



LINEA 3.7

INDAGINI SPERIMENTALI E MODELLAZIONE DEI MECCANISMI MORFODINAMICI AGENTI NEL SISTEMA LAGUNARE VENEZIANO

L. D'Alpaos

ATTIVITA' PREVISTE

- **MODELLAZIONE FISICA :**

- MODELLO DI CANALE LAGUNARE
- MODELLO DI LAGUNA SCHEMATICA

- **MODELLAZIONE MATEMATICA** DEI FENOMENI DI TRASPORTO E DIFFUSIONE OPERANDO CON:

- MODELLO A GRIGLIA FISSA
- MODELLO A GRIGLIA MOBILE

- **TELERILEVAMENTO** DI AMBIENTI A MAREA PER L'INDIVIDUAZIONE:

- DI ALGORITMI DI ESTRAZIONE AUTOMATICA DELLA RETE DI CANALI
- DEI PARAMETRI MORFOLOGICI SIGNIFICATIVI DI UNA RETE A MAREA

OBIETTIVO FINALE

**MESSA A PUNTO
DI UN MODELLO MATEMATICO
FISICAMENTE BASATO
PER LO STUDIO
DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA
A LUNGO TERMINE
DI UN BACINO LAGUNARE**

**Costruzione di modelli di sottogriglia
mediante i quali rappresentare
i fenomeni caratterizzati
da “lunghezze scala” inferiori
alle dimensioni proprie
del reticolo di calcolo**

Non è un problema numerico
in senso stretto.....

... ma si presenta quando si
ricerca una soluzione numerica

**Soluzione analitica asintotica
dell'equazione del trasporto
dei sedimenti in sospensione
in un canale a marea**

Modello di Trasporto in Sospensione (Bolla P. e Seminara, WRR '03)

- **Rispetto ad un modello con trasporto in sospensione 'in equilibrio' con l'idrodinamica locale:**

Vantaggi:

- tenere conto delle variazioni spazio/temporali dell'idrodinamica sulla distribuzione di concentrazione.

Svantaggi:

- legati ai limiti di validità dell'espansione proposta.

- **Rispetto al modello di Galappatti ('83):**

Vantaggi:

- approccio perturbativo formalmente corretto;
- precisione nota in termini del parametro 'piccolo' sul quale si basa l'espansione;
- non conduce ad un'equazione differenziale per la concentrazione mediata sulla profondità, ma ad una formula chiusa per il trasporto in sospensione.

Svantaggi:

- ..da scoprire?!? ...

- **Rispetto ad un modello mediato sulla profondità:**

Vantaggi:

- velocità computazionale;
- scientificamente fondato;

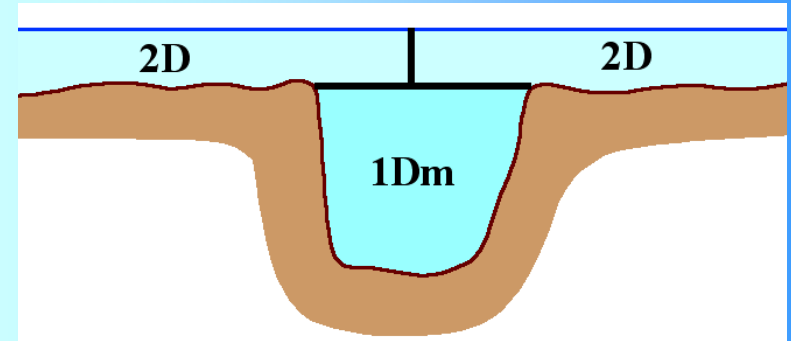
Svantaggi:

- valido soltanto in moti lentamente variabili

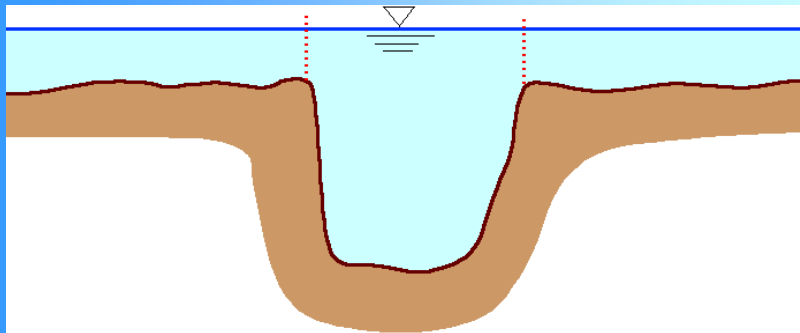
**Modello uni-bidimensionale
per lo studio della morfodinamica
della Laguna di Venezia**

Accoppiamento rete unidimensionale e bidimensionale

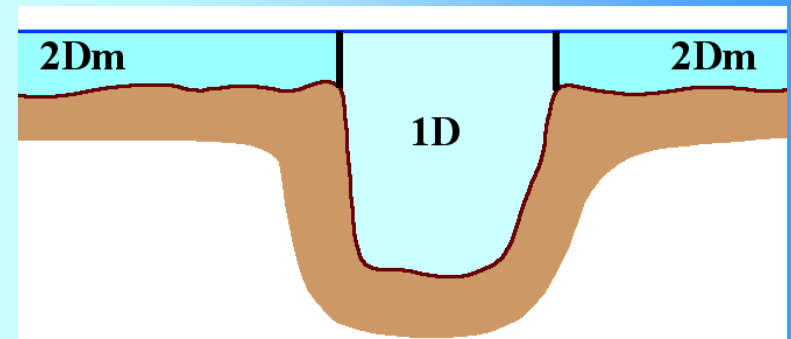
Schema di accoppiamento originario



Situazione Reale



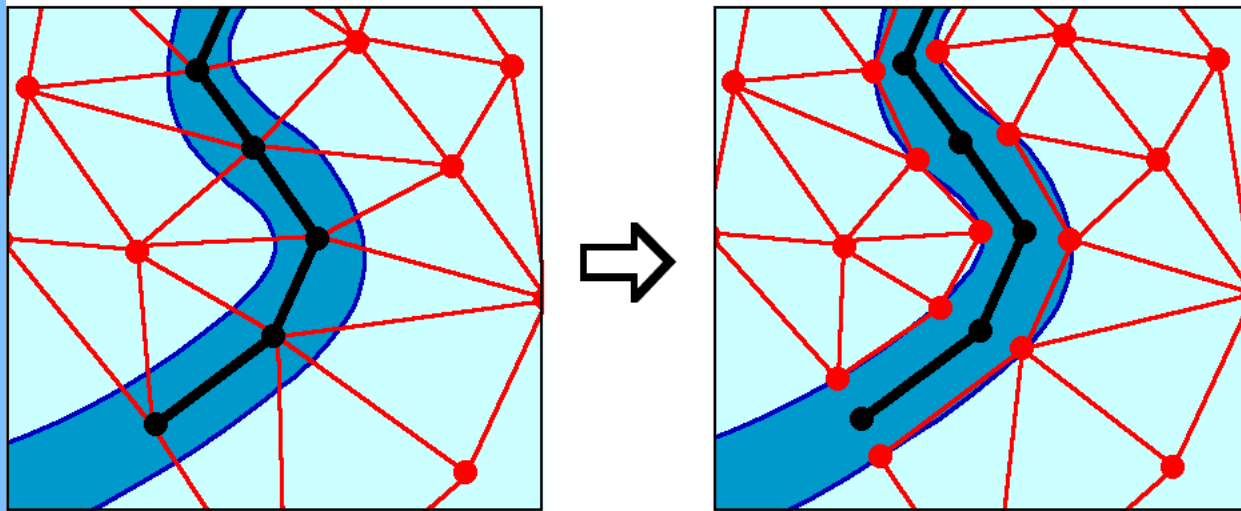
Nuovo schema di accoppiamento



Un primo contributo

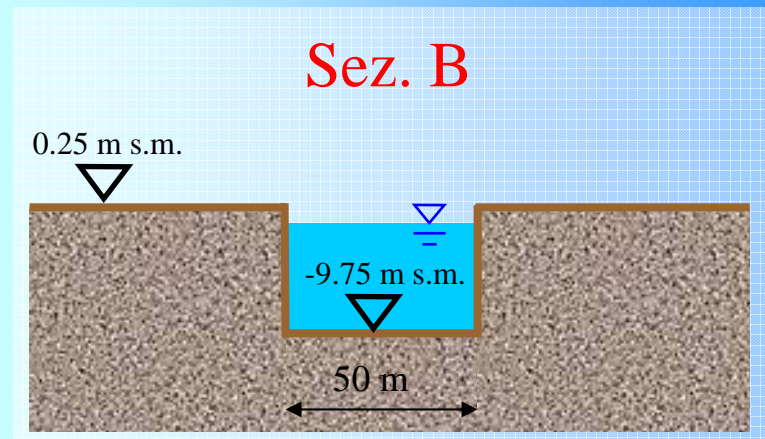
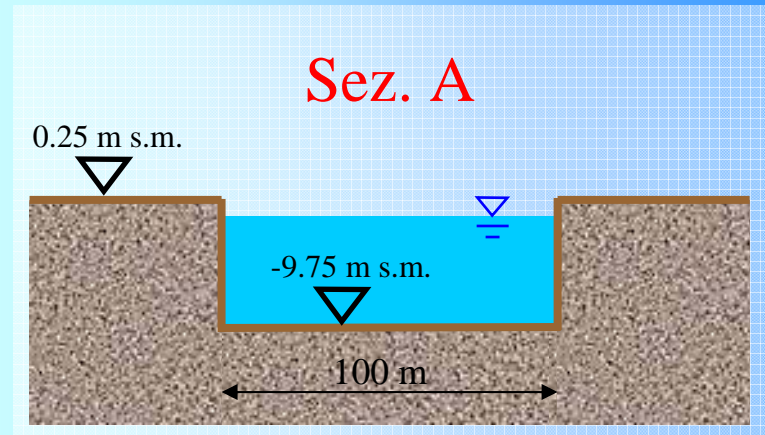
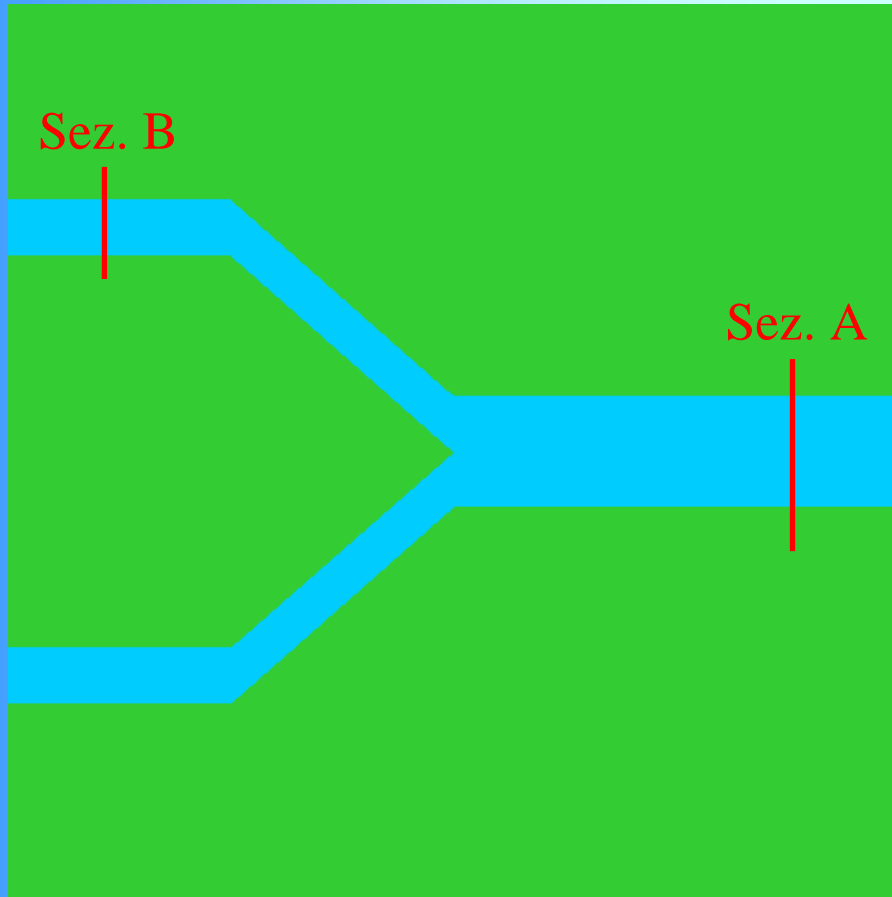
Modello Idrodinamico:

- Equazioni di De Saint Venant + Equazione di Continuità;
- Trascurabilità dei termini convettivi;
- “Sdoppiamento” dei nodi in comune tra maglie bidimensionali e canali unidimensionali;



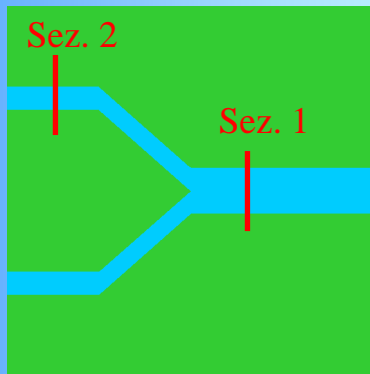
Verifica di congruenza del nuovo accoppiamento

Laguna Schematica:

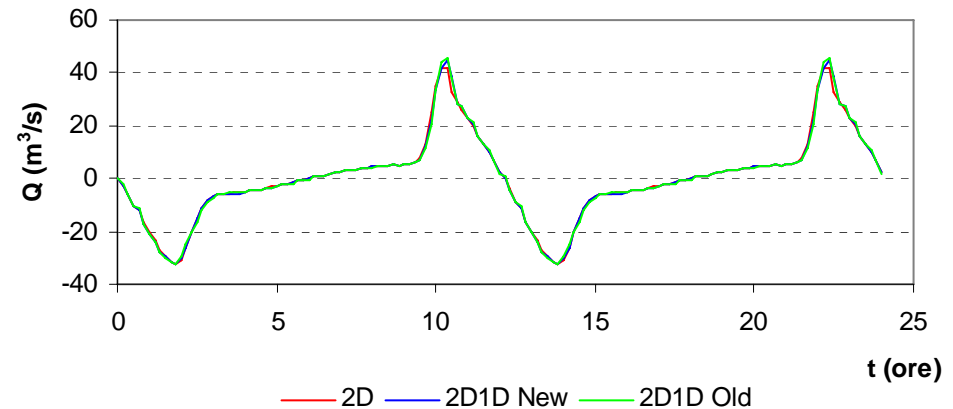


Verifica di congruenza del nuovo accoppiamento

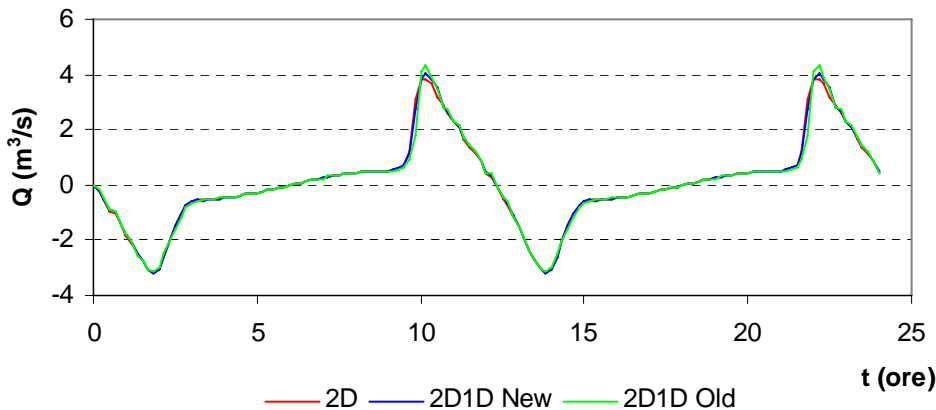
Presentazione dei risultati: confronto delle **PORTATE** calcolate in corrispondenza delle sezioni 1 e 2 con lo schema 2D puro e con quello 2D1D accoppiato (vecchio e nuovo accoppiamento)



Confronto 2D - 2D1D - sez 1
Portate



Confronto 2D - 2D1D - sez 2
Portate



✓ Accordo più che soddisfacente tra i tre schemi in entrambe le sezioni

Modello di azione del moto ondoso

Realizzazione di un modello basato sulla soluzione dell'equazione di conservazione dell' "azione d'onda" (N) al fine di descrivere una delle principali fonti di risospensione dei sedimenti.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(N\mathbf{c}_{gx})}{\partial x} + \frac{\partial(N\mathbf{c}_{gy})}{\partial y} + \frac{\partial(N\mathbf{c}_g)}{\partial \mathcal{G}} + \frac{\partial(N\mathbf{c}_\omega)}{\partial \omega} = NW$$

Il modello dovrà rappresentare:

- L'azione di generazione dovuta al vento;
- Gli effetti dell'attrito al fondo;
- Gli effetti del frangimento;
- Gli effetti dovuti alla presenza di vegetazione.

Un secondo contributo

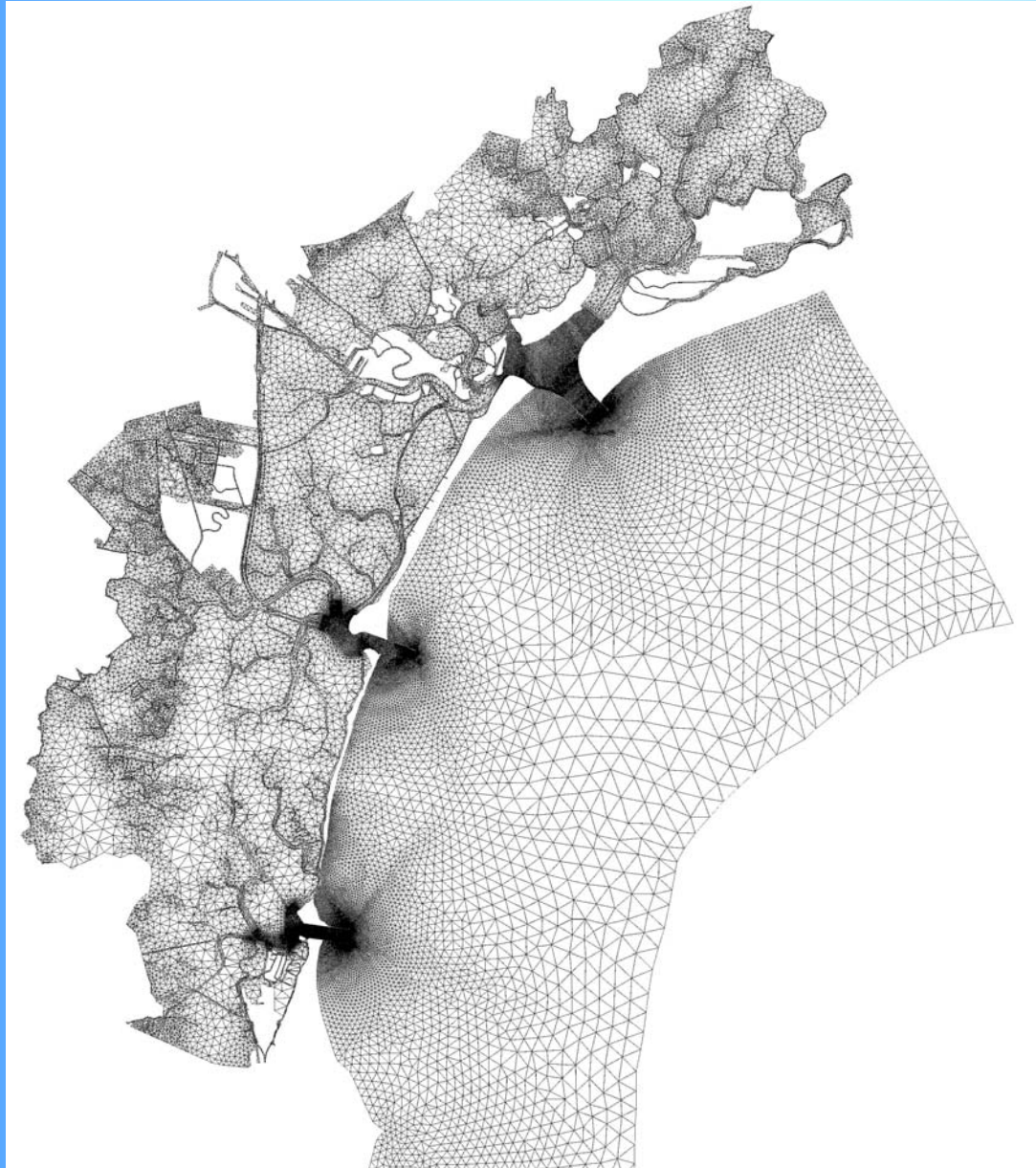
Le equazioni dell'idrodinamica

$$\rho \frac{d(\overline{U_x})}{dt} - \frac{1}{Y} \left(\frac{\partial(YR_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(YR_{xy})}{\partial y} \right) + \frac{\rho}{Y} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_x} \theta) dz + \frac{\rho}{Y} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_y} \theta) dz + \frac{\tau_{bx}}{Y} - \frac{\tau_{sx}}{Y} + \rho g \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

$$\rho \frac{d(\overline{U_y})}{dt} - \frac{1}{Y} \left(\frac{\partial(YR_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(YR_{yy})}{\partial y} \right) + \frac{\rho}{Y} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_y} \theta) dz + \frac{\rho}{Y} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_y \Delta U_y} \theta) dz + \frac{\tau_{by}}{Y} - \frac{\tau_{sy}}{Y} + \rho g \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

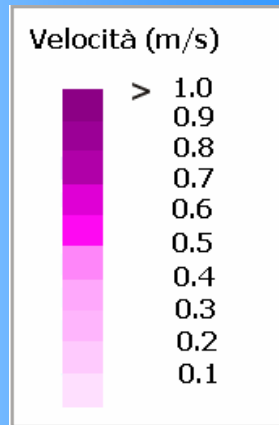
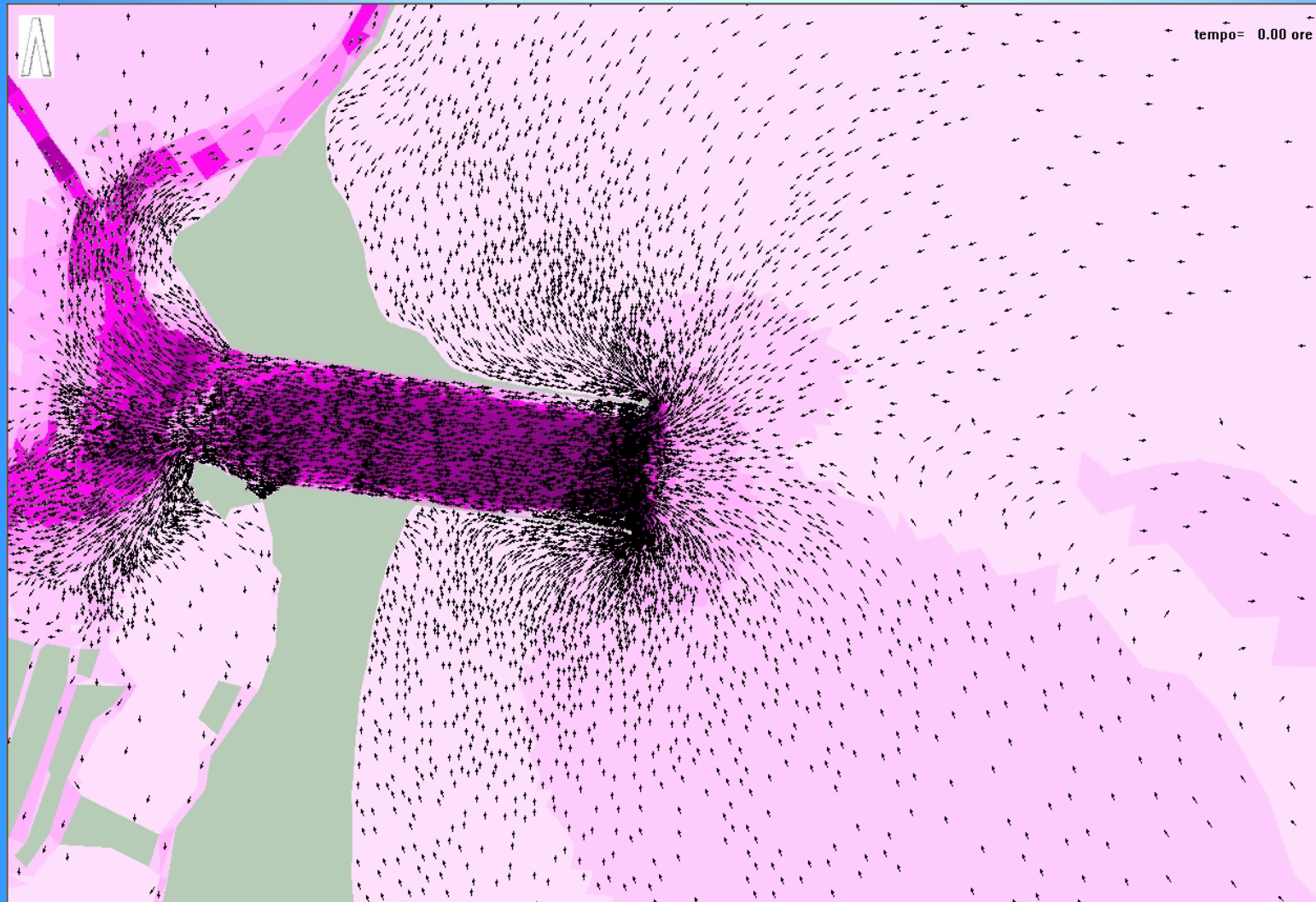
$$\eta \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

Modello matematico bidimensionale della laguna di Venezia



**≈100'000 elementi
bidimensionali**

Modello matematico bidimensionale della laguna di Venezia



Modulo per lo studio del trasporto e della diffusione

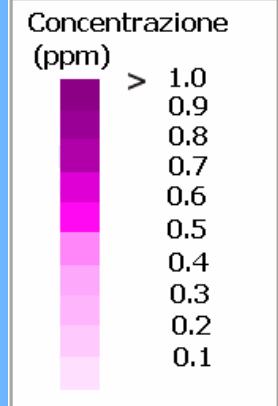
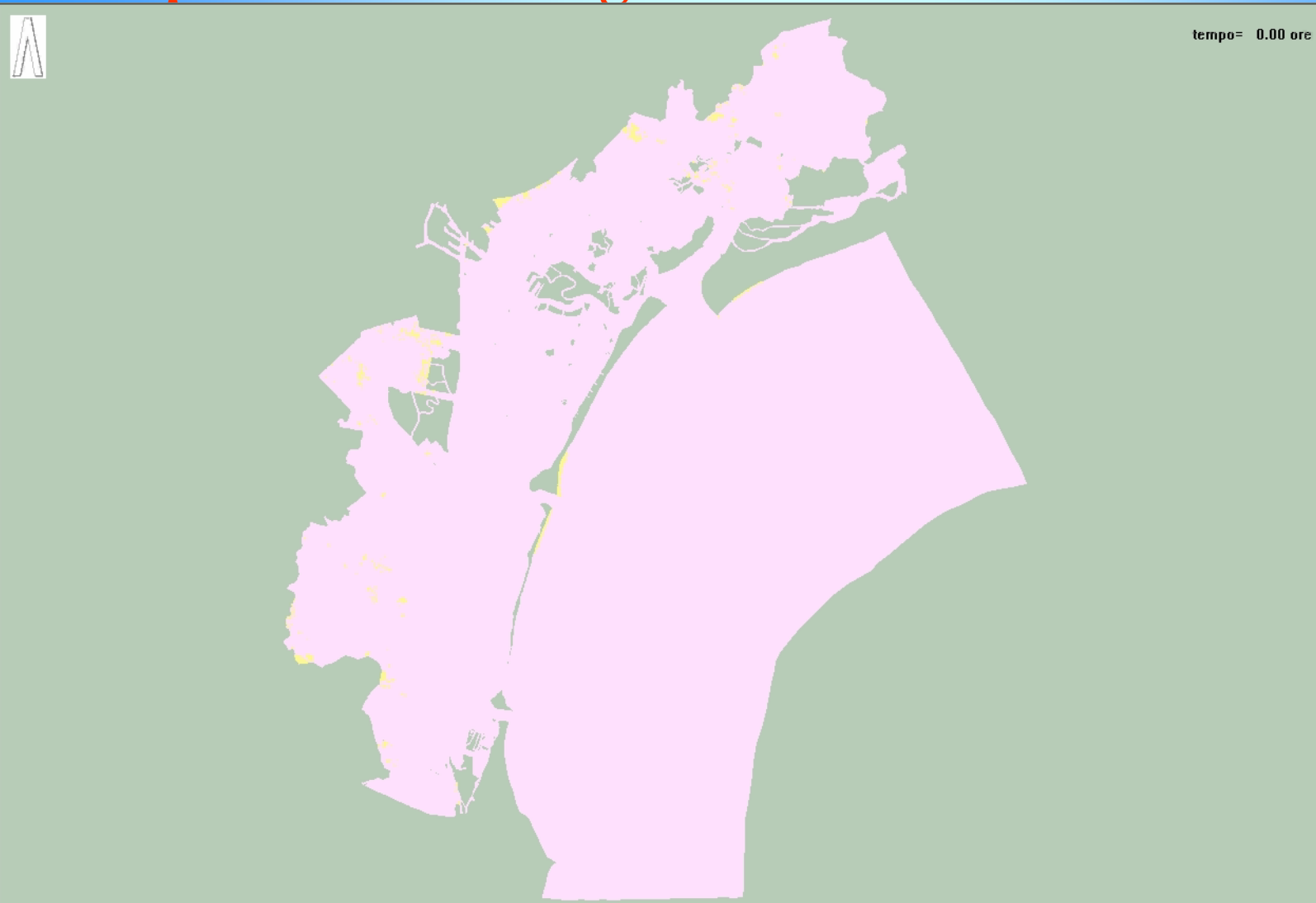
- **L'equazione del trasporto di sedimenti in sospensione:**

$$\frac{\partial(\overline{CY})}{\partial t} + \nabla \cdot (\overline{Cq}) - \nabla \cdot (Y\overline{D}\nabla\overline{C}) = W_s (C_{eq} - C_b)$$

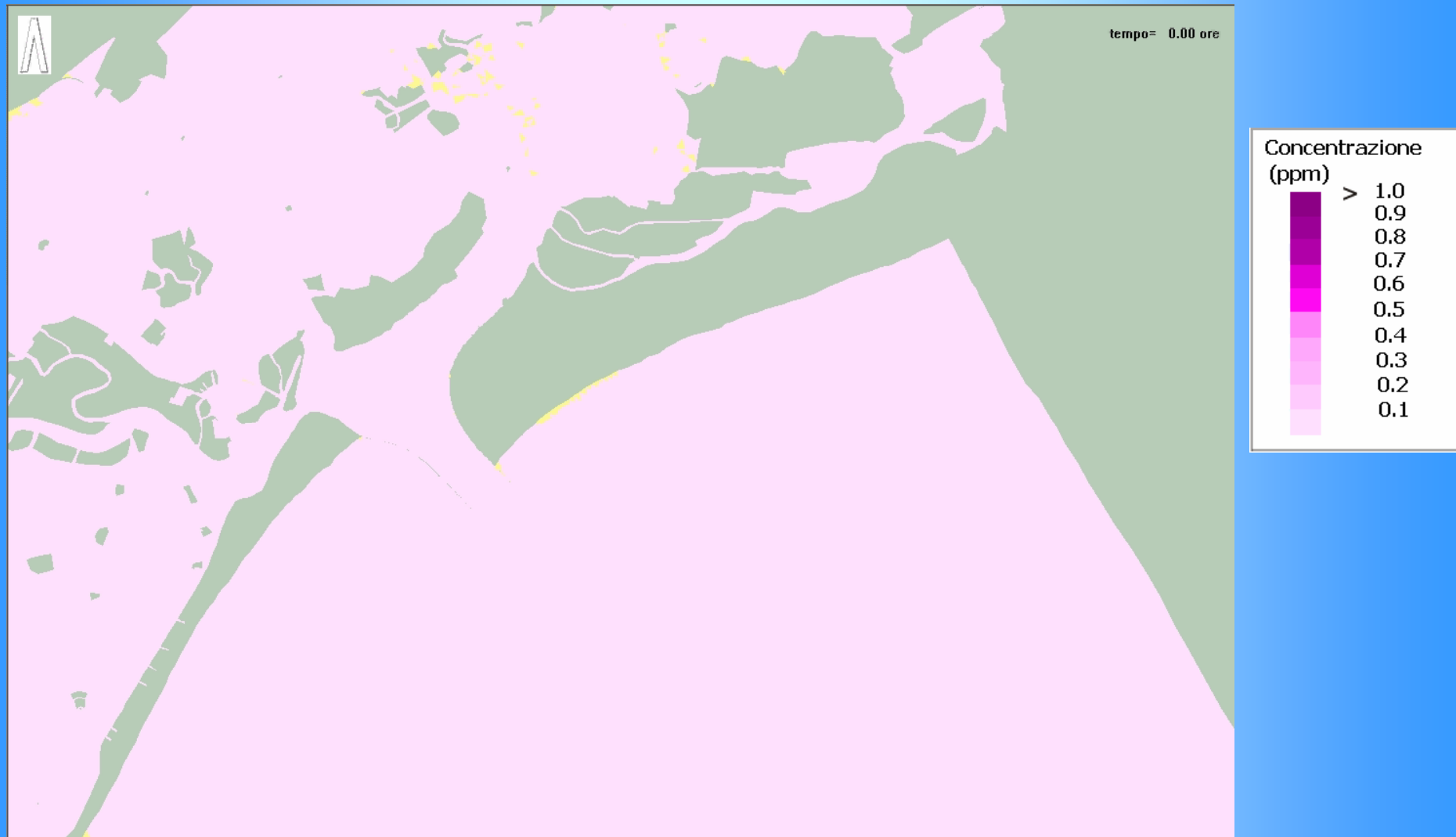
- **L'equazione del bilancio di sedimenti:**

$$(1-n)\frac{\partial z_b}{\partial t} + \nabla \cdot q_b = -W_s (C_{eq} - C_b)$$

Modello matematico bidimensionale di trasporto dei sedimenti in sospensione nella laguna di Venezia



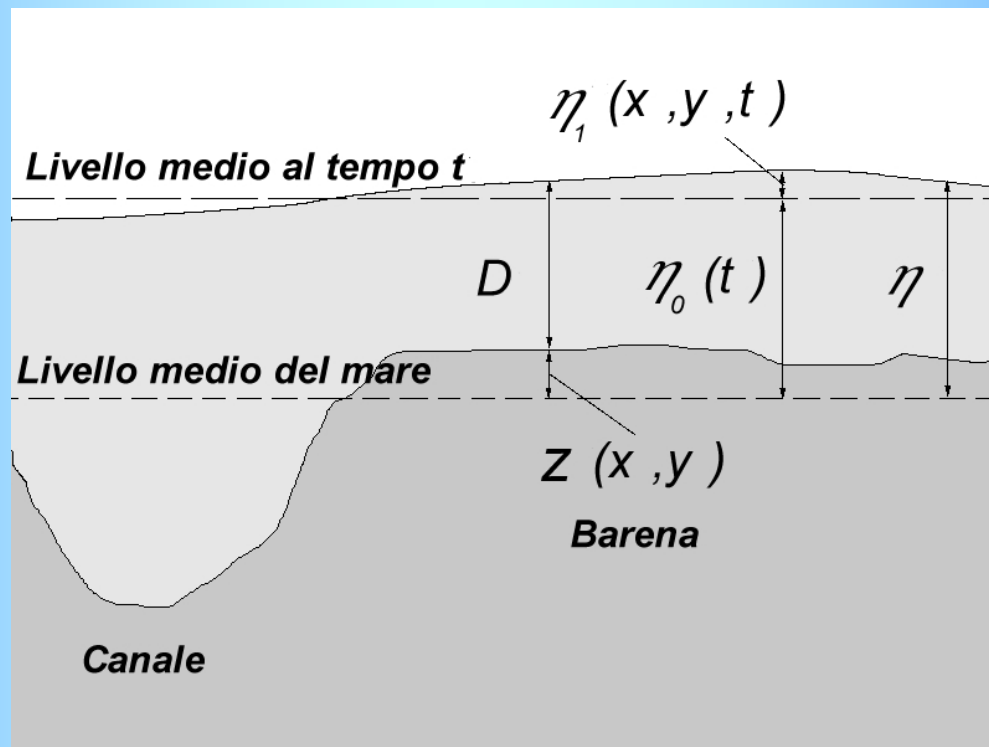
Modello matematico bidimensionale di trasporto dei sedimenti in sospensione nella laguna di Venezia



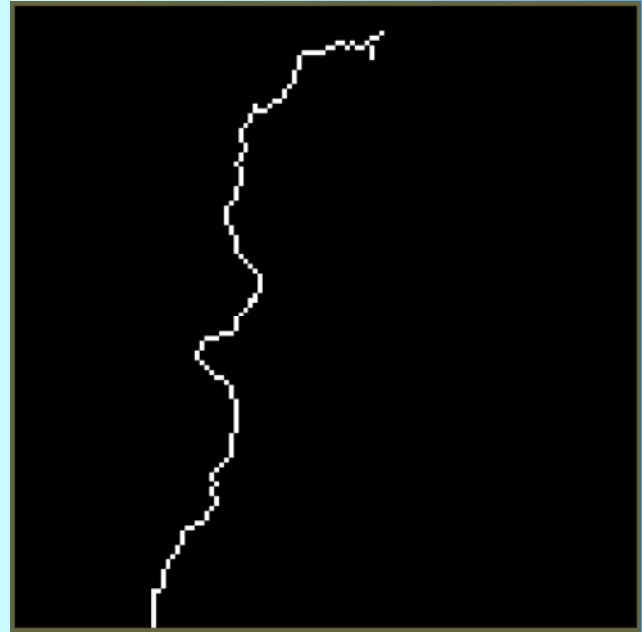
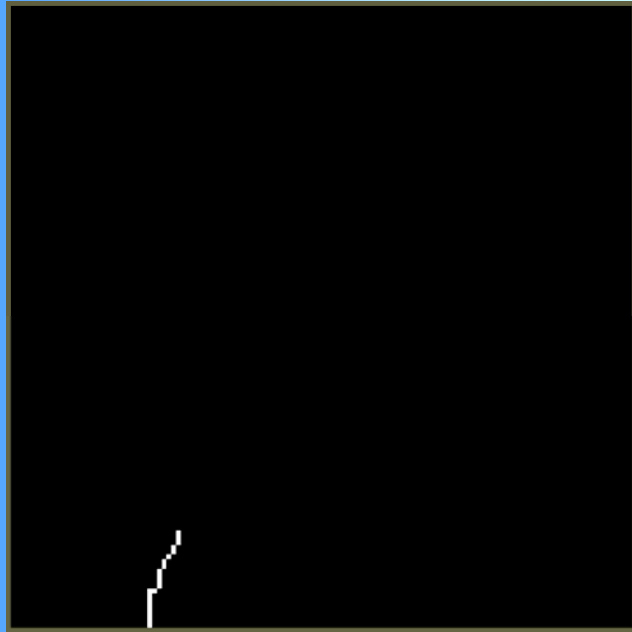
**Modello schematico per lo studio
dell'evoluzione morfodinamica
di ambienti a marea**

Modellazione Idrodinamica Semplificata

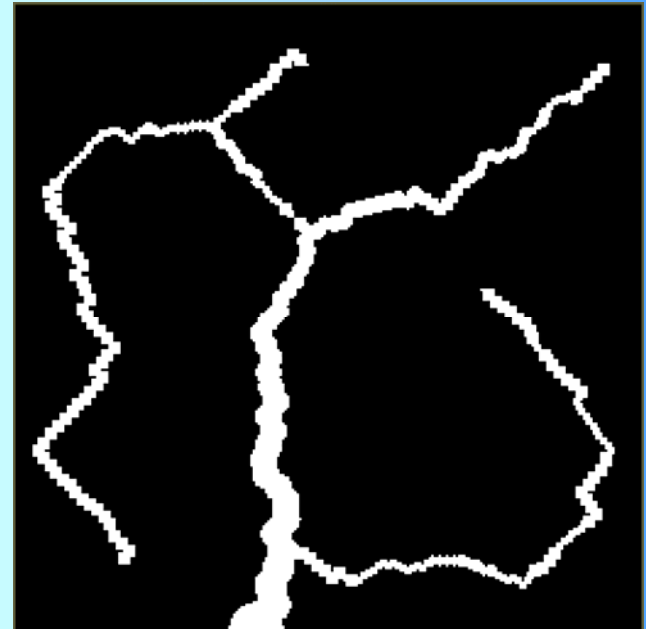
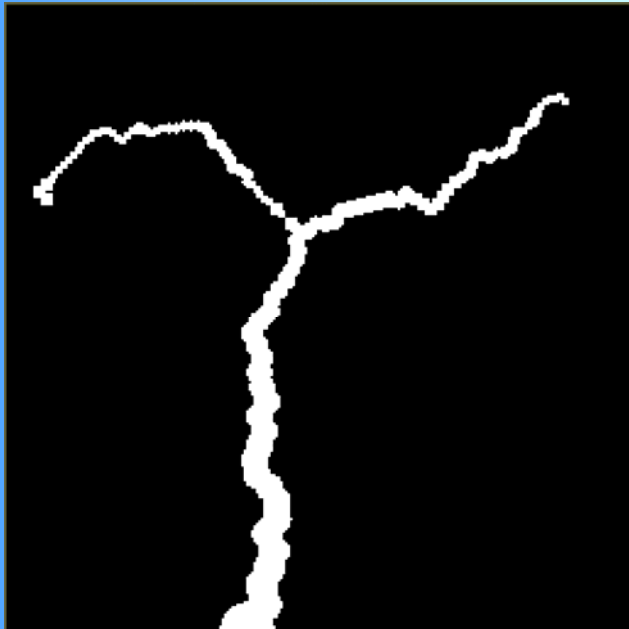
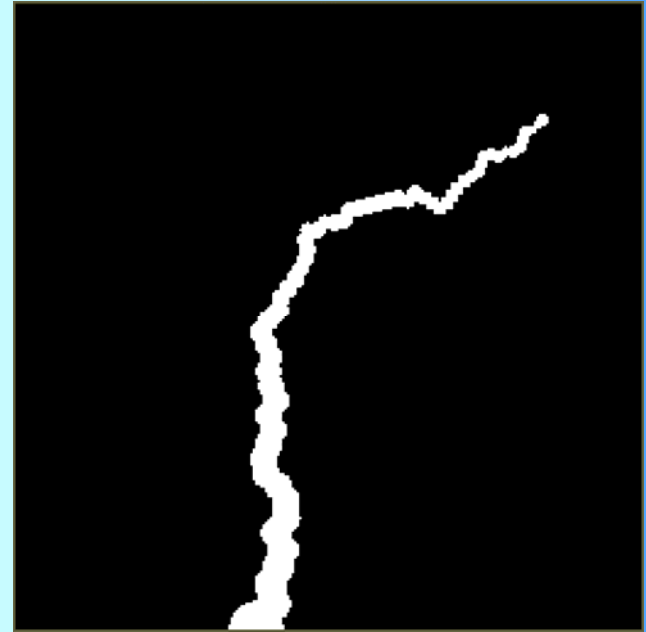
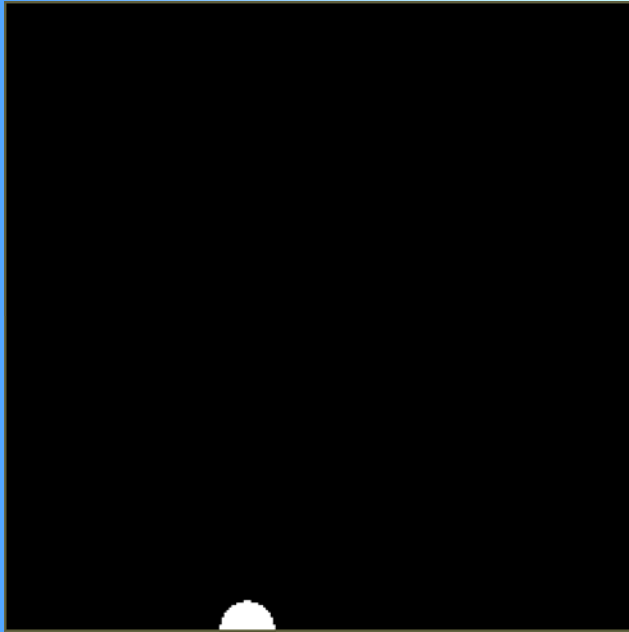
$$\nabla^2 \eta_1 = \frac{\Lambda}{(\eta_0 - z)^2} \frac{\partial \eta_0}{\partial t} \quad \Lambda = \frac{8}{3\pi} \frac{U}{C^2}$$



Evoluzione di una rete di larghezza unitaria



Evoluzione di una rete di larghezza non unitaria



Grazie per la Vostra attenzione

Trasporto solido in sospensione ...

Modelli mediati
sulla profondità

Sistemi di grande scala

~~Modelli 3D~~

Problema... ✓ Modellazione trasporto solido in sospensione

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + W \frac{\partial C}{\partial z} - W_s \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{Tz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{Tx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{Ty} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ \text{+ condizioni al contorno:} \\ \text{1) superficie libera: } \quad q \cdot n = 0 \\ \text{2) fondo: } \begin{array}{ll} \rightarrow \text{Equilibrium boundary condition} & c = c_e(\mathcal{G}, R_p) \\ \rightarrow \text{Gradient boundary condition} & q \cdot n = W_s \cdot (c_e - c) \end{array} \end{array} \right.$$

Alternative...

- Distribuzione di concentrazione in 'equilibrio' con l'idrodinamica locale
- Assegnare una funzione di struttura sulla coordinata verticale: $C = \bar{C}(x, t) \cdot \phi[z, z_R(x, t)]$
- Utilizzare un approccio asintotico (Galappatti, *JHR* '85)

Trasporto in sospensione in moti lentamente variabili

Soluzione di Rouse

$$\delta_1 \frac{\partial C}{\partial t} + \delta_2 U \frac{\partial C}{\partial x} + \delta_3 W \frac{\partial C}{\partial z} - kZ_0 \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \delta_4 \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

$O(\delta^0)$ $C_0 = \bar{C}_0(x, t) \cdot \phi(\zeta; \mathcal{G}, R_p)$ \longrightarrow distribuzione in equilibrio con l'idrodinamica locale

$O(\delta^1)$ $C_1 = D \frac{\partial \bar{C}_0}{\partial t} F_1(\zeta; \mathcal{G}; R_p) + \eta_{,t} \bar{C}_0 Z F_2(\zeta; \mathcal{G}; R_p) + D_{,t} \bar{C}_0 Z F_3(\zeta; \mathcal{G}; R_p) + UD \frac{\partial \bar{C}_0}{\partial x} F_4(\zeta; \mathcal{G}; R_p)$

$$q_s = \int_{\eta}^H [(C_0 + \delta C_1)U] dz = U(x, t) D(x, t) \cdot \psi(x, t)$$

Formula per il trasporto in sospensione

informazioni di natura 3D sul trasporto in sospensione