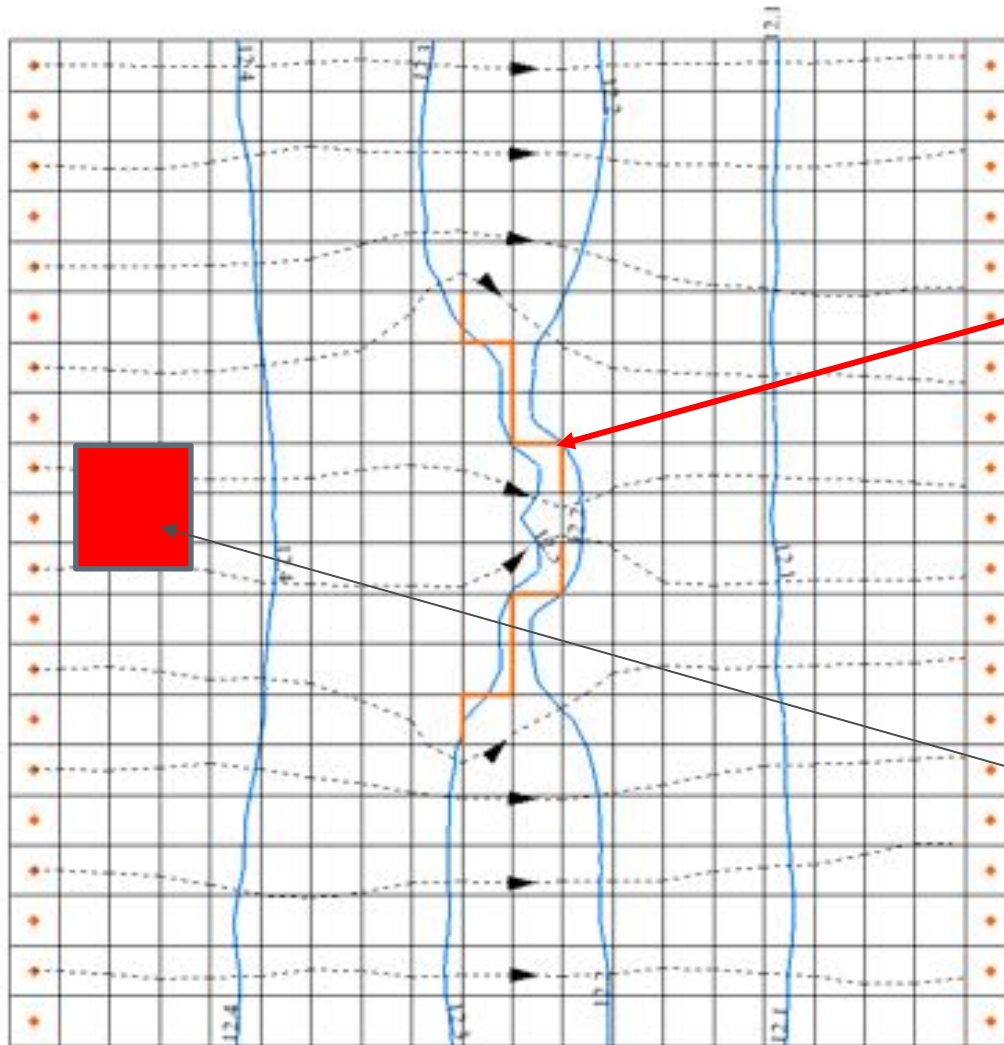
ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO



Barriera fisica



ESEMPIO: STUDIO DEL MOTO ALL'INTERNO DELL'ACQUIFERO

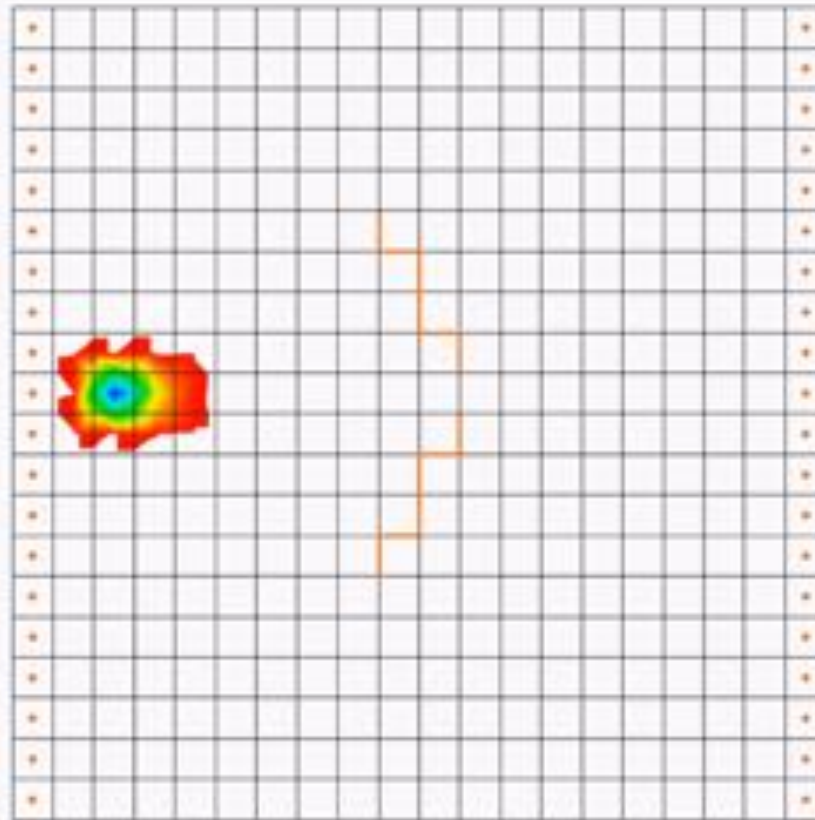


Barriera fisica con
elemento di barriera
reattiva centrale

Area
contaminata



SIMULAZIONE DI TRASPORTO DI CONTAMINANTE



All'aumentare del livello di dettaglio aumentano le informazioni necessarie per completare il modello

- Ricostruzione geologica e idrostratigrafica
- Realizzazione nuovi sondaggi
- Analisi dei livelli osservati nei punti di monitoraggio
- Analisi dei livelli dei corsi d'acqua
- Studio delle influenze tra corpi idrici superficiali e sotterranei
- Individuazione delle direzioni dei flussi e loro quantificazione
- Prove sugli acquiferi
- Stima dei parametri idraulici
- Analisi isotopiche
- Analisi dei contaminanti eventualmente presenti



Introduzione ai
modelli

Esempio sintetico

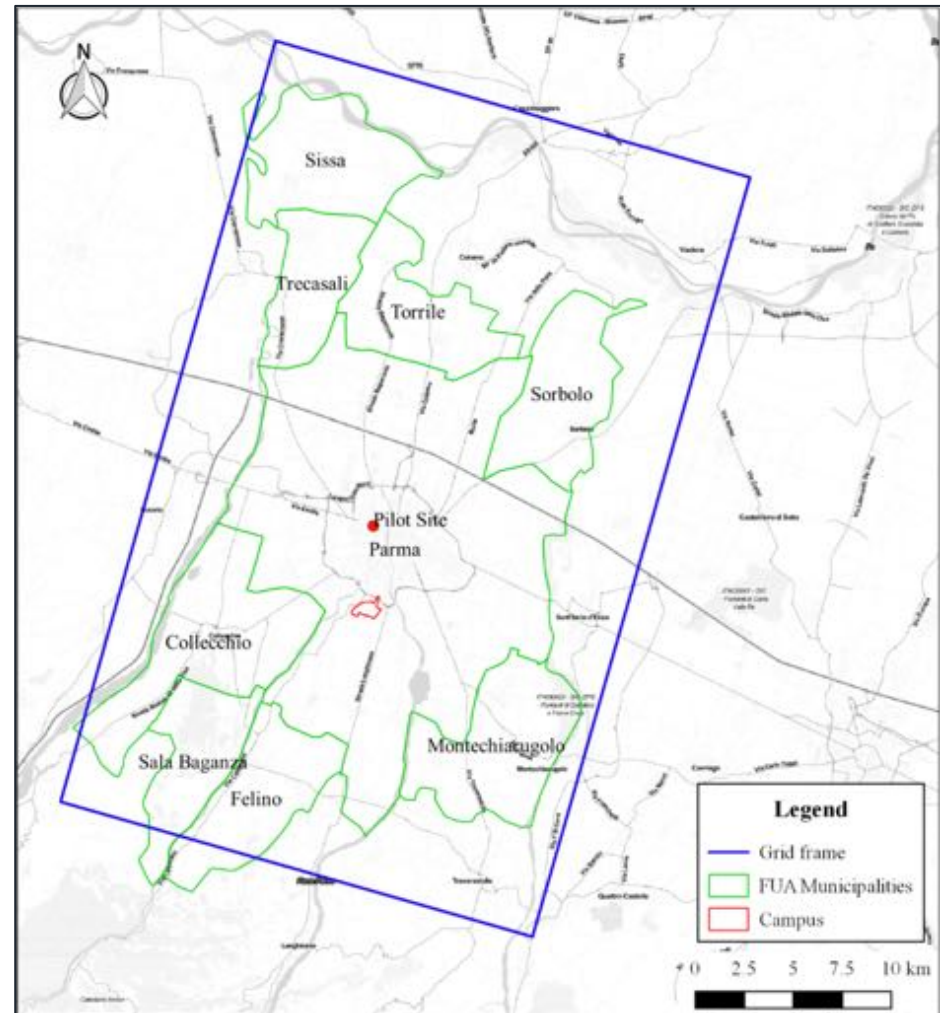
Modello
preliminare
dell'acquifero
Parmense



MODELLO NUMERICO PRELIMINARE A GRANDE SCALA

FUA: 580 km²

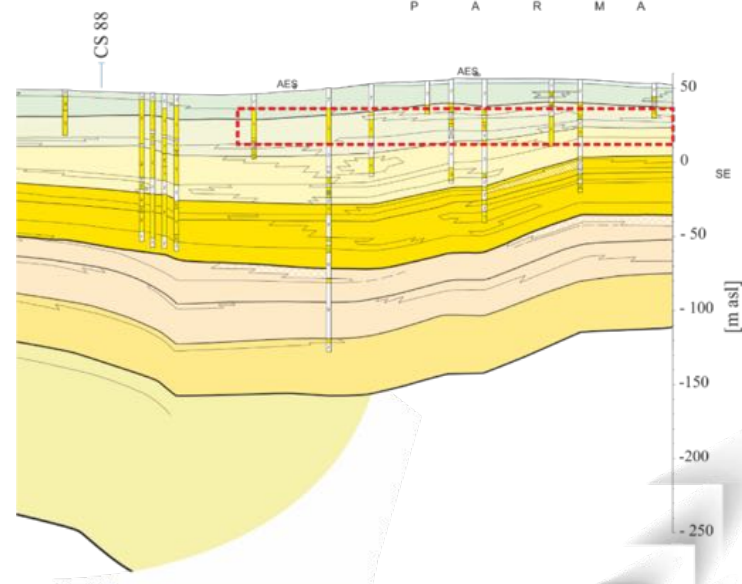
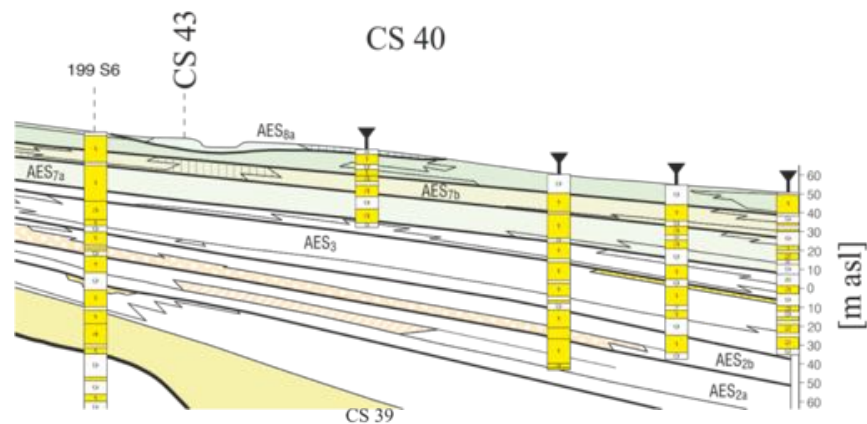
Parma: 260 km²



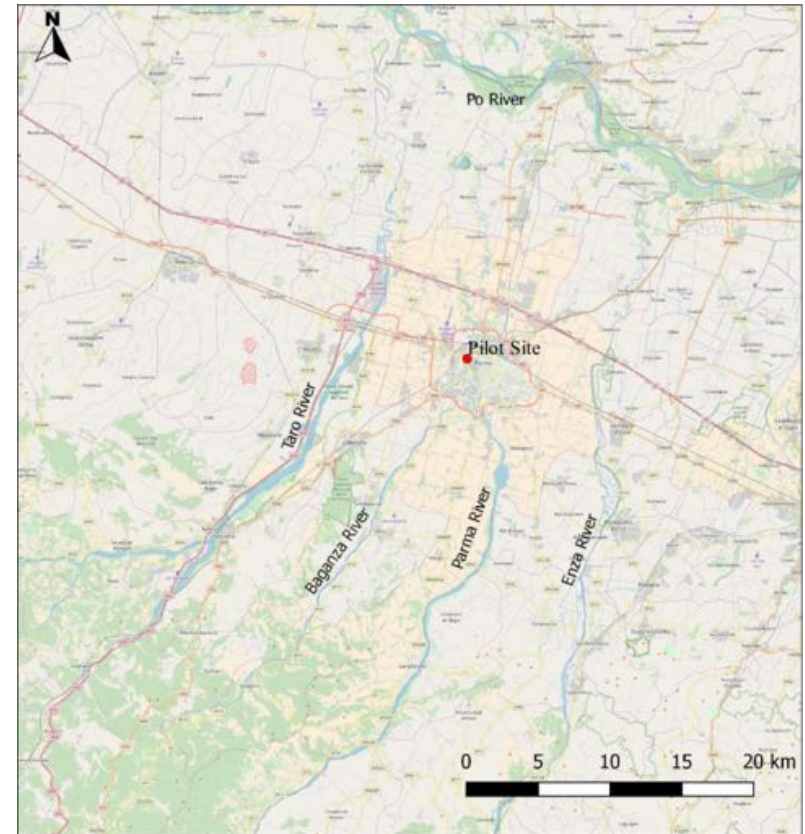
Interreg
CENTRAL EUROPE

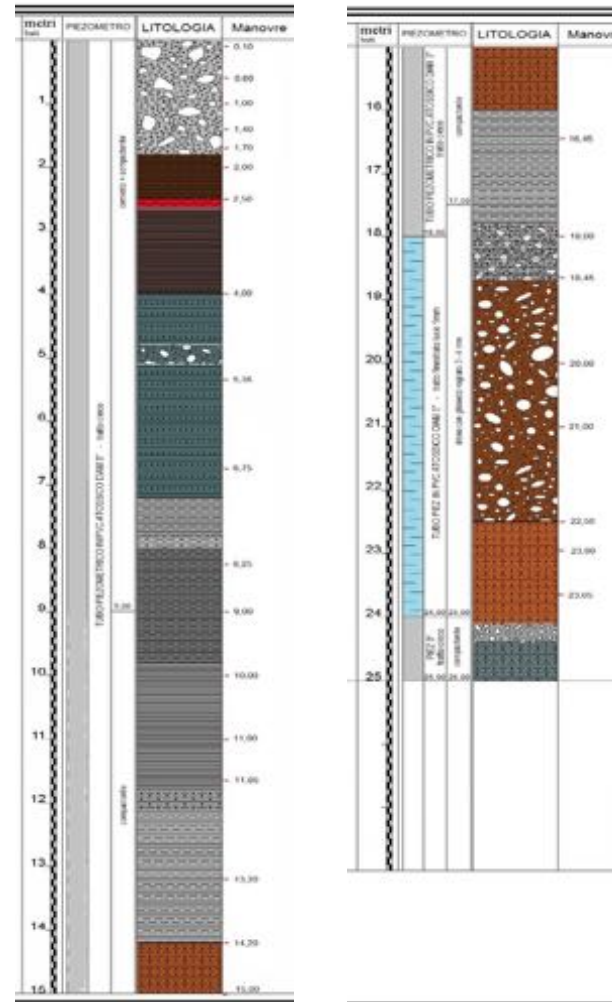
European Union
European Regional
Development Fund

AMIIGA



MODELLO NUMERICO PRELIMINARE A GRANDE SCALA





Acquifero oggetto
dello studio



GRIGLIA DI CALCOLO

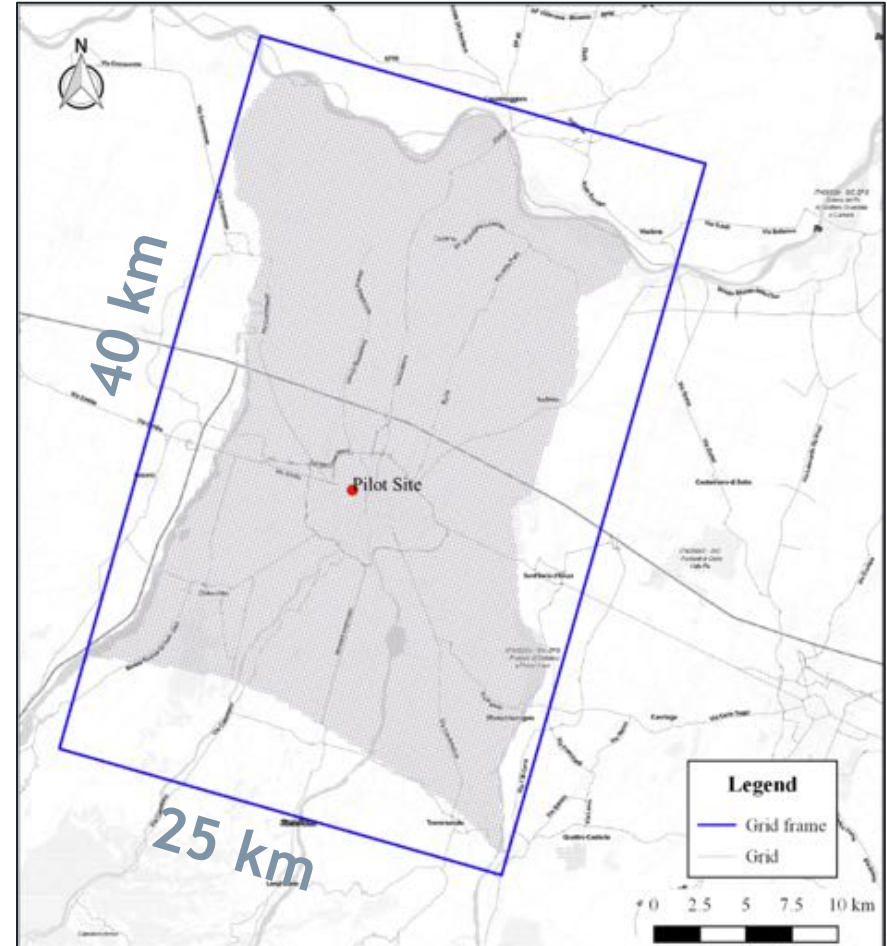
Celle totali: 50000
Celle attive: 30934

righe: 200
colonne: 125

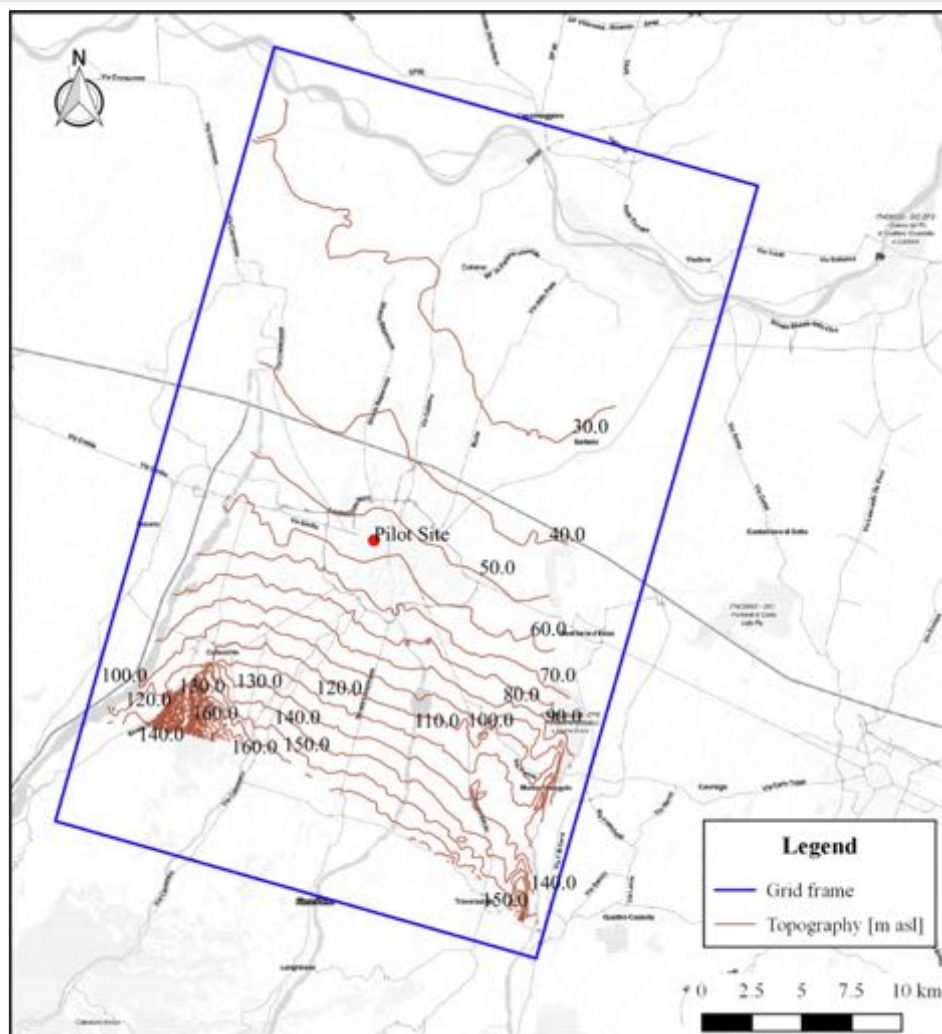
$\Delta X = \Delta Y = 200$ m

strati:2

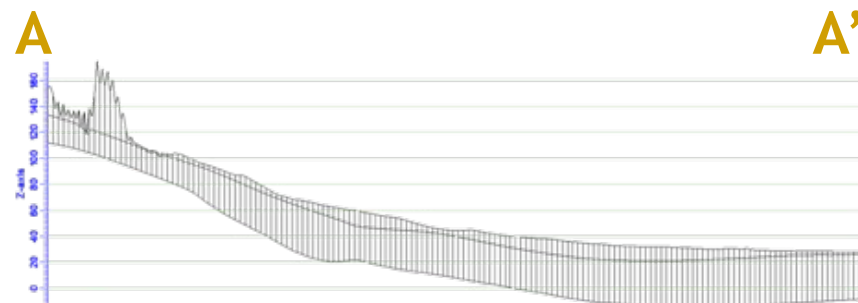
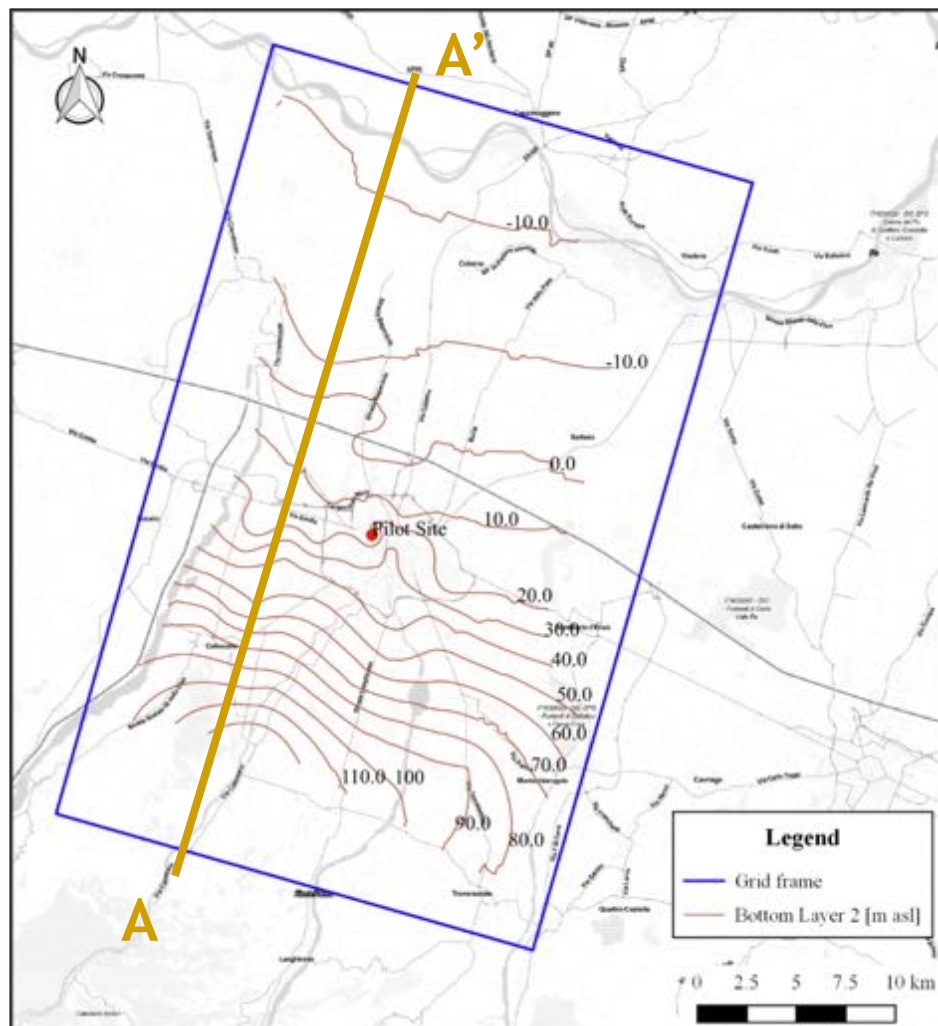
Area attiva: 612 km²



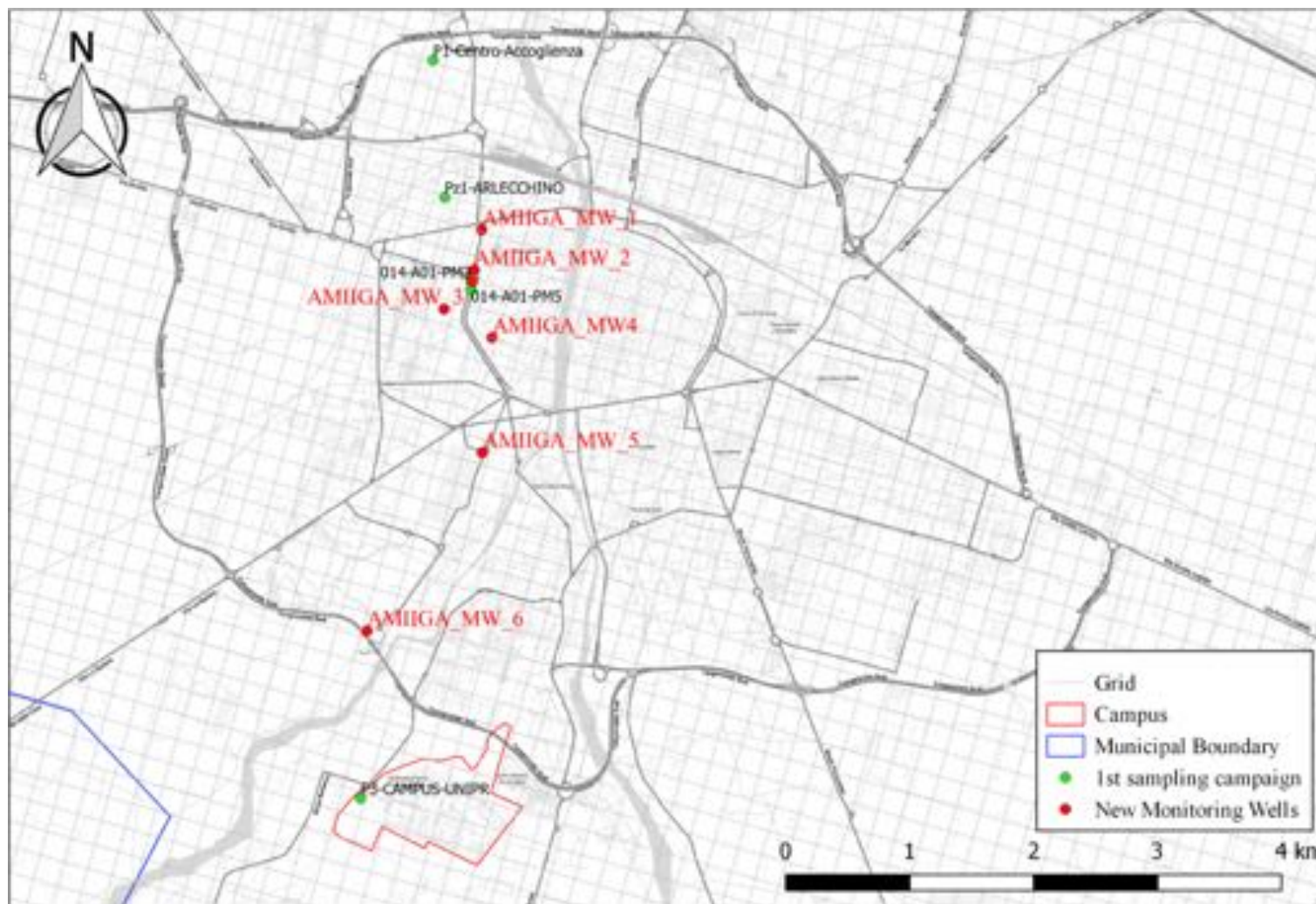
MODELLO REGIONALE DTM



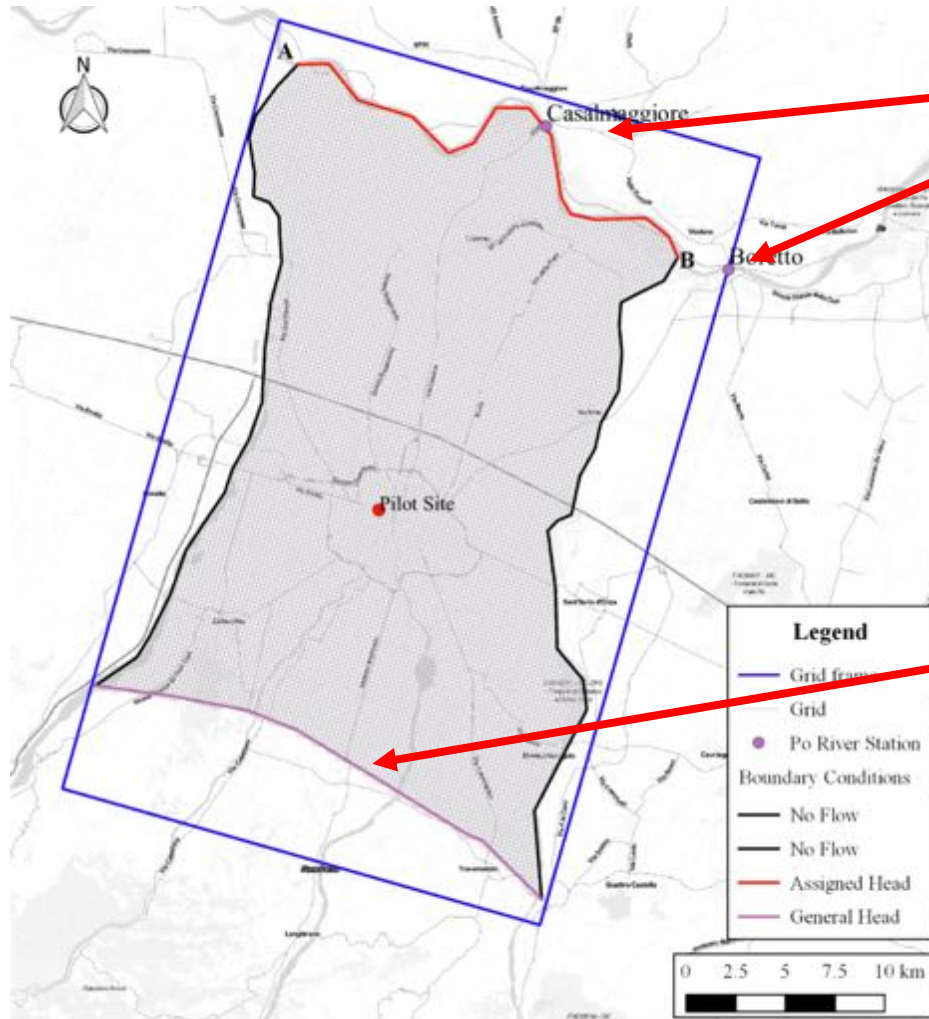
BASE STRATO 2



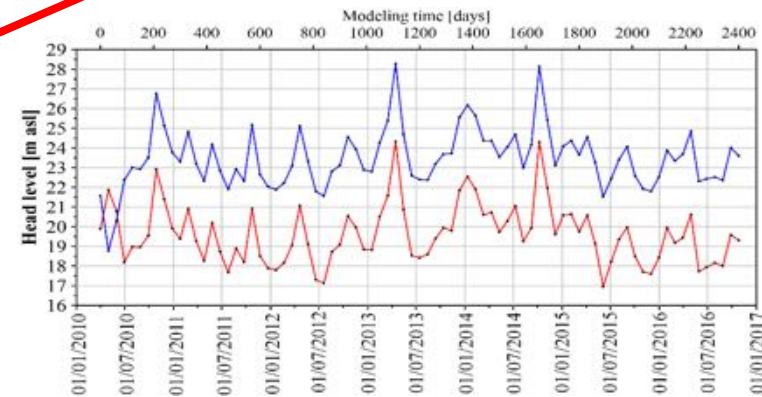
DETTAGLIO GRIGLIA DI CALCOLO



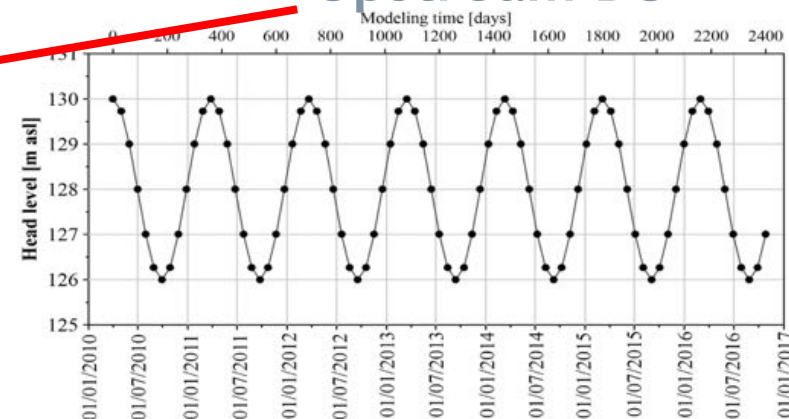
CONDIZIONI AL CONTORNO



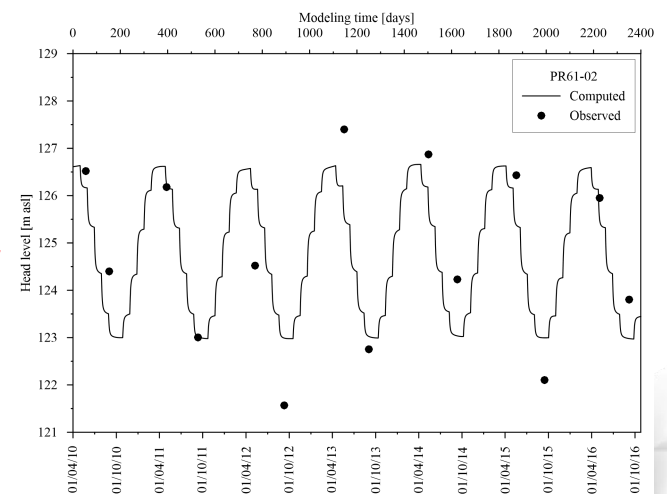
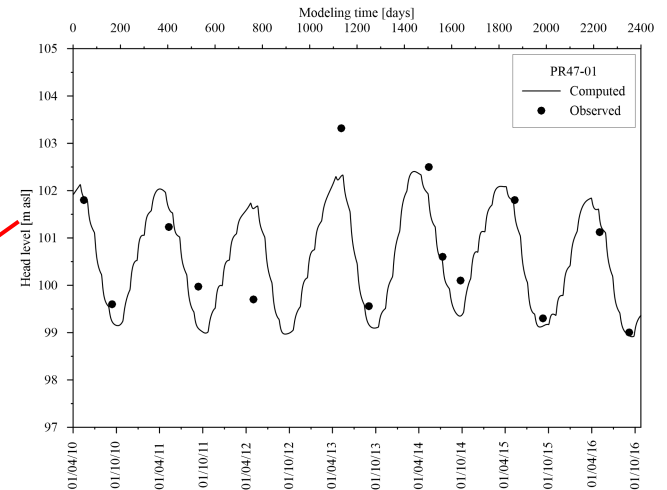
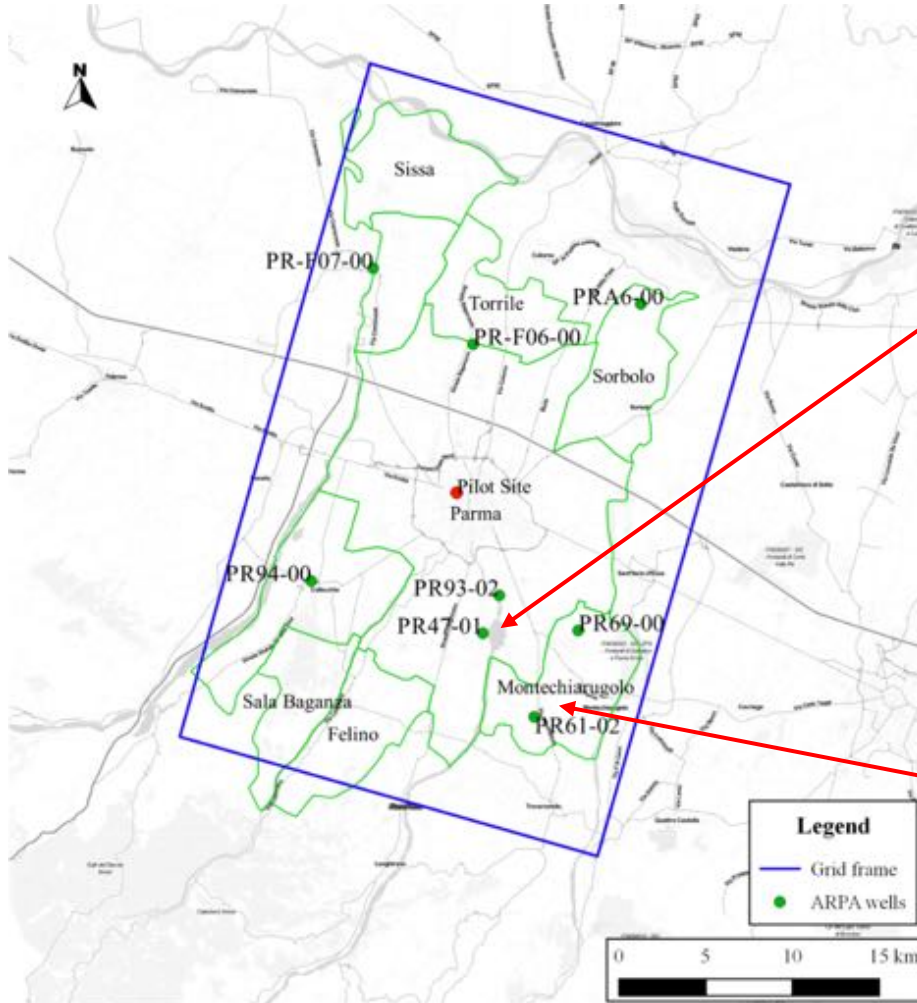
Po River Station



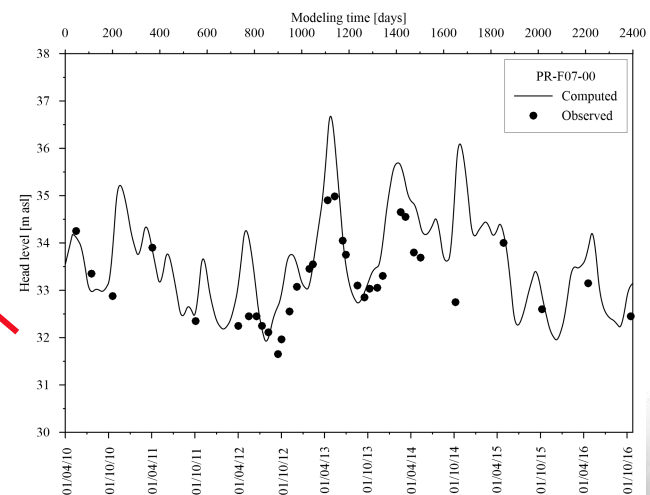
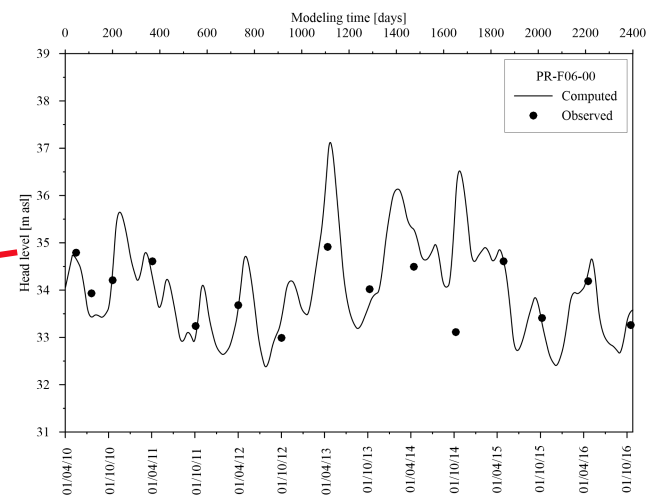
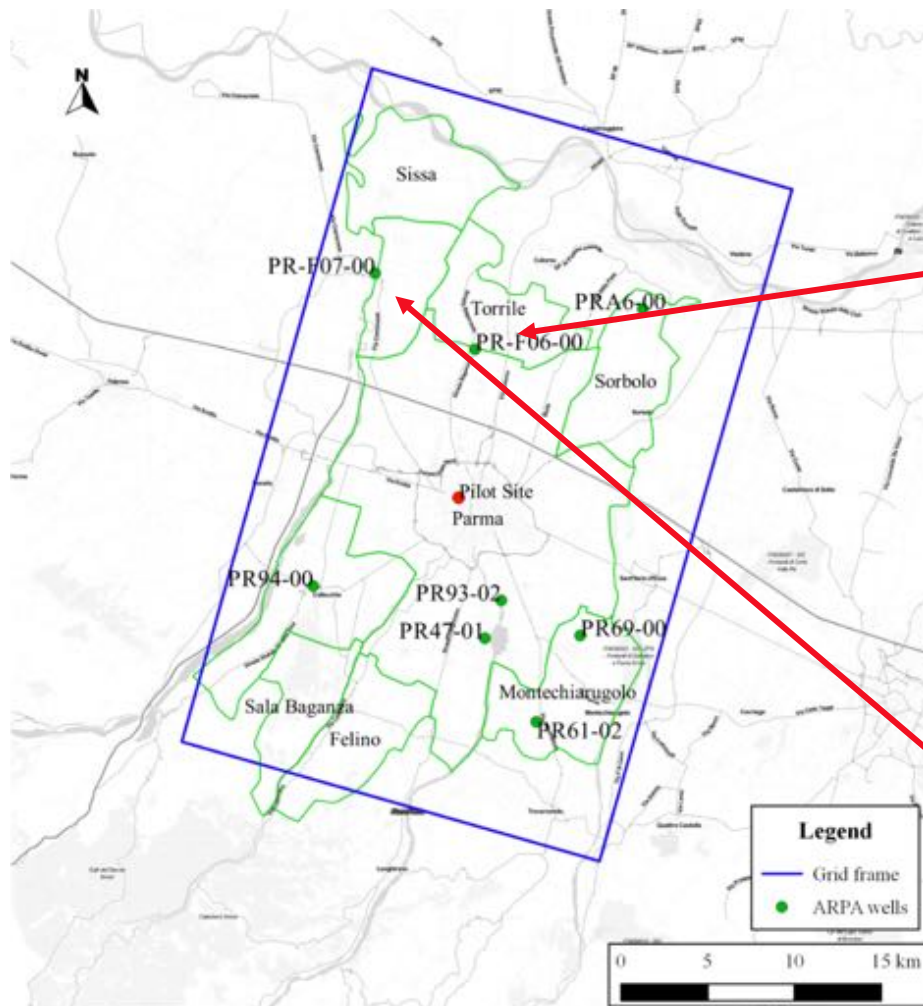
Upstream BC

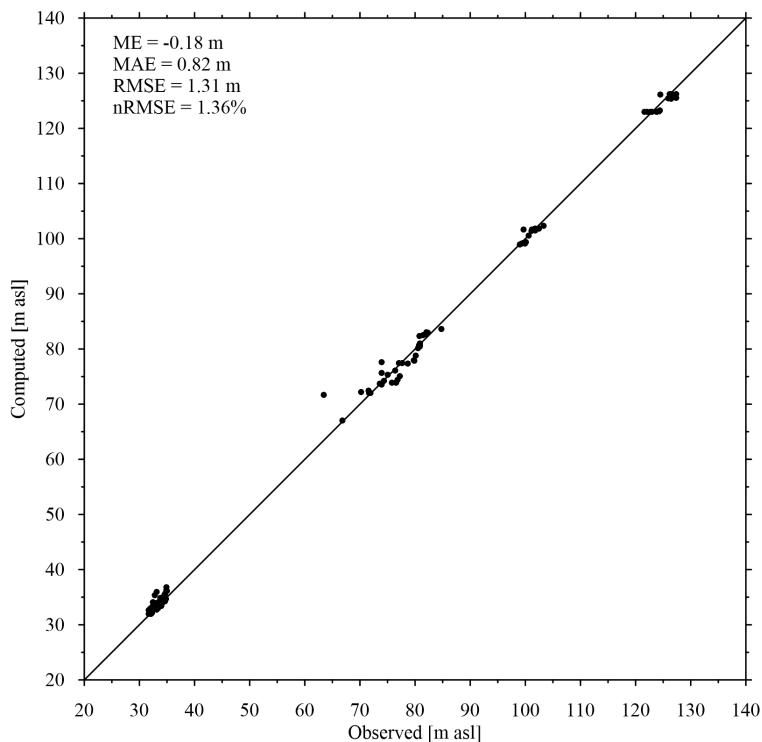


RISULTATI CALIBRAZIONE



RISULTATI CALIBRAZIONE





$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Hc_i - Ho_i = -0.18\text{m}$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Hc_i - Ho_i| = 0.82\text{m}$$

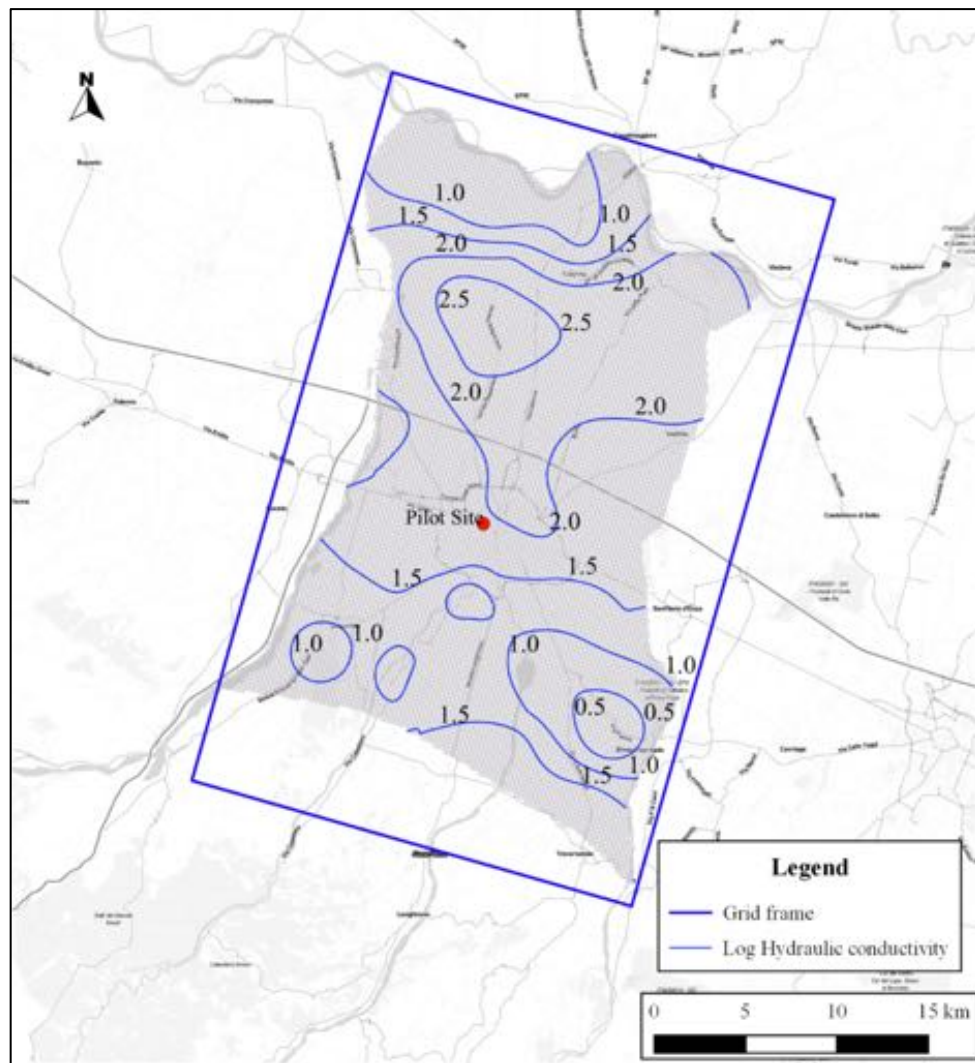
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Hc_i - Ho_i)^2} = 1.31\text{m}$$

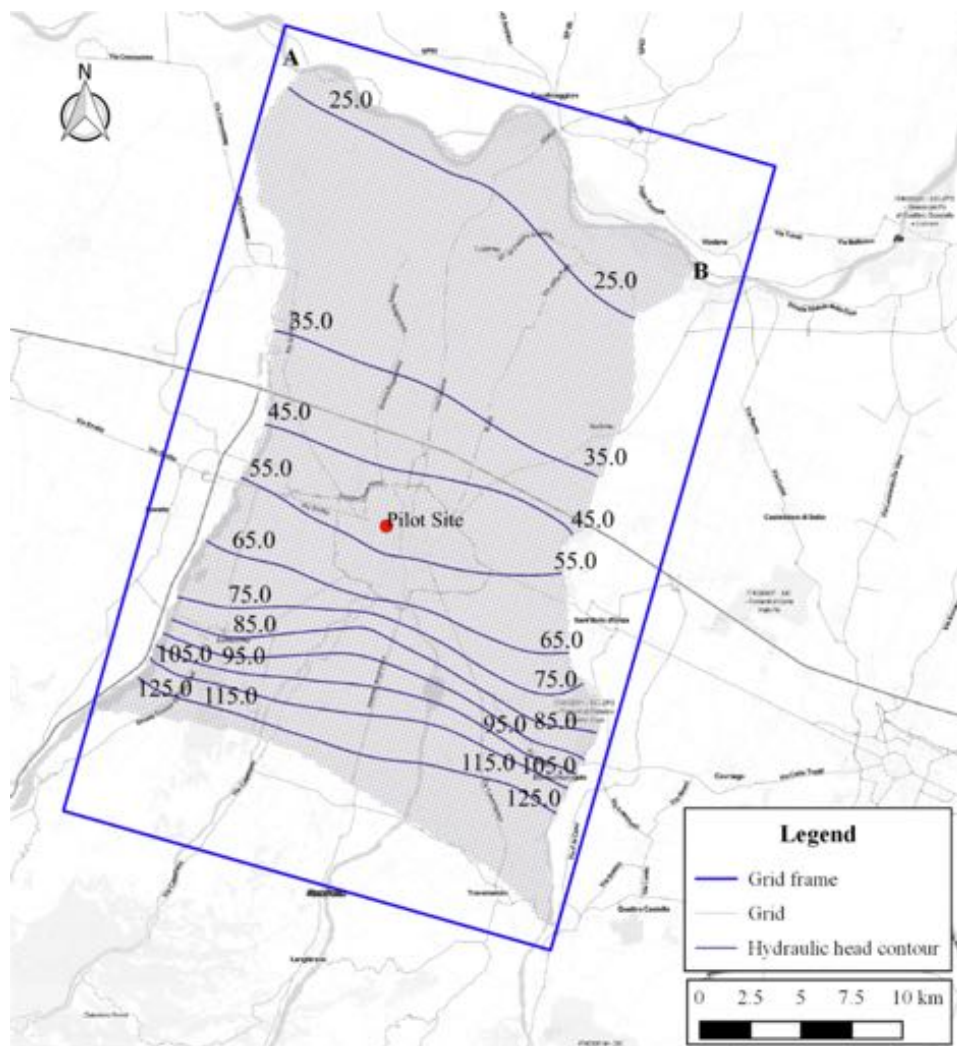
$$nRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Hc_i - Ho_i)^2}}{HoMAX - HoMIN} = 1.36\%$$

111 osservazioni



RISULTATI CALIBRAZIONE

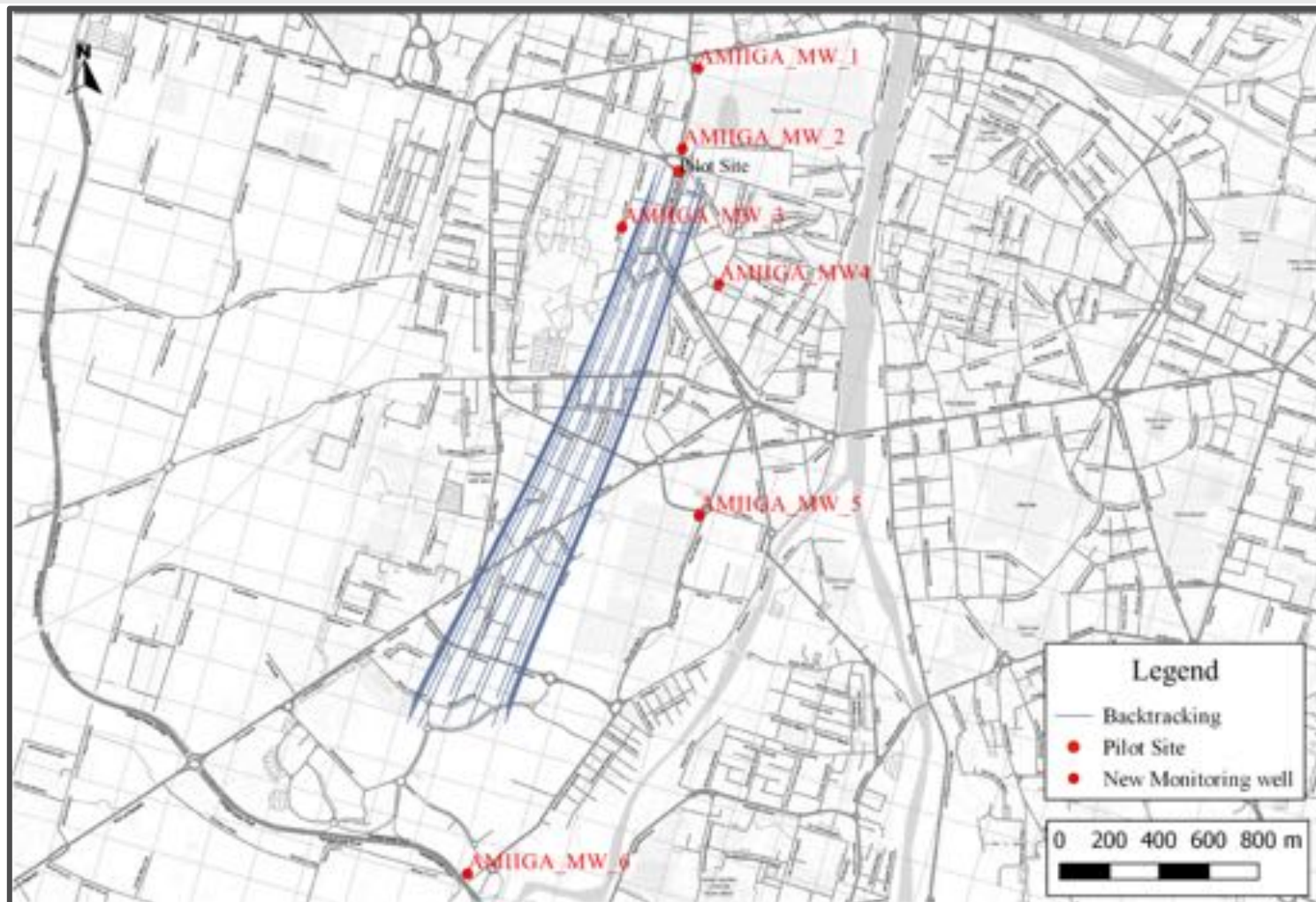




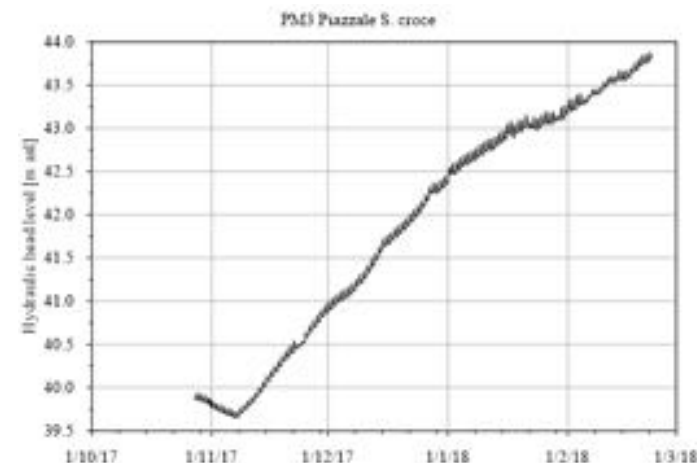
Primavera 2016



TRACCIAMENTO ALL'INDIETRO



- Utilizzo dei nuovi sondaggi realizzati nel 2017 per migliorare il modello concettuale
- Sviluppo di un modello numerico di dettaglio sull'area pilota di Parma
- Taratura del modello numerico utilizzando i dati raccolti in campo nel 2017-2018
- Analisi delle potenziali aree sorgenti della contaminazione



No one trusts a model except the man who wrote it;
everyone trusts an observation, except the man who
made it Harlow Shapley



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Ing. Andrea Zanini

Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e
Architettura, Università degli Studi di Parma



andrea.zanini@unipr.it



+0521 905931

