

## MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA

(2 CFU)



*Docente:*

**Alessandro Gargini**

**(E-mail: [alessandro.gargini@unibo.it](mailto:alessandro.gargini@unibo.it))**

*ORARIO*

*MARTEDÌ: 9-11 (Aula Info)*  
*MERCOLEDÌ: 14-16 (Aula Info)*  
*GIOVEDÌ: 11-13 (Aula Info)*

*INIZIO MODULO: 9/11/2011*  
*FINE MODULO: 21/12/2011*

# PROGRAMMA

- 1 – Teoria sull'impiego dei modelli matematici in Idrogeologia
- 2 – Applicazione pratica di modelli analitici per l'analisi di rischio dei siti contaminati
- 3- Applicazione pratica di modelli numerici per la simulazione del flusso di falda in acquiferi porosi

# ESAME

Test multirisposta di 30 domande su argomenti teorici e sviluppati durante le esercitazioni

(voto in trentesimi che farà poi media con il voto della prova di modellazione geologico-tecnica per il voto finale)

## MATERIALE DI STUDIO

Dispense fornite dal docente e caricate sul sito della didattica

Migliore testo al mondo sui modelli matematici in Idrogeologia

ANDERSON M. P., WOESSNER W.W. (1991) - *Applied groundwater modelling: simulation of flow and advective transport* - Academic Press.

# PARTE TEORICA

Definizione di modello: modello concettuale e modello matematico, passaggio fra i due modelli

Modelli matematici: modelli analitici, modelli numerici, modelli deterministici, modelli stocastici.

Modelli di flusso e modelli di trasporto.

Modelli per analisi di rischio dei siti contaminati

Modelli numerici ad elementi finiti ed alle differenze finite.

Fasi di: discretizzazione del dominio di flusso, definizione delle condizioni iniziali ed al contorno, assegnazione dei parametri e degli stress, calibrazione, validazione.

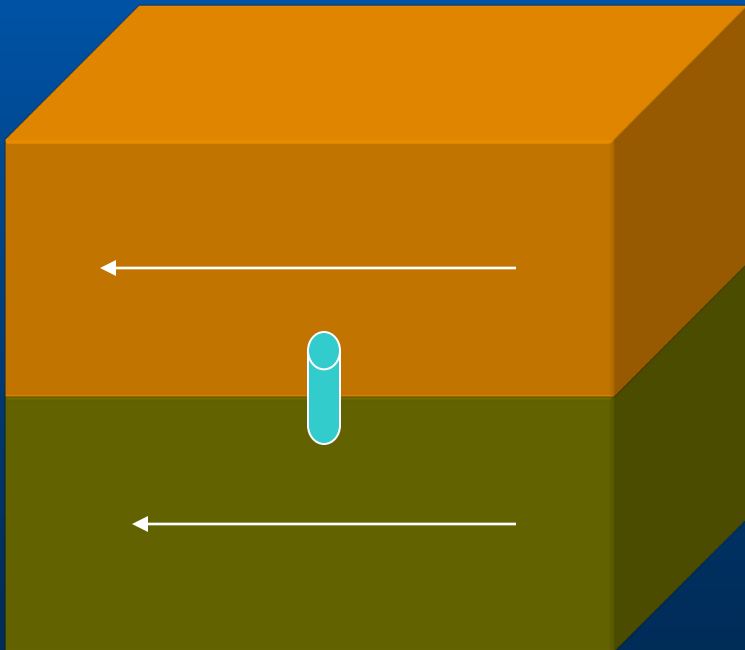
# Cosa è un modello?

Una rappresentazione di un sistema reale

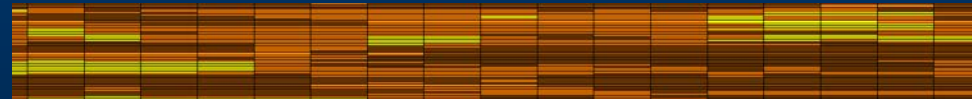
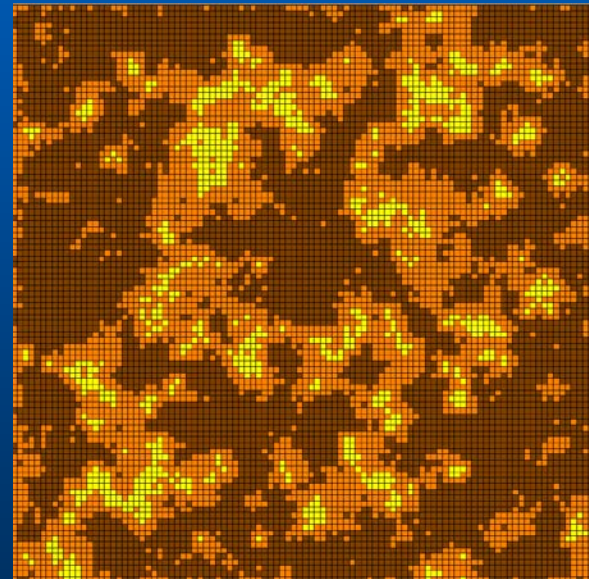
# Punti di vista

- 2 punti di vista

Acquifero omogeneo (modello)



Realtà



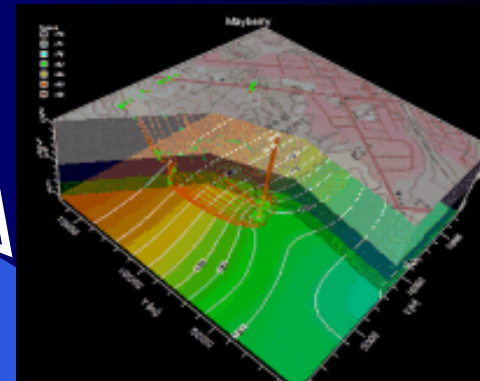
# Cosa significa “modellizzare” ???



**Realtà  
naturale  
complessa**



**Semplificazioni  
ed assunzioni**



**Modello  
concettuale**

# Modello concettuale

Una rappresentazione descrittiva di un sistema idrogeologico che incorpora una interpretazione di condizioni geologiche ed idrologiche. In genere contiene anche informazioni sul bilancio.

**MINORE COMPLESSITÀ DEL  
SISTEMA REALE**

**STATICITÀ**



# Modelli dinamici = PREVEDONO!!

## Tipi di modelli

- Fisici (es., cassoni di sabbia)
- Analogici (es. Elettrici, Fluidi viscosi)

Intensità di corrente=Flusso di falda

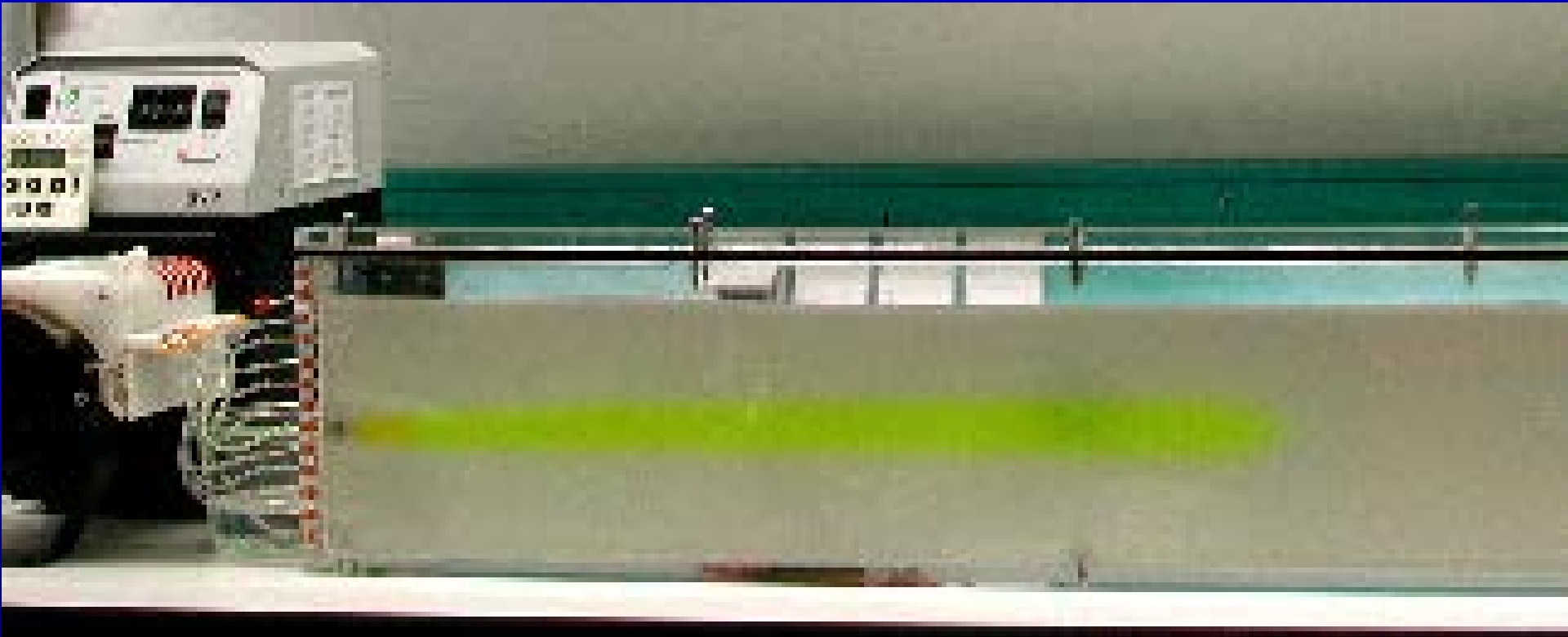
Resistività = 1/Permeabilità

Capacità=Immagazzinamento

Tensione=Carico idraulico

- Matematici

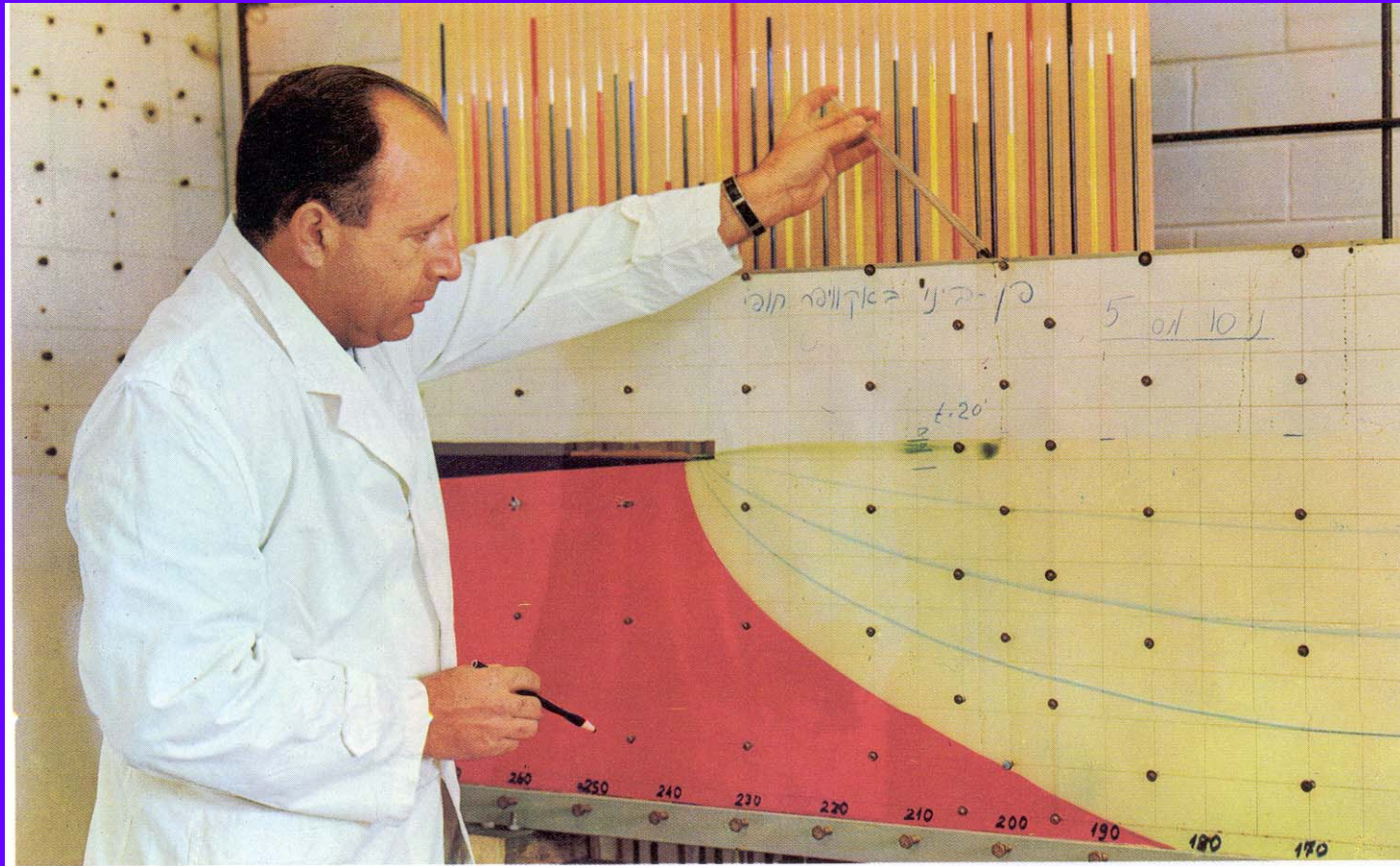
# *Modello fisico*



*Costituito dallo stesso materiale del  
sistema reale*

*Va costruito - Si "vede" il fenomeno*

# Analogici



Prof. Jacob Bear with Hele-Shaw model of a coastal aquifer (1963).

*Modelli analogici sono 2D, sezioni orizzontali e verticali  
Va costruito  
Si “vede” il fenomeno*

# **Obiettivi di un modello «matematico» :**

**N.B. devono essere ben definiti e pragmatici**

*Alcuni esempi :*

- **probabilità di superare i valori limiti di contaminazione di un inquinante ad un potenziale recettore**
- **determinazione dell'impatto sul livello piezometrico nelle aree vicine ad un pozzo in pompaggio**

# Modelli matematici

Analitici (semplici condizioni iniziali ed al contorno, generalmente 1D, singoli valori dei parametri senza tenere conto variabilità spaziale)

- Es. LEGGE DI DARCY)

## Numerici

Condizioni al contorno complesse

Parametri che variano nell'ambito dell'areale

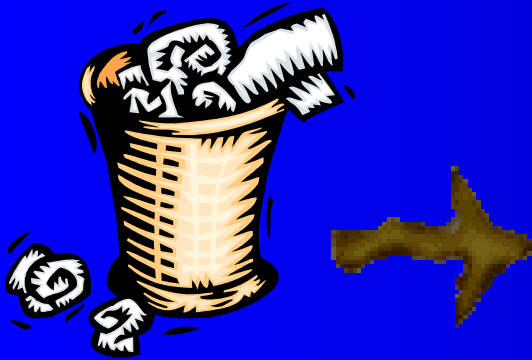
# Componenti di un modello matematico

- Geometria del dominio di flusso
- *Equazioni* di conservazione delle proprietà fisiche (massa del fluido, massa di un soluto) (es. Legge di conservazione della massa)
- *Equazioni di flusso* che legano i flussi delle proprietà fisiche alle variabili di stato (es. Legge di Darcy)
- *Equazioni costitutive*, che definiscono il comportamento di grandezze al variare delle variabili (es., dipendenza della densità del fluido dalla concentrazione di soluto)
- *Sorgenti e perdite*, ad esempio ricarica artificiale o pompaggi
- *Condizioni iniziali* stato del sistema ad un tempo iniziale.
- *Condizioni al contorno* interazioni esterne del dominio con il suo

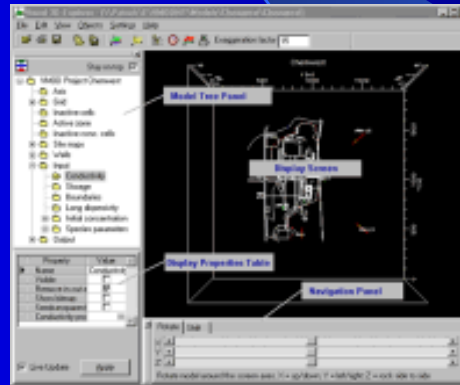
# La bontà di un modello dipende soprattutto da:

- bontà ed affidabilità dei dati iniziali
- scelta delle semplificazioni ed assunzioni iniziali

*Click on image to enlarge*



IMMONDIZIA IN

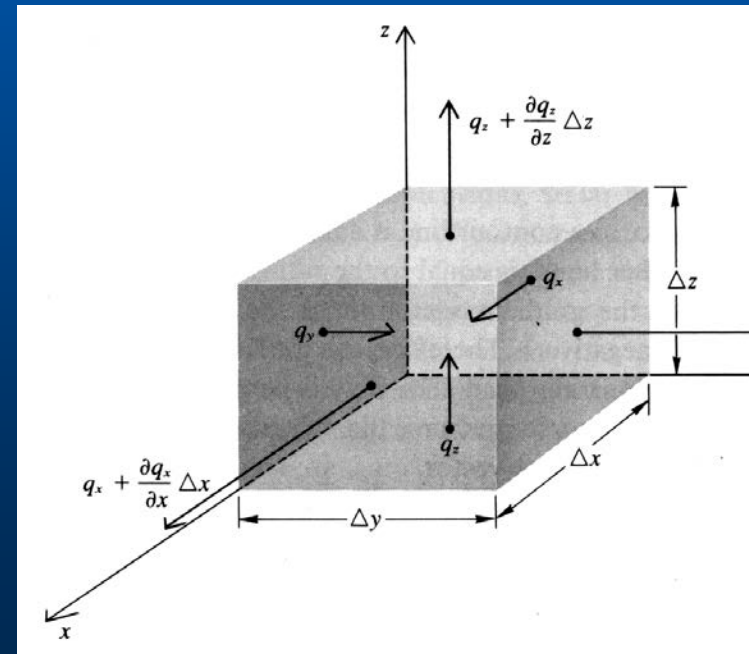


IMMONDIZIA OUT

# Equazione di continuità (equazione di conservazione)

- Flusso in entrata o uscita attraverso i limiti di una cella elementare (REV)
- Stato stazionario
- La somma algebrica degli afflussi ed efflussi in tutte le direzioni è pari a 0:

$$\nabla \mathbf{q} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0$$





## Stato stazionario e stato transitorio

Un sistema in stato stazionario implica che vi è costanza nel tempo del valore di carico idraulico.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0$$

Equazione di flusso 3D in falda per acquifero confinato

eterogeneo

anisotropo

Stato stazionario

Lo stato transitorio comporta la variazione nel tempo del carico e quindi una variazione di immagazzinamento.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

Equazione di flusso 3D in falda per acquifero confinato

eterogeneo

anisotropo

Stato transitorio

I modelli transitori sono creati variando nel tempo le condizioni al contorno

# Modelli idrogeologici :

- **DI FLUSSO**

Rappresentano il flusso dell'acqua all'interno di un sistema acquifero; i dati di input e output sono tutti espressi in termini di portate e carichi piezometrici.

- **DI TRASPORTO**

Rappresentano il “fato” di un inquinante che viene trasportato dall'acqua attraverso vari processi (dissoluzione, convezione, dispersione idrodinamica, ecc...); vanno inseriti anche dati relativi alle concentrazioni delle sostanze nell'acqua.

**N.B. necessita di un buon modello di flusso.**

# **Dominio di flusso :**

- **POROSO**

**Flusso-trasporto in mezzo poroso continuo  
(sabbie, ghiaie etc.).**

- **FRATTURATO**

**Rete discontinua di fratture**

# Condizioni del fluido :

- **SATURO – NON SATURO**
- **ACQUA – DOPPIA DENSITÀ**