

# Uso di Fepest per la calibrazione di modelli numerici di flusso

Natasa Lazovic  
nlazovic@golder.it



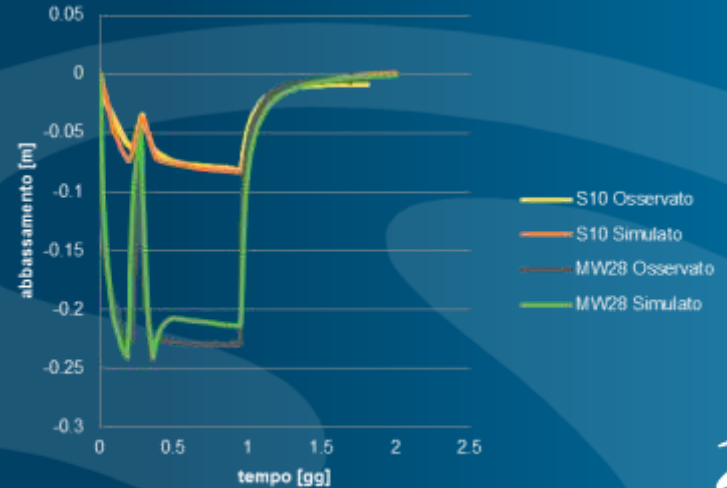
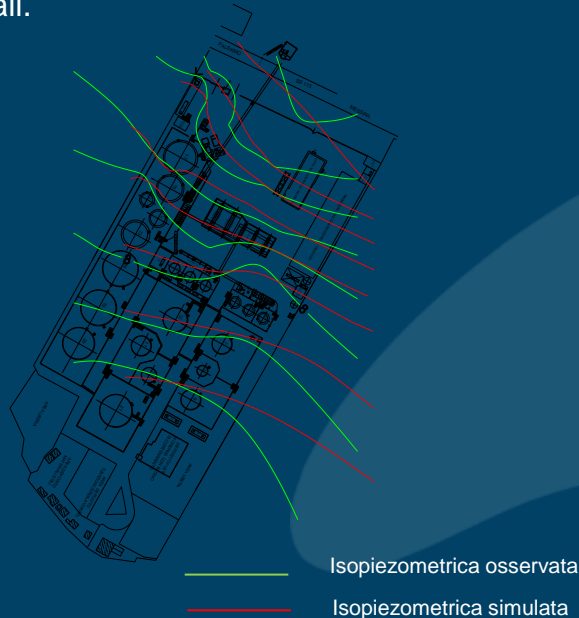
Torino, 14-15 Ottobre 2015



Italian DHI Conference 2015

# Calibrazione

La calibrazione di un modello di flusso si riferisce alla dimostrazione che il modello è in grado di riprodurre le misure in campo di carico idraulico e flusso che sono i valori di calibrazione. Molte volte la calibrazione è condotta in condizioni stazionarie ma può capitare di affinare il processo con una successiva calibrazione in transitorio. Ci sono anche delle situazioni in cui una calibrazione in condizioni stazionarie non è opportuna a causa, ad esempio, di forti variazioni stagionali.



# Problema Inverso

La calibrazione è ottenuta trovando un set di parametri, condizioni al contorno, e stress che producono carichi idraulici e flussi in accordo con le misure di campo all'interno di un errore prestabilito. Trovare questo set di valori corrisponde a risolvere quello che si chiama un problema inverso. In un problema inverso lo scopo è quello di determinare i valori dei parametri e degli stress idrogeologici dalle informazioni relative ai carichi idraulici. Invece in un problema diretto i parametri come conducibilità idraulica, immagazzinamento, e stress idrologici come la ricarica sono specificati e il modello calcola i carichi idraulici. Il problema principale dei problemi inversi è che le informazioni sui carichi idraulici sono sempre incomplete (si hanno a disposizione solo un certo numero di misure discrete). Quindi cosa succede? Che il problema inverso è mal posto poiché il numero di osservazioni è minore dei parametri da stimare.



# Metodi di Calibrazione e Pest

I due metodi principali per calibrare un modello sono

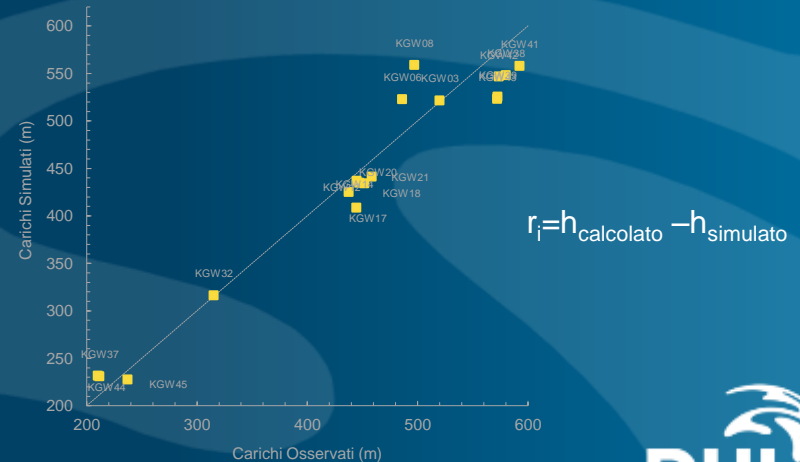
- Per tentativi (*Trial-and-error adjustment of parameters*): questo metodo prevede di assegnare dei valori iniziali ai parametri a ogni nodo o elemento della griglia e quindi tali valori sono variati *a mano* fino a raggiungere gli obiettivi di calibrazione;
- Stima automatica dei parametri: con questo metodo ci si affida a un codice che permette di minimizzare in modo automatico la differenza ( $r_i$ ) fra i dati osservati e quelli simulati (errore statistico).

Pest (*Non linear Parameter Estimation*) è un codice sviluppato da John Doherty (Watermark Numerical Computing) che permette di minimizzare l'errore statistico. Lo scopo del codice è quello di minimizzare

la funzione obiettivo  $\Phi = \sum(w_i r_i)^2$

Dove  $w$  è il peso che si vuole dare alle singole osservazioni in base alla loro attendibilità.

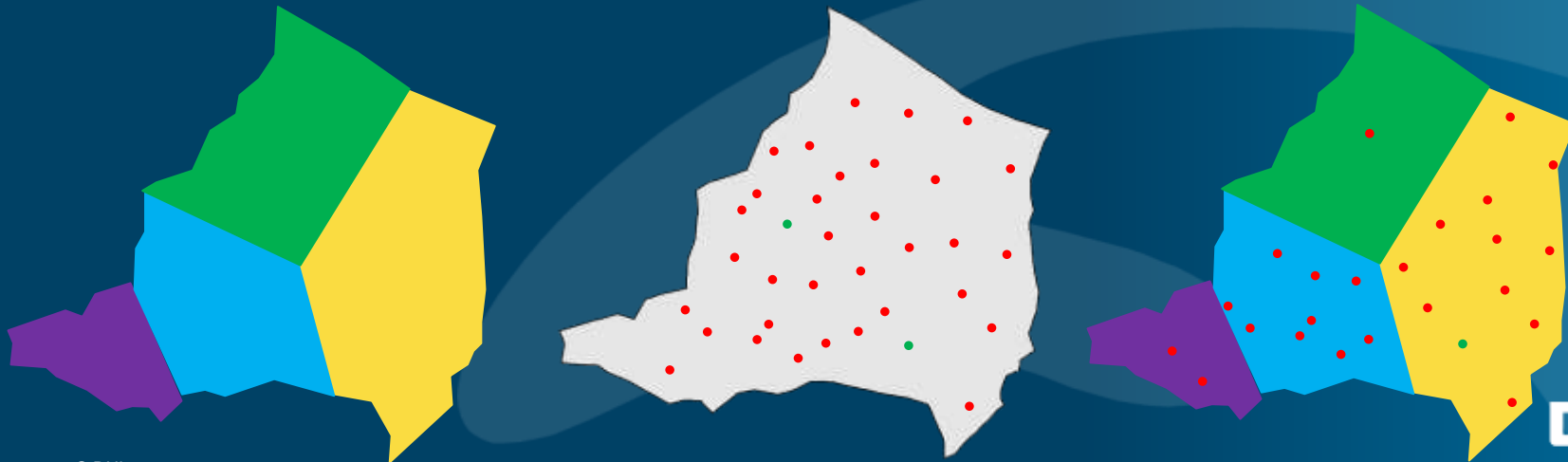
Durante il processo di calibrazione Pest monitora l'andamento della funzione obiettivo verificando la sua decrescita.



# Pilot Points

Le prime versioni di Pest contenute nei vari GUI prevedevano la suddivisione del dominio del modello in zone (*Zones of Piecewise Constancy*) in corrispondenza delle quali veniva eseguita l'ottimizzazione dei parametri scelti. In altre parole ad ogni zona era associato un unico valore per i parametri oggetto dell'ottimizzazione.

I Pilot Points permettono invece di stimare i parametri in corrispondenza di un certo numero di punti (*pilot points*) all'interno del modello e i valori ottenuti sono quindi interpolati (*kriging*) per estendere la stima fatta alle restanti porzioni del dominio. È possibile anche seguire una soluzione intermedia alle prime due in cui vengono individuate delle zone all'interno delle quali inserire i *Pilot Points*.



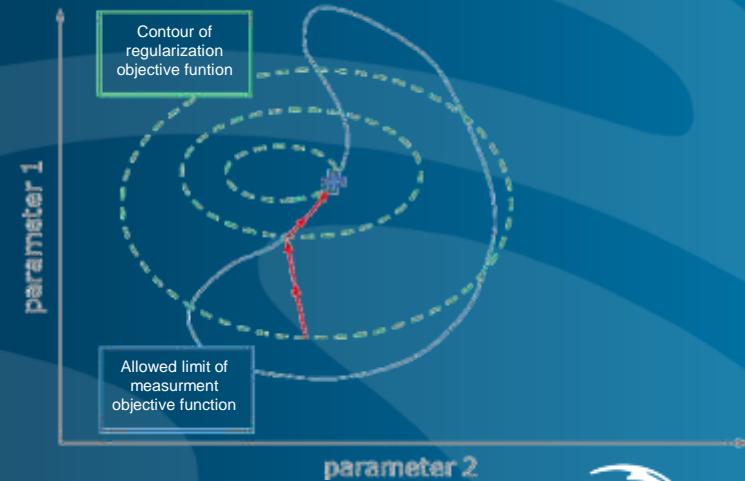
# Regolarizzazione

Un tipico problema insito nel processo di calibrazione di un modello ambientale è la non unicità della soluzione di un problema inverso. Di solito esistono molte combinazioni di parametri differenti che sono tutti compatibili con le misure di campo.

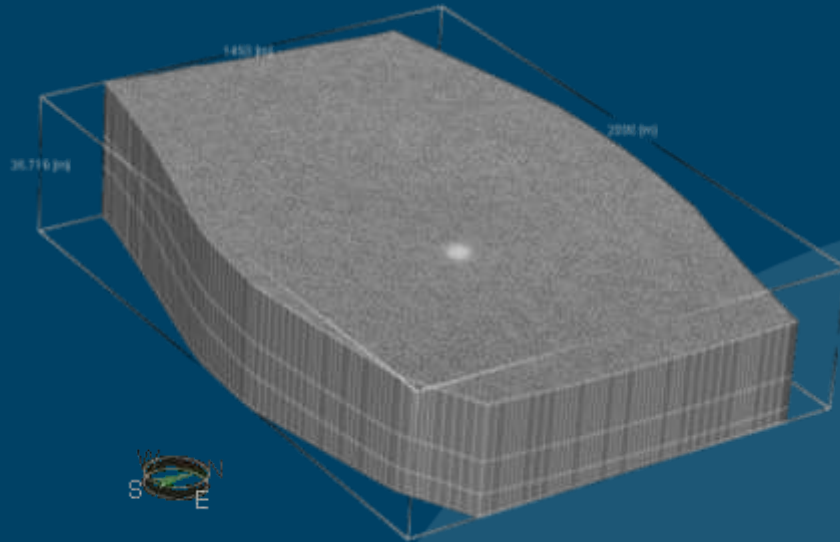
Questo ha due conseguenze:

- Diversi set di parametri calibrati portano a previsioni diverse. Questo rende difficile utilizzare un unico modello nel processo decisionale.
  - Alcuni o molti dei parametri saranno insensibili alle osservazioni.
- L'ottimizzazione basata sull'algoritmo di ottimizzazione può diventare instabile in queste condizioni, portando a lunghi tempi di esecuzione o anche al fallimento del processo.

Le Tecniche di regolarizzazione sono in grado di prevenire questi problemi limitando la ricerca dei parametri ai parametri identificabili, o aggiungendo ulteriore vincoli ai parametri (Regolarizzazione di *Tikhonov*) o separando i parametri identificabili dai non identificabili (Regolarizzazione *Subspace*).



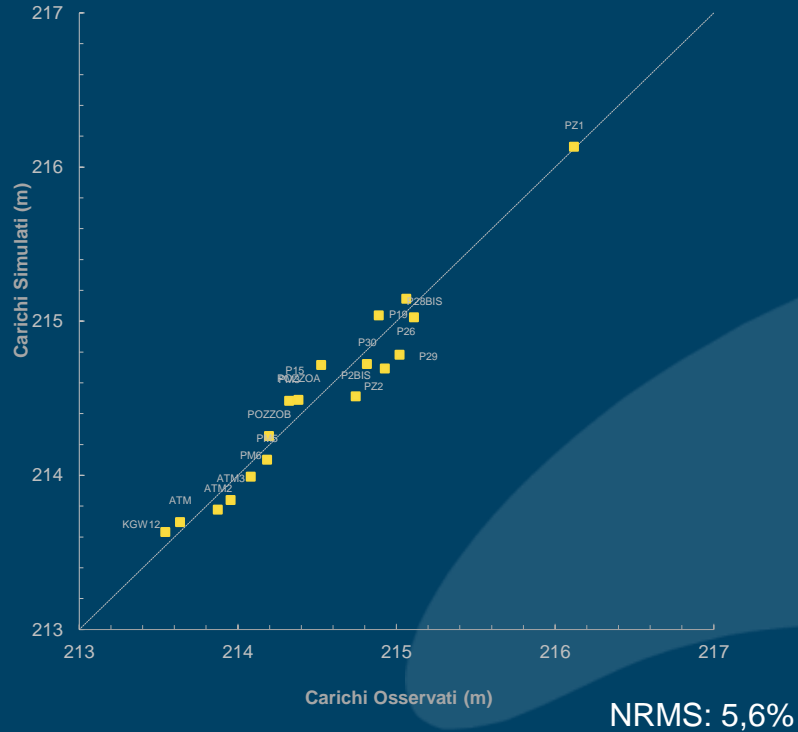
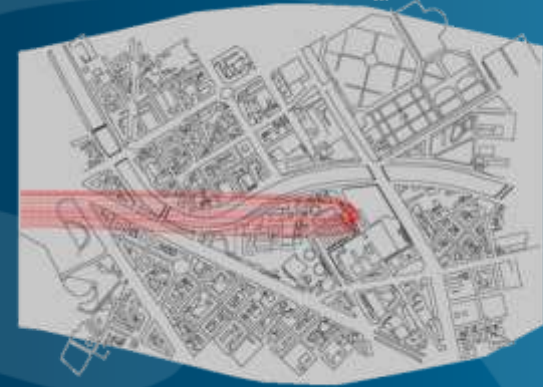
# Un Esempio



# Calibrazione Manuale

Conductivity  $K_{10}$   
Factor  
[mS]

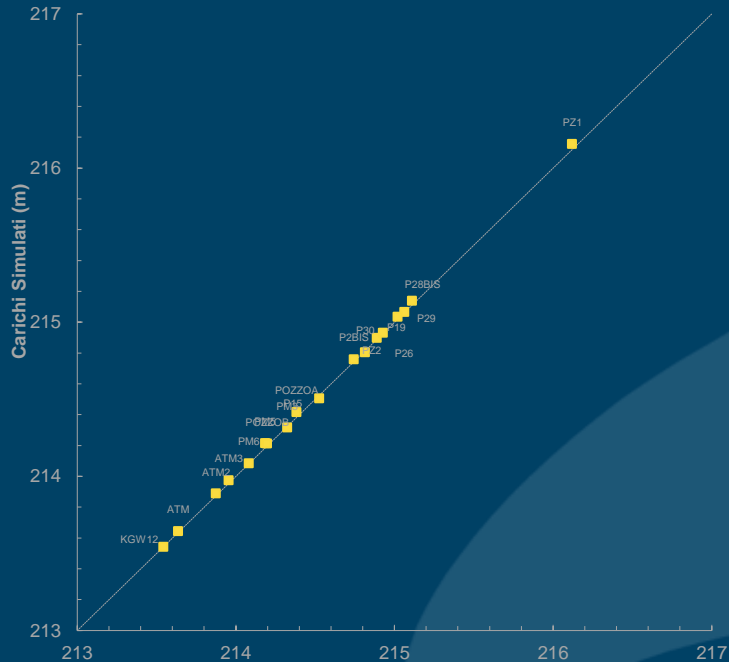
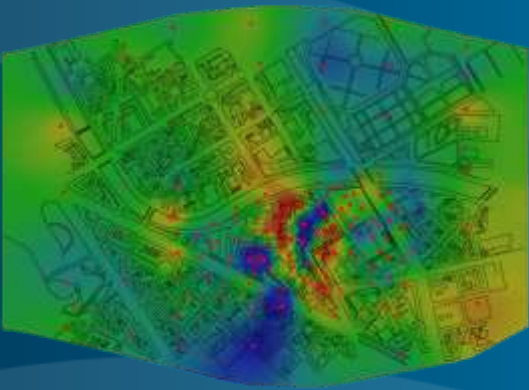
- 0.000901
- 0.00090189
- 0.000911893
- 0.000916891
- 0.000926877
- 0.000931889
- 0.000937828
- 0.000942822
- 0.000947822
- 0.000954039
- 0.000952



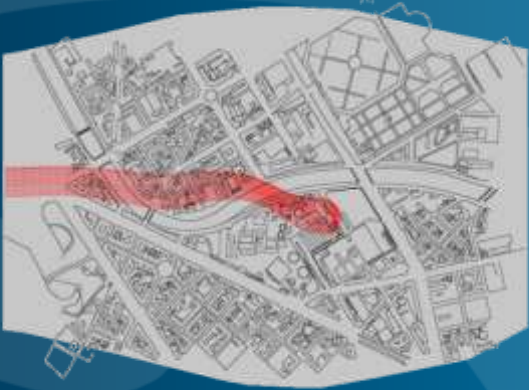


# Calibrazione Automatica

Conductivity: K<sub>es</sub>  
- Pattern -  
bffc  
0.00041565  
0.00071127  
0.001227747  
0.001616465  
0.0017726  
0.00004265  
0.000000000  
0.000730071  
0.000012442  
0.000224302  
0.000161140



NRMS: 0,7%



# Conclusioni

## PEST

- stima combinazioni di parametri che permettono di minimizzare una funzione obiettivo (in funzione dei parametri scelti e dei criteri definiti per la funzione obiettivo);
- fornisce informazioni sulla calibrazione del modello e sulla validità del modello concettuale;
- esegue analisi di sensitività sul valore dei parametri;
- definisce la correlazione tra i parametri

Tuttavia, PEST non è in grado di calibrare il modello e non garantisce la ragionevolezza dei risultati. I risultati possono in alcuni casi non avere alcuna correlazione con la realtà fisica; se questo accade, è un forte indicatore che il modello concettuale non è corretto.

# Grazie

Natasa Lazovic  
nlazovic@golder.it



Torino, 14-15 Ottobre 2015

