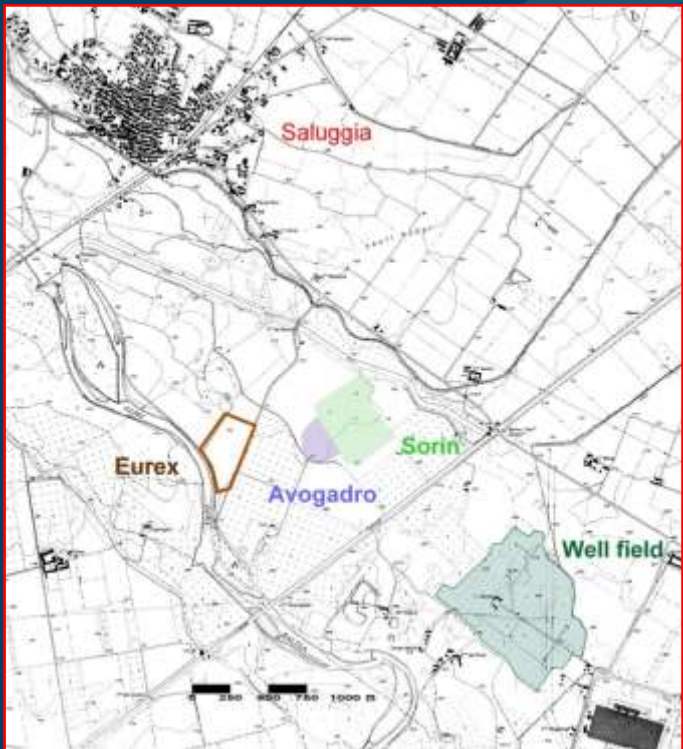


# Modelli numerici finalizzati allo studio del rilascio e del trasporto dei contaminanti radioattivi nelle acque sotterranee. Caso studio: sito di Saluggia

Jacopo De Sanctis, F. Marconi, M. Rosati, G. Mingrone – Sogin SpA

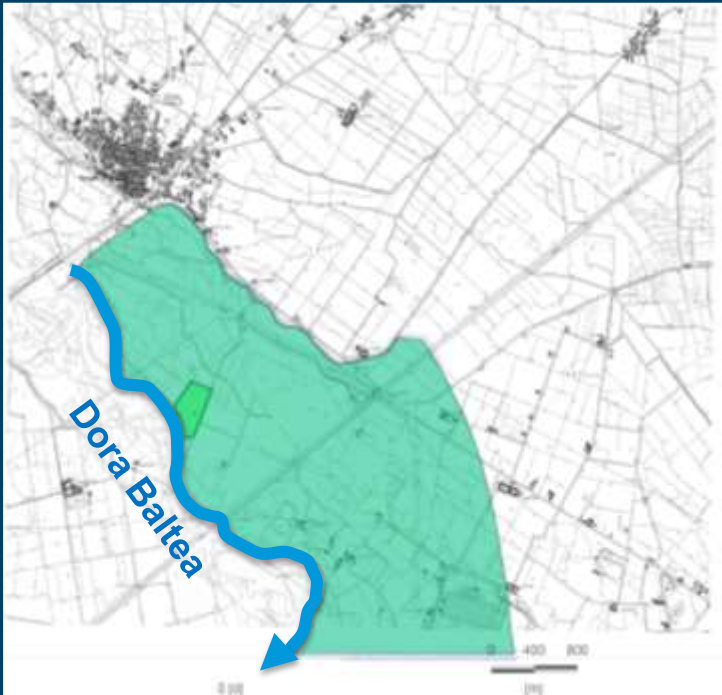
Torino, 14-15 Ottobre 2015

# Introduzione (1/3) – Impianto EUREX



- EUREX (Enriched Uranium EXtraction) è un impianto pilota di riprocessamento del combustibile nucleare esaurito costruito negli anni '60 e che ha smesso di operare nel 1984. Attualmente vi sono stoccati circa 2900 m<sup>3</sup> di rifiuti radioattivi ([www.sogin.it](http://www.sogin.it)).
- EUREX è situato nel comprensorio nucleare di Saluggia (VC) a circa 40 km a Nord-Est di Torino e comprende anche:
  - ❑ Avogadro (Deposito di rifiuti radioattivi)
  - ❑ Sorin (Industria biomedica e gestione di rifiuti radioattivi)
- Ad una distanza di 1.5 km a valle del distretto vi è il più grande campo pozzi della regione Piemonte che fornisce acqua potabile a più di centomila persone.

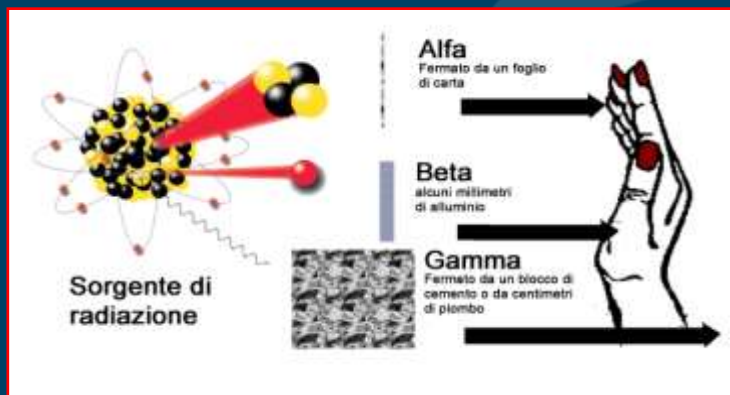
## Introduzione (2/3) – Perché modellare l'area EUREX?



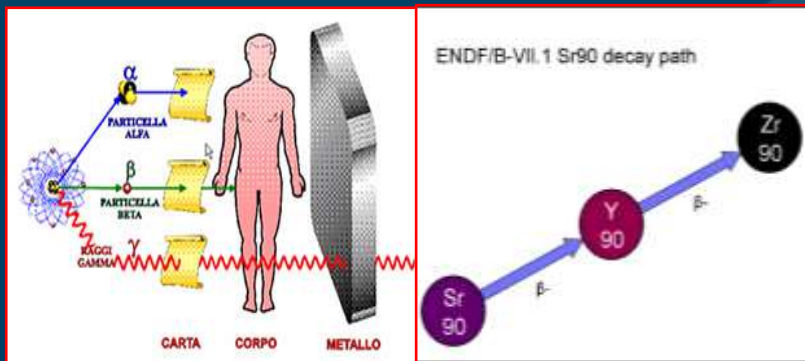
- Nel 2004 è iniziato un programma di monitoraggio delle falde acquifere dell'area a causa della presenza di acqua contaminata presente nell'intercapedine di sicurezza situata intorno alla piscina di stoccaggio del combustibile.
- Nel 2006 anomale concentrazioni di  $^{90}\text{Sr}$  ( $\approx 0.02$  Bq/l) sono state rilevate nell'acquifero superficiale.
- La rete di monitoraggio è stata progressivamente estesa sino ad arrivare ad circa 100 pozzi in tutta l'area.
- Nel Giugno 2008 è stata completata la disattivazione della piscina (rimozione del combustibile, svuotamento e decontaminazione sia dell'acqua che della piscina).
- Le attività di monitoraggio hanno continuato a mostrare livelli anomali precedentemente rilevati di  $^{90}\text{Sr}$  con variazioni correlate alle variazioni del livello di falda con un picco massimo di circa 0.57 Bq/l.

Tutti i valori di concentrazione rilevati nel tempo non hanno mai rappresentato nessun rischio per l'uomo e l'ambiente circostante.

# Introduzione (3/3) – Cos'è la radioattività

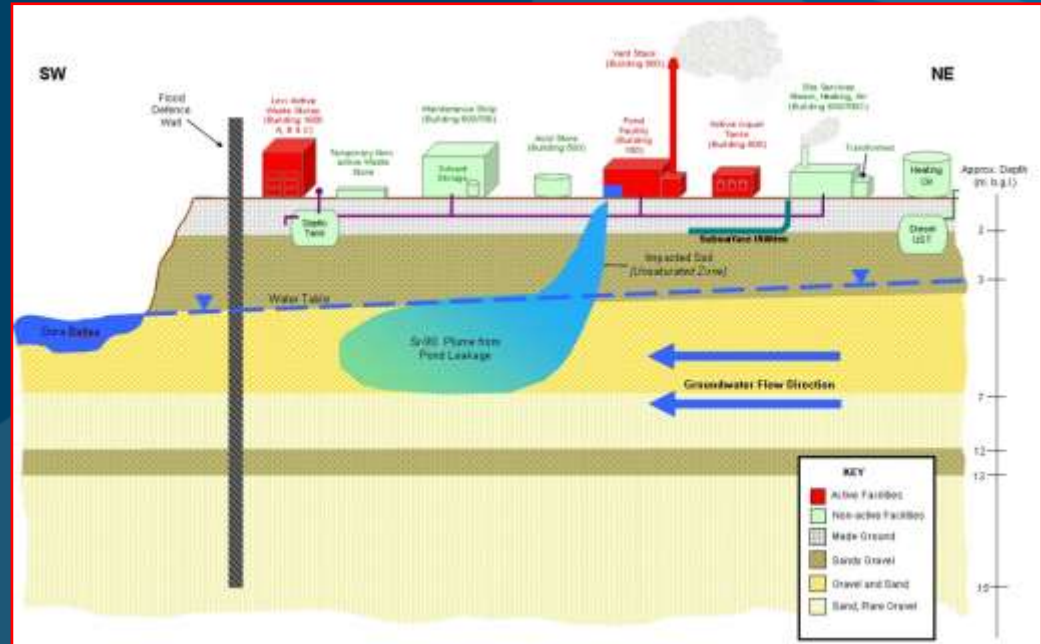
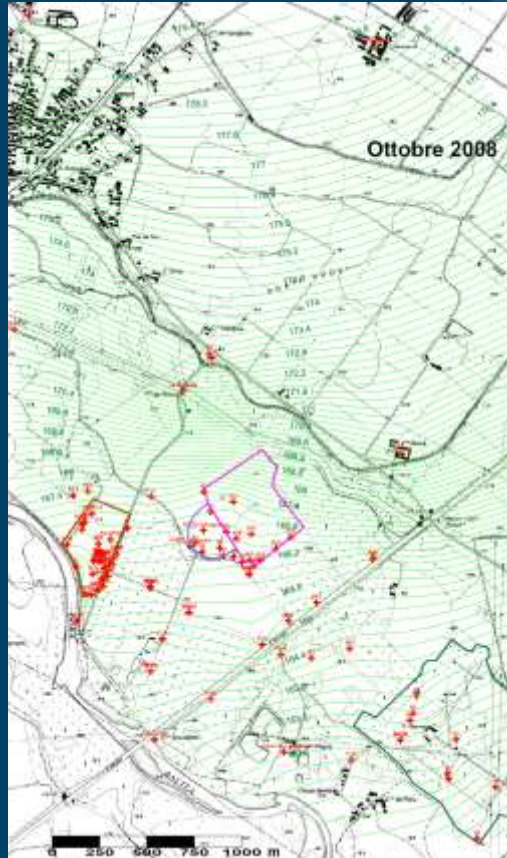


- La radioattività è la proprietà degli atomi di alcuni elementi con un numero in eccesso di protoni o neutroni, quindi instabili, di trasformarsi in atomi più stabili emettendo radiazioni alpha, beta o gamma (radiazioni ionizzanti).
- Quando un atomo (radionuclide) si trasforma in un altro atomo più stabile, si dice che 'decade'.



- In molti casi un radionuclide non decade direttamente in un elemento stabile, ma in un altro che è a sua volta radioattivo. Si creano cioè delle «catene radioattive» che si esauriscono con un elemento stabile.
- La radioattività si misura in Bequerel (Bq). 1 Bq corrisponde ad un decadimento al secondo.

# Modello concettuale dell'area di modellazione



# Approccio modellistico con FEFLOW

## Modello Generale

L'intera area di Saluggia  
circa 6 km<sup>2</sup>



## Modello Locale

Solo l'impianto EUREX  
circa 9 ettari



# Modello numerico - Stratigrafia idrogeologica

**IMPIANTO EUREX**

## DEPOSITI ALLUVIONALI DELLA PIANURA PADANA (QUATERNARIO):

1) Ghiaie in matrice sabbiosa (Spessore 5-10 m).

$$K_{XY} = 10^{-4} - 10^{-1} \text{ m/s.}$$

2) Sabbia fine, talvolta ghiaiosa o limosa (Spessore 1-6 m).  $K_{XY} = 10^{-6} - 10^{-4} \text{ m/s.}$

3) Ghiaia con sabbia (Spessore 16-25 m).

$$K_{XY} = 10^{-4} - 10^{-2} \text{ m/s.}$$

4) Sabbia con ghiaia (Spessore 11-21 m).

$$K_{XY} = 10^{-6} - 10^{-3} \text{ m/s.}$$

5) Limo, talvolta argilloso o sabbioso

(Spessore 1-19 m).  $K_{XY} = 10^{-7} \text{ m/s.}$  **AQUITARD**

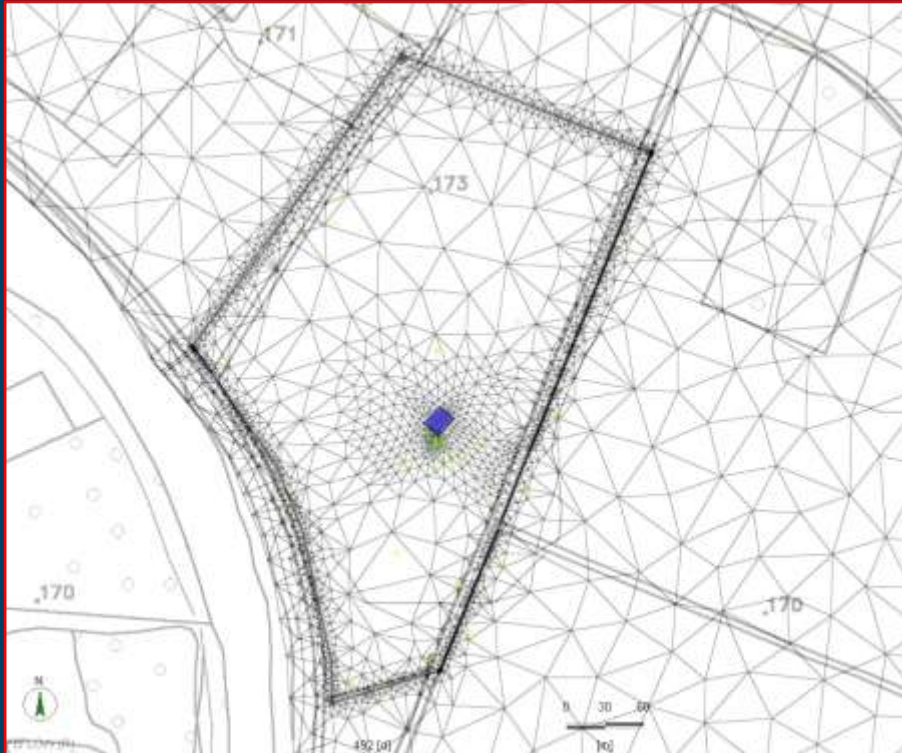
6) Ghiaia con sabbia (Spessore oltre 70 m).

$K_{XY} = 10^{-4} - 10^{-2} \text{ m/s.}$  **ACQUIFERO PROFONDO**

**ACQUIFERO  
SUPERFICIALE**



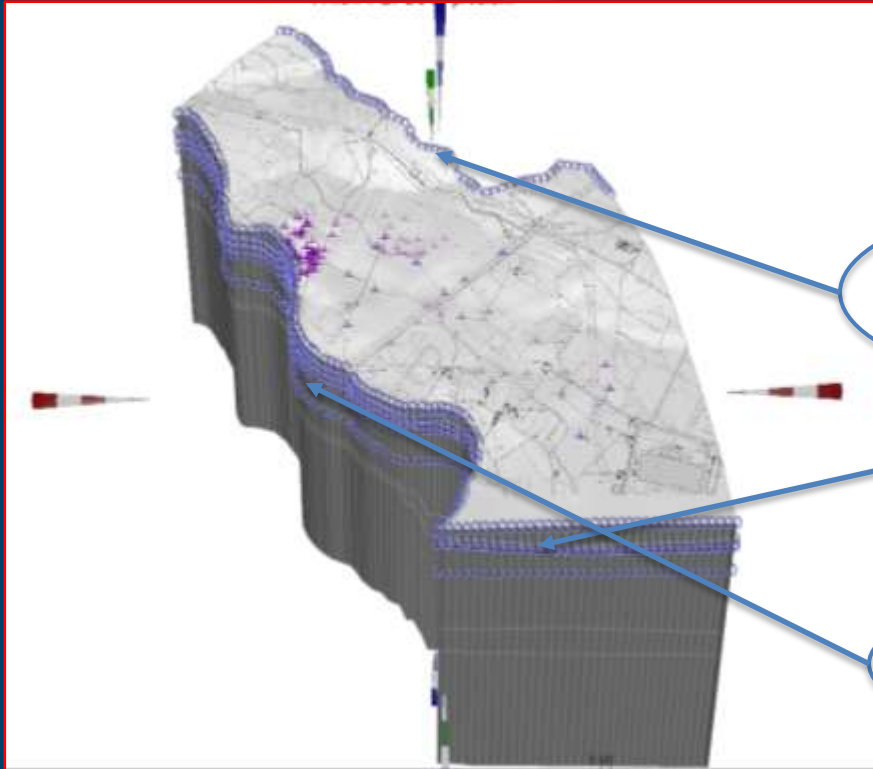
# Modellazione del muro di difesa idraulica



- Introduzione in FEFLOW del muro di difesa idraulica attraverso i **Poligoni di Supermesh**.
- Caratteristiche del muro:
  - 0.8 m di spessore;
  - 16 m di profondità su 3 lati;
  - 12 m di profondità sul lato Est.



# Condizioni al contorno del modello di flusso stazionario

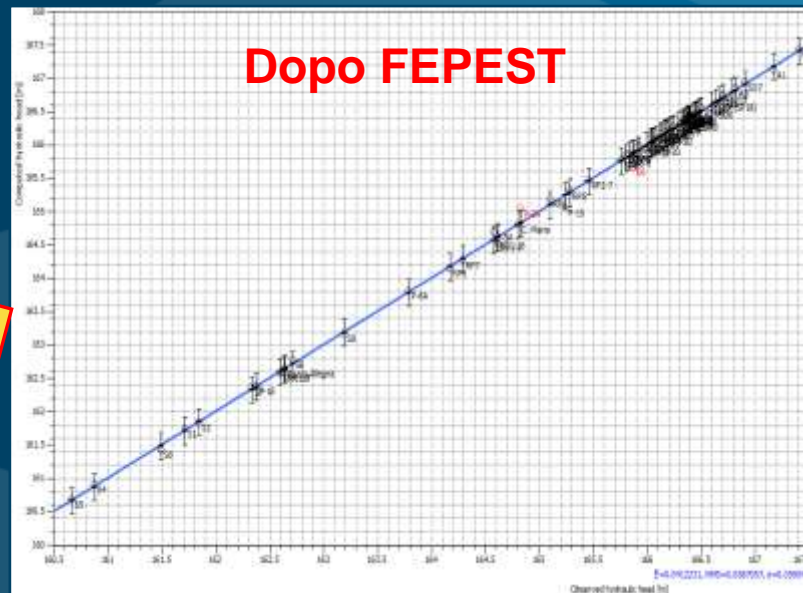
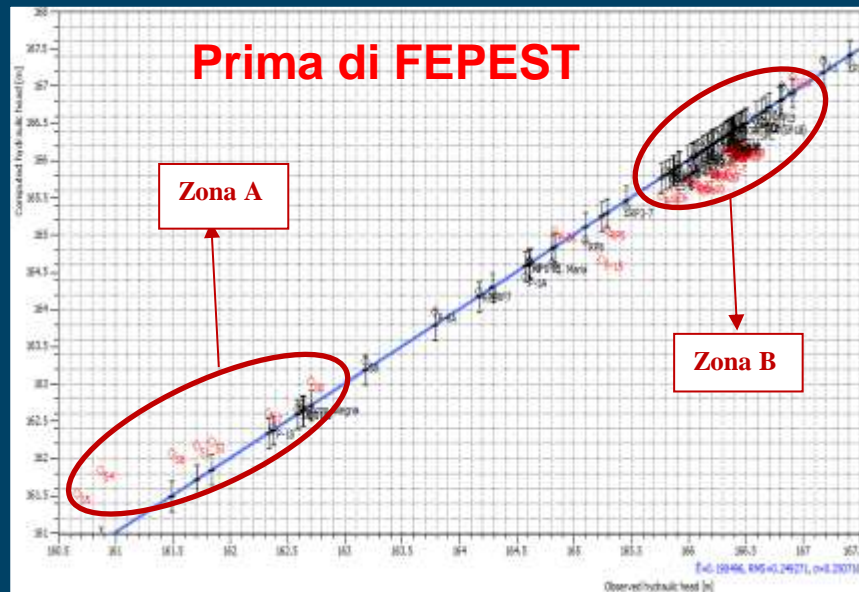


## 3 Differenti condizioni al contorno:

- Bordo Nord-Est della piana alluvionale Olocenica (piede del terrazzo pleistocenico)
- Bordo Sud
- Bordo Ovest corso del fiume Dora Baltea (rilievi topografici)

# Calibrazione della conduttività idraulica nel Modello Generale

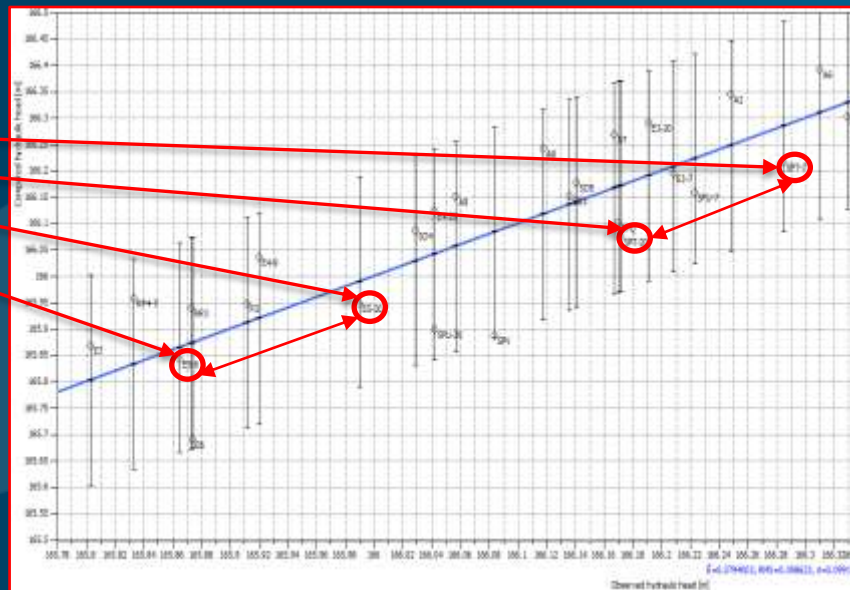
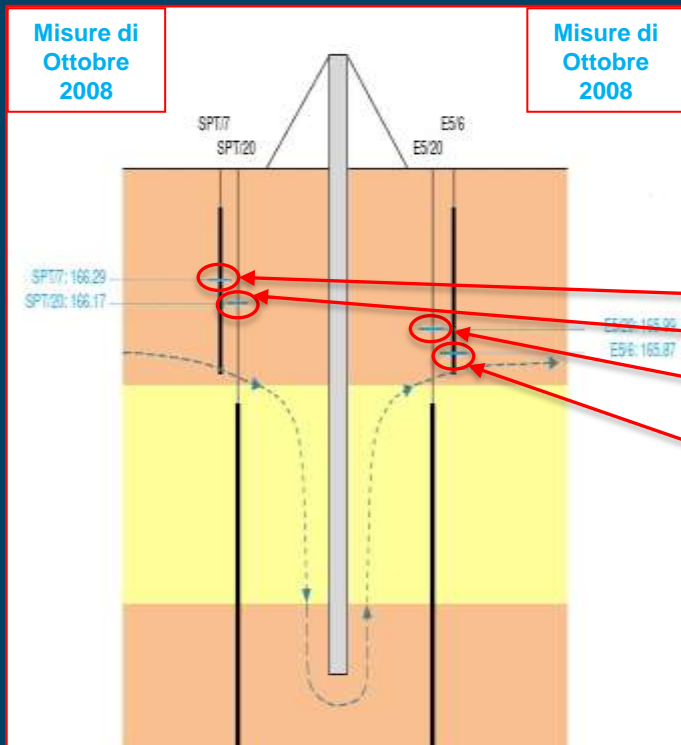
Utilizzo del software FEPEST per la calibrazione dei valori di conduttività di ciascun Layer. Le barre di errore sono fissate a 0.2 m d'acqua.



# Effetti idraulici dovuti alla presenza del muro di difesa

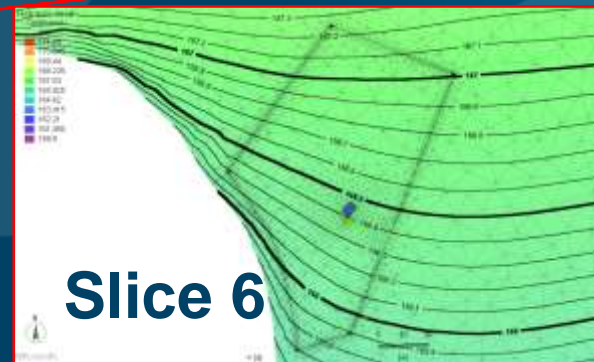
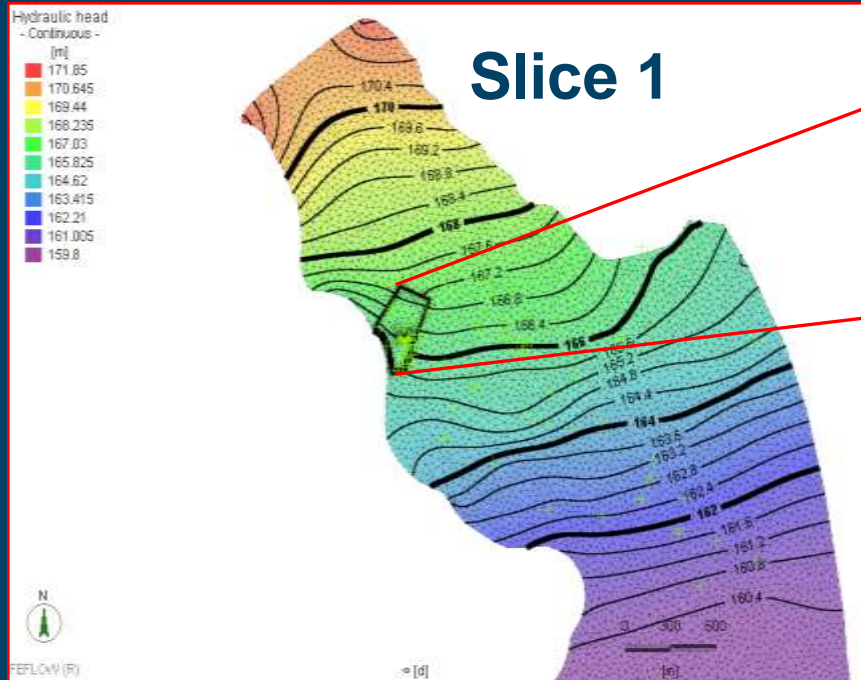
Si è osservato che il muro ha l'effetto di modificare i livelli piezometrici. Tale effetto risulta molto evidente nel calcolo numerico.

Il muro è una barriera che si oppone anche alla propagazione di eventuali inquinanti presenti in falda.



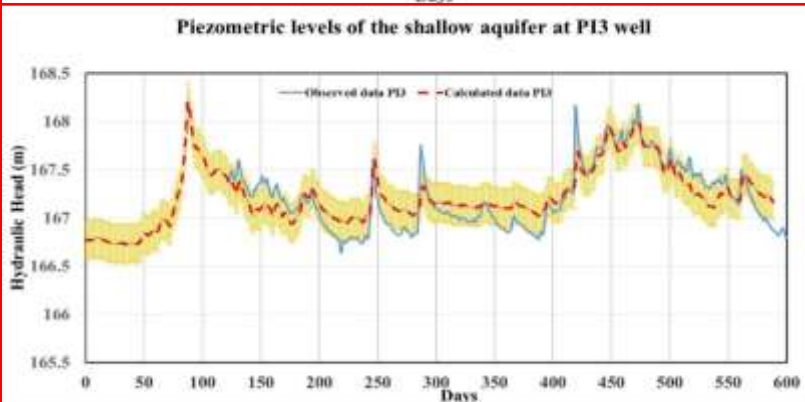
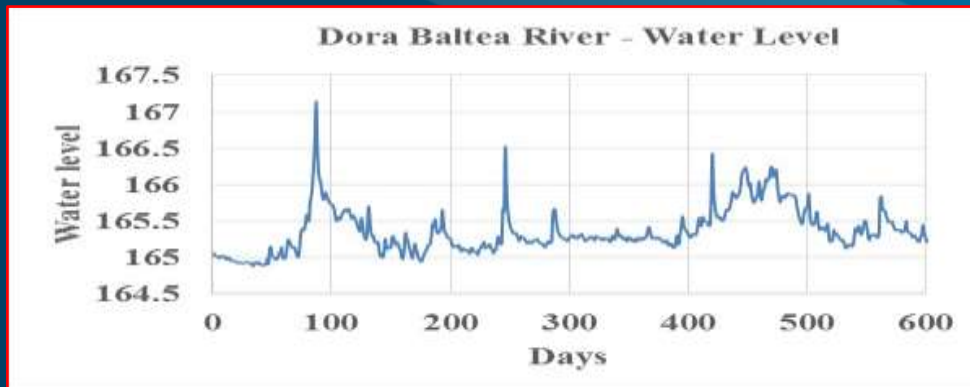
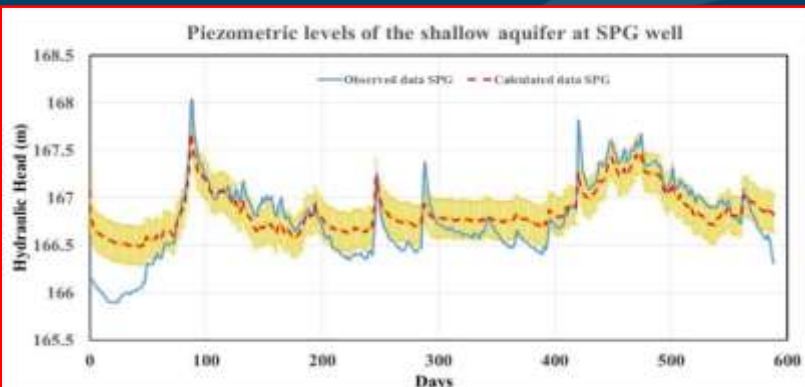
# Isofreatiche ottenute dal modello di flusso stazionario calibrato

Dalla Slice 1 alla Slice 4 le curve isofreatiche sono «spezzate» dal Muro di Difesa Idraulica



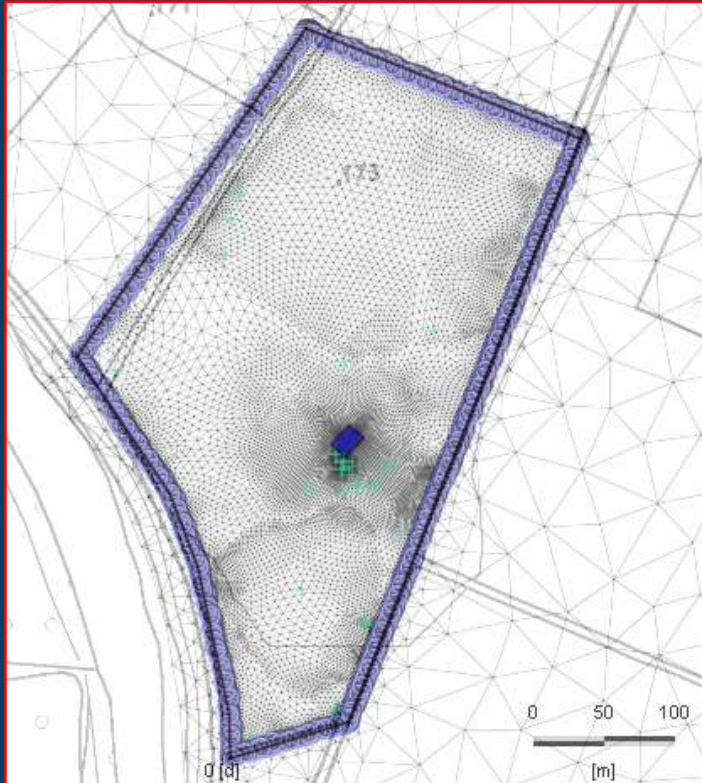
Nella Slice 6 le curve **non** mostrano discontinuità

# Risultati dell'applicazione del modello in regime transitorio



**Il modello mostra una buona correlazione tra i valori ottenuti con FEFLOW e quelli osservati. Si osserva inoltre una forte correlazione con le variazioni di livello nel fiume (misure idrometriche Arpa a Verolengo)**

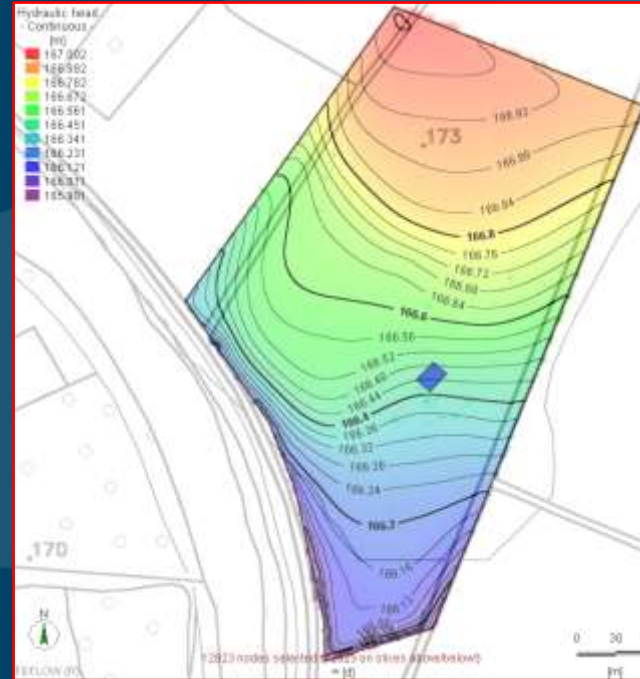
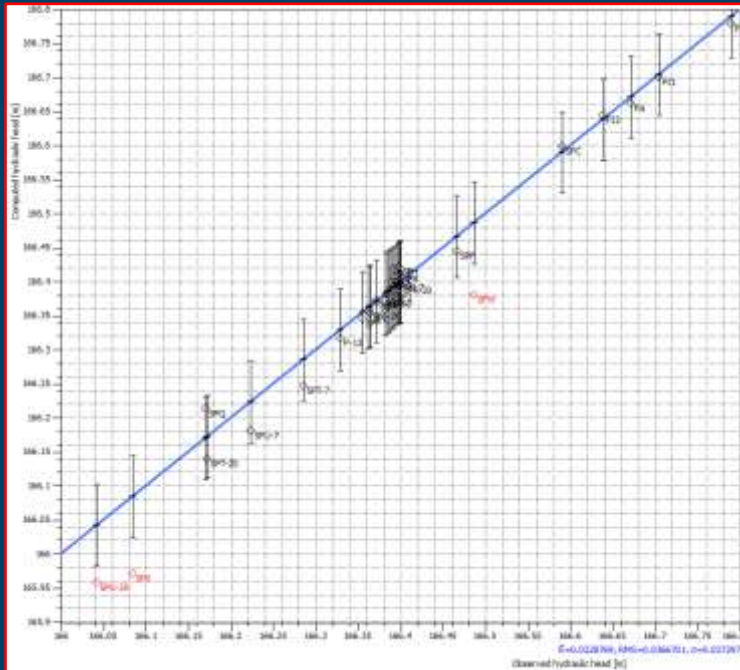
# Modello di flusso stazionario solo dell'area dell'impianto EUREX



- Le condizioni al contorno sono state fissate dentro l'area: adiacenti e lungo tutto il percorso del muro (cerchi blu);
- I valori dei carichi idraulici usati nelle condizioni al contorno provengono dai valori ai nodi ottenuti tramite il modello generale;
- Per ottenere una migliore precisione nel calcolo del flusso, il numero dei nodi del modello è stato incrementato di un fattore pari a 8.5 (da 13410 nodi a 116307 nodi) rispetto al «macro-modello».

# Calibrazione della conduttività idraulica del Modello Locale

Calibrazione tramite FEPEST usando solo i pozzi all'interno dell'area EUREX. I livelli piezometrici calcolati sono in ottimo accordo con quelli osservati. La tolleranza è di soli **6 cm** d'acqua.



# Rilascio e trasporto dei radionuclidi di $^{90}\text{Sr}$ nella geosfera

## Principali Ipotesi ed Assunzioni

- L'esatta ubicazione ed estensione della zona di rilascio di  $^{90}\text{Sr}$  è sconosciuta.
- E' impossibile avere un'esatta caratterizzazione della sorgente in termini di concentrazione e dei processi di chimico/fisici di rilascio.
- I dati sperimentali di concentrazione di  $^{90}\text{Sr}$ , misurati in diversi pozzi, suggeriscono un rilascio localizzato nella zona all'angolo Nord-Est della piscina.
- E' stato assunto che lo  $^{90}\text{Sr}$  sia istantaneamente disciolto nella falda e gli effetti della zona insatura siano trascurabili.
- Il modello include il decadimento dello  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} \approx 29$  anni)
- Il pozzo SPB mostra significative fluttuazioni delle concentrazioni di  $^{90}\text{Sr}$ , con una forte correlazione con le variazioni dei livelli di falda acquifera.
- Il maggior rilascio di  $^{90}\text{Sr}$  avviene quando il livello d'acqua della falda raggiunge le fondazioni della piscina dove il contaminante è già presente essendo filtrato prima attraverso le fratture del cemento armato.



# Modello numerico (1/2)

## Il rilascio di $^{90}\text{Sr}$ avviene dunque per due differenti fenomeni fisici:

1. Il rilascio continuo dovuto alla presenza residua del contaminante nel terreno sottostante le fondazioni della piscina.
2. Il rilascio dovuto al processo di lisciviazione del contaminante che può avvenire solo quando il livello della falda raggiunge le fondazioni della piscina. La quantità di  $^{90}\text{Sr}$  lisciviata aumenta con l'aumentare dello spessore di materiale contaminato che viene dilavato dall'acqua.

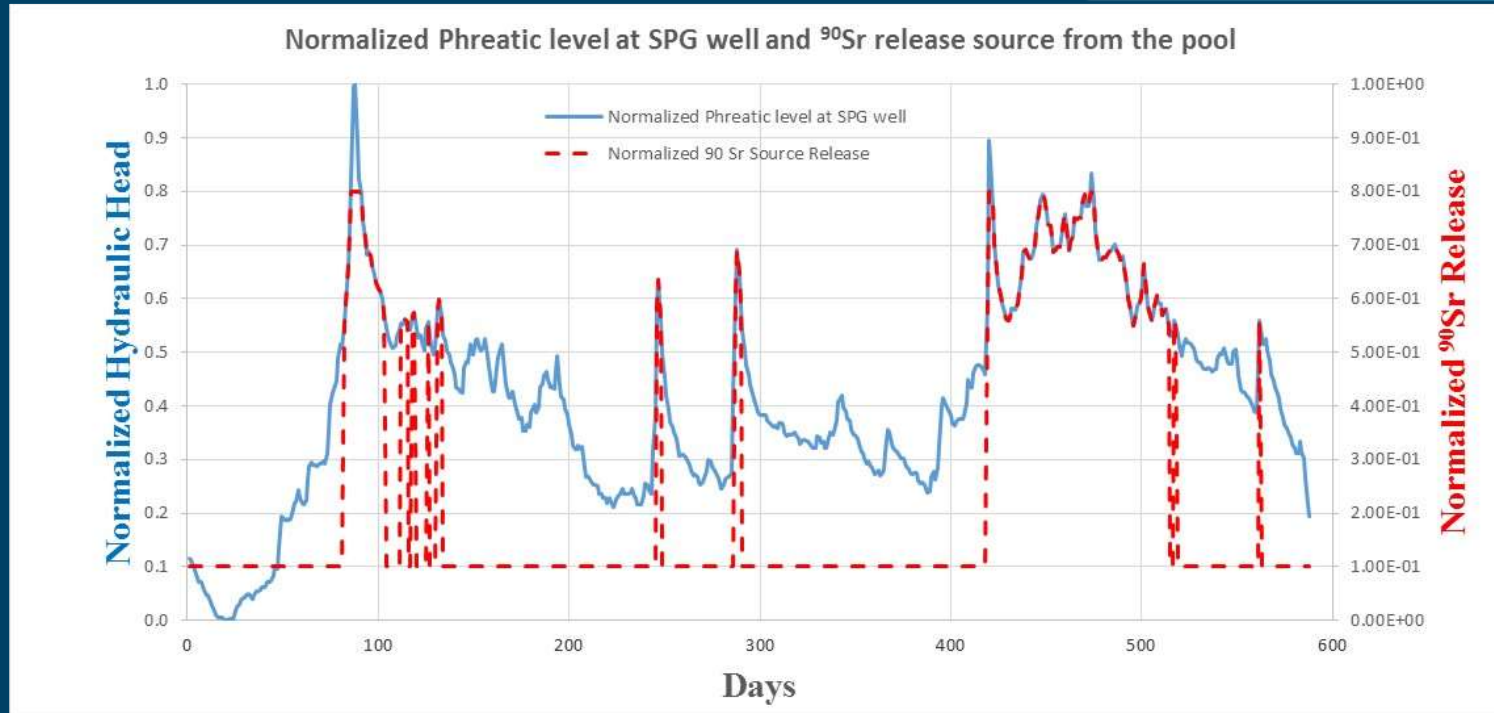
**Dal punto di vista matematico possiamo introdurre la seguente funzione per il rilascio di  $^{90}\text{Sr}$  :**

$$TSS(TSH) = \begin{cases} 0.1, & \text{se } TSH \leq 0.55 \\ TSH & \text{se } 0.55 < TSH \leq 0.8 \\ 0.8, & \text{se } TSH > 0.8 \end{cases}$$

# Modello numerico (2/2)

TSH: Valori normalizzati del livello della falda acquifera osservati nel pozzo SPG.

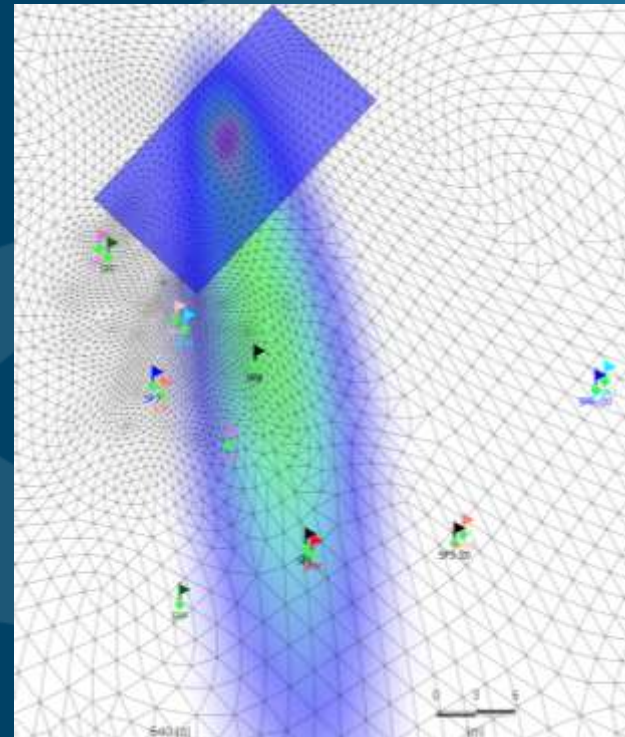
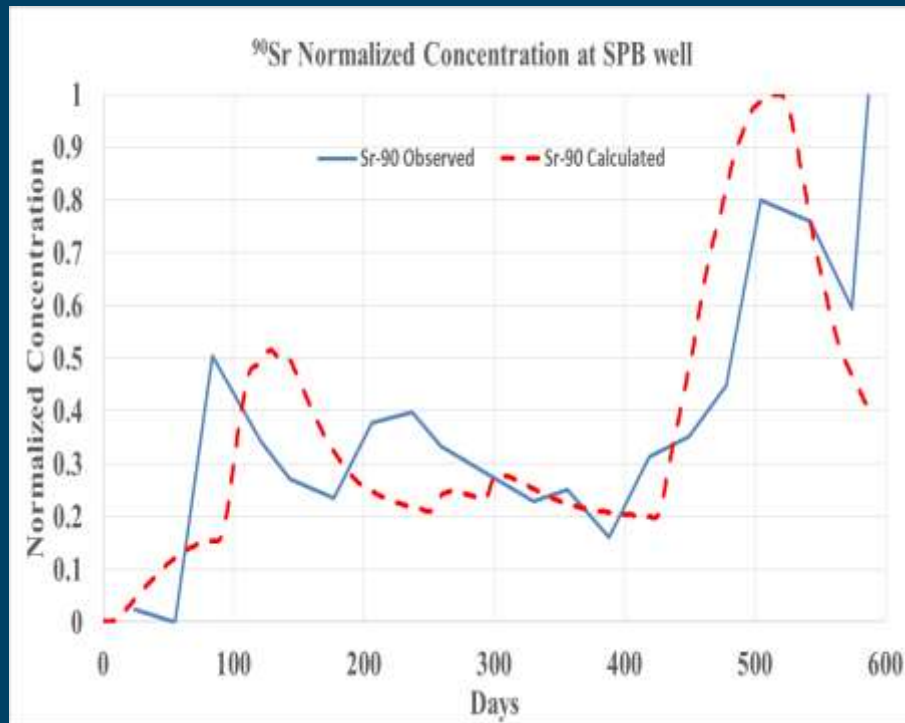
TSS: Valori normalizzati delle quantità di  $^{90}\text{Sr}$  rilasciati nella falda.



# Risultati del modello di trasporto

Andamento nel tempo della concentrazione di  $^{90}\text{Sr}$  nel pozzo SPB

Plume di contaminante stimato al 540-esimo giorno di simulazione



# Conclusioni

- I risultati ottenuti in termini di curva di concentrazione normalizzata mostrano un buon accordo con i dati osservati nel pozzo SPB (vicino alla piscina), dimostrando la buona capacità previsionale del modello numerico sviluppato.
- Il tempo di simulazione scelto ingloba il periodo di transizione caratterizzato dalle attività di svuotamento della piscina, passando così da una **Sorgente Primaria** ad una **Secondaria**. Questo implica, un'approssimazione nella stima del rateo di iniezione del contaminante in falda acquifera.
- Le differenze tra i risultati del modello ed i valori osservati di  $^{90}\text{Sr}$  suggeriscono, per il futuro, ulteriori studi più dettagliati sulle caratteristiche idrogeologiche dell'area, una più approfondita caratterizzazione dei campi di conduttività ed uno studio più dettagliato riguardo ai processi chimico/fisici che caratterizzano il termine sorgente del contaminante.

# Grazie

Jacopo De Sanctis, F. Marconi, M. Rosati, G. Mingrone.

Torino, 14-15 Ottobre 2015