

Corila - Linea di Ricerca 3.18

**DISPERSIONE INTERMAREALE,
MORFOLOGIA E PROCESSI
MORFODINAMICI A LUNGO
TERMINE NELLE LAGUNE**

DISPERSIONE INTERMAREALE NEGLI ESTUARI

G.Vendramin, G. Di Silvio

Dip. IMAGE - Università di Padova

DISPERSIONE INTERMAREALE

Meccanismo che determina il trasporto netto (cioè a lungo termine) dei traccianti e in particolare dei sedimenti nei bacini a marea.

Questo meccanismo è controllato dalle correnti alternate di marea che interagiscono con la morfologia del bacino.

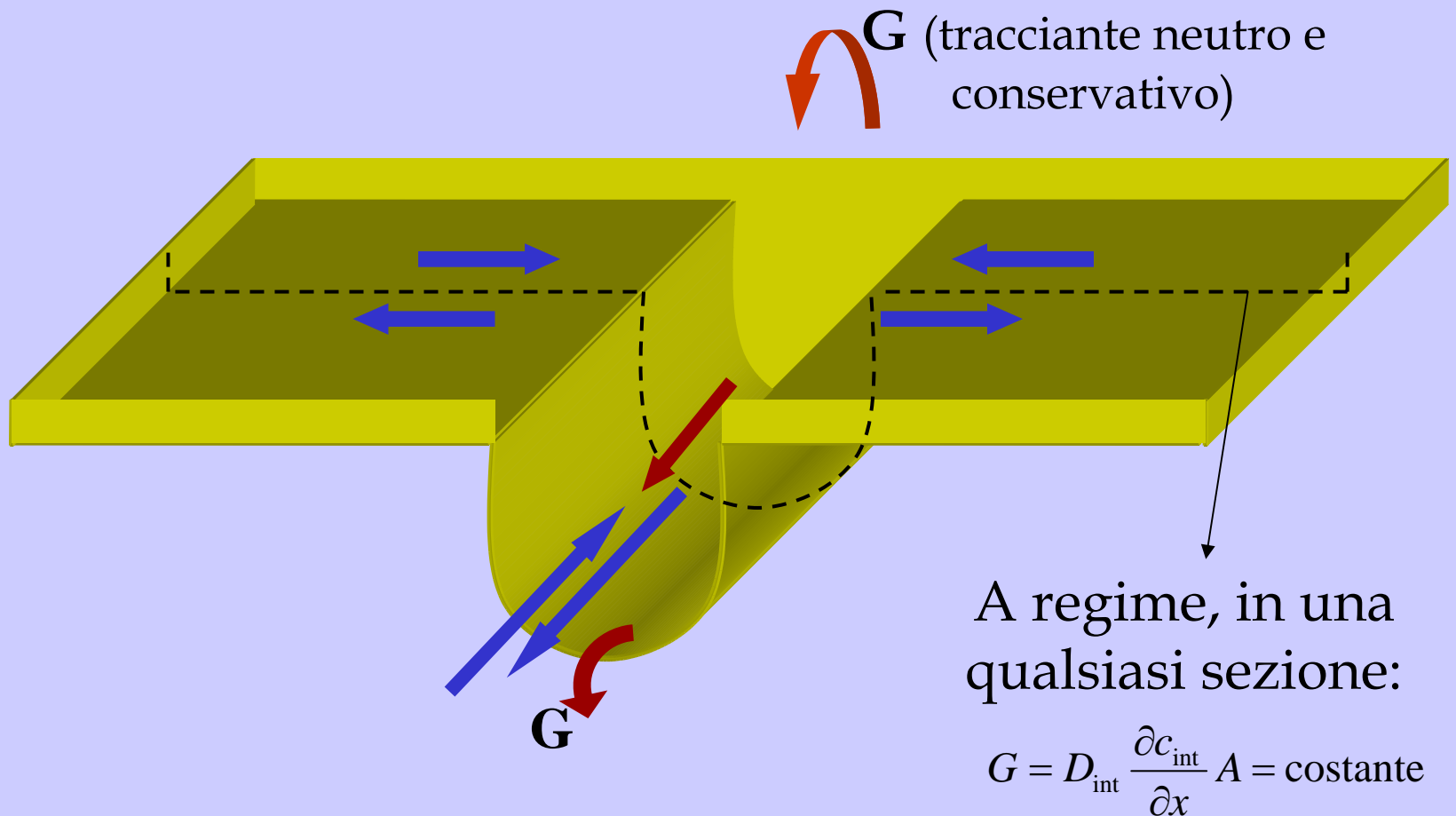
DISPERSIONE INTERMAREALE

1) CANALI CON BASSIFONDALI

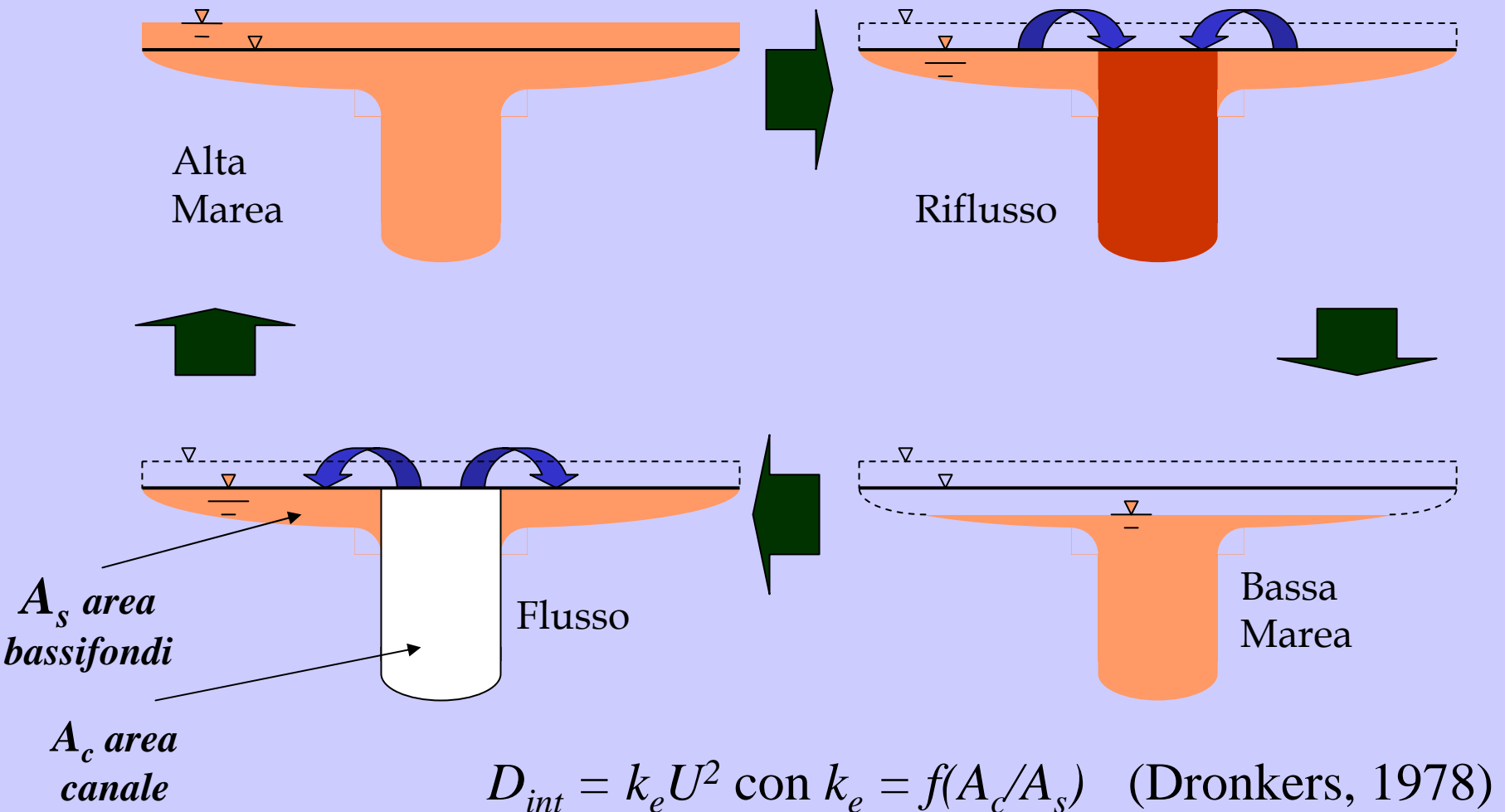
Meccanismo:

Scambio *trasversale* fra canali (ad alta velocità)
e bassi fondali (bassa velocità)

1) DISPERSIONE INTERMAREALE IN CANALI CON BASSIFONDALI

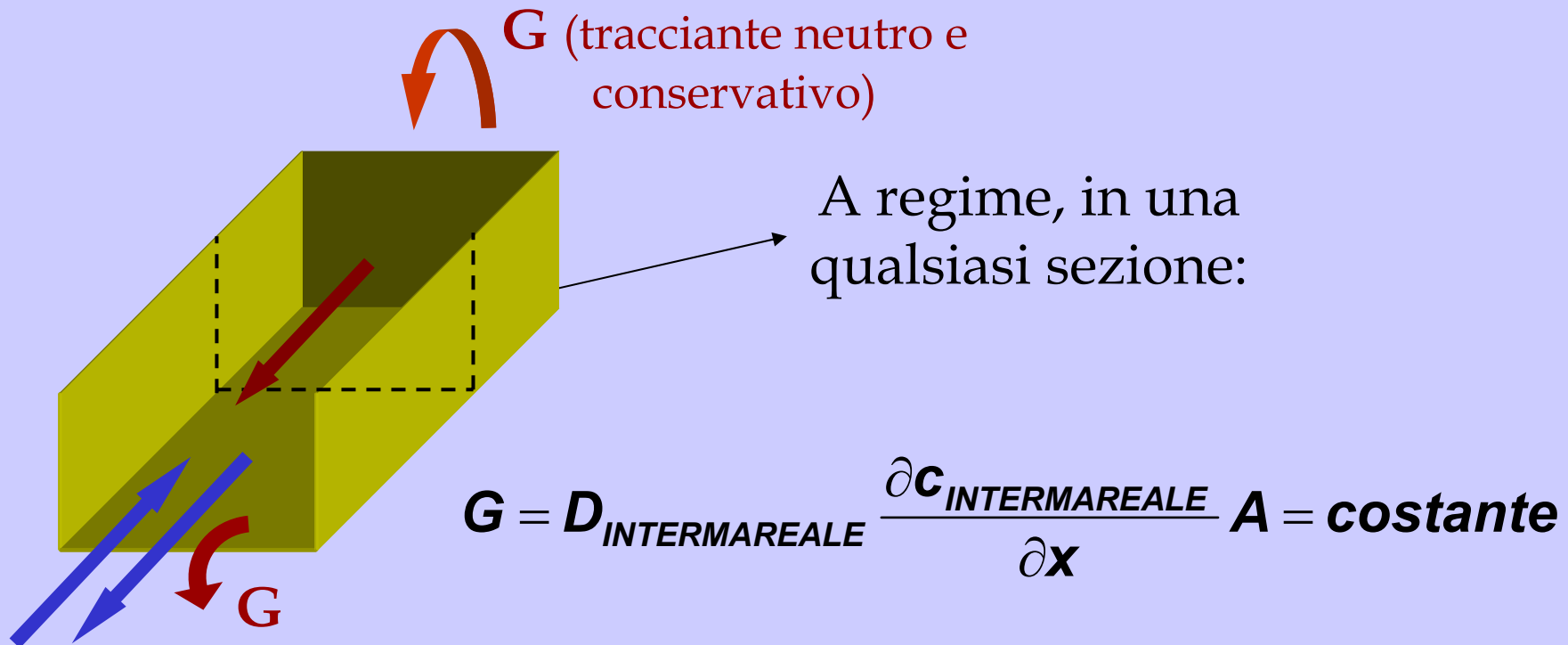


1) DISPERSION INTERMAREALE IN CANALI CON BASSIFONDALI



DISPERSIONE INTERMAREALE

2) CANALI A SEZIONE COMPATTA



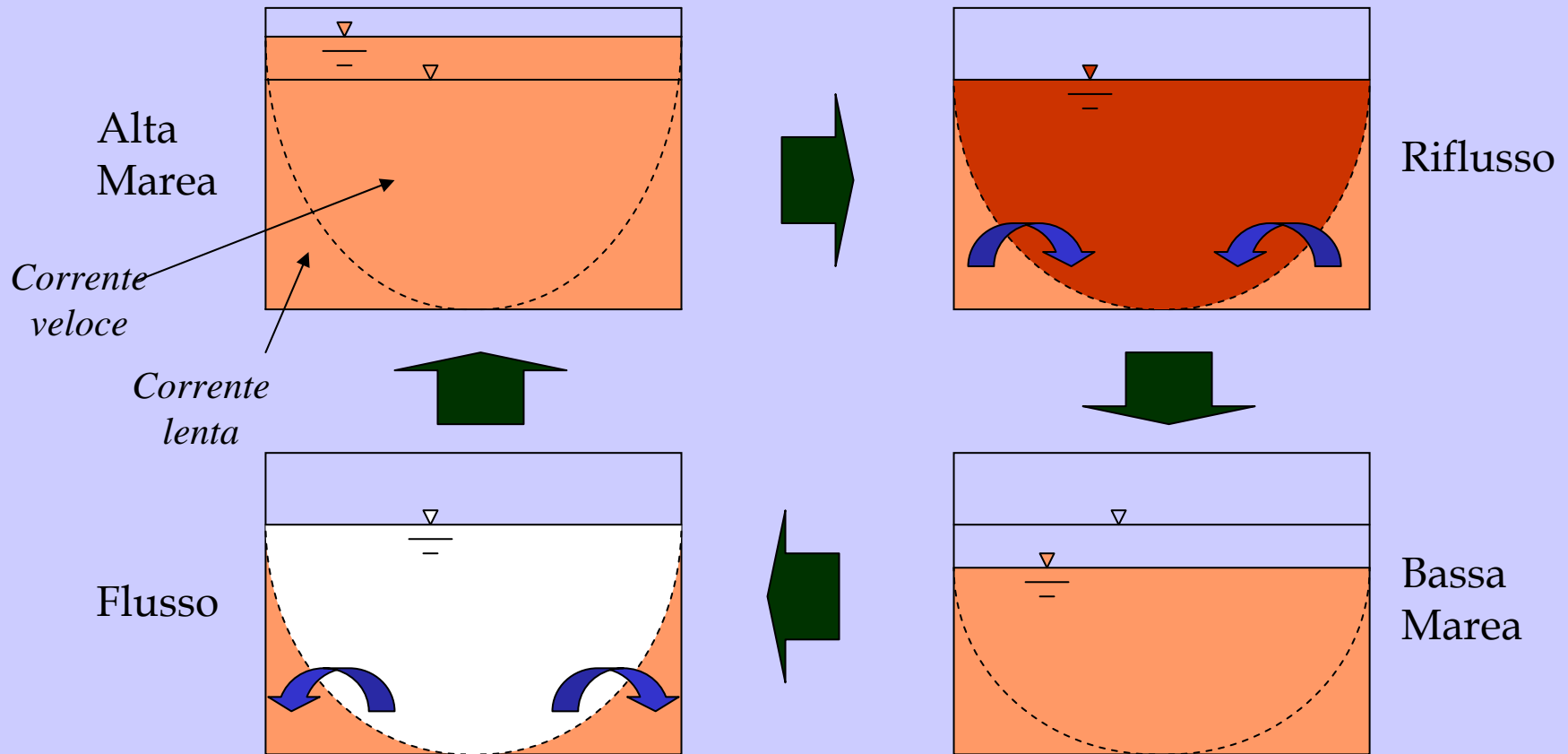
2) DISPERSIONE INTERMAREALE IN CANALI A SEZIONE COMPATTA

Meccanismo tipo Dronkers:

Scambio *trasversale* fra zone ad alta (centro) e
bassa (vicino alle pareti) velocità

Meccanismo invocato da R. Smith (JFM, 1977).

2) DISPERSIONE INTERMAREALE IN CANALI A SEZIONE COMPATTA



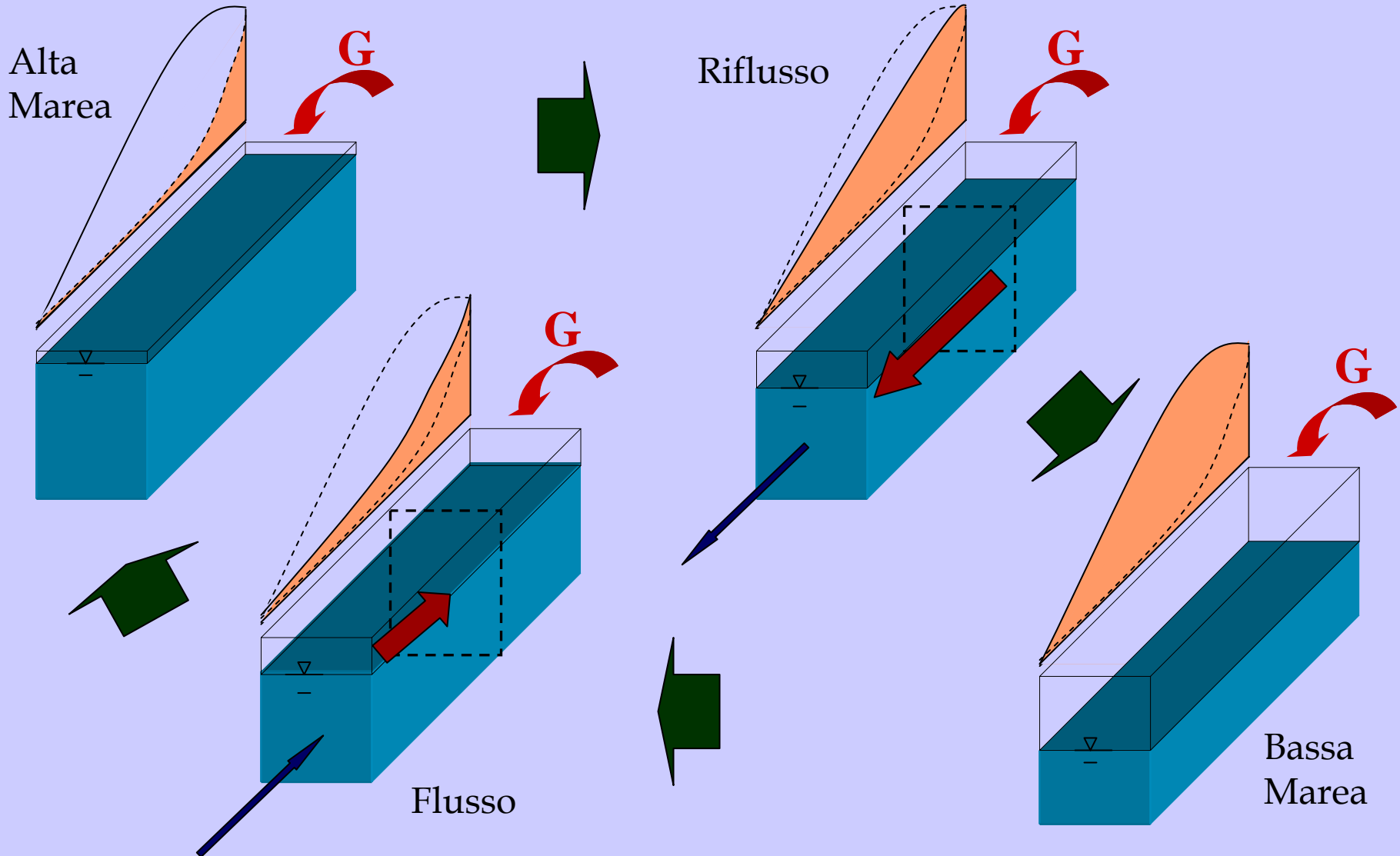
Per sezioni compatte il meccanismo è troppo “debole” per giustificare la magnitudine della dispersione intermareale effettivamente riscontrata
(L. Dal Monte, 2005)

2) DISPERSIONE INTERMAREALE IN CANALI A SEZIONE COMPATTA

Meccanismo alternativo:

Scambio *longitudinale* fra la parte verso mare e la parte verso terra, accoppiato con la dispersione *intramareale* di Elder

SCAMBIO LONGITUDINALE FRA LA PARTE VERSO MARE E LA PARTE VERSO TERRA



VALUTAZIONE DEL TRASPORTO NETTO E DELLA DISPERSIONE INTERMAREALE

Ripetuta applicazione di un modello mareale:

{ MODELLO IDRODINAMICO
{ MODELLO DISPERSIVO

Trasporto netto (intermareale) = Trasporto
riflusso - Trasporto flusso

Attenzione: minimizzare gli errori numerici

MODELLO MAREALE

Accoppiamento: $\left\{ \begin{array}{l} \text{modello } \textit{idrodinamico} \\ + \\ \text{modello di } \textit{trasporto} \text{ di tipo} \\ \text{avvezione/diffusione} \end{array} \right.$

- Modello idrodinamico completo 2D o 1D
- Modello idrodinamico 1D con celerità di propagazione :

⇒ idrodinamica semplificata ma nota analiticamente per ridurre possibilità di errori numerici (marea sinusoidale):

$$U(x,t) = \frac{Q(x,t)}{A(t)} = -\frac{\omega y_0 \cos(\omega t) \cdot x}{H_0 + y_0 \sin(\omega t)} + \frac{Q_0}{B(H_0 + y_0 \sin(\omega t))}$$

MODELLO MAREALE DISPERSIVO 1D

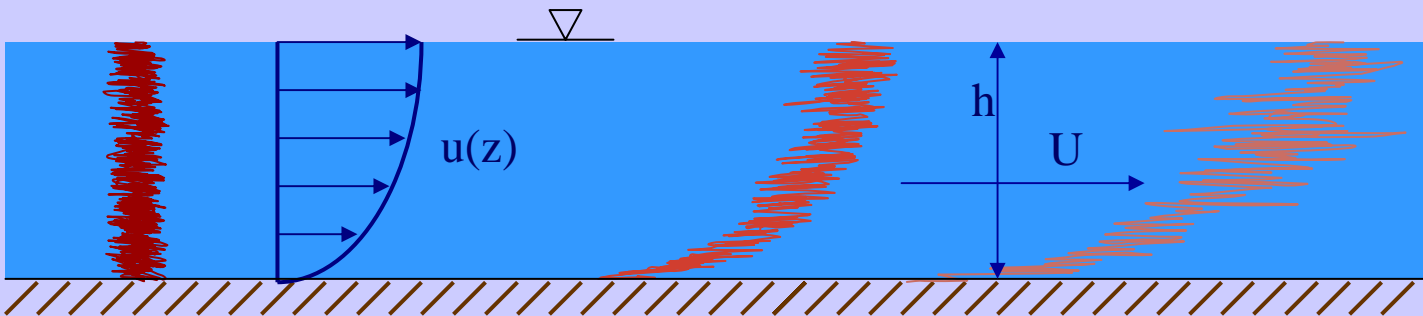
$$\frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left(\mathbf{D}_{MAREALE} \frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial \mathbf{x}} \right) - \mathbf{U}(\mathbf{x}, t) \frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial \mathbf{x}}$$

Esiste una soluzione analitica, ma è valida solo in determinate condizioni, cioè con flusso unidirezionale e velocità costante.

Il modello è stato applicato al caso del canale sperimentale di Genova, senza sedimenti ma immisione continua di tracciante neutro.

DISPERSIONE MAREALE $D_{MAREALE}$

MECCANISMO DI ELDER (1959)



Dispersione longitudinale con moto unidirezionale dovuta alla non uniforme distribuzione della velocità sulla verticale

$$D_{MAREALE} = \frac{18,5}{\chi} U h$$

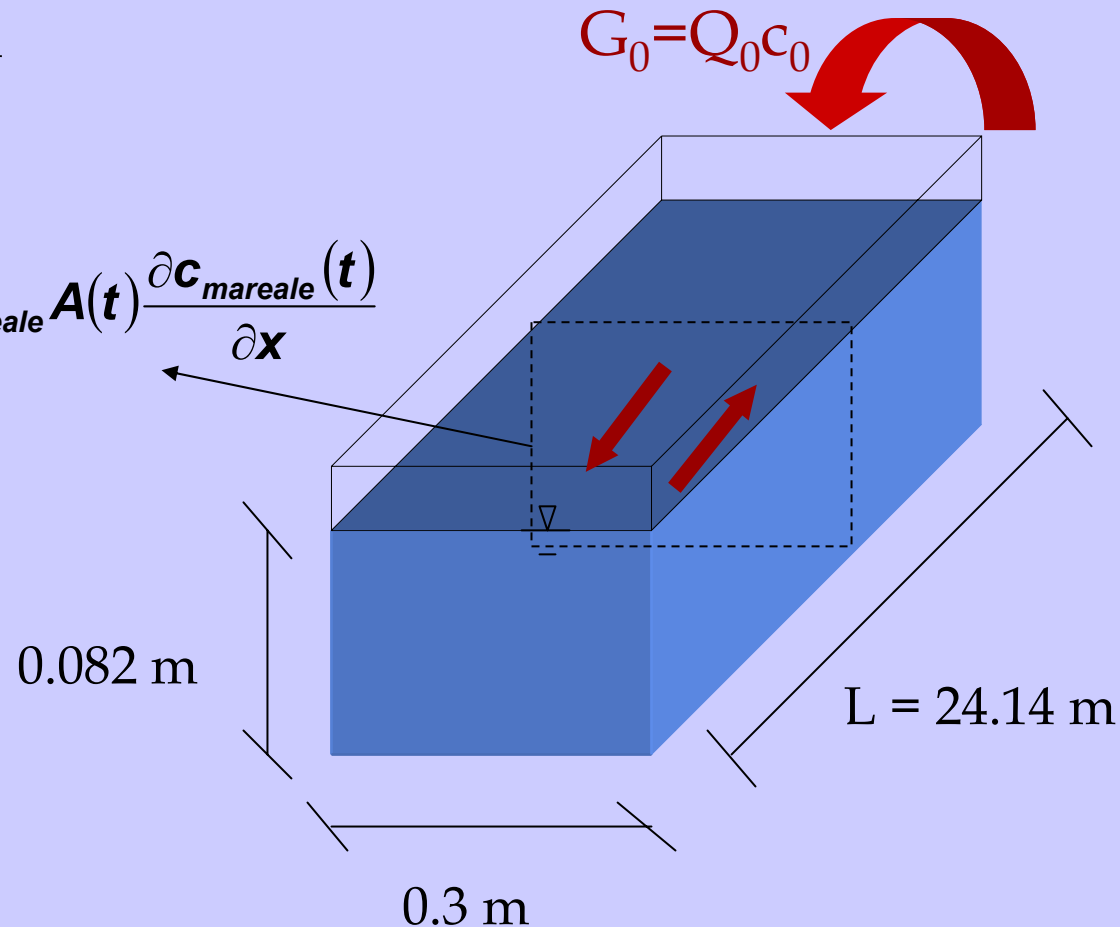
CANALETTA SPERIMENTALE

Canaletta con le stesse dimensioni e caratteristiche di marea dell'apparato sperimentale del DIAM dell'Università di Genova, senza l'inclusione sedimenti.

$$G_{mareale}(t) = c_{mareale}(t)Q(t) - D_{mareale}A(t) \frac{\partial c_{mareale}(t)}{\partial x}$$

Condizioni al contorno:

- immissione continua Q_0c_0 di un tracciante all'estremità verso terra del canale ($Q_0 \ll Q_{mareale}$).
- concentrazione nulla in mare (diluitore perfetto).



VALORI DELLA DISPERSIONE MAREALE SECONDO ELDER

$$D_{MAREALE} = \frac{18,5}{\chi} Uh$$

- × Valori fisicamente plausibili:
0,02-0,1 m²/s nella sezione a mare
- × Decrescenti fino a zero verso l'estremità di terra

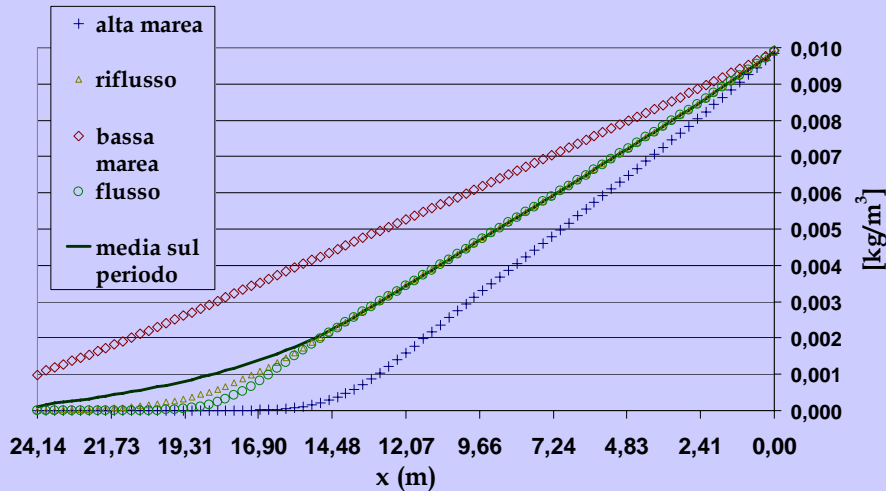
INTEGRAZIONE NUMERICA DELL'EQUAZIONE DI TRASPORTO MAREALE

$$\frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left(\mathbf{D}_{MAREALE} \frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial \mathbf{x}} \right) - \mathbf{U}(\mathbf{x}, t) \frac{\partial \mathbf{c}(\mathbf{x}, t)}{\partial \mathbf{x}}$$

- × Problemi di stabilità e di accuratezza (metodo numerico alle differenze finite con schema di De Marsily, confrontato con soluzione analitica con $Q = \text{costante}$)
- × Verifica: conservazione della massa su lunghi periodi di tempo

INTEGRAZIONE NUMERICA DELL'EQUAZIONE DI TRASPORTO MAREALE

Concentrazioni istantanee lungo il canale



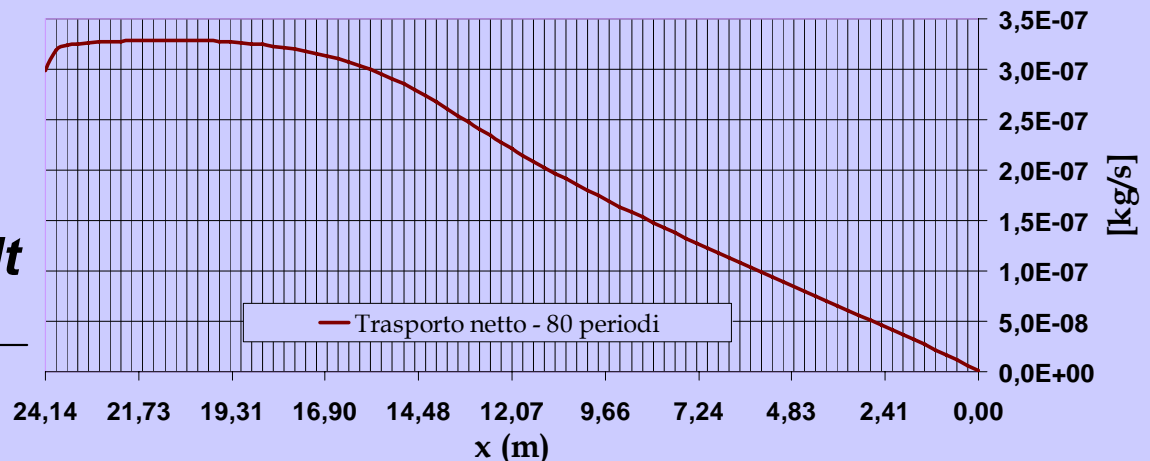
Concentrazione media a lungo termine:

$$\tilde{c} = \frac{\int c(t) dt}{T_m} \cong \frac{\sum c \cdot \Delta t}{n \cdot \Delta t} = \frac{\sum c}{n}$$

Trasporto medio netto

Trasporto medio netto
(a lungo termine):

$$\tilde{T} = \frac{\int \left[c(t)Q(t) - DA(t) \frac{\partial c(t)}{\partial x} \right] dt}{T_m}$$



ANALISI DI SENSIBILITA' DELL'INTEGRAZIONE NUMERICA

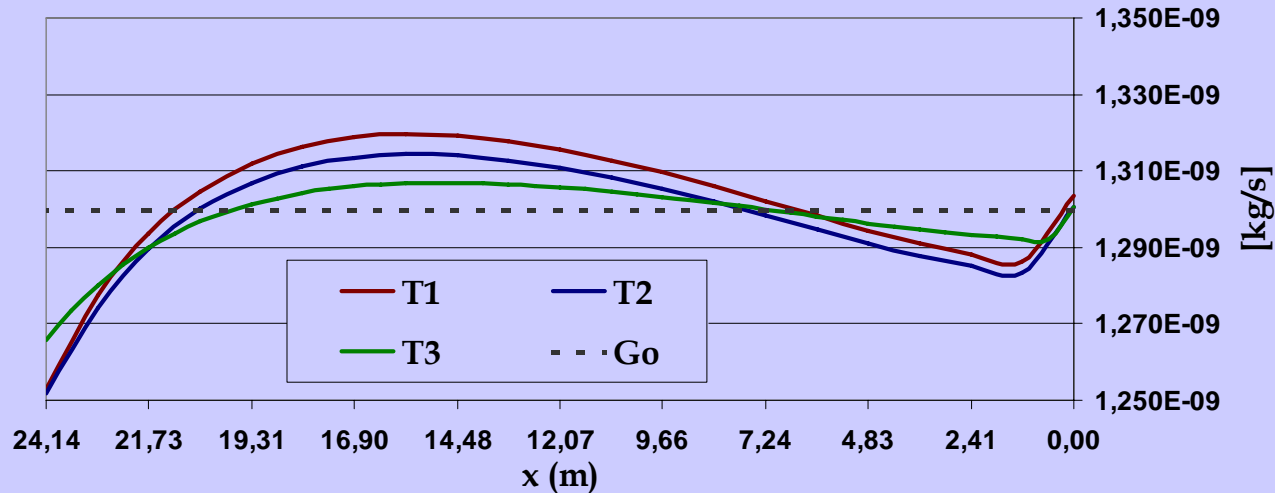
- × *Dispersione mareale* $D_{MAREALE}$: oltre a valori variabili con la velocità U secondo Elder, è stato preso in considerazione un valore costante lungo tutto il canale
- × *Numeri di Courant e Peclet*: si è cercato di aumentare la precisione del calcolo agendo su Δt e Δx una volta individuata la stabilità secondo:

$$C = \frac{U^2 \cdot \Delta t^2}{\Delta x^2} \leq 1$$

$$Pe = \frac{\Delta x \cdot U}{D_{MAREALE}} \leq 2$$

MODELLO DISPERSIVO 1D

Trasporto medio netto con $D=1\text{m}^2/\text{s}$

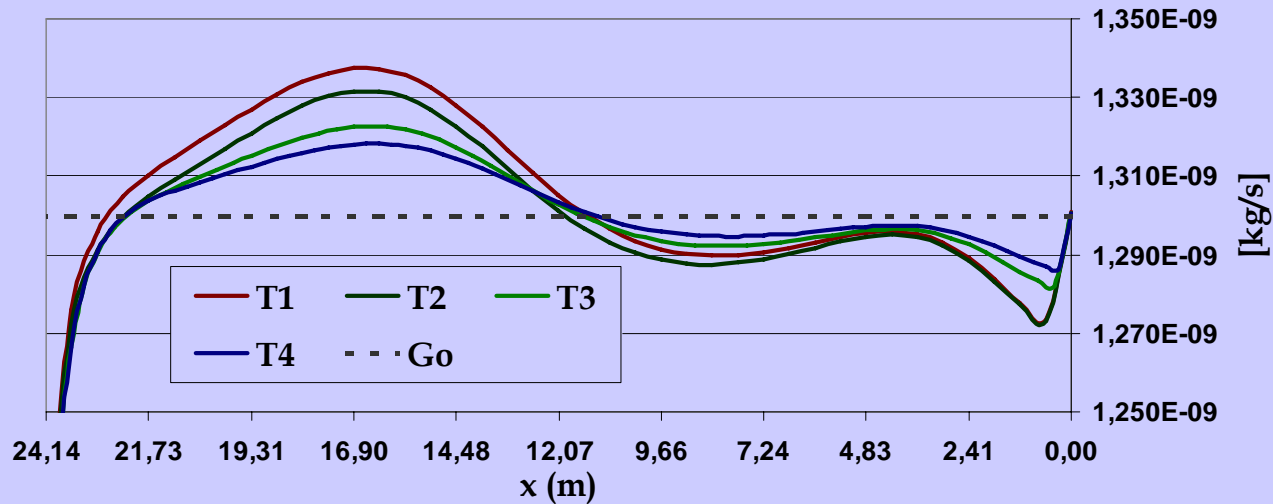


D costante lungo tutto il canale

	D [m^2/s]	Δt [s]	Δx [m]	Peclet	Courant
T1	1	0,5	L/20	0,297	0,0104
T2	1	0,1	L/20	0,297	0,00042
T3	1	0,1	L/40	0,148	0,00166
T1	0,1	0,1	L/40	1,485	0,001662
T2	0,1	0,05	L/40	1,485	0,00042
T3	0,1	0,05	L/60	0,98974	0,000935
T4	0,1	0,05	L/80	0,742	0,001662

MODELLO DISPERSIVO 1D

Trasporto medio netto $D=0,1\text{m}^2/\text{s}$

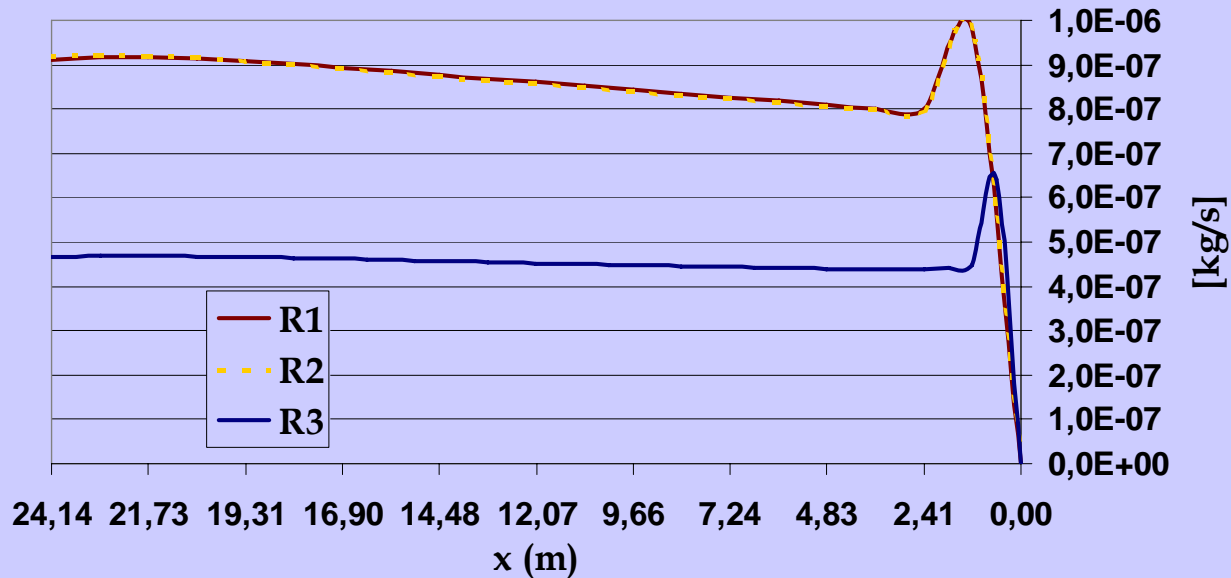


D costante lungo tutto il canale

	D [m^2/s]	Δt [s]	Δx [m]	Peclet	Courant
T1	1	0,5	L/20	0,297	0,0104
T2	1	0,1	L/20	0,297	0,00042
T3	1	0,1	L/40	0,148	0,00166
T1	0,1	0,1	L/40	1,485	0,001662
T2	0,1	0,05	L/40	1,485	0,00042
T3	0,1	0,05	L/60	0,98974	0,000935
T4	0,1	0,05	L/80	0,742	0,001662

MODELLO DISPERSIVO 1D

Trasporto medio netto $D_{\text{mare}} = 1 \text{ m}^2/\text{s}$

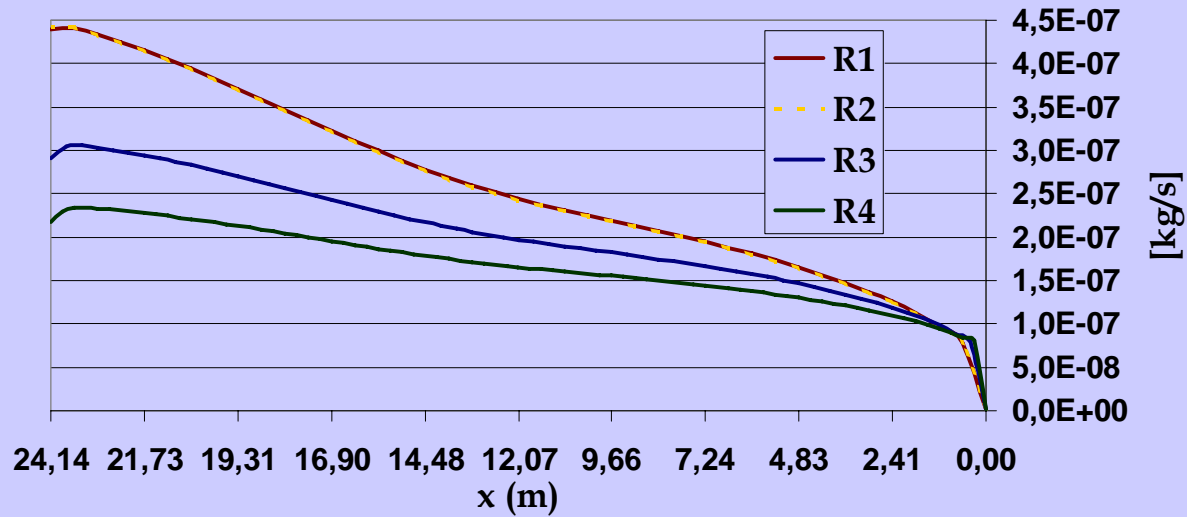


D variabile alla Elder

	$D_{\text{MARE}} [\text{m}^2/\text{s}]$	Δt [s]	Δx [m]	Peclet	Courant
R1	1	0,5	L/20	0,297	0,0104
R2	1	0,1	L/20	0,297	0,00042
R3	1	0,1	L/40	0,148	0,00166
R1	0,1	0,1	L/40	1,485	0,001662
R2	0,1	0,05	L/40	1,485	0,00042
R3	0,1	0,05	L/60	0,98974	0,000935
R4	0,1	0,05	L/80	0,742	0,001662

MODELLO DISPERSIVO 1D

Trasporto medio netto $D_{\text{mare}} = 0,1 \text{ m}^2/\text{s}$

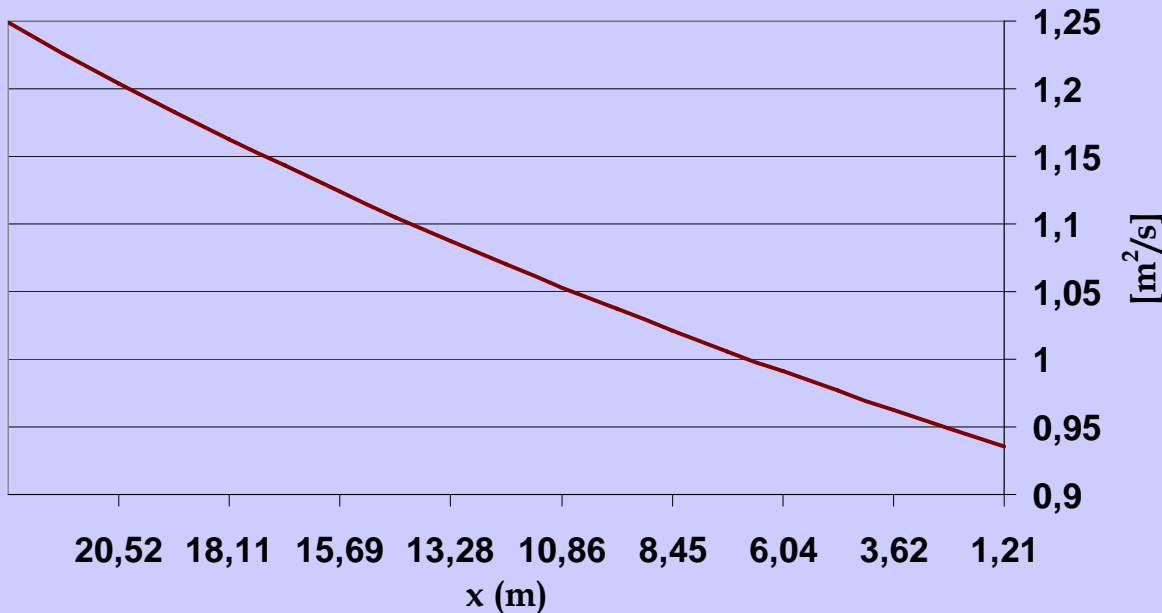


D variabile alla Elder

	$D_{\text{MARE}} [\text{m}^2/\text{s}]$	Δt [s]	Δx [m]	Peclet	Courant
R1	1	0,5	$L/20$	0,297	0,0104
R2	1	0,1	$L/20$	0,297	0,00042
R3	1	0,1	$L/40$	0,148	0,00166
R1	0,1	0,1	$L/40$	1,485	0,001662
R2	0,1	0,05	$L/40$	1,485	0,00042
R3	0,1	0,05	$L/60$	0,98974	0,000935
R4	0,1	0,05	$L/80$	0,742	0,001662

VALUTAZIONE DISPERSIONE INTERMAREALE $D_{INTERMAREALE}$

Dispersione intermareale

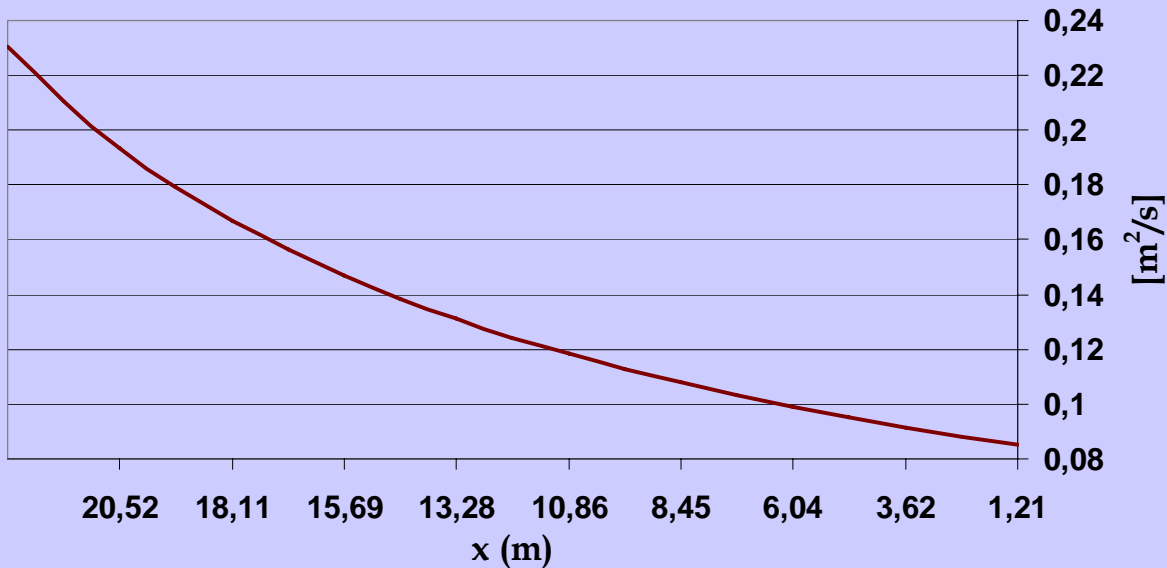


x (m)	$D_{INTERMAREALE}$ (m^2/s)
0	
1,207	0,935922461
2,414	0,949142412
3,621	0,9627409
4,828	0,976734425
6,035	0,991140458
7,242	1,005977516
8,449	1,021265242
9,656	1,037024489
10,863	1,053277421
12,07	1,070047607
13,277	1,087360146
14,484	1,105241785
15,691	1,123721059
16,898	1,142828444
18,105	1,162596524
19,312	1,183060176
20,519	1,204256775
21,726	1,226226424
22,933	1,249012206
24,14	

$D_{mareale}=1$ costante lungo tutto il canale

VALUTAZIONE DISPERSIONE INTERMAREALE $D_{INTERMAREALE}$

Dispersione intermareale



x (m)	$D_{INTERMAREALE}$ (m^2/s)
0	
1,21	0,09
2,41	0,09
3,62	0,09
4,83	0,10
6,04	0,10
7,24	0,10
8,45	0,11
9,66	0,11
10,86	0,12
12,07	0,12
13,28	0,13
14,48	0,14
15,69	0,15
16,90	0,16
18,11	0,17
19,31	0,18
20,52	0,19
21,73	0,21
22,93	0,23
24,14	

$D_{mareale}=0,1$ costante lungo tutto il canale

CONCLUSIONI

- ✓ D_{MAREALE} grande (ma non plausibile) assorbe anche gli effetti del lungo periodo e $D_{\text{MAREALE}} \cong D_{\text{INTERMAREALE}}$
- ✓ D_{MAREALE} piccola (fisicamente più credibile), la soluzione è inaccurata o addirittura instabile
- ✓ Per rendere la situazione più realistica devo comunque assegnare a D_{MAREALE} valori “piccoli”. In tal caso, per guadagnare in precisione devo scegliere Δx e Δt minori. Ciò comporta maggiori oneri computazionali e qualche problema di memoria nel particolare software utilizzato. Per ovviare a quest’ultimo inconveniente si potrebbe adoperare un codice di programmazione alternativo.

PROSPETTIVE FUTURE

- ✓ Nuove tecniche numeriche
- ✓ Approccio Lagrangiano
- ✓ Taratura in regime di trasporto transitorio in cui vale la conservazione della massa:

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial(\tilde{\mathbf{c}}\mathbf{A})}{\partial t} = \mathbf{0}$$