



CONSORZIO PER LA GESTIONE DEL CENTRO DI  
COORDINAMENTO DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA INERENTI IL  
SISTEMA LAGUNARE DI VENEZIA

# Programma di Ricerca 2004-2006

## *Linea 3.18*

### Tempi di residenza e dispersione idrodinamica nella laguna di Venezia

**TITOLO DEL PROGETTO DI RICERCA:** Dispersione intermareale, morfologia e processi morfodinamici a lungo termine nelle lagune

**RESPONSABILE SCIENTIFICO:** Prof. Giampaolo Di Silvio

**COORDINATORE OPERATIVO:** Prof. Giampaolo Di Silvio

**ISTITUZIONI DEL GRUPPO DI RICERCA:**

Tipologia	Istituzione
Partecipante	Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (IMAGE-UNIPD)
Partecipante	Università degli studi di Padova, Dipartimento di Matematica Pura e Applicata (DMPA-UNIPD)
Partecipante	Università degli studi di Genova, Dipartimento di Ingegneria Ambientale (DIAM-UNIGE)
Partecipante	CNR - Istituto di Scienze Marine, Sezione di Venezia (CNR-ISMAR)
Partecipante	Delft University of Technology, Dept of Civil Engineering and Geosciences Hydraulic and Geotechnical Engineering (TU-DELFT)

# 1 Descrizione della Ricerca

## 1.1 Descrizione in lingua italiana

La dispersione intermareale è il meccanismo dominante di mescolamento e di trasporto a lungo termine agente in laguna di Venezia. Essa determina la distribuzione spaziale in laguna dei traccianti conservativi e il tempo di residenza di tali traccianti nelle diverse zone lagunari più o meno confinate. Anche per i traccianti non conservativi, quali ad esempio il calore e le sostanze chimicamente e biologicamente reagenti, nonché per i traccianti pesanti in sospensione, quali i sedimenti responsabili dell'evoluzione morfologica della laguna, la dispersione intermareale è peraltro fondamentale ed è certamente fra i meccanismi di trasporto più difficilmente quantificabili.

Il trasporto dispersivo dipende dagli scostamenti spaziali e temporali della velocità dei rispettivi valori medi. La dispersione intermareale è infatti il risultato complessivo degli spostamenti residui lagrangiani delle particelle di tracciante a seguito delle oscillazioni di marea (Cheng et al., 1996).

I movimenti lagrangiani delle particelle sono descritti sinteticamente dalle cosiddette "figure lagrangiane", le quali assumono aspetto molto diverso a seconda del punto considerato. Per esempio, esse risultano molto più strette nel centro dei canali naturali a marea e molto più ampie ai limiti fra canali e bassi fondali. Le figure lagrangiane dipendono, sia pure in modo molto complesso, dal campo di moto euleriano ma, forse in modo più esplicito, dalla conformazione dei contorni. Conviene pertanto separare il trasporto netto avvertivo (legato alla velocità residua euleriana) dal rimanente trasporto netto (dipendente dalla geometria circostante) affidato ad un coefficiente di dispersione intermareale.

Nel caso di trasporto di sedimenti si può avere trasporto netto non nullo anche in presenza di velocità spazialmente uniforme e con media temporale nulla. Tale trasporto netto di sedimenti (a cui non corrisponde un trasporto netto d'acqua) è legato alla dissimmetria della velocità di marea in fase crescente e decrescente. In generale, però, la disuniformità spaziale della velocità è il meccanismo principale della dispersione.

Nelle lagune naturali il campo di moto istantaneo nei canali e quello nei bassofondali può essere descritto da equazioni semplificate (Rinaldo et al., 1999). Ciò consente probabilmente di esprimere il meccanismo di dispersione dominante (il "trapping and pumping" di Schijf and Shonfeld, 1953) e di verificare le vecchie formulazioni del coefficiente di dispersione intermareale proporzionale al quadrato della velocità nel canale (Dronkers, 1978; Di Silvio e Fiorillo, 1981). Analisi teoriche della dispersione intermareale possono essere condotte, con un approccio simile a quello classico di Taylor (1953), mettendo in conto la non uniforme distribuzione della velocità sulla verticale (Smith, 1994) o sulla sezione trasversale (Dal Monte e Di Silvio, 2003). A differenza della dispersione di Taylor, peraltro, il meccanismo di trasporto in direzione trasversale non è affidato alla turbolenza, ma alle correnti alternate legate alla marea.

Per lo studio della dispersione intermareale è possibile anche ricorrere a simulazioni numeriche a breve scala di tempo, integrando opportunamente nel tempo i risultati. A questo scopo sarà utilizzato un modello accurato e dettagliato della laguna sviluppato dal Dipartimento IMAGE nell'ambito della Linea di Ricerca 3.7 (2000-2004).

Si intende altresì sviluppare la modellistica morfodinamica a lungo termine iniziata nella linea 3.2 (Lanzoni e Seminara, 2002; Bolla Pittalunga e Seminara, 2002, Di Silvio e Dal Monte, 2003). Si deve sottolineare che i sedimenti in sospensione in laguna sono prevalentemente trasportati dalle correnti alternate di marea e solo secondariamente dal vento, dalle correnti fluviali, dalle correnti create dal moto ondoso. I meccanismi di dispersione intermareale controllano pertanto il trasporto a lungo termine dei sedimenti e i relativi processi di deposizione e di erosione netta. In stretto collegamento con la linea 3.14 le conoscenze acquisite sul trasporto dispersivo intermareale saranno integrate con quelle relative ai meccanismi di sollevamento dei sedimenti (moto ondoso, imbarcazioni, attività di pesca) per il calcolo della concentrazione a lungo termine.

Le indagini di campagna (co-finanziate in misura prevalente dal contributo di altri progetti) saranno rivolte principalmente al funzionamento delle barene, le quali svolgono una particolare funzione nel bilancio dei sedimenti in relazione alla loro quota e alla vegetazione alofita che le ricopre.

#### Bibliografia:

Bolla Pittaluga, M., Seminara, G., Trasporto solido in moti lentamente variabili ed equilibrio morfodinamico di canali mareali. 28° Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Potenza, Italy, 5, pp. 29-36, 2002

Casulli, V., Cheng, R. T., Civil Engineering Database Solutions of Primitive Equations for Three-dimensional Tidal Circulation , Conference Proceeding Part of: Estuarine and Coastal Modeling, pp. 396-406, 1993

Dal Monte, L., Di Silvio, G., Ratio between channel-cross section and tidal prism in short lagoons: validity and limits of the "Law of Jarret", 3rd IAHR *Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, 1-5 Sept., Barcelona, Spain, 2003.

Defina, A., D'Alpaos, L., 1994. A new set of equations for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models. Proc. Specialty Conference on Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas. ASCE, pp. 72-81.

Di Silvio, G., Fiorillo, G., Modelling of Lagoons (The Experience of Venice), Fischer H.B. editor, TRANSPORT MODELS for Inland and Coastal Waters. Proceeding of a Symposium on Predictive Ability. ACADEMIC PRESS, New York(USA), 1981.

Dronkers, J., Longitudinal dispersion in shallow well-mixed estuaries, Coastal Eng. Conf., 3, p. 169, 1978.

Lanzoni, S., Seminara, G., Long-term evolution and morphodynamic equilibrium of tidal channels. J. Geophys. Res., 107, pp 1-13, 2002.

Rinaldo, A. , Fagherazzi, S., Lanzoni, S., Marani M., e Dietrich, W. E., Tidal networks 3. Landscape-forming discharges and studies in empirical geomorphic relationships. *Water Resources Research*, vol. 35, no. 12, pages 3919-3929, december 1999.

Schijf, J. B., Schönfeld, J. C., Theoretical considerations on the motion of salt and fresh water, 321, *Proc. Minnesota Int. Hydr. Cond. (IAHR/ASCE)*, Minneapolis, Minnesota, August 1953.

Smith, R., Hydrodynamic derivation of an Aggregated Dead Zone Model for Contaminant Dispersion in Estuary Flows, *Mixing and Transport in the Environment*, pp. 371-382, 1994

Taylor, G. I., Dispersion of soluble matter in solvent flowing slowly through a tube, *Proc. R. Soc. London A*, 219, 186-203, 1953.

## **1.2 Abstract in lingua inglese**

Intertidal dispersion is the dominant mechanism for mixing and long-term transport. In the Venice lagoon and controls the spatial distribution of conservative and non-conservative tracers, as well as their "residence time" in various zones of the lagoon.

It should be noted that also suspended sediments are transported, on the long-term, by intertidal dispersion. By utilizing the obtained results, appropriate long-term morphodynamical models will be developed in this project for simulating the evolution of tidal lagoons and their equilibrium configurations. Experimental and field investigation will be especially devoted to the behaviour of salt marshes. These morphological components play a peculiar role in the sediment balance of a lagoon, depending upon its elevation and the alophile vegetation covering their surface.

Intertidal dispersion is the overall result of the lagrangian residual movements of particles determined by tidal oscillations (Cheng et al., 1996). Lagrangian movements are described for each point of the lagoon by the so-called "lagrangian figures", which take a very different shape depending upon the point under consideration. For example, they are much narrower in the middle of tidal channels and much wider on the limits between channel and shoals. Lagrangian figures depend of course (although in a quite complicated way) on the eulerian velocity field but more explicitly on the geometrical configuration of the boundaries. Indeed it is often convenient separating the intertidal advective transport (residual eulerian flow in a given point) from the remaining intertidal dispersive transport (which depends on the geometry surrounding the point itself). The intertidal dispersion coefficient is in principle a tensor which depends on the surrounding geometry, but in some cases can probably be approximated as a scalar, depending upon the statistics of the eulerian flow in some relevant point.

In general, very accurate and stable numerical techniques are necessary for both drawing the lagrangian figures and computing the eulerian residual flow (Defina e D'Alpaos, 1994). A very accurate numerical model for tidal flow has been developed in the "Linea di Ricerca 3.7" (2000-2004).

Intertidal dispersion depends on the spatial and temporal deviations of flow velocity from the respective average values. In the case of suspended sediments, intertidal dispersion may take place even in the presence of a spatially uniform velocity with a zero time-averaged residual flow. This is due on the possible non-symmetrical shape of the tidal velocity. When the residual flow is zero, however, spatial velocity gradients are usually the most effective mechanism driving intertidal dispersion. In this case, for predicting the intertidal dispersion coefficient one can apply the simplified waterflow equations valid for natural lagoons (Rinaldo et al., 1999).

Theoretical analysis of the intertidal dispersion can be carried on, with an approach similar to the classical one by Taylor (1953), taking into account the non-uniform velocity distribution along the

depth (Smith, 1994) or over the cross-section (Dal Monte and Di Silvio, 2003). Differently from Taylor's dispersion, the transversal transport in this case is not due to the turbulence but to the alternate tidal currents, between zones of slower and faster velocity. In the present Linea di Ricerca, the long-term morphological models developed in Linea di Ricerca 3.2 will be further expanded and applied. In strict co-ordination with Linea di Ricerca 3.14, the knowledge of tidal dispersive transport will be complemented with investigations in the sediment concentration produced by tidal currents and waves (local wind, boats, fishing activities).

Field investigations (carried on with the substantial contribution of other research projects) will be mostly devoted to the functioning of salt-marshes, which play a very peculiar role in the sediment budget, depending upon their elevation and alophile vegetation cover.

### **1.3 Descrizione dettagliata della ricerca**

#### **WP1**

Come appare dalla descrizione complessiva della ricerca (paragrafo 3.1), le analisi teoriche sui meccanismi dispersivi a lungo termine si muovono contemporaneamente in diverse direzioni che sono state distinte per convenienza nelle tre attività principali: WP1.1 (Analisi dei meccanismi dispersivi a lungo termine), WP1.2 (Schematizzazione dei meccanismi dispersivi) e WP1.3 (Configurazioni di equilibrio a lungo termine). Pertanto le tre attività verranno condotte in parallelo (ma naturalmente in modo coordinato) lungo i tre anni del progetto, anche se, presumibilmente, il WP1.2 e il WP1.3 si svilupperanno in gran parte a partire dal 2005.

#### **1.3.1 Anno 2004**

Revisione critica dei risultati già ottenuti alla luce del presente progetto di ricerca.

WP 1.1: Analisi dei meccanismi dispersivi a lungo termine

WP 1.2: Schematizzazione dei meccanismi dispersivi

WP 1.3: Configurazioni di equilibrio a lungo termine

#### **1.3.2 Anno 2005**

Sviluppo di nuove indagini.

WP 1.1: Analisi dei meccanismi dispersivi a lungo termine

WP 1.2: Schematizzazione dei meccanismi dispersivi

WP 1.3: Configurazioni di equilibrio a lungo termine

### 1.3.3 Anno 2006

Applicazione congiunta dei diversi work-packages.

WP 1.1: Analisi dei meccanismi dispersivi a lungo termine

WP 1.2: Schematizzazione dei meccanismi dispersivi

WP 1.3: Configurazioni di equilibrio a lungo termine

## WP2

Il WP dedicato alle indagini numeriche coinvolge tre gruppi di modellisti (dei quali due esterni al Dipartimento IMAGE) che hanno sviluppato strumenti di indagine alquanto differenziati per la descrizione dei fenomeni fisici, soprattutto di tipo idrodinamico, che hanno luogo in laguna. I vari modelli privilegiano aspetti diversi dei fenomeni idrodinamici, permettono descrizioni con diverso grado di dettaglio di tali fenomeni e richiedono un diverso impegno di calcolo. Tali modelli saranno utilizzati per i particolari fini della presente ricerca, cioè per la definizione del trasporto dispersivo a lungo termine e per quantificare le conseguenze del trasporto di sedimenti sulla morfodinamica lagunare. Tipicamente essi potranno essere impiegati per il tracciamento delle figure lagrangiane, per il calcolo delle correnti euleriane residue e per la valutazione di altri parametri in grado di fornire stime di trasporto globale a lunga scala di tempo (per esempio il rapporto di scambio fra mare e laguna alle tre bocche lagunari (WP2.4)). Essi saranno peraltro utilizzati, per simulazioni a breve scala temporale, anche nell'ambito di altre linee di ricerca. Ciò permetterà di stabilire utili confronti (WP2.5) fra quei risultati e le simulazioni condotte con i modelli semplificati (sia di tipo schematico, sia di tipo concettuale a lungo periodo), specificatamente sviluppati nella presente Linea di Ricerca. Anche in questo caso, è quindi opportuno che i tre gruppi di modellisti proseguano le loro indagini utilizzando i rispettivi modelli sull'intero periodo di svolgimento della ricerca, assicurando peraltro il necessario contatto con gli altri ricercatori. Tale contatto sarà specialmente perseguito, nell'ambito del Dipartimento IMAGE, con i ricercatori della Linea 3.14, da parte nella quale sarà svolta un'importante attività non solo numerica ma anche di tipo sperimentale (laguna schematica di laboratorio). Il coordinamento con la Linea 3.14 è specificatamente previsto, sull'arco dell'intero periodo 2004-2007, nel WP2.6.

### 1.3.1 Anno 2004

Revisione critica dei risultati già ottenuti alla luce del presente progetto di ricerca.

WP 2.1: Analisi della modellistica idrodinamica

WP 2.2: Modellistica numerica delle correnti di marea e delle onde da vento

WP 2.3: Simulazioni numeriche e processi dispersivi e tempi di residenza

WP 2.4: Simulazioni numeriche degli scambi mare-laguna e degli effetti sui tempi di residenza.

WP 2.5: Simulazioni numeriche a lungo periodo su configurazioni geometriche più o meno complesse.

WP 2.6: Coordinamento con le attività della linea 3.14

### *1.3.2 Anno 2005*

Sviluppo di nuove indagini.

WP 2.1: Analisi della modellistica idrodinamica

WP 2.2: Modellistica numerica delle correnti di marea e delle onde da vento

WP 2.3: Simulazioni numeriche e processi dispersivi e tempi di residenza

WP 2.4: Simulazioni numeriche degli scambi mare-laguna e degli effetti sui tempi di residenza.

WP 2.5: Simulazioni numeriche a lungo periodo su configurazioni geometriche più o meno complesse.

WP 2.6: Coordinamento con le attività della linea 3.14

### *1.3.3 Anno 2006*

Applicazione congiunta dei diversi work-packages.

WP 2.1: Analisi della modellistica idrodinamica

WP 2.2: Modellistica numerica delle correnti di marea e delle onde da vento

WP 2.3: Simulazioni numeriche e processi dispersivi e tempi di residenza

WP 2.4: Simulazioni numeriche degli scambi mare-laguna e degli effetti sui tempi di residenza.

WP 2.5: Simulazioni numeriche a lungo periodo su configurazioni geometriche più o meno complesse.

WP 2.6: Coordinamento con le attività della linea 3.14

## **WP3**

Le indagini di campo saranno utilizzate soprattutto allo scopo di giustificare alcune delle ipotesi adottate nella modellistica matematica, sia a breve, sia a lungo periodo di tempo. In qualche caso i dati sperimentali potranno essere direttamente utilizzati per la taratura e la verifica di specifici coefficienti e sotto modelli. Generalmente però, questi dati dovranno essere completati con

informazioni di altra provenienza (misure eseguite nella stessa laguna di Venezia o in ambienti simili). Le indagini sperimentali, sebbene distinte in idrauliche, geotecniche e vegetazionali, saranno condotte in modo coordinato per cogliere i vari aspetti (trasporto, sollevamento, deposizione, compattazione etc.) che concorrono al bilancio dei sedimenti (organici ed inorganici) negli ambienti di barena. Le campagne di misura (in gran parte co-finanziate da altri progetti di ricerca) saranno svolte nel corso dell'intero periodo 2004-2007. per quanto riguarda le indagini vegetazionali, esse riguardano la distribuzione spaziale delle specie vegetali anche in relazione ai processi di sedimentazione nel primo anno; l'interpretazione dei processi responsabili delle distribuzioni spaziali osservate di vegetazione e sedimento, nel secondo anno e la validazione delle interpretazioni modellistiche sviluppate, nell'ultimo anno.

### *1.3.1 Anno 2004*

Revisione critica dei risultati già ottenuti alla luce del presente progetto di ricerca.

WP 3.1: Indagini idrauliche

WP 3.2: Indagini geotecniche

WP 3.3: Indagini vegetazionali

### *1.3.2 Anno 2005*

Sviluppo di nuove indagini.

WP 3.1: Indagini idrauliche

WP 3.2: Indagini geotecniche

WP 3.3: Indagini vegetazionali

### *1.3.3 Anno 2006*

Applicazione congiunta dei diversi work-packages.

WP 3.1: Indagini idrauliche

WP 3.2: Indagini geotecniche

WP 3.3: Indagini vegetazionali

## **WP4**

Il WP4 comprende l'attività di elaborazione finale e complessiva di tutti i contributi alla ricerca. Essa è distinta in due sub-packageges, il primo riguardante il trasporto dispersivo a lungo termine (dispersione intermareale), il secondo riguardante la grandezza trasportata rilevante ai fini morfologici (concentrazione dei sedimenti a lungo termine). Mentre il trasporto dispersivo è legato alle correnti di marea, la concentrazione a lungo termine è legata sia alle correnti (dominanti nei canali) sia al moto ondoso creato dal vento (dominante nei bassi fondali). Dato il carattere conclusivo del WP4, esso sarà svolto soprattutto nell'anno finale della ricerca. È evidente peraltro che entrambi i work packages WP4.1 e WP4.2 dovranno essere portati avanti gradualmente a partire dall'inizio, cioè in tutta la fase di raccolta e di elaborazione della conoscenza pregressa.

### **1.3.1 Anno 2004**

Revisione critica dei risultati già ottenuti alla luce del presente progetto di ricerca.

WP 4.1: Trasporto netto dispersivo intermareale

WP 4.2: Concentrazione netta a lungo periodo nelle varie zone lagunari.

### **1.3.2 Anno 2005**

Sviluppo di nuove indagini.

WP 4.1: Trasporto netto dispersivo intermareale

WP 4.2: Concentrazione netta a lungo periodo nelle varie zone lagunari.

### **1.3.3 Anno 2006**

Applicazione congiunta dei diversi work-packages.

WP 4.1: Trasporto netto dispersivo intermareale

WP 4.2: Concentrazione netta a lungo periodo nelle varie zone lagunari.

## **WP5**

Le similitudini e le differenze di comportamento fra la laguna di Venezia ed altri ambienti estuarini possono essere estremamente utili per la comprensione dei processi che hanno luogo in questo particolare tipo di corpo idrico. Per rimarcare le differenze e le analogie sono stati scelti due corpi idrici olandesi (il Waddensee e la Schelda occidentale), entrambi caratterizzati da ampiezze di marea molto superiori (2 o 3 volte) a quelli di Venezia. Tuttavia, mentre le dimensioni del Waddensee sono, in termini relativi, paragonandoli a quelle di Venezia (si tratta in entrambi i casi

di lagune “corte”), le dimensioni relative della Schelda occidentale sono molto superiori, sia in rapporto alla lunghezza d’onda della marea (laguna “lunga”), sia in rapporto alla larghezza. Ciò comporta che mentre il Waddenzee presenta, come Venezia, una struttura di canali a marea dendriforme, la Schelda occidentale presenta una struttura a canali intrecciati con rilevanti correnti residue euleriane, non più trascurabili (probabilmente) rispetto alla dispersione intermareale (“trapping and pumping”). Il confronto fra la laguna di Venezia ed i due corpi idrici olandesi sarà svolto contemporaneamente sui tre anni di durata del progetto.

### *1.3.1 Anno 2004*

Revisione critica dei risultati già ottenuti alla luce del presente progetto di ricerca.

WP 5.1: Schelda occidentale

WP 5.2: Waddenzee

### *1.3.2 Anno 2005*

Sviluppo di nuove indagini.

WP 5.1: Schelda occidentale

WP 5.2: Waddenzee

### *1.3.3 Anno 2006*

Applicazione congiunta dei diversi work-packages.

WP 5.1: Schelda occidentale

WP 5.2: Waddenzee

## **1.4 Risultati attesi**

I risultati attesi della ricerca dovrebbero essere in grado di rispondere, fra l’altro ma non solo, alle domande formulate nel bando. Con particolare riferimento a queste ultime, si può osservare quanto segue:

- I fenomeni dispersivi di soluti passivi, tutti certamente rilevanti per la qualità delle acque della laguna di Venezia, sono molto differenziati in relazione alla scala spaziale e temporale di interesse. A livello locale (10-10<sup>2</sup> metri) e a scala submareale sono dominanti, sia nei canali sia nei bassifondi, i fenomeni legati alla distribuzione non uniforme della velocità sulla verticale

(Taylor, 1953, Elder, 1959). Nelle zone di contatto fra canali e bassifondi, sempre a scala mareale e submareale, fenomeni dispersivi molto più efficaci sono invece quelli legati alla distribuzione orizzontale della velocità (Fisher, 1979). A scala intermareale, come è ovvio, i predetti meccanismi vengono integrati nel tempo, per cui il trasporto dispersivo netto (cioè integrato sul ciclo di marea) risulta dominato dall'effetto di mescolamento dovuto all'alternanza delle correnti di marea in presenza di rilevanti gradienti orizzontali di velocità. Il trasporto netto a lungo termine potrà essere espresso attraverso un opportuno coefficiente di dispersione intermareale, il quale dovrà incorporare in modo semplificato la presenza di questi gradienti.

- Qualora i coefficienti di dispersione intermareale incorporino in modo esplicito (ancorché semplificato) la presenza dei gradienti orizzontali di velocità, non dovrebbe essere necessario assumere valori costanti nello spazio e nel tempo di tali coefficienti. È possibile tuttavia che, in una laguna in equilibrio, la distribuzione del campo di velocità sia non solo stazionaria alla scala del ciclo di marea, ma anche ragionevolmente uniforme alla scala dei rami della rete. Tale condizione, abbastanza verosimile per una laguna morfologicamente auto organizzata, comporterebbe coefficienti di dispersione intermareale costanti nello spazio e nel tempo.
- Le figure lagrangiane di dispersione, in una laguna caratterizzata da una rete dendritica di canali a marea incisa in zone a basso fondale, sono in linea di principio assai complesse. Non si può escludere peraltro che la forma di queste figure presenti qualche proprietà di similitudine geometrica che permetta di estendere a tutta la laguna, o ad ampie zone di questa, le regole per tracciarle sia pure in forma semplificata. Si ricorda a questo proposito che, nel caso di canali a sezione compatta, può avere interesse anche il tracciamento di figure lagrangiane strettamente "unidimensionali" (segmenti più o meno allungati che rappresentano il luogo dei punti di particelle immerse nello stesso punto del canale in diversi istanti del ciclo di marea).
- Come detto sopra, è possibile che per ampie zone lagunari o, addirittura, per un'intera laguna in equilibrio, il coefficiente di dispersione intermareale sia costante nello spazio e nel tempo. Il valore numerico di tale coefficiente per la laguna di Venezia, stimato attraverso misure di salinità (Imberger, comunicazione personale) o attraverso applicazioni a scala mareale di modelli schematici (Di Silvio e Fiorillo, 1981), dovrebbe essere dell'ordine di varie centinaia di  $m^2/s$ .

Oltre a rispondere a delle specifiche domande previste dal bando, lo studio dovrebbe estendere le valutazioni relative a traccianti passivi neutri (cioè di peso specifico uguale a quello dell'acqua) al caso di traccianti pesanti (sedimenti). Ciò consentirà di sviluppare modelli capaci di simulare non solo il trasporto a lungo termine di inquinanti, ma anche l'evoluzione morfologica a lungo termine del bacino lagunare.

Per quanto pare possibile prevedere allo stato attuale delle conoscenze, l'insieme dei risultati attesi potrà essere raggiunto per passi successivi così come indicato sinteticamente nel seguito, con riferimento ai diversi work packages e ai tre anni di durata dello studio.

## WP1

### 1.4.1 Anno 2004

Comprensione dei meccanismi che determinano la dispersione intermareale e soluzioni di casi schematici.

*1.4.2 Anno 2005*

Sviluppo di modelli schematici, per l'analisi della dispersione intermareale.

*1.4.3 Anno 2006*

Giustificazione e verifica con modelli numerici complessi, delle possibili espressioni da attribuire al coefficiente di dispersione intermareale.

**WP2**

*1.4.1 Anno 2004*

Sviluppo di tecniche innovative per la descrizione del trasporto dispersivo a lungo termine e dei tempi di residenza.

*1.4.2 Anno 2005*

Figure lagrangiane tipiche e stima dell'influenza dello scambio mare-laguna sul trasporto intermareale e sui tempi di residenza in laguna.

*1.4.3 Anno 2006*

Valutazioni quantitative dei coefficienti di dispersione intermareali e dello scambio mare-laguna. Distribuzioni spaziali e temporali del coefficiente di dispersione intermareale.

**WP3**

*1.4.1 Anno 2004*

Dati sperimentali, soprattutto di campo, per tarare o verificare coefficienti o sotto-modelli relativi al trasporto di sedimenti in ambienti di barena.

*1.4.2 Anno 2005*

Dati sperimentali, soprattutto di campo, per tarare o verificare coefficienti o sotto-modelli relativi al trasporto di sedimenti in ambienti di barena.

*1.4.3 Anno 2006*

Dati sperimentali, soprattutto di campo, per tarare o verificare coefficienti o sotto-modelli relativi al trasporto di sedimenti in ambienti di barena.

**WP4**

*1.4.1 Anno 2004*

Relazioni semplificate per il trasporto a lungo termine di sedimenti in ambiente lagunare.

*1.4.2 Anno 2005*

Modelli morfodinamici a lungo termine in ambiente lagunare.

*1.4.3 Anno 2006*

Applicazioni alla Laguna di Venezia.

**WP5**

*1.4.1 Anno 2004*

Analogie e differenze fra diversi ambienti estuarini.

*1.4.2 Anno 2005*

Relazioni empiriche valide per i diversi ambienti estuarini, con particolare riferimento alle modalità di trasporto a lungo termine.

*1.4.3 Anno 2006*

Classificazione organica dei vari ambienti di foce, laguna ed estuario.